



Foton 95

ZIMA
2006

Pismo dla nauczycieli fizyki i przyrody oraz ich uczniów

INSTYTUT FIZYKI ✕ UNIWERSYTETU JAGIELLOŃSKIEGO
SEKCJA NAUCZYCIELSKA POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO

**Energia gwiazd
Nobel 2006
Tłumienie dźwięków przez liście
Witelo - pierwszy polski uczony**



*Redakcja Fotonu składa Czytelnikom
życzenia Szczęśliwego Nowego Roku 2007*



Arogancja półinteligentów

Jest pewna rzecz, która mnie – osobę, która poświęciła kawał swego życia na niesienie kaganka oświaty – gryzie. Chodzi o celowość nauczania. Sytuacja wygląda na paradoksalną: całkowita ciemnota jakby lepsza była od lekkiego oświecenia, od arogancji półignorantów.

Człowiek, który nic nie wie i jest tego świadom, ma pokorę zarówno wobec natury, jak i uznanych autorytetów. Natomiast u człowieka, który nauczył się coś niecoś, łatwo może wytworzyć się poczucie wszechznajomości wszystkiego i w konsekwencji arogancja wobec nauki i autorytetów. Łatwo wtedy o opinie: „naukowcy mają prawo do dyskusji (uff, i tak dobrze!), w końcu to tylko teoria, a nie fakt naukowy” (cytat z wypowiedzi na temat teorii Darwina). Wypowiadający te słowa nie rozumie, co to są teorie w naukach przyrodniczych, co to są fakty i co oznacza prawdziwość teorii.

Słyszałam nieznoszące sprzeciwu opinie, że teoria Newtona jest fałszywa i że Einstein ją obalił, i że ze wszystkimi teoriami w fizyce będzie tak samo – w przyszłości okażą się fałszywe. Nie są to opinie odosobnione.

Jak mamy uczyć uczniów, by po tych mizernych ochłapach lekcji fizyki nabrali chociaż właściwego wycucia, by rozumieli, co znaczą np. przewidywania teorii? Na jakich przykładach ich uczyć? Czym się kierować przy doborze materiału?

Statyka? Chyba się nadaje. Uczeń sam może wyliczyć, czy coś na pewno będzie stabilne, czy się wywróci lub załamie. Tylko że statyka jest nudna!

Zasady termodynamiki – ich zrozumienie daje pewne przewidywanie, które procesy nigdy nie zajdą, a które zajdą z pewnością. Cóż, kiedy termodynamika jest trudna!

Zasady dynamiki Newtona dają wzorzec rozumowań naukowych. I tu problem, one są – mało powiedzieć: trudne – są bardzo trudne.

Można zapewne wyłuskać trochę problemów dających właściwy obraz fizyki i dostępnych pojęciowo dla uczniów. Wydaje się, że musimy z bólem serca rozstać się z płonną nadzieją, że damy wszystkim naszym wychowankom jakiś pełny obraz fizyki. Realnie będzie on tak płytki i zamazany, że nic nie wart. Może lepiej w pokorze wybrać parę problemów (niekoniecznie wszystkim to samo) i dać uczniom rzetelne wyobrażenie, czym jest fizyka i co może.

I chyba nadszedł czas, by już dalej nie wmawiać, że fizyka to przedmiot łatwy i przyjemny, i każdy może głosić mądrości. Nie każdy! Najpierw trzeba się dużo uczyć, w trudzie i znoju.

Z.G-M



Contents

Arrogance of illiterates <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	1
Why 'wow' will not work <i>Averil Macdonald</i>	4
Energy of stars – Hans Bethe <i>Lucjan Jarczyk</i>	6
Experiments on interference of photons, part II <i>Paweł Tomasz Pęczkowski</i>	17
How does a fullerene look like and what Euler has to do with it <i>Lukasz Skowronek</i>	26
Make yourself fullerenes C_{60} and C_{70}	32
Attenuation of sounds by leaves <i>Dominika Żółtowska</i>	32
Nobel Prize in Physics 2006 <i>Bogusz Kinasiewicz</i>	41
Witelo – life and work of the first Polish scientist <i>Danuta Bukowska</i>	43
About Entropy <i>Tomasz Kardaś</i>	50
Problems. Noises from the cave (3) <i>Adam Smólski</i>	62
Problems. Driving with lights on <i>Waldemar Gorzkowski</i>	64
Afterdinner experiments <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	65
Reading in English. George Smoot Wins Nobel Prize in Physics 2006	67
What to read. <i>The history of Physics</i> of Andrzej Kajetan Wróblewski	68
<i>The Road to Reality</i> of Roger Penrose	69
Polish Mathematicians in Philately <i>Jerzy Bartke</i>	72
Polish Physical Society Prizes 2006	74
Borowice – XVII Autumn Workshop on „Problems of Didactics of Physics” <i>Urszula Mięso</i>	75
Science in the Youth Palace in Katowice <i>Urszula Woźnikowska-Bezak</i>	78
Announcement. Faulkes Telescopes Halics Project <i>Renata Grudzińska</i>	81
V competition „Physics and Photography”	82
Editorial News	83



Spis treści

Arogancja półinteligentów <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	1
Dlaczego zachwyt nie wystarczy <i>Averil Macdonald</i>	4
Energia gwiazd – Hans Bethe <i>Lucjan Jarczyk</i>	6
Doświadczenia interferencyjne z fotonami, cz. II <i>Paweł Tomasz Pęczkowski</i>	17
Jak wygląda pewien fullerene i co ma Euler z tym wspólnego <i>Łukasz Skowronek</i>	26
Zrób sam fullereny C ₆₀ i C ₇₀	32
Tłumienie dźwięku przez liście <i>Dominika Żółtowska</i>	32
Nagroda Nobla z fizyki 2006 <i>Bogusław Kinasiewicz</i>	41
Witelo. Życie i twórczość polskiego przyrodnika zagubionego w zakamarkach przeszłości <i>Danuta Bukowska</i>	43
O entropii <i>Tomasz Kardaś</i>	50
Kącik zadań. Odgłosy z jaskini (3) <i>Adam Smólski</i>	62
Kącik zadań. Jazda na światłach <i>Waldemar Gorzkowski</i>	64
Kącik doświadczalny. Doświadczenie na deser <i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	65
Czytamy po angielsku. George Smoot Wins Nobel Prize in Physics 2006	67
Co czytać Andrzeja Kajetana Wróblewskiego <i>Historia fizyki</i>	68
Rogera Penrose'a <i>Droga do rzeczywistości</i>	69
Matematycy polscy w filatelistyce <i>Jerzy Bartke</i>	72
Nagrody PTF w roku 2006	74
Borowice – XVII Jesienna Szkoła „Problemy Dydaktyki Fizyki” <i>Urszula Mięso</i>	75
Nauki ścisłe i przyjemne w Pałacu Młodzieży w Katowicach <i>Urszula Woźnikowska-Bezak</i>	78
Komunikat. SuperNova Szkoła – projekt Faulkes Telescopes Halics <i>Renata Grudzińska</i>	81
V Ogólnopolski konkurs fizyczno-fotograficzny „Zjawiska fizyczne wokół nas”	82
Komunikaty Redakcji	83



Dlaczego zachwyty nie wystarczy

Averil Macdonald¹

Uniwersytet w Reading, Wielka Brytania

Och! Ach! Czyż to nie jest kapitalne!

Stale słyszymy, że fizykę należy przedstawiać młodzieży w atrakcyjny i niezbyt skomplikowany sposób. Obowiązuje teoria, że potraktowanie młodych słuchaczy paroma sesjami zabawy z mnóstwem błysków i grzmotów sprawi, że tak się zafascynują i rozentuzjasmują fizyką, że będą szturmować uniwersytety, by ją studiować. Ta niekwestionowana wiara w siłę „czynnika zachwyty” może jednak nieoczekiwanie przynieść przeciwny skutek. Demonstrując ciekły azot i modele rakiet coraz młodszym dzieciom, stajemy się bardziej magikami niż naukowcami i zabawiaczami zamiast nauczycielami.

Młodzi słuchacze reagują tak żywiołowo, że może nam się wydawać, iż osiągnęliśmy niezwykle sukces w kształtowaniu przyszłych uczonych. Jednak parę kontrolnych pytań zadanych tym uczniom sprowadzi nas na ziemię. Stanie się jasne, że nauka pełni w tych pokazach drugorzędą rolę. Niepokojące jest, że uczniowie ci odbierają naukę jako: „taką trochę zabawę”, „coś, co dzieci robią w szkole”, „coś, co dorośli robią, aby zrobić na nas wrażenie”. Mogą to uważać nawet za zabawne, ale niemające nic wspólnego z realiami życia. Czynniki zachwyty może jedynie pokazywać, że można nie rozumieć nauki, a się nią fascynować – paradoks nauka-magia.

Po paru latach ta sama młodzież zaczyna doznawać cierpień wieku dojrzenia i uważa, że musi wszystko traktować jako nudne. Mobilizujemy się więc, aby pójść znowu do szkół i powstrzymać ten zanik zainteresowania nauką. Jak to zrobić? Oczywiście więcej ciekłego azotu i wybuchów! Jeśli coś działało na dziecięciolatka, dlaczego nie miałyby działać na trzynastolatka.

To prawda, ucieszają się wtedy, kiedy trzeba. Wciąż jednak nie będą wiązali nauki z realnym światem: nauka jest tylko pretekstem, aby nie zajmować się porządną pracą.

„Wzorce osobowe” – słyszę rady: „poślijmy studentów do szkół jako konkretne przykłady, że młodzi ludzie uprawiają naukę. To na pewno zadziała”. Z pewnością jest wielu znakomitych ambasadorów nauki, którzy odwiedzając szkoły, robią w nich doskonałą robotę. Niemniej podświadome przekonanie słuchaczy jest takie, że ci prelegenci nie mówią wcale o swojej pracy, ale o swoim hobby. W końcu ilu ludzi jest tak naprawdę entuzjastami swojej pracy? Co więcej, te żywe przykłady wcale nie są ubrane jak do pracy. Ponadto uczniowie przecież

¹ Autorka pracuje jako science-education consultant na Uniwersytecie w Reading w Wielkiej Brytanii (a.m.macdonald@reading.ac.uk); artykuł zamieszczony w sierpniowym numerze *Physics World* 2006.

nigdy nie widzieli księgowego zachwycającego się księgowością, dlatego więc mieliby uwierzyć, że te przykłady reprezentują prawdziwe możliwości ich własnych przyszłych karier?

Od czasu do czasu pojawia się teoria, że kobieta sukcesu stanowi pozytywny wzór dla dziewcząt. Być może jest to prawda, gdy chodzi o dobrze uczące się, pewne siebie dziewczyny. Te mniej pewne siebie wykazują jednak syndrom mody na „antypowodzenie”. Objawia się on jako przesadnie głośna rozmowa i chichot stosowany dla demonstracji obojętności. Nie dość, że nie są same zainteresowane tego rodzaju sukcesem, to jeszcze są przekonane, że poświęcanie ich uwagi komuś, kto go odniósł, jest poniżej ich godności.

Cóż więc z tego wynika? Czy powinniśmy przestać odwiedzać szkoły i pogodzić się z faktem, że zaledwie 3000 młodych ludzi rocznie w Wielkiej Brytanii chce studiować fizykę? Czy powinniśmy się pocieszać tym, że nic nie da się zrobić, bo problem wynika z tego, że fizyka jest trudnym przedmiotem? Nie, trudność fizyki nie ma tu nic do rzeczy. To jest mit, że uczniowie unikają trudnych przedmiotów. Gdyby tak było, studia weterynarii i medycyny nie byłyby przepełnione, ani też nie miały więcej chętnych dziewcząt niż chłopców. Tak naprawdę to zbytnie upraszczanie nauki nawet pogarsza sytuację na przyszłość, kiedy to studenci zaczną zdawać sobie sprawę z tego, że fizyka rzeczywiście jest trudna i zaczną żałować, że się z nią związali.

Problem polega na przekonaniu o braku perspektyw. Studenci gromadzą się wokół trudnych przedmiotów, bo choć są one trudne, dają jednak nadzieję na prestiż, status i pieniądze. Możecie pokazywać uczniom eksplozje i wywoływać okrzyki zachwytu tak często jak chcecie, dopóki jednak nie pokażecie, co nauka im może dać, jakie możliwości pracy i rozwoju zawodowego, dopóty nie będą uważali, że ma ona cokolwiek im do zaoferowania. Będą nadal wybierać pomiędzy księgowością a prawem, nawet jeżeli będzie się to wiązało z ryzykiem bezrobocia i marnych zarobków ze względu na nadmiar kandydatów do tych zawodów.

Przyszłość, jaką obiecujecie, musi być interesująca dla uczniów. Nie ma sensu mówienie: „wy też możecie być tacy jak ja”, dopóki nie pokażecie przyszłości, która będzie odpowiadać ich rzeczywistym aspiracjom. Wybierajcie to, co chcecie zaoferować, z namysłem. Dla niektórych uczniów może to być kariera przedsiębiorcy z jego typowym stylem bycia, jaki chcieliby naśladować, dla innych – coś może mniej onieśmielającego, ale za to oryginalnego.

Dla niektórych uczniów najważniejsze może być odkrycie, że my, naukowcy, wcale nie posiadliśmy wszystkich rozumów. Nauki przyrodnicze w szkole są często przedstawiane jako kompletny blok wiedzy, jaki należy sobie przyswoić, aby zdać egzamin. Jeżeli przyznajemy się uczniom, że są rzeczy, których nie wiemy, i takie, które badamy, aby je zrozumieć, oferujemy im przyszłość. Wielu z nich uzmysłowi sobie, że oni też mogą w tym uczestniczyć, i będą tym podekscytowani.

Tak więc lepszym sposobem od „Och! Ach! Czyż to nie jest kapitalne!” jest „Och! Ach! Czyż to nie otwiera nam 1001 możliwości!”

Thumaczył Wojciech Gawlik, IF UJ



Energia gwiazd – Hans Bethe

*Lucjan Jarczyk
Instytut Fizyki UJ*

Hans Bethe

Setna rocznica urodzin Bethego jest bardzo dobrą okazją, by przybliżyć postać wielkiego fizyka, ostatniego z gigantów fizyki XX wieku. Ostatnie trzy lata można nazwać latami Bethego. W roku 2005 święciliśmy jego setną rocznicę urodzin; w 2005 roku zmarł, w wieku 98 lat. Przed czterdziestu laty, czyli w roku 1967, **Hans Albrecht Bethe** został wyróżniony Nagrodą Nobla „za wkład do teorii reakcji jądrowych, a specjalnie za odkrycia związane z produkcją energii w gwiazdach”.

Warto by poświęcić chociaż kilka słów jego życiu. Zostało ono ukształtowane przez tragiczne wydarzenia XX wieku. Bethe, wielki fizyk niemiecko-amerykański, urodził się w roku 1906 w Strasburgu, mieście należącym wtedy do Niemiec. Jego ojciec był profesorem fizjologii. Po studiach fizyki na Uniwersytecie we Frankfurcie nad Menem przeniósł się do Monachium, gdzie pracował pod kierunkiem Arnolda Sommerfelda. W 1928 roku doktoryzował się. Jego promotorem był wymieniony już A. Sommerfeld. Po pobycie na kilku niemieckich uniwersytetach w październiku 1933 roku opuścił swoją ojczyznę. Przyczyną emigracji Bethego było objęcie władzy w Niemczech przez Hitlera i jego zbrodnicza idea wyniszczenia ludzi pochodzenia żydowskiego. Matka Bethego była Żydówką. Z tego powodu został on usunięty z Uniwersytetu w Tübingen, gdzie zajmował stanowisko profesora-asystenta. Emigrował najpierw do Wielkiej Brytanii na uniwersytety w Manchesterze i Bristolu. W roku 1935 przeniósł się do Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej, gdzie został profesorem na Uniwersytecie Cornell. Tam też pracował aż do śmierci.

Przeżycia roku 1933 uświadomiły mu, czym są systemy faszystowskie, systemy oparte na przemocy. W roku 1942, obawiając się, że Hitler pierwszy mógłby zbudować bombę atomową, przystąpił na zaproszenie Oppenheimera do projektu Manhattan. W ramach tego projektu kierował zespołem teoretyków pracujących nad konstrukcją bomby atomowej przez Stany Zjednoczone Ameryki Północnej. Po kilku latach ponownie wrócił do Los Alamos, by pracować przy budowie tym razem bomby wodorowej. Uważał, że wolny świat nie może dać się zaskoczyć



przez żaden z systemów niedemokratycznych. Wiedział, że między innymi Związek Radziecki podjął prace nad budową bomby wodorowej.

Obawy przez systemami totalitarnymi powodowały, że dwukrotnie podjął prace nad budową bomb jądrowych. Decyzje te były jednak źródłem jego długoletnich frustracji, jego wewnętrznego niepokoju. W roku 1954 stwierdził, że „ma poczucie, że robił coś niewłaściwego przez te lata, że współdziałał w rozwoju «superbomb»”. Zaczął się angażować w akcje nad ograniczeniem rozwoju broni jądrowych. W czasie Konferencji nad Pokojowym Wykorzystaniem Energii Atomowej w Genewie wystosował apel o zawarcie paktu o zakończeniu testów z bronią jądrową. Poparło go 15 znaczących naukowców. Do końca życia walczył o zaprzestanie prac nad rozwojem broni jądrowych.

Hans Bethe był wielkim fizykiem. Jego zasługi są związane nie tylko z fizyką jądrową. Dla przykładu można wymienić prace nad stratami energii cząstek naładowanych w materii, które doprowadziły do powszechnie znanego wzoru Bethego-Blocha, prace nad promieniowaniem hamowania (wyrażenie Bethego-Heitlera), prace prowadzące do powstania ważnego równania falowego Bethego-Salpetera. Jednak Komitet Nagrody Nobla podkreślił przede wszystkim osiągnięcia Hansa Bethego w fizyce jąder atomowych i reakcji jądrowych. Szczegółowe omówienie prac Bethego w dziedzinie fizyki jądrowej wykraczałoby poza ramy tego krótkiego artykułu. Należy w tym miejscu wymienić powszechnie znany wzór Bethego-Weizsäckera określający energię wiązania jąder atomowych.

Na szczególnie wyróżnienie zasługują wg Komitetu Nagrody Nobla odkrycia związane z produkcją energii w gwiazdach.

Energia gwiazd

Energia powstająca w gwiazdach ma dla nas zasadnicze znaczenie. Jesteśmy świadomi, że wszystkie formy życia na Ziemi możliwe są dzięki energii docierającej na Ziemię z zewnątrz. Bez niej nie istniałoby żadne życie, nie istnielibyśmy my sami. Energią tą jest praktycznie energia słoneczna. A Słońce jest przecież jedną z gwiazd.

Od wielu dziesiątków, setek lat człowiek zastanawiał się nad tym, skąd bierze się energia produkowana w Słońcu. Dobrze sobie uświadomić, z jak wielkimi energiami mamy do czynienia, jak wielka energia jest wypromieniowana przez Słońce. Znamy energię docierającą na Ziemię. Wynika z tego, że całkowita wydajność promieniowania Słońca wynosi

$$L = 3,82 \cdot 10^{26} \text{ W.}$$

Jest to wręcz gigantyczna energia. Aby sobie lepiej wyobrazić, co to oznacza, założmy, że energia jest produkowana w wyniku zamiany masy Słońca na energię promieniowania zgodnie z równaniem $E = mc^2$. Można wtedy obliczyć, jak wielką masę musi „stracić” Słońce w ciągu sekundy. Okazuje się, że jest to

$$\frac{3,82 \cdot 10^{26} \text{ W}}{(3,0 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1})^2} = 4,24 \cdot 10^9 \text{ kg/s}$$

Ponieważ Słońce świeci już ponad 10^9 lat, to w tym czasie straciłoby masę

$$4,24 \cdot 10^9 \text{ kg} \cdot (10^9 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600) = 1,33 \cdot 10^{26} \text{ kg}$$

Oznacza to, że ubytek masy Słońca w ciągu jednego miliarda lat w wyniku wypromieniowania musiałby być równy 22 masom Ziemi. Stanowi to, jak się okazuje, tylko 0,07% masy Słońca.

Wobec tego musimy sobie zadać pytanie: **co jest źródłem energii słonecznej – energii gwiazdnej?**

a. Energia grawitacyjna

Dzisiaj wiemy, że gwiazdy powstały w wyniku koncentracji gazu względnie pyłu wypełniającego Wszechświat. W wyniku oddziaływania grawitacyjnego cząstki gazu-pyłu zaczęły się koncentrować dookoła zagęszczeń materii o charakterze fluktuacyjnym. W rezultacie tego procesu wyzwalała się energia. Jak wielka będzie ta energia? Na początku źródłem przyciągania była mała masa, która z czasem rosła. Cząstka o masie m , która przemieszcza się z nieskończoności do powierzchni powstającej gwiazdy, uzyskuje energię grawitacji $\Delta E = \frac{G \cdot m \cdot m_i}{R_i}$, przy

czym G jest stałą grawitacyjną, m_i i R_i są aktualną masą i promieniem powstałej gwiazdy. Proces przyciągania jest procesem ciągłym. Przeprowadzając odpowiednie obliczenia, otrzymujemy, że całkowita energia grawitacyjna, wyzwalamy przy powstaniu gwiazdy o masie m_{Gw} o promieniu R_{Gw} z chmury pyłowej, daje $E = \frac{G \cdot m_{Gw} \cdot m_{Gw}}{R_{Gw}}$. W przypadku Słońca energia grawitacyjna wyzwalamy przy

powstaniu gwiazdy nie przekroczy

$$E = \frac{6,67 \cdot 10^{11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2} \cdot (2 \cdot 10^{30} \text{ kg})^2}{6,9 \cdot 10^8 \text{ m}} = 3,8 \cdot 10^{41} \text{ J}.$$

Przy wydajności Słońca $L = 3,8210^{26} \text{ W}$ energia ta wystarczyłaby tylko na

$$t = \frac{3,8 \cdot 10^{41} \text{ J}}{3,82 \cdot 10^{26} \text{ W}} = 1,0 \cdot 10^{15} \text{ s} = 31,7 \cdot 10^6 \text{ lat}.$$

A przecież Słońce świeci już co najmniej 10^9 lat. Z przytoczonych przybliżonych obliczeń wynika jednoznacznie, że procesy grawitacyjne nie mogą być głównym źródłem energii słonecznej.

Wobec tego, **co jest źródłem tak wielkich energii** „produkowanych” w Słońcu i innych gwiazdach? Okazuje się, że źródłem energii są procesy jądrowe.

b. Energia jądrowa

Jak wiemy, jądro atomowe składa się z A nukleonów: Z protonów i N neutronów, przy czym $N = A - Z$. Okazuje się, że masa jądra atomowego jest mniejsza niż masa cegiełek, z których jądro jest złożone. Mówimy o defekcie masowym $\Delta m = m_A - (Z m_p + N m_n)$, przy czym m_A jest masą jądra składającego się z A nukleonów. Pojęcie defektu masowego nie jest zbyt szczęśliwe. Masa nie jest zdefektowana – masa jądra atomowego jest po prostu mniejsza niż masa cegiełek-nukleonów, które je tworzą. Dlatego obecnie używa się coraz częściej terminu „deficyt masy”. Deficyt masy jest powszechnie występującym zjawiskiem. Także masa atomu jest mniejsza od masy jądra i elektronu. Energię odpowiadającą deficytowi masy $E_W = \Delta m c^2$ nazywamy energią wiązania. W przypadku atomu energia wiązania jest rzędu 10 eV. Już dla najlżejszego jądra deuteru energia wiązania wynosi 2,23 MeV. Nawet dla lekkich jąder wynosi zwykle kilkadziesiąt MeV, a dla cięższych – kilkaset MeV. Co oznaczają te liczby? Gdybyśmy tworzyli ze swobodnych nukleonów w ciągu jednej sekundy jedno jądro deuteru, to moc takiego źródła wynosiłaby $3,57 \cdot 10^{-13}$ W. Wydawałoby się, że jest to bardzo mała energia. Jednak dzięki znajomości liczby Avogadro N_{Avog} wiemy, że w jednej gramocząsteczce znajduje się $6,02 \cdot 10^{23}$ drobin. Wytworzenie w 1 sekundzie 1 grama deuteru byłoby związane z wydzieleniem energii rzędu 10^{11} W. Przedstawione liczby wskazują, że źródłem tak dużych energii wytwarzanych w gwiazdach mogłyby być procesy jądrowe.

Czy jest to możliwe? Dzisiaj wiemy, że gwiazdy powstają w wyniku koncentracji gazów i pyłów wypełniających Wszechświat. Jaki jest skład pierwiastkowy materii międzygwiazdnej? Wiemy, że w początkowej fazie rozwoju Wszechświata, mniej więcej 3–4 minuty po Wielkim Wybuchu, protony i neutrony zaczęły się łączyć, tworząc jądra atomowe. W tej tzw. pierwotnej nukleosyntezie powstały jedynie jądra deuteru, helu, litu berylu i boru. Atomy wodoru stanowią ponad 90% materii we Wszechświecie, a atomy ^4He praktycznie pozostałą część. Cięższe pierwiastki powstały w śladowych ilościach. Dla przykładu na około 10^{10} jąder wodoru przypadało jedno jądro ^7Li . Inne izotopy Li, Be, B występowały jeszcze rzadziej. Kolejne pierwiastki powstały znacznie później.

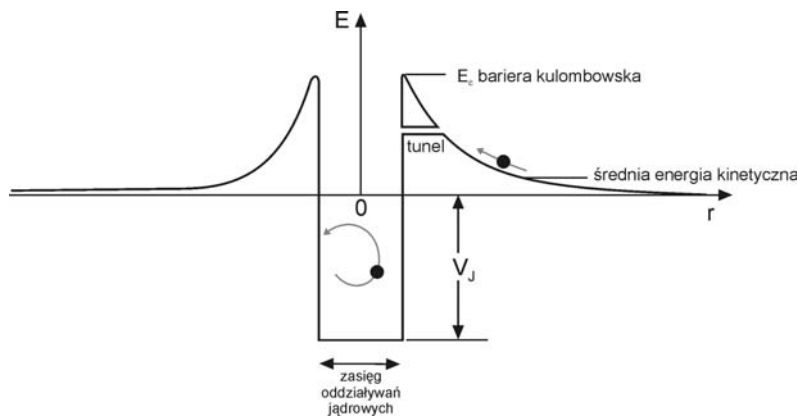
Wobec tego gwiazdy są zbudowane głównie z protonów – jąder atomów wodoru. W wyniku wzajemnych zderzeń w gwiazdzie może zachodzić reakcja, w której dwa jądra wodoru łączą się w jądro deuteru. Powstają jeszcze pozyton i neutrino elektronowe. Zachodzić będzie wtedy reakcja fuzji



gdzie Q – energia wydzielona.

Jest to proces, w którym wydziela się energia 1,44 MeV, wynikająca z różnicy pomiędzy masami dwu swobodnych protonów i masą jądra deuteru oraz elektronu, przy założeniu, że neutrino jest bezmasowe.

Aby mógł zajść proces fuzji, *protony muszą zbliżyć się do siebie na bardzo małą odległość rzędu 10^{-15} cm*. Związane jest to z krótkim zasięgiem oddziaływań jądrowych. Ponieważ protony są cząstkami naładowanymi, odpychające oddziaływanie kulombowskie ($F \propto 1/r^2$) utrudnia ich wzajemne zbliżenie się. Protony napotykają na tzw. barierę kulombowską, będącą wynikiem współgrania oddziaływań jądrowych przyciągających i odpychania kulombowskiego. Rysunek 1 prezentuje energię, jaką musi mieć proton, aby zbliżyć się do drugiego na odległość r . Dla większych odległości r potencjał oddziaływania jest dodatni. Jeżeli odległość r osiągnie wartość r_C , wartość energii potencjalnej oznaczamy E_C i nazywamy barierą kulombowską. Dla odległości mniejszych od r_C protony znajdują się w jamie potencjału oddziaływania jądrowego. Głębokość jamy E_f nazywamy często energią fuzji. Wysokość bariery kulombowskiej E_C dla układu p+p wynosi 0,55 MeV. Z kolei E_f przyjmuje dla różnych układów wartości rzędu 20–40 MeV.

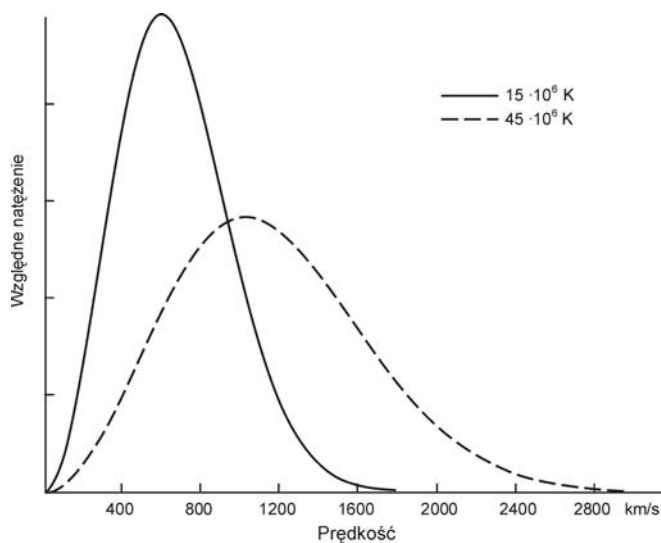


Rys. 1. Energia oddziaływania pomiędzy dwoma cząstkami w wyniku oddziaływania kulombowskiego i jądrowego

Od czego zależy *prawdopodobieństwo zajścia reakcji fuzji (1)*? Jednym z czynników jest prawdopodobieństwo $n(E)$, że proton wywołujący reakcję fuzji będzie się poruszał z energią kinetyczną E ; drugim prawdopodobieństwo $P(E)$, że proton o energii E przeniknie do wnętrza jądra ($r < r_C$).

W laboratoriach przyspieszamy protony w akceleratorach, nadając im energię E przewyższającą energię bariery kulombowskiej E_C . W gwiazdach mamy do dyspozycji jedynie energie kinetyczne wynikające w ruchów termicznych. Proto-

ny mogą posiadać różne energie. Rozkład energii opisuje *rozkład Maxwella-Boltzmann* $n(E) \propto E^{1/2} \exp(-E/2kT)$, gdzie T jest temperaturą ośrodka, wyrażoną w Kelwinach. Okazuje się, że średnia energia kinetyczna protonów we wnętrzu Słońca wynosi około 1 keV. Na rysunku 2 zamiast rozkładu energii prezentowane są rozkłady prędkości $n(v)$ protonów dla dwu różnych temperatur, gdzie $v = \sqrt{2E/m}$. Prezentacja zależności rozkładu Maxwella-Boltzmann od prędkości, czyli rozkład Maxwella, obrazuje, z jakimi prędkościami mamy do czynienia w przypadku gwiazd.

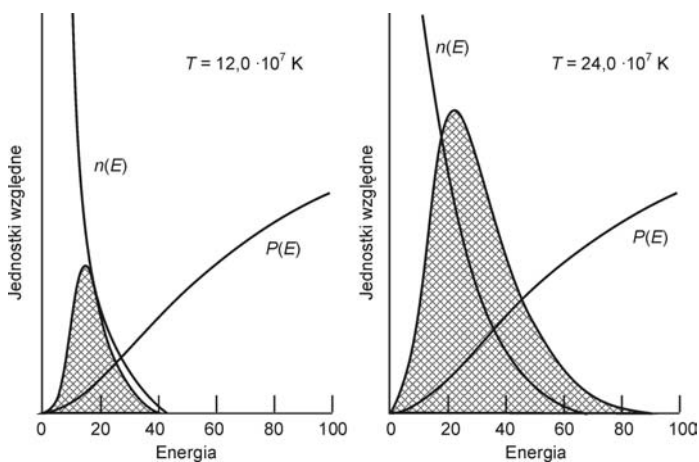


Rys. 2. Maxwellowski rozkład prędkości protonów dla temperatur $15 \cdot 10^6$ K oraz $45 \cdot 10^6$ K

W przypadku procesów zachodzących w gwiazdach energie, jakie posiadają nukleony, są zbyt małe, by proton mógł przewyciężyć barierę kulombowską, mógł się zbliżyć na odległość działania sił jądrowych. Okazuje się jednak, że fizyka kwantowa dopuszcza przenikanie cząstki o energii E przez barierę E_C także wtedy, gdy $E < E_C$. Jest to związane z tzw. efektem tunelowym, opisywanym przez wyrażenie Gamowa. Prawdopodobieństwo przeniknięcia przez barierę bardzo silnie zależy od energii cząstki E i wysokości bariery E_C . Prawdopodobieństwo to jest opisane przez wyrażenie $P(E) = e^{-\sqrt{E_G/E}}$, przy czym E_G jest tzw. energią Gamowa. Dzięki efektowi tunelowemu w gwiazdach może zachodzić reakcja fuzji. Gdyby to było niemożliwe, gwiazdy, w tym także Słońce, nie świe-

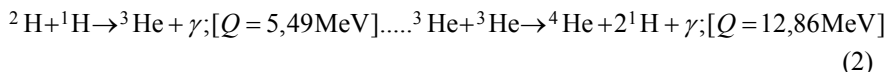
ciłyby, nie emitowałyby energii, nie istnielibyśmy. Przenikalność przez barierę kulombowską bardzo silnie zależy od wysokości bariery E_c i energii cząstki E . Dla reakcji (1) i temperatury T rzędu 10^7 K przyjmuje wartości bardzo małe. Można szacować, że średnia wartość P w przypadku procesów na Słońcu będzie mniejsza niż 10^{-10} .

Prześledźmy przebieg reakcji p+p na Słońcu. W wyniku oddziaływań grawitacyjnych następuje silne sprężenie materii słonecznej do gęstości około 125 g/cm^3 , czemu odpowiada $7,5 \cdot 10^{25}$ protonów/cm³. Średnia temperatura w centrum Słońca osiąga 15 milionów stopni Kelwina. Prawdopodobieństwo zajścia reakcji (1) będzie zależęć wobec tego od nałożenia się dwu czynników. Jeden z nich jest prawdopodobieństwo przeniknięcia protonu przez barierę $P(E)$. Drugi to prawdopodobieństwo, że proton będzie miał energię E , czyli rozkład $n(E)$. Rysunek 3 prezentuje obydwa prawdopodobieństwa dla dwu temperatur T , w których zachodzi reakcja fuzji. Powierzchnia zakreskowana określa prawdopodobieństwo zajścia reakcji. Jej wielkość zależy od iloczynu obydwu prawdopodobieństw $n(E)$ i $P(E)$. Jest to efekt silnie zależny od temperatury. Na rysunku 3 zaprezentowano wynik dla dwu temperatur T , znacznie wyższych niż temperatura słoneczna. Dzięki temu zależność od temperatury jest lepiej widoczna. Wartość bezwzględna prawdopodobieństwa zajścia fuzji na Słońcu jest jednak znacząca mimo bardzo małego tunelowania, ponieważ oddziałują z sobą znaczące liczby protonów. Ich gęstość we wnętrzu Słońca jest olbrzymia.

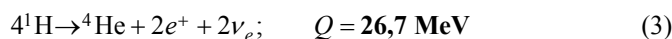


Rys. 3. Prawdopodobieństwo zajścia reakcji (1) dla dwóch temperatur

Reakcja (1) jest pierwszym etapem procesu produkcji energii jądrowej w gwiazdzie. Następnymi procesami są reakcje

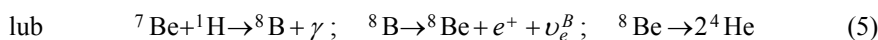
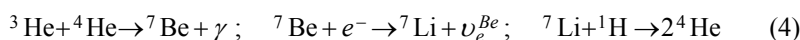


Ostatecznie proces zachodzący na Słońcu to wiązanie 4 protonów w cząstkę alfa (${}^4\text{He}$)

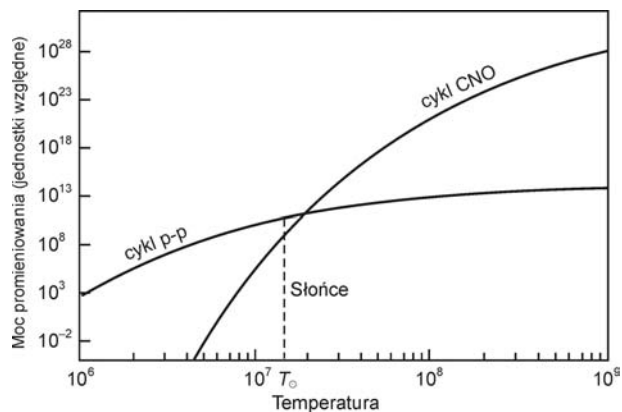


z wyzwoleniem 26,7 MeV energii. Oznacza to, że proces zachodzący na Słońcu sprowadza się do łączenia czterech jąder wodoru i utworzenia jądra helu.

Reakcje (1), (2) i (3) tworzą główną ścieżkę produkcji energii w gwiazdach. Prawdopodobieństwo zajścia tej ścieżki wynosi 68%. Możliwe są także inne ścieżki z reakcjami



Wszystkie ścieżki sprowadzają się ostatecznie do procesu (3). Ponieważ znamy także przekroje czynne dla reakcje (1), (2), (4), (5), możemy określić szybkość procesu spalania wodoru w gwieździe w cyklu p-p w zależności od temperatury jej wnętrza. Zależność temperaturowa mocy energii emitowanej przez gwiazdy jest prezentowana na rysunku 4. W przypadku takiej gwiazdy jak Słońce moc promieniowania opisuje krzywa cyklu p-p. Dotyczy to także wszystkich gwiazd o masach mniejszych lub trochę większych niż masa Słońca. Siły grawitacji ze względu na ich małą masę nie wywołują dostatecznej kompresji materii i nie powodują powstania wysokich temperatur.



Rys. 4. Produkcja energii w gwiazdach w zależności od ich temperatury T dla cyklu p-p i cyklu CNO

We Wszechświecie istnieją także gwiazdy, które promieniują znacznie więcej energii, niż to wynika z krzywej wydajności dla cyklu p-p. Są to gwiazdy, których masy są znacznie większe od masy Słońca. W gwiazdach tych siły grawitacyjne są tak silne, że powodują większą kompresję materii i powstanie wyższych temperatur w ich wnętrzu. Mimo wyższych temperatur nie potrafimy opisać wydajności produkcji energii w cyklu protonowym. Oznacza to, że procesy zachodzące zgodnie z cyklem wodorowym nie potrafią odtworzyć tak dużych mocy promieniowania.

Ten poważny problem rozwiązał Bethe. Założył, że materia w tych gwiazdach nie zawiera już tylko jądra wodoru i helu, ale także nieduże ilości cięższych jąder, w tym jądra węgla. Jądra węgla mogły powstać w początkowej fazie ich rozwoju (cykl p-p) lub w wyniku kondensacji materii gwiazdnej zawierającej już jądra węgla powstałe w spalaniu się pierwszych gwiazd. Bethe pokazał, że proces syntezy 4 protonów (3) będzie zachodził w tzw. cyklu CNO. Jest to tzw. cykl Bethego-Weizsäckera, zaproponowany przez Bethego już w latach 1937–1939. Poniżej podany jest przebieg cyklu CNO.

			Czas trwania
	$^{12}\text{C} + ^1\text{H} \rightarrow ^{13}\text{N} + \gamma$	+ 1,95 MeV	$1,3 \cdot 10^7$ lat
	$^{13}\text{N} \rightarrow ^{13}\text{C} + e^+ + \nu_e$	+ 1,37 MeV	7 min
Cykl CNO Bethego:	$^{13}\text{C} + ^1\text{H} \rightarrow ^{14}\text{N} + \gamma$	+ 7,54 MeV	$2,7 \cdot 10^6$ lat
	$^{14}\text{N} + ^1\text{H} \rightarrow ^{15}\text{O} + \gamma$	+ 7,35 MeV	$3,2 \cdot 10^8$ lat
	$^{15}\text{O} \rightarrow ^{15}\text{N} + e^+ + \nu_e$	+ 1,86 MeV	82 sek
	$^{15}\text{N} + ^1\text{H} \rightarrow ^{12}\text{C} + ^4\text{He}$	+ 4,96 MeV	$1,12 \cdot 10^5$ lat

Jądra węgla w procesie syntezy $4p \rightarrow ^4\text{He}$ grają wyłącznie rolę katalizatora. Ze znajomości przekrojów czynnych na elementarne reakcje tego cyklu można oszacować czas ich trwania. Powyżej podano czasy dla gwiazdy o masie 25-krotnie większej niż masa Słońca. Wydajność produkcji energii w cyklu CNO jest zależna od wielkości temperatury wnętrza gwiazdy. Na rysunku 4 zaprezentowano także temperaturową zależność wydajności dla cyklu CNO.

Moc promieniowania emitowanego dla cyklu CNO zależy silnie od temperatury niż dla cyklu wodorowego. Okazuje się, że dopiero gdy temperatura przekracza 14 milionów Kelwinów, zaczyna zachodzić cykl CNO, a dominującym procesem staje się, gdy temperatura jest wyższa niż 30 milionów Kelwinów. Jest to zrozumiałe. Wtedy protony mogą przewyciężyć znacznie wyższą barierę kulombowską pochodzącą od jąder węgla. Procesy spalania w cięższych gwiazdach (cykl CNO) trwają $3,4 \cdot 10^8$ lat. Jest to czas krótszy niż dla lżejszych gwiazd (cykl wodorowy). Ten ostatni wynosi kilka miliardów lat (10^9 lat).

Wobec tego możemy stwierdzić, że w gwiazdach zachodzą procesy spalania materii w cyklach p-p, względnie CNO, w zależności od masy gwiazdy. W wyni-

ku tych procesów zachodzi synteza 4 protonów w jądro ${}^4\text{He}$. Oznacza to, że w gwiazdach zachodzi zamiana jednej formy energii-masy na inną formę energii – energię promieniowania, zgodnie z wyrażeniem $E = mc^2$.

Nie potrafimy bezpośrednio stwierdzić, jakie procesy zachodzą w gwiazdach. Jednak nie tylko wydajność emitowanej energii potwierdza słuszność naszych założeń. Ważnym potwierdzeniem są pomiary neutrin słonecznych. Słońce emituje neutrino elektronowe. Neutrino są cząstkami bardzo słabo oddziałującymi z materią. Mogą oddziaływać jedynie w wyniku tzw. oddziaływań słabych, które są o wiele rzędów wielkości słabsze niż oddziaływania jądrowe. Praktycznie nie oddziałują z materią gwiazdą i materią zawartą w przestrzeni międzygwiazdnej. Dochodzą do powierzchni Ziemi w stanie, w jakim powstały. Od kilku dziesiątków lat są mierzone neutrino słoneczne: ich liczba oraz energia. Nie wchodząc w szczegóły, przez wiele lat stwierdzano, że ich liczba jest mniejsza od liczby wynikającej z reakcji zachodzących na Słońcu. Niedobór sięgał 50%. Zagadka niedoboru neutrin słonecznych została ostatecznie rozwiązana dzięki odkryciu oscylacji neutrin. Dalsze informacje o neutrinach można uzyskać w artykułach opublikowanych w *Fotonie* (patrz M. Kutschera, *Foton* 79/2002), K. Fiałkowski *Foton* 74/2001, 92/2006).

Jak znaczące jest odkrycie Bethego? Bethe pokazał, jaki jest mechanizm produkcji olbrzymich energii przez gwiazdy. Ile takich obiektów istnieje we Wszechświecie? Gwiazdy tworzą skupiska, czyli galaktyki. Jak się szacuje, galaktyki zawierają od 10^6 do 10^{12} gwiazd. Dzisiaj obserwujemy około 10^{11} galaktyk. Oznacza to, że we Wszechświecie istnieje olbrzymia liczba gwiazd rzędu 10^{20} , a znacząca ich liczba to gwiazdy cięższe niż Słońce. Wobec tego odkrycie Bethego opisuje historię olbrzymiej liczby obiektów naszego Wszechświata. Ale na spalaniu wodoru nie kończy się historia gwiazd. Dalszy rozwój gwiazdy zależy od jej wielkości-masy. Dla gwiazd cięższych od Słońca scenariusze będą przebiegać następująco. Jeżeli gęstość wodoru we wnętrzu gwiazdy maleje, zmniejsza się produkcja ciepła. Następuje schłodzenie wnętrza gwiazdy. Wtedy siły grawitacyjne powodują ponowną kompresję. Gęstość materii i temperatura we wnętrzu gwiazdy wzrosną. Średnia energia kinetyczna jąder w gwieździe wzrasta. Następuje ponowne „zapalenie” gwiazdy. Zaczynają zachodzić reakcje, w których następuje spalanie ${}^4\text{He}$. Po spalaniu helu rozpoczyna się następny proces kompresji materii i dalszy wzrost temperatury. Powstają coraz cięższe jądra, aż do jąder żelaza włącznie. Możemy wyróżnić na ogół 5 etapów rozwoju gwiazdy. Przykładowo dla gwiazdy o masie rzędu 25 mas Słońca historia gwiazdy przedstawia się następująco:

<i>Faza spalania</i>	<i>Temperatura</i>	<i>Czas trwania fazy</i>
<i>faza wodorowa</i>	$6 \cdot 10^7$	10^7 lat
<i>faza helowa</i>	$2 \cdot 10^8$	10^5 lat
<i>faza węglowa</i>	10^9	10^3 lat
<i>faza neonowa</i>	$1,8 \cdot 10^9$	1 rok
<i>faza tlenowa</i>	$2,5 \cdot 10^9$	6 miesięcy
<i>faza krzemowa</i>	$4 \cdot 10^9$	1 dzień

Ostatnia faza kończy się potężnym wybuchem. Mówimy o „supernowej”. Wtedy powstają wszystkie pozostałe znane nam pierwiastki. Tak prezentuje się historia gwiazd. W przypadku gwiazd lżejszych historia kończy się wcześniej, a wszystko to zależy od pierwszego etapu, którego zrozumienie umożliwi nam idea Bethego.

Patrząc z perspektywy rozwoju Wszechświata, można ocenić wagę odkrycia Hansa Bethego. Cykl CNO spalania materii oznacza, że spalanie materii zachodzi znacznie szybciej, niż to wynika z cyklu p-p. Szybciej zachodzą dalsze etapy spalania materii, produkcji pierwiastków cięższych itd. Otrzymujemy informacje o tym, jak szybko to się dzieje, jak rozwija się nasz Wszechświat.

Niewątpliwie wyróżnienie Bethego przez Komitet Noblowski za jego odkrycia cyklu CNO także dzisiaj, po czterdziestu latach, nadal fascynuje.

Pewne stałe fizyczne:

masa protonu $m_p = 1,672 \cdot 10^{-27}$ kg

masa elektronu $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31}$ kg

1 eV = $1,602 \cdot 10^{-19}$ J

stała grawitacji $G = 6,672 \cdot 10^{-11}$ m² kg⁻¹ s⁻²

stała Boltzmanna $k = 8,617 \cdot 10^{-5}$ eV K⁻¹

liczba Avogadro $N_{Avog} = 6,022 \cdot 10^{23}$ mol⁻¹

masa ziemi $m_Z = 6,10^{24}$ kg

masa Słońca $m_{S\odot} = 1,98 \cdot 10^{30}$ kg



Doświadczenia interferencyjne z fotonami

Paweł Tomasz Pęczkowski

*Zakład Dydaktyki Fizyki, Instytut Fizyki Doświadczalnej
Uniwersytet Warszawski*

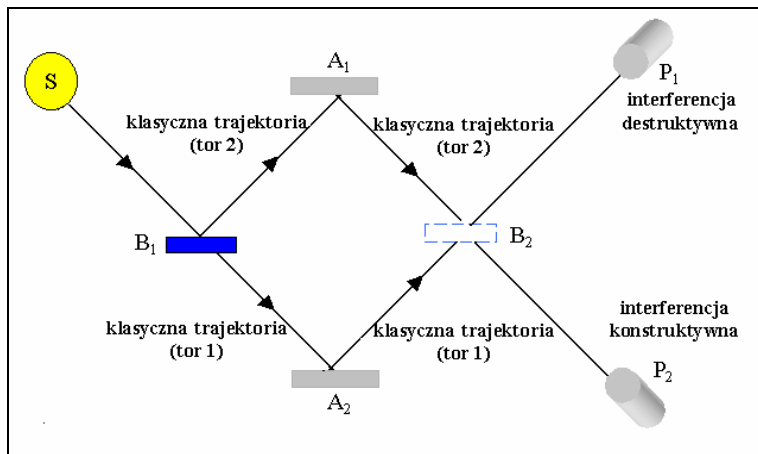
CZĘŚĆ II

1. Wstęp

W artykule omawiamy osobliwości kwantowe związane z naturą światła i doświadczenia mające na celu wyjaśnienie tych osobliwości. Od czasów I. Newtona i T. Younga toczy się spór, jaką naturę ma światło – czy zachowuje się jak cząstka, czy jak fala. W dzisiejszych czasach zgodzono się z interpretacją, że światło ma naturę dwoistą: korpuskularno-falową. Wyznacznikiem natury falowej jest zjawisko interferencji. Pojedyncze fotony w momencie emitowania przez źródło i w momencie pochłaniania przez ekran zachowują się jak cząstki (mogą zastać zarejestrowane bądź niezarejestrowane przez detektor), natomiast nie ma żadnego sposobu wykrycia zachowania się fotonu bez oddziaływania z materią. W poprzedniej części artykułu omówiliśmy najnowsze doświadczenia badające naturę dyfrakcyjno-interferencyjną fotonów. Opisaliśmy doświadczenie Younga w wersji jednofotonowej przeprowadzone przez G.I. Taylora (1909), doświadczenia A. Aspecta, P. Grangiera i G. Rogera (1986) i doświadczenie M. Lai i J.C. Dielsa (1990).

2. Doświadczenie J. A. Wheelera

Z eksperymentów przedstawionych w pierwszej części artykułu wynika, że jeżeli w doświadczeniu z dwiema szczelinami nie przeprowadzamy żadnych obserwacji drogi fotonu, to na ekranie tworzy się obraz interferencyjny. Natomiast jeżeli zasłonimy jedną szczelinę albo za szczeliną ustawimy detektor wykrywający, czy przeszedł przez nią foton, to obraz interferencyjny znika. Oznaczałoby to, że zachowanie się przyrody (tutaj: fotonów) zależy od tego, czy ją obserwujemy, czy nie. Odzwierciedla to jeden z aksjomatów teorii kwantowej, zgodnie z którym żadne fundamentalne zjawisko nie jest zjawiskiem, dopóki nie zostanie zarejestrowane. Pogląd ten wywodzi się z idei Bohra, który uważał, że roli obserwatora w zachowaniu się natury nie da się wyeliminować. Ideę tę rozwinął amerykański fizyk John A. Wheeler, który zaprojektował pewien nowy wariant doświadczenia z dwiema szczelinami [9]. W omawianym doświadczeniu eksperymentator czeka z wyborem sposobu obserwacji do czasu, aż foton przejdzie przez szczelinę. Idea tego doświadczenia została przedstawiona na rys. 1.



Rys. 1. Schemat doświadczenia myślowego z opóźnionym wyborem (na podstawie [9])

Źródło światła S emituje pojedyncze fotony w ten sposób, że dwa kolejno wyemitowane fotony oddziela długi odstęp czasu. W ten sposób mamy gwarancję, że do układu wchodzi pojedynczy foton. Światło pada na płytkę światłodzielną B₁ i dalej może iść po drodze oznaczonej jako tor 1 (część przepuszczona) lub po drodze oznaczonej jako tor 2 (część odbita). Na obu drogach zostały odpowiednio umieszczone lustra A₁ i A₂ całkowicie odbijające światło, które kierują foton do jednego z fotopowielaczy P₁ i P₂, pełniących rolę detektorów. Jeżeli w eksperymencie nie ma innych elementów, to zarejestrowanie fotonu przez detektor pozwala określić, którą drogą biegł foton. Okazuje się, że każdy foton jest wykrywany albo przez detektor P₁, albo przez detektor P₂, a więc zachowuje się jak cząstka. Wynik jest zgodny z innymi znanymi doświadczeniami z dwiema szczelinami. Jeżeli w aparaturze nie zostało umieszczone żadne inne urządzenie i detektory pozwalają określić drogę fotonu, to aparatura jako całość służy do wykrywania korpuskularnej natury światła. Umieścimy teraz drugie lustro półprzepuszczalne B₂ w obszarze przecięcia się drogi promieni świetlnych z lusterek A₁ i A₂ (patrz rys. 1). Jeżeli założymy, że foton zachowuje się jak fala, i dobierzemy odpowiednio parametry lustro B₂ (jego położenie), to możemy się spodziewać, że część światła przechodząca drogą (tor 1), przepuszczona przez lustro B₂, i część światła przechodząca drogą (tor 2), odbita przez lustro B₂, znoszą się (interferencja destrukcyjna), natomiast pozostałe dwie części wzmacniają się (interferencja konstruktywna). Wówczas żaden foton nie dotrze do detektora P₁, a wszystkie dotrą do detektora P₂. Rzeczywiście taki wynik eksperymentu obserwujemy, co oznacza, że fotony przebiegają jednocześnie drogą (tor 1) i drogą (tor 2), a następnie interferują ze sobą, zatem zachowują naturę falową. Fotony nie są tutaj zlokalizo-

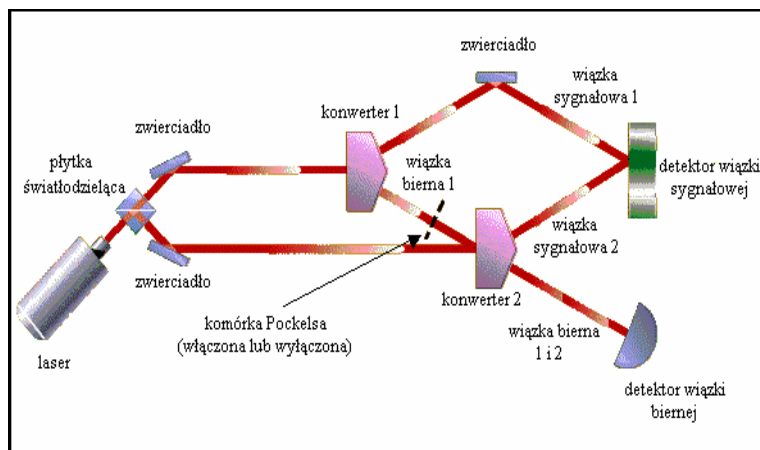
wane. Możemy powiedzieć, że aparatura z dodatkowym lustrem B_2 służy do wykrywania falowej natury światła.

Istotną modyfikacją w doświadczeniu zaproponowanym przez Wheelera jest to, że eksperymentator podejmuje decyzję o umieszczeniu (lub nie) w układzie lustra B_2 później niż moment dotarcia fotonu do lustra B_1 . Dlatego ten eksperyment nosi nazwę eksperymentu z opóźnionym wyborem. Dopiero wtedy, gdy foton znajduje się na drodze (tor 1) lub (tor 2) (lub obu jednocześnie), decydujemy, który wariant doświadczenia przeprowadzamy – czy wariant bez lustra B_2 , weryfikujący naturę korpuskularną fotonu, czy wariant z lustrem B_2 , weryfikujący naturę falową fotonu.

Okazuje się, że wyniki przeprowadzonego doświadczenia w obu wariantach (z lustrem B_2 i bez) nie zmieniają się w stosunku do poprzedniej wersji. Mogłoby to oznaczać, że foton już po opuszczeniu lustra B_1 „decyduje” dopiero, czy ma zachować się jak cząstka, czy jak fala.

3. Doświadczenie L. Mandela

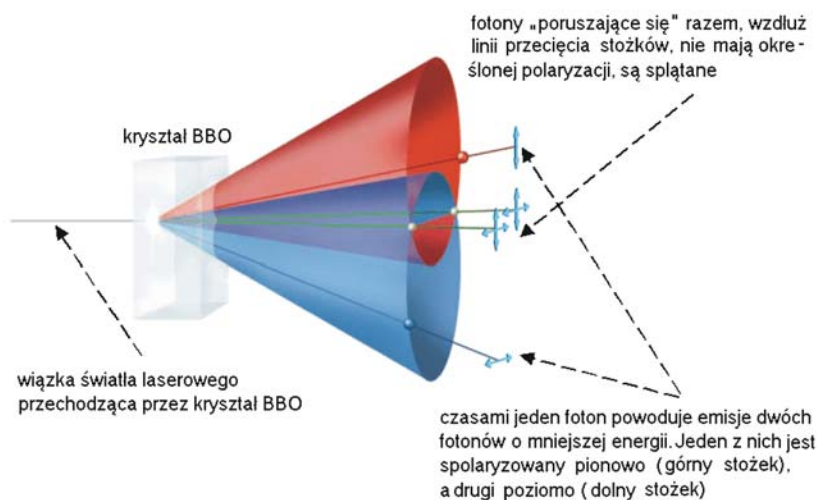
Realizacją doświadczenia myślowego zaproponowanego przez J.A. Wheelera jest doświadczenie przeprowadzone przez L. Mandela. W 1989 roku na Uniwersytecie w Rochester przeprowadzono doświadczenie, które wykazało, że aby zmienić zachowanie fotonu z falowego na korpuskularne, niekoniecznie trzeba ingerować w układ eksperymentalny. Doświadczenie Mandela wykazało, że foton może być zmuszony do zmiany zachowania się z falowego na korpuskularne w bardziej wyrafinowany sposób niż poprzez bezpośrednią interwencję [10]. Schemat eksperymentu został przedstawiony na rys. 2.



Rys. 2. Schemat układu doświadczonego eksperymentu L. Mandela (na podstawie [10])

Eksperyment polega na rozszczepieniu fotonu pochodzącego z wiązki laserowej na dwa fotony o energii dwa razy mniejszej. Proces ten nazywamy parametrycznym podziałem częstości (*parametric down-conversion process*) [11]. Foton ultrafioletowy o długości fali 351 nm po przejściu przez optycznie nieliniowy kryształ BBO (β -boranu baru) zostaje zaabsorbowany, po czym następuje emisja dwóch fotonów o energii dwa razy mniejszej (czyli dwukrotnie większej długości fali 702 nm, odpowiadającej barwie czerwonej widma fal elektromagnetycznych). Fotony otrzymane w wyniku parametrycznego podziału częstości mają ciekawe własności. Ponieważ podczas absorpcji i emisji fotonów muszą być spełnione zasady zachowania, muszą zachodzić związki pomiędzy pewnymi parametrami obu fotonów.

Istotę parametrycznego podziału częstości wyjaśniliśmy na rys. 3. Pokazano tu fragment schematu układu doświadczalnego zawierającego konwerter częstości (nieliniowy kryształ BBO). W tym kryształcie od czasu do czasu foton ultrafioletowy jest przekształcany w dwa fotony o dwukrotnie mniejszej energii, „poruszające się” wzdłuż krawędzi dwóch stożków. W parametrycznym podziale częstości powstają dwa splątane fotony, których polaryzacja jest zorientowana prostopadle do siebie, tzn. można przyjąć, że wektor polaryzacji jednego fotonu leży w płaszczyźnie pionowej (na górnym stożku na rys. 3), a drugiego w płaszczyźnie poziomej (na dolnym stożku na rys. 3).



Rys. 3. Fragment układu doświadczalnego tłumaczący istotę parametrycznego podziału częstości (opracowanie własne [12])

W doświadczeniu Mandela wiązka światła wychodzi z lasera i jest kierowana na płytkę światłodzielącą. Następnie część fotonów trafia do konwertera częstości 1, a część do konwertera częstości 2. Każdy z konwerterów dzieli foton na dwa fotony o mniejszej częstości. Jeden z tych fotonów został nazwany fotonem sygnałowym, a drugi fotonem biernym. Konwertery są ustawione w ten sposób, że dwa fotony bierne łączą się w jedną wiązkę bierną, która zostaje zarejestrowana przez detektor wiązki biernej. Wiązki sygnałowe dochodzą do detektora wiązki sygnałowej różnymi drogami, dzięki odpowiednim zwierciadłom. Układ doświadczalny nie pozwala obserwatorowi stwierdzić, którą drogę wybiera foton przechodzący przez płytkę światłodzielącą wiązkę. Foton zachowuje się jak fala i po przejściu przez konwertery daje dwie wiązki sygnałowe i dwie wiązki bierne. Wiązki sygnałowe dają w detektorze obraz interferencyjny. Zauważmy, że fotony sygnałowe i bierne po wyjściu z konwertera nigdy nie spotykają się, ale wpadają do detektorów niezależnie od siebie.

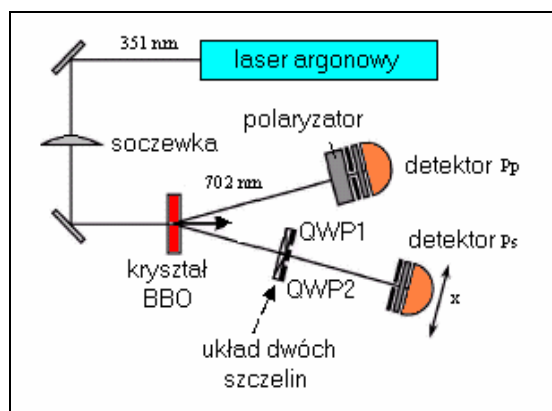
Jednak jeżeli zablokuje się drogę, którą przechodzi jeden z fotonów biernych (komórka Pockelsa włączona), to obraz interferencyjny zostaje zniszczony. Jest to zadziwiające, ponieważ nie ingerowaliśmy w drogę żadnego z fotonów sygnałowych. Zmieniła się nasza wiedza o drodze fotonów. Teraz możemy ustalić, która drogą przechodził foton sygnałowy do detektora, przez porównanie jego czasu przebycia z czasem przebycia drugiego („niezablokowanego”) fotonu biernego. Foton już nie może dotrzeć do detektora obiema drogami jako fala, ale musi albo zatrzymać się „na przeszkodzie”, albo przejść jedną drogą jako cząstka.

Jednoczesna detekcja fotonu sygnałowego i biernego wskazuje na to, że oba fotony pochodzą z fotonu odbitego przez rozszczepiacz wiązki, który przechodził przez konwerter 2. Wiemy więc, że do detektora fotonów sygnałowych dotarł foton sygnałowy z wiązki 2, który powstał przy przejściu przez konwerter 2.

Według interpretacji kopenhaskiej mechaniki kwantowej funkcja falowa opisuje naszą wiedzę o świecie. Zaburzenie funkcji falowej (destrukcja interferencji) jest spowodowane przez zmianę wiedzy eksperymentatora, czyli przez sprecyzowanie przebiegu przeprowadzanego eksperymentu. Funkcja falowa istnieje w pewnym stanie superpozycji „interferencja” i „brak interferencji” aż do chwili, kiedy ktoś chce to sprawdzić. Według interpretacji probabilistycznej (reprezentowanej np. przez R. Penrose’a) destrukcja funkcji falowej jest obiektywnym fizycznym zdarzeniem, które występuje niezależnie od pomiarów eksperymentatora.

4. Doświadczenie M.O. Scully’ego i K. Drühla – „kwantowa gumka”

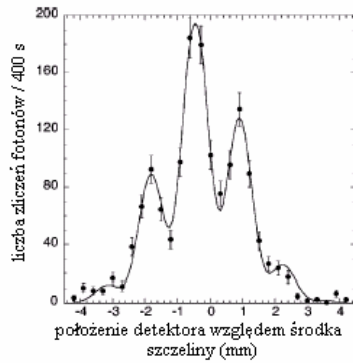
Okazuje się, że wykonanie pomiaru nie niszczy bezpowrotnie obrazu interferencyjnego. Jeżeli skasujemy informację o drodze fotonu, to możemy znów odzyskać obraz interferencyjny. Eksperyment, który umożliwia pokazanie tego faktu, został zaprojektowany przez Marlana O. Scully’ego i Kai Drühla [13] i nazwano go



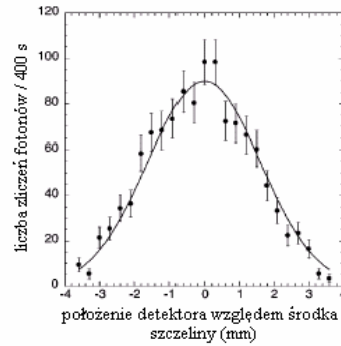
Rys. 5. Schemat doświadczenia z „kwantową gumką” (na podstawie [15])

Fotony emitowane przez laser argonowy o długości fali 351 nm przechodzą przez kryształ BBO, generujący w procesie parametrycznego podziału częstotliwości splątane fotony o długości fali 702 nm. Na drodze jednego fotonu jest ustawiona podwójna szczelina z ćwierćfalówkami¹ QWP1 i QWP2, a za nią detektor Ps. Na drodze drugiego fotonu jest ustawiony polaryzator liniowy, a za nim detektor Pp. Jeżeli ćwierćfalówki QWP1 i QWP2 oraz polaryzator są usunięte, to obserwujemy interferencję fotonu trafiającego do detektora Ps tzn. fotonu sygnałowego (rys. 6a). Jest to standardowy obraz interferencyjny w doświadczeniu Younga z podwójną szczeliną umieszczoną na drodze fotonu sygnałowego. Niesymetryczność obrazu interferencyjnego wynika z niesymetryczności układu dwóch szczelin. Po umieszczeniu ćwierćfalówek prawie cały obraz interferencyjny znika, gdyż możemy określić drogę, po której poruszał się foton sygnałowy (rys. 6b). Szczątkowa interferencja jest obecna z powodu małych błędów w wyrównywaniu ustawienia ćwierćfalówek. Jeżeli ustawimy polaryzator zgodnie z QWP1, to znowu pojawiają się prążki interferencyjne (rys. 6c). Podobnie się dzieje, gdy ustawimy polaryzator zgodnie z QWP2. Pojawiają się prążki interferencyjne symetryczne do poprzedniego przypadku (rys. 6d).

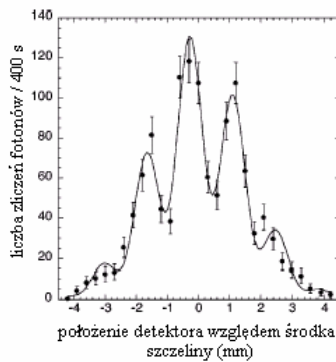
¹ Ćwierćfalówka jest to odpowiednio wycięta płytka z kryształu dwójłomnego o grubości tak dobranej dla danej długości fali świetlnej, że po przejściu fali przez płytkę powstaje różnica dróg optycznych $\frac{1}{4}$ i $\frac{3}{4}$ długości fali między dwoma promieniami (promieniem zwyczajnym i nadzwyczajnym). Ćwierćfalówka służy do zmiany monochromatycznego światła spolaryzowanego liniowo na spolaryzowane eliptycznie.



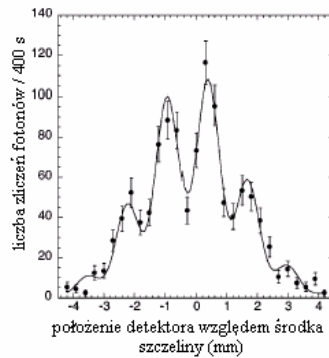
Rys. 6a. Ćwierćfalówki QWP1 i QWP2 są usunięte. Na ekranie detektora Ps występują prążki interferencyjne [15]



Rys. 6b. Ćwierćfalówki QWP1 i QWP2 są umieszczone przed podwójną szczeliną. Obraz interferencyjny na ekranie Ps znika [15]



Rys. 6c. Polaryzator jest ustawiony zgodnie z ćwierćfalówką QWP1. Na ekranie Ps pojawia się obraz interferencyjny [15]



Rys. 6d. Polaryzator jest ustawiony zgodnie z ćwierćfalówką QWP2. Na ekranie Ps pojawia się obraz interferencyjny (odwrotnie niż na rys. 6c) [15]

5. Wnioski

Odpowiednie ustawienie polaryzatora w układzie doświadczalnym powoduje wymazanie bądź uzyskanie informacji o drodze fotonu sygnałowego. Zauważmy, że suma obrazów interferencyjnych z rys. 6c i 6d daje obraz w przybliżeniu taki jak na rys. 6b. Autorzy eksperymentu przeprowadzili go również w wersji z opóźnionym wyborem, w którym interferujący foton trafiający do detektora Ps jest wykrywany wcześniej niż ten, który trafia do detektora Pp.

6. Podsumowanie

Opisywane doświadczenia interferencyjne ujawniają zadziwiające własności światła, które raz przejawia naturę falową, a w innych doświadczeniach wykazuje naturę korpuskularną. Powstaje pytanie, jaką naturę ma w rzeczywistości światło i od czego to zależy. Z przeprowadzonych doświadczeń interferencyjnych wynika, że światło jest wysyłane ze źródła w postaci fotonów i rejestrowane w detektorze w postaci fotonów. Natomiast pytanie, co dzieje się między źródłem a detektorem, traci sens, gdyż nie można przypisać realnego stanu cząstce. Możemy mówić jedynie o wynikach pewnych pomiarów uzyskanych podczas eksperymentów. Jak pisze Zeilinger [12], „możemy zrozumieć mechanikę kwantową, jeżeli uświadomimy sobie, iż nauka nie opisuje, czym jest przyroda, raczej stwierdza, co możemy o niej powiedzieć”.

Podziękowania

Pragnę wyrazić moją wdzięczność prof. dr. hab. Andrzejowi Majhoferowi i dr. hab. Zygmuntowi Szeplińskiemu za życzliwe zainteresowanie i pożyteczne wskazówki.

Literatura

- [9] J. Gribbin, *W poszukiwaniu kota Schrödingera*, Wydawnictwo Zysk i S-ka, Poznań, 1997.
- [10] Z.Y. Ou, L. Mandel, *Further Evidence of Nonclassical Behavior in Optical Interference*, Phys. Rev. Lett. **62**, 2941, 1989.
- [11] P.G. Kwiat, K. Mattle, H. Weinfurter, A. Zeilinger, *New high-intensity source of polarization-entangled photon pairs*, Phys. Rev. Lett. **75**, 4337, 1995.
- [12] A. Zeilinger, *Kwantowa teleportacja*, Świat Nauki **7**, 24, 2000.
- [13] M.O. Scully, K. Drühl, *Quantum eraser: A proposed photon correlation experiment concerning observation and „delayed choice” in quantum mechanics*, Phys. Rev. A **25**, 2208, 1982.
- [14] A.M. Steinberg, P.G. Kwiat, R.Y. Chiao, *Dispersion cancellation in a measurement of the single photon propagation velocity in glass*, Phys. Rev. Lett. **68**, 2421, 1992.
- [15] S.P. Walborn, M.O. Terra Cunha, S.S. Pádua, C.H. Monken, *Double-slit quantum eraser*, Phys. Rev. A, **65**, 033818, 2002.



Jak wygląda pewien fulleren i co ma Euler z tym wspólnego

Łukasz Skowronek

Student fizyki, Instytut Fizyki UJ

1. Wstęp

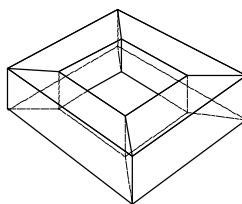
Istnieją cząsteczki, zwane fullerenami, zbudowane z atomów węgla, ułożonych w wierzchołkach pewnego wielościanu, którego krawędzie odpowiadają wiązaniom. Czytelnicy może wiedzą już o nich trochę z innych popularnych źródeł, a niemal na pewno widzieli kiedyś rysunki, pokazujące, jak cząsteczki owe są zbudowane. Artykuł niniejszy jednakże nie wymaga od Czytającego żadnej wiedzy o fullerenach, ani sam nie dostarcza wielkiej liczby informacji na ich temat, lecz ma na celu pokazać sytuację, w której proste, konsekwentnie i z wycuciem prowadzone rozumowanie prowadzi do wartościowego wniosku. Wzór Eulera (spójrz do ramki po prawej), znany ze szkoły raczej jako liczbowa ciekawostka, może zostać wykorzystany do zgadnięcia struktury wyjątkowej cząsteczki C_{60} w oparciu o skąpe dane (rysunek 2) z niezbyt skomplikowanego doświadczenia.

Wzór Eulera

Przez wzór Eulera w tym artykule rozumiana jest zależność

$$W - K + S = 2$$

między liczbami W , K i S wierzchołków, krawędzi i ścian wielościanu, któremu można bez cięcia i sklejanego, odkształcając, nadać postać powierzchni kuli, czyli sfery (nie dotyczy dziurawych wielościanów, np. tego z rysunku 1).



Rys. 1. Dowód wzoru Eulera można znaleźć np. w [4]

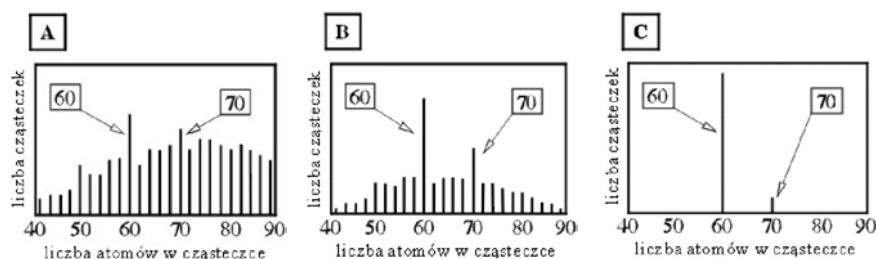
2. Wzór Eulera a fullereny

Fullereny zostały odkryte w roku 1985 przez Roberta F. Curla, Harolda W. Kroto i Richarda E. Smalleya¹, którzy błyskotliwie zinterpretowali niespodziewany wynik prowadzonego w innym celu eksperymentu [1, 2].

Curl, Kroto i Smalley przeprowadzili serię doświadczeń, w których wiązka światła z lasera padała na powierzchnię z grafitu. Dzięki działaniu światła część atomów węgla zostawała odparowana i tworzyła plazmę, czyli gorący, zjonizowany gaz, a po schłodzeniu w nieznanym wówczas sposób wiązała się trwale w czą-

¹ Wspólnie z innymi.

steczki, zabierane następnie z miejsca powstania i kierowane do przyrządu, pozwalającego określić ich masy i ilości, zwanego spektrometrem masowym. Wynikiem doświadczenia była zależność ilości cząsteczek, które powstały, od ich masy, a więc również od liczby atomów w cząsteczce. Okazało się, że cząsteczki o więcej niż około 20 atomach miały wyłącznie parzyste ich liczby, a wynik doświadczenia silnie zależał dla nich od czasu, jaki przebywały w pobliżu powierzchni grafitu, nim zostały schłodzone. Dla najbardziej interesującego zakresu mas powyżej 40 atomów na cząsteczkę rezultatem doświadczenia były histogramy podobne do poniższych.



Rys. 2

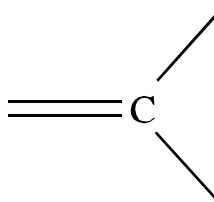
Histogram A odpowiada najkrótszemu czasowi między wytworzeniem plazmy a schłodzeniem cząsteczek, C – czasowi najdłuższemu, zaś B przedstawia przypadek pośredni. Niezależnie od warunków, najwięcej tworzyło się cząsteczek C_{60} , zawierających sześćdziesiąt atomów węgla. Kiedy czas przebywania cząsteczek przed schłodzeniem w gorącym środowisku był zwiększany, udział C_{60} wzrastał tak, że w przypadku C powstawały niemal tylko te cząsteczki, z małym dodatkiem C_{70} .

Gdyby wszystkie powstające w przypadku A cząsteczki były w podobnym stopniu trwałe i podobnie chętnie się tworzyły, czas przebywania w trudnych warunkach nie powinien wpływać na to, ile jakich cząsteczek pozostanie. Pewna ich liczba tworzyłaby się i pewna rozpadała, jednak odbywałoby się to podobnie dla każdej liczby atomów w cząsteczce. Histogramy powyżej byłyby do siebie podobne.

Wynik doświadczenia był wyraźnie inny. Na jego podstawie panowie Curl, Kroto i Smalley wywnioskowali, że cząsteczka C_{60} ma szczególną budowę i dużą trwałość, a potem, opierając się na intuicji i wiedzy, zapostulowali, jak wygląda. Podstawowym elementem ich trafnych domysłów była teza, że wszystkie cząsteczki o więcej niż około 20 atomach, obserwowane w doświadczeniu, miały budowę zamkniętych klatek, a konkretnie – zwyczajnych (bez dziur) wielościana-

nów, dla których słuszny jest wzór Eulera. Na pomysł ten uczeni wpadli ponoć przez skojarzenie z wielościennymi kopułami projektu amerykańskiego wizjonera, odkrywcy i architekta, Buckminstera Fullera, na którego cześć nazwali potem odkryte przez siebie cząsteczki fullerenami. Jeśli założyć, że Curl, Kroto i Smalley nie pomylili się w swoim domyśle, można dość łatwo wywnioskować, jak powinna wyglądać cząsteczka C_{60} .

Ponieważ w doświadczeniu obserwowane były praktycznie wszystkie parzyste, nie przesadnie duże liczby atomów w cząsteczce, większe niż około 20, a nieparzyste liczby powyżej około 20 nie pojawiały się wcale, należy przypuszczać, że wytłumaczenie tego faktu ma prosty, podstawowy charakter. Najłatwiej jest przyjąć, że każdy atom węgla mógł wiązać się tylko z nieparzystą liczbą sąsiadów. Założenie to wymusza, by liczba atomów w cząsteczce była parzysta, a gdy chodzi o czterowartościowe atomy węgla, narzuca każdemu dokładnie 3 sąsiadów, zaś przypuszczalne sposoby wiązania ogranicza do jednego, pokazanego na rysunku 3. Łatwo sprawdzić, że atomy wiążące się z trzema sąsiadami faktycznie mogą utworzyć cząsteczkę tylko wtedy, gdy ich liczba N jest parzysta. Skoro każdy atom ma trzech sąsiadów,



Rys. 3

liczba wiązań między atomami w cząsteczce wynosi $\frac{1}{2} \cdot 3 \cdot N = \frac{3}{2}N$ (czynnik $\frac{1}{2}$ bierze się stąd, że każde wiązanie jest dzielone przez 2 atomy). Oczywiście, liczba ta musi być całkowita, wobec czego N – parzyste.

Warto zatem przyjąć założenie, że z każdego z W ($= N = 60$) wierzchołków wielościanu, stanowiącego model budowy C_{60} , wychodzą 3 krawędzie, odpowiadające wiązaniom. Jeżeli C_{60} zbudowane jest jak wielościan, to musi zachodzić równość $W - K + S = 2$, o ile przez W , K i S oznaczyć właściwe dla C_{60} liczby atomów, wiązań oraz wielokątów o atomach zamiast wierzchołków i wiązaniach w miejsce krawędzi. Figura odpowiadająca budowie C_{60} , powinna być jak najbardziej symetryczna, tak by nie występowały atomy związane dużo słabiej w porównaniu z pozostałymi. Chcąc wykluczyć ich obecność, najlepiej jest założyć, że cząsteczka wygląda jednakowo z punktu widzenia każdego swojego atomu. Do każdego wierzchołka wielościanu, oddającego budowę cząsteczki, muszą w takim razie przylegać jednakowe wielokąty, powiedzmy o l , m i n kątach (w zasadzie powinny one być także jednakowo ułożone względem podwójnego wiązania z rysunku 3, jednak nawet przy pominięciu tego nieco dyskusyjnego

warunku² można bardzo ograniczyć liczbę wielościanów, mogących odpowiadać strukturze C_{60}). Jeśli atomy węgla faktycznie miałyby po trzech sąsiadów, liczba występujących w C_{60} wiązań wynosiłaby $\frac{3 \cdot 60}{2} = 90$ ($= \frac{3}{2} N$, $N = 60$). Dla poszukiwanego wielościanu byłoby zatem $K = 90$. Wyrażenie na S łatwo znaleźć, zauważywszy, że każdy z 60 wierzchołków poszukiwanego wielościanu byłby wierzchołkiem dokładnie jednego l -kąta, dokładnie jednego m -kąta i dokładnie jednego n -kąta. Byłoby zatem 60 wierzchołków l -kątown, 60 wierzchołków m -kątown i 60 wierzchołków n -kątown i wielościan składałby się z $\frac{60}{l}$ l -kątown, $\frac{60}{m}$ m -kątown oraz $\frac{60}{n}$ n -kątown, a razem – $\frac{60}{l} + \frac{60}{m} + \frac{60}{n}$ ścian. W takim razie $S = 60\left(\frac{1}{l} + \frac{1}{m} + \frac{1}{n}\right)$. Wstawiając tę równość wraz z $W = 60$ i $K = 90$ do wzoru Eulera, dostaje się

$$90 - 60 + 60\left(\frac{1}{l} + \frac{1}{m} + \frac{1}{n}\right), \text{ czyli } \frac{1}{l} + \frac{1}{m} + \frac{1}{n} = \frac{8}{15}. \quad (\text{A})$$

Pozostaje znaleźć rozwiązania (A), pamiętając o ograniczeniach wynikających z poczynionych założeń. Po pierwsze, l , m i n są liczbami wierzchołków wielokąta, czyli muszą być naturalne i większe niż 2. Po drugie, $\frac{60}{l}$, $\frac{60}{m}$ i $\frac{60}{n}$ stanowią liczby wielokątown, zatem muszą być całkowite, co z kolei wymusza, by l , m i n były większymi od 2 dzielnikami 60, czyli liczbami ze zbioru $\{3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30, 60\}$.

Ponieważ w prowadzonym rozumowaniu istotna jest tylko trójka wartości liczb l , m i n , a nie ich kolejność, można przyjąć, że szuka się zestawów (l, m, n) spełniających (A) i takich, że $l \leq m \leq n$. Dla $l \geq 6$ zachodzą wtedy nierówności $n \geq m \geq l \geq 6$ i $\frac{1}{l} + \frac{1}{m} + \frac{1}{n} \leq \frac{1}{6} + \frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \frac{1}{2} < \frac{8}{15}$, więc nie ma sensu rozpatrywanie l większych niż 5. Pozostają przypadki $l = 3$, $l = 4$ i $l = 5$. Dla $l = 3$ równanie (A) przechodzi w $\frac{1}{m} + \frac{1}{n} = \frac{1}{5}$. Aby mogła zachodzić ta równość,

² Warto zastanowić się nad pierścieniem benzenu, w którym wszystkie połączenia między atomami węgla mają jednakową długość, choć zwykle jedno z nich rysuje się jako podwójne, a inne jako pojedyncze. Prosty obraz połączeń między atomami czasem zawodzi, gdyż wiązania powstają zgodnie z prawami mechaniki kwantowej, zawierające niedostrzegalną w makroskopowym świecie zasadę superpozycji stanów [5, 3].

wspólny mianownik $\frac{1}{m}$ i $\frac{1}{n}$ musi być wielokrotnością 5 (tak by jego skrócenie w ogóle mogło dać 5), zatem przynajmniej jedna z liczb m i n musi być nią również. Chwilowo można przyjąć, że jest to n , a w razie konieczności n z m zamienić. W takim razie $n=5p$, z p będącym liczbą naturalną. Podstawienie tego do $\frac{1}{m} + \frac{1}{n} = \frac{1}{5}$ daje $\frac{1}{m} = \frac{1}{5} \frac{p-1}{p}$. Aby liczba po prawej była odwrotnością liczby naturalnej, potrzeba, by $p-1$ dzieliło się przez p lub było równe 5 zatem jedynymi możliwościami są $p=2$ i $p=6$, co daje $(l, m, n) = (3, 10, 10)$ i $(l, m, n) = (3, 6, 30)$ jako rozwiązania (A) z $l=3$.

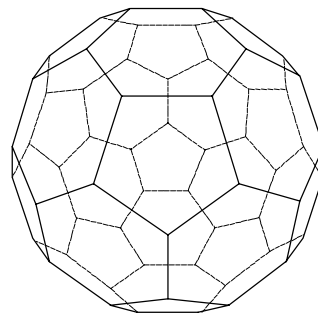
Dla $l=5$ rozumowanie jest niemal identyczne z powyższym. Dostaje się równanie $\frac{1}{m} + \frac{1}{n} = \frac{1}{3}$ i przyjmuje w nim $n=3p$, co prowadzi do zależności $\frac{1}{m} = \frac{1}{3} \frac{p-1}{p}$. Jedynymi możliwymi wartościami p są tym razem 2 i 4 co daje rozwiązania $(l, m, n) = (5, 6, 6)$ i $(l, m, n) = (5, 4, 12)$, z których drugie nie jest zgodne z przyjętą konwencją $l \leq m \leq n$ – może ono zostać tutaj pominięte (pojawi się ponownie dla $l=4$).

W wypadku $l=4$ sprawa jest trochę bardziej skomplikowana. Równanie (A) daje $\frac{1}{m} + \frac{1}{n} = \frac{1}{60}$. Ponieważ $\frac{17}{60} > \frac{15}{60} = \frac{1}{4} = \frac{1}{8} + \frac{1}{8}$, a zgodnie z przyjętą konwencją $m \leq n$, nie ma sensu rozpatrywanie m większych niż 7. Nadto $m \geq l=4$ oraz m musi być dzielnikiem 60, wobec czego pozostają do sprawdzenia przypadki $m=4$, $m=5$ i $m=6$. Dla $m=4$ dostaje się $\frac{1}{n} = \frac{1}{30}$, czyli $n=30$. Dla $m=5$ rezultatem jest $\frac{1}{n} = \frac{1}{12}$, a więc $n=12$. W wypadku $m=6$ liczba n musiałaby spełniać równanie $\frac{1}{n} = \frac{7}{60}$, czyli nie byłaby całkowita. Ostatecznie dla $l=4$ istnieją dwa dopuszczalne zestawy (l, m, n) , a są to: $(4, 4, 30)$ i $(4, 5, 12)$.

Ogółem jest pięć możliwych zestawów (l, m, n) : $(3, 10, 10)$, $(3, 6, 30)$, $(5, 6, 6)$, $(4, 4, 30)$ i $(4, 5, 12)$. Jeżeli przypuszczenia, które doprowadziły do ich wyselekcjonowania, były poprawne, to któremuś z nich powinien odpowiadać wielościan szczególnie przydatny jako model trwałej, przypuszczalnie wysoce symetrycznej cząsteczki, zbudowanej z atomów węgla. Ponieważ atomy węgla o typie wiązania, z rysunku 3 mają naturalną tendencję do łączenia się w sześciokąty (jak w grafi-

cie), najbardziej właściwy wydaje się zestaw z dwoma szóstkami i piątką – do odpowiedniego doń wielościanu można by dopasować wiązania z rysunku 3, nie zniekształcając ich zbyt³. Figura o $l = 5$, $m = 6$ i $n = 6$ istnieje i nazywa się dwudziestościanem ściętym. Twór ten powstaje przez ścięcie płaszczyznami wierzchołków dwudziestościanu foremego i pokazany został na rysunku 4.

Curl, Kroto i Smalley wysnuli hipotezę, że cząsteczka C_{60} zbudowana jest właśnie w tak regularny sposób, tym tłumacząc jej szczególną trwałość. W 1991 roku wykazano ostatecznie, że mieli rację, hodując kryształy ze zmodyfikowanych nieco cząsteczek C_{60} i analizując sposób rozpraszania na nich promieniowania rentgenowskiego. Za odkrycie fullerenów uczeni otrzymali w 1995 roku Nagrodę Nobla.



Rys. 4

Pozostałe z opisanego rozumowania zestawy (l, m, n) albo nie odpowiadają żadnemu wielościanowi o wymaganych własnościach $((3, 6, 30)$ i $(4, 5, 12))$, albo dają figury, do których trudno byłoby dopasować wiązania w typie z rysunku 3 $((3, 10, 10)$ i $(4, 4, 30))$. Wzór Eulera, razem z kilkoma rozsądnymi założeniami, pozwala znacznie zawęzić obszar poszukiwań struktury C_{60} , prowadzonych w oparciu o skąpe dane z rysunku 2, a także utwierdza w przekonaniu co do ogólnej, wysnutej również przez Curła, Krota i Smalleya, hipotezy, iż wszystkie fullereny, które obserwowali, odpowiadały wielościanom zbudowanym wyłącznie z sześć- i pięciokątów⁴.

Literatura

- [1] <http://www.chemistry.wustl.edu/~edudev/Fullerene/fullerene.html>
- [2] http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1996/index.html
- [3] <http://pl.wikipedia.org/>
- [4] D. Hilbert, S. Cohn-Vossen, *Geometria pogładowa*, PWN 1958.
- [5] R.F. Feynman, R.B. Leighton, M. Sands, *Feynmana wykłady z fizyki*, t. III, rozdz. 9 i 10, PWN 2004.

³ Zmiana naturalnego kształtu wiązań wiąże się z ich osłabieniem.

⁴ Wielościan z S_6 sześć- i S_5 pięciokątów ma $20 + 2S_6$ wierzchołków (proponując Czytelnikom samodzielne wykazanie tego), co wydaje zgadzać się z faktem, że w doświadczeniu Curła, Krota i Smalleya pojawiały się cząsteczki o parzystych, większych niż około 20 liczbach atomów, kiedy cząsteczki o większych niż około 20, nieparzystych ich liczbach, nie pojawiały się wcale.



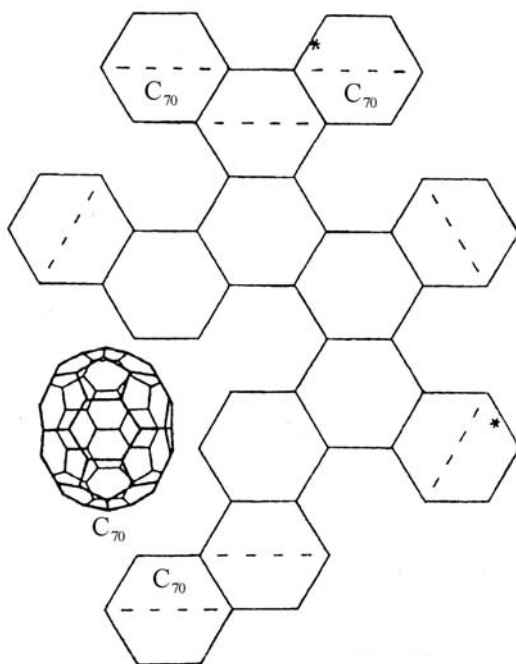
Zrób sam fullereny C_{60} i C_{70}

R.H. Good z California State University w artykule w styczniowym *The Physics Teacher* (1992) przedstawił rysunek siatki, na podstawie której można wykonać modele fullerenów C_{60} i C_{70} .

Należy powiększyć załączoną siatkę, narysować na tekturce w 4 egzemplarzach (po 2 na jeden fulleren), wyciąć i skleić. Sześciokąty będą tekturkowe, pięciokąty pozostaną puste.

C_{60} : Należy wyciąć dwie siatki pozbawiając je trzech sześciokątów oznaczonych C_{70} . Ponacinać i pozaginać kany i zlepić dwie czasze (gwiazdki do gwiazdek) – i „piłka futbolowa” gotowa.

C_{70} : Z jednej z dwóch siatek odciąć jeden sześciokąt oznaczony C_{70} (np. dolny). Przerywane linie lekko naciąć i lekko zgiąć (będą to ścianki wypukłe). Zlepić dwie czasze, a potem je złączyć razem.





Tłumienie dźwięku przez liście

Dominika Żółtowska

V Liceum Ogólnokształcące

im. Stefana Żeromskiego w Gdańsku

WSTĘP

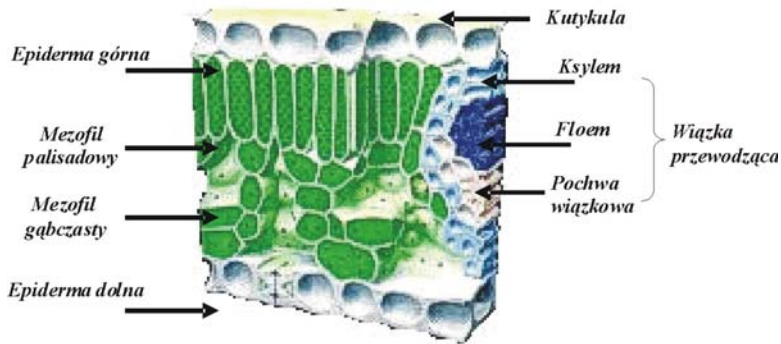
Spośród wielu ważnych funkcji, które pełnią drzewa w środowisku naturalnym, najistotniejszy jest życiodajny proces fotosyntezy. Dlatego spojrzenie na drzewo jako naturalną barierę chroniącą nas przed hałasem może wydać się nietypowe. W tłumieniu dźwięku przez drzewo bierze udział zarówno jego szkielet, jak i ulistnienie. Każdy liść rośliny okrytonasiennej dwuliściennej, złożony z dwóch warstw epidermy (z których górna warstwa pokryta jest woskiem – kutykulą), miękiszu palisadowego oraz miękiszu gąbczastego, odgrywa tu swoją indywidualną rolę.

Epiderma funkcjonuje jako naprężona powłoka i znacznie przyczynia się do turgorowej sztywności liścia. Miękisz palisadowy zaś charakteryzuje się stosunkowo dużą zawartością komórek (ok. 90% objętości). Natomiast miękisz gąbczasty zawiera duże przestwory międzykomórkowe i stanowi rusztowanie rozpięte między miękiszem palisadowym a dolną skórą [4].

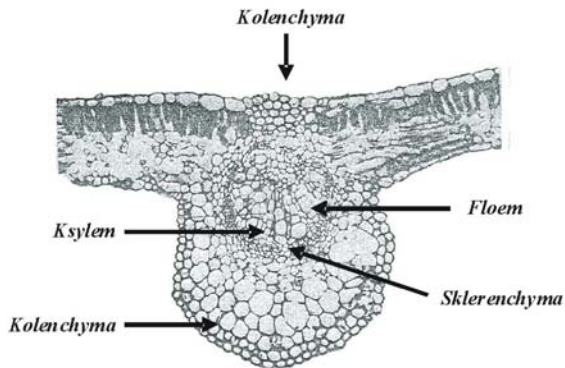
Dla mechanicznej sztywności liścia ważną rolę pełnią też nerwy stanowiące rusztowanie, na którym rozpięta jest blaszka. Oprócz wyżej wspomnianych elementów, liście zawierają zwykle wzmacniającą kolenchymę, a dzięki obecności zdrewniałej sklerenchymy w postaci pasm włókien, zachowują sztywność również wtedy, gdy ich komórki tracą turgor.

Celem poniższej pracy było uzyskanie informacji na temat tłumienia dźwięku przez liście wybranych gatunków drzew liściastych. Mam nadzieję, że uzyskane wyniki będą mogły mieć zastosowanie przy projektowaniu miejskich i podmiejskich pasów zieleni, pełniących funkcję ekranów akustycznych. W swoich rozważaniach nie brałam pod uwagę roślin szpilkowych jako mało odpornych na niekorzystne warunki środowiska.

BUDOWA LIŚCIA



Rozmieszczenie tkanek wewnątrz blaszki liścia



Przekrój przez nerw liścia

Kolenchyma (zwarzica) – tkanka wzmacniająca roślin złożona z żywych komórek o nierównomiernie zgrubiałych pierwotnych ścianach komórkowych.






Sklerenchyma (twardzica) – tkanka wzmacniająca roślin zbudowana z komórek o bardzo zgrubiałych ścianach; w stanie dojrzałym jej komórki są martwe.

Turgor (ciśnienie turgorowe) – stan napięcia ścian komórkowych spowodowany ciśnieniem osmotycznym soku komórkowego; powstaje, gdy ciśnienie osmotyczne we wnętrzu komórki jest wyższe niż ciśnienie osmotyczne płynu otaczającego.

MATERIAŁY I METODY

Celem mojego doświadczenia było sprawdzenie, czy i w jakim stopniu wybrane liście tłumią fale dźwiękowe. Badałam liście drzew przedstawionych w tabeli 1. Pomiaru dokonywałam w warunkach domowych. Wykorzystałam komputer osobisty wyposażony w kartę dźwiękową, głośniki oraz mikrofon. W celu zapewnienia właściwych warunków pomiaru skonstruowałam komorę dźwiękoszczelną z płyty styropianowej. Jej zadaniem było zapobieganie rozpraszaniu się dźwięku oraz zagwarantowanie powtarzalności warunków podczas doświadczenia. Zasadę pomiaru obrazuje schemat przedstawiony na rys. 1.

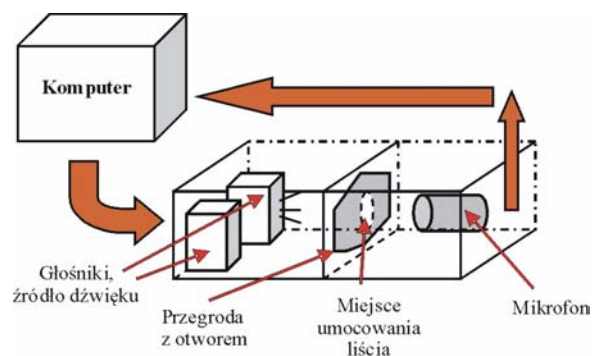
Tab. 1. Wybrane gatunki liści. Liście zważono na wadze aptekarskiej

Gatunek drzewa		Średnia masa [g]
1. Klon pospolity (<i>Acer platanoides</i>)		2,355
2. Grab pospolity (<i>Carpinus betulus</i>)		0,450
3. Buk zwyczajny (<i>Fagus sylvatica</i>)		0,636
4. Dąb szypułkowy (<i>Quercus robur</i>)		1,000
5. Lipa szerokolistna (<i>Tilia platyphyllos</i>)		1,073

W celu wyeliminowania niekorzystnych efektów interferencyjnych podczas pomiaru, ściany komory zostały wyłożone watą.

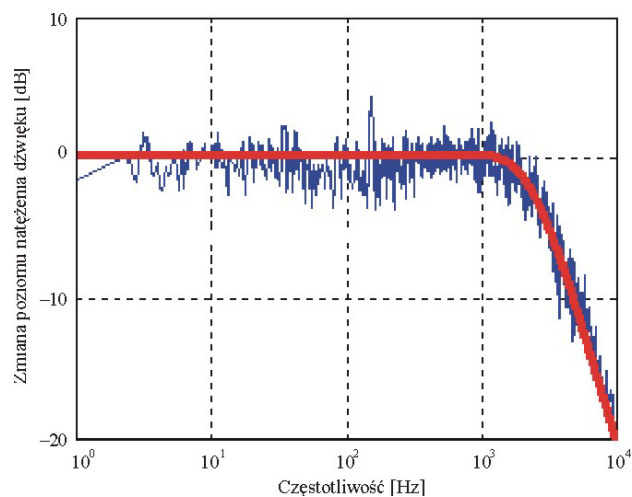
Dla każdego gatunku wykonałam 11 pomiarów, z czego pierwszy pomiar był kontrolny (przegroda otwarta). W następnych pomiarach otwór zasłaniałam różnymi liśćmi tego samego gatunku o zbliżonych wymiarach. Każdy pomiar trwał 60 s. W tym czasie komputer generował dźwięk (program Goldwave) o zmieniającej się liniowo częstotliwości w przedziale 0–10 kHz (czyli przemiatła cały zakres częstotliwości). Następnie, po przejściu przez komorę, dźwięk był rejestrowany. Wykresy obrazujące fale dźwiękowe podczas pomiaru, gdy liść był obecny w komorze, charakteryzowały się mniejszą amplitudą drgań niż przy pomiarze przeprowadzonym przy braku liścia jako „przeszkody”. Wiedząc, że kwadrat amplitudy drgań jest wielkością proporcjonalną do energii cząsteczek, obliczyłam różnice natężeń dźwięku ΔJ w obu sytuacjach, w funkcji liniowo zmieniającej się częstotliwości. Za pomocą programu komputerowego Matlab obliczyłam średni współczynnik tłumienia liści dla poszczególnych gatunków drzew. Wartość tego współczynnika uzyskałam drogą uśrednienia; poprzez podzielenie sumy $\Delta J(f)$ [dB] (sumowanie $\Delta J(f)$ po f [Hz] w zakresie od 10 do 10 000 Hz) przez zakres częstotliwości. Następnie na podstawie uzyskanych wyników sprawdziłam, czy istnieje zależność pomiędzy masą liścia a wartością średniego współczynnika tłumienia. Aby potwierdzić doświadczalne rezultaty tłumienia dźwięku, podjęłam próbę znalezienia prostego modelu fizycznego badanego zjawiska.

Wykresy potrzebne do analizy wyników wykonałam w programach komputerowych Matlab i Excel.

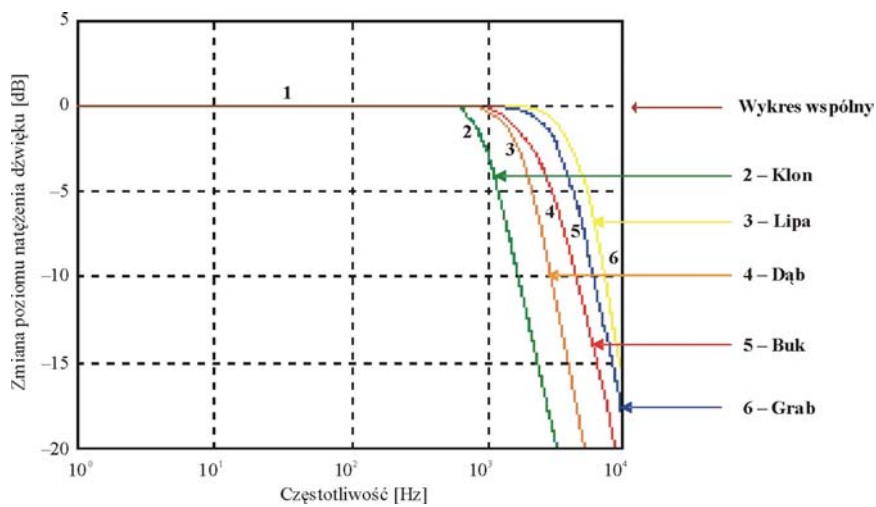


Rys. 1. Schemat aparatury pomiarowej

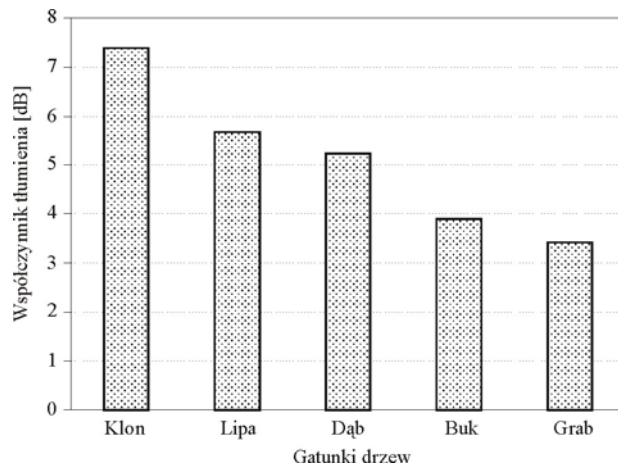
WYNIKI



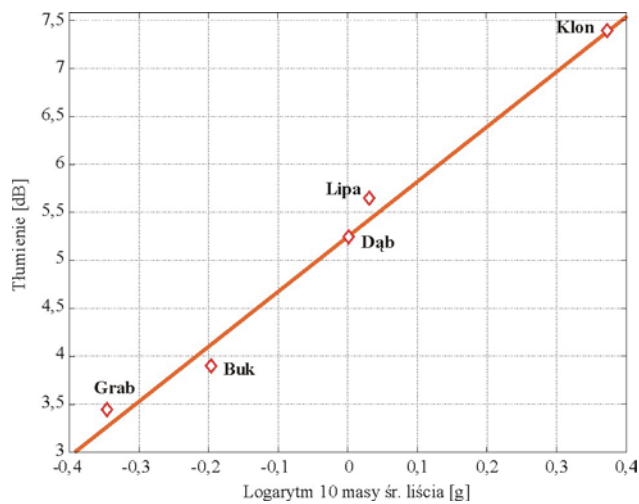
Rys. 2. Przykładowy wykres przedstawiający wpływ obecności liścia (dąb) w komorze pomiarowej na poziom natężenia dźwięku w zależności od częstotliwości (0–10 kHz). Ujemne wartości wykresu świadczą o tłumieniu dźwięku przez liść. Ciągłą linią oznaczono aproksymację przebiegu



Rys. 3. Wykres zbiorczy przedstawiający wpływ obecności badanych gatunków liści w komorze na poziom natężenia dźwięku



Rys. 4. Porównanie średniego współczynnika tłumienia dźwięku przez liście



Rys. 5. Zależność między średnim tłumieniem (0–10 kHz) liści a ich średnią masą w skali logarytmicznej

DYSKUSJA

Wyniki uzyskane podczas pomiarów wskazują, że liście odmiennych gatunków drzew charakteryzują się zbliżonymi właściwościami akustycznymi.

Ponadto wykazano, iż tłumienie dźwięku przez liście zależy od częstotliwości fali akustycznej (rys. 2). Wszystkie badane liście wykazały wzrost tłumienia wraz ze wzrostem częstotliwości fali dźwiękowej.

Zaobserwowano także, że tłumienie dźwięku przez liście dla niskich częstotliwości (0–3 kHz) jest bliskie zeru (linia nr 1 na rys. 2). Powyżej tego zakresu, od pewnej charakterystycznej dla poszczególnego gatunku liścia częstotliwości f_0 , następuje wyraźny wzrost udziału liści w procesie tłumienia (linie 2–6 na rys. 2).

Różnice w tłumieniu są widoczne na rys. 4. Przedstawia on współczynnik tłumienia w badanym zakresie częstotliwości dla różnych gatunków drzew. Najlepszy rezultat zaobserwowałam dla liścia klonu, podczas gdy liść grabu okazał się najmniej efektywnym materiałem tłumiącym.

Z porównań rys. 3 i rys. 4 wynika, że jeżeli liść danego gatunku ma większy współczynnik tłumienia, to zaczyna istotnie tłumić powyżej mniejszej częstotliwości charakterystycznej f_0 .

Obserwowane różnice we własnościach akustycznych liści poszczególnych gatunków drzew możemy uzasadnić ich odmienną anatomią. Spośród wielu parametrów liści, które mogłyby mieć znaczenie w procesie tłumienia, wybrałam masę, którą można zmierzyć w prosty sposób, używając wagi aptekarskiej.

Analiza wyników wykazała, że tłumienie dźwięku przez liść jest zależne liniowo od jego masy (rys. 5) w skali logarytmicznej. Związek ten jest bardzo wyraźny dla wszystkich gatunków liści.

Na uzyskane wyniki postanowiłam spojrzeć także z fizycznego punktu widzenia. Badany liść można potraktować jako silnie tłumiony oscylator harmoniczny [3]. Przewidywane tłumienie liścia przez model zaznaczono ciągłą linią na rys. 2. Parametrami modelu są: masa liścia, opór liścia oraz jego sprężystość. Natomiast siła, która pobudza oscylator, wynika z natężenia drgań cząsteczek powietrza tworzących falę akustyczną.

Głośniki pobudzają cząsteczki powietrza do drgań harmonicznych. Rozchodząca się fala dźwiękowa napotyka na swojej drodze liść, wprawiając go w drganie. W ten sposób liść przenosi dźwięk. Liść tym łatwiej pobudzić do drgań, im mniejsza jest jego masa.

Wartość współczynnika tłumienia zależy od bezwładności liścia, proporcjonalnej do jego masy, oraz oporu powietrza działającego na drgający liść. Wraz ze wzrostem częstotliwości, rosnący opór powietrza oraz bezwładność liścia powodują zmniejszenie amplitudy drgań. Im mniejsza amplituda, tym dźwięk jest gorzej przenoszony, czyli tłumiony. Dlatego zależność przenoszenia dźwięku przez liść powinna się zmieniać zgodnie z ciągłą linią z rys. 2.

Według danych literaturowych zieleń jest uważana za mało efektywny sposób ochrony przed hałasem. Drzewa w stanie ulistnionym redukują poziom hałasu od 0,03 do 0,35 dB na 1 m szerokości przeszkody, a w stanie bezlistnym od 0,01 do 0,2 dB [2].

Uważam jednak, iż te dane nie powinny nas zniechęcać, lecz motywować do dalszych badań nad własnościami akustycznymi drzew z uwzględnieniem ich wszystkich parametrów, tj. wysokości drzewa, kształtu korony oraz grubości pnia i gałęzi, w celu zwiększenia skuteczności osłon z drzew w ochronie przed hałasem. W literaturze nie znalazłam dokładnych opisów naturalnych barier dźwiękowych uwzględniających parametry wynikające ze zróżnicowania gatunkowego drzew.

Myśląc o zastosowaniu drzew jako bariery dźwiękochłonnej, musimy jednak wziąć pod uwagę powolny wzrost w początkowej fazie ich rozwoju, wymagania życiowe oraz długość okresu wegetacji.

Podsumowując, w walce z hałasem powinniśmy stosować kompleksowe rozwiązania, a ekranowanie zielenią może stanowić uzupełnienie innych metod, tj. coraz częściej spotykanych sztucznych ekranów. Pamiętajmy jednak, iż drzewa, w przeciwieństwie do wyżej wspomnianych ekranów, wykazują wiele pozytywnych oddziaływań, zarówno na środowisko, jak i zdrowie człowieka. Podnoszą również walory estetyczne krajobrazu, a raz posadzone mogą nam służyć przez wiele lat. W tym kontekście każde usprawnienie, które dotyczy tłumienia hałasu przez zielenią, jest moim zdaniem cenne.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Dolatowski Jakub, Seneta Włodzimierz, *Dendrologia*, wydanie nowe, PWN, Warszawa 1997.
- [2] Engel Zbigniew, *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*, wyd. 2, PWN, Warszawa 2001.
- [3] Halliday David, Resnick Robert, Walker Jarl, *Podstawy fizyki 2*, wyd. 1, PWN, Warszawa 2003.
- [4] Hejnowicz Zygmunt, *Anatomia i histogeneza roślin naczyniowych*, PWN, Warszawa 1980.



Nagroda Nobla z fizyki 2006

Bogusz Kinasiewicz

Instytut Fizyki UJ

Tegoroczną Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki przyznano za „badania promieniowania ciała doskonale czarnego we Wszechświecie i anizotropii kosmicznego promieniowania tła”. 10 milionów koron szwedzkich i ogromny prestiż spłynął na amerykańskich astrofizyków – Johna C. Mathera (Centrum Lotów Kosmicznych NASA im. Goddarda, Greenbelt, USA) i George’a F. Smoota (Uniwersytet Kalifornijski Berkeley, USA).

Ich badania, oparte na pomiarach wykonanych przez satelitę COBE (ang. *Cosmic Background Explorer*), wystrzelonego w 1989 roku, doświadczalnie potwierdziły hipotezę, że Wszechświat powstał 15 miliardów lat temu.

Już po raz drugi Komitet Noblowski przyznał nagrodę za mikrofalowe promieniowanie tła. Pierwszą, za jego odkrycie, otrzymali w 1978 roku Arno Penzias i Robert Wilson.

Mikrofalowe promieniowanie tła powstało w bardzo wczesnych etapach ewolucji Wszechświata, kilkaset tysięcy lat po Wielkim Wybuchu. Wtedy to temperatura Wszechświata spadła na tyle, że swobodne do tej pory elektrony połączyły się z protonami, tworząc neutralne atomy, głównie wodoru oraz helu, i tym samym umożliwiły fotonom swobodną propagację w przestrzeni. Promieniowanie reliktowe niesie więc informację o warunkach, jakie panowały we wczesnym okresie Wszechświata, i stanowi najstarsze światło, jakie w ogóle możemy obserwować.

Zgodnie z teoretycznymi przewidywaniami promieniowanie tła ma rozkład widmowy jak dla promieniowania ciała doskonale czarnego o temperaturze $T = 2,73$ K.

Izotropowość promieniowania relikтового jest dowodem na to, że wkrótce po Wielkim Wybuchu Wszechświat był bardziej jednorodny niż obecnie. Musiały jednak istnieć niewielkie fluktuacje gęstości materii, które w wyniku oddziaływania grawitacyjnego stopniowo się zwiększały. Proces ten doprowadził w ciągu miliardów lat do powstania wszystkich struktur istniejących obecnie.

Obserwacje promieniowania relikтового są bardzo trudne, nie wspominając o badaniu jego anizotropii. Idea pomiaru jest następująca¹: całą sferę niebieską



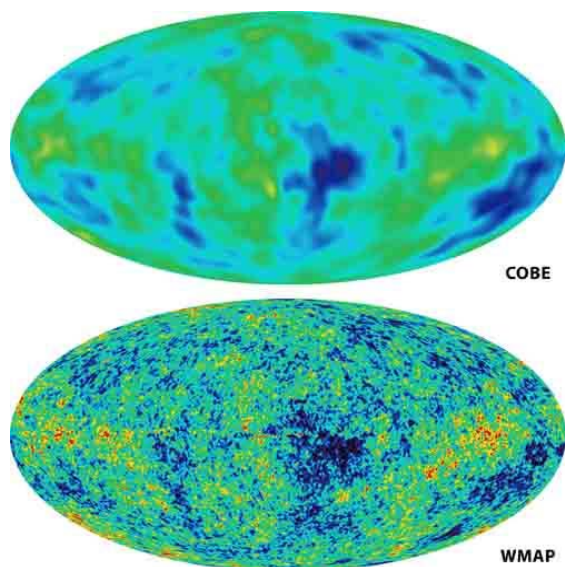
John Mather



George Smoot

¹ Por. Leszek M. Sokołowski, *Elementy kosmologii*, ZamKor, Kraków 2005.

dzieli się na jak najmniejsze obszary (ich rozmiary kątowe określa zdolność rozdzielcza teleskopu). Następnie od zarejestrowanego sygnału z danego obszaru należy odjąć wszystkie sygnały pochodzące od znanych źródeł radiowych. Na samym końcu trzeba pozbyć się anizotropii związanej z ruchem Ziemi względem promieniowania relikтового. Tą metodą satelita COBE sporządził mapę całego nieba pokazującą zależność temperatury promieniowania relikkowego od kierunku.



Porównanie map rozkładu temperatury promieniowania relikkowego sporządzonych według COBE i WMAP (obraz kolorowy w Internecie)

Promieniowanie reliktowe zostało wyemitowane przez gaz, który miał wszędzie tę samą temperaturę. Natomiast gęstość gazu była zróżnicowana – jedne obszary były gęstsze, a inne rzadsze w stosunku do średniej. Fotony poruszające się przez zagęszczone obszary gazu musiały stracić więcej energii, a te, które poruszały się przez obszary gazu rozrzedzonego – mniej w stosunku do średniej. Na powyższych mapach jasny kolor (czerwony) oznacza wyższą temperaturę (obszary rozrzedzonego gazu w epoce Wczesnego Wszechświata), a kolor ciemny (niebieski) temperaturę niższą od średniej (gaz zagęszczony). Ciemne plamy (niebieskie) pokazują nam powstawanie pierwszych struktur we Wszechświecie.

Nagroda Nobla za to ogromne osiągnięcie, które potwierdza teorię Wielkiego Wybuchu i pokazuje, jak wyglądał Wszechświat, gdy dopiero zaczął „rozkwitać”, wydaje się być jak najbardziej zasłużona.



WITELO

Życie i twórczość polskiego przyrodnika, zagubionego w zakamarkach przeszłości

Danuta Bukowska

Studentka fizyki, Uniwersytet im. Mikołaja Kopernika w Toruniu

Wielu z nas jest świadomych wielkich odkryć polskich uczonych, takich jak Mikołaj Kopernik, Jan Heweliusz czy Maria Skłodowska-Curie. Tymczasem w zakamarkach przeszłości ukryła się równie fascynująca postać, mająca ogromne znaczenie dla optyki. Postać, o której wiedzą tylko pasjonaci albo szaleńcy. Ukryła się ona nie na własne życzenie, lecz z przymusu. Z przymusu czasów, w której przyszło jej żyć, gdy w Polsce nie było dobrych warunków do uprawiania nauki (XIII w.). W dużej mierze o życiu tej osoby możemy jedynie „gdybać”, snuć domysły, ze względu na znikome źródła informacji o niej. Właściwie dysponujemy tylko wiadomościami pochodzącymi z przekazów zawartych w jej głównym dziele. Jednak warto ją poznać, gdyż to, co najważniejsze – jej wkład w naukę – jest jak najbardziej jawne i rzeczywiste. W ten oto sposób zapraszam Państwa do poznania Witelona.

WITELO – sylwetka wielkiego Polaka, przyrodnika o międzynarodowym znaczeniu

Witelo (rys. 1) był pierwszym uczonym urodzonym na terenie współczesnej Polski, a dokładniej na Śląsku, w Legnicy, około roku 1230. Pochodził z rodziny „międzynarodowej”, ojciec był kolonistą z Turyni, matka pochodziła z rodziny rycerskiej z Borowa [1]. Naukę wstępną odbył Witelo w szkole legnickiej przy kościele św. Piotra (można tak przypuszczać, gdyż szkoła ta miała pewien rozgłos w ówczesnym szkolnictwie), zdobywając wiadomości w zakresie *trivium* (gramatyka, dialektyka i retoryka). Następnie uczył się w zakresie *quadrivium* (arytmetyka, geometria, akustyka (muzyka) i astronomia) w szkole katedralnej św. Jana Chrzciciela we Wrocławiu. Ukończywszy ją, udał się ok. roku 1250 w orszaku księcia śląskiego Włodzisława, syna Henryka Pobożnego, do Paryża, gdzie podjął studia na Uniwersytecie Paryskim. Tam



Rys. 1. Witelo pośród najwybitniejszych przedstawicieli polskiej nauki i sztuki (od lewej Witelo, Mikołaj Kopernik, Jan Śniadecki, Fryderyk Chopin, Adam Mickiewicz). „Tygodnik Ilustrowany”, t. 11 (1873), nr 269, s. 37 [2]

pogłębiał wiedzę na wydziale sztuk wyzwolonych (dzisiaj powiedzielibyśmy: na wydziale humanistyczno-przyrodniczym), poznając teorie Arystotelesa, Platona, Awicenny, z których dwóch ostatnich miało największy wpływ na jego późniejszą działalność. W czasie studiów zaznajomił się również bardzo dobrze z geometrią.

Skończywszy je, prawdopodobnie z tytułem magistra *atrium*, powrócił na Śląsk, by już wkrótce wyruszyć w dalszą podróż. Jesienią 1262 roku, ponownie jako towarzysz księcia Włodzisława, zawędrował do Padwy. Obaj zapisali się na wydział prawa kanonicznego, choć ostatecznie nauki ukończył sam Witelo, zajmując się w tym okresie również matematyką, filozofią oraz przyrodą, a także trudniąc się pracą lektora na wydziale nauk wyzwolonych. Tu również pierwszy raz na dłużej zatrzymał się przy optyce, studiując dzieła arabskich uczonych.

Zakończywszy edukację, udał się Witelo na dwór papieski w Viterbo, w roku 1268, z nadzieją, że być może tam poświęci się dalszej karierze naukowej. Niestety, w tym czasie toczyły się obrady kardynalskiego konklawe, zakończone dopiero po trzech latach wyborem papieża Grzegorza X. To jednak nie zniechęciło Witelona, który postanowił wykorzystać ten czas na własną pracę naukową. Czekał. W tym okresie zaprzyjaźnił się z Wilhelmem z Moerbeke, dominikaninem z Brabancji, który miał ogromne znaczenie dla jego dalszego rozwoju. To Wilhelm zwrócił Witelonowi uwagę, gdy ten przymierzał się do kontynuacji traktatu *O porządku bytów*, na szczególną funkcję światła w układzie substancji duchowych i układzie części świata. Wilhelm zainteresował się tym tematem, czytając dzieła arabskie, greckie oraz łacińskie i był rozczarowany informacjami w nich zawartymi. Uczonym arabskim i greckim zarzucał brak przejrzystości i konkretności w dziełach, natomiast piśmiennictwo łacińskie uznawał za ubogie źródło informacji. Sądząc jednak, iż temat jest ważny i godny poznania, zachęcał Witelona do zajęcia się tymi zagadnieniami, gdyż ufał w jego zdolności piśmiennicze i naukowe. Działania Wilhelma, pragnienie poznania i zbadania przyrody oraz spacerów po okolicy, gdzie późnymi popołudniami wielokrotnie można było obserwować zjawisko tęczy, spowodowały, iż Witelo postanowił iść ścieżką wskazaną mu przez przyjaciela. Aby jak najlepiej zrozumieć i poznać „światło”, Witelo studiował dzieła traktujące o tym zagadnieniu, które z greki na łacinę przetłumaczył specjalnie dla niego Wilhelm. W ten oto sposób Witelo zaznajomił się z traktatami z matematyki i optyki Archimedesesa, Eutokiosa, Ptolemeusza i wielu innych.

Dzieła te, podobnie jak i własne obserwacje oraz spostrzeżenia, ukształtowały w nim pewien sposób patrzenia na świat i zmotywowały do napisania dzieła, w którym zebrał wszystkie dotychczas istniejące informacje związane z optyką [2]. Prawdopodobnie w roku 1273 dzieło zostało skończone, a sam Witelo powrócił na Śląsk, gdzie później otrzymał godność kanonika wrocławskiego z prebendą w Żórawinie-Wilkowicach. Następnie Henryk IV Probus wysłał go na dwór papieski. Po klęsce odniesionej przez króla Czech Ottokara w wojnie z Rudolfem,

cesarzem niemieckim, będąc zwolnionym od przysięgi przez Henryka Probusa, Witelo przeszedł na służbę cesarza. W roku 1281 poprosił go o zwolnienie ze służby, po czym wstąpił do klasztoru premonstrantów w Vicogne we Francji. Tam też zmarł pod koniec XIII wieku.

Witelo – twórca

Witelo często w swej twórczości oddawał się zagadnieniom filozoficznym. W jego dorobku są następujące traktaty: *O porządku bytów*, *O wnioskach podstawowych*, *Filozofia przyrody*, *Nauka o ruchach niebieskich*, *Naturalne doznania duszy*, *O częściach wszechświata*. Niestety, nie przetrwały one do naszych czasów, prawdopodobnie nie miały wielkiej wagi intelektualnej, jednak o ich istnieniu wiemy z późniejszych wzmianek, które Witelo zamieścił w swoim najważniejszym dziele. Zachował się natomiast traktat *O najgłębszej przyczynie żalu za grzechy u ludzi i o naturze demonów* powstały w formie listu wysłanego do Ludwika we Lwówku Śląskim.

Witelo w liście przedstawił nie tylko problematykę związaną z wiarą chrześcijańską, lecz także filozoficzne koncepcje istnienia demonów. Zaprezentował świat demonów, dzieląc go na dwie kategorie: zjaw i demonów właściwych. Przyczyn istnienia zjaw dopatrywał się w człowieku. Miały objawiać się one zarówno chorym umysłowo, jak i zwykłym ludziom. Drugim rodzajem demonów były demony właściwe – nieukazujące się człowiekowi, ale wywierające na niego negatywny wpływ [3].

Jednak to nie w filozofii, lecz na gruncie nauk matematyczno-fizycznych Witelo uzyskał największą pochwałę i uznanie dzięki *Perspektywie* i dlatego tej pracy należy poświęcić największą uwagę.

Perspektywa to dzieło, które poświęcone jest w całości optyce. Autor zadedykował je Wilhelmowi (bo przecież tyle mu zawdzięczał). Dzieło ważne i istotne, o czym świadczy to, iż studiował je Leonardo da Vinci oraz posiadał Mikołaj Kopernik, natomiast Jan Kepler jednej ze swych prac dał tytuł: *Dodatki do Witelona, w których pokazuje się część optyczna Astronomii* (Frankfurt 1604) (rys. 2).

Perspektywa jest dziełem, w którym Witelo przedstawia szereg swoich pomysłów oraz twierdzeń, a poza tym podsumowuje prace Greków i Arabów, traktujące o optyce, takie jak: *Optyka* i *Katoptryka* Euklidesa, *Optyka* Ptolemeusza oraz Alhazena (Ibn al-Hajtama) i innych. O doniosłym znaczeniu dzieła stanowi fakt, iż jest ono pierwszym tego rodzaju zbiorem ówczesnej wiedzy w zakresie optyki po łacinie, po raz pierwszy wydany drukiem w Norymberdze w 1535 roku. Dzieło napisane jest w sposób zrozumiały, staranny i dokładny. Należy pamiętać, iż większość dzieł tamtych czasów nie była oryginalna, a prawa autorskie nie miały żadnego znaczenia, więc pomimo występowania licznych twierdzeń nie stworzonych przez Witelona, w pełni uznaje się go za twórcę *Perspektywy*. F. Risner, który w 1571 roku przygotował w Bazylei kolejne wydanie *Perspekty-*

wy (rys. 3), do dziś dnia najbardziej znane, napisał: „Jeżeli przyjąć za twórcę i autora nauki tego, który umiejętności nadał formę i ducha, najsluszniej należałoby uznać Witelona za autora nauki o optyce” [2].

Perspektywa składa się z dziesięciu ksiąg, poprzedzonych obszernym wstępem, w którym Witelo wyjaśnia, co skłoniło go do napisania dzieła. We wstępie również zamieszcza dedykację:

Witelo, syn Turynków i Polaków – miłośnikowi prawdy, bratu Wilhelmowi z Moberke – [życzy] szczęśliwego oglądania wiecznego światła niezłamanym promieniem intelektu i przejrystego zrozumienia tego, co niżej napisano (...) [3].

Dedykacja powyższa, jak również słowa w księdze X, będące uzupełnieniem informacji o jego pochodzeniu, z których dowiadujemy się, iż jego ziemią rodzinną była Polska, wskazują, iż Witelo z pochodzenia był Polakiem. Jednak nie możemy mówić o nim jako o Polaku w dzisiejszym znaczeniu tego słowa. W XIII wieku pojęcie przynależności narodowej nie istniało, istotne było tylko to, gdzie dana osoba się urodziła. Pojęcie narodowości zaczęło się formować dopiero w XIX wieku.

W pierwszej księdze autor przygotowuje czytelnika do zrozumienia samej istoty optyki. Dlatego poświęca ją tylko i wyłącznie geometrii, gdyż już wówczas uznawano matematykę za podstawowe narzędzie do opisu natury. W ten oto sposób czytelnik poznaje prawie dwieście twierdzeń geometrycznych [4]. Są one tylko częściowo autorstwa Witelona, ale razem z pozostałymi stanowią odpowiedni aparat matematyczny potrzebny do rozważania zagadnień optycznych. Kolejne księgi poświęcone są optyce. I tak księga druga podejmuje problem rozchodzenia się światła. Witelo pokazuje, iż rozchodzi się ono prostoliniowo oraz ma nieskończoną prędkość. Poza tym Witelo rozprawia również o powstawaniu cieni oraz wspomina o zjawisku załamania promienia świetlnego przy przejściu z jednego ośrodka do drugiego.

W następnej części swego dzieła opisuje budowę oka oraz zapoznaje czytelnika z samymi procesami widzenia, by w dalszej części pracy przedstawić warunki widzenia wyraźnego oraz zdemaskować naturę złudzeń optycznych. Według Witelona, złudzenia wzrokowe są wynikiem warunków obserwacji, a także wyobrażeń i sposobu myślenia: oko nie otrzymuje żadnej innej informacji poza światłem, barwą i rozmiarem kątowym obserwowanego obiektu, natomiast umysł dokonuje przetworzenia wrażeń z pomocą przedstawień branych z doświadczenia. Za przyczyny złudzeń podaje różne czynniki. Są one uzależnione zarówno od warunków obserwacji, jak i poprzednich doświadczeń obserwatora.

Kolejne księgi – od V do IX – zostały poświęcone omówieniu różnych zwierciadeł. To właśnie w tych częściach dzieła odnajdziemy najwięcej oryginalnych spostrzeżeń i uwag samego autora. Jako pierwszy wypowiada się on na temat zjawiska aberracji sferycznej oraz podaje sposób, w jaki można uzyskać zwiercia-

dło palące, ustawiając szereg zwierciadeł płaskich tak, by promienie odbite od tych powierzchni skupiły się w jednym miejscu [5].

Dzieło zamyka księga dziesiąta, w której opisane zostało załamywanie się światła przy przejściu z jednego ośrodka do drugiego. Witelo podjął również próbę wyjaśnienia powstawania tęczy oraz zjawiska halo. Opis tych ostatnich zagadnień można uznać za nowatorski, gdyż po raz pierwszy w traktacie optycznym uwzględniona została optyka meteorologiczna.

Przy całej rozpiętości zagadnień, które podejmuje Witelo, jego dzieło jest opracowaniem przejrzystym, w którym nie została przeoczona żadna współczesna autorowi ważniejsza praca traktująca o optyce. W ten sposób ***Perspektywa stała się ważnym zabytkiem nauki średniowiecza, stawiając naszego rodaka w rzędzie najbardziej wykształconych matematyków oraz fizyków tamtych czasów.***

Witelo, Witelon, Vitello, Ciolek – różne twarze jednej osoby

Jak wspomniałam na samym początku, postać Witelona była dość tajemnicza, a wiadomo, że każda tajemnica buduje legendy, plotki, jest źródłem inspiracji literackich. Tak też nasz bohater stał się główną postacią cyklu powieści prozaika Witolda Jabłońskiego, *Uczeń czarnoksiężnika, Metamorfozy i Ogród Miłości*. Astronomowie również uczcili jego pamięć, być może dzięki temu, iż w jednym z twierdzeń w *Perspektywie* Witelo wyjaśnia przyczyny występowania faz Księżycy [6]. W ten oto sposób jeden z kraterów na widocznej stronie Księżyca nosi imię Witelona – niestety, przekręcone na Vitellon.

Nazwisko uczonego jest do dziś dnia przekręcane, a jego pochodzeniem zajmowało się wielu uczonych. Ustalono, że szesnastowieczne wydania dzieła nazywają go Vitello lub Vitellio – co historykom polskim zawsze wydawało się mało polskie. Profesor Uniwersytetu Jagiellońskiego Józef Sołtykiewicz na początku XIX wieku wyraził przekonanie, że prawdziwe nazwisko uczonego brzmiało Vitellio, gdyż zostało otrzymane w wyniku latynizacji nazwiska uczonego – **Ciolek** (po łacinie Vitellus). Nie zapominajmy jednak, że w realiach XIII wieku pojęcie nazwiska było inne. Ludzi nazywano imieniem z – ewentualnie – wskazaniem miejsca pochodzenia, na przykład Tomasz z Akwinu. Idąc tym tropem, mediewista berliński z XIX wieku wykazał, iż Witelo to imię pochodzenia germańskiego (zdrobnienie od „Wido”).

Pomimo że postać Witelona jest istotną częścią naszej kultury i historii (z jego twórczością możemy się zapoznać, studiując przekłady na język polski oraz angielski *Perspektywy*, które ukazały się w serii *Studia Copernicana*, wydawane przez Polską Akademię Nauk), a wielu uczonych poświęciło swój czas na badanie życiorysu czy też tłumaczenia *Perspektywy*, to jednak nadal jest on postacią nieznaną. A jeśli znaną, to ze źródeł, które, zdawać by się mogło, są podstawowym źródłem informacji, a naprawdę zawierają wiele błędów. Za poprawną formę

nazwiska uczonego uważa się Witelo bądź Witelon. Jak piszą A. Bielski oraz L. Bieganowski w artykule poświęconym Witelonowi:

W literaturze polskiej XX w. i obecnej imię Witelo jest często przekręcane przez piszących o nim, w tym również przez fizyków. Najczęściej takie błędy występują w encyklopediach i opracowaniach popularnonaukowych. Oto kilka typowych przykładów. Wielka Encyklopedia Powszechna PWN w tomie 3 (Warszawa 1964) na s. 724 podaje, że: „pierwszym polskim fizykiem był Witeliusz, który działał we Francji”. Trzeba zaznaczyć, że w tomie 12 (Warszawa 1969) s. 362 hasło Witelo jest poprawne.

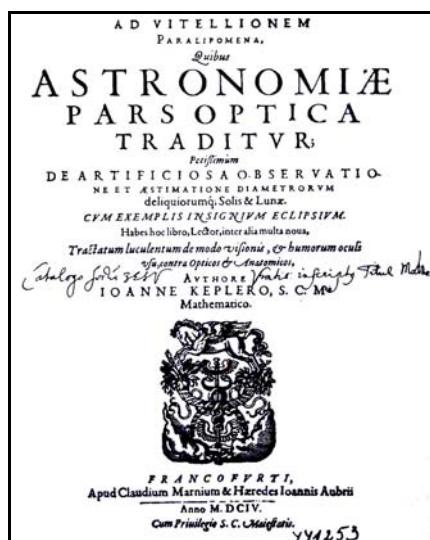
W Encyklopedii Powszechnej PWN, tom I (Warszawa 1973), na s. 779 czytamy: „Pierwszym uczonym polskim zajmującym się zagadnieniami fizycznymi, ściślej optyką, był Witeliusz”.

R. Sobisiak w książeczce *Poczet wielkich fizyków* (Warszawa 1969) na s. 13–15 pisze o Erazmie Witelonie. Ten sam błąd popełnia A. Drzewiński i J. Wojtkiewicz w książce przeznaczonej głównie dla młodzieży pt. *Opowieści z historii fizyki* (Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1995, wydanie I), na s. 63; występuje on również w wydaniu II z roku 2001. Nie dziwi zatem, że J. Danecki w książce *Arabowie* (Warszawa 2001) na s. 185 pisze, że dzieło Alhazena *Optyka* „przełożył na łacinę śląski uczoney Erazm Witelo (zm. 1280)”, a w Encyklopedii Gazety Wyborczej (bez miejsca i roku wydania) w tomie 20 na s. 115 znajduje się hasło Witelo Erazm (Witelo, Witelon). Autorzy tych tekstów tworzą więc nieistniejącą postać.

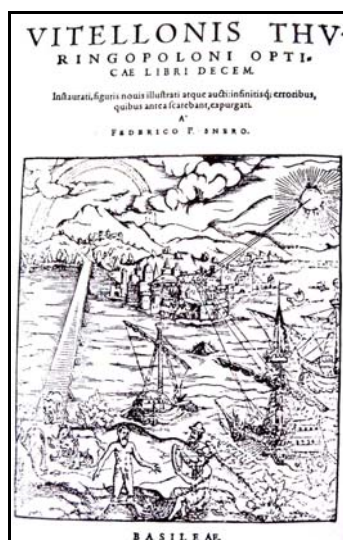
Przykre jest, że autorzy tych opracowań nie sięgają do materiałów źródłowych, aby chociaż pisownię imienia (w XIII w. nazwiska w dzisiejszym sensie nie istniały) pierwszego polskiego uczonego o znaczeniu międzynarodowym podać prawidłowo. Informacje prawdziwe i bałamutne, których przykłady podano wyżej, trafiają do Internetu i tą drogą docierają do odbiorcy. Tak współcześnie powstają fałszywe mity (...) [7].

W ten sposób panowie Bielski i Bieganowski nie tylko pokazują, iż bardzo często ludzie mają mylne zdanie o pierwszym polskim wybitnym uczonym, lecz również przestrzegają przed korzystaniem z materiałów zamieszczonych w Internecie, które bardzo często są niesprawdzone, pełne niewłaściwych informacji, a z których na tak szeroką skalę korzystają zarówno nauczyciele jak i uczniowie.

I tak postać Witelona stała się nie tylko powodem do dumy dla nas Polaków, lecz również przestrożą przed beztróskim korzystaniem z informacji umieszczonych w Internecie.



Rys. 2. Karta tytułowa z dzieła
Jana Keplera [8]



Rys. 3. Strona tytułowa *Optyki* Witelona,
wyd. F. Risner, Bazylea 1572 [4]

LITERATURA

- [1] *Witelo najdawniejszy śląski uczyony*, Aleksander Birkenmajer, Wydawnictwo Instytutu Śląskiego, Katowice 1936.
- [2] *Witelona Perspektywy Księga II i III*. Przekład na język polski ze wstępem i komentarzami. Wstęp, przekład i komentarze: L. Bieganowski, A. Bielski, R.S. Dygdała, W. Wróblewski. Redaktor przekładu W. Wróblewski, *Studia Copernicana*, t. XXIX, Wrocław 1991.
- [3] *Witelo – matematyk, fizyk, filozof*, red. Jan Trzynadłowski, *Prace Wrocławskiego Towarzystwa Naukowego*, Wrocław 1979.
- [4] *Tysiąc lat polskiej myśli matematycznej*, Jadwiga Dianni, Adam Wachułka, Państwowe Zakłady Wydawnictw Szkolnych, Warszawa 1963.
- [5] *Witelona Perspektywy Księga V, VI, VII*. Przekład na język polski ze wstępem i komentarzami. Wstęp, opracowanie przekładu i komentarz: A. Bielski, W. Wróblewski. Redaktor naczelny przekładu W. Wróblewski, *Studia Copernicana*, t. XL, Toruń 2003.
- [6] *Witelona Perspektywy Księga IV*. Przekład na język polski ze wstępem i komentarzami. Przekład: W. Wróblewski. Wstęp, opracowanie przekładu i komentarz: L. Bieganowski, A. Bielski, W. Wróblewski, *Studia Copernicana*, t. XXXIII, Warszawa 1994.
- [7] *Zarys tradycji witełłońskiej w literaturze nauk przyrodniczych*, Andrzej Bielski i Lech Bieganowski, *Analecta, studia i materiały z dziejów nauki*, R. XV zeszyt 1–2 (2006).
- [8] *Encyklopedia szkolna. Matematyka*, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne.



O entropii

Tomasz Kardaś

Zespół Szkół Licealnych, Strzelno

Od ciepłika do entropii

Już starożytni posiadali intuicyjne przekonanie, że istnieją pewne wielkości, które w układach izolowanych nie mogą z niczego powstać ani bezpowrotnie zginąć.

Lukrecjusz (*Titus Lucretius Caro* – urodzony prawdopodobnie w 95 r. p.n.e., według chrześcijańskiego pisarza Hieronima – Sophronius Eusebius Hieronymus (331–420) – miał w wieku 44 lat popełnić samobójstwo) w swoim dziele *O naturze wszechrzeczy* (*De rerum natura*) pisze:

Zatem nic się nie może obrócić w zupełną nicość
i dalej:

I żadna rzecz nie wchodzi w nicość, nie ginie ze szczeniem,
A tylko się rozprzęga w materii elementy.

W innym miejscu autor stwierdza:

Ponieważ zaś wiadomo, że nicość nic nie tworzy
I żadna rzecz nie może ze szczeniem się w nicość rozłożyć.

Próbuje nawet te procesy opisać konstatując:

Wszystko, co widzisz wkoło, jak wchodzi wciąż na stopnie
Wzrostu, aż z biegiem czasu dojrzałych kształtów dopnie
Więcej spożywa materii, niż na ubytek łoży¹.

Historia fizyki pokazuje, że wiele zasad obejmowało z powodzeniem tylko ograniczony zakres zjawisk; podobnie było z zasadami dotyczącymi ciepła. W ogóle zjawiska cieplne należą do tych najstarszych i zarazem najważniejszych procesów fizycznych, które towarzyszyły człowiekowi od zarania dziejów i równie od dawna usiłowano odpowiedzieć sobie na pytanie, czym jest ciepło lub ogień.

Starożytni Grecy uważali, że podstawowymi pierwiastkami, z których zbudowana jest wszelka materia są: ziemia, woda, powietrze i ogień – zwane przez nich żywiołami.

W XVIII wieku pojawił się tajemniczy ciepłik (*coloricum*) – substancja, która miała przepływać od ciała cieplejszego do zimniejszego. Jeszcze **Jędrzej Śniadecki** (1768–1838) w swojej książce *Początki chemii stosownie do terazniejszego trybu umiejętności stanu, dla pożytku uczniów i słuchaczy ułożone y za wzor lekcji akademickich służyć mające przez Jędrzeja Śniadeckiego Filozofii i Medycyny*

¹ K. Leśniak, *Lukrecjusz*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1985, s. 148–149, 158, 171.

Doktora, Chemii i Farmacyi w Szkole Głównej Litewskiej Zwyczajnego Publicznego Profesora, wydanej w 1800 r., pisał, że światło, ciepło, elektryczność i magnetyzm są pierwiastkami chemicznymi, które nazywał ciałami promienistymi. Według niego światło miało się składać ze świetlika, a ciepło z cieplika, zgodnie zresztą z ówczesnymi teoriami panującymi w nauce, jako że Śniadecki był na owe czasy bardzo dobrze wykształconym, a później wielce zasłużonym człowiekiem dla polskiej oświaty.

Adam Mickiewicz (1798–1855), będąc studentem J. Śniadeckiego w Wilnie, uwiecznił tę teorię w wierszu pt. *Cztery toasty pewnego chemika na cześć istot promienistych* następującymi słowami:

Co by było wśród zakresu,
Na którym ludzie rzuceni,
Bez światła, ciepła, magnesu
I elektrycznych promieni?
Co by było? – zgadnąć łatwo:
Ciemno, zimno, chaos czyste.
Witaj więc, słoneczna dziatwo,
Wiwat światło promieniste!
Lecz cóż po światła iskierce,
Gdy wszystko dokoła skrzeplę?
Zimny świat i zimne serce,
Ciepła trzeba. Wiwat ciepło!
Pełnych światła i zapachu
Często silny wiatr rozniesie;
By ciało zbliżyć ku ciału,
Jest magnes. Wiwat magnesie!
Tak gdy zrośnięm w okrąg wielki
Przez magnesową styczność,
Wówczas z lejdejskiej butelki
Palniem: Wiwat elektryczność!²

Jednak w tym samym czasie teoria cieplika zaczęła powoli się chwiać, a to za sprawą **Benjamina Thompsona** (1753–1814, późniejszego hrabiego **Rumforda** Świętego Cesarstwa Narodu Niemieckiego, odznaczonego m.in. orderem św. Stanisława przez króla Stanisława Augusta Poniatowskiego), urodzonego w Ameryce w Massachusetts, wielkiego poszukiwacza przygód, który jako przeciwnik Rewolucji Amerykańskiej po jej zwycięstwie musiał emigrować do Europy, gdzie na dworze elektora Bawarskiego pełnił funkcję inspektora armii i zajmował się jej reorganizacją. Jako inspektor armii bawarskiej nadzorował wiercenie luf armatnich w warsztatach Arsenалу w Monachium, wówczas bowiem najpierw armatę

² I. Stasiewicz (red.), *Rzecz o Jędrzeju Śniadeckim*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1970, s. 50.

odlewano jako metalowy walec, a następnie wiercono w niej otwór³. Do poruszania wiertła używano koni – podczas tej pracy zauważył ogromne ilości wydzielającego się ciepła. Ta obserwacja pozwoliła wysunąć mu przypuszczenie, że ciepło jest pewną formą ruchu cząsteczek w danym ciele, a nie substancjalnym ciepłikiem. Rumford w 1798 r. pisał tak:

Co do mnie, to jest mi nadzwyczaj trudno, że nie powiem niemożliwie, pojąć, aby coś, co wytwarzało się w tych doświadczeniach (tzn. ciepło wytwarzające się przy wierceniu armat) mogło być czym innym, jak tylko ruchem^{4,5}.

Rumford doszedł do następującej konkluzji:

Im bardziej zastanawiałem się nad tymi zjawiskami, tym bardziej wydały mi się one intrygujące i ciekawe. Wydaje mi się nawet, że ich wnikliwe badanie mogłoby dać dobry wgląd w skrytą naturę ciepła i umożliwić nam utworzenie jakichś rozsądnych hipotez dotyczących istnienia bądź też nieistnienia cieczy ognistej – przedmiotu, co do którego opinie filozofów wszystkich czasów były bardzo podzielone⁶.

B. Thompson sugerował dalej, że ciepło wydzielające się podczas wiercenia luf armatnich nie jest związane z utratą ciepłika, lecz z wykonywaną pracą. W następstwie obserwacji Rumforda oraz swoich własnych badań związanych z ilością powstającego ciepła z wykonanej pracy mechanicznej przez konia, **Julius Robert Mayer** (1814–1878; niemiecki lekarz) w 1842 roku opublikował swoją pierwszą pracę w *Rocznikach Chemii i Farmacji* pt. *Uwagi o siłach przyrody nieożywionej*⁷. **L.N. Cooper** tak pisze o jego odkryciu:

„Jeżeli ciepło jest inną formą energii kinetycznej czy potencjalnej, a energia jako całość jest zachowana, to wówczas określona ilość ciepła musi być rezultatem zmiany określonej ilości energii mechanicznej. Albo inaczej – określona ilość pracy musi wytworzyć określoną ilość ciepła”⁸. Widzimy zatem, że substancjonalne traktowanie ciepła było coraz bardziej naukowo zagrożone w świetle gromadzonego materiału doświadczalnego. Rozwój badań naukowych nad istotą ciepła uczy nas, że istotny postęp w tej dziedzinie, jak zresztą w każdej innej, może się dokonać tylko wówczas, gdy znajdzie się liczbowa miara badanego zjawiska. Po ustaleniu przez **Gabriela Daniela Fahrenheita** (1686–1736, miesz-

³ R. Mierzecki, *Beniamin Thompson 1753–1814 prekursor fizyki technicznej*, „Fizyka w Szkole”, nr 1, 1965, s. 1–4.

⁴ A. Drzewiński, J. Wojtkiewicz, *Opowieści z historii fizyki*, PWN, Warszawa 1995, s. 132.

⁵ L.N. Cooper, *Istota i struktura fizyki*, PWN, Warszawa 1975, s. 359.

⁶ G. Białkowski, *Stare i nowe drogi fizyki. U źródeł fizyki współczesnej*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1980, s. 116.

⁷ A. Teske, *Wybór prac z historii fizyki i filozofii nauki*, Wrocław 1970, cyt. za: H. Drozdowski, *Odkrywczy zasady zachowania energii*, „Fizyka w Szkole”, nr 5, 1990, s. 36–40.

⁸ L.N. Cooper, *Istota i struktura fizyki*, PWN Warszawa 1975, s. 360.

czanina z Gdańska) skali termometrycznej i po wprowadzeniu pojęcia ilości ciepła przez **Josepha Blacka** (1728–1799 szkockiego chemika) okazało się, że temperatura nie wystarczy do opisu zjawisk cieplnych. Twórca pojęcia ciepłika, **Antoine Laurent Lavoisier** (1743–1794, chemik francuski), tak pisał w 1789 r.:

Trudno jest pojąć te zjawiska bez przyjęcia, że są one skutkami rzeczywistej i materialnej substancji lub bardzo subtelnej cieczy, która wciskając się pomiędzy cząstki ciał oddzielając je od siebie; i nawet dopuszczając myśl, że istnienie tej cieczy jest hipotetyczne, zobaczymy dalej, że wyjaśnia ona zjawiska przyrody w sposób bardzo zadowalający⁹.

G. Białkowski pisze, że Lavoisier jeszcze w opublikowanej pracy w 1777 r. dał tej hipotetycznej substancji nazwę cieczy płomiennej i materii cieplnej, a w pracy z 1789 r. zaproponował nazwać ją ciepłikiem. W tym samym czasie pojawiało się jeszcze więcej dowodów przeczących substancjonalnej naturze ciepła. Mimo że silniki parowe już od 1700 r. zamieniały ciepło na pracę mechaniczną, to dopiero francuski inżynier **Nicolas Leonard Sadi Carnot** (1796–1832, syn Lazare'a Carnota – generała z czasów Rewolucji Francuskiej) opublikował w roku 1824 swoją jedyną pracę, która wprowadziła na trwałe jego nazwisko do nauki.

Ta bardzo przenikliwa teoretyczna praca nosiła tytuł *Sur la puissance motrice du feu*.

Carnot pisał w niej, że maszyny parowe pracują w kopalniach, wprawiają w ruch statki, pogłębiają porty i rzeki, kują żelazo, a mimo to ich praca od strony teoretycznej jest bardzo mało wyjaśniona i słabo rozumiana. Zastanawiał się jak należy zbudować silnik, aby za jego pomocą z danej ilości ciepła otrzymanego ze spalania węgla otrzymać jak najwięcej pracy mechanicznej, i doszedł do wniosku, że ilość pracy otrzymanej z danej ilości ciepła w idealnym silniku zależy jedynie od różnicy temperatur między grzejnicą – paleniskiem a chłodnicą – otoczeniem silnika. Uzasadniając swoje twierdzenia, posługiwał się pojęciem ciepłika, ale używał go w taki sposób, w jaki my dziś posługujemy się **entropią**. Był więc prekursorem zdefiniowania wielkości fizycznej, którą dzisiaj nazywamy entropią, choć sam jej tak jeszcze nie nazwał.

Entropia w termodynamice fenomenologicznej

Pracę Carnota uchronił od zapomnienia **Benoit Pierre Emile Clapeyron** (1799–1864, inżynier armii francuskiej) i streścił ją w swojej pracy o silniku cieplnym, opublikowanej dwa lata po śmierci Carnota. **Lorda Kelvina – Williama Thomsona** (1824–1907, angielskiego fizyka) w pracy Carnota najbardziej uderzyła konieczność stosowania chłodnicy do uzyskania pracy z ciepła, natomiast **Rudol-**

⁹ G. Białkowski, *Stare i nowe drogi fizyki. U źródeł fizyki współczesnej*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1980, s. 115.

fa Juliusa Emmanuela Clausiusa (1822–1888, niemieckiego fizyka urodzonego w Koszalinie) intrygowano, czy teoria objaśniająca działanie silnika, podana przez Carnota, wynika z zasady zachowania energii, czyli z I zasady termodynamiki, czy też jest nowym, nieznanym dotąd prawem. Ponownie w 1850 r. przeanalizował działanie idealnego silnika cieplnego, nie czyniąc żadnych założeń, w tym również zasady zachowania energii. To doprowadziło go do podania II zasady termodynamiki. Pokazał, że stosunek ciepła pobranego do ciepła oddanego w idealnym silniku Carnota jest jedynie funkcją temperatury początkowej i końcowej. W 1865 r. wykazał, że możliwe jest zdefiniowanie nowej wielkości fizycznej, która zależy od wielkości opisujących dany układ fizyczny, np. od ciśnienia i temperatury, a jej zmiana zależy wyłącznie od ilości wprowadzonego doń ciepła. Wielkość tę nazwał entropią i tak uzasadniał wybór nazwy tej nowej funkcji:

Wolę korzystać z języków starożytnych przy tworzeniu nazw ważnych wielkości naukowych, tak aby mogły one oznaczać to samo we wszystkich językach. Dlatego proponuję nazwać S entropią ciała, od greckiego słowa „przekształcać”. Rozmyślnie ukulem słowo „entropia” na podobieństwo słowa energia, jako że obie te wielkości są analogicznie ważne w fizyce i stąd analogia nazw wydaje mi się pomocną¹⁰.

L.N. Cooper, przytaczając te definicje, opatruje je takim komentarzem:

Nie czerpiąc z żadnego ze współczesnych języków, Clausius ukuł termin, który znaczył to samo dla każdego, tzn. nic¹¹.

Przyrost entropii układu fizycznego o temperaturze bezwzględnej T , pobierającego niewielką ilość ciepła dQ , zdefiniował jako $dS = dQ/T$.

Entropia zatem na gruncie termodynamiki fenomenologicznej jest wielkością fizyczną podobną do energii, proporcjonalną do masy ciała, ekstensywną funkcją opisującą stan układu fizycznego.

Entropia w termodynamice statystycznej

Na procesy, którym podlega materia, można było do połowy XVIII wieku patrzeć dwojako, o czym pisali Lavoisier i **Pierre Simon de Laplace** (1749–1827, francuski matematyk, astronom i fizyk) w *Rozprawie o cieple* z 1783 r. w sposób następujący:

Fizycy nie są jednomyślni co do istoty ciepła. Wielu z nich uważa je za płyn, który rozpowszechniony jest w całej przyrodzie i który... przenika ciała, stosownie do stopnia ich temperatury oraz właściwej im zdolności zatrzymywania ciepła... Inni fizycy sądzą, że ciepło nie jest niczym innym, jak tylko skutkiem niedostrzegalnych ruchów drobin materii..., cząstki te znajdują się w ustawicznym ruchu, który, wzrastając do oznaczonej granicy, może nawet rozłączać małe cząstki i tym sposobem rozkładać ciała... W hipotezie, którą rozpatrujemy, ciepło jest siłą żywą (energią kinetyczną – dop. G. Białkow-

¹⁰ L.N. Cooper, *Istota i struktura fizyki*, PWN Warszawa 1975, s. 375.

¹¹ Tamże.

skiego) wynikającą z niedostrzegalnych ruchów drobin ciała... Nie chcemy rozstrzygać między dwiema wyżej przytoczonymi hipotezami; wiele zjawisk przemawia na korzyść ostatniej hipotezy..., ale są inne, które łatwiej objaśnić na zasadzie pierwszej hipotezy; być może, że obydwie są słuszne¹².

Pierwszym, który bardzo poważnie potraktował tę drugą hipotezę, był **James Clark Maxwell** (1831–1879, wybitny angielski fizyk), który w 1866 r. w pracy *Illustrations of the Dynamical Theory of Gases* zaproponował, że prędkości cząsteczek gazu nie są jednakowe, jak dotychczas sądzono, lecz istnieje pewien charakterystyczny rozkład ich prędkości. Maxwell otworzył nową dziedzinę fizyki – fizykę statystyczną, a tym samym termodynamikę statystyczną. Było to „drugie obok elektromagnetycznej teorii pomnikowe dzieło”¹³ jego geniuszu i stanowiło punkt wyjścia do wielu matematycznych uogólnień o ogromnym znaczeniu rozwojowym dla fizyki.

Ludwig Boltzman (1844–1906, fizyk austriacki), wielki kontynuator idei Maxwella, nie tylko ją propagował, ale bardzo rozwinął. To on był gorącym zwolennikiem atomistyczno-kinetycznej teorii budowy materii i znajdował się na pierwszej linii walki z jej przeciwnikami, czyli zwolennikami poglądu termodynamiczno-energetycznego. Przeciwnicy Boltzmana uważali bowiem, że głoszona przez niego teoria podważa fundamentalną zasadę determinizmu w fizyce, a jedynie mechanika i termodynamika prawidłowo opisują np. przekazywanie ciepła między ciałami. Krytycy jego podejścia byli niestety w owym czasie w przewadze, co w 1906 r. doprowadziło go do samobójczej śmierci. W 1904 r. w przedmowie do drugiego wydania *Wykładów kinetycznej teorii gazów* tak pisał: „Zdaję sobie całkowicie sprawę z tego, że jeden człowiek jest bezsilny wobec opinii większości. Chcąc jednak mieć pewność, że gdy ludzkość powróci do badań nad kinetyczną teorią gazów, nie będzie trzeba ponownie odkrywać rzeczy już raz odkrytych, postaram się przedstawić najtrudniejsze fragmenty tej teorii możliwie jasno”¹⁴. To właśnie Boltzman w 1877 r. wpadł na pomysł wyrażenia entropii w oparciu o pojęcia mikroskopowe i o swoje słynne tzw. twierdzenie H, w którym wielkość H występuje jako funkcja, będąca:

logarytmem prawdopodobieństwa odpowiedniego układu prędkości¹⁵.

Zaproponował, aby entropie stanu makroskopowego przedstawić „jako H/N krotnego logarytmu jego prawdopodobieństwa”¹⁶. To on w 1896 r. związał entro-

¹² G. Białkowski, *Stare i nowe drogi fizyki. U źródeł fizyki współczesnej*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1980, s. 159–160.

¹³ Cz. Wronkowski, *James Clark Maxwell 183–1879*, „Fizyka w Szkole”, nr 6, 1979, s. 273–276.

¹⁴ G. Białkowski, *Stare i nowe...*, s. 165.

¹⁵ M. Smoluchowski, *Wybór pism filozoficznych*, PWN, Warszawa 1956, s. 60.

¹⁶ Tamże, s. 115.

pie z liczbą stanów dozwolonych danego układu fizycznego następującą formułą matematyczną: $S = k \ln \Omega$, gdzie S to entropia, k – stała później nazwana jego imieniem, a Ω – to liczba stanów dozwolonych układu fizycznego. Było to diametralnie inne podejście niż droga, jaką kroczyła termodynamika fenomenologiczna, która nie uwzględniała mikroskopowej struktury materii, a zasady wypracowane na jej gruncie są niejako uogólnieniem obserwacji zachowania się makroskopowych ilości materii, np. 1 mola. Parametry, takie jak: ciśnienie, objętość i temperatura, charakteryzujące ogromnie liczne środowisko, a dające się zaobserwować na poziomie makroskopowym, oraz prawa wypracowane na gruncie termodynamiki fenomenologicznej tworzą spójną całość. Termodynamika boltzmanowska – statystyczna zajęła się powiązaniem tych wielkości ze strukturą mikroskopową materii, uzupełniała zatem i uzasadniała termodynamikę fenomenologiczną. Entropia w ujęciu statystycznym Boltzmiana ma wszelkie własności entropii zdefiniowanej na gruncie termodynamiki fenomenologicznej. Atutem definicji statystycznej entropii jest to, że „nie trzeba... wyprowadzać jej istnienia z dodatkowych postulatów fizycznych”¹⁷.

Entropia a II zasada termodynamiki – polski wkład

K. Zalewski, analizując różne sformułowania II zasady termodynamiki, dochodzi do wniosku, że ze wszystkich jej sformułowań wynika jednoznacznie istnienie entropii, a także jej wzrost dla wszystkich fizycznych układów izolowanych, będących w stanie równowagi. Bardzo duży wkład do rozwinięcia i uporządkowania tej problematyki wniósł **Marian Smoluchowski** (1872–1917, wybitny fizyk polski), który opublikował szereg prac na ten temat. W 1904 r. w księdze pamiątkowej ku czci L. Boltzmiana ukazała się jego praca pt. *O nieregularnościach w rozkładzie cząsteczek gazu i wpływie ich na entropię i równanie stanu*, na 84. zjeździe przyrodników w Munster w Westfalii w 1912 r. wygłosił wykład pt. *Obserwowalne zjawiska molekularne sprzeczne z termodynamiką tradycyjną*. Będąc z kolei w 1914 r. w Getyndze na zaproszenie fundacji Wolfskehla, wygłosił cykl wykładów pod wspólnym tytułem *Wykłady o teorii kinetycznej materii i elektryczności*, a wśród nich wykład: *Granice stosowalności drugiej zasady termodynamiki*. Warto też wskazać na pracę z 1915 r. *O pewnych brakach w uzasadnieniu prawa entropii oraz równania zasadniczego Boltzmiana w kinetycznej teorii gazów*¹⁸. Tę ostatnią pracę Smoluchowski rozpoczyna tak:

Byłoby pożądane, aby w badaniach dotyczących drugiej zasady teorii ciepła wyraźnie rozróżnić dwie postacie tej zasady, często uważane za równoważne: twierdzenie

¹⁷ K. Zalewski, *Wykłady z termodynamiki fenomenologicznej i statystycznej*, PWN, Warszawa 1973, s. 81.

¹⁸ M. Smoluchowski, *Wybór pism filozoficznych*, PWN, Warszawa 1956, s. 55–155, 216–234.

o niemożliwości perpetuum mobile drugiego rodzaju – oraz właściwe prawo entropii. Pod tą ostatnią nazwą rozumie się zazwyczaj prawo: „entropia układu zamkniętego nie może się nigdy zmniejszać, z tym zaś sformułowaniem są na ogół równoważne rozmaite inne dobrze znane sformułowania, jak: „ciepło nie może samo przez się przejść od niższej temperatury do wyższej”, albo: „jest rzeczą niemożliwą utrzymywanie w ruchu maszyny cieplnej przy pomocy jednego tylko źródła ciepła”, albo jeszcze: „nie może istnieć urządzenie, którego jedynym działaniem byłoby podniesienie ciężaru i oziębieniem zbiornika ciepła”. Teoria tak zwanych molekularnych zjawisk fluktuacyjnych doprowadza, jak wiadomo, do wniosku, że prawo entropii – w przedstawionym tu właśnie znaczeniu – nie jest ściśle słuszne.

Smoluchowski wnikliwie uzasadnia swoje zastrzeżenia do tak sformułowanej II zasady termodynamiki, kończąc je w sposób następujący:

rozpowszechnione mylne poglądy dotyczące tej kwestii pochodzą stąd, że pomieszano zachowanie się najbardziej prawdopodobne z rzeczywistym... W rzeczywistości można odróżnić trzy stadia, w przypadku gdy stan początkowy układu jest scharakteryzowany przez anomalnie niską wartość entropii: przez pewien czas powiększa się ona z największym prawdopodobieństwem (stadium A), mianowicie w przybliżeniu tak długo, aż się zbliży do stacjonarnej wartości przeciętnej; następnie mamy stadium B stanu w przybliżeniu stacjonarnego, w którym entropia doznaje nieregularnych fluktuacji, ale pozostaje niezbyt oddalona od (zdarzającej się najczęściej) wartości skrajnej; niekiedy wreszcie muszą nastąpić również zmiany doprowadzające do stanu pierwotnego (stadium C), tak mianowicie, że entropia z biegiem nieskończenie długich okresów czasu równie często wzrasta, jak maleje. Stadium A odpowiada termodynamicznie pojęcie nieodwracalności, stadium B – zakres stosowalności zwykłej termodynamiki do procesów odwracalnych. To jednak, że stadium C ujawnia się na ogół tylko w badaniach mikroskopowych i z punktu widzenia potrzeb praktycznych zwykle wolno je pomijać, pochodzi stąd, że przeciętna długość czasu powrotu jest w ogóle w stosunkach makroskopowych nadzwyczajnie duża. Rozumie się samo przez się, że nasze wywody nie mają w niczym naruszać oceny termodynamiki z praktycznego punktu widzenia, skierowane są tylko przeciwko panującej w nauce tendencji do dogmatyzowania i idealizowania termodynamiki jako nienaruszalnej zasady podstawowej¹⁹.

Koncepcje Smoluchowskiego nic nie straciły na swojej aktualności, więcej, jego prace są cytowane i wysoko cenione przez wielu wybitnych fizyków parających się tą problematyką (grudniowy numer radzieckiego wówczas miesięcznika „Podstawy nauk fizycznych” z 1967 r., w całości poświęcony był pamięci Marianna Smoluchowskiego z okazji 50. rocznicy jego śmierci). Dorobek naukowy tego przedwcześnie zmarłego wybitnego fizyka jest wart odrębnego przedstawienia. W tym miejscu jedynie wypada wspomnieć o wyjaśnieniu przez niego – niezależnie od Einsteina – ruchów Browna. Obaj doszli do tych samych wzorów, idąc zupełnie innymi drogami (wyniki ich różniły się tylko o pewien liczbowy współczynnik, którego prawidłową wartość podał Einstein) i prawie w tym samym

¹⁹ M. Smoluchowski, *Wybór pism filozoficznych*, PWN, Warszawa 1956, s. 232–233.

czasie²⁰. (Duża część dorobku naukowego Smoluchowskiego jest dostępna na stronie internetowej: <http://matwbn.icm.edu.pl/spis>).

Podsumowując, w termodynamice entropia jest zdefiniowana tylko dla układów będących w równowadze, jako wielkość statystyczna uśredniona dla dużej ilości cząsteczek. Jeżeli stan początkowy i końcowy układu były w równowadze, to entropia w stanie końcowym nie jest mniejsza, niż w stanie początkowym. Niestety, w stanach dalekich od równowagi pojawiają się kłopoty z entropią. Weźmy np. entropię Wszechświata, którego entropia nie może zmaleć, jeśli uzna się go za układ izolowany od początku jego istnienia. Ciągły zatem wzrost entropii musi nieuchronnie doprowadzić do śmierci termicznej Wszechświata, czyli stanu o maksymalnej entropii. Czy jednak rzeczywiście taki los czeka Wszechświat? Jeżeli druga zasada termodynamiki jest słuszna, to tak powinien skończyć Wszechświat. Inna jednak rysuje się jego przyszłość, odmienna od tej przewidywanej przez drugą zasadę termodynamiki, ponieważ podlega on prawom molekularnym, a entropia jest wielkością prawdziwą, ale po uśrednieniu. Podobne problemy dotyczą entropii czarnych dziur, ale tutaj oczekuje się, że wyjaśni to kwantowa teoria grawitacji.

Entropia a informacja (i nie tylko)

Na nieco inne znaczenie entropii naprowadził badaczy poczciwy telefon, którego prototyp zademonstrował we Frankfurcie nad Menem 26 października 1861 r. **Johann Philipp Reis** (1843–1874, niemiecki wynalazca), a praktyczny telefon opatentował 14 lutego 1876 r. **Alexander Graham Bell** (1847–1922, amerykański fizyk i wynalazca), wyprzedzając o kilka godzin swego rodaka **Elisha Graya** (1835–1901, amerykański wynalazca w dziedzinie łączności). Szybki rozwój telefonii zaczął się 10 marca 1876 r., kiedy to na odległość przesłano pierwsze słowa, a badacze zastanawiali się nad problemem bezbłędnego przesyłania sygnałów elektrycznych na duże odległości. W 1924 r. ukazała się praca **Harrego Nyquista** (1889–1976, amerykańskiego fizyka pochodzenia szwedzkiego)²¹, poświęcona zależności między szybkością telegrafowania a ilością używanego prądu elektrycznego. Wykazał w niej, że jeżeli kolejne wartości prądu elektrycznego są wysyłane w stałych odstępach czasowych, to szybkość telegrafowania **A** jest dana wzorem: $A = B \log C$, gdzie **B** jest pewną stałą zależną od ilości przesyłanych impulsów na sekundę, a **C** jest liczbą wyróżnionych wartości prądu elektrycznego.

²⁰ T. Godlewski, *Maryan Smoluchowski*, Wydawnictwo Redakcji Wiadomości Matematycznych, Warszawa 1919, s. 11.

²¹ H. Nyquist, *Certain factors affecting telegraph speed*, Bell System Technical Journal, marzec 1924, s. 324–346.

W 1928 r. ukazał się artykuł **Ralpa Vintona Lyona Hartleya** (1888–1970)²², w którym przedstawił on problemy dotyczące przekazywania informacji; była to na tyle pionierska praca, że na cześć jej autora jednostkę entropii informacji nazwano hartleyem (jeden hartley to ilość informacji zawarta w wiadomości o zajściu zdarzenia, którego prawdopodobieństwo wynosi 0,1; 1 hartley = 3,219 bita). W pracy tej poszukiwał ilościowej miary do przenoszenia informacji i w tym celu wprowadził pojęcie *pojemność informacji*. Stwierdził, że jeżeli mamy wiadomość przedstawić w postaci wyrażenia o **B** znakach, które są wzięte z **C** symboli wyjściowych, to pojemność informacji **A** można wyrazić za pomocą wyrażenia: $A = B \log C$. Zaiste imponujące jest podobieństwo tych wzorów, mimo że dochodzi się do nich jakże różnymi drogami. W 1929 r. amerykański fizyk węgierskiego pochodzenia **Leo Szilard** (1898–1964) zaproponował, aby posłużyć się pojęciem informacji do wykazania niemożliwości istnienia *perpetuum mobile drugiego rodzaju*. Wskazał zatem na powiązanie informacji z entropią znaną z termodynamiki fenomenologicznej i statystycznej. Wcześniej jednak na ten związek natrafił Maxwell, chociaż nie potrafił go podać. Znamy wszyscy jego słynny problem, określane dzisiaj *demonem Maxwella*. Ponieważ nie znał on związku entropii z informacją, miał kłopot z rozsądnym wyjaśnieniem tego problemu, ów demon potrzebuje bowiem informacji przy sortowaniu cząsteczek wg posiadanych przez nie prędkości, a tę zdobyć może poprzez ich obserwację. Dla porządku dodajmy jeszcze, że w 1946 r. ukazała się praca **Denisa Gabora** (1900–1979, angielskiego fizyka pochodzenia węgierskiego, noblisty z 1971 r., wynalazcy holografii), poświęcona teorii informacji, ale najwięcej wniosła do zrozumienia związku entropii z informacją praca **Claude Elwooda Shannona** (1916–2001, amerykańskiego inżyniera i matematyka) *Matematyczna teoria komunikowania się* (*The Mathematical Theory of Communications*), która ukazała się w 1948 r. Istniała ogromna potrzeba zbudowania teoretycznych podstaw technologii komunikacyjnych w sieciach telefonicznych, telegraficznych czy systemach radiowych i raczkujących telewizyjnych. Aby lepiej pokazać związek entropii z informacją, przyjrzyjmy się bliżej tej drugiej. Czym zatem jest informacja? Zacznijmy od parafrazy aforyzmu, którego autorem jest **Joseph John Thomson** (1856–1940 angielski fizyk, odkrywca elektronu, noblista z 1906 r.), według którego z informacją jest tak jak z pieniędzmi: można ją gromadzić, ale korzyść z niej mamy tylko wtedy, kiedy ją tracimy, a dokładniej, gdy ją przekazujemy innym lub wykorzystujemy w określonym celu.

„Prognoza pogody na następny dzień” jest komunikatem, który dociera do nas poprzez różne nośniki: dźwięk, papier itd. Odbiorcy nie sprawia różnicy, w jaki sposób się o prognozowanej pogodzie dowiedział, istotna jest dla niego zawartość

²² R.V.L. Hartley, *Transmission of Information*, Bell System Technical Journal, lipiec 1928, s. 535.

komunikatu, a ta, podaje nam interesującą nas informację, my ją odebraliśmy i możemy ją zgromadzić, zapisać w różnych systemach pamięci. Przekazywanie musi odbywać się za pomocą jakiegoś kodu i chodzi o to, aby ten wiernie przynosił informację. Jakże często np. na dworcach słyszymy zniekształcone komunikaty o odjazdach pociągów czy autobusów; sygnał – mowa ludzka – jest zniekształcony, ale interesująca nas informacja do nas dotarła, mimo tych oczywistych kłopotów. Podstawowym osiągnięciem Shannona było podanie miary ilości informacji w danym komunikacie. Zastanawiał się on, który komunikat zawiera więcej informacji:

1. Urodziło mi się dziecko.
2. Przy rzucie kostką wypadło „6 oczek”.
3. Mój numer PESEL kończy się cyfrą „2”.

Pierwszy komunikat zawiera w sobie dwa warianty: chłopiec, dziewczynka. Drugi komunikat może mieć sześć wariantów, a trzeci aż 10 wariantów, zatem do przekazania pierwszego komunikatu wystarczą dwa symbole, drugiego – 6 symboli, a trzeciego – 10 symboli. Według Shannona miarą ilości informacji jest liczba możliwych komunikatów i ich prawdopodobieństwa, a nie ich treść i sens. Teoria informacji nie zajmuje się tym, czym jest informacja, lecz interesuje się mierzeniem jej ilości. Jeżeli idziemy po zakupy, to ilość zabranych pieniędzy zależy od tego, co chcemy kupić, bo jeżeli chcemy kupić np. chleb, zapalki czy długopis, to bierzemy złotówki, jeżeli chcemy kupić np. sprzęt rtv, to zabieramy już setki złotych, a gdy zamierzamy kupić samochód, to tysiące złotych. Inaczej mówiąc, nie jest konieczna znajomość dokładnej kwoty, ale jej rząd wielkości. Doskonale informują nas o rzędzie wielkości logarytmy. Podobnie zachowują się nasze zmysły, też rozróżniają bodźce różniące się o rząd wielkości, stąd dobrze jest te reakcje opisywać w skali logarytmicznej; tak jest z dźwiękami (prawo Webera-Fechnera), z wrażeniami wzrokowymi itd. A zatem do oceny wielkości wysłanej lub odebranej informacji celowe jest stosowanie skali logarytmicznej, ta jednak może mieć różne podstawy. Najczęściej stosuje się logarytmy o podstawie 2, liczbie e lub 10. Podstawa logarytmu determinuje jednostkę ilości informacji, np. gdy podstawą logarytmu jest liczba 2, to jej jednostką jest bit. Można także mierzyć ilość informacji w innych jednostkach, np. w jednostkach energii czy entropii, ale wówczas jeszcze we wzorze przed logarytmem należy dopisać pewną stałą, której wartość zależy od rodzaju przyjętych jednostek. Mamy zatem wg Shannona następujący wzór na ilość informacji: $A = B \log C$, gdzie A jest miarą ilości informacji, B jest pewną stałą, a C jest ilością rozróżnialnych komunikatów, które są jednakowo prawdopodobne. Jeżeli mamy n wariantów komunikatu i nie są one jednakowo prawdopodobne, tylko występują z prawdopodobieństwem p_1, p_2, \dots, p_n , to ilość informacji obliczamy według Shannona ze wzoru:

$$A = -p_1 \log p_1 - p_2 \log p_2 \dots - p_n \log p_n,$$

gdzie minus jest po to, by ilość informacji była liczbą dodatnią, a prawdopodobieństwa spełniają równość:

$$p_1 + p_2 \dots + p_n = 1.$$

Wielkość A nazywamy entropią informacji, lub po prostu entropią i najczęściej oznacza się ją literą H . Widzimy zatem, że entropia przez swój związek z informacją ma ogromne znaczenie we współczesnym świecie. Przecież nasze życie to ciągłe przesyłanie, odbieranie, porządkowanie, gromadzenie, przetwarzanie różnych komunikatów i zawartych w nich informacji. O ważności tej problematyki niech świadczy fakt istnienia od niedawna takiego przedmiotu czy nawet kierunku studiów jak pedagogika medialna, gdzie w ramach studiów naucza się podstaw teorii informacji w oparciu o pracę Shannona.

Entropia jako miara stopnia nieuporządkowania albo inaczej nieokreśloności znalazła zastosowanie np. w badaniach socjometrycznych, w których chodzi o rozkład wyborów w grupie. Jeżeli nieuporządkowanie jest maksymalne, czyli każda osoba otrzymuje tyle samo wyborów, entropia jest maksymalna; jeżeli natomiast wybory są zhierarchizowane, a nas interesuje źródło tej hierarchizacji, to otrzymujemy inną wartość entropii. Entropia zatem nadaje się również do badania struktury grupy społecznej²³. Warto nadmienić, że często w takich sytuacjach korzysta się też z innej wartości występującej w teorii informacji, mianowicie redundancji, wielkości ściśle powiązanej z entropią, która opisuje stopień uporządkowania danej struktury, już niekoniecznie grupy ludzkiej²⁴. Z tych pojęć korzysta też pedagogika²⁵, cybernetyka^{26,27,28}, kryptografia czy lingwistyka.

Widzimy zatem, że entropia rzeczywiście niejedno ma imię, i co ciekawe, tych imion ciągle przybywa.

Od Redakcji:

Polecamy rozdział 12 z *Historii fizyki* Andrzeja Kajetana Wróblewskiego „Od ciepłota do termodynamiki i fizyki statystycznej” (str. 334). O książce tej piszemy w rubryce „Co czytać” na str. 68.

²³ J.S. Coleman, *Wstęp do socjologii matematycznej*, PWE, Warszawa 1968.

²⁴ C.H. Coombs, R.M. Dawes, A. Tversky, *Wprowadzenie do psychologii matematycznej*, PWN, Warszawa 1977.

²⁵ K. Hercman, *Teoria informacji na użytek szkoły*, WSiP, Warszawa 1977.

²⁶ A.J. Lerner, *Zarys cybernetyki*, WNT, Warszawa 1970.

²⁷ L. Brillouin, *Nauka a teoria informacji*, PWN, Warszawa 1969.

²⁸ M. Mazur, *Jakościowa teoria informacji*, WNT, Warszawa 1970.



KĄCIK ZADAŃ

Odgłosy z jaskini (3)

Adam Smólski

I Społeczne LO w Warszawie

Tego lata znowu pojeździłem trochę na rowerze, w terenie przeważnie górzystym. Cóż poradzę, że wciąż przychodzą mi do głowy zadanka związane z tym zajęciem. Do „Lwiątką” już się nie nadają, byłoby to już nudne, tylko rower i rower. Ale tutaj chciałbym jeszcze jeden problemik poddać pod Państwa rozwagę.

Chodzi o jazdę pod górę. Czy korzystniej jest jechać bardziej, czy mniej stromo, zakładając, że mamy wjechać na określoną wysokość h ? Możemy podejść do sprawy „energetycznie”, jak w zadaniu 15 dla klasy 3 gimnazjum „Lwiątką” 2006:

15. Zamierzamy wjechać rowerem na wzniesienie. Możemy wybrać podjazd bardziej lub mniej stromy. W którym przypadku wykonamy większą pracę? Rower nie ma przerzutki i w obu przypadkach naciskamy na pedały taką samą siłą, a opór powietrza rośnie z prędkością roweru.

- A. Bardziej stromo.
- B. Mniej stromo.
- C. Praca będzie taka sama, tylko moc inna.
- D. Odpowiedź zależy od tego, jak wysokie jest wzniesienie.
- E. Odpowiedź zależy od łącznej masy naszej i roweru.

Poprawną odpowiedzią jest B. Uzasadnieniem jest po prostu dłuższa droga w przypadku mniej stromego podjazdu. Paradoksalnie ten argument nie nawiązuje w ogóle do kwestii oporu powietrza. Można zapytać, „na co” idzie ta większa praca, bo przecież przyrost energii potencjalnej od stromizny nie zależy. *Gros* pracy wkładamy właśnie w pokonanie oporów ruchu, ewentualne zmiany energii kinetycznej są składnikiem bez znaczenia (jeżeli jedziemy ze stałą prędkością, energia kinetyczna w ogóle nie rośnie). Podjeżdżając mniej stromo, jedziemy szybciej i musimy przeciwstawić się większej sile oporu powietrza. A więc i od tej strony dochodzimy do stwierdzenia, że praca nad jej pokonywaniem jest wtedy większa.

A gdyby tak pytać o czas jazdy? Czy wtedy też korzystniej jest stromo i powoli, niż mniej stromo i szybko? Tutaj trudno przewidzieć odpowiedź, należy zrobić jakieś założenia i wykonać rachunek.

Założmy jak poprzednio, że siła tarcia, jaką podłoże napędza rower, ma przy każdym kącie nachylenia α tę samą wartość F . Przyjmijmy, że siła oporu powietrza jest proporcjonalna do kwadratu prędkości v ze współczynnikiem b . Co do

innych oporów, założmy, że nie zależą ani od prędkości, ani od nachylenia szosy, mając stałą wartość T .

Prędkość jazdy przy tym założeniu wyliczamy z równania

$$mg \sin \alpha + b v^2 + T = F,$$

gdzie m – masa roweru i rowerzysty, g – przyspieszenie ziemskie.

Zatem

$$v = \sqrt{\frac{F - T - mg \sin \alpha}{b}}.$$

Przy drodze równej $\frac{h}{\sin \alpha}$ daje to czas jazdy $\frac{h\sqrt{b}}{\sin \alpha \sqrt{F - T - mg \sin \alpha}}$.

Zbadanie tej funkcji jest bardzo łatwe. Kwadrat mianownika jest wielomianem trzeciego stopnia zmiennej $\sin \alpha$, przyjmującym maksimum dla $\sin \alpha = \frac{2(F - T)}{3mg}$.

Pod takim kątem podjedziemy w najkrótszym czasie.

Proszę zauważyć, że kąt ten, przy danych F i T , nie zależy od b . Aby go teraz oszacować, musimy mieć jakieś wyobrażenie o wartościach sił F i T . Stały składnik oporów ruchu T , jak można przeczytać w *Fizyce sportu* K. Ernsta, wynosi dla dobrego roweru zaledwie kilka niutonów i możemy go w dalszym ciągu pominąć. Najtrudniej mi tutaj, muszę przyznać, o sensowne oszacowanie siły F , zwłaszcza że jest zima i niełatwo byłoby zainscenizować jakieś pomiary. Spróbujmy zatem wymyślić coś ot tak, bez wychodzenia z jaskini. Wjeżdżając pod stromą górę, czasem „stajemy na pedałach”. Oznaczałoby to, że siła, jaką działamy na pedały, jest porównywalna z naszym ciężarem. Jednak to nie jest zwykły sposób jazdy przy mniejszych nachyleniach. Co więcej, uśredniona po czasie (ze względu na zmieniający się moment względem osi pedałów), wartość ta musiałaby być dużo mniejsza. Przyjmijmy zatem, że działamy na pedały średnio siłą $\frac{1}{4}mg$ (u nas m oznacza łączną masę rowerzysty i roweru!). To nie jest jeszcze wartość F . Trzeba to pomnożyć przez stosunek długości korby pedałów i promienia koła. W moim rowerze jest to około 1/2. Kolejny czynnik odpowiada przełożeniu łańcucha, czyli stosunkowi liczby zębów tylnej i przedniej zębatki. Przy nie najsilniejszym, ale dość już „mocnym” przełożeniu może to być około 2/3. Ostatecznie $F \approx \frac{1}{12}mg$

i optymalny kąt miałby sinus nie większy od 1/18. Byłoby to około 3 stopni, czyli nachylenie około 6%. To całkiem stromo. W praktyce pokonywanie na dłuższym dystansie takiego nachylenia jest nieludzko męczące, więc zapewne nasz model nie uwzględnia prawidłowo wszystkich istotnych czynników (być może stała moc byłaby właściwszym założeniem niż stała siła). Ale osobiście zdecydowanie wolę stromy podjazd i łagodny zjazd niż odwrotnie.



KĄCIK ZADAŃ

Jazda na światłach

Waldemar Gorzkowski

Instytut Fizyki PAN, Warszawa

Średnia prędkość samochodu w ruchu miejskim zależy od pory dnia, organizacji ruchu, pogody, sprawności świateł sygnalizacyjnych itp. Na ogół wynosi ona kilkanaście kilometrów na godzinę. Przyjmijmy, że w ruchu miejskim jest ona równa 15 km/h (z taką średnią szybkością dojeżdżam latem do pracy). W sezonie zimowym przepisy nakazują jazdę z włączonymi światłami mijania. Nie jest to jednak konieczne w sezonie letnim. Znajdź samodzielnie takie parametry, jak moc żarówek samochodowych w światłach mijania (z przodu i z tyłu), sprawność silnika benzynowego lub Diesla, sprawność alternatora i inne, które uznasz za stosowne, i **oszacuj zwiększenie zużycia paliwa na 100 km w ruchu miejskim w przypadku, gdy jeździ się z podaną wyżej prędkością średnią raz z włączonymi światłami mijania, a raz bez nich.**

Wielu uważa, że włączone światła zwiększają bezpieczeństwo jazdy, i cały rok jeździ „na światłach”. Wprawdzie statystyki z krajów, które wprowadziły ten obowiązek, zdają się nie potwierdzać tej opinii, jednak subiektywne odczucia są ważne, bo przecież każdy podejmuje decyzje na ich podstawie. Niektórzy zaś są przeciwnikami włączania świateł, uważając, że wtedy zużycie paliwa wzrasta i zanieczyszczenie środowiska się zwiększa. Warto więc sprawdzić, jak to jest z tym zużyciem paliwa, by świadomie, samemu, a nie na podstawie agitacji, podjąć decyzję o włączeniu (lub nie) świateł mijania w lecie.

Wyniku, jaki sam otrzymałem, nie podaję, by niczego nie sugerować. Lepiej, gdy zainteresowani wykonają obliczenia samodzielnie.



KACIK DOŚWIADCZALNY

Doświadczenie na deser

Zofia Gołąb-Meyer

Lektura *The Physics Teachers* jak zwykle dostarcza inspirujących pomysłów. Tym razem chcemy Państwu przekazać pomysł nauczyciela z Iranu Gholamreza Shamsipoura (*) (*TPT 44*, December 2006, str. 576).

Pomysł dotyczy doświadczeń wprowadzających uczniów w rozumienie ciśnienia powietrza. Do nieocenionych propozycji Arkadiusza Piekary (*Ciekawe opowieści o powietrzu*) można dołożyć jeszcze jedną demonstrację, dosłownie na deser. Nadaje się ona równie dobrze dla przedszkolaków jak i dla licealistów.

Przetestowałam ją z moimi małymi wnuczkami (od 7 do 11 lat). Należy zaopatrzyć się w: plastikową butelkę po wodzie mineralnej, taśmę klejącą (ostatecznie do zamykania dziurki można użyć palca), gwóźdź lub inny szpikulec do zrobienia dziurki w dnie butelki, kawałek sznureczka, balonik lub cienką rękawiczkę gumową.

1. Z małymi dziećmi doświadczenia proponuję zacząć od zwykłego nadmuchiwanie balonika i pytania, co zrobić, by został on w formie nadmuchanej. Każdy wie, że trzeba zawiązać szyjkę balonika. Dzieci podają tłumaczenie stosowne do wieku, często się dziwią pytaniu, bo dla nich odpowiedź jest oczywista – to konieczne, bo inaczej nadmuchane powietrze ucieknie z wnętrza balonika.
2. W dnie butelki robimy dziurkę o średnicy 2–3 mm. Przez szyjkę wsuwamy balonik, nadmuchujemy i zamykamy otwór u dołu butelki taśmą klejącą (lub palcem). I tu dla wielu niespodzianka: balonik zostaje nadmuchany, pomimo iż jest od góry otwarty. Dlaczego tak jest?



3. Odklejamy taśmę (zdejmujemy palec) i obserwujemy, jak balonik wędnie.

Należy wysłuchać dzieci, uczniów, i na końcu ustalić interpretację stosowną do wieku dzieci.

4. Autor artykułu w *TPT* proponuje następnie zanurzenie butelki z nadmuchanym balonikiem i zamkniętą palcem dziurką w wodzie, najlepiej w misce. Zaobserwuje się łatwo, że poziom wody w butelce będzie wyższy niż w misce.

Znowu tłumaczenie musi zależeć od wieku dzieci. Młodszym dzieciom warto uprzednio zademonstrować poziom wody w naczyniach połączonych (butelka z otworem, bez balonika).

5. Prawdopodobnie dzieci wykażą inicjatywę i zaproponują inne doświadczenia.

Moja 8-letnia wnuczka Julia zaobserwowała, że balonik można „nadmuchać” nie przez dmuchanie, ale wysysając powietrze przez dziurkę.



Ponieważ pora deserowa to nie czas na poważną fizykę, więc wystarczy sprowokować uczestników do zastanowienia się nad problemem (najlepiej zadziwić) i zapamiętania jego przebiegu.

Natomiast na lekcji w szkole jest czas na wykorzystanie spostrzeżeń uczniów do właściwej interpretacji.

(*) rshamsipour@yahoo.com



CZYTAMY PO ANGIELSKU

George Smoot Wins Nobel Prize in Physics 2006

Smoot was one of the first astrophysicists to devise ways of conducting experiments that produce data and information about the early universe.

“People have contemplated the origin and evolution of the universe since before the time of Aristotle”, he said. “Although cosmology has been around since the time of the ancients, historically it has been dominated by theory and speculation. Very recently, the era of speculation has given way to a time of science. The advance of knowledge and of scientific ingenuity means that at long last, we can actually test our theories.”

To understand how our universe was created, Smoot focused on clues hidden in the extremely faint heat left over from the Big Bang. This relic radiant energy or cosmic microwave background radiation (CMB) has been called a “message from the beginning of time”.

According to theory, all space began to expand at the moment of the Big Bang and was pervaded with the physical contents produced by the leviathan explosion, including the relic CMB radiation. To this day, CMB radiation saturates all of space throughout the universe. In fact, at any given instant, every cubic meter of space is bathed in millions of photons of CMB radiation zipping along at the speed of light.

In 1976, Smoot was a key member of the team that found startling evidence in the CMB which contradicted the prevailing scientific view that galaxies are spread uniformly throughout the universe. Instead, the data revealed that vast regions of space are virtually devoid of galaxies while elsewhere, billions of galaxies are clustered together. These findings met with strong skepticism but a second set of experiments by Smoot and colleagues confirmed it.

<http://www.lbl.gov/Publications/Nobel/>

Dictionary:

early universe – wczesny Wszechświat

scientific ingenuity – pomysłowość naukowa

relic radiant energy – energia promieniowania relikowego

cosmic microwave background – kosmiczne mikrofalowe promieniowanie tła

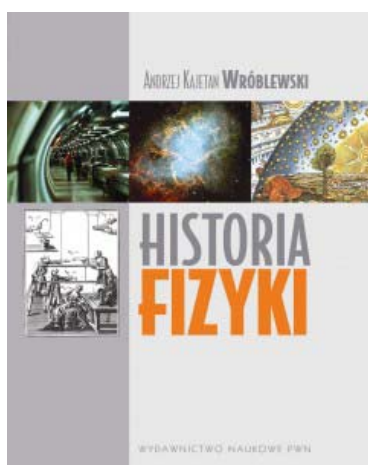
relic – pozostałość

galaxies are clustered – galaktyki zgrupowane



CO CZYTAĆ

Historia fizyki jakiej jeszcze nie było



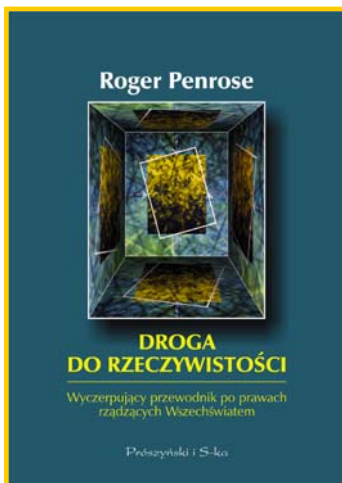
Od lat oczekiwana, kompleksowa publikacja poświęcona historii fizyki, która wypełni lukę w tym zakresie nie tylko w piśmiennictwie polskim, ale również światowym. Powstała na bazie wykładów prowadzonych od około 30 lat przez Profesora Andrzeja K. Wróblewskiego na Uniwersytecie Warszawskim. W książce omówiono główne ścieżki rozwoju fizyki, poczynając od cywilizacji starożytnych, aż po osiągnięcia fizyki współczesnej. Doskonała prezentacja rozwoju idei naukowych z zakresu fizyki przedstawiona jest na tle historii nauki, ze szczególnym uwzględnieniem osiągnięć w dziedzinach najbliższych fizyce: astronomii i chemii. Książka napisana jest w spo-

sób przystępny i bardzo interesujący. Na uwagę zasługuje bogactwo ilustracji – portrety uczonych, ilustracje przyrządów fizycznych z różnych epok, schematy ważnych historycznych doświadczeń, strony tytułowe dzieł najważniejszych dla rozwoju fizyki i wiele innych. Dodatkowo piękna szata graficzna sprawi Czytelnikom wiele przyjemności i satysfakcji z lektury.

Profesor Andrzej Kajetan Wróblewski – wybitny polski uczyony i popularyzator nauki, który od ponad 30 lat prowadzi cenione i lubiane wykłady z historii fizyki na Uniwersytecie Warszawskim.



Odkrywanie tajemnicy Wszechświata z Penrose'em



Sir Roger Penrose – emerytowany profesor matematyki w katedrze im. Rouse’a Balla Uniwersytetu Oksfordzkiego. Jest laureatem wielu nagród i odznaczeń, m.in. Nagrody Wolfa, którą uzyskał w 1988 r. razem ze Stephenem Hawkingiem za ich wspólny wkład w nasze zrozumienie Wszechświata, oraz prestiżowego medalu De Morgana, przyznanego mu w 2004 r. przez Londyńskie Towarzystwo Matematyczne. W 2005 r. otrzymał tytuł doktora h.c., przyznany przez Uniwersytet Warszawski. Wśród napisanych przez niego książek znajdują się: *Nowy umysł cesarza*, PWN, Warszawa 1995, *Mikroświat, makroświat i ludzki umysł*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1997 i *Cienie umysłu*, Zysk i S-ka, Poznań 2001.

Nauka potrzebuje takich osób jak Penrose, które będąc autorytetami, chcą i potrafią wskazywać wady popularnych wzorców, a ponadto zaproponować alternatywne rozwiązania.

„The Independent”

Książka „Droga do rzeczywistości” jest z jednej strony znakomitym wprowadzeniem do podstaw współczesnej matematyki, fizyki i kosmologii, z drugiej zaś jest traktatem porządkującym nasze wyobrażenia o otaczającym nas Wszechświecie.

Prof. dr hab. Marek Demiański
Instytut Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Książka Rogera Penrose’a jest dziełem wybitnym. Zawiera doświadczenia i przemyślenia wybitnego myśliciela, fizyka i matematyka, zebrane w ciągu długoletniej, udanej kariery naukowej. W dodatku opis jest błyskotliwie inteligentny, z dużym talentem popularyzatorskim.

Prof. dr hab. Kacper Zalewski
Instytut Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego

Książka R. Penrose’a to „wyczerpujący przewodnik po prawach rządzących Wszechświatem”, fascynująca podróż po bezkresnych obszarach zarówno współ-

czesnej nauki, jak i całego niezwykle bogatego dorobku ludzkości w dziedzinie nauk ścisłych.

Lektura książki Rogera Penrose'a to nie lada wyzwanie. Pierwsza trudność pojawia się przy przytarganiu książki do domu. Wielka cegła, przysłowiowe 2,5 kg. Pryska marzenie, by usiąść wygodnie w fotelu i rozkoszować się lekturą. Ponadtrytoniczny dzieła nie utrzyma się w rękach.

A trochę szkoda, bo *Drogę do rzeczywistości* przynajmniej w wielu fragmentach, chciałoby się odbywać wspólnie z Penrose'em i filiżaneczką aromatycznej kawy lub dobrego wytrawnego wina. Nic z tego, trzeba usiąść przy biurku i na serio zabrać się do lektury, do studiowania. Już pobieżna lektura uświadamia obcowanie z wielkim autorytetem i wytwarza uczucie zażenowania przy komentowaniu książki.

Książka, dzieło, ma tę magiczną własność, że mogą ją czytać wszyscy! Znamy student IV fizyki westchnął z żalem: „jakaż szkoda, że tej książki nie było, jak zaczynałem studia”, jego rówieśnik filozof dorwał się do książki i był zdumiony, ile ciekawych go rzeczy w niej znalazł. W kolejce czeka, po przekartkowaniu, japonista.

Są takie książki, że i specjalista, i nowicjusz mogą czytać z wypiekami na twarzy. Ta cecha książki spowodowana jest nie tylko tym, że po prostu są w niej fragmenty zrozumiałe dla początkujących czy wręcz laików, ale może przede wszystkim tym, że kiedy autor zaczyna omawiać bardziej zaawansowane problemy, wymagające, jak to się mówi, znajomości rzeczy, i czytelnik „odpada”, to jednak odbywa się to w taki sposób, że u czytelnika pozostaje szacunek do zaawansowanej wiedzy matematycznej i świadomości własnych niedostatków w trudnej materii, a nie uczucie totalnego niezrozumienia, zastanawiania się, co autor ma na myśli, nie pokazuje się przeświadczenie, że być może jest się jedynym idiotą, który nic nie rozumie z wywodu, który to wywód pretenduje do jasności i oczywistości. Wiele książek pisanych dla nowicjuszy, czy wręcz laików, rozpoczyna się od infantylnego wprowadzenia i pokazywania na palcach, że $2 + 2 = 4$, by nagle na tym samym oddechu wskoczyć w nurty zaawansowanych rozważań, trudnych czy wręcz niemożliwych do wyjaśnienia, bez odpowiednio długiego i starannego wstępu.

Książka Penrose'a pretenduje do bycia podręcznikiem fizyki teoretycznej, zarówno na przystawkę, jak i przede wszystkim na deser. Autor dołączył zadania i pytania, pozaznaczał łatwiejsze i trudniejsze. Zadania te stanowią wskazówki metodyczne; cenne dla czytelników poważnie studiujących dzieło, dla asystentów prowadzących zajęcia ze studentami. Może doczekamy się tańszego wydania, ponieważ wyobrażam sobie, że każdy student chciałby mieć dzieło na półce!

A jednak nie jest to po prostu podręcznik. Cały czas ma się wrażenie, że autor konwersuje z czytelnikiem, że żarliwie chce mu swoje poglądy przedstawić, antycypuje obiekcje czytelnika. I uczy go znacznie więcej niż przedmiotu, uczy go

historii myśli ludzkiej, historii zmagania ze zrozumieniem natury, i to zarówno historii idei, jak i, przy okazji, ludzkich dramatów. Przypisy to osobna książka sama w sobie!

Nieczęsto się zdarza, że książka spełnia wszystkie obietnice dane rozmaitym czytelnikom przez autora we wstępie, wszystkim pozwala dotknąć tajemnicy roli matematyki w istocie Natury.

Oddajmy głos autorowi:

„...ta książka jest o relacjach między matematyką a fizyką i o tym, jak mocno wzajemne oddziaływanie tych dwu dziedzin wiedzy stymuluje nasze poszukiwania lepszej teorii Wszechświata. Zasadniczym czynnikiem stymulującym wiele z tych współczesnych poszukiwań jest dostrzeżenie ich matematycznej urody, jej głębi i wyrafinowania”.



Sir Roger Penrose w czasie wykładu w Instytucie Fizyki UJ

Redakcja *Fotonu* zachęca czytelników do lektury dodatku o książkach *Tygodnika Powszechnego*, a nim w esejów Bajtlika. Eseje te to więcej niż omówienia książek.

Z przyjemnością odnotowujemy poszerzenie działu popularyzującego naukę w „Przekroju”. Dział ten oprócz tabloidowych, ekspresowych informacji zawiera dłuższe, bardziej wyczerpujące artykuły.

ZG-M



Matematycy polscy w filatelistyce

Jerzy Bartke

Instytut Fizyki Jądrowej PAN, Kraków

Pierwszym polskim walorem filatelistycznym poświęconym matematyce była karta pocztowa (całostka) wydana w 1969 roku z okazji Jubileuszowego Zjazdu Polskiego Towarzystwa Matematycznego w Krakowie. Na wydrukowanym na tej karcie znaku opłaty widnieje podobizna Stefana Banacha. Stefan BANACH (1892–1945) był od 1924



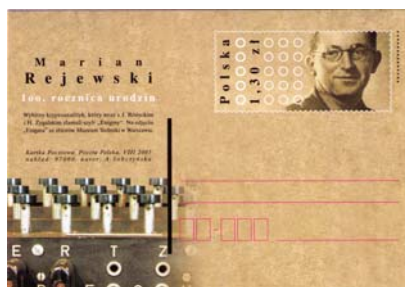
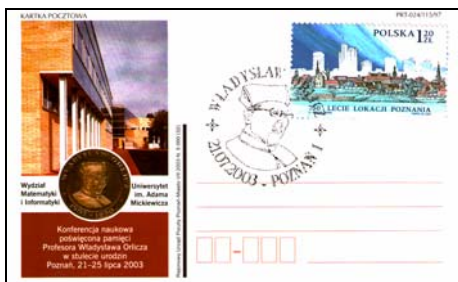
roku profesorem na Uniwersytecie Lwowskim. Był jednym z twórców analizy funkcjonalnej, do literatury matematycznej weszły takie pojęcia jak „przestrzenie Banacha” i „algebry Banacha”. Popiersie Stefana Banacha stoi przed budynkiem Instytutów Matematyki i Fizyki UJ przy ul. Reymonta w Krakowie. Podobiznę Stefana Banacha umieszczono także na znaczku emisji 1982 roku w serii „Matematycy polscy”. Oprócz niego występują tam: Stanisław ZAREMBA (1863–1942) – profesor Uniwersytetu Jagiellońskiego (od 1900 roku), autor prac dotyczących równań różniczkowych cząstkowych i podręczników akademickich, Wacław SIERPIŃSKI (1862–1969) – profesor Uniwersytetu Lwowskiego (od 1910 roku), a następnie Uniwersytetu Warszawskiego (od 1918 roku), autor prac z wielu dziedzin matematyki, oraz Zygmunt JANISZEWSKI (1888–1920) – profesor Uniwersytetu Warszawskiego (od 1918 roku), jeden z twórców warszawskiej szkoły topologii.

Uczniem i współpracownikiem Stefana Banacha był Władysław ORLICZ (1903–1990), profesor Uniwersytetu w Poznaniu (w czasie wojny Uniwersytetu we Lwowie), autor prac z dziedziny analizy funkcjonalnej. W stulecie jego urodzin, w 2003 roku, odbyła się w Poznaniu konferencja naukowa poświęcona jego pamięci; wydano kartę pocztową i stosowano okolicznościowy stempel.

Astronomem, ale i matematykiem, był Tadeusz BANACHIEWICZ (1882–1954). Od roku 1919 do końca życia był on profesorem Uniwersytetu Jagiellońskiego i dyrektorem obserwatorium astronomicznego w Krakowie. Zajmował się astronomią obserwacyjną i mechaniką nieba. W dziedzinie matematyki w 1923 roku stworzył tzw. rachunek krakowiano-wy, będący odmianą rachunku macierzowego o odmiennym algebrze.



Nie wszyscy polscy matematycy zajmowali się jednak matematyką abstrakcyjną. Trzej matematycy kryptologowie: Marian REJEWSKI (1905–1980), Jerzy RÓŻYCKI (1909–1942) i Henryk ZYGALSKI (1908–1978) w 1933 roku złamali kod niemieckiej maszyny szyfrującej „Enigma”. Zbudowane w Polsce repliki „Enigmy” przekazano w 1939 roku rządowi Anglii i Francji. Okazały się one niezwykle pomocne w czasie wojny, alianci mogli bowiem odczytywać tajne meldunki i rozkazy armii niemieckiej. 50-lecie złamania kodu „Enigmy” Poczta Polska uczciła wydaniem w 1983 roku znaczka z symboliczną literą „E”, zaś Marianowi Rejewskiemu poświęcono kartę pocztową (całostkę), wydaną w 2005 roku, w stulecie jego urodzin.



Pisząc o matematykach polskich, należy też wymienić rosyjską matematyczkę polskiego pochodzenia (pradziad) Zofię KOWALEWSKĄ (1850–1891). Ojciec jej nosił nazwisko Korwin-Krukowski. Zofia Kowalewska była autorką ważnych prac z różnych dziedzin matematyki, była pierwszą kobietą profesorem uniwersytetu w Sztokholmie i członkiem Petersburskiej Akademii Nauk. Poza tym była pisarką, autorką kilku powieści. Poczta ZSRR poświęciła jej znaczek wydany w 1951 roku, zaś poczta Rosji – znaczek wydany w 1996 roku. Reprodukujemy ten ostatni.





Nagrody PTF w roku 2006

Medal im. Krzysztofa Ernsta i dyplom za popularyzację fizyki otrzymał **prof. dr hab. Piotr Pierański**.

Medal im. Grzegorza Białkowskiego i dyplom dla wyróżniających się nauczycieli za rok 2006 otrzymała **mgr Ewa Pater** (na zdjęciu obok) – nauczycielka z Liceum Ogólnokształcącego z Oddziałami Integracyjnymi im. Mieszka I w Świnoujściu – za pobudzanie aktywności uczniów, prowadzące do ich sukcesów na polu krajowym i międzynarodowym.



Dla wyróżniających się nauczycieli nagrodę PTF II stopnia za rok 2006 otrzymali *ex aequo*: **mgr Anna Joachimiak** – nauczycielka z XII Liceum Ogólnokształcącego im. Stanisława Wyspiańskiego w Łodzi – za niezwykle zaangażowanie w pracy z młodzieżą i świetne wyniki w olimpiadach fizycznych i **mgr Jadwiga Poznańska** – nauczycielka z Gimnazjum nr 142 im. R. Szumana w Warszawie – za współautorstwo nowatorskiego kompletu podręcznika do gimnazjum i włączenie elementów ekologii do nauczania fizyki.

Nagrodę PTF III stopnia otrzymała **mgr Krystyna Glanc** – nauczycielka z II Liceum Ogólnokształcącego im. K.K. Baczyńskiego w Koninie – za prowadzenie ciekawych form w pracy z uczniem zdolnym.

Wyróżnienia otrzymali: **dr Aneta Mika** – nauczycielka z Liceum Ogólnokształcącego nr 6 w Szczecinie – za oryginalne pomysły zainteresowania uczniów fizyką i **mgr Dobromiła Nowak-Szczepaniak** – nauczycielka z Zespołu Szkół nr 18 we Wrocławiu – za twórczą i skuteczną pracę z młodzieżą.

Uroczyste wręczenie nagród odbyło się 9 grudnia 2006 r. w Nowej Auli Wydziału Fizyki UW (Warszawa, ul. Hoża 69) podczas Zebrania Plenarnego Zarządu Głównego PTF.



Borowice – XVII Jesienna Szkoła „Problemy Dydaktyki Fizyki”

Urszula Mięśok

Gimnazjum im. O. M. Tomaszka w Pieńsku

Tego roku Jesienna Szkoła „Problemy Dydaktyki Fizyki” odbyła się, nie jak zwykle, od poniedziałku do piątku, ale od soboty do środy (4–8 listopada). Piszę o tym dlatego, że większość z nas, nauczycieli, ze szkoły „biegiem” docierała na miejsce w Borowicach, a po zakończeniu Szkoły już następnego dnia byliśmy na swoich miejscach w pracy.

Siedemnasty już raz spotkali się dydaktycy fizyki: ci, którzy uczą lub uczyli nas, nauczycieli, i nauczyciele. Przed Szkołą zgłosiło się około 70 osób, a później jeszcze przybywali niezarejestrowani uczestnicy.

Główny temat tegorocznej Jesiennej Szkoły „PDF” to: „Szkolna fizyka w zmieniającym się świecie – w poszukiwaniu nowego standardu nauczania”, a jest to temat bardzo ważny dla nauczycieli fizyki, ponieważ wielu z nas przestaje uczyć tego przedmiotu, a tylko przygotowuje do egzaminów gimnazjalnych czy też maturalnych.

Szkoła została zorganizowana przez: Instytut Kształcenia Ustawicznego Nauczycieli i Studiów Edukacyjnych DSWE TWP we Wrocławiu, Instytut Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Wrocławskiego, OSI CompuTrain w Warszawie, Centrum Nowych Technologii Akademickich we Wrocławiu, przy współpracy niezależnego TKO – grupującego najaktywniejszych nauczycieli fizyki. Wyjaśniam, że TKO to Tajny Komitet Organizacyjny, który ujawnił się podczas Uroczystej Sesji Wieczornej.

Dzięki wysiłkom organizatorów nauczyciele wybierający się do Borowic na XVII Jesienną Szkołę „Problemy Dydaktyki Fizyki” mogli liczyć na dofinansowanie. Warunkiem uzyskania tego dofinansowania było aktywne uczestniczenie w pracach Szkoły. Oznaczało to, że należy przyjechać z jakimiś materiałami, zgłosić wystąpienie i być bardzo aktywnym podczas wszystkich zajęć. A warto, bo prace Szkoły są inspirujące, a poza tym wymiana doświadczeń z koleżankami i kolegami fizykami z różnych zakątków naszego kraju to bogactwo, którego w inny sposób nie da się zdobyć.

Program Szkoły (<http://borowice2006.dswe.pl>), jak zawsze, był ciekawy i bardzo bogaty. Trudno byłoby opisać wszystko, co się działo i o czym rozmawialiśmy.

Wrocławianie: Sylwia Dużiak i Tomek Greczyło przeprowadzili bardzo ciekawe warsztaty „Eksperyment szkolny”, podczas których wykonywaliśmy proste

doświadczenia bez specjalistycznych przyrządów. Prowadzący zaintrygowali nas przygotowanymi do tych warsztatów ciałami fizycznymi. A były to: żelatyna spożywcza i jarzyny. Z zastygniętej żelatyny wycinaliśmy soczewki i pryzmaty, aby badać przejście światła przez te bryły, i faktycznie można było zaobserwować załamanie światła, nawet zaobserwować ogniska; gorzej było z rozszczepieniem. Wyznaczaliśmy: gęstość selera, współczynnik tarcia buraka o deskę, badaliśmy sprężystość marchewki i zastanawialiśmy się ile małych papryczek potrzeba do zbudowania tratwy. Grupy wykonujące swoje zadania, podsumowując doświadczenie, miały zbudować karty pracy. Tak wiele można było zrobić, zainteresować ucznia prostotą fizyki używając linijki, cienkich patyczków, nitki itp.

Będąc w polskich Borowicach, oglądaliśmy dzieńne (u nas była noc) niebo w Arizonie. A to za sprawą Internetu. Zautomatyzowany teleskop w Queen Creek w Arizonie pozwala sterować sobą przez Internet, a uczestnicy Szkoły sterowali tym teleskopem z ogromną przyjemnością. Skoro nam się to podobało jak dzieciom, to dzieciom (naszym uczniom) spodoba się jeszcze bardziej.

Ciekawe, a może nawet zaskakujące, były warsztaty prowadzone przez dwie polonistki: Kornelię Rybicką i Beatę Udzik oraz dwóch fizyków: Staszków Plebańskiego i Jakubowicza. Temat tych warsztatów to „Komplementarność wiedzy nazewniczej, wyjaśniającej i interpretacyjnej”. Zaczęło się od wyjaśnienia budowy płatka śniegu według Orhana Pamuka, a później przeszliśmy do spraw *wykorzystywania* fizyki w literaturze. Niektórzy z nas byli zaskoczeni „poprawnością fizyczną” w poezji, inni uważali, że takie zajęcia z uczniami są konieczne, jeszcze inni stwierdzili, że dla fizyków to nie jest nowość, bo my to robimy. No cóż, nie analizujemy wierszy, tak jak to robią poloniści, ale wykorzystujemy je w różnych sytuacjach podczas lekcji fizyki i robimy to dosyć często. M. Baster-Grzaślewicz stwierdziła: „Dla fizyków i humanistów tego rodzaju spotkania byłyby zapewne inspirujące. Wzbogacanie się nawzajem poprzez różnorodność widzenia świata jest ogromną wartością, o którą powinniśmy wspólnie dbać”. Te warsztaty wzbudziły dużo dyskusji, nawet po ich zakończeniu, a temat wracał do końca Szkoły.

Warsztaty „Analiza zadań maturalnych. Szkolne pytania. Szkolne zadania. Sztuka oceniania” były niezwykle burzliwe, ponieważ ich temat dotyczył większości „bolączek” nauczycieli fizyki ze szkół średnich i z gimnazjów. Mieliśmy dużo spraw do omówienia, bo treści zadań i ich ocenianie budzą ogromne kontrowersje. W większości przypadków mieliśmy to samo zdanie. Lecz czy ktoś nas, nauczycieli, pyta, co jest złe, co należałoby zmienić, jak można poprawić niezadowalającą sytuację?

Jak zawsze, podczas Jesiennej Szkoły dużo i ciekawie się działo. Wspomnę jeszcze, że Uroczysta Sesja Wieczorna obfitowała w piosenki, skecze i, oczywiście, kuplety. Zwiedziliśmy kopalnię uranu w Kowarach, Witek Polesiuk przywiózł kilka przedwojennych pomocy naukowych i zaprosił do Wałbrzycha, gdzie można obejrzeć cały zbiór. Tradycyjnie ukazywał się *Biuletyn Informacyjny* i po-

jawili się wśród nas przedstawiciele wydawnictw: WSiP oraz ZamKor. Przedstawiciele ZamKor-u przywieźli z sobą *Fotony*, a jeden z uczestników napisał do borowickiej gazetki: „Jak zwykle byłem zachwycony *Fotonem* (dziękuję Pani Zofii Gołąb-Meyer za to, iż trwa na posterunku)”.

Przyłączam się do powyższych podziękowań i w imieniu uczestników Szkoły dziękuję też naszemu PIERWSZEMU S. Jakubowiczowi za trwanie na posterunku.

Zdjęcia z krótkimi informacjami na stronie http://draco.uni.opole.pl/moja_fizyka/



Uczestnicy XVII Jesiennej Szkoły Fizyki, Borowice 2006



Witek Polesiuk i sprawne przyrządy przedwojenne



Nauki ścisłe i przyjemne

Urszula Woźnikowska-Bezak

Pałac Młodzieży im. Prof. A. Kamińskiego w Katowicach

Zajęcia z przedmiotów ścisłych prowadzi w Pałacu Młodzieży w Katowicach Dział Nauk Matematyczno-Przyrodniczych, wspierany przez Stowarzyszenie z Nauką w Przyszłość, powstałe w 1999 roku. W zajęciach uczestniczy młodzież starszych klas szkoły podstawowej, gimnazjaliści i licealiści, a także studenci.

Baza materialna i kadra

W ciągu 30 lat istnienia działu Nauk Matematyczno-Przyrodniczych powstały nowoczesne pracownie, laboratoria z matematyki, fizyki, chemii, biologii, informatyki oraz Centrum Edukacji Ekologicznej. Dzięki temu można zapewnić doskonałe warunki pracy w wybranych grupach.

Dla sprawnej realizacji procesu dydaktycznego Pałac Młodzieży ciągle modernizuje pracownie-laboratoria, które są wyposażone w urządzenia multimedialne. Nowoczesne laboratoria kształtują swój wygląd w wyniku ożywionej działalności naukowej i współpracy krajowej i zagranicznej. Znakomicie funkcjonuje Internet. Sala audiowizualna i korytarze II piętra Pałacu Młodzieży stanowią miejsce wielu ważnych wydarzeń: wystaw plakatów, konferencji, konkursów, turniejów krajowych i międzynarodowych, uroczystości działowych, stając się wizytówką i symbolem Pałacu Młodzieży i Stowarzyszenia „Z Nauką w Przyszłość”.

Rozwój zainteresowań młodzieży osiągnany jest dzięki posiadaniu przez nauczycieli aktualnej wiedzy z zakresu wybranej dziedziny nauki oraz bogatego warsztatu zawodowego (m.in. umiejętności projektowania zajęć edukacyjnych, wyszukiwania i tworzenia środków dydaktycznych – komputery, Internet, fizyka zabawek, modele naukowe, eksperymenty, ćwiczenia laboratoryjne, filmy dydaktyczne, warsztaty).

Konkursy

Dzięki Stowarzyszeniu pozyskiwane są środki na cenne inicjatywy służące popularyzacji nauki i jej upowszechnianiu, np.:

- Ogólnopolski Konkurs na Pracę z Fizyki Częstek Elementarnych
- Ogólnopolski Konkurs na Pracę Fizyka a Ekologia
- Ogólnopolski Turniej Młodych Fizyków
- Wojewódzki Drużynowy Turniej z Fizyki
- Wojewódzki Dwuosobowy Konkurs z Fizyki dla Gimnazjum
- Ogólnopolski Sejmik Matematyków
- Wojewódzki Konkurs „Nudna Matematyka”
- Regionalny Konkurs „Rozkosze Łamania Głowy”

- Wojewódzki Konkurs „Przygoda z Matematyką”
- Wojewódzki Konkurs „Bajkowe Zadania”
- Wojewódzki Konkurs „Młody Chemik”
- Wojewódzki Drużynowy Konkurs „Duety Chemiczne”
- Ogólnopolski Konkurs na Pracę z Chemii
- Wojewódzki Konkurs „Randka z Chemią”
- Wojewódzki Konkurs Informatyczny „CzwórPór”
- Wojewódzki Konkurs „Myszką Malowane”

Partnerzy

Stowarzyszenie „Z Nauką w Przyszłość” prowadzi intensywną współpracę naukową. Kontakty mają często charakter nieformalny, choć bardzo owocny; instytucje, z którymi współpracujemy otaczają opieką naukową konkursy i turnieje krajowe i międzynarodowe. Z ośrodków krajowych należy wymienić:

- Uniwersytet Śląski w Katowicach
- Politechnikę Śląską w Gliwicach
- Akademię Górniczo-Hutniczą w Krakowie
- Uniwersytet Jagielloński
- Narodowy Fundusz Gospodarki Wodnej i Ochrony Środowiska
- Wojewódzki Fundusz Gospodarki Wodnej i Ochrony Środowiska w Katowicach
- Urząd Marszałkowski

oraz

- inne działy Pałacu Młodzieży w Katowicach
- Centrum Edukacji Ekologicznej pracowni biologii Pałacu Młodzieży w Katowicach
- pracownię dekoratorską
- pracownię informacji
- pracownię dziennikarską

Inicjatywy

Poza konkursami stowarzyszenie podejmuje szereg dodatkowych inicjatyw dydaktycznych i naukowych:

- prowadzenie internetowego czasopisma „Fizyka a Przyroda”
- pokazy modeli naukowych w kategorii „Fizyka Zabawek” podczas Festiwalu Talentów i Niezwykłych Umiejętności Dzieci i Młodzieży oraz na Zjeździe Fizyków Polskich
- prowadzenie Objazdowego Laboratorium Naukowego
- zajęcia „Między zabawą a nauką”
- warsztaty z fizyki cząstek elementarnych „Hands on CERN”

- czwartkowe spotkania z nauką
- ogólnopolskie konkursy na pracę współorganizowane z:
 - Uniwersytetem Śląskim w Katowicach
 - Politechniką Śląską w Gliwicach
 - Akademią Górniczo-Hutniczą w Krakowie
 - Uniwersytetem Jagiellońskim
 - Narodowym Funduszem Gospodarki Wodnej i Ochrony Środowiska
 - Wojewódzkim Funduszem Gospodarki Wodnej i Ochrony Środowiska w Katowicach
 - Urzędem Marszałkowskim
 - Polskim Towarzystwem Fizycznym
- organizacja międzynarodowych spotkań naukowych związanych z Międzynarodową Konferencją Młodych Naukowców – uznanych międzynarodowych zawodów w dziedzinach matematyka, fizyka, informatyka i ekologia.

Twórcza młodzież

Młodzież Działu Nauk Matematyczno-Przyrodniczych Pałacu Młodzieży jest współuczestnikiem wielu działań i inicjatyw natury dydaktycznej, naukowej i organizacyjnej. Z inicjatywy naszych uczestników powstała Sekcja Młodych w Polskim Towarzystwie Fizycznym.

Grupy twórcze: Quark – w pracowni fizyki, Spinor’s – w pracowni matematyki, Grupa Inicjatyw Młodzieżowych w pracowni chemii oraz w pracowni biologii i informatyki skupiają młodzież bardzo zainteresowaną wybraną dziedziną nauki. Młodzież bierze udział w konkursach organizowanych przez Pałac Młodzieży w Katowicach oraz Stowarzyszenie „Z Nauką w Przyszłość”. Swoją rolę wyraża bardzo aktywnie, współuczestnicząc w organizacji festiwalu nauki oraz innych wydarzeń dotyczących popularyzacji nauki.

Aktualności Stowarzyszenia

W roku 2005 z okazji Światowego Roku Fizyki została zorganizowana XII Międzynarodowa Konferencja Młodych Naukowców. W konferencji wzięło udział 120 uczestników z 15 państw. Oprócz krajów Europy reprezentowane były: Stany Zjednoczone, Brazylia, Indonezja, Gruzja. Interesującym wydarzeniem były WARSZTATY prowadzone przez młodzież grupy twórczej Quark i „EuroPhysicsFun” z Danii.

Adres do korespondencji:

Urszula Woźnikowska-Bezak
Stowarzyszenie „Z Nauką w Przyszłość”
ul. Mikołowska 26
40-066 Katowice

www.pm.katowice.pl
e-mail: ula@pm.katowice.pl
tel. (0-32) 251 64 31 wew. 351
faks (0-32) 251 04 02



KOMUNIKAT

SuperNova Szkoła – projekt Faulkes Telescopes Halics

*Beata Grudzińska
Koordynator projektu*

Projekt Faulkes Telescopes Halics jest realizowany przez British Council oraz partnerów, to jest Centrum Fizyki Teoretycznej PAN oraz portal Astronomia.pl, od września 2005 roku. Celem projektu jest umożliwienie polskim szkołom dostępu do zdalnie sterowanych, największych na świecie teleskopów przeznaczonych do celów edukacyjnych. Obecnie istnieją dwa takie teleskopy, jeden znajduje się na Hawajach, a drugi w Australii. Polskie szkoły, dzięki projektowi British Council, jako drugie na świecie po szkołach brytyjskich mają dostęp do tych bardzo zaawansowanych technologicznie urządzeń. W pierwszym roku funkcjonowania projektu w Polsce uczestniczyły w nim 4 szkoły średnie oraz 2 obserwatoria astronomiczne. Projekt rozwija się w bardzo satysfakcjonujący dla nas sposób i dlatego zdecydowaliśmy się zwiększyć liczbę szkół oraz obserwatoriów biorących w nim udział. Chcemy, aby kolejne szkoły dołączyły do projektu, biorąc udział w konkursie.

Szczegóły konkursu, zatytułowanego SuperNova Szkoła, znajdują się na specjalnym portalu konkursowym www.supernovaszkoła.astronomia.pl. W projekcie mogą wziąć udział szkoły posiadające salę komputerową oraz dostęp do Internetu (nie musi to być Internet o bardzo dużej szybkości). Udział w projekcie gwarantuje szkołom dostęp do teleskopów, uczestnictwo w szkoleniach, pomoc w nawiązywaniu kontaktów z innymi szkołami uczestniczącymi w projekcie, zarówno w kraju jak i za granicą, dostarczanie materiałów pomocniczych pozwalających na efektywne wykorzystywanie teleskopów nie tylko do obserwacji nieba, lecz także do poszerzania znajomości języka angielskiego, nauki matematyki, technologii oraz pracy z komputerem.

Chcielibyśmy, aby informacja o konkursie dotarła do jak największej liczby szkół średnich w Polsce.

Beata.Grudzinska@britishcouncil.pl



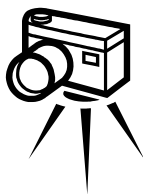
V Ogólnopolski konkurs fizyczno-fotograficzny „Zjawiska fizyczne wokół nas”

*Koło młodych fizyków
przy Młodzieżowym Domu Kultury w Wieluniu*

Dla uczniów z gimnazjów i szkół ponadgimnazjalnych

Organizatorzy konkursu:

- Starosta Wieluński
- Młodzieżowy Dom Kultury („Domek Harcerza”) w Wieluniu
- Koło młodych fizyków przy MDK w Wieluniu



Oczekujemy na własnoręcznie wykonane zdjęcia kolorowe lub czarno-białe, poprawne technicznie, wyłącznie formatu 13x18 cm.

Na fotografie oczekiwać będziemy **do 26 maja 2007 roku.**

Rozstrzygnięcie konkursu nastąpi **do 9 czerwca 2007 roku.**

Informacji o konkursie udziela i prace przyjmuje:
Sekretariat MDK, ul. 3 Maja 29, 98-300 Wieluń
tel. (043) 843-87-80
e-mail: mdkwielun@wp.pl

Historia fizyki jakiej jeszcze nie było!

