

Foton 80

WIOSNA
2003

Pismo dla nauczycieli fizyki i przyrody oraz ich uczniów

INSTYTUT FIZYKI x UNIwersYTETU JAGIELLOŃSKIEGO
SEKCJA NAUCZYCIELSKA POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO



Euro-atraktor
Czy jesteśmy sami we Wszechświecie?
Dlaczego ludzie latają w kosmos?
Smoluchowski o kobietach



Pięcioletni Marian Smoluchowski ze starszym bratem
(ilustracja z książki Armina Teske *Marian Smoluchowski życie i twórczość*)



Do Unii z fizyką w szkole

Wejście do Unii Europejskiej to dobra wiadomość dla nas, nauczycieli fizyki. W Europie, do której przecież należymy, zrozumienie wagi powszechnego dobrego wykształcenia jest już trwałą zdobyczą. Jest też powszechną praktyką, iż to państwo ma pieczę nad edukacją, ze wszystkimi z tego wypływającymi dobrodziejstwami i negatywami. Jest to tradycja odmienna od amerykańskiej.

III Rzeczpospolita zafundowała nam piękną w zamyśle reformę oświaty, która jednak w praktyce przebiega w konwulsjach i niekonsekwentnie. Pora odbudować dobre tradycje i sięgnąć w rozumny sposób po te nowości, które są sprawdzone na Zachodzie. Jest nadzieja, że z wejściem do Unii odbuduje się wysoki prestiż zawodu nauczyciela. Nie obędzie się to bez bodźców materialnych. W Europie nauczyciele są dobrze płatni i cenieni. Faktem jest, że stawia im się wysokie wymagania, ale to tym lepiej i dla nich, i dla ich uczniów. Wszystkie szkoły będą musiały spełniać pewne wymagania, co będzie korzystne dla uczniów. W tym przypadku krytykowane często przepisy Brukseli wyjdą nam i naszym uczniom na dobre. Z pewnością będzie łatwiej doprowadzić do sensownego końca rozpoczętą reformę.

Nadal mamy do czynienia z erupcją podręczników. Można by się z tego cieszyć, gdyby nie dwa fakty. Wiele podręczników zawiera poważne błędy merytoryczne oraz metodyczne. Podręczniki są często redagowane w pośpiechu i po prostu „niedorobione”. Właściwy wybór podręcznika z tak bogatej jak obecnie palety jest nie lada wyzwaniem. Nawet na podstawie starannego przejrzania właściwa ocena nie jest rzeczą łatwą.

MENiSowski pomysł Oscarów jest chybiony. Oscary – tak, ale przyznawane przez niezależne gremium ekspertów – tylko taki Oscar ma wartość! Wyróżnienia dla podręczników, przyznawane przez Komisję Podręczników PAU, to krok w dobrą stronę (patrz *Foton* 78, Jesień 2002). Nie miałyby też wartości (albo miałyby wartość specyficzną) Oscar przyznany na zasadzie *vox populi*, np. po głosowaniu przeprowadzonym przy użyciu telefonów czy e-maili. Zdanie większości nie musi wskazywać na najlepsze podręczniki.

Zapraszamy do lektury tego zeszytu, w znacznej mierze „kosmicznego”. Warto też uczniom wskazać nowe pola, na jakie wkracza fizyka (artykuł *Chaos, fraktale i euroatraktor*). Zachęcamy również do zapoznania się z poglądami wielkiego Europejczyka Mariana Smoluchowskiego na rolę kobiet w nauce.

Z.G-M.



Contents

To the European Union with physics at school <i>Zofia Gołqb-Meyer</i>	1
Chaos, fractals and euroattractor <i>Karol Życzkowski i Artur Łoziński</i>	4
Nobel Prize 2002 in physics goes to pioneers of neutrino and X-ray astrophysics <i>Marek Kutschera</i>	10
Planets outside the Solar System <i>Tomasz Lanczewski</i>	20
Why do people fly into space? <i>Paweł F. Góra</i>	28
Stars and microworld <i>Tadeusz Lesiak</i>	33
Marrying education with science <i>An interview with Leon Lederman by Carlos Fiolhais and Carlos Pessoa</i>	44
Marian Smoluchowski on women in science <i>Zofia Gołqb-Meyer</i>	52
History. Heisenberg in occupied Cracow <i>Krzysztof Fiałkowski</i>	56
Problems. Playing with a magnifying glass <i>Sławomir Brzezowski</i>	61
Reading in English. Hewitt's Figuring Physics	65
Experiments. After-dinner experimentation (Hertz experiment) <i>Andrzej Krzysztofowicz, Grzegorz Karwasz</i>	66
Chronicle. Professor Krzysztof Ernst – obituary	67
What to read	68
Physics in the Internet	70
Communication. GIREP	71
Communication. XXXVII Polish Physicists Convention	72
Communication. Physics on Stage	73
Competition. Maria Skłodowska-Curie competition	74
Competition. School experiments with the use of a computer	75
Competition. Physical phenomena on photographs	76
Communication. First Step to Nobel Prize in Physics	77
Editorial News	78
Communication. Kindergarden of Physics Zakopane 2003	79



Spis treści

Do Unii z fizyką w szkole <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	1
Chaos, fraktale oraz euroatraktor <i>Karol Życzkowski i Artur Łoziński</i>	4
Nagroda Nobla dla pionierów astrofizyki neutrinowej i rentgenowskiej <i>Marek Kutschera</i>	10
Planety poza Układem Słonecznym <i>Tomasz Lanczewski</i>	20
Dlaczego ludzie latają w Kosmos? <i>Paweł F. Góra</i>	28
Gwiazdy a fizyka mikroświata <i>Tadeusz Lesiak</i>	33
Mariaż edukacji z nauką <i>Z Leonem Ledermanem rozmawiają: Carlos Fiolhais i Carlos Pessoa</i>	44
Marian Smoluchowski o kobietach w naukach ścisłych <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	52
Kartka z historii. Heisenberg w okupowanym Krakowie <i>Krzysztof Fiałkowski</i>	56
Kącik zadań. Igraszki z lupą <i>Sławomir Brzezowski</i>	61
Czytamy po angielsku. Hewitt's Figuring Physics	65
Kącik eksperymentatora. Doświadczenie Hertza (na deser) <i>Andrzej Krzysztofowicz, Grzegorz Karwasz</i>	66
Kronika. Zmarł Profesor Krzysztof Ernst	67
Co czytać	68
Fizyka w Internecie	70
Komunikat. GIREP	71
Komunikat. XXXVII Zjazd Fizyków Polskich	72
Komunikat. Physics on Stage	73
Konkurs. Ogólnopolski Konkurs im. Marii Skłodowskiej-Curie	74
Konkurs. PTF z PTCh – Komputerowo wspomagany eksperyment szkolny w przedmiotach przyrodniczych	75
Konkurs. Zjawiska fizyczne wokół nas.	76
Komunikat. First Step to Nobel Prize in Physics	77
Komunikaty Redakcji	78
Komunikat. Zakopiańskie Przedszkole Fizyki	79



Chaos, fraktale oraz euroatraktor

Karol Życzkowski i Artur Łoziński

Instytut Fizyki UJ

Obserwując poruszający się przedmiot, stawiamy pytanie, jak wyglądać będzie jego ruch w przyszłości. Ścisły opis poruszających się ciał, pozwalający na wyznaczenie ich trajektorii, należy do głównych zadań fizyki, a w szczególności *mechaniki*. Problem klasyfikacji możliwych rodzajów ruchu jest też przedmiotem badań *teorii układów dynamicznych*, stanowiącej intensywnie rozwijający się dział współczesnej matematyki.

Podstawowe zasady mechaniki sformułowano w XVIII wieku na bazie praw Newtona. Osiągnięte wtedy wyniki umożliwiły bardzo dokładny opis ruchu ciał na ziemi i niebie. Wśród uczonych powszechne były opinie, że dynamika stanowi zamknięty dział mechaniki, a znając dokładne położenie i prędkość danego ciała oraz działające nań siły, można przewidzieć jego ruch w dowolnie odległej przyszłości.

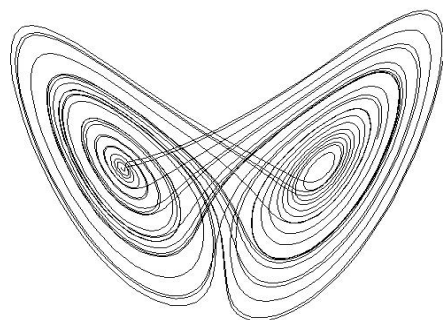
Dopiero w XX wieku jasno zdano sobie sprawę z kluczowego problemu, który napotka się, realizując taki program. Nie jest bowiem możliwe wyznaczenie początkowego położenia i prędkości ciała z dowolną dokładnością, a wiele układów dynamicznych poprawnie opisujących rzeczywistość wykazuje *niestabilność*: nawet bardzo mała zmiana początkowego położenia ciała w zasadniczy sposób wpływa na jego ruch w przyszłości. Dokładnie z taką sytuacją mają do czynienia gracze w bilard, gdyż niewielka zmiana siły uderzenia w bilę może zadecydować o wyniku gry. Podobnie mała zmiana ciśnienia czy temperatury pewnego dnia w danym miejscu na kuli ziemskiej może istotnie wpłynąć na późniejsze zachowanie się atmosfery w innym regionie świata. Ten fakt, po opublikowaniu artykułu Edwarda Lorenza „Can the flap of a butterfly’s wing stir up a tornado in Texas*”, określany mianem *efektu motyla*, utrudnia długoterminowe prognozy pogody.

Układ poruszających się ciał nazywa się *chaotycznym*, jeśli dynamika jest bardzo czuła na początkowe położenie i prędkość jego elementów. Ruch w takich układach można opisywać zgodnie z klasycznymi zasadami mechaniki, ale uzyskane przepowiednie będą wiarygodne tylko przez krótki czas (np. w bilardzie do momentu zderzenia z inną bilą). Do tej klasy układów należą *układy nieliniowe*, w których skutek nie jest liniowo proporcjonalny do wielkości opisującej przyczynę. Równań ruchu układów chaotycznych nie można, w ogólnym przypadku, rozwiązać w sposób ścisły, a polegać trzeba jedynie na przybliżonych metodach nume-

*„Czy ruch skrzydeł motyla może wywołać tornado w Teksasie?”

rycznych. Szybki wzrost mocy obliczeniowej komputerów, jaki miał miejsce w ciągu ostatnich dwudziestu lat, stanowił jedną z przyczyn rozwoju oraz sukcesów teorii chaosu i układów dynamicznych.

Ruch wszystkich ciał w przyrodzie podlega różnym rodzajom sił oporu, np. sił tarcia. To właśnie siła oporu powietrza, a także siła tarcia występująca w zamocowaniu, sprawia, że puszczone w ruch wahadło po pewnym czasie zatrzyma się. Spoczynkowe położenie wahadła, pionowo w dół, nie zależy od jego początkowego wychylenia i prędkości. W takim przypadku mówimy, że w układzie występuje *atraktor*: wyróżniony podzbiór możliwych stanów układu, do którego nieuchronnie zmierza ewolucja układu. Pewną charakterystykę atraktora zawiera porzekadło „wszystkie drogi prowadzą do Rzymu”, gdyż przedstawia wybrany punkt, do którego zmierza każdy wędrowiec. W przypadku wahadła atraktorem jest jeden punkt (położenie równowagi), ale w ogólności układ nie musi dążyć do stanu spoczynkowego, a atraktory mogą posiadać skomplikowaną strukturę. Specjalną klasę stanowią *dziwne atraktory*, które przyciągają trajektorie z zewnątrz, a ruch w ich wnętrzu jest chaotyczny i nieprzewidywalny. Pierwszy przykład takiego atraktora znalazł Lorenz, analizując matematyczny model służący do opisu zjawisk meteorologicznych.



Rys. 1. Ruch w dziwnym atraktorze Lorenza jest chaotyczny: nie można przewidzieć, czy w kolejnym kroku trajektoria znajdzie się w jednej pętli, czy w drugiej

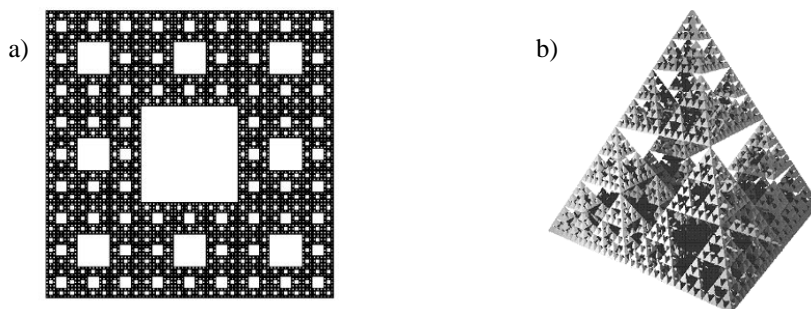
Pojęcie atraktora można też zdefiniować dla szerokiej klasy przekształceń matematycznych. Przykładowo, atraktorem operacji mnożenia dowolnej liczby przez 0,9 jest tylko i wyłącznie jedna liczba – zero, o czym wydają się zapominać pewni ekonomiści i politycy, proponujący wielokrotne opodatkowanie niektórych dochodów. Dla matematyka atraktorem będzie więc przyciągający punkt stały badanego przekształcenia. W przypadku przekształceń na płaszczyźnie atrakto-

rami mogą być całe zbiory (nie zmieniające się pod wpływem tegoż przekształcenia), często o bardzo ciekawej strukturze geometrycznej. Dynamika pewnych układów, opisanych prostymi wzorami, może prowadzić do atraktorów o fascynujących kształtach. Szczególnie interesujące są atraktory samopodobne, np. zbiór odkryty przez niemieckiego matematyka Georga Cantora w 1883 roku. Po powiększeniu trzykrotnym lewej części zbioru narysowanego w górnej linijce otrzymamy cały zbiór.



Rys. 2. Cztery kroki procesu tworzenia zbioru Cantora, polegające na usunięciu z każdego odcinka jego środkowej, trzeciej części. Kontynuując ten proces, otrzymamy zbiór fraktalny o wymiarze $D = \ln 2 / \ln 3 \approx 0,63093$

Własność samopodobieństwa związana jest z pojęciem wymiaru fraktalnego. Na lekcjach geometrii uczniowie uczą się rozróżniać obiekty jednowymiarowe (odcinek), dwuwymiarowe (koło, kwadrat) od trójwymiarowych (sześciąt), a zrozumienie tych prostych własności pomaga w życiu codziennym: drut kupujemy na metry, za parkiet płacimy proporcjonalnie do liczby metrów kwadratowych, a pojemność silnika podajemy w centymetrach sześciennych. Nie jest więc dla nas niespodzianką, że jeśli długość wszystkich ścian pokoju zwiększymy dwukrotnie, to za parkiet będziemy musieli zapłacić cztery razy więcej. Przyzwyczajeni zatem jesteśmy, że wymiar obiektu wyraża się liczbami naturalnymi: 1, 2 albo 3.



Rys. 3. a) Dywan Sierpińskiego o wymiarze $D = \ln 8 / \ln 3 \approx 1,8928$; b) Piramida Sierpińskiego o wymiarze $D = 2$

Jeśli chcemy rozmiar odcinka wydrukowanego na papierze zwiększyć trzykrotnie, to ilość potrzebnego tuszu do narysowania tak powiększonego odcinka też wzrośnie trzykrotnie. Tę intuicyjnie zrozumiałą własność możemy wykorzystać do zdefiniowania wymiaru fraktalnego:

$$D = \lim_{P \rightarrow \infty} \frac{\ln N(P)}{\ln P},$$

gdzie P jest powiększeniem, a $N(P)$ ilością tuszu niezbędną do narysowania P -krotnie powiększonego zbioru. Dla odcinka, zgodnie z przewidywaniami, otrzymujemy $D_{\text{odcinka}} = 1$. Jednakże w przypadku innych zbiorów, nawet tych zawartych na prostej, może być inaczej. Powiększając trzykrotnie samopodobny zbiór Cantora, wystarczy nam tylko dwukrotnie zwiększyć ilość zużytego tuszu drukarki. Ta obserwacja świadczy o tym, że wymiar zbioru Cantora jest mniejszy od jedności. Doprecyzowując szczegóły matematyczne, można podać ścisłą definicję wymiaru, która nie musi być liczbą naturalną, ale dla standardowych obiektów będzie dawał oczekiwany wynik 1, 2 lub 3.

Fraktalami nazywamy zbiory geometryczne, dla których wymiar nie jest liczbą naturalną. Przykładowo, fraktalem o wymiarze równym stosunkowi logarytmu z 2 do logarytmu z 3 jest zbiór Cantora (podzbiór odcinka o wymiarze 1), a dywan Sierpińskiego (podzbiór kwadratu) stanowi fraktal o wymiarze $\ln 8 / \ln 3$. Figura ta została zdefiniowana i zbadana przez wybitnego polskiego matematyka Wacława Sierpińskiego w 1915 roku. Warto podkreślić, że ścisła definicja takich figur nakazuje w nieskończoność powtarzać procedurę usuwania z dywanu coraz mniejszych podzbiorów w kształcie kwadratu, dlatego też rysunek dywanu na papierze jest, z konieczności, jedynie jego przybliżeniem. Precyzyjna definicja fraktala jest jednak bardziej złożona, gdyż przykładowo piramida Sierpińskiego jest fraktalem o wymiarze 2. Obiekty w przybliżeniu samopodobne, o cechach fraktali, występują w przyrodzie: jeden liść paproci przypomina całą roślinę, odpowiednio pomniejszoną. Podobne cechy ma fragment kwiatu kalafiora, płatek śniegu, zgrupowanie chmur, sieć dopływów niektórych rzek lub pewne łańcuchy gór. Dlatego też wymiar fraktalny nie jest tylko osobliwością matematyczną, ale narzędziem pozwalającym lepiej opisywać otaczający nas świat.

Analizując układy dynamiczne, ciekawe z punktu widzenia zastosowań w fizyce, można natknąć się na atraktory o strukturze fraktalnej i zadziwiających kształtach, często przypominające grafikę współczesną. Z drugiej strony, można też poszukiwać układów dynamicznych, których atraktory posiadają określony kształt lub spełniają zadane warunki. W taki sposób kodować można informacje graficzną: cyfrowy zapis układu dynamicznego w postaci definiujących go równań zajmuje mniej pamięci komputera niż graficzne odwzorowanie, bit po bicie, odpowiadającego mu atraktora. W podobny sposób grafika komputerowa, oparta

na koncepcjach zbiorów fraktalnych i atraktorów, wykorzystywana jest przy tworzeniu sztucznych krajobrazów oraz filmowych efektów specjalnych.

Układy chaotyczne, których ewolucji nie da się przewidzieć na dłuższy czas, występują nie tylko w zagadnieniach fizyki. Niewielka zmiana warunków początkowych może zupełnie zmienić przebieg niektórych reakcji chemicznych. Wiele używanych w biologii modeli, opisujących procesy ewolucyjne, wykazuje rozwiązania chaotyczne, a zatem nawet niewielka zmiana warunków ekologicznych panujących na ziemi przed wiekami mogłaby całkowicie zmienić kierunek ewolucji naszego gatunku. W ciągu ostatniej dekady dynamika nieliniowa znalazła także zastosowanie w ekonomii oraz w naukach społecznych. Co prawda teoria układów chaotycznych oraz układów dynamicznych z zaburzeniami losowymi nie pozwolą przewidzieć dziś kursu wymiany złotego do euro w dniu 1 stycznia 2004 lub wyniku kandydatów partii ABC w wyborach, ale ułatwią zrozumienie i modelowanie obserwowanych procesów społecznych.

Teoria chaosu i układów dynamicznych uprawiana jest w Polsce z powodzeniem w różnych ośrodkach akademickich, a na organizowane konferencje przyjeżdżają wybitni uczeni z całego świata. W dniach 19–22 czerwca 2002 roku w Instytucie Matematyki Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie odbyła się konferencja „Geometric Theory of Dynamical Systems”

(<http://www.im.uj.edu.pl/gtds>), a Instytut Biocybernetyki PAN w Warszawie zorganizował w okresie 18–27 czerwca konferencję „Euroattractor 2002”, poświęconą dynamice nieliniowej i analizie sygnałów czasowych (<http://hrabia.ibib.waw.pl/~euroattractor>).

Konferencja *Euroattractor*, po raz trzeci organizowana w Warszawie, mimo swej nazwy przyciąga także naukowców spoza Europy. Nazwa ta zainspirowała nas do poszukania układu dynamicznego, którego atraktor ma kształt zbliżony do konturów naszego kontynentu. Niezależnie od wyjściowego zbioru na płaszczyźnie, ewolucja układu w czasie dążyć będzie do zbioru przedstawionego na rys 4. Szczegółowe dane można znaleźć w naszym artykule w Internecie:

<http://www.arxiv.org/abs/nlin.CD/0210071>



Rys. 4. **Euroattractor:** zbiór nie zmieniający się podczas ewolucji układu w czasie

Patrząc na zmiany polityczne, zachodzące w Europie w ciągu ostatniej dekady, można zastanawiać się, czy Unia Europejska ma tyle siły przyciągania, aby stać się globalnym atraktorem, przyciągającym wszystkie kraje naszego kontynentu. Wydawałoby się, że odpowiedzi na to pytanie powinny dostarczyć nauki polityczne i społeczne. Ale teoria układów nieliniowych uczy nas, że prognozowanie ewolucji układów niestabilnych w czasie nie jest możliwe na dłuższą metę. Czy pozostaje nam jedynie bierne oczekiwanie na nieuchronny rozwój wydarzeń? A może, biorąc przykład z motyla Lorenza, wystarczy w odpowiednim momencie delikatnie zatrzepotać skrzydełkiem?

Literatura:

- [1] I. Stewart, *Czy Bóg gra w kości? Nowa matematyka chaosu*, PWN, Warszawa 2001
- [2] J. Gleick, *Chaos – narodziny nauki*, Zysk i S-ka, Poznań 1996
- [3] E. Ott, *Chaos w układach dynamicznych*, WNT, Warszawa 1997
- [4] H. G. Schuster, *Chaos deterministyczny*, PWN, Warszawa 1993
- [5] J. Kudrewicz, *Fraktale i chaos*, WNT, Warszawa 1996
- [6] H. O. Peitgen, H. Jurgens, D. Saupe, *Granice chaosu. Fraktale*, PWN, Warszawa 1997
- [7] G. L. Baker, J. P. Gollum, *Wstęp do dynamiki układów chaotycznych*, PWN, Warszawa 1998



Nagroda Nobla dla pionierów astrofizyki neutrinowej i rentgenowskiej

Marek Kutschera

Instytut Fizyki UJ i Instytut Fizyki Jądrowej

Nagrodę Nobla za rok 2002 w dziedzinie fizyki otrzymali trzech uczeni: **Raymond Davis Jr.** (USA) i **Masatoshi Koshiba** (Japonia), którzy podzielili się połową nagrody za „pionierski wkład do astrofizyki, w szczególności za wykrycie neutrin kosmicznych”, oraz **Riccardo Giacconi** (USA), za „pionierski wkład do astrofizyki, który doprowadził do odkrycia kosmicznych źródeł rentgenowskich” (druga połowa nagrody); cytaty za Szwedzką Akademią Nauk.

Prof. R. Davis, urodzony w 1914 r., jest z wykształcenia chemikiem. Doktorat z chemii fizycznej uzyskał w 1942 r. na Uniwersytecie Yale i od 1948 r. pracował w Brookhaven National Laboratory (BNL) w Departamencie Chemii. W 1984 przeszedł na emeryturę w BNL, ale od 1985 kontynuował pracę naukową na Uniwersytecie Pensylwanii w Filadelfii, gdzie obecnie jest profesorem emerytowanym.

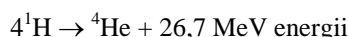
Prof. Masatoshi Koshiba (ur. 1926) otrzymał doktorat z fizyki w 1955 r. na Uniwersytecie w Rochester (USA). Jest profesorem emerytowanym w Centrum Fizyki Cząstek Elementarnych na Uniwersytecie w Tokio.

Prof. Riccardo Giacconi jest z pochodzenia Włochem, urodził się w 1931 r. w Genui. Doktorat zrobił w 1954 r. na Uniwersytecie w Mediolanie. Od 1959 pracował w USA w firmie American Science and Engineering, która prowadziła liczne projekty naukowe na zlecenie amerykańskiej agencji kosmicznej NASA. W latach 1981–1993 był dyrektorem centrum NASA zarządzającego kosmicznym teleskopem Hubble’a (Space Telescope Science Institute w Baltimore). Później był dyrektorem generalnym European Southern Observatory (ESO), europejskiego konsorcjum astronomicznego, które posiada kilka wielkich obserwatoriów w Chile (m.in. największy w tej chwili układ czterech współdziałających teleskopów VLT, od *Very Large Telescope*, w Obserwatorium Paranal). Obecnie R. Giacconi jest profesorem w Johns Hopkins University w Baltimore, a także prezesem organizacji Associated Universities, Inc., która administruje amerykańskim centrum radioastronomicznym NRAO – National Radio Astronomy Observatory.

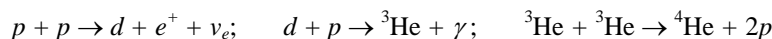
Tegoroczni laureaci są pionierami dwu dziedzin współczesnej astronomii: astrofizyki neutrinowej i astrofizyki rentgenowskiej. Dzięki ich entuzjazmowi, uporowi i wieloletniej pracy otwarte zostały dwa nowe „okna” do obserwacji kosmosu.

Astrofizyka neutrinowa

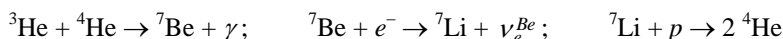
Powstanie tej gałęzi astrofizyki było odpowiedzią na wyzwanie, jakim stała się eksperymentalna weryfikacja hipotezy o termojądrowej naturze energii promieniowanej przez Słońce i inne gwiazdy. Idea, że energia ta pochodzi z przemian jądrowych, wiązana jest z nazwiskiem Sir Arthura Eddingtona, brytyjskiego astrofizyka, który używając wzoru Einsteina $E = mc^2$, pokazał, że przemiana czterech atomów wodoru w atom helu mogłaby dostarczyć energii promieniowanej przez Słońce. Bilans energetyczny reakcji syntezy helu byłby następujący:



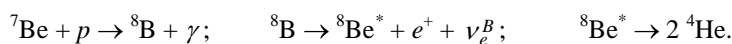
a więc ok. 0,7% masy spoczynkowej każdego atomu wodoru uległoby zamianie na energię. Minęło jednak prawie 20 lat, zanim Hans A. Bethe podał w 1939 r. teorię reakcji prowadzących do syntezy helu w Słońcu, które dziś nazywamy „łańcuchami pp ” (dalej jądro wodoru ^1H – proton – oznaczamy przez p , zaś deuteron, jądro deuteru ^2H , przez d):



– to łańcuch $pp\text{I}$. Jądro helu ^4He może powstać nie tylko w powyższej reakcji, ale i na drodze katalitycznej, za pomocą istniejących już jąder ^4He



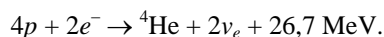
– to łańcuch $pp\text{II}$. Jądro ^7Be może też wejść w reakcję z protonem, co daje alternatywny sposób zakończenia syntezy helu, zwany łańcuchem $pp\text{III}$:



W łańcuchu reakcji termojądrowego spalania wodoru w Słońcu decydujące znaczenie ma pierwsze ogniwo, synteza deuteronu: $p + p \rightarrow d + e^+ + \nu_e$. Proces ten pokazuje kluczową rolę słabych oddziaływań w astrofizyce, zachodzi bowiem dzięki słabym oddziaływaniami. Przebieg tej reakcji wyobrażamy sobie tak, że proton podlega wirtualnej fluktuacji $p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$ (na co pozwala w mechanice kwantowej zasada nieoznaczoności Heinsenberga). Jeśli w tym czasie „odpowiednio blisko” znajdzie się drugi proton, to może on dzięki oddziaływaniom silnym związać neutron i utworzyć jądro deuteru. Uwolniona energia wiązania deuteronu powoduje, że pozyton e^+ i neutrino ν_e stają się cząstkami rzeczywistymi, pozyton szybko anihiluje z elektronem, ale neutrino ν_e swobodnie wydostaje się ze Słońca i może dotrzeć do Ziemi. Reakcja ta jest bardzo rzadka, gdyż aby zaszła, oba protony muszą zbliżyć się do siebie na odległość działania sił jądrowych, rzędu kilku fm ($1 \text{ fm} = 10^{-13} \text{ cm}$). Przeszkadza temu bariera kulombowska, która dla dwu protonów w odległości 1 fm wynosi 1,4 MeV, zaś energia kinetyczna protonów w Słońcu jest rzędu 1 keV, co odpowiada temperaturze wnętrza Słońca ok. $15 \times 10^6 \text{ K}$. Bariera kulombowska przewyższa więc energię kinetyczną protonów kilkaset

razy. Tu znów z pomocą przychodzi mechanika kwantowa, która pozwala cząstkom tunelować przez tę barierę, dzięki czemu reakcja może zajść.

Bilans reakcji termojądrowego spalania wodoru ma postać:



Znając moc promieniowania Słońca $L_\odot \approx 4 \times 10^{33} \text{ erg/s}$ łatwo szacować, ile neutrin Słońce promieniuje w każdej sekundzie: $N_{\nu_e} \approx 5 \times 10^{38}/\text{s}$. Na Ziemi strumień neutrin wynosi $\Phi \approx 6 \times 10^{10} / \text{cm}^2\text{s}$. Aby móc przewidzieć wyniki eksperymentu, potrzebne są dokładne obliczenia widma energetycznego neutrin wytwarzanych w Słońcu. Dostarczają ich teoretyczne modele budowy Słońca, które są potwierdzone przez obserwacje heliosejsmologiczne wnętrza Słońca.

Początkowo fizycy byli sceptyczni co do możliwości wykrycia neutrin słonecznych z powodu niezmiernie małych przekrojów czynnych na oddziaływania słabe. Rejestracja tych cząstek byłaby niezwykle ważna, gdyż stanowiłaby bezpośrednie potwierdzenie hipotezy reakcji termojądrowych w Słońcu. Dałaby także możliwość „zajrzenia” do samego jądra Słońca, gdzie energia słoneczna jest wytwarzana. Raymond Davis był pierwszym uczonym, który uważał, że jest to możliwe. Eksperymenty radiochemiczne z neutronami wytwarzanymi w reaktorze jądrowym Davis rozpoczął już na początku lat pięćdziesiątych w Brookhaven, wykorzystując reakcję $\nu_e + {}^{37}\text{Cl} \rightarrow {}^{37}\text{Ar} + e^-$, która zachodzić może dla neutrin o energii powyżej 0,81 MeV (to wartość tzw. progu energetycznego). Aparatura pomiarowa składała się ze zbiornika zawierającego 3900 litrów czterochloru węgla CCl_4 , który był tarczą naświetlaną przez neutrina z reaktora. Argon wytworzony w zbiorniku był wymywany za pomocą helu, który był przepuszczany przez ciecz w zbiorniku. Atomy argonu były usuwane z helu przez pułpkę węglową, zanurzoną w ciekłym azocie (-196°C), która zatrzymuje argon, a przepuszcza hel. Izotop argonu ${}^{37}\text{Ar}$ rozpada się poprzez wychwyt elektronu z czasem półrozpadu 35 dni. Do wykrywania elektronów Augera z rozpadu argonu używana była komora proporcjonalna.

Tę metodę radiochemiczną Davis postanowił wykorzystać do wykrycia neutrin słonecznych. Pomimo dużego strumienia neutrin ze Słońca ogromnym utrudnieniem w ich wykrywaniu jest ich mała energia: neutrina pp , które dominują, mają energie niniejsze niż 0,4 MeV, a jedynie ułamek rzędu 10^{-4} neutrin ma energie powyżej 5 MeV. Są to tzw. neutrina borowe, pochodzące z rozpadu jądra ${}^8\text{B}$, oznaczone jako ν_e^B w łańcuchu $ppIII$. Teoria słabych oddziaływań mówi, że przekroje czynne neutrin rosną wraz z energią. Do wykrycia niskoenergetycznych neutrin potrzebne są więc większe ilości atomów chloru (tarczy). Mając już odpowiednie doświadczenie z metodą radiochemiczną, Davis zaproponował eksperyment detekcji neutrin słonecznych, wykorzystujący 615 ton czterochloroetylenu C_2Cl_4 .

Zbiornik z ciecżą umieszczony został w kopalni złota Homestake (Dakota Pd.) na głębokości 1500 m. Budowa aparatury ukończona została w 1967 r.

Pierwsze wyniki, otrzymane po 150 dniach zbierania danych (argon był ekstrahowany przy użyciu helu ze zbiornika z C_2Cl_4 co dwa miesiące), dały górne ograniczenie na strumień neutrin słonecznych 3 SNU, co było wielokrotnie mniej, niż przewidywały ówczesne obliczenia. Jednostka, tradycyjnie używana do opisu ilości reakcji wywołanych przez neutrina słoneczne, SNU (od ang. *solar neutrino unit*), odpowiada zachodzeniu jednej reakcji na sekundę na 10^{36} atomów (chloru, w przypadku eksperymentu Davisa), $1 \text{ SNU} = 10^{-36}/\text{s}$. O skali wyzwania, przed jakim stanął Davis, najlepiej świadczy ilość 17 atomów argonu, jakie co dwa miesiące należało wydobyć spośród 2×10^{30} atomów chloru w zbiorniku! Metoda radiochemiczna okazała się jednak niezwykle skuteczna. Jej kluczowym elementem była wydajność ekstrakcji argonu. Proces ten został przez Davisa bardzo szczegółowo zbadany, co umożliwiło kontrolę nad źródłami ewentualnych błędów.

Eksperyment Davisa działał nieprzerwanie w latach 1970–1994. W tym czasie w zbiorniku powstało 2200 atomów argonu, z których 1997 zostało wydobytych, a 875 zostało zliczonych w liczniku proporcjonalnym. Szacuje się, że w tej liczbie 776 atomów pochodziło od neutrin słonecznych, natomiast 109 wyprodukowanych było przez procesy tła. Produkcja argonu w zbiorniku wyniosła $0,48 \pm 0,03$ (stat.) $\pm \pm 0,03$ (syst.) atomów dziennie, co daje $2,56 \pm 0,16$ (stat.) $\pm 0,16$ (syst.) SNU. Tę wartość należy porównać z teoretycznym przewidywaniem dla eksperymentu chlorowego $8,6 \pm 1,2$ SNU. Oznacza to, że eksperyment Davisa wykrył ok. 30% obliczonego teoretycznie strumienia neutrin słonecznych.

Raymond Davis jest pionierem, którego mistrzowska sztuka znajdowania kilku atomów wśród 10^{30} dała początek nowej dziedzinie fizyki, jaką jest astrofizyka neutrinowa. Odkrył on neutrina słoneczne, ale mierzony przez niego strumień zawsze był mniejszy od przewidywanego teoretycznie. Ten wynik dał początek „problemowi neutrin słonecznych”. Neutrina słoneczne wydają się znikać po drodze ze Słońca do detektora w kopalni Homestake. Sugeruje to istnienie nowej własności neutrin – niezerowej masy spoczynkowej. Neutrina obdarzone masą mogą „oscylować” pomiędzy różnymi rodzajami, elektronowym (ν_e), muonowym (ν_μ) i taowym (ν_τ), co tłumaczyć może deficyt neutrin elektronowych w eksperymencie Davisa, który nie jest czuły na inne rodzaje neutrin. Istnienie masy neutrin wykracza poza tzw. Model Standardowy cząstek elementarnych, zatem eksperyment Davisa otwiera także nowy rozdział fizyki neutrin jako lekkich (ale nie bezmasowych) leptonów.

Pionierska działalność Davisa pociągnęła za sobą cały szereg następnych eksperymentów neutrin słonecznych, spośród których wymienić należy GALLEX, SAGE Kamiokande, Super-Kamiokande i SNO. Dwa pierwsze eksperymenty miały charakter radiochemiczny, podobnie jak eksperyment Davisa, ale ich substancją czynną był izotop galu ^{71}Ga , który w reakcji wychwytu neutrina przechodzi w ger-

man ^{71}Ge . Próg tej reakcji jest znacznie niższy, ok. 0,233 MeV, zatem eksperymenty galowe są czułe na neutrino pp (o energii poniżej 0,4 MeV). GALLEX po raz pierwszy zarejestrował te neutrino. Ich strumień okazał się także niższy prawie o połowę od przewidywań teoretycznych. Nie ma tu miejsca, aby o tych eksperymentach pisać szczegółowo (zainteresowanych czytelników odsyłam do artykułu w *Postęпах Fizyki* [1]), ale warto przynajmniej przedstawić wynik eksperymentu prowadzonego w Sudbury Neutrino Observatory (SNO) w Kanadzie, gdzie działa nowy detektor ciężkowodny, czuły na wszystkie rodzaje neutrin. Deuter, obecny w ciężkiej wodzie, może służyć do wykrycia neutrin elektronowych w reakcji $\nu_e + d \rightarrow p + p + e^-$, zachodzącej przez prąd naładowany, oraz do pomiaru całkowitego strumienia neutrin (wszystkich trzech rodzajów) w reakcji rozbitcia deuteronu na proton i neutron $\nu_i + d \rightarrow p + n + \nu_i$, $i = e, \mu, \tau$, zachodzącej przez prądy neutralne. Wyniki eksperymentu, ogłoszone w kwietniu 2002, pokazują zgodność (w granicach błędów) całkowitego strumienia neutrin docierającego do detektora SNO z przewidywaniami modeli słonecznych. Jednak tylko 1/3 neutrin to neutrino elektronowe. Pomiar SNO w pełni potwierdza wyniki eksperymentu Davisa, a jednocześnie wyjaśniają wartość strumienia neutrin słonecznych, zarejestrowanego w tym eksperymencie. Mamy po raz pierwszy tak silny dowód oscylacji neutrin, co jest w praktyce równoważne dowodowi istnienia niezerowej (choć zapewne bardzo małej) masy spoczynkowej neutrin. Dalsze badania pozwolą odpowiedzieć na pytanie, które rodzaje neutrin są masywne i jaki jest mechanizm oscylacji, a także czy istnieją inne rodzaje tych ciągle ogromnie tajemniczych cząstek (np. neutrino sterylne).

Drugi z tegorocznych laureatów, Japończyk **Masatoshi Koshi**, na początku lat osiemdziesiątych XX wieku zainicjował eksperyment Kamiokande, którego oryginalnym celem było poszukiwanie rozpadu protonu (Kamioka Nucleon Decay Experiment). Zaprojektowany przez Koshibę detektor składał się z ogromnego zbiornika, zawierającego 2140 ton bardzo czystej radiochemicznie wody, umieszczonego w kopalni Kamioka, na głębokości 1000 m. Zbiornik wody otoczony był ponad tysiącem fotopowielaczy, których zadaniem była rejestracja promieniowania Czerenkowa ewentualnych produktów rozpadu protonu. Oryginalny cel eksperymentu nie został osiągnięty, ale M. Koshi postanowił przystosować eksperyment do detekcji neutrin ze Słońca. Koshi jest pionierem w zastosowaniu do wykrywania neutrin kosmicznych wodnych detektorów Czerenkowa, których ogromną zaletą jest możliwość ustalenia kierunku nadejścia neutrina. Detektory te działają w czasie rzeczywistym, co pozwala na rejestrację każdego przypadku.

W eksperymencie Kamiokande neutrino wykrywane były przez elastyczne rozpraszanie na elektronach:

$$\nu_e + e^- \rightarrow \nu_e + e^-.$$

Elektrony, które wskutek tego rozproszenia uzyskały odpowiednio dużą energię, emitują promieniowanie Czerenkowa, wykrywane przez fotopowielacze. Minimalna energia elektronu, pozwalająca na jednoznaczny identyfikację, wynosiła 8 MeV. Eksperyment Kamiokande mógł więc wykryć tylko neutrino pochodzące z rozpadu jąder ${}^8\text{B}$. Dzięki wrażliwości na kierunek przychodzenia neutrin eksperyment Kamiokande dał ostateczny dowód, że Słońce emituje neutrino. Pomiar strumienia neutrin słonecznych wykazał deficyt w porównaniu z przewidywaniami modeli Słońca: zmierzony strumień stanowił około połowy wartości obliczonej, $\Phi_{\text{obs}}/\Phi_{\text{obl}} = 0,46 \pm 0,13$ (stat.) $\pm 0,08$ (syst.). Wielkość deficytu zmierzona przez Kamiokande jest inna niż w eksperymencie Davisa – co można interpretować jako argument za zależnością energetyczną mechanizmu oscylacji neutrin, jak np. w modelu Mikheeva i Smirnowa.

Eksperyment Kamiokande odegrał przełomową rolę w innej dziedzinie astrofizyki: po raz pierwszy wykrył neutrino pochodzące z wybuchu supernowej. Supernowa SN1987A pojawiła się w Wielkim Obłoku Magellana 23 lutego 1987 r. W tym dniu o godz. 7:35:35 UT detektor Kamiokande zarejestrował błysk neutrinowy, trwający ok. 20 s i składający się z 12 neutrin, które dotarły do detektora ok. 3 godz. przed pojawieniem się na niebie optycznej supernowej. Obserwacja neutrin potwierdziła teorię wybuchu supernowej typu II, która jest wynikiem grawitacyjnego zapadnięcia się rdzenia wypalanej termojądrowej gwiazdy. Rdzeń taki, zbudowany głównie z jąder żelaza ${}^{56}\text{Fe}$, po przekroczeniu granicznej masy Chandrasekhara traci stabilność i zapada się w ułamku sekundy do gwiazdy neutronowej. Uwolniona energia grawitacyjna wypromieniowana jest głównie w postaci neutrin, które unoszą w krótkim czasie energię 10^{53} ergów. Neutrino powstają głównie podczas neutronizacji materii oraz stygnięcia gorącej protogwiazdy neutronowej. Neutronizacja następuje przez reakcję odwrotną do rozpadu β neutronu, $e^- + p \rightarrow n + \nu_e$. Reakcja ta zachodzi, gdy potencjał chemiczny elektronów spełnia warunek $\mu_e > (m_n - m_p)c^2$, co ma miejsce w czasie kolapsu, gdy potencjał chemiczny elektronów szybko rośnie wskutek wzrostu gęstości materii, $\mu_e \sim \rho^{5/3}$. Utworzony po zahamowaniu kolapsu obiekt, zwany protogwiazdą neutronową, stygnie przez emisję par neutrino-antyneutrino. Modele teoretyczne przewidują, że średnia energia neutrin wynosi ok. 10–20 MeV. Energie neutrin, zarejestrowane przez detektor Kamiokande, są zgodne z tymi przewidywaniami.

Koshiba był inicjatorem budowy eksperymentu Super-Kamiokande, w którym masa wody została powiększona do 50000 ton, a liczba fotopowielaczy do 10 000. Eksperyment ten ruszył w 1996 r. i szybko przyniósł pierwsze wyniki wskazujące na oscylacje neutrin [2], a także dostarczył szczegółowych informacji o neutrinach słonecznych [2]. W listopadzie 2001 r. nastąpił wypadek wywołany implozją jednego z fotopowielaczy, który spowodował duże straty, i obecnie eksperyment Super-

-Kamiokande jest nieczynny. Informacje o tym eksperymencie można znaleźć na stronie internetowej [2].

Astrofizyka rentgenowska

Riccardo Giacconi został nagrodzony za pionierski wkład w rozwój astrofizyki rentgenowskiej, która pozwala nam obecnie widzieć obraz Wszechświata w świetle rentgenowskim. Dzięki teleskopom rentgenowskim i detektorom CCD możemy w sensie dosłownym oglądać niebo w tym niewidzialnym dla oka zakresie energii fotonów [3]. Ta gałąź astrofizyki powstała dopiero pół wieku po odkryciu przez Röntgena promieniowania nazwanego jego imieniem – za to odkrycie Wilhelm Röntgen otrzymał pierwszą Nagrodę Nobla z fizyki w 1901 r. Głównym powodem późnego początku astronomii rentgenowskiej było zupełne pochłanianie promieniowania rentgenowskiego przez atmosferę ziemską.

Możliwość badań astronomicznych w tym obszarze widma promieniowania elektromagnetycznego pojawiła się dla naukowców po II wojnie światowej, gdy niemieckie rakiety V2 zostały przewiezione do USA. Za początek ery astrofizyki rentgenowskiej należy uznać rok 1949, kiedy to Herbert Friedman z laboratorium badawczego marynarki USA (NRL – Naval Research Laboratory) odkrył promieniowanie rentgenowskie Słońca, wysyłając licznik Geigera na pokładzie rakiety ponad gęste warstwy atmosfery. Promieniowanie to pochodzi z korony słonecznej, która ma temperaturę kilku milionów kelwinów, oraz z obszarów plam słonecznych i erupcji na powierzchni Słońca. Wydawało się wówczas, że szanse na badanie innych gwiazd są niewielkie, gdyż czułość detektorów musiałaby być 100 razy większa, aby wykryć promieniowanie rentgenowskie najbliższej gwiazdy (gdymy było takie jak Słońca).

Poważnym problemem były także początkowe trudności w uzyskaniu informacji o kierunku promieniowania rentgenowskiego. Dopiero w latach dwudziestych XX wieku pokazano, że promieniowanie rentgenowskie ulega załamaniu oraz że przy bardzo małym kącie padania następuje całkowite wewnętrzne odbicie. Odkrycie to pozwoliło na skonstruowanie rentgenowskiej optyki obrazującej, po raz pierwszy zastosowanej w mikroskopie rentgenowskim w latach pięćdziesiątych.

W 1959 r. Riccardo Giacconi został zatrudniony w firmie American Science and Engineering, współpracującej z NASA, w której prezesem był Bruno Rossi, fizyk promieni kosmicznych ze słynnej uczelni Massachusetts Institute of Technology (MIT) w Bostonie. Zainspirowani mikroskopem rentgenowskim Giacconi wraz z Rossim opracowali wówczas zasady budowy teleskopu rentgenowskiego. Ich projekt systemu optycznego zawierał układ współosiowych parabolicznych zwierciadeł, które skupiałyby wiązkę równoległych promieni rentgenowskich dzięki całkowitemu odbiciu promieni padających prawie równoległe do powierzchni zwierciadła (używany tu ang. termin *grazing reflection* dosłownie oznacza „mus-

kające odbicie”). Idea ta została w kilka lat później wypróbowana w praktyce przez Giacconiego i jego zespół. Jednak pierwsze eksperymenty raketowe, mające na celu wykrycie fluorescencji rentgenowskiej Księżyca wywołanej przez promienie rentgenowskie ze Słońca, zespół Giacconiego wykonał w 1962 r. przy użyciu trzech liczników Geigera wystrzelonych na pokładzie rakiety Aerobee. Promieniowania Księżyca nie udało się wykryć, ale odkryto niespodziewanie bardzo silne źródło położone znacznie dalej, dające zliczenia 100 fotonów/s. Obiekt ten nazwano później Scorpius X-1. Wkrótce Giacconi i współpracownicy odkryli kilka innych źródeł, m.in. trzy źródła w gwiazdozbiornie Łabędzia (Cygnus), Cyg X-1, X-2, X-3, a jednym z nich była mgławica w Krabie, będąca pozostałością po supernowej z 1054 r.

Perspektywy odkrycia źródeł rentgenowskich poza Układem Słonecznym oceniane były pesymistycznie, na podstawie oceny termicznej emisji rentgenowskiej znanych rodzajów gwiazd, która jest znacznie mniejsza od emisji optycznej. Odkrycia dokonane przez Giacconiego pokazały, że obiekty takie, jak Sco X-1 (zidentyfikowany z gwiazdą 13. wielkości), emitujące tysiące razy więcej energii w zakresie rentgenowskim niż w świetle widzialnym, stanowią całkiem nowy i nieznan dotąd rodzaj źródeł. Mgławica Krab okazała się być 10 mld razy silniejszym źródłem rentgenowskim niż Słońce. W ciągu następnych kilku lat zespół Giacconiego i grupa Friedmana z NRL odkryły łącznie ok. 50 źródeł za pomocą eksperymentów raketowych i balonowych (w tym grupa z NRL odkryła pierwsze źródło pozagalaktyczne w galaktyce M67 oraz pulsujące promieniowanie rentgenowskie z pulsara w Krabie o tej samej częstotliwości co pulsy optyczne i radiowe, 30 Hz).

Dla uzyskania dłuższych czasów obserwacji, niż było to możliwe w eksperymentach raketowych, trwających po kilka minut, Giacconi zainicjował w 1963 r. budowę pierwszego satelity rentgenowskiego, UHURU, który został wystrzelony w 1970 z Kenii (*uhuru* w języku swahili to wolność). Satelita ten był wyposażony w dwa zestawy czułych liczników proporcjonalnych. Wykonał on pierwszy rentgenowski przegląd nieba z czułością 1/1000 natężenia promieniowania z mgławicy Kraba. Liczba źródeł szybko przekroczyła 300, a zaskoczeniem była nieoczekiwanie duża liczba gwiazd podwójnych ze zwartymi towarzyszami, takich jak Centaurus X-1. Obiekt ten jest gwiazdą neutronową na orbicie wokół gorącego nadolbrzyma. Gwiazda neutronowa ściąga materię z olbrzyma, która zanim na nią spadnie tworzy dysk akrecyjny. Promieniowanie rentgenowskie generowane jest przez gorącą materię wirującą w dysku oraz hamującą na powierzchni gwiazdy neutronowej. Źródło Sco X-1 okazało się być podobnym układem podwójnym. Słynne źródło Cyg X-1 było pierwszym kandydatem na układ podwójny zawierający czarną dziurę o masie kilku mas Słońca. Niestety, fakt, że towarzyszem hipotetycznej czarnej dziury jest w tym przypadku masywny nadolbrzym, powoduje duży błąd w wyznaczeniu jej masy.

Wkrótce nastąpiła prawdziwa eksplozja obserwacji rentgenowskich. Różne konsorcja naukowe wybudowały i umieściły na orbicie dziewięć nowych satelitów. Dostarczyły one wielu interesujących obserwacji. Ważnym wynikiem było odkrycie rozbłysków rentgenowskich, wskazujących na zachodzenie wybuchów termojądrowych na powierzchni gwiazd neutronowych, a także zaobserwowanie szybkich zmian strumienia rentgenowskiego z radiogalaktyki Centaurus A, świadczącego o tym, że emisja rentgenowska pochodzi z zadziwiająco małych obszarów w centrum galaktyki.

Pierwszy teleskop rentgenowski o rozdzielczości 2 sekund łuku został umieszczony na orbicie na pokładzie satelity HEAO-2, nazwanego po starcie „Einstein X-ray Observatory”. Teleskop został zaprojektowany i wykonany pod kierunkiem Giacconiego – projekt ten był zatwierdzony przez NASA w 1965 r., ale udało się go zrealizować dopiero w 1978 r., kiedy to satelita „Einstein” został wystrzelony. Na jego pokładzie oprócz teleskopu z wydajnymi kamerami znajdowały się czułe spektrometry o dużej rozdzielczości widmowej. Misja Obserwatorium „Einstein” okazała się wielkim sukcesem. Czułość instrumentów była 1000 razy wyższa niż na pokładzie satelity UHURU. Zespół Giacconiego mógł obserwować źródła milion razy słabsze niż Sco X-1. Obserwatorium „Einstein” dostarczyło mnóstwo wyników dla zespołu Giacconiego, a także wykonywało obserwacje na zamówienie innych astronomów, którym w drodze konkursu przyznano czas obserwacyjny. Po raz pierwszy zbadano słabe źródła promieniowania rentgenowskiego, takie jak atmosfery zwykłych gwiazd. Duża zdolność rozdzielcza pozwoliła na wykonanie map obiektów rozciągniętych, takich jak pozostałości po supernowych. Widma rentgenowskie tych obiektów pokazały, że są one wzbogacone o cięższe pierwiastki, wytworzone przez eksplodujące gwiazdy. Wśród odkryć wymienić należy strumienie rentgenowskie z aktywnych jąder sąsiednich galaktyk radiowych i promieniowanie rentgenowskie kwazarów.

Zanim jeszcze Obserwatorium „Einstein” znalazło się na orbicie, w 1976 r. Giacconi i H. Tananbaum zgłosili do NASA projekt nowego teleskopu rentgenowskiego AXAF (Advanced X-ray Astronomical Facility). Teleskop ten miał być dalszym ulepszeniem modelu z „Einsteina”, o rozdzielczości pół sekundy łuku, podobnej do optycznych teleskopów. Czułość miała być znacznie większa, posiadać miał on układ kamer z detektorami CCD i czułe spektrometry. Teleskop został – po wieloletnich opóźnieniach – wyniesiony na orbitę w lipcu 1999 r. i ochrzczony imieniem Chandra (ku czci S. Chandrasekhara). Chandra dostarczył już wiele bardzo cennych wyników [3]. Także europejski orbitalny teleskop rentgenowski XMM-Newton dostarcza nowe dane od dwu lat. Oba urządzenia to obserwatoria rentgenowskie nowej generacji o niespotykanych wcześniej możliwościach.

Astrofizyka rentgenowska zmieniła zasadniczo nasze poglądy na temat Wszechświata. Satelity rentgenowskie odkryły nowe klasy obiektów, w których zachodzą gwałtowne zjawiska o bardzo dużych energiach, z istnienia których wcześniej nie

zdawaliśmy sobie sprawy. Ich własności wskazują na obecność zwartych obiektów, gwiazd neutronowych i/lub czarnych dziur, posiadających ekstremalnie silne pola grawitacyjne i magnetyczne. Odkryto istnienie plazmy o temperaturze rzędu setek milionów kelwinów. Dziś obserwacje rentgenowskie są podstawową metodą badań fizyki gwiazd neutronowych, czarnych dziur i gorącego gazu międzygalaktycznego. Znalaziono tysiące źródeł promieniowania rentgenowskiego, w tym bardzo egzotyczne układy podwójne, takie jak „burstery” rentgenowskie, czy nowe rentgenowskie, będące kandydatkami na czarne dziury. Obserwacje rentgenowskie dają coraz jaśniejszy obraz dynamiki aktywnych jąder galaktyk jako obiektów zdominowanych przez supermasywne czarne dziury. W zakresie rentgenowskim udało się zaobserwować także gromady galaktyk – 300 z nich odkrył satelita „Einstein”. Obecnie obserwacje te stanowią najlepszą ewidencję obecności ciemnej materii.

W obszernym uzasadnieniu werdyktu Szwedzka Akademia Nauk wymienia trzech uczonych, którzy wnieśli największy wkład do powstania i rozwoju astrofizyki rentgenowskiej. Są to Herbert Friedman i Riccardo Giacconi, a także Bruno Rossi, którzy byli twórcami metod i instrumentów do obserwacji promieniowania rentgenowskiego z kosmosu zastosowanych przez nich samych i rzesze ich następców do lepszego poznania Wszechświata, co zaowocowało bardzo wieloma odkryciami. Friedman i Rossi już nie żyją. Giacconi, inicjator budowy pierwszego satelity rentgenowskiego i pierwszego teleskopu rentgenowskiego, otrzymuje nagrodę także w imieniu pozostałych „ojców założycieli” tej dziedziny astrofizyki.

Przygotowując ten artykuł, autor wykorzystał materiały udostępnione przez Szwedzką Królewską Akademię Nauk [4].

Referencje:

- [1] M. Wójcik, M. Misiaszek i G. Zuzel, *Postępy Fizyki*, 2002, w druku
- [2] <http://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/icepp-e.html>
- <http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/doc/sk>
- [3] <http://chandra.harvard.edu>
- [4] <http://www.nobel.se/physics/laureates/2002/index.html>

Redakcja poleca:

K. Fiałkowski, „Nagroda Nobla 2002”, *Foton* 79, 2002



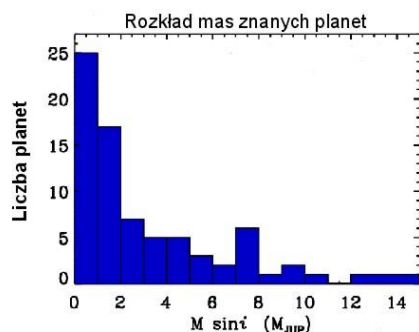
Planety poza Układem Słonecznym

Tomasz Lanczewski

Student fizyki UJ

W roku 1992 miało miejsce odkrycie, które wprawilo w zdumienie nie tylko astronomów: Aleksander Wolszczan i Dale A. Frail ogłosili zaobserwowanie pierwszego pozasłonecznego układu planetarnego wokół pulsara PSR 1257+12. Choć wcześniej pojawiały się sygnały dotyczące istnienia planet wokół pulsarów (np. praca Demiańskiego i Prószyńskiego z 1979 roku), to jednak dopiero Wolszczan i Frail wykazali bezsprzecznie, że pulsar PSR 1257+12 posiada 4 obiegające go obiekty o masach charakterystycznych dla planet¹. Kolejny przełomowy moment w badaniach nad innymi systemami planetarnymi nadszedł w październiku roku 1995, kiedy to Michel Mayor i Didier Queloz z Obserwatorium Genewskiego donieśli o zaobserwowaniu planety okrążającej gwiazdę 51 Pegasi. Okazało się, że planeta ma masę porównywalną z Jowiszem, a krąży w odległości zaledwie 0,051 jednostki astronomicznej AU (czyli odległości Ziemia–Słońce) od macierzystej gwiazdy. Według obowiązującej teorii planetogenezy było to niemożliwe.

Zainteresowanie badaniami nad innymi układami planetarnymi zaowocowało lawiną nowych odkryć. Dzięki opracowaniu nowych technik zwiększających dokładność pomiarów można wyszukiwać obiekty o coraz mniejszych masach. Obecnie znamy ponad 100 planet okrążających gwiazdy i pulsary, a ich lista szybko się powiększa².



Rys. 1. Wykres przedstawiający liczbę odkrytych planet i ich masy (w masach Jowisza)

¹ Choć najnowsze badania zdają się podawać w wątpliwość istnienie co najmniej jednej z tych planet, to fakt ten w żadnym wypadku nie umniejsza rangi odkrycia Wolszczana i Fraila.

² Aktualną listę planet może Czytelnik znaleźć na podanej niżej stronie WWW.

Jakimi technikami dysponujemy?

Generalnie astronomowie dysponują czterema metodami poszukiwania planet. Są to:

- Pomiar zaburzenia ruchu gwiazdy przez oddziaływanie z planetą – kołysania gwiazdy.
- Mikrosoczewkowanie grawitacyjne.
- Rejestracja przejścia planety przed tarczą gwiazdy – zaćmienia.
- Bezpośrednia obserwacja.

Najwcześniejszych pomiarów dokonano przy użyciu pierwszej z powyższych metod i nadal pozostaje ona tą, dzięki której odkrywa się najwięcej planet. Związane jest to z faktem, że stanowi ona najdokładniejszy miernik zaburzeń w ruchu gwiazdy, powodowanych przez obiegającą ją planetę (lub planety). Jednakże silne zainteresowanie ostatnimi laty metodą soczewkowania grawitacyjnego pozwala na niej upatrywać dużej konkurencji.

Kołysanie

W układzie planeta–gwiazda żadna z nich nie jest nieruchoma, lecz obie poruszają się wokół wspólnego środka masy. Dla przykładu – Jowisz wywołuje ruch orbitalny Słońca z prędkością 12 m/s. Taka prędkość jest wykrywalna za pomocą przesunięcia dopplerowskiego w widmie gwiazdy. Dzięki najnowszym technikom możemy wykrywać prędkości rzędu 3 m/s [1]! Nie stanowi zatem problemu znajdowanie planet o masie Jowisza. Niestety, planety o masach Ziemi pozostają na razie poza zasięgiem tej metody.

Zasada pomiaru opiera się na efekcie Dopplera. Linie widmowe gwiazdy poruszającej się w naszym kierunku są przesunięte w kierunku fioletu; z kolei gdy gwiazda się od nas oddala, rejestrujemy przesunięcie widma ku czerwieni. Znając przesunięcie, możemy znaleźć prędkość, z jaką gwiazda porusza się względem nas.

III prawo Keplera daje związek pomiędzy okresem obiegu T planety i dużą półosią jej orbity a :

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{GM_{Star}} a^3,$$

gdzie M_{Star} jest masą gwiazdy znaną z analizy widma. Stąd możemy znaleźć prędkość planety:

$$V_{Pl} = \sqrt{\frac{GM_{Star}}{a}}.$$

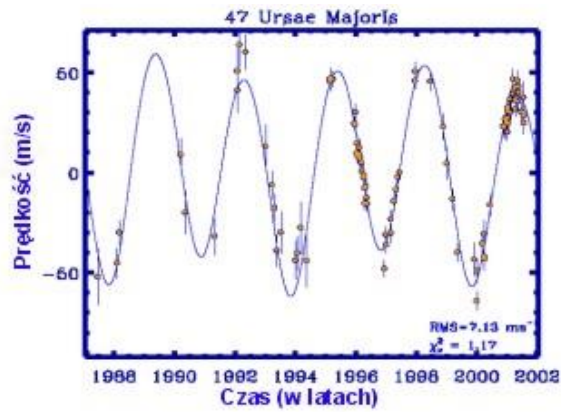
Z obserwacji znamy półamplitudę K krzywej zmian prędkości radialnej, która wiąże się z prędkością orbitalną gwiazdy wzorem:

$$K = V_{Star} \sin i,$$

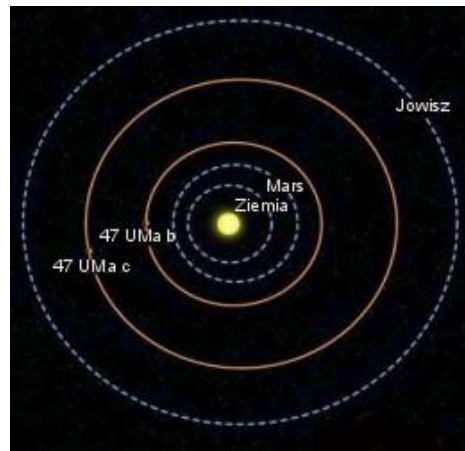
gdzie i jest kątem nachylenia osi orbity do prostej łączącej gwiazdę z obserwatorem. Z zasady zachowania pędu:

$$M_{Pl} = \frac{M_{Star} V_{Star}}{V_{Pl}} = \frac{M_{Star} K}{V_{Pl} \sin i},$$

co pozwala wyliczyć wartość $M_{Pl} \sin i$, która jest dolnym oszacowaniem masy planety.



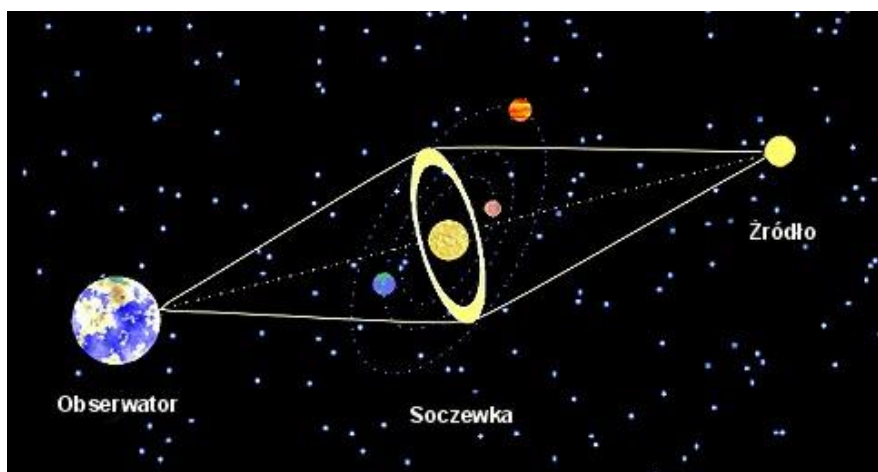
Rys. 2. Wykres zmian prędkości radialnej gwiazdy 47 UMa (Wielka Niedźwiedzica)...



Rys. 3. ...i prawdopodobny kształt orbit dwóch jej planet, przedstawionych dla porównania na tle Układu Słonecznego

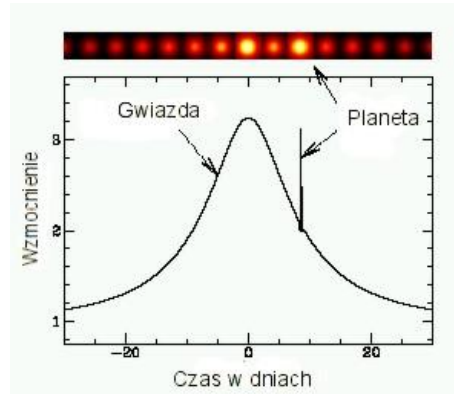
Mikrosoczewkowanie grawitacyjne

Ogólna Teoria Względności przewiduje, że światło, przebiegając blisko ciała o dużej masie, ulegnie zakrzywieniu w jego polu grawitacyjnym. Przy odpowiednim ustawieniu względem siebie dalekiego źródła światła (np. kwazara) i układu gwiazda–planeta, ten ostatni staje się soczewką grawitacyjną. Z kolei obecność planety i jej ruch orbitalny wpływa na modulację tego efektu, czyli na wzrost lub spadek natężenia światła pochodzącego od źródła.



Rys. 4. Rysunek przedstawiający zasadę, na jakiej opada się mikrosoczewkowanie. Światło biegnące od źródła do obserwatora jest zakrzywiane w polu grawitacyjnym gwiazdy-soczewki. Planety krążące wokół gwiazdy mogą dodatkowo zwiększyć ten efekt

Prawdopodobieństwo wystąpienia takiego efektu jest bardzo niskie (10^{-6}), zatem mikrosoczewkowanie może być użyteczną metodą wykrywania planet jedynie w przypadku gwiazd znajdujących się blisko centrum naszej galaktyki. Na tej właśnie metodzie bazuje polski eksperyment OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment). Zaproponowany przez Bohdana Paczyńskiego i rozpoczęty w 1992 roku, ma na celu ciągłe monitorowanie 170 milionów gwiazd za pomocą teleskopu 1,3 m, znajdującego się w Chile, a należącego do Uniwersytetu Warszawskiego. W wyniku tych pomiarów znaleziono kilkadziesiąt przypadków zmian jasności źródła, których jedną z przyczyn może być obecność planety krążącej wokół soczewkującej gwiazdy.



Rys. 5. Krótkotrwałe wzmocnienie obrazu soczewkowanego obiektu tłumaczy się obecnością planety okrążającej gwiazdę-soczewkę

Zaćmienia

Planeta może spowodować zmniejszenie strumienia światła pochodzącego od gwiazdy, kiedy znajdzie się pomiędzy obserwatorem a gwiazdą. Wykrycie takiego zaćmienia w krzywej jasności gwiazdy wymaga spełnienia trzech warunków:

1. Płaszczyzna orbitalna planety musi być odpowiednio zorientowana; innymi słowy, planeta musi przejść przed tarczą gwiazdy obserwowanej przez teleskop. Dla Jowisza obiegającego gwiazdę o masie Słońca prawdopodobieństwo przejścia wynosi 10^{-3} . Oczywiście, aby otrzymać jakiegokolwiek dane z obserwacji tego zjawiska, należy monitorować gwiazdę przez cały okres orbitalny planety, co powoduje, że ta metoda staje się skrajnie niewydajna w przypadku dużych orbit.

2. Czas trwania zaćmienia, dany wzorem $D_T = \frac{T}{\pi} \frac{R_{Star}}{a}$, musi być odpowiednio długi. Dla Jowisza wynosi on 25 godzin. Oznaczenia:

T – okres obiegu planety wokół gwiazdy

a – promień orbitalny planety

R_{Star} – promień gwiazdy

3. Głębokość przejścia, czyli zmiana jasności gwiazdy $\Delta F/F = (R_{pl}/R_{Star})^2$, musi być dostatecznie duża, aby zaćmienie mogło zostać zarejestrowane. Dla planety o masie Jowisza jasność gwiazdy zmieni się o 1%. Obserwacje naziemne mogą w najlepszym przypadku zarejestrować zmiany o wartość 0,1%.

F – jasność gwiazdy

R_{pl} – promień planety

Bezpośrednie obserwacje

Oczywiste jest, że bezpośrednie obserwacje innych planet byłyby najbardziej spektakularnym dowodem ich istnienia i z tego względu wzbudzają najwięcej emocji i zainteresowania. Tylko dzięki tej metodzie możemy otrzymać bezpośredni dowód istnienia planety – jej zdjęcia.

Planety na ogół emitują promieniowanie w zakresie widzialnym, lecz jego ilość jest znikomo mała w porównaniu do promieniowania gwiazdy. Możemy jedynie wykrywać światło gwiazdy odbite od powierzchni planety. Niestety, stosunek jasności obu obiektów jest bardzo mały. Na przykład dla Jowisza i Słońca stosunek ten wynosi $2,5 \times 10^{-9}$. Aby móc zarejestrować obraz planety, należałoby ustawiać czas ekspozycji rzędu 1 miesiąca, która to wartość wydaje się być absolutnie nierealna. Dlatego, aby ominąć przeszkody, stosuje się inne techniki:

1. Optyka adaptacyjna

Możemy modyfikować powierzchnię zwierciadła wtórnego teleskopu w taki sposób, aby światło gwiazdy dochodzące z różnych części zwierciadła ulegało wygaszeniu (lub osłabieniu). Dzięki temu będziemy mogli zarejestrować obraz planety.

2. Metoda „ciemnych plamek”

Zamiast deformować powierzchnię zwierciadła, możemy skorzystać z turbulencji atmosferycznych. Powodują one zmiany drogi optycznej o różne wartości. Planeta może być obserwowana w bardzo krótkich ekspozycjach, kiedy światło gwiazdy jest wygaszane w miejscu, gdzie znajduje się planeta.

3. Zerowanie

Mając dwa teleskopy oddalone od siebie o odległość d , nakładamy w płaszczyźnie ogniskowej pochodzące od nich światło. Jeżeli teraz jeden z teleskopów podłączymy do urządzenia, które opóźni falę o pół długości, to poprzez odpowiednie ustawienie teleskopów możemy „wyzerować” światło gwiazdy, natomiast obraz planety pozostanie.

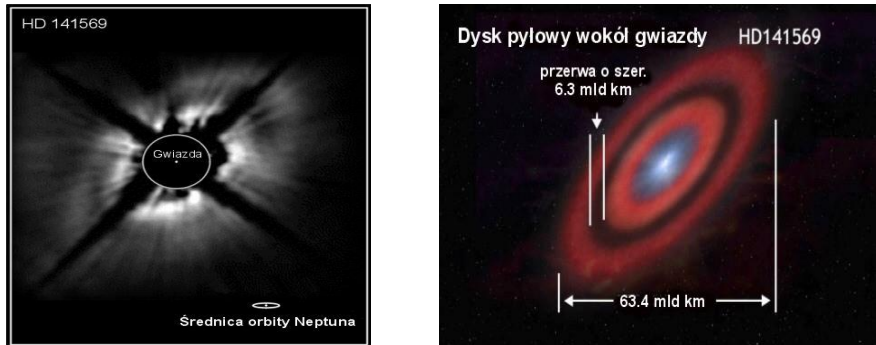
4. Koronografia

Jest to metoda działająca na tej samej zasadzie co koronografia słoneczna. Korzystamy w niej z urządzenia zwanego koronografem, które bezpośrednio zasłania światło pochodzące od gwiazdy, pozwalając na obserwację planety.

Obecny stan technik obserwacyjnych nie pozwala na bezpośrednie wykrywanie planet. Umożliwia jedynie obserwację dysków protoplanetarnych, za to w szerokim zakresie widmowym. Na początku 1999 roku NASA opublikowała galerię zdjęć z Kosmicznego Teleskopu Hubble’a dysków protoplanetarnych w zakresie widzialnym i podczerwieni. Dyski obserwowane w podczerwieni towarzyszą obiektom bardzo młodym i mają rozmiary ok. 1000 AU, natomiast obserwowane

w zakresie widzialnym towarzyszą obiektom nieco starszym i mają średnicę nie większą niż 500 AU.

Tego typu obserwacje dowodzą, że nowo powstające gwiazdy są otoczone dyskami, których masy i rozmiary maleją z upływem czasu. Może to sugerować trwającą w dyskach planetogenezę.



Rys. 6. Dysk pyłowy wokół gwiazdy HD141569. Po lewej zdjęcie z teleskopu Hubble'a, po prawej wizja artystyczna. O obecności planet świadczyć może dobrze widoczna przerwa w dysku, spowodowana „wymieceniem” materii przez tworzące się planety

Co przyniosły obserwacje?

Otrzymane wyniki prowadzą do jednego głównego wniosku: około 5% gwiazd ciągu głównego posiada planety-giganty w odległości mniejszej niż 4–5 AU.

1. Pierwsze planety zostały odkryte wokół pulsara PSR 1257+12. Nie jest jasne, jak doszło do ich uformowania: czy przetrwały wybuch supernowej, czy też powstały z popiołów po wybuchu?
2. Dla gwiazd ciągu głównego o masach $0,1-1 M_{\text{Sun}}$ teoria planetogenezy przewidywała obecność planet-olbrzymów w odległościach 4–5 AU. Jest to odległość, w której temperatura spada poniżej 160 K, co pozwala na formowanie lodowych jąder tych planet. Dlatego olbrzymim zaskoczeniem było znalezienie tych planet w odległości nawet 0,05 AU. Próbą wyjaśnienia tego faktu jest teoria orbitalnej migracji, która dopuszcza w pewnych warunkach przesuwanie się orbit planet w kierunku gwiazdy.
3. Znaczna liczba planet krąży po orbitach o dużym mimośrodzie. Podejrzewa się, że nie mogły powstać w obłoku pyłowym, gdyż oddziaływanie z pyłem cyrkularyzuje orbitę. Bardziej prawdopodobne jest, że powstały w sposób podobny do gwiazd o małych masach, tj. poprzez grawitacyjną kondensację gazu, bez stałego jądra.

Scenariusz na przyszłość

Przyszłe badania zapewne będą się koncentrować wokół następujących zagadnień:

- Osiągnięcie precyzji 1–2 m/s w badaniach przesunięć dopplerowskich widma (prawdopodobnie wyłącznie dla tego programu zostanie udostępniony teleskop 3,6 m w La Silla, Chile).
- Dwa projekty (w stadium realizacji) ciągłego przeszukiwania nieba w celu wykrywania zaćmień – COROT i KEPLER.
- Ominięcie trudności wykrywania samych planet poprzez obserwacje takich obiektów, jak pierścienie, księżyce, atmosfery, magnetosfery, komety.
- Poszukiwanie życia w innych układach planetarnych poprzez wykrywanie linii absorpcyjnych tlenu i ozonu na długościach fali odpowiednio 760 nm i 9600 nm oraz detekcję chlorofilu.

Badanie innych układów planetarnych pozwoli zrozumieć nam, w jaki sposób powstają układy planetarne i jak ewoluują. Zapewne też w dużym stopniu przybliży nas do uzyskania odpowiedzi na pytanie: Czy jesteśmy sami we Wszechświecie?

Literatura:

- [1] R.P. Butler, G.W. Marcy, *Attaining Doppler Precision of 3 m/s*, Astron. Soc.Pacific, 108, 500
- [2] J. Schneider, *The Study of Extrasolar Planets*, C.R. Acad. Sci. Paris t. 327, s. 621, 1999
- [3] M. Różyczka, „Pozasłoneczne układy planetarne”, *Urania* 1/2000
- [4] <http://www.exoplanets.org>



Dlaczego ludzie latają w Kosmos?

*Paweł F. Góra
Instytut Fizyki UJ*

Ostatnia katastrofa promu Columbia i śmierć całej siedmioosobowej załogi ponownie stawiają pytanie o sens załogowych lotów kosmicznych.

Nikt rozsądny nie neguje pożytków – i tych praktycznych, i tych ściśle naukowych – płynących z lotów kosmicznych. Telewizja i telefonia satelitarna, system GPS, znacznie dokładniejsze przewidywanie pogody dzięki satelitom meteorologicznym, dane wywiadowcze uzyskiwane dzięki satelitom szpiegowskich – dziś trudno wprost wyobrazić sobie współczesną cywilizację bez tego wszystkiego. Kosmiczne teleskopy Hubble i Chandra dostarczają fascynujących zdjęć odległych gwiazd i galaktyk, sondy Voyager 1 i Voyager 2 niebywale pogłębiły naszą wiedzę o planetach-olbrzymach i ich zdumiewających księżycach. Takie niekwestionowane przykłady udanych misji kosmicznych można mnożyć, wszystkie one jednak dotyczą lotów *bezzałogowych*.

Cóż zatem dały loty ludzi w przestrzeń kosmiczną? Przede wszystkim przyniosły olbrzymi, choć niemierzalny ani w rublach, ani w dolarach, efekt psychologiczny. Jurij Gagarin i Alan Shepard byli w swoich krajach bohaterami narodowymi. Zdjęcia Ziemi widzianej z Kosmosu były dla wielu osób prawdziwym wstrząsem: nasza podzielona, targana konfliktami Ziemia jest jedna, niepodzielna, wspólna, majestatyczna, a zarazem krucha. (Jak powiedział był jeden z członków misji Apollo 10, która okrążając Księżyc, wykonała słynne zdjęcie wschodu Ziemi nad Księżycem, „wysłano nas w Kosmos, żebyśmy oglądali Księżyc, ale najważniejsze coś zobaczyli, to była Ziemia”.) „Mały krok człowieka, wielki krok ludzkości”, czyli lądowanie ludzi na Księżycu, był olbrzymim tryumfem Stanów Zjednoczonych w zimnowojennym współzawodnictwie ze Związkiem Radzieckim.

Obecnie program lotów załogowych sprowadza się do orbitalnych lotów amerykańskich promów kosmicznych (po utracie Columbi i Challengeera pozostają trzy: Discovery, Atlantis i Endeavour) oraz lotów na Międzynarodową Stację Kosmiczną (International Space Station, ISS), realizowanych tak przy użyciu amerykańskich promów, jak i rosyjskich statków Sojuz. (Chiny zapowiadają swój pierwszy lot załogowy w ciągu najbliższych kilku-kilkunastu miesięcy.) I w czasie lotów wahadłowców, i w czasie pobytów ludzi na ISS realizowane są rozliczne eksperymenty z wielu dziedzin nauki, od fizyki poczynając, na naukach biomedycznych kończąc. I choć wyniki tych eksperymentów są bardzo ciekawe, a niektórych nie dałoby się zapewne przeprowadzić bez udziału załóg ludzkich, należy się zgodzić, iż część z tych eksperymentów można by przeprowadzić w sondach

bezzałogowych, że ich praktyczne zastosowania są wciąż niewielkie, nakłady zaś nieproporcjonalnie wysokie w stosunku do wyników (jeden lot wahadłowca kosztuje, wraz z poprzedzającymi go przygotowaniem, około 500 milionów dolarów, przy czym nie wliczam w to ani kosztów budowy promu kosmicznego, ani kosztów samej aparatury naukowej). Podkreślam, iż piszę tu o eksperymentach przeprowadzanych bezpośrednio w czasie załogowych lotów kosmicznych.

Trzeba bowiem pamiętać, iż technologia kosmiczna przyniosła wielkie korzyści w całkiem ziemskich dziedzinach gospodarki. Loty załogowe muszą, poza samym pokonaniem ziemskiej grawitacji, zapewnić bezpieczny start, przetrwanie i powrót ludzi na Ziemię, przy czym załogowcy należy zapewnić co najmniej znośne warunki pracy. Ich przeprowadzenie wymagało wobec tego rozwiązania wielu szczegółowych problemów, znacznie więcej, niż było to konieczne przy planowaniu lotów bezzałogowych. Powiedzmy, trzeba wymyślić efektywną osłonę termiczną, substancję odporną na uderzenia mikrometeoroidów, lekki, ale zarazem ciepły kombinezon i mocne, ale bardzo łatwe do zapięcia i odpięcia zamki tegoż kombinezonu. Tak właśnie powstał teflon, którym dziś pokrywane są patelnie, kevlar, służący dziś do wyrobu kamizelek kuloodpornych dla policji i wojska, polar, z którego szyjemy dziś bluzy i kurtki, oraz zapięcia „rzepy”. To tylko cztery najlepiej znane przykłady, ale podobnych zastosowań jest o wiele więcej. Na potrzeby załogowych lotów kosmicznych, w tym zwłaszcza lotów wahadłowców, opracowano nowe systemy awioniki, nawigacji i komunikacji, które dziś stosowane są w lotnictwie wojskowym i cywilnym. Szacuje się, iż zyski osiągnięte dzięki zastosowaniu technologii „kosmicznych” w ziemskiej gospodarce wielokrotnie przewyższyły nakłady poniesione na opracowanie tych technologii.

Sceptyk powie zapewne, iż wszystkich tych wynalazków można było dokonać bez udawania się w Kosmos, przecież odpowiednie badania prowadzono na Ziemi. Po co zatem było marnować następne miliardy dolarów na wysyłanie ludzi w Kosmos i ryzykować życie tych ludzi, skoro same loty nie były tak bardzo potrzebne? Zgoda, wynalazki te potencjalnie można było zrobić bez planowania żadnych lotów, ale jest wątpliwe czy w istocie tak by się stało. Trzeba bowiem pamiętać, że wielki wysiłek intelektualny, finansowy i organizacyjny, jaki był potrzebny dla dokonania tych wynalazków, był możliwy tylko dlatego, że istniał cel – podbój Kosmosu poprzez loty załogowe – któremu poświęciły się tak agendy rządowe, jak i firmy prywatne i indywidualni badacze. Wielki cel i wynikająca z niego silna motywacja, powodowana dodatkowo już to względami patriotycznymi, już to ambicjonalnymi i dopiero na końcu czysto komercyjnymi. To potrzeba jest matką wynalazków, więc jeśli jakaś rzecz nie jest potrzebna, być może nigdy nie zostanie wynaleziona. Lub zostanie wynaleziona znacznie później. Trzeba było znaleźć wytrzymały materiał na osłonę termiczną i dopiero gdy go znaleziono, komuś przyszło do głowy, że można też na nim smażyć kotlety. Nie na odwrót.

Sytuację tę można porównać do pożytków płynących z wyścigów samochodowych Formuły 1. Bezpośrednich pożytków nie ma prawie żadnych, ale ponieważ część ludzi – i to, dodajmy, zamożniejsza część – uważa je za niezłą rozrywkę, firmy samochodowe chcą zwiększyć swój prestiż, inne zaś firmy uznają je za świetną okazję do reklamowania swoich (niekiedy szkodliwych) produktów, badania nad nowymi oponami, smarami i szczegółami konstrukcyjnymi wyścigowych bolidów idą pełną parą, a są to badania bardzo kosztowne. Lecz skoro nowe opony, smary i rozwiązania konstrukcyjne już są, firmy samochodowe stosują je także w samochodach przeznaczonych dla przeciętnego Johna, Jeana, Johanna, Iwana i Jana. Wątpię, aby szybkość, komfort i bezpieczeństwo jazdy zwykłego Johna i jego kolegów były na tyle ważne, aby firmom motoryzacyjnym opłacało się prowadzić dla nich *aż tak* szeroko zakrojone badania, zwłaszcza, gdyby wszyscy Johnowie świata nie mieli wyboru i musieli jeździć równie starymi pod względem konstrukcyjnym samochodami.

A skoro była mowa o korzyściach z lotów bezzałogowych, trzeba pamiętać, iż najlepszym, najbardziej uniwersalnym i bodajże jedynym umiejącym reagować w sytuacjach nieprzewidzianych urządzeniem, jakim ludzkość dysponuje, jest żywy człowiek. Jeśli coś pójdzie nie tak, jak zaplanowano, automat sobie nie poradzi, gdyż niejako z definicji nie może on zrobić czegoś wykraczającego poza jego program i zakres funkcji. Człowiek może sobie poradzić.

Jest jeszcze jeden pożytek z obecnych lotów kosmicznych, na który trzeba zwrócić uwagę. Otóż ludzie latając w Kosmos – jak dotąd w bardzo bliski Kosmos – uczą się latać w Kosmos. Nie można wybierać się na rajd samochodowy ani nawet na dłuższą wycieczkę, o ile kiedyś nie zrobi się iluś tam kółek wokół placu manewrowego. My w naszych lotach kosmicznych jesteśmy wciąż na etapie placu manewrowego, ale są to doświadczenia – tak odnośnie sprzętu i rozwiązań technicznych, jak i funkcji ludzkiego organizmu i psychiki – które będą niezbędne do planowania i przeprowadzenia lotów załogowych w bardziej odległe regiony Kosmosu. Na razie zresztą owe „bardziej odległe regiony” ograniczają się do innych planet Układu Słonecznego; przy obecnym poziomie wiedzy i technologii nie możemy marzyć o załogowych lotach poza Układ w dającej się przewidzieć przyszłości.

Sceptyk odpowie zapewne, iż po co ludzie mają się uczyć latać w nieco dalszy Kosmos, skoro jakiegokolwiek loty w Kosmos są bez sensu? I nie negując pożytków z lotów bezzałogowych, ponowi pytanie o praktyczne korzyści płynące z lotów załogowych. Cóż, w końcu ludzkość może się obejść bez teflonu i kevlaru, skoro radziła sobie bez nich przez jakieś sto tysięcy lat istnienia człowieka jako gatunku biologicznego. A może gdyby fundusze przeznaczane na załogowe loty kosmiczne wydać sensowniej, mielibyśmy już lekarstwo na AIDS, rozwiązali problem braku czystej wody, którego doświadczają dziesiątki milionów ludzi, lub przynajmniej umieli przewidywać trzęsienia ziemi?

Cóż, ja wciąż uważałbym, iż załogowe loty w Kosmos to rzecz sensowna i pożądana, ale gdybym na poparcie tej tezy mógł przedstawić tylko podane wyżej argumenty, nie byłbym pewien zwycięstwa w dyskusji. Bowiem o prawdziwych, najistotniejszych powodach, dla których ludzie latają w Kosmos, nie napisałem jeszcze ani słowa. Powody takie są dwa.

Po pierwsze, ludzie dlatego latają w Kosmos, że Kosmos jest. Kropka. Bo skoro jest, to zawsze znajdą się tacy, którzy będą go chcieli zobaczyć, poznać, zbadać, tak jak setki lat temu wybierali się na nieznanne kontynenty, przemierzali niezgłębione morza, tak jak dzisiaj zdobywają najwyższe góry świata, biją rekordy w nurkowaniu głębinowym i uprawiają sporty ekstremalne. Nie chodzi tu przecież o korzyści czy zastosowania praktyczne tych odkryć i rekordów, ale o nieposkromioną ciekawość świata, o wyzwanie – fizyczne, duchowe i intelektualne – jakie te wyprawy stanowiły, także o zastrzyk adrenaliny. Taka już jest natura ludzka. Człowiek dlatego tylko jest tym, czym jest, ponieważ nasi przedludzy i ludzcy przodkowie wykazywali taką właśnie ciekawość. O ileż bezpieczniejsze od zejścia na ziemię wydawało się siedzenie na gałęzi! O ileż bezpieczniejsze od odkrywania nowych lądów wydawało się trwanie w swojej chacie! A jednak pewien praczłowiek z gałęzi zszedł, inni zaś ludzie wsiedli na statek i popłynęli na nieznanne morza. Tylko dzięki temu możemy dziś dyskutować o sensowności lotów w Kosmos. Gdybyśmy zatem dziś oświadczyli, że Kosmos jest nie dla nas, że nie warto się tam wybierać, po co nam to, nam tu dobrze, byłoby to wbrew ludzkiej naturze, tej najbardziej pierwotnej, najgłębiej rozumianej. Nikt przy tym nie każe wszystkim ludziom udawać się na wyprawy w Kosmos, przeciwnie, na początku będzie to robić garstka śmiałków. Ale pozwólmy im to robić i docenimy to, że ich odwaga i ciężka praca, ich sukcesy, ale także porażki i rozczarowania, kiedyś posłużą całej ludzkości. Po śmiałkach-zdobywcach przyjdą pionierzy, turyści i zwykli ludzie.

Owszem, dalekie wyprawy wymagają kolosalnych środków finansowych, te zaś niekiedy można uzyskać tylko obiecując przyszłe korzyści. Krzysztof Kolumb obiecywał Izabeli Kastyljskiej i Ferdynandowi Aragońskiemu wszystkie skarby Indii. No cóż, Kolumb nie znalazł tego, co obiecywał, jego wyprawy zaś przynosiły więcej goryczy niż tryumfu, ale znalazł coś innego, bez czego współczesnego świata wyobrazić sobie nie sposób. Tak już z wielkimi wyprawami bywa, że bardzo często odkrywają nie to, po co wyruszyły, ale coś zupełnie innego.

Po drugie i najważniejsze, cywilizacja przywiązana do jednej planety jest z czasem skazana na zagładę. Wiemy, że Ziemię kilkakrotnie nawiedzały już globalne kataklizmy, spowodowane uderzeniem planetoidy lub komety, gigantycznymi erupcjami wulkanicznymi lub globalnym zlodowaceniem, w wyniku których wymierało 90% istniejących wówczas gatunków – najstraszniejsza, choć bynajmniej nie jedyna, była zagłada dinozaurów na skutek uderzenia planetoidy w pobliżu półwyspu Jukatan 65 milionów lat temu. Dziś listę potencjalnych zagrożeń możemy jedynie powiększyć o globalną katastrofę ekologiczną spowodowaną

czynnikami naturalnymi lub będącą konsekwencją działalności człowieka. Nie wiemy kiedy Ziemię znów spotka coś tak strasznego, jest jednak niemal pewne, że prędzej lub później do tego dojdzie. Jest wielce wątpliwe, żeby ludzkość mogła przeżyć globalny kataklizm; nawet jeśli przeżyją jacyś ludzie, to na pewno nie przetrwa nasza cywilizacja. Jediną szansą cywilizacji ludzkiej na przetrwanie jest osiedlenie się części ludzkości w pozaziemskich koloniach.

Nie wiemy kiedy nadejdzie kataklizm. Może to będzie za lat trzydzieści, może za trzydzieści tysięcy, a może jeszcze później. Oby jak najpóźniej. Nie wiemy, czy uda się stworzyć stabilne, samowystarczalne i zdolne do rozwoju kolonie ludzkie na Marsie bądź na księżycach wielkich planet. Wiemy natomiast, że jeśli nie będziemy umieli latać w Kosmos i nie będziemy nawet próbować stworzyć pozaziemskich kolonii, gdy nadejdzie kataklizm, będziemy bezradni. I dlatego właśnie ludzie latają i będą latać w Kosmos.

To wszystko nie zwalnia nas – nas ludzi: i rządzących, i zwykłych obywateli – od zastanawiania się, jak najrozsądniej realizować program lotów załogowych. Może zamiast utrzymywać wysłużoną flotę wahadłowców, pod względem konstrukcyjnym pochodzącą z lat 70. ubiegłego stulecia, zbudować promy nowej generacji? A może zamiast upierać się przy promach wielokrotnego użytku, stosować rakiety jednorazowe, za to powrócić na Księżyc i pomyśleć o założeniu tam stałej bazy? Albo zacząć przygotowywać załogowy lot na Marsa? A może jednak są poważne powody utrzymania dotychczasowego kierunku, czyli lotów orbitalnych istniejących promów kosmicznych i lotów do stacji orbitalnej ISS? Jakie praktyczne cele należy postawić lotom załogowym w dającej się przewidzieć przyszłości? I skąd na to wszystko wziąć pieniądze? Czy obecny sposób zarządzania funduszami kosmicznymi poprzez zbiurokratyzowane i niedoinwestowane agendy rządowe jest właściwy? To są poważne pytania i nie sądzę, aby nawet specjaliści mogli w tej chwili na nie jednoznacznie i przekonująco odpowiedzieć. Nie zwalnia nas to jednak z obowiązku ich stawiania.

Przyszłość załogowych lotów kosmicznych nie będzie nieustającym pasmem sukcesów. Będą też porażki. Będą i ofiary. Ale przyszłość załogowych lotów kosmicznych to przyszłość ludzkości. Cześć ci, załogo Columbii!

Przygotowując ten artykuł korzystałem między innymi z materiałów dostępnych w witrynie <http://www.uranos.org.pl/> oraz z głosów w dyskusji na internetowym forum pl.sci.kosmos.



Gwiazdy a fizyka mikroświata

Tadeusz Lesiak

Instytut Fizyki Jądrowej w Krakowie

1. Wstęp

Minione stulecie było dla fizyki przełomowe, także ze względu na zrozumienie ścisłego związku między zachowaniem podstawowych cegiełek materii a Wszechświatem jako całością. Na przykładzie losów gwiazd, ukazanych na rys. 1, spróbujmy prześledzić, jak zjawiska występujące przy najmniejszych i największych skalach odległości przenikają się wzajemnie.

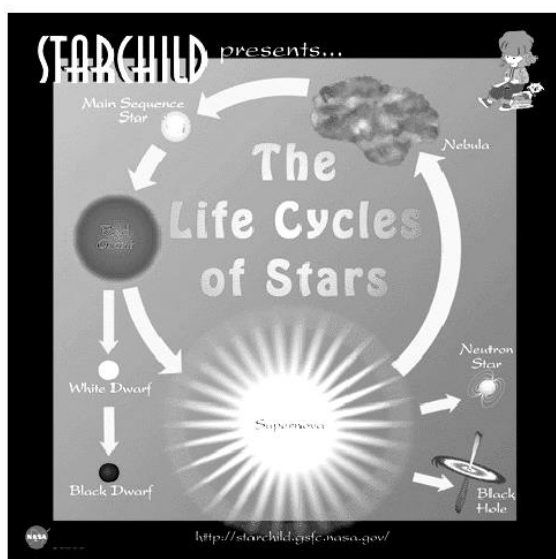
2. Narodziny gwiazdy

Materia międzygwiazdowa, występująca w postaci gazu i pyłu, wypełnia kosmos dość niejednorodnie. Ma ona wyraźną tendencję do koncentracji w obłokach, które są gęstsze od przeciętnej gęstości materii w otaczającej przestrzeni. Tym samym i przyciąganie grawitacyjne pomiędzy składnikami obłoku jest w nich nieco silniejsze niż w otoczeniu. Dostatecznie gęste obłoki, stając się niestabilne, kurczą się (zapadają) pod wpływem własnej siły ciężenia. Typowa masa obłoku gazu i pyłu kosmicznego odpowiada masie wielu tysięcy Słońc. Podczas zapadania można w nim wyróżnić mniejsze obszary, kurczące się szybciej niż otoczenie. One to, zwane protogwiazdami, stanowią zalążki przyszłych gwiazd. Pojedynczy obłok stać się może źródłem całej gromady młodych gwiazd.

Przypatrzmy się bliżej pojedynczej protogwieździe. Podczas zapadania wraz ze wzrostem gęstości podnosi się także jej temperatura. O tym, że ściskany gaz ulega podgrzaniu, można się łatwo przekonać, używając ręcznej pompki rowerowej. W miarę wzrostu temperatury materia protogwiazdy, złożona głównie z wodoru, ulega jonizacji, tzn. jej atomy zostają pozbawione elektronów.

Podgrzewanie kurczącego się obłoku powoduje, że jego materia, składająca się głównie z protonów, czyli jąder wodoru, zaczyna poruszać się coraz szybciej. Protony są jednak obdarzone dodatnim ładunkiem elektrycznym. Aby mogły pokonać wzajemne odpychanie elektrostatyczne, muszą uzyskać ogromną energię kinetyczną, odpowiadającą temperaturze rzędu kilkunastu milionów kelwinów. Protony mogą wówczas zbliżyć się do siebie na odległość na tyle małą, by poddać się przyciągającemu wpływowi **oddziaływań silnych** (patrz przypis). W wyniku kilku reakcji zwanych cyklem Bethego cztery protony zamieniają się w trwałe jądro helu, zbudowane z dwóch protonów i dwóch neutronów. Procesowi temu towarzyszy emisja elektronów, pozytonów, neutrin oraz fotonów. Skąd się wzięły neutrony? Powstały one z protonów poprzez tzw. rozpad β , za który odpowie-

działne są **oddziaływania słabe** (patrz przypis). Dla naszej protogwiazdy kluczowe jest przy tym to, że masa jądra helu jest mniejsza od sumy mas czterech protonów. Zgodnie z zasadą równoważności masy i energii nadwyżka masy pojawia się w postaci energii. Z chwilą rozpoczęcia procesu syntezy (fuzji) termojądrowej protogwiazda traci w naszym ziemskim nazewnictwie przedrostek „proto”. Status gwiazdy osiągają jedynie takie obłoki materii międzygwiazdowej, których masa przekracza około 8 procent masy naszego Słońca.



Rys. 1. Cykl życiowy gwiazd w ujęciu popularyzatorskim NASA

Uważni czytelnicy mogą w tym miejscu łatwo wymienić kilka interesujących zjawisk, należących do fizyki mikroświata, których wyjaśnienie jest konieczne dla zrozumienia, „jak działa” tak duży obiekt jak gwiazda.

Po pierwsze, wiek XX rozszerzył arsenał znanych nam sił przyrody o dwa nowe, wspomniane powyżej, oddziaływania. Przyczyna, dla której wcześniej znano jedynie grawitację oraz siłę elektromagnetyczną, była stosunkowo prosta – nowe oddziaływania, zwane silnymi i słabymi, są odczuwalne jedynie przy niezwykle małych odległościach.

Po drugie, reakcje syntezy jądrowej są obecnie szczegółowo opisywane przez fizykę jądrową. Dzięki niej rozumiemy dokładnie mechanizm działania słonecznego pieca termojądrowego. Mamy jedynie trudności techniczne z przeprowadzeniem fuzji termojądrowej w sposób kontrolowany.

Po trzecie, czy wiemy skąd się wzięły znane nam z lekcji chemii pierwiastki? W szczególności około trzech czwartych materii stanowi wodór, niemal całą resztę hel, a pozostałe pierwiastki to w sumie mniej niż jeden procent masy Wszechświata? Okazuje się, że potrafimy dość dokładnie odpowiedzieć na to pytanie. Wyjaśnienie tych zjawisk będzie jednak łatwiejsze pod koniec tego artykułu, po prześledzeniu całej ewolucji gwiazd.

Mikroświat i Wszechświat spotykają się tutaj jeszcze w jednym, zgoła nieoczekiwanym miejscu. Gwiazdy, galaktyki, ich gromady i supergromady powstały dzięki istnieniu we wczesnym Wszechświecie fluktuacji jego gęstości. Ale czy potrafimy wyjaśnić, jaka jest przyczyna tych fluktuacji? Dziś podejmuje się liczne próby zrozumienia tego problemu. Każda z nich opiera się na najnowszych osiągnięciach z dziedziny fizyki cząstek elementarnych.

Zapewne najbardziej przekonującego wyjaśnienia dostarczają modele zakładające kosmiczną inflację. Przewidują one, że Wszechświat miał w początkach swojej ewolucji fazę niezwykle szybkiej, być może nawet eksponencjalnej ekspansji. Niewyobrażalnie szybko Wszechświat podwajał swoje rozmiary, rozszerzając się wtedy nawet 10^{50} razy. Źródłem inflacji jest tajemnicza cząstka elementarna zwana inflatonem. Powinna ona być blisko spokrewniona z cząstką Higgsa, dzięki której masy podstawowych cegiełek materii (leptonów i kwarków) oraz nośników sił elektroslabych (bozonów W i Z) różnią się od zera. Można by sądzić, że tak niewyobrażalnie wielkie „rozdęcie” rozmiarów Wszechświata musiało spowodować idealne wygładzenie rozkładu materii w nim zawartej. Z mechaniki kwantowej wynika jednakże, że taka doskonała jednorodność jest nieosiągalna. Nie pozwala na nią jedna z podstawowych zasad mikroświata, zwana **zasadą nieoznaczoności Heisenberga** (patrz przypis). Głosi ona, że dla pewnych par wielkości fizycznych, niemożliwe jest jednoczesne określenie ich wartości z dowolnie wielką dokładnością. Jedną z takich par jest energia i czas. Ta fundamentalna „ułamność” w dokładności określenia energii cząstek oznacza, że nawet w próżni, na poziomie mikroskopowym, w odpowiednio krótkich odcinkach czasu dopuszczalne są fluktuacje energii. Musiały one także wystąpić przy końcu fazy inflacji, gdy inflatony przekazywały swą energię cząstkom elementarnym, tworzącym materię naszego współczesnego Wszechświata. Można również zastosować podobne rozumowanie do drugiej zmiennej pary, tj. do czasu, i stwierdzić, że zasada nieoznaczoności dopuszcza fluktuacje czasu zakończenia inflacji. Tam gdzie skończyłaby się ona trochę później, gęstość materii byłaby nieco większa. Wielkość tych fluktuacji, obliczona w ramach modeli inflacyjnych, okazała się zadziwiająco dobrze zgodna z wartością, jaka wynika z obserwacji galaktyk oraz ich gromad. W dodatku w ostatnich latach okazało się, że to właśnie przy założeniu wystąpienia inflacji można poprawnie opisać rozkład zaburzeń temperatury mikrofalowego promieniowania tła.

3. Wiek średni gwiazdy

„Dorosła” gwiazda stanowi zbudowany przez naturę reaktor, w którym w sposób kontrolowany zachodzą reakcje fuzji termojądrowej. Panuje w niej niemal doskonała równowaga między siłą grawitacji, dążącą do ściśnięcia gwiazdy, a skierowanym na zewnątrz ciśnieniem. Jego źródłem są zachodzące w jądrze gwiazdy reakcje syntezy. Energia w nich wydzielana przechodzi w postać energii kinetycznej cząstek gwiazdy. Ten najspokojniejszy okres (jeśli można mówić o stabilizacji we wnętrzu termojądrowego pieca) jest tym krótszy, im większa jest masa gwiazdy. Może on trwać od „tylko” milionów lat dla największych gwiazd o masie rzędu kilkudziesięciu mas Słońca, do miliardów lat, dla siostr naszej macierzystej gwiazdy.

Z chwilą, gdy w rdzeniu gwiazdy zaczyna się wyczerpywać wodorowe paliwo jądrowe, siła grawitacji zaczyna przeważać nad równoważącym ją dotąd ciśnieniem. Materia rdzenia, składającego się już głównie z helu, ulega ponownie ścisnaniu, a wraz z nim – podgrzewaniu. Temperatura podnosi się w końcu na tyle, że reakcje syntezy termojądrowej wodoru przenoszą się do otoczki gwiazdy. Ta ostatnia „dla ochłody” rozszerza się wówczas, co prowadzi do obniżenia jej temperatury. Promień gwiazdy rośnie kilkadziesiąt razy, a jej jasność powiększa się nawet kilkusetkrotnie. W tej fazie swojej ewolucji gwiazda w pełni zasłużenie nosi nazwę olbrzyma. Taki los czeka nasze Słońce za około 5 miliardów lat. Powiększy się ono wtedy na tyle, że jego promień będzie w przybliżeniu taki jak promień orbity Merkurego.

Dalsze losy gwiazdy toczą się już znacznie szybciej i są zależne od jej masy. Przypatrzmy się bliżej najlżejszym z gwiazd, o masach rdzenia nie przekraczających połowy masy Słońca. Dla takich „lekkich” gwiazd wzrost temperatury jest niewystarczający do ponownego rozpalenia termojądrowego pieca, tym razem dzięki syntezie jąder helu. Aby do tego doszło, temperatura gwiazdy musi osiągnąć 100 milionów kelwinów. Nim to nastąpi, do głosu dojdzie **zasada wykluczenia**, zwana też **zakazem Pauliego** (patrz przypis). To ona odpowiada za wstrzymanie zapadania się lekkiej gwiazdy. Zakaz Pauliego sprowadza się tutaj do niemożności dowolnie gęstego upakowania swobodnych elektronów, występujących w zapadającym się rdzeniu gwiazdy, obok jąder helu powstałych uprzednio w wyniku syntezy termojądrowej. Przez „upakowanie”, należy rozumieć rozmieszczenie co najwyżej dwóch elektronów, o przeciwnie skierowanych spinach, w kolejnych dostępnych komórkach w przestrzeni pędu. Im bardziej masywna gwiazda, tym większa jest jej temperatura. Tym samym dla należących do niej elektronów jest dostępnych więcej poziomów energetycznych. Mniejsze gwiazdy są zatem bardziej podatne na efekty kwantowomechaniczne, wynikające z zakazu Pauliego.

Z gwiazd o masach rdzenia mniejszych niż około 50% masy naszego Słońca, po eksplozji, która odrzuca tzw. mgławicę planetarną, zostaje biały karzeł. Obiekt ten charakteryzuje się bardzo małymi rozmiarami i olbrzymią gęstością. Dla białego

karła ponownie zatem ujawnia się rola zakazu Pauliego, gdyż w jego wnętrzu ciśnienie gęsto upakowanych elektronów równoważy siłę ciężenia, skutecznie zapobiegając jego dalszemu zapadaniu się pod wpływem siły grawitacji. W białym karle nie mogą już zachodzić reakcje syntezy termojądrowej. Stygnąc, wypromieniowuje on w kosmiczną pustkę resztki zmagazynowanej w nim energii, stając się w końcu tzw. czarnym karłem.

Jaka jest przyszłość cięższych gwiazd? Ich zapadanie będzie trwać aż do chwili, gdy temperatura wzrośnie na tyle, by mogła się w nich rozpocząć termojądrowa synteza jąder helu, prowadząca do powstania jąder węgla. Gdy cały hel zamieni się w węgiel, znów zaczyna się zapadanie, któremu towarzyszy wzrost temperatury. Zależnie od masy gwiazdy, jej elektrony mogą się „zbuntować”, tzn. zadziała dla nich zakaz Pauliego i gwiazda przejdzie w stan białego karła lub też rozpocznie się następny etap fuzji termojądrowej: synteza jąder węgla, prowadząca do powstania jąder tlenu. Tak czy owak, w gwieździe powstanie znów ciśnienie równoważące zginiatającą ją grawitację. Ten cykl może wystąpić wiele razy. Jego najważniejsze etapy to synteza prowadząca kolejno do powstania coraz cięższych jąder: węgla (^{12}C), tlenu (^{16}O), neonu (^{20}Ne), magnezu (^{24}Mg), krzemu (^{28}Si), siarki (^{32}S) i tak dalej, aż do żelaza (^{56}Fe). W nawiasach podano chemiczne symbole wymienionych pierwiastków wraz z ich liczbą masową, tj. liczbą nukleonów w jądrze. Łatwo zauważyć, że główny mechanizm syntezy polega na stopniowym dodawaniu jąder helu (^4He). Proces ten kończy się na jądrach żelaza, ponieważ ich energia wiązania na pojedynczy nukleon jest największa. Aż do żelaza, w drodze fuzji lżejszych jąder, energia jest wydzielana kosztem utraty niewielkiej części masy gwiazdy. Dalsza synteza wymagałaby już dostarczania energii z zewnątrz, zamiast jej wydzielania kosztem masy produktów reakcji. Każda kolejna faza odbywa się w wyższej temperaturze i trwa coraz krócej. Przykładowo, dla gwiazdy kilkadziesiąt razy cięższej od Słońca spalanie wodoru odbywa się w temperaturze rzędu 50 milionów kelwinów i trwa kilka milionów lat. Dla węgla wymagowany termostat jądrowego pieca pokazałby już prawie miliard kelwinów, ale za to paliwa tego wystarcza gwieździe jedynie na kilkaset lat. Synteza cięższych pierwiastków to już kwestia tylko pojedynczych lat, a nawet dni i godzin. „Popioły” z poprzedniej fazy fuzji termojądrowej stają się paliwem w następnym etapie ewolucji gwiazdy. W ten sposób cięższe gwiazdy próbują przedłużyć swój byt, wykorzystując w sposób maksymalnie oszczędny paliwo jądrowe.

4. Zgon i życie po śmierci gwiazd

Jaka emerytura czeka „starą”, ciężką gwiazdę „po przejściach”? Paliwo jądrowe jest już wyczerpane i jej rdzeń jest zbudowany głównie z żelaza. Grawitacja jednak nigdy nie daje za wygraną i gwiazda ponownie zaczyna się zapadać. Jeśli masa gwiazdy-staruszka nie przekracza 1,4 masy Słońca, to doświadczy ona stosunkowo łagodnej eutanazji. Jej kresem będzie biały karzeł. Cięższe gwiazdy są skazane

na zakończenie swego życia w gwałtownych konwulsjach, znanych jako wybuch supernowej (dotyczy to tzw. supernowych typu drugiego). Jak łatwo się domyślić, astrofizycy znają także supernowe typu pierwszego. Ich wybuchy mają miejsce w podwójnych układach gwiazd. Jedną z nich jest żarłocznym białym karłem, wysysającym materię od bratniej gwiazdy. Jeśli w wyniku tego procesu zdarzy się, że biały karzeł „zacznie mieć nadwagę”, tzn. gdy jego masa przekroczy masę Słońca o 40 procent, dochodzi do wybuchu. Z popiołów eksplozji supernowych wyłaniają się dziwne kosmiczne bestie: gwiazdy neutronowe i czarne dziury. Czasem może się zdarzyć, że cała gwiazda ulega rozerwaniu, nie pozostawiając po sobie żadnego, war- tego dalszego opisu, obiektu.

Podczas ściskania efekty syntezy termojądrowej zostają niemal całkowicie zniweczone. Ogromna większość jąder ulega bowiem rozbiciu, tworząc „gaz” protonów i neutronów. Co więcej, przy ogromnej gęstości, rzędu 10^{13} kg/m³, dochodzi do głośno oddziaływanie słabe, mające niezwykle mały zasięg rzędu 10^{-18} m. Dzięki niemu bardzo gęsto upakowane protony i elektrony ulegają przemianom w neutrony i neutrino. Podczas dalszego ściskania, przy gęstości rzędu 10^{17} kg/m³, znów dochodzi do głośno mechanika kwantowa. Tym razem to upakowanie neutronów, które, podobnie jak elektrony, mają spin połówkowy, staje się maksymalne. Na podstawie zakazu Pauliego pojawia się zatem ciśnienie neutronów, zapobiegające dalszemu zapadaniu się gwiazdy. Tak rodzi się gwiazda neutronowa. Jej promień wynosi przeciętnie jedynie kilkanaście kilometrów, a na jednej łyżeczce do herbaty zmieści się ilość materii tego gigantycznego „jądra atomowego” o masie sięgającej miliarda ton!

Na tak uformowaną gwiazdę neutronową nadal opada pozostała materia gwiazdy. Dalsze ściskanie jest już jednak zakazane przez zasady fizyki mikroświata. Rdzeń neutronowy działa teraz jak doskonała sprężyna, która po maksymalnym jej ściśnięciu odrzuca od siebie napierający ciężar. Powoduje to niezwykle gwałtowne i widowiskowe zjawisko, zwane wybuchem supernowej. Wokół rdzenia powstaje skierowana na zewnątrz, potężna fala uderzeniowa. W jej podtrzymaniu podstawową rolę odgrywają neutrino. One to, ulegając absorpcji ekspandującej materii gwiazdy, dostarczają nowej energii fali uderzeniowej. Ta ostatnia ma postać skokowego wzrostu gęstości, temperatury i ciśnienia, rozprzestrzeniającego się z prędkością naddźwiękową. W ziemskiej skali możemy być świadkami podobnego zdarzenia, obserwując na niebie odrzutowiec, przekraczający barierę dźwięku. W ten sposób gwiazda pozbywa się znaczącej ilości swojej masy. Energia fali uderzeniowej, związanej z wybuchem supernowej, jest tak wielka, że wystarcza do zsyntetyzowania pierwiastków cięższych od żelaza w eksplodującej materii.

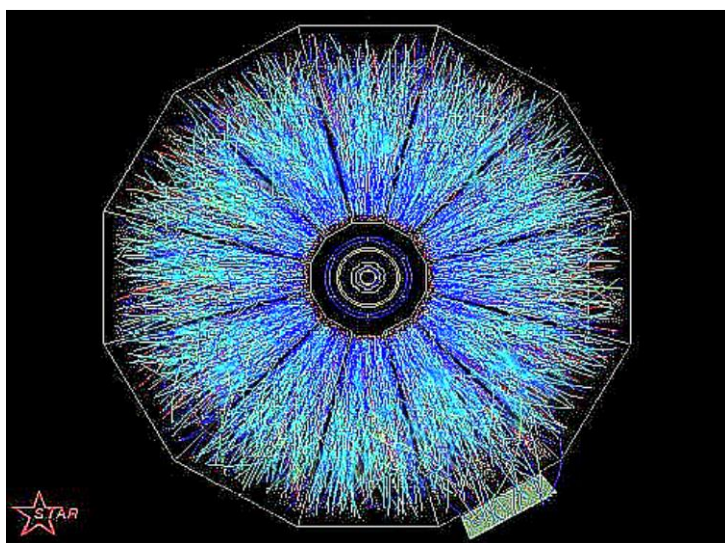
Tuż po wybuchu supernowej gwiazda neutronowa może utrzymać status gwiazdy neutronowej jedynie wtedy, gdy nie jest zbyt ciężka. Jeśli masa tego, co pozostało po wybuchu supernowej, przekroczy około trzech mas Słońca, to nic nie po-

wstrzyma jej ostatecznego zapadnięcia się do czarnej dziury. Podczas takiego kolapsu dochodzi do zadziwiających zjawisk. Według ogólnej teorii względności, każdy obiekt obdarzony masą zakrzywia otaczającą go czasoprzestrzeń. W zapadającej się do czarnej dziury gwiazdzie neutronowej gęstość materii oraz zakrzywienie czasoprzestrzeni stają się tak wielkie, że nawet fotony nie mogą się z niej wydostać na zewnątrz. Czarna dziura staje się tym samym doskonałym kosmicznym cenzorem. Nie ma bowiem sposobu, by uzyskać informację o tym, co dzieje się w jej wnętrzu lub – jak mówimy – za jej horyzontem. Fizyka kwantowa modyfikuje jednakże ten „czarny” obraz, pozwalając dziurze na uchYLENIE RĄBKA jej tajemnic.

Czarna dziura jest bowiem, podobnie jak wszystkie ciała, zanurzona w fizycznej próżni. Ta ostatnia nie jest wcale tak beznadziejnie pusta i spokojna. Próżnia fizyczna występuje wszędzie tam, skąd usunięte zostały wszystkie cząstki i kwanty wszelkich pól fizycznych, przenoszących oddziaływania. Nawet wtedy jednak w przestrzeni mogą na krótką chwilę „z niczego” pojawiać się pary cząstki i antycząstki, zwane wirtualnymi. Ich powstawanie dopuszcza zasada nieoznaczoności Heisenberga, a zatem znów dotykamy tutaj fizyki mikroświata. Próżnia w otoczeniu czarnej dziury jest jednocześnie wypełniona niezwykle silnym polem grawitacyjnym. W tych ekstremalnych warunkach może się zdarzyć, że jedna z cząstek wirtualnej pary znajdzie się w obrębie horyzontu czarnej dziury i zostanie wówczas niemal natychmiast przez nią pochłonięta. Druga cząstka, znajdując się poza horyzontem, może oddalić się w przestrzeń, unosząc tym samym część masy i energii czarnej dziury. Tak więc te ostatnie wcale nie są doskonale czarne. Czarna dziura, pozbawiona możliwości „pożerania” innych obiektów kosmicznych, wcale nie trwałaby wiecznie. Promieniując w opisany powyżej sposób, może się kurczyć i tracić swą masę. Może nawet całkowicie wyparować, ale byłoby to dość czasochłonne – jakieś 10^{65} lat! W miarę upływu czasu energia czarnej dziury jest wypromieniowywana coraz szybciej. Kresem jej życia byłaby niezwykle gwałtowna eksplozja.

Dziś możemy w pewnym stopniu odtworzyć w ziemskim laboratorium stan materii występujący we wnętrzu gwiazdy neutronowej. Dokonują tego fizycy cząstek elementarnych, badający zderzenia jąder atomowych, przyspieszanych do ogromnych prędkości w potężnych zderzaczach. Prace te prowadzono w latach dziewięćdziesiątych w Europejskim Laboratorium Cząstek Elementarnych (CERN) pod Genewą. Obecnie są one kontynuowane przy jeszcze wyższych energiach zderzeń w Brookhaven National Laboratory, niedaleko Nowego Jorku (rys. 2 przedstawia jedno ze zderzeń jądro-jądro, zarejestrowanych w tym laboratorium). W takich zderzeniach materia jądrowa jest jednocześnie ściskana oraz podgrzewana. Jej gęstość może być nawet dwudziestokrotnie większa od gęstości panującej w jądrze atomowym, a temperatura może przewyższać żar słonecznego pieca termojądrowego aż sto tysięcy razy. Wszystko wskazuje na to, że materia prze-

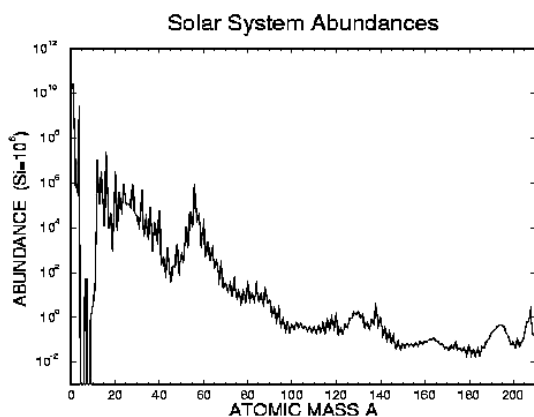
chodzi wówczas w stan plazmy kwarkowo-gluonowej. Od lat sześćdziesiątych XX stulecia nukleony nie są już uważane za najbardziej podstawowe cegiełki materii, lecz za obiekty złożone z trzech kwarków. Za ich utrzymywanie w stanie hadronu odpowiadają oddziaływania silne, przenoszone przez cząstki zwane gluonami. Natura tych sił jest taka, że w naszych ziemskich warunkach nie jest możliwe wyizolowanie pojedynczego kwarka. Jednakże we wczesnym Wszechświecie, w gwiazdach neutronowych oraz w zderzeniach relatywistycznych jąder, przeprowadzanych w ziemskich zderzaczach, materia bywa tak bardzo ściśnięta lub podgrzana, że zamienia się w gaz swobodnych kwarków i gluonów, czyli plazmę kwarkowo-gluonową.



Rys. 2. Typowe zderzenie dwóch jąder, obserwowane w zderzaczu RHIC w eksperymencie STAR, widoczne w płaszczyźnie prostopadłej do toru trajektorii zderzających się jąder. Widać tory kilkuset cząstek elementarnych, wyprodukowanych w wyniku zderzenia i zarejestrowanych w aparaturze, której elementy są rozmieszczone radialnie względem osi zderzenia. Czyż ta ilustracja nie kojarzy się raczej ze światem gwiazd niż cząstek elementarnych?

Jest wielce prawdopodobne, że to właśnie supernowe stanowią najpotężniejszy akcelerator, jakim dysponują fizycy cząstek elementarnych. Odbywa się to w dodatku zupełnie za darmo, bez obciążania kieszeni podatnika. Chodzi tutaj o strumień cząstek docierających nieustannie do Ziemi z przestrzeni kosmicznej. Składa się on w około 86 procentach z protonów i w 13 procentach z jąder helu. Resztę stanowią cięższe jądra oraz elektrony. Obserwacje ostatnich lat prowadzą

bowiem do wniosku, że promieniowanie kosmiczne o energiach aż do 10^{18} elektronowolta (eV) pochodzi z wybuchów supernowych. Energia kinetyczna cząstek promieniowania kosmicznego może być jeszcze bardziej imponująca – nawet 10^{20} elektronowolta, tj. ponad 50 dzuli. A mamy przecież do czynienia z obiektami mikroświata! Mechanizm przyspieszania do tych najbardziej ekstremalnych energii jest jednak nieznan. Cząstki promieniowania kosmicznego w zderzeniach z atomami i cząsteczkami ziemskiej atmosfery tworzą kaskady wtórnych cząstek elementarnych. Część z nich dociera do powierzchni Ziemi i może być zarejestrowana w odpowiednich detektorach. Dzięki badaniom promieniowania kosmicznego po raz pierwszy zaobserwowano tak szacowne cząstki, jak pozyton, mion, pion, kaon czy wiele hiperonów, co zaowocowało niemałą liczbą Nagród Nobla z dziedziny fizyki. Także obecnie, w dobie wielkich i kosztownych akceleratorów cząstek elementarnych, ten „kosmiczny zderzacz” jest niejednokrotnie źródłem ciekawych pomiarów. Warto pamiętać, że jego istnienie w znacznej części zawdzięczamy supernowym. Ich wybuchy mogą też odgrywać ważną rolę przy narodzinach gwiazd, dostarczając obłokom materii międzygwiazdowej pierwszego impulsu, rozpoczynającego ich dalsze kurczenie aż do powstania gwiazd.



Rys. 3. Krzywa rozpowszechnienia pierwiastków w Układzie Słonecznym, uzyskana w oparciu o badania meteorytów oraz widma słonecznego. Oś pionowa jest przedstawiona w skali logarytmicznej oraz wykalibrowana w ten sposób, że obfitość krzemu (Si) wynosi 10^6

Teraz możemy powrócić do wyjaśnienia rozpowszechnienia pierwiastków we Wszechświecie (rys. 3), czyli tzw. nukleosyntezy. To właśnie tutaj chyba najlepiej przenika się wzajemnie kosmologia z fizyką cząstek elementarnych i fizyką jądrową. Proces przebiega w trzech odrębnych etapach, z których każdy może być wdzięcznym tematem obszernego artykułu. Pierwsza faza nukleosyntezy należy

już do zamierchłej przeszłości. Dokonała się ona około pierwszej sekundy od Wielkiego Wybuchu. Wszechświat był wtedy naprawdę gorący – jego temperatura wynosiła rzędu 10^{10} kelwinów. Początkowo, około 0,1 s po Wielkim Wybuchu, populacje protonów i neutronów były równoliczne. Stopniowo neutronów jednak ubywało, ponieważ jako cięższe od protonów ulegały one poprzez rozpad β przemianie w protony. Pod koniec tej fazy wszystkie dostępne neutrony zostały, wraz z częścią protonów, wykorzystane jako budulec do syntezy deuteronów (^2H). Dalsze reakcje syntezy, z udziałem deuteronów i protonów, doprowadziły do powstania jąder helu-4 (^4He), czyli cząstek α , oraz reszkowych ilości trytu (^3H), helu-3 (^3He) i litu (^7Li). Jądra cięższych pierwiastków nie mogły wówczas powstać, ponieważ temperatura i gęstość rozszerzającego się i stygnącego Wszechświata były już na to za niskie (warto zauważyć, że ilość wytworzonego helu w stosunku do wodoru jest określona przez liczbę neutronów w ówczesnym Wszechświecie). Odpowiednie do tego warunki zostały jednak stworzone w bardzo gorących wnętrzach gwiazd. Tam właśnie odbywa się do dziś drugi, a zarazem dominujący w naszych czasach, akt procesu nukleosyntezy. W jego wyniku powstają wszystkie pierwiastki, aż do żelaza. Ukoronowaniem nukleosyntezy jest jej trzeci etap, odbywający się, także i dzisiaj, w wybuchach gwiazd supernowych. Towarzyszą im na tyle ekstremalne warunki, że możliwe jest tworzenie nawet najcięższych jąder, takich jak ołów, uran i tor. Dominującym mechanizmem syntezy jest wówczas doklejanie do istniejącego jądra kolejnych neutronów. Warto dodać, że proces ten przebiega nieco odmiennie dla obu typów supernowych, ze względu na różnice w mechanizmie ich eksplozji. Supernowe nie tylko wytwarzają ciężkie pierwiastki, ale i rozpylają w przestrzeń międzygwiazdową jądra z drugiej i trzeciej fazy nukleosyntezy, zasilając w nie przyszłe gwiazdy i planety następnych generacji.

Czyż nie jest poruszające, gdy uświadamiamy sobie, że woda, którą pijemy, zawiera atomy wodoru powstałe w pierwszych sekundach istnienia Wszechświata, a składniki naszego powietrza, takie jak tlen, azot i dwutlenek węgla, zostały wytworzone miliardy lat temu w termojądrowym piecu pobliskiej, nieistniejącej już gwiazdy? Spojrzenie na każdą złotą lub srebrną błyskotkę może rodzić refleksję, że pochodzi ona w prostej linii od wybuchu jakiejś supernowej. Atomy naszego ciała nie mogłyby w ogóle powstać, gdyby nie praca gwiazdowych reaktorów. Chyba równie silnie daje do myślenia fakt, że obecnie naprawdę dosyć dokładnie potrafimy sobie wyobrazić, odtworzyć, a nawet obliczyć, jak odbywają się te wszystkie procesy. Aby tego dokonać, konieczne jest jednak połączenie wiedzy o Wszechświecie jako całości z nauką płynącą ze znajomości zachowań cząstek elementarnych i jąder atomowych.

Znajdujące się na następnej stronie przypisy sporządzono w oparciu o *Słownik fizyki*, Prószyński i S-ka, wyd. III, 1999.

Przypisy:

Oddziaływanie słabe jest odpowiedzialne m.in. za rozpady β cząstek i jąder atomowych. W jego wyniku neutron ulega dezintegracji, a powstają proton, elektron i antyneutrino. Oddziaływania te odbywają się w drodze wymiany wektorowych bozonów pośredniczących W i Z . Charakteryzuje je bardzo mały zasięg, rzędu 10^{-18} m.

Przemiana β stanowi rodzaj oddziaływania słabego. W jego wyniku nietrwałe jądro atomowe ulega transformacji w jądro o tej samej liczbie masowej, lecz innej liczbie atomowej. Przemiana ta, na poziomie nukleonów, polega na zmianie neutronu w proton z jednoczesną emisją elektronu i antyneutrino elektronowego ($n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$) lub na zmianie protonu w neutron połączonym z emisją pozytonu i neutrino elektronowego ($n \rightarrow p + e^+ + \nu_e$). Nazwa pochodzi od tego, że pierwotnie elektrony i pozytony nazywano cząstkami β .

Oddziaływanie silne umożliwia trwałe połączenie kwarków w nukleonach oraz nukleonów w jądrze atomowym. Odbywa się ono w drodze wymiany pomiędzy kwarkami pozbawionych masy cząstek zwanych gluonami. Ich zasięg jest rzędu 10^{-15} m, co pokrywa się z typowym rozmiarem nukleonu. Przy większych odległościach stają się one na tyle „silne”, że uniemożliwiają obserwację swobodnych kwarków.

Zasada nieoznaczoności (nieokreśloności) Heisenberga głosi, że wśród wielkości fizycznych opisujących układ kwantowy można wyróżnić pary, dla których niemożliwe jest jednoczesne określenie wartości obu tych obserwabli z dowolnie wielką precyzją. Taka szczególna relacja wiąże m.in. pęd i położenie, a także czas i energię układu kwantowego. Iloczyn nieokreśloności pomiaru zmiennych pary musi być większy niż $h/4\pi$, gdzie h jest stałą Plancka. W szczególności dla energii (E) i czasu (t) ich nieokreśloności spełniają związek $\Delta E \cdot \Delta t \geq h/4\pi$, co dopuszcza fluktuację energii układu, o ile fluktuacje są dostatecznie krótkotrwałe.

Zasada wykluczania (zakaz) Pauliego – w mechanice kwantowej stan cząstki jest określony przez podanie jego energii, pędu oraz wewnętrznego momentu pędu, zwanego także spinem. Ta ostatnia wielkość nie ma bezpośredniego odpowiednika w świecie dostępnym naszym zmysłom i wszelkie porównania cząstki do wirującego bąka są mylące. Spin podawany jest zwykle w jednostkach $h/2\pi$, gdzie $h = 6,626 \times 10^{-34}$ J · s. Dla elektronu i neutronu, tj. cząstek należących do bohaterów tego artykułu, wynosi on $1/2$ i w żargonie bywa nazywany połówkowym.

W układzie złożonym z identycznych cząstek o spinie połówkowym, zakaz Pauliego pozwala na obecność tylko jednej cząstki znajdującej się w danym stanie kwantowym o określonych wartościach energii, pędu i spinu. Kolejne poziomy energetyczne układu wielu cząstek zajmowane są w sposób maksymalnie oszczędny – cały układ dąży do stanu o możliwie najmniejszej energii.

Bozon Higgsa – patrz artykuł Andrzeja Białasa „Natura boi się próżni”, *Foton 72*, Wiosna 2001, str. 4.

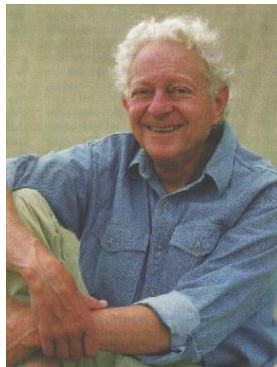
Redakcja poleca: Marcus Chown, *The Magic Furnace*, wyd. J. Cape, 1999. Wydawnictwo ZYSK właśnie przygotowuje do druku tłumaczenie Jacka Bieronia.



Mariaż edukacji z nauką

Z Leonem Ledermanem (LL) rozmawiają:
Carlos Fiolhais (CF) i Carlos Pessoa (CP)

Szkoły nie przygotowują ludzi do życia, które mają oni przeżyć, lecz do jakiegoś „innego życia”, w społeczeństwach, które już nie istnieją. Leon Lederman, zdobywca Nagrody Nobla w 1988 roku, uważa jednak, że jest możliwe i konieczne, aby szkoły „przygotowywały do życia w nowym świecie”. We wrześniu 2000 roku Lederman wziął udział w zjeździe Portugalskiego Towarzystwa Fizycznego, podczas którego udzielił nam wywiadu na temat swojej działalności edukacyjnej, a w szczególności swojego zaangażowania w nauczanie fizyki w szkole. Jego zdaniem, kluczem do wszelkich zmian są nauczyciele, więc kształcenie nauczycieli stanowi niezbędny element skutecznego programu poprawy edukacji. Obserwacje Ledermana dowodzą, że nauczyciele „nie znają nauki”, ponieważ „edukacja nie jest ożeniona z nauką”. Konkluzja: „Musimy ożenić te dwie społeczności, ponieważ powinno to przynieść wzajemne korzyści”.



CF i CP – *Wszyscy mówią o kryzysie w nauczaniu nauk ścisłych, w szczególności fizyki. Jaka jest Pana opinia na ten temat?*

LL – Wydaje mi się, że istotnie mamy do czynienia z kryzysem. Kryzys istniał zawsze, a przynajmniej od czasu, gdy pojawiła się kwestia zrozumienia nauki przez społeczeństwo, czyli od bardzo dawna. Dzisiaj kryzys stał się poważniejszy, ponieważ w XX wieku, a nawet pod koniec XIX wieku postęp technologiczny nabrał rozmachu i pędu. A kryzys wynika z zastosowań, jakie społeczeństwu daje nauka.

CF i CP – *Zatem nauka staje się ofiarą swego własnego sukcesu?*

LL – Tak. Nauka jako poszukiwanie wiedzy – a raczej poszukiwanie prawdy – stanowi rzecz bezcenną. Nie ma czegoś takiego jak zła nauka. Próbujemy znaleźć prawdę o świecie, w którym żyjemy. Wierzymy, że istnieje obiektywna prawda o Przyrodzie, że nauka zajmuje się poszukiwaniem tej prawdy i że to stanowi jej naczelną cel. Lecz istnieją także społeczne konsekwencje nauki i postępu techno-

logicznego. Aby oceniać kryzys, musimy także oceniać wpływ, jaki nauka wywiera na społeczeństwo.

Nikt dzisiaj nie kwestionuje faktu, że nauka i jej zastosowania wywierają olbrzymi wpływ na to, jak ludzie myślą, jak się zachowują, a także na optymistyczne lub pesymistyczne oczekiwania wobec wyzwań, jakie niesie ze sobą XXI wiek. Możemy ocenić ten wpływ, biorąc pierwszy lepszy przykład technologicznego postępu, na przykład silnik parowy. Ten dziewiętnastowieczny wynalazek dokonał transformacji przemysłu, stał się motorem industrializacji, umożliwił Amerykanom eksplorację i zjednoczenie całego kontynentu. Zmiany, jakie przyniósł, były jednak dość powolne i stopniowe. Upłynęło zapewne kilkadziesiąt lat, zanim nastąpiły widoczne efekty technologicznego postępu, związanego z wynalezieniem silnika parowego. Podobne tempo zmian przyniosły z sobą liczne inne sukcesy nauki i techniki, jakie miały miejsce w początkach XX wieku. Lecz pod koniec XX wieku... ktoś przegląda stronę internetową, ktoś ładuje dane z CD-ROM-u lub z witryny Yahoo. Można by sądzić, że to dziwny język, być może używają go jacyś obcy z Marsa. Lecz dzieci doskonale znają ten język i posługują się nim na co dzień.

CF i CP – Zatem społeczeństwo zmienia się pod wpływem nauki, lecz szkoły stoją w miejscu.

LL – Na tym właśnie polega problem. Jeżeli mówimy o edukacji i ktoś zapyta „po co jest szkoła”, to może otrzymać wiele różnych odpowiedzi. Sądzę, że moglibyśmy się zgodzić, iż celem szkoły jest przygotowanie jej absolwentów, powiedzmy siedemnasto-, osiemnastolatków, aby potrafili sobie poradzić w nowym świecie, w którym się pojawiają. Problem polega na tym, że ten świat jest inny niż świat ich nauczycieli i inny niż świat ich rodziców.

CF i CP – Czy szkoły przygotowują młodych ludzi do życia?

LL – Nie do życia, które spodziewają się przeżyć, lecz do jakiegoś innego życia.

CF i CP – Do życia wczorajszego?

LL – Właśnie. Więc jeśli ktoś zapyta, czy jest możliwe przygotowanie ich do nowego świata, to odpowiedź brzmi oczywiście, że tak, jest to możliwe. My, fizycy, dobrze o tym wiemy, gdyż jesteśmy przygotowani na to, co nieoczekiwane, na niespodzianki, na rzeczy niezwykle. Wiemy, że jeśli wybierzemy się rakieta w jakieś dziwne miejsce, to nic nie będzie tak, jak moglibyśmy się spodziewać.

CF i CP – Czy lubicie być zaskakiwani?

LL – O tak, uwielbiamy niespodzianki. Zazwyczaj oznaczają one, że dowiemy się czegoś nowego. Jeżeli nie ma niespodzianki, to jesteśmy niezadowoleni. Dlatego uważam, że nauki ścisłe stanowią klucz do nauczania w ogóle, ponieważ przygotowują ludzi na to, co nieoczekiwane, na niespodzianki, na to, co czeka ich w świecie, w którym będą żyć. Kiedyś żyło się inaczej. Po szkole średniej uczyliśmy się obsługiwać jakąś maszynę, na przykład tokarkę, pracowaliśmy przy niej przez jakieś czterdzieści lat, po czym szliśmy na emeryturę. Dostawaliśmy złoty zegarek, po czym żyliśmy cicho i spokojnie. A dzisiaj przychodzimy do pracy i widzimy, że maszyna zniknęła. Zastąpiła ją inna, sterowana przez komputer, więc musimy się nauczyć programować komputer. Nasza praca uległa zmianie. Wszystko wokół nas ulega takim zmianom.

CF i CP – *Czy tak się dzieje na całym świecie?*

LL – Skupiam się tu oczywiście na jakichś 20% świata, na krajach uprzemysłowionych i być może najbardziej zaawansowanych spośród krajów rozwijających się. W krajach Trzeciego Świata mamy do czynienia z inną sytuacją, choć tam też istnieje kryzys edukacji. Ma on nieco inne wymiary, aczkolwiek niektóre z nich nie są tak bardzo różne, zwłaszcza z punktu widzenia najmłodszych dzieci. Pracuję w Chicago z małymi dziećmi, od przedszkolaków do dwunastolatków i widzę, że problemy są bardzo podobne na całym świecie. Nawet w afrykańskich wioskach... Pracowałem kiedyś dla Międzynarodowej Rady Unii Naukowych w Paryżu, gdzie przewodniczyłem komitetowi do spraw *capacity building* (rozwijania zdolności). Poznałem bardzo wiele problemów, z jakimi boryka się edukacja w afrykańskich wioskach i w krajach Trzeciego Świata. Gdy wróciłem do Chicago, powiedziałem moim kolegom: „Nie uwierzycie, ale są na świecie miasta, które mają problemy niemal tak poważne jak Chicago”. Na poziomie szkoły podstawowej różnice kulturowe są minimalne. Rodzice mogą się różnić, lecz dzieci są dziećmi na całym świecie, więc uczenie stanowi dość podobny międzynarodowy problem! Na czym na przykład polega ten problem w Chicago? Nauczyciele nie umieją matematyki, nie umieją fizyki, nie umieją przyrody, a nauczyciel w szkole podstawowej musi uczyć wszystkiego. Na drugiej lekcji jest przyroda i nauczyciel, chcąc nie chcąc, uczy przyrody. Dzieci są bardzo bystre i natychmiast wyczuwają jego niepewność, co jeszcze bardziej powiększa jego niechęć i obawy. W niektórych szkołach w ogóle nie uczy się przyrody, ponieważ nauczyciele są totalnymi ignorantami w tej dziedzinie.

CF i CP – *Powiedział Pan, że naukowcy wierzą w obiektywność Natury. Lecz w społeczności nauczycieli istnieją ludzie, którzy nie podzielają tego poglądu. Uważają oni, że każdy ma prawo do swoich własnych poglądów na temat świata. Co sądzi Pan o tych tzw. postmodernistycznych teoriach?*

LL – Nauka jest jedyną uniwersalną kulturą. Mimo iż uważamy, że wszystkie naukowe teorie są tymczasowe, istnieją znaczne obszary naukowych przekonań, które przez wiele pokoleń były poddawane obiektywnym testom. Czy ktokolwiek słyszał o postmoderniście, który poddałby się operacji u postmodernistycznego chirurga?

CF i CP – *Więc nie przywiązuje Pan do tego zbyt wielkiej wagi?*

LL – Nie, sędzę, że to nonsens. Wydaje mi się, że postmoderniści mają swoje własne problemy, i mam nadzieję, że sami je rozwiążą, zanim zwariują. Ich nastawienie do nauki jest całkowicie nonsensowne. Wynika ono z ich własnych słabości i z ich wrogości wobec wiedzy.

Kwestia sprowadza się do pytania, czy istnieje obiektywna rzeczywistość. Fizycy uważają, że tak, istnieje. Może niezupełnie w takim sensie jak sądził Einstein, lecz istnieje.

CF i CP – *Podjęliście jakieś innowacyjne przedsięwzięcia edukacyjne w Illinois. Które z nich okazały się najbardziej skuteczne?*

LL – Mogę opowiedzieć o moich działaniach w szkołach podstawowych. Do publicznych szkół w Chicago uczęszcza 400 000 dzieci. Poziom ubóstwa jest bardzo wysoki, ponad 60% z nich pochodzi z ubogich rodzin. Rodzice zarabiają bardzo niewiele, niektórzy z nich są bardzo biedni, inni mniej, lecz większość w takim czy innym sensie jest biedna. Szkoły są niedofinansowane, a nauczyciele nie chcą uczyć w takich szkołach. Ulice są niebezpieczne, budynki szkolne są stare. Nie są to przyjazne okolice, ani dla ucznia, ani dla nauczyciela, więc nie uczą tam najlepsi nauczyciele. Zatem także i w tym sensie uczniowie są upośledzeni. Zdecydowaliśmy się podjąć pewien eksperyment, grupa naukowców z Fermilabu, z University of Chicago i z innych uniwersytetów w Chicago, przy wsparciu przedstawicieli biznesu i pewnej grupy nauczycieli, którzy zgodzili się wziąć w tym udział. Dostaliśmy na to pieniądze, ponieważ byłem dyrektorem Fermilabu. Budżet Fermilabu sięga setek milionów dolarów, więc gdy poprosiłem Departament Energii o dodatkowy milion...

CF i CP – *Wykorzystał Pan swoje znajomości wśród polityków?*

LL – Dostałem pieniądze od rządu federalnego, od władz stanu Illinois, od biznesu, itd. Założyliśmy fundację i organizację pod nazwą „The Teachers Academy”. „The Teachers Academy of Mathematics and Science” (Akademia Nauczycieli Matematyki i Nauk Ścisłych)...

CF i CP – Czy to szkoła dla nauczycieli?

LL – Właśnie – to szkoła dla nauczycieli. W Chicago istnieje 530 szkół, z czego 450 to szkoły podstawowe. W każdej z nich uczy około 30–40 nauczycieli. Więc idziemy do dyrektora takiej szkoły i negocjujemy z nim umowę. Ponad 80% nauczycieli zgodziło się wziąć udział w naszym programie. Początkowo prowadziliśmy go przez trzy czy cztery miesiące w latach 1989–1990, po czym we wrześniu 1990 uruchomiliśmy program dla dziesięciu szkół. Około 300 nauczycieli przychodziło do nas dwa razy w tygodniu, a my wysyłaliśmy do ich szkół nauczycieli zastępczych. Z początku nauczyciele mówili, że „nie powierzą swoich uczniów nikomu innemu”, więc przez dwa tygodnie zastępca prowadził lekcje wspólnie z nauczycielem, którego miał zastępować. Nazywaliśmy to „bonding” (budowanie więzów). Pracowali wspólnie, aż nauczyciel powiedział „OK, mogę powierzyć moich uczniów tej osobie”. Wtedy po raz pierwszy zdaliśmy sobie sprawę, że ci nauczyciele rzeczywiście kochają swoich uczniów i troszczą się o nich.

CF i CP – Więc pierwszy krok polegał na przygotowaniu nauczycieli.

LL – Tak. Zorganizowaliśmy kursy dla nauczycieli, w których główną zasadą był aktywny udział i własnoręczne wykonywanie doświadczeń przez uczniów. Po angielsku nazywa się to „hands on”, po francusku „mains à la pâte”. Takie programy powstały znacznie dawniej, w latach sześćdziesiątych. Berkeley stanowiło dobre źródło programów, które tu i ówdzie zostały uprzednio wypróbowane. Gdy w latach sześćdziesiątych wprowadzono je po raz pierwszy w niektórych ośrodkach, okazały się niezwykle skuteczne, lecz później cały ten ruch zamarł. Spróbowaliśmy go ożywić, wykorzystując różne programy, między innymi autorstwa profesora z University of Illinois. Najlepszy program, jaki znam, nazywa się TIMS, co oznacza „Teaching Integrated Math and Science” (zintegrowane nauczanie matematyki i przyrody).

CF i CP – Czy to jest program nauczania?

LL – Tak. Dam wam przykład eksperymentu, który wykonują dzieci w przedszkolu. Nauczyciel trzyma dużą tacę, pełną małych kolorowych cukierków.

CF i CP – To coś, co dzieci lubią.

LL – Właśnie. Wszystko na kolorowo. Pierwsza rzecz, jaka ulega zmianie, to wyposażenie klasy. Zamiast tradycyjnego układu, gdzie dzieci siedzą na krzesłach przy biurkach, a nauczyciel wyklada przy tablicy, bla, bla, bla..., w naszej szkole są stoły, wokół których dzieci grupują się w zespoły, a nauczyciel chodzi dookoła.

Od czasu do czasu przychodzą rodzice i pomagają w przeprowadzeniu lekcji, co na ogół polega na tym, że starają się dopilnować, żeby dzieci robiły to, co powinny robić, czyli wykonywać eksperyment. Każdy członek zespołu bierze pełną garść jellybeans (cukierków żelków) i kładzie je na stół.

CF i CP – Jaki eksperyment można zrobić z cukierkami, zanim zostaną zjedzone?

LL – Wszystko, co się robi, najpierw jest dyskutowane. Nauczyciel zadaje pytania, a uczniowie odpowiadają. Zaczynają od ułożenia cukierków. Spójrzcie na tę tacę z cukierkami. Ile ich jest? Czy więcej jest czerwonych, czy niebieskich? Dzieci mówią: „Musimy policzyć”. Dzieci umieją liczyć. Na razie tylko to umieją. Spróbujmy więc. Układają cukierki, czerwone w jednym rzędzie, niebieskie w drugim, dalej żółte, jeszcze dalej zielone. Układają je i dostają rozkład według kolorów. Dokładnie tak, jak my robimy to w Fermilabie. Zbieramy dane, dyskutujemy, po czym organizujemy dane. Nie mówimy im, że to jest histogram...

CF i CP – To jest różnica między pracą na wysokim i na niskim poziomie?

LL – Właśnie. Nauczyciel mówi: „Teraz przedyskutujmy nasze dane”. Na przykład: „Przypuśćmy, że ktoś z zasłoniętymi oczami podejdzie do stołu i weźmie osiem cukierków. Jak wam się wydaje, czy często trafi mu się czarny?”. Dzieci patrzą na swoje rozkłady: „Nie, ja nie mam czarnego”. „Tak, jak mam jeden czarny”. W całej klasie jest tylko jeden czarny cukierek, więc niemal nigdy go nie dostaniesz. Prawdopodobieństwo trafienia czarnego jest bardzo małe.

CF i CP – W ten sposób dzieci poznają pojęcie prawdopodobieństwa.

LL – Krok po kroku. To jest dla nich pierwsze zetknięcie z rozkładami i z prawdopodobieństwem. Pytamy ich o najczęściej występujący kolor. Patrzą na swoje rozkłady i widzą, że najwięcej jest czerwonych cukierków. Możemy także zadawać ilościowe pytania, na przykład: „O ile więcej jest czerwonych niż niebieskich?”. Nie umieją odejmować, lecz potrafią sobie z tym poradzić, licząc nadwyżkę czerwonych.

CF i CP – Bardzo pomysłowe doświadczenia. Sądzę, że moglibyśmy zrobić coś podobnego u nas.

LL – Istnieją setki takich eksperymentów, które można wykonywać z dziećmi od przedszkola po siódmą klasę (trzynastolatki). Te eksperymenty nie uczą nauki, lecz uczą, jak robić naukę, jak zadawać i jak odpowiadać na pytania.

CF i CP – O tym przecież jest nauka!

LL – Właśnie. Dam wam jeszcze jeden przykład – doświadczenie z bańkami mydlanymi. Nauczyciel gromadzi pudełka po mydłach, dzieci przynoszą do szkoły pudełka i lekcja zaczyna się od dyskusji na temat jakości różnych gatunków mydła. Nauczyciel stara się zainteresować dzieci robieniem baniek. Robi odpowiedni roztwór wody z pewną ilością detergentu, bierze rurkę i zaczyna wydmuchiwać bańki. Zachęca dzieci, żeby mierzyły, jak długo bańka się trzyma. Każdy stolik dostaje stoper i dzieci mierzą czas życia bańki mydlanej. Wypuszczają bańkę i włączają stoper. Gdy bańka pęka, zatrzymują stoper i odczytują czas. Powtarzają to trzydzieści lub czterdzieści razy. Na koniec robią wykres czasów życia baniek, po czym nauczyciel pyta: „Jaka jest szansa, że bańka żyje dwadzieścia sekund?”.

CF i CP – Czy w ten sposób poznają przyrodę?

LL – Poznają proces badania przyrody. Takie działania dominują w pierwszych kilku klasach. Od czasu do czasu poznają także jakieś fakty, nauczyciel poda im na przykład nazwy planet...

CF i CP – Poznają bardziej formalną naukę?

LL – Tak, nieco bardziej formalną. Nauczyciel powinien w odpowiednim miejscu dodać odpowiednie rzeczy.

CF i CP – Fakty naukowe?

LL – Podstawowe koncepcje napięcia powierzchniowego. Dlaczego bańka w ogóle istnieje. A treść ulega wzbogaceniu w miarę, jak program posuwa się do przodu. Szóstoklasiści uczą się dużo na temat przyrody, lecz sam proces, to, w jaki sposób dochodzi się do odpowiedzi na pytania, pozostaje wraz z nimi od samego początku. Na tym polega technika, lecz nauczyciele muszą być bardzo dobrze przygotowani, żeby móc skutecznie ją wykorzystać.

CF i CP – W tym tkwi klucz!

LL – Tak! Nauczyciel stanowi klucz, ponieważ to on w końcu wkracza do klasy, niezależnie od wszelkich obaw, jakie odczuwa. Dlatego tak bardzo się staramy, pracujemy z nauczycielami, zachęcamy ich, żeby nie obawiali się przyznać do swojej niewiedzy. Nauczyciel nie musi wiedzieć wszystkiego. Może powiedzieć: „Nie rozumiem, nie wiem, spróbujmy się dowiedzieć”. W każdej sali, w której uczymy, w kącie jest modem, telefon, książki, kompakty, taśmy video.

CF i CP – Więc są także komputery?

LL – W miarę naszych możliwości. Gdy zaczęliśmy odwiedzać różne szkoły w Chicago, pytaliśmy, czy mają komputery. Wywołało to wiele zakłopotania, lecz w końcu pokazano nam schowek, gdzie znajdował się komputer, którego nigdy nie wyjęto z pudła.

Wniosek jest następujący: trzeba poświęcić tym nauczycielom około trzech lat, w ciągu których powinni mieć co najmniej sto godzin matematyki, tyle samo przyrody oraz od trzydziestu do czterdziestu godzin technologii: jak włączyć komputer, jak użyć oprogramowania itd. Mimo iż ich początkowe przygotowanie było na poziomie zera, zaczęły wykazywać niezwykle postępy. Doświadczyłem tego wielokrotnie i za każdym razem nauczyciele mówili: „Gdybym to zrobił dziesięć lat temu, mógłbym być o wiele lepszym nauczycielem”.

CF i CP – Nadal mogą nimi być!

LL – Właśnie. A ich uczniowie stają się gwiazdami w standardowych testach, przez jakie przechodzą dzieci w stanie Illinois. Mamy wiele szkół, w których panuje bieda i poziom nauczania jest bardzo niski. I mamy też szkoły, w których uczą nauczyciele po naszych kursach. Uczniowie tych szkół robią bardzo szybkie postępy w umiejętności rozwiązywania problemów matematycznych. Nie ma dobrych testów z przyrody. Rozmawialiśmy z władzami stanowymi i próbowaliśmy ich przekonać, że testy z przyrody są niewłaściwe. Padło pytanie: „Czy należy skorzystać z pomocy profesorów?”. Absolutnie tak. Na najwyższym możliwym poziomie. Nauczyciele i urzędnicy odpowiedzialni za edukację nie wiedzą nic o nauce, ponieważ edukacja nie jest ożeniona z nauką. Musimy doprowadzić do ożenienia tych dwóch społeczności – edukacji i nauki. Istnieje wiele wzajemnych nieporozumień, lecz ten mariaż powinien przynieść wzajemne korzyści!

CF i CP – Dziękujemy bardzo, profesorze Lederman.

Tłumaczył Jacek Bieroń
Instytut Fizyki UJ



Marian Smoluchowski o kobietach w naukach ścisłych

(fragmenty z odczytu wygłoszonego na forum
Związku Naukowo-Literackiego we Lwowie w 1912 roku)

Zofia Gołąb-Meyer

Smoluchowski, jako świątły człowiek przełomu XIX i XX wieku, wyjątkowo mocno zaangażowany w problemy edukacji i kształcenie, miał oczywiście wyrobiony swój własny pogląd na udział kobiet w naukach ścisłych. Dał temu wyraz w odczycie wygłoszonym we Lwowie w 1912 roku w Związku Naukowo-Literackim. Osobiście znał Lizę Meitner, Marię Skłodowską-Curie i Tatianę Ehrenfest – wybitne uczone i osobowości. Zapewne wiedział, jakie przeszkody, począwszy od szkoły, poprzez maturę i studia, musiały one pokonać, by sforsować bramy uczelni, instytutów naukowych (zachowujemy pisownię i interpunkcję oryginału).

„Człowiek starej daty, który znalazłby się na dzisiejszym zebraniu, zadziwiłby się niemało już samym doбором tematu, o którym mam mówić. Kobiety w naukach ścisłych? Wszak aż do ostatnich czasów temi naukami nie zajmowały się wogóle nigdy i przyczynek kobiet do rozwoju nauk ścisłych jest znikomo mały. Na tem też istotnie opierał się jeden z głównych argumentów, mających uzasadnić rzekomą niższość intelektualną kobiet. Nie zajmują się matematyką, ani fizyką, ani chemią, gdyż nie są zdolne do tego, gdyż wogóle nie potrafią myśleć logicznie! Sztuka, literatura są dla nich jeszcze przystępne; ale nauki, wymagające przed wszystkimi innymi matematycznej ścisłości myślenia i chlubiące się mianem nauk ścisłych, te nauki zawsze pozostaną im obce.

Dziś zapatrywania ogółu na tę sprawę już znacznie się zmieniły. Dogmat o zasadniczej nielogiczności umysłu kobiecego przeszedł do składu starych przesądów. Zapewne, dużo jest i takich kobiet, które mówią, podług S i e n k i e w i c z a, że dwa i dwa to jest lampa; ale odkąd szkoły średnie, a częściowo i wyższe, otworzono kobietom, odkąd wogóle poziom wykształcenia ich zbliżył się do poziomu wykształcenia męskiego, spostrzeżono ze zdziwieniem, że kobiety potrafią całkiem dobrze myśleć, jeżeli przeszły odpowiednie wykształcenie i jeżeli do tego mają ochotę.

Absolwentki gimnazjów naszych niegorzej i nielepiej znają się na sinusach, cosinusach, logarytmach niż chłopcy; na uniwersytecie słuchają również wykładów matematyki wyższej, fizyki, chemji, z równym skutkiem. Profesorowie, którzy pod tym względem nabrali doświadczenia, twierdzą, że studentki nawet może przewyższają studentów w bystrości

pojmowania, sumiennej pilności oraz w łatwości przyswajania sobie materiału, jakkolwiek pod innym względem, co do samodzielności myślenia, mężczyźni stoją wyżej.”

Następnie Smoluchowski uzasadnia swoją tezę, stwierdzając nikły udział kobiet w historii nauki. Omawia też rzetelnie trzy wybrane przez siebie postacie, wykazując spory zmysł obserwacyjny, rodzaj empatii. Cechuje go w tym charakterystyczne dla jego epoki zainteresowanie psychologią i typami umysłowości.

„Są one zdolne do uczenia się, a także zdolne do uczenia innych; ale nasuwa się jeszcze kwestja (i nią głównie dzisiaj zajmiemy się): czy są one zdolne do samodzielnej twórczej pracy naukowej i czy dorównują mężczyznom w produktywności naukowej?”

Pod tym względem niewątpliwie sprawa przedstawia się odmiennie. Do tego stosują się słowa na wstępie powiedziane, że aż do bardzo niedawna zasługi kobiet koło postępu nauk ścisłych były prawie równe zeru. Nawet i dzisiaj produktywność naukowa kobiet, z wyjątkiem jednej, o której jeszcze dalej będzie mowa, w zakresie tych nauk jest *une quantité négligeable*, pomimo że ich twórczość w literaturze, sztuce, poezji tak zaszczytne, często pierwszorzędne zajmuje miejsce.”

Tu następuje krótki opis osiągnięć naukowych kobiet w przeszłości – wspomniana jest też Liza Meitner.

„Przyznać jednak trzeba, że nazwiska te utkwiły nam w pamięci właśnie tylko dlatego, że były to kobiety, sam zaś przyczynek naukowy od autorek tych pochodzący, jest tak drobny, że ginie w powodzi prac równie ważnych lub bezporównania ważniejszych, które inni uczeni wykonali i wykonywają.”

Dokładniej i rzetelniej omawia Smoluchowski osiągnięcia naukowe trzech kobiet: Sophie Germain, Zofii Kowalewskiej (*Foton* 65) i Marii Skłodowskiej-Curie. Po tym omówieniu czytamy dalej:

„Punktem wyjścia naszych rozważań była sprawa uzdolnienia umysłu kobiecego do nauk ścisłych. Starałem się dać obraz sprawiedliwy naukowej działalności trzech kobiet uczonych; wystarczy to do zbitcia przesądu, jakoby kobiety nie były wogóle zdolne do pracy twórczej w zakresie tych nauk. Zasług naukowych naszej rodaczki mogliby pozazdrościć nawet pierwszorzędni uczeni. Tem dziwniejszem wydaje się, czemu są to tylko rzadkie wyjątki, czemu do dziś dnia panuje olbrzymia taka dysproporcja

w pracy kobiet i w pracy mężczyzn na polu twórczości ściśle naukowej, podczas gdy kobiety zajmują wybitne stanowiska w twórczości literackiej, poetycznej, artystycznej, a nawet w obrębie samych nauk ścisłych nie ustępują mężczyznom w działalności reproduktywnej: w uczeniu się i nauczaniu innych. Często słyszy się zdanie, że jest to skutek dziedziczności, konsekwencja wiekowego zaniedbania umysłu kobiecego. Zdaje mi się, że takie tłumaczenie nie wytrzymuje krytyki. Każdy przyrodnik wie, jak nadzwyczajnie trudno dziedziczą się cechy, nabyte podczas życia indywidualnego. Iluż pokoleń na to potrzeba, żeby wytworzyć stałe skłonności psychiczne! Z pewnością o wiele więcej niż obejmuje okres historyczny, odkąd młodzież męska pobiera systematyczną naukę szkolną. Skłonności psychiczne (a przeważnie też fizyczne) nie dziedziczą się zresztą w ten sposób, żeby zdolności ojca przechodziły na syna, a zdolności matki na córkę; w równym stopniu prawdopodobieństwa dzieje się też naodwrot.

Nie sądzę, ażeby istniała wybitna różnica w usposobieniu intelektualnym obu płci, ażeby umysł kobiecy posiadał mniejsze zdolności w kierunku nas zajmującym. Owa dysproporcja pochodzi od pewnych przyczyn odmiennej natury; od różnicy upodobania, różnicy zajęcia i różnicy charakteru.

Nauki ścisłe dla kobiet mniej są pociągające naogół niż nauki humanistyczne; owe nauki, które *Herbert Spencer* nazwał «ornamentacyjnymi». Kobiety z natury mają pociąg do ornamentacyjności; wolą też historję, literaturę, filozofję, nawet medycynę i nauki biologiczne, niż matematykę, fizykę, chemję. Tamte ogniskują się około człowieka, około życia; te zajmują się przyrodą martwą i prawidłami abstrakcyjnymi; wydają się kobietom zazwyczaj suche i nudne. Czy te upodobania zmieniają się z czasem? Nie przypuszczam.

Pomijając różnicę upodobania, przejdźmy do psychologii twórczości naukowej; sądzę, że tu także kobiety są w mniej korzystnym położeniu. Twórczość naukowa wymaga zupełnego oddania się nauce, myśli skupionej w jednym kierunku. Dyletantyzm jest tu wykluczony; uczony jest zawsze do pewnego stopnia dziwakiem, wpatrzonym w swoją naukę, ignorującym względy i obowiązki życia codziennego. Kobieta zaś jest niewolnicą drobnych codziennych obowiązków. Jeżeli uprawia naukę, czyni to zazwyczaj nie w zamiarze poświęcenia jej całego życia, lecz tylko po dyletancku.

W sztuce, a zwłaszcza w literaturze, dyletantyzm nie jest przeszkodą do osiągnięcia pierwszorzędnych wyników. W nauce to niemożliwe, tam trzeba przechodzić długie lata trudnego, systematycznego studjum, zanim wolno marzyć o pracy samodzielnej; chcąc dojść do poważniejszych wy-

ników, trzeba duszę c a ł k o w i c i e zaprzedać nauce. Dzisiaj wprawdzie zawody „uczzone” są w znacznej części dla kobiet otwarte (i byłby już czas, żeby znikły jakiegokolwiek w tym względzie ograniczenia) lecz znaczna większość kobiet będzie zawsze zajęta tym zawodem, jak powiada J. St. M i l l, «w którym mężczyzna konkurencji jej czynić nie potrafi».

Wreszcie, gdy mowa o kobietach, które mają upodobanie do nauki i które poświęcają się jej całkowicie, to przecież nie ulega wątpliwości, że mężczyźni zazwyczaj odznaczają się większą inicjatywą i samodzielnością. Jest to raczej właściwość charakteru niż umysłu; ale właściwość ta istnieje i odgrywa rolę nadzwyczaj ważną w samodzielnej twórczości naukowej. Składają się na nią różne cechy: pewna awanturczość, odwaga w wypowiedaniu zdania, upór i zaufanie do siebie samego, pewne zaciekrzenie w swych przedsięwzięciach – wogóle cechy charakteru, które obserwujemy u chłopców bijących się na ulicy. One były źródłem powodzenia Kolumba i one też dają natchnienie uczonym badaczom do odkrywania nowych dróg badania naukowego; one są źródłem tego, co nazywamy genialnością.

Nie wydaje się to prawdopodobnym, żeby na polu twórczości naukowej mogła zapanować z biegiem czasu równość zupełna, choć dysproporcja obecna niewątpliwie z czasem zmaleje. Kobiety odznaczają się przecież pewnymi specjalnymi zaletami: drobiazgową sumiennością i mrówczą pilnością pracy, które powinny im dawać wybitne uzdolnienie w kierunku np. chemii, gdzie ważną rolę grają systematyczne, mozolne poszukiwania doświadczalne.

Kobietom, które wstępują na drogę naukową, powinno się ułatwiać ich powołanie; powinny nareszcie zniknąć wszelkie zewnętrzne przeszkody, owe śmieszne przesady, owe przestarzałe poglądy, które zamykają dostęp kobietom do niektórych instytucji naukowych, które im utrudniają kształcenie się, pracę naukową, dostęp do katedr uniwersyteckich. Niech tu (jak na każdym innym polu) panuje zasada wolnej konkurencji. Oby ta konkurencja była jaknajżywsza.”



KARTKA Z HISTORII

Heisenberg w okupowanym Krakowie

Krzysztof Fiałkowski

Instytut Fizyki UJ

W grudniu 1943 roku nastąpiło zdarzenie, które w czasach pokoju byłoby wielkim świętem dla fizyki i całej nauki krakowskiej: do Krakowa przyjechał z odczytem laureat Nagrody Nobla z 1932 roku, jeden z twórców mechaniki kwantowej, Werner Heisenberg. Skąd wziął się on w Krakowie i jak przebiegła jego wizyta?

Minęło prawie 60 lat od II wojny światowej. Żyje już niewielu świadków tych czasów, a dla większości społeczeństwa wydarzenia okupacyjne są równie odległe i nierealne, jak powstanie styczniowe czy też wojny napoleońskie. Wypada więc najpierw przypomnieć, jak żyli naukowcy w okupowanym Krakowie¹.

Kraków został zajęty przez wojska niemieckie 6 września 1939 roku i prawie do końca października był zarządzany przez władze wojskowe, które nie sprzeciwiały się otwarciu szkół średnich i przygotowaniom do rozpoczęcia roku akademickiego. Jednak po utworzeniu (26 października) z części okupowanych ziem polskich Generalnego Gubernatorstwa, którego władca, Hans Frank, zajął na swą siedzibę zamek wawelski, postanowiono zniszczyć szkolnictwo polskie oprócz szkół podstawowych i zawodowych. 3 listopada szef gestapo w Krakowie, Obersturmbannführer Bruno Müller, wezwał do siebie Rektora Uniwersytetu Jagiellońskiego prof. Tadeusza Lehra-Spławińskiego i polecił mu zorganizować w dniu 6 listopada o godzinie 12 zebranie nauczycieli akademickich, na którym Müller miał wygłosić wykład o stosunku III Rzeszy do zagadnień nauki i szkolnictwa wyższego.

O oznaczonej porze gmach Collegium Novum został otoczony przez kordon policji. Po wejściu do sali nr 56 Müller oświadczył, że Uniwersytet rozpoczął rok akademicki bez zgody władz, a i wcześniej dawał dowody swojej wrogości wobec III Rzeszy, zatem wszyscy zebrani zostają aresztowani i będą przewiezieni do obozu koncentracyjnego. W tej tzw. Sonderaktion Krakau (akcji specjalnej Kraków) aresztowano w sumie 183 osoby; oprócz zebranych w sali profesorów także innych pracowników Uniwersytetu, ponadto 20 pracowników Akademii Górniczej, a nawet osoby przypadkowo obecne w budynku. Po kilku dniach uwięzieni

¹ Zainteresowanym czytelnikom polecam książkę profesora Bronisława Średniawy *Historia filozofii przyrody i fizyki w Uniwersytecie Jagiellońskim*, Retro-Art, Warszawa 2001; pracę *Wyrok na Uniwersytet Jagielloński* pod red. Leszka Hajdukiewicza, KAW, Kraków 1989, i książkę Tadeusza Wrońskiego *Kronika okupowanego Krakowa*, Wyd. Literackie, Kraków 1974.

zostali przewiezieni do Wrocławia, a 28 listopada do obozu koncentracyjnego Sachsenhausen-Oranienburg.

Aresztowanie wzbudziło falę oburzenia nawet wśród sojuszników Niemiec. Protesty uczonych włoskich i innych, potem nawet rządu włoskiego i Watykanu, doprowadziły do zwolnienia w dniu 8 lutego 1940 roku 101 więźniów w wieku powyżej 40 lat. Jednak już do tego czasu zmarło w obozie wskutek strasznych warunków 12 profesorów, a po kilkunastu dniach – trzynasty. Spośród pozostałych więźniów kilkunastu starszych było stopniowo zwalnianych w ciągu roku, a młodszy zostali 4 marca przewiezieni do obozu w Dachau.

Kolejne interwencje dyplomatów, a także uczonych niemieckich, doprowadziły do zwolnienia do końca 1940 roku wszystkich aresztowanych z wyjątkiem trzech. Dwaj z nich, geograf Wiktor Ormicki i filozof Joachim Metallmann, zostali zamordowani w obozie jako Żydzi. Łącznie w obozach lub bezpośrednio po zwolnieniu zmarło ponad 20 osób.

Wśród aresztowanych byli oczywiście przedstawiciele nauk fizycznych i matematycznych: znakomity astronom Tadeusz Banachiewicz, matematyk i fizyk Adam Bielecki, fizyk Dobiesław Doborzyński, sławny fizyk i dydaktyk Arkadiusz Piekara, matematyk, fizyk i astronom, odkrywca komet Antoni Wilk oraz fizyk, autor podręczników i tablic Mieczysław Jeżewski. Spośród matematyków zostali aresztowani: Franciszek Leja, Stanisław Turski, Tadeusz Ważewski, Stanisław Gołąb i Antoni Hoborski. Obozu nie przeżył profesor Akademii Górniczej Antoni Hoborski, pozostali przeżyli obóz, jednak Wilk zmarł w tydzień po zwolnieniu, a Doborzyński po ponownym aresztowaniu zginął w 1942 roku w Oświęcimiu. Szczęśliwie uniknęli aresztowania inni znani fizycy krakowscy: Jan Weysenhoff, który był wówczas we Lwowie, Konstanty Zakrzewski i Marian Mięrowicz.



Collegium Witkowskiego, z prawej strony budynek Collegium Novum

Lata wojny spowodowały dewastację Instytutu Fizyki, którego budynek Collegium Witkowskiego przy ul. Gołębiej 13 został przejęty przez tzw. Institut für Deutsche Ostarbeit (w skrócie „Ostinstitut”), organizację kierującą działalnością naukowo-propagandową w krajach okupowanych. Uczni z Uniwersytetu i innych uczelni podjęli tajną działalność dydaktyczną, której rozmiary zasługują z pewnością na osobne omówienie. Z oczywistych przyczyn pracę naukową można było prowadzić tylko w dziedzinie fizyki teoretycznej. Powstały wówczas prace (np. Weysenhoffa, jego doktoranta Bronisława Średniawy i zmarłego później w obozie Oświęcimiu Antoniego Raabego), opublikowane dopiero po wojnie.

Czy o tym wszystkim wiedział Heisenberg i co myślał o prześladowaniu polskich naukowców i o zagładzie narodu żydowskiego, realizowanej przez nazistów?

Heisenberg nie był członkiem partii nazistowskiej NSDAP ani antysemitą. Jednak jego stosunek do władz hitlerowskich był dwuznaczny: skoro nie zdecydował się na emigrację, musiał spełniać polecenia władz, a niekiedy nawet prosić je o pomoc. Tak było z końcem lat trzydziestych, gdy Heisenberg został oskarżony o związki z uczonymi żydowskimi i niechęć do głoszenia absurdalnej „fizyki aryjskiej”, która stała się częścią ideologii nazistowskiej. Dopiero interwencja Himmlera uwolniła go od groźby utraty pracy, a może nawet aresztowania. Zrozumiał więc, że Heisenberg miał powody do wielkiej ostrożności. Podobno dowiadywał się po Sonderaktion Krakau o los Jana Weysenhoffa, ale zapewne uspokojony wiadomością, że Weysenhoffa nie ma na liście aresztowanych, nie podjął żadnych starań o pomoc ofiarom tej akcji.

Potem Heisenberg zajął ważną pozycję w niemieckim programie badań atomowych². Nadal jednak nie był osobą „pewną” dla władz hitlerowskich i w 1941 roku, mimo zaproszenia ówczesnego dyrektora Ostinstitutu i poparcia Franka, nie pojechał do Krakowa z powodu braku zgody Ministerstwa Edukacji Rzeszy. Jedy- nym śladem planowanej wizyty został artykuł wydrukowany w dwu kolejnych numerach dziennika *Krakauer Zeitung*, 25 i 27 stycznia 1942 roku. Był to tekst publicznego wykładu, wygłoszonego przez Heisenberga wcześniej, 26 listopada 1941 (na uniwersytecie w Lipsku) pod tytułem „Einheit des naturwissenschaftlichen Weltbildes” („Jedność naukowego obrazu świata”), który zapewne miał też wygłosić w Krakowie.

Później sytuacja Heisenberga zmieniła się. Być może odegrała w tym rolę osoba jego współpracownika, Carla von Weizsaeckera, którego ojciec był sekretarzem stanu. Heisenberg i Weizsaecker pojechali w 1941 roku do Kopenhagi, gdzie odwiedzili Nielsa Bohra. Miała wtedy miejsce sławna rozmowa, w której Heisenberg próbował zapewnić Bohra, że Niemcy nie zbudują bomby atomowej, a Bohr zrozumiał to wręcz przeciwnie – co miało później istotny wpływ na amerykański

² Losy Heisenberga w III Rzeszy opisuje szczegółowo Mark Walker w książce *Bomba atomowa Hitlera*, Amber, Warszawa 1999.

program atomowy. Prawdziwy przebieg tej rozmowy wzbudza do dziś wątpliwości i emocje, niedawno poświęcono mu nawet cieszącą się wielkim powodzeniem sztukę teatralną (*Copenhagen* Michaela Frayna). Władze uznały zapewne wizytę Heisenberga w Danii za sukces, bo wkrótce pojechał też do Szwajcarii, na Węgry i do Holandii, a w 1943 roku ponownie został zaproszony do Krakowa, tym razem przez samego gubernatora Franka.

O przebiegu wizyty wiemy niewiele. W odróżnieniu od innych wyjazdów nie zachowało się żadne oficjalne sprawozdanie Heisenberga, niewiele też napisał w listach do rodziny. Znalazłem jednak w numerze 302 *Krakauer Zeitung* z dnia 18 grudnia 1943 roku krótką notatkę pod tytułem „Kleinste Bausteine aller Materie” („Najmniejsze cegiełki materii”). W notatce tej czytamy, że profesor Heisenberg, dyrektor Instytutu Cesarza Wilhelma w Berlinie, wygłosił w wielkiej sali Ostintitutu wykład o aktualnych celach badań fizycznych. Po omówieniu rozwoju fizyki atomowej i mechaniki kwantowej przedstawił osiągnięcia fizyki jądrowej, która pozwala urzeczywistnić przemiany jąder, a przez to stary sen alchemików: transmutację pierwiastków chemicznych. Szczególną rolę w badaniu najmniejszych składników materii odgrywa analiza oddziaływania promieniowania kosmicznego z materią. Notatka mówi też, że po zakończeniu entuzjastycznie przyjętego wykładu Hans Frank osobiście dziękował wykładowcy i chwalił jego osiągnięcia naukowe.

O wizycie Heisenberga wiedziałem już wcześniej z ustnych przekazów fizyków, którzy byli wówczas w Krakowie. Czas zatarł szczegóły i wiele przekazów nie zgadza się ze sobą. Sądzę jednak, że można przyjąć, że wykład odbył się w jedynej należącej do *Ostintitutu* dużej sali – tzw. sali kopernikańskiej Collegium Witkowskiego, w której do roku 1964 pokolenia studentów (a wśród nich i ja) słuchały wykładów z fizyki. Dziś sala ta nosi imię księdza profesora Józefa Tischnera, który w latach dziewięćdziesiątych wygłaszał w niej sławne wykłady z filozofii.

Wiadomo też, że wykład był „nur für Deutsche” (tylko dla Niemców). Dwaj nieżyjący już wybitni fizycy – ówczesny student tajnego Uniwersytetu Jerzy Rayski i docent Akademii Górniczej Marian Mięśowicz – opowiadali, że usiłowali wejść na salę, ale zostali brutalnie przepędzeni przez strażników. Według powtarzanych pogłosek, salę wypełniali głównie żołnierze Wehrmachtu, a że w Krakowie stacjonowało niewielu Niemców, byli to podobno głównie żołnierze oddziałów „sojusznicznych” (ukraińskich czy też łotewskich). Nie należy więc wątpić w „entuzjastyczne przyjęcie” wykładu, o jakim wspomina notatka w *Krakauer Zeitung*; bardziej wątpliwe jest, czy ktoś ten wykład zrozumiał...

Po co w ogóle Heisenberg przyjechał do Krakowa? W wywiadzie udzielonym po wojnie kontrowersyjnemu historykowi angielskiemu Davidowi Irvingowi Heisenberg wyznał podobno szczerze: „nie mogłem sobie robić wroga z Franka”. Czy istotnie nie mógł? Dlaczego nie próbował skontaktować się ze znanymi sobie

dobrze sprzed wojny fizykami, takimi jak Weysenhoff i Jeżewski? Czy obawiał się o ich bezpieczeństwo, czy też było mu wszystko jedno, co o nim pomyślą? Czy wierzył wtedy jeszcze w zwycięstwo Niemiec, jak w 1941 roku w Kopenhadze, gdzie przekonywał Duńczyków do konieczności pogodzenia się z „nowym ładem w Europie”? Pewnie nigdy nie dowiemy się tego. Tylko w archiwach zostały ślady o wizycie wielkiego fizyka, którego nie mogli wysłuchać fizycy polscy.



Werner Heisenberg z synami 1940 r. Monografia David C. Cassidy

Redakcja poleca:

Werner Heisenberg, *Część i całość*, PIW, Warszawa 1987

Gimnazjum Maksymiliana w Monachium – „Szkoła Wernera Heisenberga”, *Foton* 8, 1992, str. 9

Zofia Gołąb-Meyer, „O ojcu Wernera Heisenberga”, *Foton* 19, 1993, str. 20



KĄCIK ZADAŃ

Igraszki z lupą

Sławomir Brzezowski

Instytut Fizyki UJ

Lupą posługujemy się na co dzień. Nie analizując zachodzących zjawisk, ustawiamy ją tak, aby „było widać” i nie zastanawiamy się nad tym, co widzimy przez lupę, gdy ta nie jest właściwie ustawiona w stosunku do oglądanego obiektu. Rozwiązując poniższe dwa zadania dokonamy szczegółowej i kompletnej analizy zjawisk optycznych, które występują w takich przypadkach.

1.

Posłużymy się zwykłą lupą, taką jaka służy do czytania drobnego druku. Najpierw musimy oszacować jej ogniskową, co najłatwiej zrobić, skupiając na dłoni światło od odległego obiektu (wystarczy obramowanie okna w pracowni albo żarówka lampy, od której dzieli nas kilka metrów).

Na zadrukowaną kartkę patrzymy bez lupy z odległości l nieco mniejszej niż ogniskowa lupy (będziemy zapewne widzieć nieostro). Lupę przykładamy do druku i nie zmieniając odległości l , przesuwamy lupę w stronę oka. Obraz druku wydaje się rosnąć, a potem maleje. Wyjaśnij, dlaczego tak jest.

2.

Teraz ogniskową lupy mnożymy przez cztery i dodajemy odległość dobrego widzenia d (niżej okaże się, dlaczego akurat tak). Otrzymaliśmy pewną szacunkową wielkość L' .

Zadrukowaną kartkę trzymamy teraz w odległości L (nieco większej od L') od oka. Przy samej kartce ustawiamy lupę.

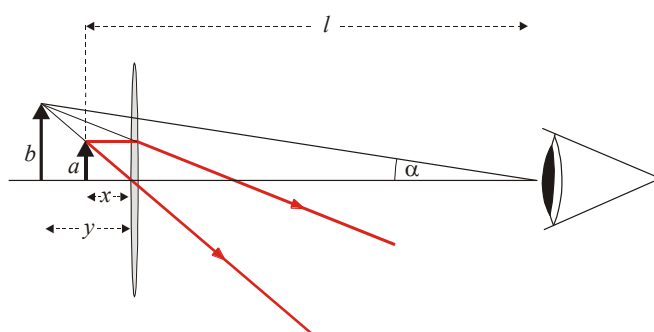
Nie zmieniając odległości L , przesuwamy lupę w stronę oka. Zmiany obrazu, które obserwujemy przy przesuwaniu soczewki, zachodzą w kilku fazach: podczas kolejnych faz obraz bywa ostry bądź nieostry, odwrócony lub prosty. Fazy te odzielone są punktami zwrotnymi, w których w soczewce nie widzimy niczego.

Opisz dokładnie kolejne fazy doświadczenia (aż do chwili gdy soczewka znajdzie się przy samym oku), a następnie przedstaw teoretyczne wyjaśnienie wszystkich kolejno zaobserwowanych zjawisk.

Rozwiązania:

Ad 1.

Jeżeli soczewka jest przy samym obiekcie, to widzimy jego obraz pozorny, prosty, niepowiększony. Na ogół widzimy nieostro, bo pozorny obraz przedmiotu jest teraz tuż za soczewką (tam gdzie przedmiot), a więc w odległości zwykle mniejszej od odległości dobrego widzenia: nasze oko widzi z tej odległości nieostro. Widać jednak, że obraz odbieramy jako prosty¹. Jak wiemy, kiedy soczewka oddala się od kartki, obraz pozorny oddala się za kartkę i rośnie. Tak więc widzimy obraz, który jest coraz większy, ale też coraz bardziej oddalony. Możemy spytać, jak zmienia się przy tym kąt α , pod jakim widzimy ten obraz².

Znajdziemy zależność wartości $\operatorname{tg}\alpha$ od x .

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{b}{l + y - x}$$

Korzystamy z tego, że $y = \frac{fx}{f-x}$ (równanie soczewki), oraz z tego, że

$$b = a \frac{y}{x} = \frac{af}{f-x} \quad (\text{twierdzenie Talesa}), \text{ i otrzymujemy: } \operatorname{tg}\alpha = \frac{af}{lf - lx + x^2}.$$

¹ Uwaga! Obserwowany w ten sposób obraz nasz mózg uznaje za prosty, mając na siatkówce obraz odwrócony!

² Dwa grube promienie zaznaczone na tym rysunku nie wpadają co prawda do oka, które narysowaliśmy. Nanieśliśmy je po to, aby łatwo ustalić przestrzenną lokalizację końca strzałki b . Do oka wpadają inne promienie, komponujące na siatkówce obraz końca strzałki. Ustalenie dokładnego ich biegu jest możliwe na podstawie naszego rysunku i byłoby pożytecznym ćwiczeniem.

Dalej postępujemy standardowo, jak przy badaniu przebiegu funkcji. Obliczamy pochodną $\frac{d}{dx} \operatorname{tg} \alpha = \frac{af(l-2x)}{(lf-lx+x^2)^2}$.

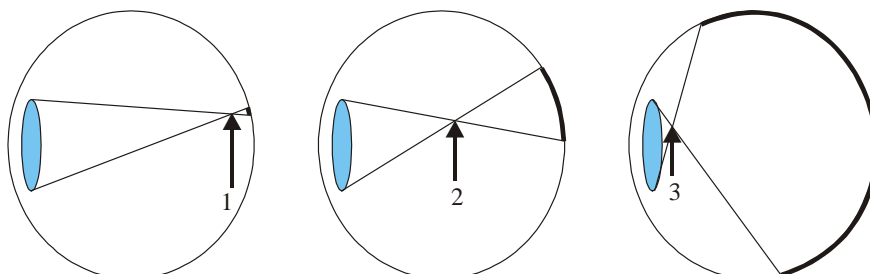
Z zależności tej pochodnej od zmiennej x (jest dodatnia dla $x < \frac{l}{2}$) wnosimy, że dopóki $x < \frac{l}{2}$, dopóty kąt widzenia obrazu pozornego rośnie wraz ze wzrostem x , a dla większych x – kąt ten maleje.

Ad 2.

Powtarzamy doświadczenie z nową, większą stałą odległością L . Na początku obraz rośnie. Tym razem jednak, zanim lupa dojdzie do miejsca $x = \frac{L}{2}$, osiągnie ona punkt $x = f$. Gdy lupa mija ten punkt, obraz pozorny, który oddalił się do nieskończoności za kartkę, przeskakuje „do drugiej nieskończoności”, za naszą głowę. Byłby to obraz odwrócony rzeczywisty. Promienie tworzące ten obraz przechwytyje nasze oko, tworząc z nich w oku obraz odwrócony i (na siatkówce) nieostry, bo ostry obraz powstaje teraz przed siatkówką (oko odbiera teraz promienie zbieżne, a na siatkówce potrafi ono skupiać promienie w przybliżeniu równoległe lub lekko rozbieżne). Ten nieostry obraz jest w oku odwrócony, więc obiekt widzimy jako nieostry, prosty. Przeskok obrazu z nieskończoności za kartką do nieskończoności za naszą głowę jest trudno uchwytne i rozpoznać go można tylko po tym, że widziany przez nas obraz staje się nieostry, czego przyczynę właśnie wyjaśniliśmy. Oddalanie lupy od kartki sprawi teraz, że odwrócony obraz rzeczywisty zbliżałby się od tyłu do miejsca, gdzie jest nasza głowa. Tworzące go promienie będą coraz bardziej zbieżne. Te z nich, które wpadną do naszego oka, będą coraz bardziej zbieżne, więc odwrócony obraz rzeczywisty we wnętrzu naszego oka będzie coraz bliżej soczewki (tej w naszym oku), czyli coraz dalej od siatkówki. Będziemy więc widzieli obraz prosty, coraz bardziej nieostry. W końcu obraz zza naszej głowy doszedłby do płaszczyzny soczewki w oku. W tym momencie obraz druku na siatkówce po raz pierwszy zniknie zupełnie: odniesiemy wrażenie, że lupa emituje z całej swojej powierzchni jednolite światło, bez żadnej struktury.

Spróbujmy to wyjaśnić. Na rysunku mamy przekrój oka i kilka kolejnych pozycji odwróconego rzeczywistego obrazu, który się w nim tworzy. Numeracja odpowiada oddalaniu lupy od druku. Gdy obraz jest jeszcze blisko siatkówki, każdy jego punkt jest odwzorowywany na siatkówkę jako niewielka plamka (a więc widzimy tylko trochę nieostro). Kolejne obrazy są coraz dalej od siatkówki, czyli ich punkty dają coraz większe plamy na siatkówce. W końcu, gdy obraz jest przy

samej soczewce, każdy jego punkt jest odwzorowywany na jednolicie ubarwioną plamę na całej siatkówce, co odpowiada efektowi opisanemu wyżej.



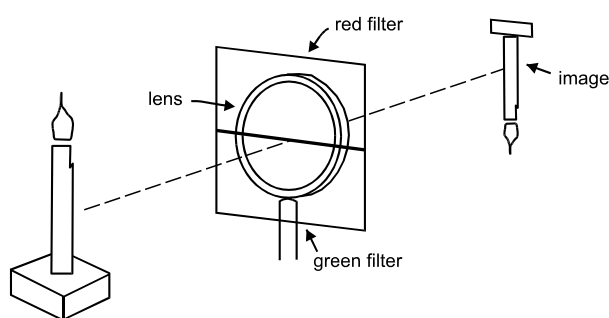
Oddalanie lupy od kartki sprawi teraz, że odwrócony obraz rzeczywisty wyjdzie z oka i będzie się formował przed nim. Najpierw obraz ten znajdzie się tuż przed okiem – będziemy wtedy widzieli nieostry obraz odwrócony (na siatkówce będzie nieostry obraz prosty). Później, gdy obraz przed naszym okiem oddali się od niego na odległość dobrego widzenia, zobaczymy go ostro³. Należy pamiętać o tym, że co prawda obraz rzeczywisty odwrócony, tworzony przed nami przez lupę, zbliża się ciągle do lupy, to jednak lupa zbliża się do oka. Tworzony przez nią obraz coraz wolniej zbliża się do jej ogniska i w końcu wraz z lupą zaczyna się zbliżać do naszego oka. Powtórnie widzimy go wtedy nieostro. Przy dalszym zbliżaniu lupy do oka obraz osiąga soczewkę (tę w oku) i mamy znowu sytuację odpowiadającą pozycji 3 na ostatnim rysunku – ponownie „ślepiemy”. Gdy lupa jest przy samym oku, obraz rzeczywisty odwrócony tworzy się już gdzieś w oku między siatkówką i soczewką – widzimy obraz prosty, nieostry.

³ Do tego właśnie potrzebny był warunek $L > 4f + d$. Jest to warunek wystarczający, abyśmy w pewnej chwili zobaczyli obraz ostry.



CZYTAMY PO ANGIELSKU Hewitt's Figuring Physics

The lens projects an image of the white candle on the wall. How will the image differ if the top half of the lens is covered with a red filter and the bottom half with a green filter?



Dictionary:
lens – soczewka

The Physics Teacher, Vol. 37, Feb. 1999

Od Redakcji:

Zadanie sprawdza rozumienie mechanizmu powstawania obrazu w soczewce skupiającej oraz problem „mieszania barw”. W uproszczonej wersji (test wyboru) zadanie może być przedstawione:

Na ekranie powstaje obraz rzeczywisty utworzony przez soczewkę skupiającą. Gdy przysłoniemy dolną połowę soczewki, na ekranie powstanie:

- a) dolna część obrazu;
- b) górna część obrazu;
- c) obraz nieostry;
- d) obraz bardziej szary.

Okazuje się, że powszechnie udzielaną odpowiedzią jest błędna odpowiedź b).



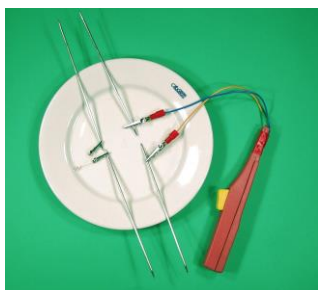
KĄCIK EKSPERYMENTATORA

Doświadczenie Hertza (na deser)

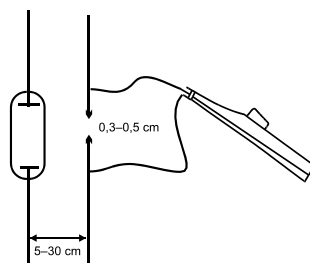
Andrzej Krzysztofowicz, Grzegorz Karwasz *

Instytut Fizyki, Pomorska Akademia Pedagogiczna, Słupsk

H. R. Hertz w swoich poszukiwaniach „fal Maxwella” w 1887 roku używał jako nadajnika cewki Ruhmkorffa, anten o różnych kształtach, a przeskok iskry obserwował pod mikroskopem. Doświadczenie to można łatwo powtórzyć, używając piezoelektrycznego zapalacza do gazu (15 zł) i małej neonówki (np. ze wskaźnika napięcia sieciowego, za 3 zł). Do zapalacza, po zdjęciu metalowego kapturka, należy podłączyć antenę nadajnika – dwie igły, druty do robót ręcznych (zob. fot. 1) lub kawałki drutu nawojowego ($\phi = 0,5\text{--}1,5\text{ mm}$).



Fot. 1



Odbiornik – to dwa identyczne druty, połączone przez neonówkę, umieszczone równoległe, w odległości 5–30 cm od nadajnika (dłuższe druty pozwalają na większą odległość między nadajnikiem a odbiornikiem). Druty muszą być izolowane od podłoża, np. leżeć na fajansowym półmisku (stół nie jest dobrym izolatorem) lub wisieć rozpięte na dwóch sznurkach lub lepiej na żyłce nylonowej.

Naciskanie zapalacza powoduje zapalenie się neonówki. Ognik w neonówce jest intensywniejszy, jeśli między drutami nadajnika przeskakuje iskra (należy odpowiednio dobrać przerwę w nadajniku).

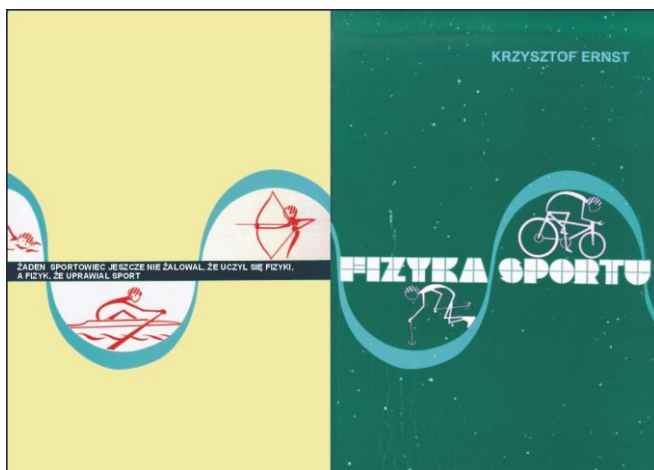
Prądy w zjawisku piezoelektrycznym są niewielkie, ale napięcia rzędu 10 kV – przesuwanie gołą ręką naładowanych drutów kończy się niemiłym wstrząsem. Zapalanie się neonówki świadczy o powstawaniu napięcia w odbiorniku rzędu 100 V.

*e-mail: karwasz@science.unitn.it

KRONIKA**Zmarł Profesor Krzysztof Ernst**

Dnia 2 stycznia 2003 r. zmarł w Warszawie profesor **Krzysztof Ernst**, wielki entuzjasta fizyki, obdarzony szczególnym talentem popularyzatorskim. W ostatnich latach zajmował się również fizyką sportu. Jego wykład o fizyce ping-ponga, wielokrotnie prezentowany i słuchany z ogromnym zainteresowaniem przez rzeszę fizyków, uczniów, nauczycieli (*Foton 76*) został wyróżniony na festiwalu Fizyka na Scenie.

Zawsze pomocny, chętnie służący radą, konstruktywnie wspierający naszą walkę o zapewnienie poziomu nauczania fizyki, nieustający optymista. Wyjątkowy człowiek, pracował i wykładał do ostatnich chwil życia, walcząc heroicznie z okrutną chorobą. Nasz przyjaciel. Będzie Go nam bardzo brakowało.





CO CZYTAĆ

Energia. Wyzwanie XXI wieku, Andrzej Hrynkiewicz
Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2002

Książkę profesora Andrzeja Hrynkiewicza polecamy nauczycielom, uczniom i studentom. Praca składa się z dwóch części: *Energia świata* oraz *Energia jądrowa*. Dotyczy tematów omawianych w szkole. Problemy związane z energią są częstym gościem w mass mediach, często zdeformowane i obrosłe mitami. Dla konfrontacji warto mieć pod ręką kompetentne i aktualne źródło wiedzy. Książka powinna się znaleźć we wszystkich bibliotekach szkolnych.

Wspomnienia i zapiski, Hugo Steinhaus (w opracowaniu Aleksandry Zgorzelskiej)
Oficyna Wydawnicza ATUT, Wrocław 2002

Przygody matematyka, Stanisław M. Ulam (przełożyła Agnieszka Górnicka)
Wydawnictwo Prószyński i S-ka, Warszawa 1996

Polecamy wyborną lekturę. Przy wspomnieniach Steinhausa (obszernych – 640 str.) nikt się nie będzie nudził. Wybitny matematyk, człowiek niezwykle inteligentny, o ciętym języku, żył w bardzo ciekawych czasach. Opisywał przedwojenny Lwów, okupację niemiecką i sowiecką, czasy powojenne. Z zapisków można dowiedzieć się o wielu zaskakujących zastosowaniach matematyki.

Interesująco jest poczytać tę książkę równoległe ze wspomnieniami innego lwowskiego matematyka, Stanisława Ulama. Jakże inne są te wspomnienia, choć tak wiele w nich wspólnych elementów: matematyka, Lwów, żydowskie pochodzenie.

Galileusz. Po stronie kopernikanizmu i po stronie Kościoła, Annibale Fantoli
Wydawnictwo Biblos, Tarnów 2002

Dramat życia Galileusza oraz jego rola w powstaniu nowożytnej nauki stale przyciąga uwagę. Wokół tzw. sprawy Galileusza narosło wiele mitów, które nadal pokutują, choć może w zmienionej formie po ogłoszeniu stanowiska Jana Pawła II w tej kwestii.

We wstępie do książki dyrektor watykańskiego Obserwatorium Astronomicznego George V. Coyne SJ napisał: „książka jest przyczynkiem do tak ważnej kwestii, jak dialog pomiędzy nauką i wiarą”.

Praca stanowi rzetelną biografię Galileusza.

Polecamy biuletyny Polskiego Stowarzyszenia Nauczycieli Przedmiotów Przyrodniczych *Nauczanie przedmiotów przyrodniczych*, tom 5 i tom 6, a w nich między innymi sprawozdanie z IX Ogólnopolskiego Zjazdu Stowarzyszenia (<http://psnpp.oeiizk.waw.pl>).

Gorąco zachęcamy do lektury *The Physics Teacher* (TPT), czasopisma niejako bliźniaczego względem *Fotonu*, wydawanego przez American Association of Physics Teachers (AAPT).

TPT prowadzi stałą rubrykę „Figuring Physics” Paula Hewitta, autora wydanego w Polsce podręcznika *Fizyka wokół nas*. Z rubryki tej czasami czerpiemy materiał do naszego „Czytamy po angielsku”.

Polecamy też czytelnikom rubrykę Borisa Korsunsky’ego „Physics Challenges for Teachers and Students”, analogiczną do rubryki „Klub 44” prowadzonej w *Delcie* przez Jerzego B. Brojana. W dobie Internetu nasi czytelnicy mogą dołączyć do grona rozwiązujących przedstawione tu zadania.

Poniżej przykładowe zadanie z zeszytu lutowego TPT, natomiast w „Fizyce w Internecie” adres i wskazówki dla rozwiązujących zadania.

Shake and Bake

An air-filled parallel-plate capacitor with the plate area A is connected to a battery with an emf E and small internal resistance. One of the plates vibrates so that the distance between the plates varies as $d = d_0 + a \cos \omega t$ ($a \ll d_0$). The capacitor “bakes” (since the capacitor is *not* oil-filled, the conventional term “fries” is less appropriate!) when the instantaneous current in the circuit reaches the value of I . Find the maximum possible amplitude of vibrations a .



FIZYKA W INTERNECIE

O misji Columbi

http://www.nasa.gov/columbia/STS-107_PK.pdf

<http://www.shuttlepresskit.com>

NASA is looking for Teachers to be Astronauts! Are you the right person, or do you know someone who might be? Check out <http://edspace.nasa.gov/?science.nasa.gov> for information.

If you need to get in touch with us directly, please go to <http://science.nasa.gov/comments>

Home page: <http://science.nasa.gov>

Historia i los Wszechświata

<http://UniverseAdventure.org>

The Physics Teacher, American Association of Physics Teachers (AAPT) podają adres: <http://www.aapt.org/tpt>

Pod tym adresem można znaleźć zadania Paula Hewitta i Borisa Korsunsky'ego z rubryki „Physics Challenges for Teachers and Students”. Rozwiązania zadań należy wysłać na adres Borisa Korsunsky'ego korsunbo@gse.harvard.edu

Uwagi dla wysyłających rozwiązania:

As the number of submissions grows, we request that certain guidelines be observed, in order to facilitate the process more efficiently:

- Please e-mail the solutions as Word files,
- Please name the file as „Feb03HSimpson” if – for instance – your name is Homer Simpson, and you are sending the solutions to February 2003 Challenges.
- Please state your name, hometown, and professional affiliation in the file, not only in the e-mail message.



KOMUNIKAT



University of Udine
Interdepartmental Centre for Research in
Education (CIRD)
Physics Department

Second INTERNATIONAL GIREP Seminar
on
**Quality development
in teacher education and training**

1-6 September 2003
University of Udine, Italy

Information: www.uniud.it/cird/girepseminar2003/

GIREP 2004 – International Conference

on

Physics for sustainable growth

19–23 July 2004, University of Ostrava, Czech Republic

Addresses:

- University of Ostrava, 30. dubna 22, 701 03 Ostrava, Czech Republic
- Web site of university <http://www.osu.cz/conf/girep2004>
- E-mail of conference: girep@osu.cz
- Town Ostrava <http://www.mmo.cz/ostrava/mesto.html>



KOMUNIKAT

XXXVII Zjazd Fizyków Polskich
15–18 września 2003, Gdańsk

Koszt uczestnictwa

Pełny koszt udziału w XXXVII Zjeździe Fizyków Polskich wynosi 750 zł (członkowie Towarzystwa 650 zł, doktoranci, asystenci, studenci i nauczyciele 450 zł, osoby towarzyszące 400 zł). Po 1 czerwca 2003 wszystkie opłaty są wyższe o 100 zł.

Adres organizatorów

Prof. dr hab. Eugeniusz Czuchaj
Polskie Towarzystwo Fizyczne, Oddział Gdański
ul. Wita Stwosza 57, 80-952 Gdańsk
tel./fax (58) 341-87-00
e-mail: ZjazdPTF@iftia9.univ.gda.pl

Rejestracja on-line: <http://iftia9.univ.gda.pl/~zjazdptf>

Gorąco zachęcamy Państwa do udziału w Zjeździe. Imprezy zjazdowe (wykłady, wystawy, pokazy) są w znacznej części przeznaczone dla szerokiego audytorium – nauczycieli, uczniów i studentów.



KOMUNIKAT **Physics on Stage 3**

Fizyka na Scenie 3

Kolejny festiwal edukacyjny dla nauczycieli i popularyzatorów fizyki

Od stycznia 2003 roku rozpoczęły się przygotowania do kolejnego europejskiego festiwalu „Physics on Stage 3” (POS 3), który odbędzie się w dniach od 8–15 listopada w siedzibie ESA-ESTEC w Noordwijk w Holandii w ramach sponsorowanego przez Komisję Europejską „Tygodnia Nauki i Technologii”.

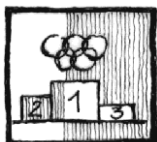
Podobnie jak w przypadku poprzednich festiwali, do udziału w POS 3 zaproszono nauczycieli, dydaktyków i popularyzatorów z 22 krajów europejskich. Delegacja polska może liczyć 22 osoby. Wiodącym tematem festiwalu POS 3 jest „Physics and Life” – „Fizyka i życie”.

Do udziału w konkursie krajowym POS 3 zapraszamy nauczycieli fizyki oraz biologii, lekarzy i uczniów, którzy chcieliby przedstawić swoje propozycje dydaktyczne, interesujące pomysły, jak pokazać związki fizyki z biologią i medycyną, opowiedzieć o swoich osiągnięciach dydaktycznych. Na konkurs można także zgłaszać literackie, artystyczne i teatralne propozycje związane z tematem „Fizyka życia”.

Krajowy konkurs FIZYKA NA SCENIE 3 odbędzie się na Wydziale Fizyki UAM w Poznaniu w dniu 6 września 2003 roku. Cztery najlepsze wystąpienia konkursowe będą ponownie zaprezentowane w dniach 15–18 września na Zjeździe Fizyków w Gdańsku, gdzie wybrane zostaną dwie polskie propozycje pokazów i przedstawienia na scenie głównej festiwalu w Noordwijk.

Szczegóły dotyczące krajowego konkursu FIZYKA NA SCENIE 3 i festiwalu POS 3 w Holandii będą podawane do wiadomości na stronie internetowej FIZYKA NA SCENIE <http://main.amu.edu.pl/~fizscena/>

Główna witryna festiwalu „Physics on Stage 2” znajduje się pod adresem: <http://www.physicsonstage.net>



KONKURS

OGÓLNOPOLSKI KONKURS IM. MARII SKŁODOWSKIEJ-CURIE
dla nauczycieli przedmiotów przyrodniczych i ich uczniów na projekt edukacyjny

Promieniotwórczy świat

ORGANIZATORZY KONKURSU

1. Polskie Stowarzyszenie Nauczycieli Przedmiotów Przyrodniczych
2. Pracownia Dydaktyki Fizyki Instytutu Fizyki Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu

UCZESTNICY

Konkurs adresowany jest do uczniów szkół ponadpodstawowych (gimnazjów i liceów) oraz ich opiekunów – nauczycieli przedmiotów przyrodniczych. Prace konkursowe oceniane będą w dwu kategoriach wiekowych:

- gimnazjum (13–16 lat),
- liceum (17–19 lat).

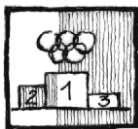
INFORMACJE

- Zgłoszenia do konkursu należy przesłać w terminie do **10 kwietnia 2003 r.** na adres sekretarza konkursu (**dr Katarzyna Przegiętka, Pracownia Dydaktyki Fizyki, Instytut Fizyki UMK, ul. Grudziądzka 5, 87-100 Toruń, e-mail: kszum@phys.uni.torun.pl**). Formularz zgłoszenia jest dostępny w formie elektronicznej na stronach internetowych Polskiego Stowarzyszenia Nauczycieli Przedmiotów Przyrodniczych (PSNPP): <http://psnpp.oeiizk.waw.pl> oraz Pracowni Dydaktyki Fizyki UMK w Toruniu: <http://www.phys.uni.torun.pl/~pdf>, a także dołączony do 6 numeru Biuletynu PSNPP.

WARUNKI KWALIFIKACJI

Prace konkursowe oceniane będą w dwu etapach:

- Wszystkie nadesłane prezentacje projektów edukacyjnych zostaną ocenione przez jury konkursowe w etapie I, w terminie do 10 czerwca 2003 r. Do etapu II zakwalifikowane zostaną najlepsze projekty z obu kategorii wiekowych.
- Autorzy wyróżnionych projektów (nauczyciele i uczniowie) zostaną poinformowani o wynikach I etapu do 20 czerwca 2003 r. i zostaną poproszeni o przygotowanie multimedialnej prezentacji projektu oraz jej przedstawienie przed jury konkursowym w pierwszym tygodniu września 2003 r. Spośród wyróżnionych projektów zostaną wybrane najlepsze – laureaci II etapu konkursu.



KONKURS

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE
Z POLSKIM TOWARZYSTWEM CHEMICZNYM

ogłaszają konkurs pod nazwą:

KOMPUTEROWO WSPOMAGANY EKSPERYMENT SZKOLNY W PRZEDMIOTACH PRZYRODNICZYCH

UCZESTNICY. W konkursie mogą uczestniczyć: uczniowie szkoły średniej, nauczyciele, studenci, pracownicy szkoły wyższej. Przedmiotem konkursu są doświadczenia, w których komputer będzie zastosowany jako przyrząd pomiarowy oraz maszyna matematyczna do przetwarzania wyników tego doświadczenia. Doświadczenie może być przeznaczone dla dowolnego poziomu nauczania. Można stosować dowolne, ogólnodostępne oprogramowanie oraz sprzęt. Uczniowie, którzy mają własne pomysły i chcieliby uczestniczyć w konkursie, a nie mają możliwości technicznych, mogą skontaktować się z wyznaczonymi konsultantami <http://ifnt.fizyka.amu.edu.pl/ptfiz/konsultanci.htm>

TERMINY. Zgłoszenia: jak najszybciej; nie później niż **1 maja 2003 roku**

Pisemne omówienia: **31 maja 2003 roku.**

Prosimy o przesłanie opisu pocztą na dyskietce lub pocztą elektroniczną na adres przewodniczącego konkursu.

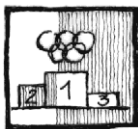
WYRÓŻNIENIA. Najlepsze prace pragniemy wyróżnić prezentacją na imprezach towarzyszących XXXVII Zjazdowi Fizyków Polskich w Gdańsku we wrześniu 2003 roku oraz nagrodami rzeczowymi. O formie prezentacji prac zadecyduje jury po dokonaniu wstępnej selekcji. Uczestników prosimy o wyrażenie z góry zgody na zamieszczenie informacji w Internecie, materiałach drukowanych oraz publikacji zredagowanej przez Komisję na podstawie nadesłanych materiałów.

INFORMACJE SZCZEGÓŁOWE.

<http://ifnt.fizyka.amu.edu.pl/dydaktyka/konkurs2.htm>

Za Komisję Konkursową

Henryk Szydłowski
Wydział Fizyki UAM, Poznań



KONKURS

Młodzieżowy Dom Kultury, Wieluń

Konkurs fizyczno-fotograficzny
„Zjawiska fizyczne wokół nas”



ORGANIZATORZY KONKURSU

- Młodzieżowy Dom Kultury („Domek Harcerza”) w Wieluniu
- Koło Młodych Fizyków przy MDK w Wieluniu
- Starostwo Wieluńskie

WARUNKI UDZIAŁU W KONKURSIE

Konkurs jest adresowany do uczniów szkół gimnazjalnych i ponadgimnazjalnych.

Warunkiem udziału w konkursie jest przesłanie lub osobiste dostarczenie do Młodzieżowego Domu Kultury własnoręcznie wykonanych zdjęć, przedstawiających dowolnie wybrane zjawiska fizyczne, dostrzeżone w otaczającej przyrodzie lub świadomie wyeksponowane w przeprowadzonym przez ucznia eksperymencie.

Nie stawiamy Wam żadnych barier, jeśli chodzi o liczbę zdjęć, ich barwę i format. Najważniejsze, aby fotografie w sposób jak najbardziej czytelny przedstawiały wybrane przez Was zjawiska fizyczne. Prosimy, abyście na odwrocie każdej fotografii podali: swoje nazwisko i imię, nazwę szkoły i koniecznie nazwisko nauczyciela, jeśli prace wykonane były z jego pomocą.

Prosimy także, abyście na oddzielnie załączonej kartce podali nazwę zjawiska lub krótki jego opis. Ułatwi to pracę komisji konkursowej, ale przede wszystkim unikniemy fałszywej interpretacji treści Waszych zdjęć.

Na fotografie oczekiwać będziemy do końca kwietnia 2003 r.

Rozstrzygnięcie konkursu nastąpi w trzecim tygodniu maja. O dokładnym terminie i miejscu laureaci i wyróżnieni zostaną powiadomieni listownie lub telefonicznie.

Finaliści konkursu otrzymają nagrody rzeczowe, wyróżnienia i dyplomy, a ich nazwiska zostaną zamieszczone na łamach lokalnej i wojewódzkiej prasy.

Nagrodzone i wyróżnione prace zostaną wyeksponowane w galerii Młodzieżowego Domu Kultury. Wierzymy, że udział w konkursie będzie dla Was pasjonującą, edukacyjną przygodą.

Informacji o konkursie udziela i prace przyjmuje sekretariat MDK, ul. 3 Maja 29, 98-300 Wieluń, Tel. (043) 843-87-80



KOMUNIKAT

First Step to Nobel Prize in Physics

Participation in the XI competition “First Step to Nobel Prize in Physics”

We would like to remind that the competition papers should reach the organizers by March 31, 2003. So, we ask you for sending your paper(s) to the organizers early enough.

As regards other conditions of participation, they can be found on our www page:
www.ifpan.edu.pl/firststep

or

<http://info.ifpan.edu.pl/firststep>

We wish all the participants very good results!

Yours sincerely,

Waldemar Gorzkowski

President of the FS

E-mail address: gorzk@ifpan.edu.pl



KOMUNIKATY REDAKCJI

SPOTKANIA ŚRODOWE W IF UJ

IF UJ, PTF Sekcja Nauczycielska
Kraków, ul. Reymonta 4, parter – sala 055

Uprzejmie informujemy, iż w **środy o 16⁰⁰** w Instytucie Fizyki UJ odbywają się wykłady i pokazy dla młodzieży szkół średnich, jak również dla gimnazjów.

Informacje można znaleźć na stronie internetowej: <http://www.if.uj.edu.pl/Foton/>

5.III.2003 – mgr Katarzyna Cieślak, *Obrazowanie płuc metodą magnetycznego rezonansu przy użyciu spolaryzowanego helu, czyli jak zobaczyć swoje płuca (dla licealistów)*

26.III.2003 – mgr Adrianna Mikółko, mgr Agnieszka Król-Otwinowska, *O niskich temperaturach* (dla gimnazjalistów)

9.IV.2003 – mgr Witold Zawadzki, *Światło i moda* (dla gimnazjalistów)

23.IV.2003 – **godz. 12³⁰** – Wojewódzki Etap II Małopolskiego Konkursu z Fizyki i Astronomii dla Gimnazjalistów w roku szkolnym 2002/2003

30.IV.2003 – **godz. 14³⁰** – dr Wojciech Kwiatek, *Uroczystość ogłoszenia wyników II Małopolskiego Konkursu z Fizyki i Astronomii dla Gimnazjalistów i wręczenie nagród*

8.V.2003 – dr hab. Jacek Bieroń, *Czy istnieje życie pozaziemskie* (dla licealistów)

14.V.2003 – prof. Stanisław Wróbel z współpracownikami, *Krótką historią fizyki w Krakowie – ciekawe odkrycia, anegdoty*

Pracownia Zbiorów w IF UJ informuje, że może organizować płatne pokazy demonstracji fizycznych na uzgodnione ze szkołami tematy. Koszt pokazu rozkłada się na uczestniczące szkoły. Kontakt: **Pracownia Zbiorów, dr Marek Gołąb, tel. 632-48-88 w. 5504.**

**Uczestnictwo w wykładach wyłącznie po zgłoszeniu telefonicznym:
632-48-88 w. 5563 bądź 5677, lub za pośrednictwem e-mail: foton@if.uj.edu.pl**



KOMUNIKAT Zakopiańskie Przedszkole Fizyki

W dniach 2–6 czerwca 2003 roku odbędzie się w Zakopanem kolejne Przedszkole Fizyki (patrz *Foton* 69, 2000; *Foton* 74, 2001; *Foton* 78, 2002), organizowane przy XLIII Szkole Fizyki Teoretycznej. Zainteresowani uczniowie powinni śledzić odpowiednie strony internetowe i informować się bezpośrednio u dr Zofii Gołąb-Meyer.





Załoga tragicznie zakończonej misji Columbia (2003)
Od lewej: Dave Brown, Rick Husband, Laurel Clark,
Kaplana Chawła, Mike Anderson, Willie McCool,
Ilan Ramon

Misja poświęcona była badaniom naukowym
z zakresu aeronautyki, fizyki, biologii i medycyny

