

# Foton

107  
Zima  
2009

Pismo dla nauczycieli i studentów fizyki oraz uczniów

INSTYTUT FIZYKI ✕ UNIWERSYTET JAGIELLOŃSKI  
SEKCJA NAUCZYCIELSKA POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO

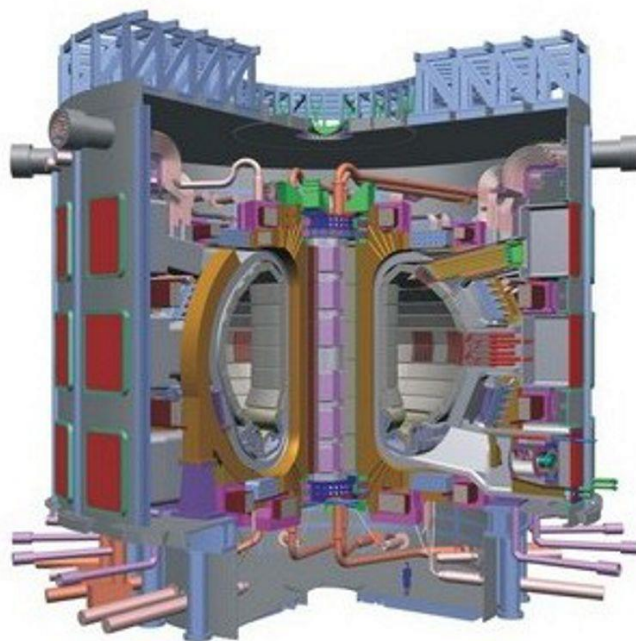


Foto: <http://ec.europa.eu>

Fuzja - kawałek Słońca na Ziemi  
Kiedy eksploduje Betelgeza?  
Nobel 2009 za detektory CCD  
Materiały odblaskowe

**Uczestnicy III undergroundowej konferencji dydaktyki fizyki  
Borowice w Kudowie 2009**



Od lewej stoją: Grzegorz Sęk, Ewa Kurek, Wojciech Małecki, Aneta Szczygielska, Witold Polesiuk, Andrzej Rolewicz, Agata Galińska, Stanisław Jakubowicz, Stanisław Bednarek, Dorota Szafrąńska, Iwona Bronowicka, Bogdan Brożek, Zofia Gołąb-Meyer, Tomasz Greczyło, Agnieszka Drzazgowska, Ludwik Lehman. Od lewej siedzą: Józefa Więckowska, Dobromiła Szczepaniak, Danuta Latos, Małgorzata Masłowska, Maria Rut-Marcinkowska



## Nie traćmy szansy w szkole podstawowej

Poznałam młodego, zdolnego studenta politechniki, który dostał i wykorzystał szansę odbycia studiów podyplomowych na renomowanej uczelni angielskiej. Na trudnym kierunku, związanym z nowymi technologiami, było zaledwie dwanaścioro studentów, w tym ani jednego Anglika. W całej Europie obserwuje się zmniejszającą się liczbę chętnych do podejmowania wyzwania i trudu niełatwych przecież studiów technicznych. Panuje opinia, że znacznie łatwiejsza droga do krainy szczęśliwości wiedzie inaczej. Przyczyn tego stanu rzeczy jest kilka. Jeden z powodów tkwi w szkole, w której zapanował terror hasła „łatwo i przyjemnie dla każdego”. W rezultacie zaczynamy uczyć fizyki zbyt późno (gimnazjum) i kończymy zbyt wcześnie (po pierwszej klasie liceum). Do tego fizyka jest źle uczona. Pomniejszamy w ten sposób dramatycznie pulę osób, z których mogą rekrutować się kandydaci na studia techniczne. I nie chodzi tu o wiedzę, którą posiadają, a raczej nie posiadają, absolwenci szkół, lecz o nabycie kultury i nawyków myślenia, zaprawienia w trudzie myślenia i rozwiązywania problemów. Zapominamy, że obecnie kończą szkołę dziewiętnastolatki, ludzie dorośli, o uformowanych umysłach. Braki wiedzy można ewentualnie uzupełnić (repetytoria na studiach), gorzej z kulturą matematyczną. Matematyka na maturze to krok w dobrą stronę.

Poprawę sytuacji trzeba jednak rozpocząć od dzieci, od powrotu pełnoprawnej fizyki uczonej przez fachowców w szkole podstawowej (niechby w ramach przyrody). A może tak gimnazja zaczną organizować kółka dla uczniów szkół podstawowych? W końcu, jeśli przystoi Uniwersytetowi Jagiellońskiemu wpuścić w swoje mury dzieciarnię, to tym bardziej przystoi uczelniom typu gimnazja i licea.

Jubileuszowy XL Zjazd Fizyków Polskich poświęcił dużo uwagi nauczaniu fizyki. W tym zeszycie zaczynamy publikować materiały pozjazdowe dotyczące tego tematu.

Jak zwykle, przedstawiamy ofertę ciekawych artykułów dotyczących najnowszych dziedzin (fuzja, Nobel 2009, wybuchy supernowych), jak i o tym, do czego służą „odblaski”.

Zapraszamy do lektury.



Naszym Czytelnikom składamy Życzenia Wesołych Świąt i bardzo udanego Roku 2010, oczywiście z *Fotonem*.

Z.G-M



## Contents

Lost chances in elementary schools <i>Zofia Gołąb-Meyer</i> .....	1
Fusion – a piece of Sun on Earth <i>M. Lisak, J. Zalesny, A. Galkowski, S. Marczyński, P. Berczyński</i> .....	4
When will the star Betelgeuse explode? <i>Andrzej Odrzywolek</i> .....	15
Nobel Prize in Physics 2009 – CCD detectors <i>Wojciech Gawlik</i> .....	20
What can retroreflectors be used for <i>Katarzyna Cieślak</i> .....	23
Moments of inertia without integrating <i>Witold Zawadzki</i> .....	32
Physics Simulations – Effective and Engaging Teaching Tools by PhET <i>Andrzej Sokółowski</i> .....	43
Metal detector – do it yourself <i>Katarzyna Cieślak</i> .....	48
Problems. Noises from the cave (15). On the shoulders of giants <i>Adam Smólski</i> .....	55
<i>Quo vadis Physica Poloniae</i> <i>Zofia Gołąb-Meyer</i> .....	57
Comments on the 40 <sup>th</sup> Polish Physicists Convention 2009 <i>Edward Rydygier</i> .....	61
Letter of Polish Physicists to the Ministry of Education .....	68
Deans and Directors of Institutes of Physics on the status of the Physics Olympiad .....	70
Chronicle. Problems in Didactics of Physics – Borowice in Kudowa 2009.....	71
Humor from the students notebooks 2009 <i>Danuta Latos</i> .....	73
„Crazy” students popularize physics in schools <i>Piotr J. Kucharski, Konrad P. Nesteruk</i> .....	75
Announcement. European Project Xperimania .....	78
Announcement. First Step to Nobel Prize in Physics .....	79
Polish-Ukrainian Contest – Young Lion Competition 2009.....	80
Contest for an extraordinary physics lesson <i>Małgorzata Kowalczevska</i> .....	81
Report from the meeting of Science Teachers <i>Małgorzata Kowalczevska</i> .....	82
Schrödinger Equation in Poetry.....	83



## Spis treści

Nie traćmy szansy w szkole podstawowej <i>Zofia Gołąb-Meyer</i> .....	1
Fuzja – kawałek Słońca na Ziemi <i>M. Lisak, J. Zaleśny, A. Gałkowski, S. Marczyński, P. Berczyński</i> .....	4
Kiedy eksploduje Betelgeza? (Betelgeuse) <i>Andrzej Odrzywołek</i> .....	15
Nobel 2009 z fizyki – detektory CCD <i>Wojciech Gawlik</i> .....	20
O tym, do czego służą „odblaski” <i>Katarzyna Cieślar</i> .....	23
Momenty bezwładności bez całek <i>Witold Zawadzki</i> .....	32
Symulacje fizyczne jako efektywna pomoc dydaktyczna <i>Andrzej Sokołowski</i> .....	43
Zrób to sam – wykrywacz metalu <i>Katarzyna Cieślar</i> .....	48
Odgłosy z jaskini (15). Na ramionach olbrzymów <i>Adam Smólski</i> .....	55
<i>Quo vadis</i> polska fizyko – fizyk polski w przyszłości <i>Zofia Gołąb-Meyer</i> .....	57
Refleksje pozjazdowe <i>Edward Rydygier</i> .....	61
Odezwa uczestników XL Zjazdu Fizyków Polskich do MEN i odpowiedź ministerstwa .....	68
Stanowisko Forum Dziekanów Wydziałów Fizyki i Dyrektorów Instytutów Fizyki w sprawie Olimpiady Fizycznej .....	70
Kronika. Borowice w Kudowie 2009 .....	71
Popisy Intelktualne Moich Pupilków 2009 <i>Danuta Latos</i> .....	73
„Zakręcenii” – popularyzacja fizyki okiem SPIN-u <i>Piotr J. Kucharski, Konrad P. Nesteruk</i> .....	75
Komunikat. Przygotuj się na przybycie ambasadorów nauki w ramach Projektu Xperimania.....	78
Komunikat. First Step to Nobel Prize in Physics.....	79
Polsko-Ukraiński Konkurs Fizyczny „Lwiątko 2010” .....	80
Wystrzałowa lekcja – konkurs dla nauczycieli <i>Małgorzata Kowalczevska</i> .....	81
Nauczyciele też się uczą <i>Małgorzata Kowalczevska</i> .....	82
Równanie Schrödingera w poezji .....	83



## Fuzja – kawałek Słońca na Ziemi

M. Lisak<sup>1</sup>, J. Zaleśny<sup>2</sup>, A. Galkowski<sup>2</sup>,  
S. Marczyński<sup>3</sup>, P. Berczyński<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Uniwersytet Technologiczny Chalmers, Göteborg, Szwecja  
<sup>2</sup>Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy, Warszawa  
<sup>3</sup>Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin

### Streszczenie

Fuzja termojądrowa jest źródłem energii Słońca i gwiazd. Wykorzystanie reakcji termojądrowych jako pożytecznego źródła energii na Ziemi jest wyzwaniem dla naukowców i inżynierów od wielu lat. Jesteśmy obecnie świadkami narodzin nowej technologii, umożliwiającej stworzenie praktycznie nieograniczonego i bezpiecznego źródła energii dla zaspokojenia potrzeb energetycznych ludzkości.

### Wstęp

W procesach syntezy termojądrowej zachodzącej we wnętrzach gwiazd uwalniane są ogromne ilości energii. Energia wytwarzana we wnętrzu naszej gwiazdy – Słońca – od miliardów lat dociera w postaci promieniowania do Ziemi, gdzie ulega przetworzeniu w wyniku skomplikowanych procesów fizycznych, chemicznych i geologicznych w inne formy energii. Od czasów, gdy na Ziemi powstało życie, w przetwarzanie słonecznej energii włączyły się także procesy biologiczne. Przetworzona energia słoneczna kumulowała się m.in. w postaci paliw kopalnych, bez których nie może dziś funkcjonować nasza cywilizacja. Wlewając benzynę do baku samochodu raczej nie zaprzątamy sobie głowy myślą, że choć pośrednio, to korzystamy w istocie z termojądrowej energii Słońca. Paliwa kopalne wykorzystujemy jednak w tempie nieporównanie szybszym, niż one powstawały. W przyszłości prawdopodobnie już nie tak odległej (szacowanej na kilkadziesiąt lat) nastąpi moment, gdy paliwa kopalne wyczerpią się. Jaki będzie więc świat naszych dzieci i wnuków? Czy będzie to świat kryzysu energetycznego i koniec cywilizacji w formie, jaką obecnie znamy? Zależy to w dużej mierze od tego, czy do tego krytycznego momentu my, jako ludzkość, opanujemy proces kontrolowanej syntezy termojądrowej. Elektrownia termojądrowa stanowiłaby małą „kawałek Słońca na Ziemi”, uwalniając nas od zależności od paliw kopalnych. Podkreślić też trzeba, że w przeciwieństwie do większości obecnych technologii pozyskiwania energii, technologie energetyki termojądrowej będą „czyste”, tzn. bezpieczne dla człowieka i jego naturalnego środowiska. Wynika to po prostu z fizyki procesów zachodzących w tokamakach i stellaratorach – urządzeniach do otrzymywania energii termojądrowej w sposób kontrolowany. (Międzynarodowe słowo *tokamak* jest akronimem pochodzącym z języka rosyjskiego od słów „toroidalna komora magnetyczna”, zaś słowo *stellarator* utworzono od łacińskiego słowa *stella* – gwiazda. Poniżej często podajemy angielską wersję danego terminu, gdyż język ten stał się obec-

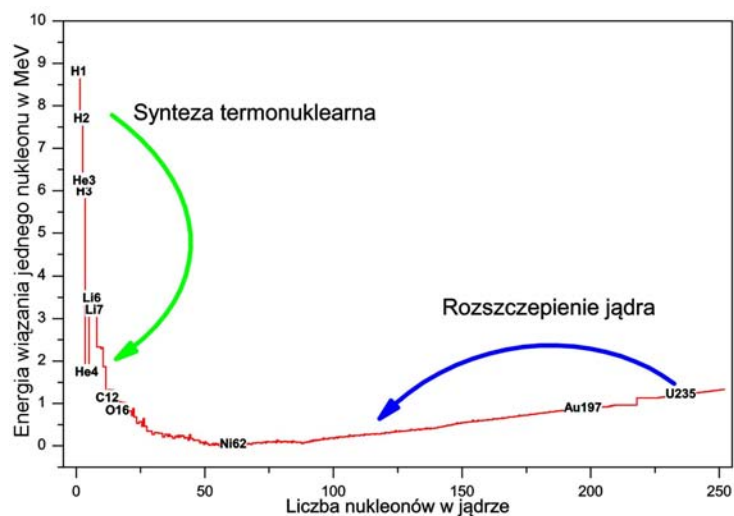
nie językiem nauki.) Fuzja termojądrowa, reakcja termojądrowa, synteza termojądrowa, fuzja jądrowa (nazwy te często używane są zamiennie) – polega na tym, że jądra atomowe lżejszych pierwiastków (np. wodoru lub izotopów wodoru) łączą się (stąd słowo – *fuzja*, ang. *fusion*) tworząc cięższe jądra atomowe (np. jądra helu, ang. *helium*). We wnętrzu Słońca proces ten zachodzi w ekstremalnie wysokiej temperaturze i pod ogromnym ciśnieniem (właśnie dzięki tej wysokiej temperaturze w nazwie pojawia się często przedrostek *termo*). Paliwem w reaktorach termojądrowych są izotopy wodoru, które można względnie łatwo i praktycznie w nieograniczony sposób pozyskiwać, np. z wody morskiej. Użycie jako paliwa deuteru (ang. *deuterium*) (jednego z izotopów wodoru) łącznie z pewną ilością innego pierwiastka – litu (ang. *lithium*) w celu pozyskiwania – trytu (ang. *tritium*) (innego ciężkiego izotopu wodoru) mogłoby dostarczyć energii wystarczającej na tysiące lat. Fuzja termojądrowa jest więc zasadniczo odmiennym procesem fizycznym niż reakcje rozszczepiania ciężkich jąder wykorzystywane do uzyskiwania energii w obecnych elektrowniach atomowych (reakcja rozszczepiania po angielsku zwie się *fission*). Elektrownie atomowe często określa się też mianem elektrowni jądrowych. Należy podkreślić, że mimo podobnych nazw elektrownie jądrowe i elektrownie termojądrowe to zasadniczo różne technologie oparte na całkowicie różnych procesach fizycznych. Od około 40 lat naukowcy pracują nad metodami opanowania kontrolowanego procesu syntezy termojądrowej w warunkach ziemskich. Intensywne prace rozpoczęły się w końcu lat 70. Przyświeca im wizja otrzymania taniej i bezpiecznej energii. Okazało się to jednak trudnym i długodystansowym zadaniem. Niezaprzeczalne korzyści, jakie jednak mogą być osiągnięte w przypadku opanowania fuzji, takie jak uzyskanie bezpiecznego dla środowiska naturalnego i praktycznie „wiecznego” źródła energii, zlikwidowanie widma kryzysu energetycznego, uniezależnienie się od dostawców paliw kopalnych, a zatem wzrost energetycznego bezpieczeństwa narodowego powodują, że program rozwoju badań i technologii w celu opanowania fuzji termojądrowej jest ważnym, choć o długofalowej perspektywie, składnikiem strategii energetycznej wielu państw oraz Unii Europejskiej.

Zakończone sukcesem pozyskiwanie energii z fuzji termojądrowej na skalę przemysłową (bardzo prawdopodobne w połowie bieżącego stulecia) zmieni zasadniczo sposób zaopatrywania społeczeństw w energię elektryczną. Elektrownie termojądrowe zastąpią obecne elektrownie jądrowe oparte na rozszczepianiu jąder ciężkich pierwiastków (takich jak np. uran) oraz elektrownie oparte na spalaniu paliw kopalnych. Bezpieczeństwo elektrowni opartych na fuzji wynika m.in. stąd, że jednorazowo znajduje się w nich bardzo mała ilość paliwa termojądrowego. Eliminuje to możliwość powstania procesów prowadzących do katastrof. Podczas procesu syntezy uwalniane są wprawdzie neutrony, które mogą powodować aktywację materiałów użytych do budowy reaktora. Nie jest to jednak problem tego samego rzędu, co kłopoty z odpadami promieniotwórczymi.

czymi w elektrowniach opartych na rozszczepieniu i można go zminimalizować poprzez właściwy dobór materiałów do budowy reaktora termojądrowego.

### Podstawy

W procesie fuzji dwa lżejsze jądra atomowe „zlewają się” w jedno cięższe jądro atomowe. Okazuje się przy tym, że końcowa masa utworzonego cięższego jądra jest mniejsza niż suma mas lżejszych jąder przed reakcją. Ten „defekt masy” (różnica masy końcowej i sumy mas początkowych) odpowiedzialny jest za „powstawanie” energii w procesie fuzji termojądrowej. Następuje „zamiana masy na energię”. Mówiąc dokładniej, defektowi masy  $m$  odpowiada uwolnienie energii  $E$  w ilości opisanej sławnym wzorem Einsteina  $E = mc^2$ , gdzie  $c$  jest prędkością światła w próżni. Ze względu na olbrzymią wartość  $c$  równą  $3 \cdot 10^8$  m/s nawet małe defekty masy prowadzą do uzyskania dużych ilości energii. Defekt masy wynika z uwzględnienia energii wiązania (ang. *binding energy*) lżejszych jąder w nowo utworzonym cięższym jądrze. Zależność energii wiązania od liczby nukleonów (protonów lub neutronów) w jądrze przedstawia rys. 1.

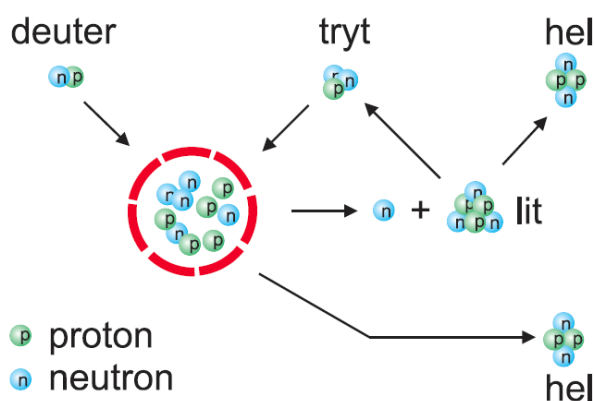


Rys. 1. Energia wiązania nukleonu w różnych jądrach atomowych. Na osi pionowej podano energię wiązania nukleonu; na osi poziomej liczbę nukleonów w jądrze

Najbardziej wydajną reakcją jest reakcja pomiędzy deuterem D (1 proton i 1 neutron) oraz trytem T (1 proton i 2 neutrony) – dwoma izotopami wodoru (1 proton) (patrz rys. 2). Zasadniczym produktem reakcji jest jądro helu. Oprócz niego powstają również neutrony oraz duże ilości uwolnionej energii. Jeden gram paliwa trytowo-deuterowego w elektrowni termojądrowej mógłby dostarczyć 90 tysięcy kilowatogodzin energii – odpowiada to spaleniu 11 ton węgla w klasycznej elektrowni. Paliwo dla fuzji jest tanie i jednorodnie rozmieszczone



na Ziemi. Woda morska zawiera deuter w praktycznie niewyczerpalnych ilościach. Tryt, który jest radioaktywnym gazem o krótkim czasie połowicznego rozpadu – 12,3 roku, nie występuje w naturze na Ziemi. Może jednak być wytwarzany w elektrowni fuzyjnej z litu, który obficie występuje na Ziemi w ilościach wystarczających dla zapewnienia pracy elektrowni na setki lat. Innymi możliwościami rozpatrywanymi do wykorzystania w elektrowniach opartych na syntezie termojądrowej są reakcje deuteru z deuterem D-D oraz deuteru z izotopem helu D- $^3\text{He}$ .



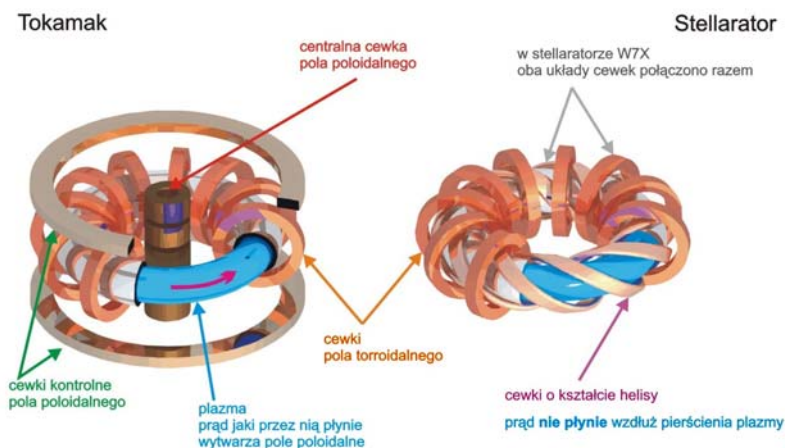
Rys. 2. Reakcja syntezy jądrowej deuteru z trytem

Większość energii uwolnionej w reakcjach fuzji unoszona jest przez szybkie neutrony, pozostała przez cząstki alfa (tzn. jądra helu  $^4\text{He}$ ). Płaszcz otaczający reaktor fuzyjny spowolnia neutrony, zamieniając ich energię na ciepło. Uzyskane ciepło może być użyte do generacji elektryczności w konwencjonalny sposób, np. w turbinie parowej. Fuzja (łączenie się jąder atomowych) może zajść tylko wówczas, gdy jądra znajdują się blisko siebie. Jądra atomowe mają jednak elektryczny ładunek dodatni i dlatego odpychają się siłami elektrycznymi. Konieczne jest więc podgrzanie gazowego paliwa do tak wysokiej temperatury, aby podczas zderzeń jądra miały wystarczającą energię kinetyczną, by przewyciężyć elektryczne odpychanie i zbliżyć się na odległość umożliwiającą łączenie się lżejszych jąder w cięższe. Podczas ogrzewania paliwa atomy gazu jonizują się, tzn. tracą elektrony otaczające jądra atomowe. Powstaje mieszanina dodatnio naładowanych jąder i ujemnie naładowanych elektronów zwana – dla odróżnienia od niezjonizowanego gazu – *plazmą*. Plazma, choć makroskopowo obojętna elektrycznie (ponieważ zawiera równe ilości ładunków dodatnich i ujemnych) zachowuje się bardzo odmiennie od zwykłego gazu. Plazma nazywana jest czasem czwartym stanem materii. To określenie pochodzi stąd, że jak wiadomo, wzrost temperatury powoduje przechodzenie substancji ze stanu stałego najpierw w ciecz, potem w gaz, a następnie w plazmę. Reakcje syntezy

termojądrowej zachodzą w plazmie. Plazmę charakteryzuje długozasięgowe elektryczne (tzw. kulombowskie) oddziaływanie tworzących ją cząstek, co jest przyczyną wielu zjawisk kolektywnych, niespotykanych w niezjonizowanym gazie. Mimo, że w ziemskich warunkach plazma jest raczej wyjątkowym stanem materii (błyskawice, świetlówki, ekrany telewizorów plazmowych), to według niektórych szacunków aż 99% obserwowanej materii we Wszechświecie występuje w postaci plazmy (nie uwzględnia się w tych szacunkach tajemniczej „ciemnej materii” – dającej znać o swoim istnieniu tylko przez grawitację, ani jeszcze bardziej tajemniczej „ciemnej energii” – jak na razie potrzebnej tylko kosmologom). Zachowanie plazmy jest tak ciekawe, różnorodne, pełne „efektów nieliniowych”, czasem nieoczekiwane (zwłaszcza w obecności pól magnetycznych), że *fizyka plazmy* wyodrębniła się w samodzielny kierunek badań o znaczeniu zarówno utylitarnym, jak i podstawowym.

### **Magnetyczne uwięzienie plazmy**

Aby proces syntezy termojądrowej zachodził wystarczająco efektywnie, należy podgrzać plazmę do temperatury ponad 100 milionów stopni i utrzymywać ją w tym stanie na tyle długo, by znacząca liczba jąder izotopów wodoru uczestniczyła w reakcjach. Oczywiście w przypadku tak gorącej plazmy „naczynie” utrzymujące plazmę musi być dość nietypowe. Żadne materiały nie wytrzymałyby takiej temperatury, gdyż same zamieniłyby się w plazmę. Plazma jest jednak mieszaniną elektrycznie naładowanych cząstek, a takie cząstki podlegają wpływowi pola magnetycznego. Pole magnetyczne można zatem wykorzystać do kontrolowania i ograniczania plazmy. Naładowana cząstka porusza się po krzywej śrubowej nawijającej się wzdłuż kierunku linii pola magnetycznego. Aby więc utrzymać cząstki w ograniczonym obszarze przestrzeni linie pola magnetycznego muszą tworzyć zamknięte pętle. Pożądaną konfigurację pola magnetycznego można otrzymać zestawiając cewki wytwarzające pole magnetyczne w okrąg tak by utworzyły torus – powierzchnię podobną do nadmuchianej opony. Linie pola magnetycznego zamknięte są wewnątrz torusa. W takim prostym toroidalnym polu wiele cząstek jest jednak traconych na skutek występowania tzw. zjawiska dryfu (dodatkowej składowej prędkości cząstek prostopadłej do linii pola magnetycznego) spowodowanego gradientem i krzywizną pola. Rozwiązaniem kompensującym dryf cząstek jest zastosowanie dodatkowego tzw. poloidalnego pola magnetycznego. W tokamakach poloidalną składową pola generuje wzbudzany w plazmie przepływ prądu. W stellaratorach toroidalne i poloidalne pole uzyskuje się przez zastosowanie w specjalny sposób ukształtowanych cewek (ang. *helical coils*), rys. 3. W stellaratorach nie ma więc makroskopowego przepływu prądu elektrycznego w plazmie.



Rys. 3. Konfiguracje pola magnetycznego w tokamaku i stellaratorze

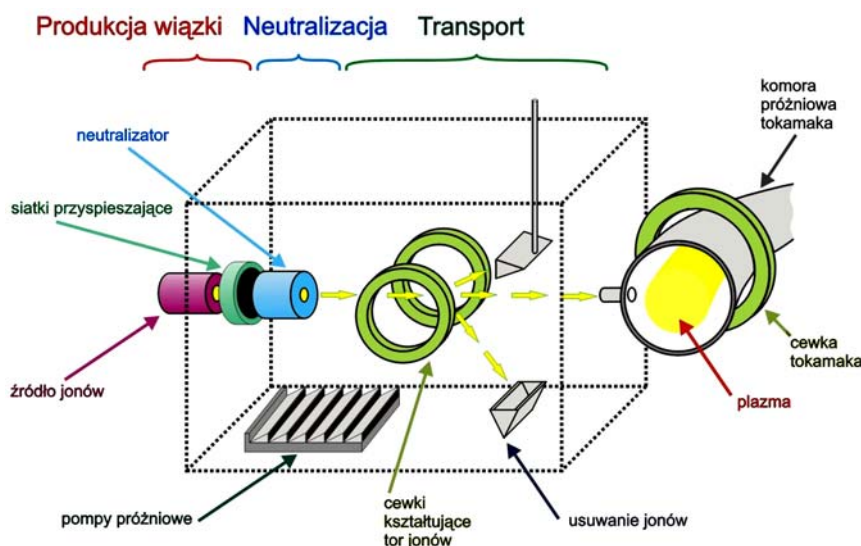
W obecnie realizowanych planach dotyczących rozwoju energetyki termojądrowej zdecydowano się na rozwiązania oparte głównie na tokamakach. Największym już istniejącym tokamakiem jest JET (ang. *Joint European Torus*). Większy promień jego komory plazmowej wynosi 2,96 m, mniejszy 1,25 m. Toroidalne pole magnetyczne ma wartość 3,5 T, a wzbudzany w plazmie prąd 7 MA. W tokamakach i stellaratorach mamy do czynienia z największym znanym nam gradientem temperatury we Wszechświecie. Od przeszło 100 milionów stopni w centralnej części komory do kilkuset stopni przy ściankach. Patrząc od centrum ku ścianom komory, do pierwszego kontaktu plazmy ze stałym materiałem dochodzi na tzw. limiterze (ang. *limiter* – ogranicznik). Limiter wykonany jest przeważnie z węgla. Musi on wytrzymać bombardowanie wysokoenergetycznymi cząstkami plazmy (jonów, neutronów, elektronów, a także promieniowania elektromagnetycznego). Wszystkie te czynniki rozgrzewają jego powierzchnię, niszczą ją (erodują), zanieczyszczając tym samym plazmę. W celu oczyszczenia plazmy stosuje się specjalną konfigurację pola magnetycznego zwaną dywertorem (ang. *divertor* – „odwracający kierunek”). W konfiguracji tej wewnętrzny obszar plazmy uwięziony jest przez pole magnetyczne, którego linie pola są zamknięte. Natomiast w obszarze zewnętrznym (bliższym ściankom) linie pola magnetycznego są otwarte. Granicę między tymi dwoma obszarami stanowi tzw. separatory (ang. *separatrix* utworzone od słowa *separate* – rozdzielać) – ostatnia powierzchnia utworzona z zamkniętych linii pola magnetycznego. Cząstki plazmy, przekraczające w wyniku dryfu separatory, kierowane są na tzw. płyty dywertora. Są one zazwyczaj odsunięte od plazmy dalej niż limiter. Plazma podczas podążania ku płytom – początkowo bardzo gorąca i o małej gęstości – wypromieniowuje część energii zanim osiągnie powierzchnię płyt dywertora. Dzięki temu ochładza się i zagęszcza. W ten sposób

minimalizowana jest energia przekazywana płytom dywertora, co w efekcie daje również mniejszą erozję płyt. Po neutralizacji cząstek plazmy na płytach dywertora powstały w ten sposób neutralny gaz oraz zanieczyszczenia zostają wypompowane z komory tokamaka.

### Grzanie plazmy

Niezbędnym warunkiem do przeprowadzenia syntezy jądrowej jest bardzo wysoka temperatura jonów. Wysoka temperatura oznacza dużą energię kinetyczną jonów. Energia ta musi być na tyle duża, aby podczas zderzeń jony znalazły się na tyle blisko siebie, by mimo wzajemnego elektrycznego odpychania mogło dojść do fuzji (gdy odległość między jonami jest mała, wzrasta prawdopodobieństwo połączenia jąder w wyniku tzw. efektu tunelowego).

Używa się kilku sposobów (technik) podgrzewania plazmy. Jedną z możliwości, typową w przypadku tokamaków, jest wykorzystanie prądów elektrycznych wytwarzanych w plazmie. Niedogodnością tej metody jest to, że opór elektryczny plazmy drastycznie spada w miarę jak plazma staje się coraz bardziej gorąca. Dlatego metoda ta ograniczona jest tylko do uzyskiwania temperatur rzędu 10 milionów stopni. Jest to jednak o rząd wielkości za mało, by uzyskać warunki odpowiednie dla fuzji. Inną możliwością jest użycie bardzo szybkich cząstek neutralnych, które zostają wstrzyknięte do plazmy. W plazmie cząstki te jonizują się i krążą setki razy dookoła torusa, spowalniane stopniowo w wyniku kolizji z cząstkami plazmy. Energia przekazana podczas tych kolizji rozgrzewa plazmę. Technika ta nazywa się z angielska NBI (ang. *Neutral Beam Injection*) i jest schematycznie przedstawiona na rys. 4.



Rys. 4. Grzanie plazmy techniką NBI

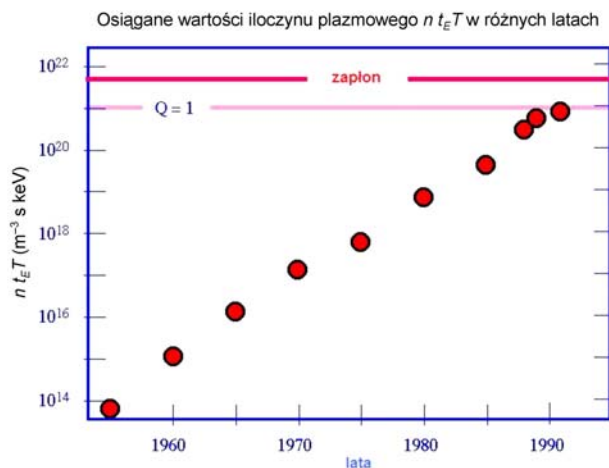
Trzecią metodą jest podgrzewanie plazmy za pomocą fal elektromagnetycznych. Fale elektromagnetyczne o pewnych dopasowanych częstościach są absorbowane przez cząstki plazmy, a przekazana im energia rozprawiana jest dalej wśród innych cząstek plazmy poprzez zderzenia. Warunkiem pochłaniania energii fali elektromagnetycznej przez cząstki plazmy jest zgodność częstości fali z częstością ruchu kołowego jonów i elektronów w polu magnetycznym. W tokamakach częstości ruchu kołowego jonów wynoszą od 10 do 100 MHz, a dużo niższych od nich elektronów od 60 do 150 GHz. Technikę tę określa się jako ECRH/ICRH (ang. *Electron / Ion Cyclotron Resonance Heating*).

### Warunki zapłonu plazmy

Współczynnik wzmocnienia  $Q$  definiuje się jako stosunek mocy wytworzonej w wyniku reakcji termojądrowych do całkowitej mocy dostarczonej z zewnątrz do grzania plazmy. Dwie wartości parametru  $Q$  mają szczególnie istotne znaczenie w badaniach nad kontrolowaną reakcją termojądrową. Pierwsza z nich to  $Q = 1$  oznaczająca osiągnięcie progu użyteczności reaktora (po angielsku stan ten określa się jako *break even* – czyli stan zrównowazony). Druga z wartości, tzw. próg zapłonu (ang. *ignition*) zostanie osiągnięta wówczas, gdy zewnętrzne systemy grzania zostaną wyłączone i ciepło pochodzące wyłącznie od reakcji termojądrowych będzie wystarczające, by utrzymać wysoką temperaturę potrzebną do podtrzymywania reakcji. Odpowiada to nieskończonej wartości  $Q$ . Warunkiem koniecznym do zapłonu i utrzymania reakcji syntezy w plazmie jest spełnienie warunku Lawsona, który podaje, że iloczyn utworzony z trzech liczb: gęstości jonów w plazmie  $n$ , czasu uwięzienia plazmy  $t_E$  oraz temperatury jonów  $T$  musi przewyższyć wartość  $50 \times 10^{20}$  keV/m<sup>3</sup>. Warunek ten jest spełniony np. dla gęstości jonów rzędu  $2-3 \times 10^{19}$  m<sup>-3</sup>, czasu uwięzienia rzędu 1-2 s oraz temperatury jonów rzędu 20 keV (równoważnie około 200 milionów stopni). Każda z tych wartości z osobna została już osiągnięta eksperymentalnie. Niestety nie wszystkie jednocześnie. Dlatego ich iloczyn nie spełnił jeszcze kryterium Lawsona. W ciągu ostatnich 40 lat iloczyn  $n t_E T$  wzrósł jednak około 10 000 razy! Najbardziej zbliżono się do kryterium Lawsona w tokamaku JET wykorzystywanym w ramach projektu Unii Europejskiej. Iloczyn gęstości, czasu i temperatury był tylko o czynnik 5 mniejszy od kryterium Lawsona. Postęp, jaki osiągnięto w ciągu tych 40 lat, został przedstawiony na wykresie obrazującym zależność iloczynu  $n t_E T$  od czasu, rys. 5. Wartość iloczynu wzrosła już na tyle, że przekroczono próg użyteczności (współczynnik wzmocnienia  $Q = 1$ , tzn. moc wytworzona w reaktorze przekroczyła moc dostarczoną z zewnątrz).

W reakcji deuteru z trytem (D-T) powstają naładowane elektrycznie cząstki alfa o energii 3,5 MeV. Są one „uwięzione” przez pole magnetyczne w tokamaku. Te wysokoenergetyczne (szybkie) cząstki alfa poprzez kolizje z pozostałymi cząstkami plazmy dodatkowo rozgrzewają plazmę. Grzanie spowodowane cząstkami alfa prawdopodobnie umożliwi utrzymanie plazmy w stanie stacjo-

namym, gdy tylko próg zapłonu zostanie osiągnięty i zewnętrzne źródła energii zostaną odłączone.



Rys. 5. Ewolucja czasowa iloczynu  $n t_E T$

W reakcji D-T wraz z cząstkami alfa wytwarzane są również obojętne elektrycznie neutrony o energii 14,1 MeV. W przeciwieństwie do obdarzonych ładunkiem elektrycznym cząstek alfa neutrony natychmiast opuszczają komorę tokamaka, gdyż nie mogą być uwięzione w polu magnetycznym. Neutrony te nie są jednak tracone, ale w dwojaki sposób wykorzystywane w reaktorze. Po pierwsze, w reakcji z litem zawartym w osłonie reaktora wytwarzają tryt. Tryt ten (wraz z dueterem uzyskanym np. z wody morskiej) może być następnie użyty jako paliwo w reaktorze. Po drugie, spowalniane w osłonie reaktora neutrony oddają swą energię, wytwarzając ciepło, które jest następnie transportowane na zewnątrz reaktora poprzez odpowiednie systemy chłodzenia i może być wykorzystane do napędzania klasycznych turbin wytwarzających prąd elektryczny.

### Fuzja a środowisko

Dążenie do opanowania kontrolowanej syntezy termojądrowej nie wynika jedynie z przyczyn technologicznych i ekonomicznych. Przewidzenie energetyki z paliw kopalnych i obecnych elektrowni jądrowych na energetykę termojądrową może istotnie przyczynić się do złagodzenia zagrożeń dla naturalnego środowiska człowieka. Fuzja jest bowiem bardzo bezpiecznym i czystym źródłem energii. Sporo problemów związanych z wytwarzaniem energii termojądrowej musi zostać jeszcze rozstrzygnięte, zanim energetyka termojądrowa rozwinie się na skalę komercyjną.

W reakcjach termojądrowych oprócz cząstek alfa (czyli jąder helu) powstają również wysokoenergetyczne neutrony. Ściany komory zawierającej plazmę są stale bombardowane i penetrowane przez neutrony. Prowadzi to do mechanicznej degradacji wewnętrznych ścian tokamaka i do promieniotwórczej aktywacji materiału, z którego są wykonane. Aktywacja wynika z reakcji jąder atomów ściany (żelazo, chrom i inne) z neutronami. Neutrony są wylapywane tworząc radioaktywne izotopy. Dlatego materiały, z których tworzone są ściany komory reaktora muszą spełniać warunek, aby po reakcji z neutronami ich radioaktywność w czasie około stu lat spadła poniżej naturalnego promieniotwórczego tła. Wybór właściwych materiałów jest więc bardzo istotny. Uwzględniać należy również pewne specyficzne domieszki (zanieczyszczenia) w użytych materiałach. Zanik aktywności zależy bowiem bardzo silnie od zastosowanego składu. Na przykład srebro, występujące powszechnie jako domieszka w prawie wszystkich stalach nierdzewnych ma bardzo długi czas zaniku aktywności promieniotwórczej. Innym przykładem jest molibden, który wykazuje dość szybki spadek początkowej aktywności. Aktywność jego stabilizuje się jednak na wysokim poziomie i trwa około miliona lat. Bardzo szybkimi zanikami aktywności (około 100 lat) wykazują się natomiast takie materiały jak wanad, chrom i żelazo.

Projekty dotyczące reaktorów termojądrowych muszą przewidywać użycie materiałów, które charakteryzują się krótkimi czasami zaniku aktywności promieniotwórczej. Takie materiały są obecnie projektowane i badane. Wymagają one oczywiście testów przeprowadzanych z neutronami w warunkach symulujących środowisko reaktora, zanim będą użyte w realnym urządzeniu. Innym z bardzo wielu problemów do rozwiązania, zanim pierwszy prąd popłynie z elektrowni termojądrowej, jest np. efektywne wytwarzanie i odzyskiwanie trytu oraz użycie go jako paliwa w reaktorze. Pracy dla naukowców i inżynierów z pewnością nie zabraknie.

### **Współpraca międzynarodowa – projekt ITER**

Wysiłek całego środowiska zajmującego się fuzją termojądrową skupił się obecnie na międzynarodowym projekcie nazywanym w skrócie ITER, od angielskiej nazwy projektu *International Thermonuclear Experimental Reactor*. W ramach projektu ITER planowane jest wybudowanie największego tokamaka na świecie. Zadaniem ITERa jest „wykazanie naukowej i technicznej wykonalności pozyskiwania energii z fuzji dla celów pokojowych” (ang. *to demonstrate the scientific and technological feasibility of fusion energy for peaceful purposes*). W szczególności ma zostać osiągnięty próg zapłonu (spełnienie kryterium Lawsona) i utrzymanie „zapalanej” trytowo-deuterowej plazmy w stanie stacjonarnym. Przetestowane mają zostać materiały i technologie związane z budową przyszłej elektrowni termojądrowej (sam ITER elektrownią jeszcze nie będzie). ITER stanie się kolejnym wielkim krokiem na drodze do zbudowania takiej elektrowni; ma wytwarzać moc 500 MW. Początkowo będzie pracował impul-

sowo (czas nieprzerwanego działania ma wynosić około 10 minut), następnie planowane jest uzyskanie stacjonarnego stanu pracy reaktora. Gotowy projekt ITER jest już sam w sobie godnym uwagi osiągnięciem. Powstał on w wyniku intensywnej międzynarodowej współpracy naukowej. Projekt został zaaprobowany i zatwierdzony przez sygnatariuszy w czerwcu 2001 roku. 21 listopada 2006 r. w Paryżu zostało podpisane dalsze porozumienie dotyczące przedsięwzięcia ITER – budowy i eksploatacji eksperymentalnego reaktora termojądrowego kolejnej generacji. Udziałowcami tego projektu są: Unia Europejska, Japonia, Stany Zjednoczone, Rosja, Chiny, Indie i Korea Płd. Tych siedmiu partnerów zdecydowało, że ITER będzie budowany w Cadarache, małej miejscowości na południu Francji, w pobliżu Aix-en-Provence.

### **Fuzja w Europie**

Europejski program w zakresie kontrolowanej syntezy termojądrowej koordynowany jest przez Komisję Europejską pod auspicjami Europejskiej Wspólnoty do Spraw Energii Atomowej (ang. *European Atomic Energy Community* w skrócie EURATOM). Program realizowany jest przez różne laboratoria na mocy kontraktów asocjacyjnych. Celem programu jest współpraca w zakresie budowy prototypu bezpiecznego dla człowieka i środowiska reaktora termojądrowego. Obecnie realizowana w ramach programu strategia, to przejście w trzech etapach od dotychczas wykonywanych eksperymentów do budowy elektrowni termojądrowej: (1) skupienie się na najbardziej zaawansowanych systemach umożliwiających przeprowadzenie kontrolowanej syntezy termojądrowej – tokamakach; (2) działalność badawcza dotycząca rozwijania atrakcyjnych koncepcji mogących przyczynić się do ulepszeń tokamaka i jego pracy; (3) rozwijanie technologii potrzebnych do budowy przyszłej elektrowni termojądrowej. Prawie 2000 naukowców i inżynierów w 20 europejskich laboratoriach pracuje obecnie w ramach projektu EURATOM. JET – największy obecnie tokamak na świecie, znajdujący się w Culham (niedaleko Oxfordu) jest sztandarowym eksperymentem w programie EURATOM. Od 2000 roku JET zarządzany jest przez EFDA (ang. *European Fusion Development Agreement*). Naukowcy brytyjscy utrzymują urządzenie w gotowości do pracy i obsługują je, natomiast eksperymenty są planowane i wykonywane przez wizytujących JET naukowców z całej Europy.

Europa jest jednym z głównych partnerów uczestniczących w budowie przyszłego reaktora ITER. Szeroko zakrojony program i jego koordynacja w ramach EURATOM zapewniły Europie wiodące miejsce w zakresie badań nad kontrolowaną syntezą termojądrową. Od 2005 roku w projekcie EURATOM uczestniczy również Polska. Krajowy Punkt Kontaktowy EURATOM mieści się w Instytucie Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy (IFPiLM) w Warszawie.





## Kiedy eksploduje Betelgeza? (Betelgeuse)

*Andrzej Odrzywólek*

*Instytut Fizyki UJ*

Tytułowe pytanie zadaje sobie niemal każda osoba, która wie, czym jest Betelgeza: jedna z dwóch najjaśniejszych gwiazd w gwiazdozbiornie Oriona ( $\alpha$  Ori), charakterystyczny czerwony punkt bardzo dobrze widoczny w Polsce na niebie podczas zimowych nocy. Z astrofizycznego punktu widzenia jest to bliski czerwony olbrzym. Ze względu na szacowaną masę około 15 razy większą od Słońca murowany kandydat na supernową. Ponieważ jej promień sięga rozmiarów orbity Marsa, a znajduje się ona w odległości zaledwie 130 parseków (425 lat świetlnych) od Słońca, udało się sfotografować powierzchnię tej gwiazdy, a także bezpośrednio mierzony jest jej promień.

Spekulacje co do rychłego wybuchu Betelgezy wzmogły się po opublikowaniu w „Astrophysical Journal” [1] danych pokazujących, iż gwiazda ta kurczy się od kilkunastu lat. Nie jest wiadome dlaczego. Emocje rozbudza podejrzenie, że może to mieć coś wspólnego z nadchodzącym wybuchem gwiazdy.

Niestety, współczesna astrofizyka nie jest w stanie przewidzieć wybuchu żadnej supernowej z dokładnością lepszą niż około 100 tysięcy lat. Jedyne co jest wiadome z dużą pewnością, to związek wyczerpania się wodoru w jądrze gwiazdy z przejściem do postaci czerwonego olbrzyma. Dlatego wiemy, iż Betelgeza jest na etapie spalania<sup>1</sup> helu w jądrze lub późniejszym. Ponieważ spalanie helu trwa dziesiątki lub setki tysięcy lat, z taką dokładnością możemy określić, kiedy etap ten się zakończy.

Z teoretycznych obliczeń wynika, że po zakończeniu spalania helu jądro gwiazdy pre-supernowej (czyli odpowiednio masywnej, min. 8–11 masy Słońca) kurczy się aż do momentu termojądrowego zapłonu „popiołu” pozostałego po spalaniu helu, czyli mieszaniny węgla i tlenu. Mniej więcej na tym właśnie etapie temperatury wewnątrz gwiazdy stają się tak duże<sup>2</sup>, że zachodzi ciągła produkcja par elektron-pozyton. Pozytony ulegają zwykle natychmiastowej anihilacji produkując fotony. Z punktu widzenia teorii oddziaływań elektroslabych Weinberga-Salama możliwy jest też inny proces: zamiast fotonu w stanie końcowym produkowana jest para neutrino-antyneutrino<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Pod pojęciem spalania rozumiemy zachodzenie reakcji termojądrowych.

<sup>2</sup> Energia kinetyczna niektórych fotonów musi przekraczać dwie masy spoczynkowe elektronu. Dlatego astrofizycy często używają 1 MeV (mega-elektronowolta) jako jednostek temperatury. W tych jednostkach masa elektronu wynosi 0,511 MeV. Przelicznik do temperatury wyrażonej w kelwinach wynosi:  $T/10^9 \text{ K} = T_9 = (kT/1 \text{ MeV}) * 11,6$ . Miliard kelwinów oznaczany jest jako  $T_9$ .

<sup>3</sup> Dotyczy to każdego procesu elektromagnetycznego, w tym emisji promieniowania przez atomy. W szczególności tzw. emisja dwufotonowa ma swój odpowiednik w postaci procesu emi-

Zachodzi to około 1 raz na  $10^{40}$  przypadków. Pomimo słabości tego oddziaływania efekt jest dramatyczny. W odróżnieniu od fotonów, które potrzebują setek tysięcy lat, aby wydostać się na powierzchnię gwiazdy, neutrino uciekają natychmiast. Powoduje to katastrofalne w skutkach przyspieszenie ewolucji jądra gwiazdy. Spalanie węgla zajmuje około tysiąca lat, po czym cykl powtarza się. Następuje zapłon neonu, a następnie tlenu. Spalanie tlenu trwa już tylko kilka lat. Kolejny etap spalania krzemu (Si) zajmuje tylko 2 tygodnie. Etapy te określamy mianem „fazy chłodzonej neutrinowo”. Ponieważ po spalaniu Si zostaje głównie „żelazo”, które nie stanowi paliwa termojądrowego, faza ulega zakończeniu. Wkrótce potem następuje kolaps grawitacyjny powodujący wybuch supernowej typu implozyjnego.

Teraz możemy wreszcie zrozumieć, dlaczego nie widzimy na powierzchni gwiazdy nawet śladu tych procesów. Otóż fotony wytworzone podczas spalania He ciągle są transportowane na powierzchnię. Opóźnienie sięga dziesiątek tysięcy lat. Potrwa to aż do momentu zniszczenia gwiazdy w wybuchu supernowej. Ich rolę w jądrze gwiazdy przejęły neutrino, które bez oddziaływania opuszczają gwiazdę. Co gorsza, jądro gwiazdy jest znikomo małe, o promieniu niewiele większym od promienia Ziemi. Nie ma żadnej metody, aby ustalić, co się w nim dzieje, obserwując jedynie powierzchnię. Aby ostatecznie pogрузić nadzieje dodam, że nie znamy ani jednej gwiazdy, która spala w swoim wnętrzu węgiel. Nawet jeśli są jakieś obserwowalne zjawiska z tym związane, nie rozumiemy lub nie widzimy ich.

Ostatnią deską ratunku wydaje się być bezpośrednia detekcja neutrin emitowanych przez pre-supernową. W celu rozważenia tej możliwości musimy zapoznać się ze szczegółowym modelem życia gwiazdy.

Z punktu widzenia zarówno emisji neutrinowej jak i teorii ewolucji gwiazd można wyróżnić sześć etapów:

1) termojądrowe spalanie wodoru; mówimy, że gwiazda jest na ciągu głównym; neutrino emitowane są przede wszystkim jako efekt uboczny spalania wodoru w cyklu CNO. Całkowita ich liczba jest imponująca, ale emitowane są powoli przez miliony lat;

2) spalanie He; ciemny okres w emisji neutrin – większość z nich pochodzi z rozpadu plazmonu, kwazicząstki o bardzo małej masie „spoczynkowej” około 0,01 MeV;

3) faza chłodzona neutrinowo opisana wyżej;

4) neutronizacja, podczas której protony pochłaniają elektrony, zamieniając się w neutrony i emitując neutrino elektronowe; proces ten ulega nasileniu począwszy od spalania Si. Najgwałtowniejsza neutronizacja zachodzi już podczas kolapsu grawitacyjnego rdzenia gwiazdy, kiedy to elektrony zostają wręcz

---

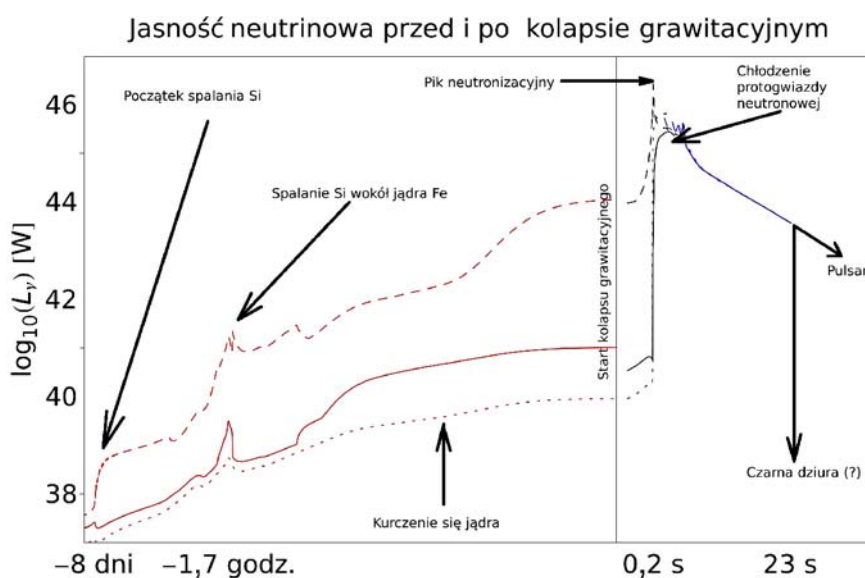
tującego foton i parę neutrin-antyneutrino. W pomiarach tego typu procesów fizyka atomowa osiągnęła ogromną dokładność. Japońscy naukowcy pracują nad opartą o te idee detekcją neutrin.

„wprasowane” w protony. W efekcie powstaje gwiazda neutronowa oraz gigantyczny strumień neutrin trwający zaledwie 1/100 sekundy.

5) główna najpotężniejsza fala neutrin emitowanych w procesie formowania się protogwiazdy neutronowej. W tym czasie kurczy się ona od początkowego promienia  $\sim 60$  km do  $\sim 20$  km. Energia grawitacyjna zostaje wypromieniowana w czasie rzędu 10 sekund jako strumień neutrin wszystkich rodzajów. Zjawisko to zostało potwierdzone poprzez detekcję neutrin z supernowej 1987A w Obłoku Magellana.

6) powolne neutrinowe chłodzenie gwiazdy neutronowej trwające tysiące i miliony lat. Być może w tym czasie niektóre gwiazdy neutronowe zamieniają się w czarne dziury. W takim wypadku emisja neutrin spada do zera natychmiastowo.

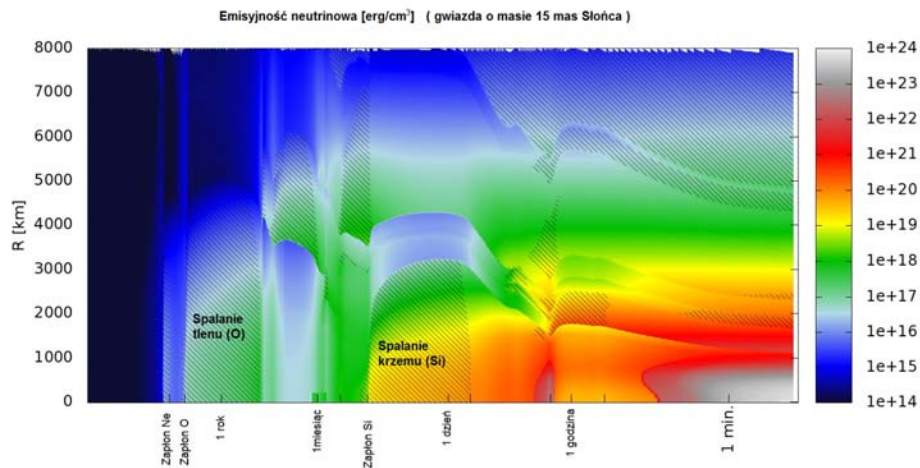
Obecnie każdy działający detektor neutrin jest zdolny do obserwacji fazy 5. Największe z nich (Super-Kamiokande) mogą wręcz zostać „oślepienie” jeżeli dojdzie do wybuchu supernowej znajdującej się bliżej niż  $2 \text{ kpc}^4$ , czyli 6500 lat świetlnych od Ziemi.



Rys. 1. Jasność neutrinowa przed, w trakcie i po wybuchu supernowej typu implozyjnego

<sup>4</sup> Niedawno skonstruowano prymitywny, ale skuteczny, prototyp detektora neutrin [2]. Ma on postać stalowej kuli o średnicy kilku metrów wypełnionej argonem pod ciśnieniem. Wewnątrz znajduje się elektroda pod napięciem. Wyprowadzony na zewnątrz jeden przewód wystarcza do analizy sygnału. Całkowity koszt pracowni wyposażonej w takie urządzenie szacuje się na 200,000 euro, a sam detektor może być obsługiwany przez studentów. Zasada działania opiera się o koherentne rozpraszanie neutrin przez jądra argonu, a przewidywany sygnał z supernowej to co najmniej kilkaset zarejestrowanych przez detektor zdarzeń w czasie około 10 sekund.

Wyzwaniem XXI wieku jest więc detekcja innych faz, szczególnie 3, 4 i 6. Rysunek 1 pokazuje opisane etapy. Strumień neutrin jest funkcją ciągłą. Nie-wielka rozbieżność widoczna dla antyneutrino elektronowych jest prawdopodobnie wynikiem pominięcia ważnego zjawiska wychwytu pozytonu przez jądra atomowe. Warto podkreślić, iż podejścia użyte do obliczenia strumienia neutrin przed i po kolapsie są diametralnie różne. Dla pre-supernowej (na lewo od kreski opisanej „Start kolapsu grawitacyjnego”) użyto kodu PSNS [3] stosowanego wyłącznie do obiektów przezroczystych dla neutrin. Do obliczenia strumienia na prawo użyto zaawansowanego kodu obliczającego transport uwieczonych neutrin [4]. Jak widać wyniki są zgodne.



Rys. 2. Neutrinowy diagram Kippenhahna

Aby opisać szybko zmieniającą się wewnątrz gwiazdy, astrofizycy używają diagramu Kippenhahna (rys. 2). Jest to forma diagramu czasoprzestrzennego, gdzie na osi poziomej zaznaczono czas pozostały do wybuchu supernowej, a na pionowej – odległość od centrum. Kolorami pokazuje się istotne wielkości fizyczne, na rys. 2 jest to emisyjność neutrinowa. Kreskowanie pokazuje regiony konwektywne, czyli takie, w których transfer energii następuje poprzez przepływ gorącego gazu. Prawie zawsze oznacza to zachodzenie produkujących energię reakcji termojądrowych. Neutrino są produkowane kosztem energii zarówno termojądrowej jak i grawitacyjnej. Jest to widoczne na diagramie, jako wyraźne zmniejszenie się promienia jądra. Po wyczerpaniu się paliwa (Si) rdzeń wyraźnie kurczy się od  $R = 3000$  km dzień przed wybuchem gwiazdy, do  $R = 1500$  km na godzinę przed eksplozją. Różnica energii grawitacyjnej jest wypromieniowana głównie jako neutrino, ale jej część powoduje wzrost temperatury na powierzchni żelaznego jądra doprowadzając do zapłonu krzemu (Si)

w powłoce otaczającej jądro. Powoduje to ekspansję rdzenia i „odroczenie” wybuchu supernowej o kolejne 2 godziny. Po wyczerpaniu się krzemu następuje kolejna faza kontrakcji, tym razem prowadząca bezpośrednio do kolapsu grawitacyjnego. Rozpoczyna się wybuch supernowej.

Neutrino emitowane przed wybuchem mogą zostać wykryte przez detektory neutrin nowej generacji. Będą to znacznie powiększone wersje działających obecnie detektorów Super-Kamiokande lub Borexino, albo urządzenia nowej generacji. Te ostatnie mają używać spójnego rozpraszania neutrin na jądrach atomowych. W procesie tym neutrino oddziałuje w skoordynowany sposób ze wszystkimi neutronami równocześnie. Reakcja zachodzi dzięki temu  $N^2$  razy częściej w porównaniu do reakcji z pojedynczymi protonami.  $N$  jest tu liczbą neutronów w jądrze, która np. dla germanu ( $Ge76$ ) wynosi  $N = 44$ , a dla ksenonu ( $Xe134$ )  $N = 80$ . W efekcie detektor równie skuteczny jak 1000 ton wody lub cieczy organicznej, można w zasadzie zbudować używając 1 kg germanu, ksenonu lub innego materiału. Piszę „w zasadzie”, gdyż ciągle nie udało się nikomu uruchomić takiego urządzenia. Sukces jest spodziewany w ciągu roku. Pracują nad nim m.in. wojskowe laboratorium Sandia, Uniwersytet w Chicago (USA) oraz naukowcy z Tajwanu. Jako źródło neutrin wykorzystywane są elektrownie atomowe. Wbrew pozorom detektor taki trudno jednak uznać za „przenośny”. Wymaga on bowiem chłodzenia do temperatur bliskich zera bezwzględnego oraz wybudowania dużej liczby osłon. Energia odrzutu jądra po uderzeniu przez neutrino jest znikomo mała ( $\sim 100$  eV) i najmniejsze zakłócenia uniemożliwiają działanie kalorymetru, podstawowej części detektora. Całe urządzenie zajmuje sporej wielkości pomieszczenie.

Czego możemy oczekiwać w przypadku Betelgeuse? Zależy to głównie od postępów w technologii detektorów neutrin. W najbardziej optymistycznym wariacie nadwyżka neutrin będzie widoczna na tle sygnału pochodzącego od neutrin ze Słońca już kilka miesięcy przed wybuchem. W pesymistycznym, zakładając działanie wyłącznie detektorów już uruchomionych i sprawdzonych, zauważymy dopiero sam kolaps. Dodam, że scenariusz ten jest znikomo prawdopodobny. Prawdopodobieństwo wybuchu alfy Oriona w tym stuleciu szacuję na mniej niż 0,25%. Sam wybuch byłby spektakularnym zjawiskiem, ale praktycznie nieszkodliwym dla nas.

#### Literatura

- [1] C.H. Townes, E.H. Wishnow, D.D.S. Hale, B. Walp, *A Systematic Change with Time in the Size of Betelgeuse*, The Astrophysical Journal Letters, Volume 697, Issue 2, pp. L127-L128 (2009)
- [2] I. Giomataris, J. Vergados, Nucl. Instrum. Meth. A530:330–358, 2004
- [3] <http://ribes.if.uj.edu.pl/psns/>
- [4] T.A. Thompson, A. Burrows, P.A. Pinto, *Shock Breakout in Core-Collapse Supernovae and Its Neutrino Signature*, The Astrophysical Journal, 592, 434–456, 2003



## Nobel 2009 z fizyki – detektory CCD

Wojciech Gawlik  
Instytut Fizyki UJ

Tegoroczna Nagroda Nobla z fizyki została przyznana za odkrycia głęboko już zakorzenione w naszym codziennym życiu. Komitet Noblowski postanowił uhonorować połową nagrody Charlesa Kuen Kho za opracowanie światłowodów pozwalających na przesyłanie informacji na duże odległości, a drugą połową Willarda Sterlinga Boyle'a i George'a Elwooda Smitha za opracowanie cyfrowych czujników optycznych.



Willard Boyle i George Smith w czasie prac nad CCD

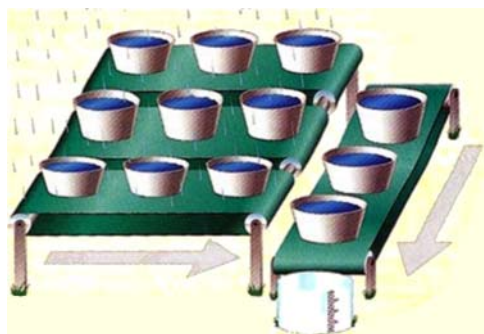
Inaczej niż w przypadku większości wcześniej nagradzanych odkryć fizycznych, niełatwych do objaśnienia laikom, tegoroczne nagrody przyznano za prace, których wyniki są powszechnie stosowane. Urządzenia te są już tak powszechne, że wiele osób było bardzo zaskoczonych decyzją jury.

Połowa tegorocznej nagrody została przyznana **Willardowi Sterlingowi Boyle'owi i George'owi Smithowi** za odkrycie, które zrewolucjonizowało technikę rejestracji obrazów optycznych – czujnik typu CCD. Nazwa jest skrótem tajemniczo brzmiącego określenia *Charge-Coupled Device* (urządzenie ze sprzężeniem ładunkowym). Pod tą zagadkową nazwą rozumiemy dziś w istocie elektroniczne oko – macierz (matrycę) elementów reagujących na światło i generujących impulsy elektryczne proporcjonalne do natężenia padającego światła. W oku tę rolę pełnią komórki pręcików i słupków tworzące siatkówkę, a wytworzone przez nie bodźce transportowane są do „centralnego procesora”, czyli do mózgu. O ile stosunkowo łatwo skonstruowano elektroniczne światło-

czułe czujniki – dzięki wczesnym pracom Einsteina znamy zjawisko fotoelektryczne i umiemy je wykorzystać w fotodiodach, o tyle poważne problemy stwarzała konieczność miniaturyzacji i odpowiednio szybkiego przesyłania sygnałów od poszczególnych fotodiod do układu procesora, w którym miały one zostać złożone w obraz. Odkryte przez tegorocznych noblistów CCD było pierwotnie systemem przekazywania informacji poszczególnych komórek matrycy.

Zauważmy, że w oku każdy pręcik i czopek przekazuje swe sygnały za pomocą pojedynczych neuronów do mózgu. Stopień miniaturyzacji, jaki osiągnęła natura jest znakomity. Gdyby podobną rolę miały przejąć tradycyjne połączenia elektryczne za pomocą drutów, rozmiary takiego sztucznego oka byłyby monstrualne! Rozwiązanie tego problemu stało się możliwe dzięki rozwojowi techniki produkcji miniaturowych układów półprzewodnikowych o wielkim stopniu integracji, tzw. *chipów* elektronicznych, które już wcześniej doprowadziły do rewolucji w elektronice i informatyce. W latach 70. możliwe stało się wyprodukowanie chipu z macierzami obejmującymi 100x100 fotoelementów (pikseli). Nadal jednak pozostawał nierozwiązany problem transportu ładunków elektrycznych, wygenerowanych światłem w każdym z tych elementów. Połączenie każdego z nich pojedynczym przewodem było wprawdzie możliwe, ale ponieważ liczba tych przewodów rosła kwadratowo ze wzrostem liczby fotoelementów i już dla macierzy 100 x 100 wynosiła 10 000, nie było to praktycznym rozwiązaniem.

W.S. Boyle i G.E. Smith pracujący wspólnie w sławnym *Bell Laboratories* w New Jersey rozwiązali ten problem przez zastosowanie do sczytywania ładunków zasady „łańcucha strażackiego” – gaszący pożar strażacy ustawieni w szereg przekazują wiadra z wodą kolejno od jednego do drugiego. (Rysunek przedstawia dwuwymiarową wersję takiej „organizacji pracy”). W istocie, to właśnie takiemu systemowi nadali oni nazwę CCD i mieli zamiar wykorzystywać go do pamięci półprzewodnikowych. Później dopiero rozwinęli oni (głównie G.E. Smith ze swoimi współpracownikami) zastosowania do przestrzennych czujników fotoelektrycznych – sensorów kamer fotograficznych. W czujniku CCD, ładunki wygenerowane w jednej linii macierzy fotoelementów są przekazywane za pomocą tranzystorów od diody do diody wzdłuż danej linii i odczytywane na brzegu macierzy. Odczytywanie sygnałów poszczególnych diod jest taktowane zegarem układu, co sprawia, że sygnał z całej linii macierzy na jej brzegu ma formę regularnych impulsów elektrycznych o różnych amplitudach, pozwalających na jednoznaczne przypisanie konkretnego impulsu konkretnej komórce czujnika. Z  $n^2$  elementów macierzy obejmującej  $n \times n$  pikseli, otrzymujemy więc sygnał od  $n$  linii, które w ten sam sposób można kolejno sczytać i przesłać pojedynczym przewodem do dalszej obróbki.



Ilustracja zasady dwuwymiarowego „łańcucha strażackiego” – podstawy sczytywania ładunków z poszczególnych pikseli czujnika kamery CCD za pomocą pojedynczego przewodu (ze strony [www.nobelprize.org](http://www.nobelprize.org))

Ten sposób odczytu okazał się być bardzo skuteczny i szybko znalazł szerokie zastosowania. Macierze CCD stawały się coraz powszechniejsze, ich jakość systematycznie się poprawiała, a ceny malały. Szybko pojawiły się także macierze pozwalające na rejestrację obrazów kolorowych. W tym celu konieczne było opracowanie czujników reagujących w różny sposób na różne kolory światła (różne długości fali). Najprostszym, do dziś powszechnie stosowanym sposobem jest użycie filtrów transmisyjnych (odpowiednio barwionych materiałów syntetycznych), które w formie mozaiki przykrywają macierz fotodiod. Dla odtworzenia czułości ludzkiego oka na kolory, w mozaice tej połowa filtrów przepuszcza kolor zielony (G – *green*),  $\frac{1}{4}$  czerwony (R – *red*) i  $\frac{1}{4}$  niebieski (B – *blue*). Tworzone są grupki trzech sąsiadujących fotoelementów RGB, które dają informacje o rozkładzie natężenia różnych widmowych składowych światła na powierzchni macierzy, a w konsekwencji kolorowy obraz cyfrowy.

Czujniki i kamery CCD, jak wiadomo zrewolucjonizowały fotografię i kinematografię. Cyfrowe aparaty i kamery fotograficzne są już powszechnie montowane nawet w telefonach komórkowych. Poza domowymi potrzebami, zastosowań kamer CCD jest też bez liku. Wymieńmy tu przynajmniej dwa: Teleskop Hubble’a, którego znaczenie dla astronomii jest trudne do przecenienia, byłby mało przydatny, gdyby rejestrował obrazy na tradycyjnej kliszy fotograficznej bez możliwości ich natychmiastowego przesyłania na Ziemię. W medycynie coraz powszechniej stosowane są miniaturowe kamery wprowadzane do organizmu pacjenta, aby śledzić zmiany chorobowe, nadzorować przebieg zabiegów chirurgicznych dokonywanych w niewidocznych miejscach, a także w połączeniu z odpowiednimi programami, rejestrować niewidoczne gołym okiem zmiany chorobowe.

Powszechność i ważność zastosowań wynalazków dokonanych przez tegorocznych Laureatów świadczy o ich doniosłości i znakomicie odpowiada założeniom fundatora nagrody, który w swym testamentie ([http://nobelprize.org/alfred\\_nobel/will/testamente.html](http://nobelprize.org/alfred_nobel/will/testamente.html)) zapisał, że nagroda powinna być przyznawana tym, którzy przynieśli ludzkości największe korzyści.





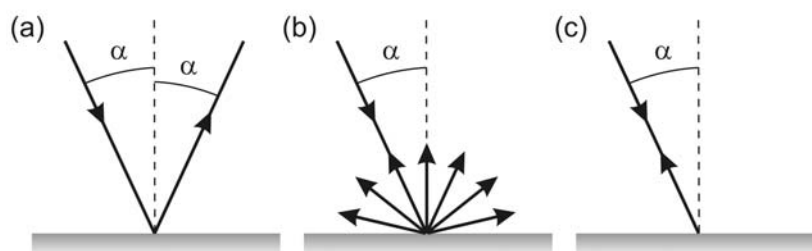
## O tym, do czego służą „odblaski”

Katarzyna Cieślak

Słowo „odblaski” większości z nas kojarzy się zapewne z odzieżą i elementami odblaskowymi służącymi zwiększeniu bezpieczeństwa ruchu drogowego. Jednak technologia ta ma dużo szersze zastosowanie w nauce i technice. Przyjrzyjmy się więc zjawiskom leżącym u podstaw działania materiałów odblaskowych oraz temu, jak produkuje się te materiały i do czego się je wykorzystuje.

### Odbicie w kierunku padania

U podstaw działania materiałów odblaskowych leży zjawisko odbicia światła. W zależności od rodzaju powierzchni, padające promieniowanie zostaje w różnym stopniu pochłonięte, przepuszczone i odbite od danego materiału. Jeśli światło odbija się od idealnie gładkiej płaszczyzny to zachodzi znane prawo „kąta odbicia równa się kątowi padania” (Rys. 1a).

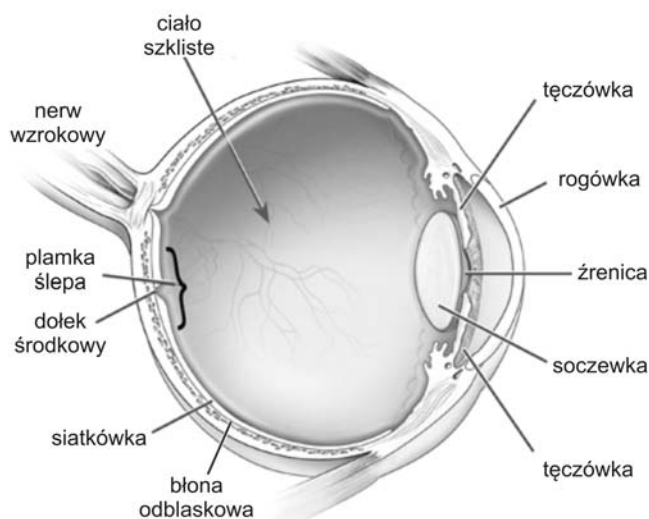


**Rys. 1.** Odbicie światła od: idealnie gładkiej powierzchni (a), powierzchni chropowatej (b) i powierzchni odblaskowej (c)

W przypadku, gdy materiał jest chropowaty, duża część światła ulega odbiciu rozproszonemu, podczas którego światło odbijane jest równomiernie we wszystkich kierunkach (rys. 1b). Niektóre materiały charakteryzują się taką strukturą, że światło ulega odbiciu w kierunku bliskim do tego, z jakiego pada (nie tylko, gdy pada prostopadle) (rys. 1c). To właśnie ten rodzaj odbicia, noszący nazwę *odbicia współdrożnego, powrotnego* albo *odblaskowego* (ang. *retroreflection*) stanowi podstawę działania materiałów odblaskowych. Przykładem odbicia tego typu występującym naturalnie jest świecenie oczu niektórych gatunków zwierząt prowadzących nocny tryb życia (np. koty, sowy).

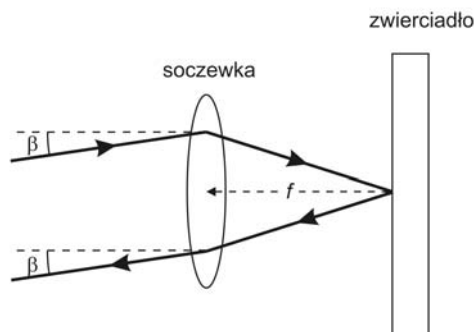
### Oczy świecące w ciemności

W jaki sposób dochodzi do odbicia światła z powrotem w tym samym kierunku? Zastanówmy się nad przykładem świecących w ciemności oczu niektórych zwierząt. Oczy tych zwierząt wyposażone są w specjalną silnie odbijającą światło warstwę zwaną błoną odblaskową (*tapetum lucidum*). Warstwa ta położona jest tuż za siatkówką, w płaszczyźnie ogniskowej soczewki oka (rys. 2).



Rys. 2. Budowa oka zwierzęcia z zaznaczoną błoną odblaskową

Dla przypomnienia, siatkówka zawiera pręciki i czopki – komórki rejestrujące padające na nie promieniowanie. Dzięki warstwie odblaskowej światło po przejściu przez siatkówkę zostaje odbite i skierowane ponownie w stronę siatkówki. Zwiększa to znacznie szanse zarejestrowania promieniowania przez siatkówkę i przyczynia się do tego, że zwierzęta posiadające *tapetum lucidum* widzą dobrze nawet w warunkach słabego oświetlenia. Warstwa odblaskowa działa w tym wypadku jak lustro ustawione w płaszczyźnie ogniskowej soczewki oka (rys. 3).

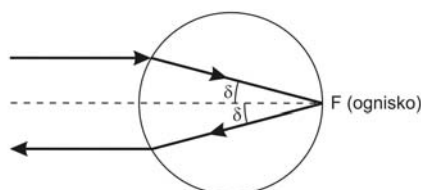


Rys. 3. Schemat działania błony odblaskowej: układ składający się z soczewki skupiającej i zwierciadła umieszczonego w płaszczyźnie ogniskowej

Wydajność odbicia współdrożnego mierzy się podając wartość luminancji, czyli ilości odbitego światła, która dociera do obserwatora. Wydajność ta zależy od kąta, pod jakim światło pada na soczewkę oka zwierzęcia oraz kąta widzenia obserwatora. Oczy wydają się najjaśniejsze (czyli luminancja jest największa), kiedy zwierzę patrzy wprost na źródło światła, w pobliżu którego znajduje się obserwator. Im większy kąt padania światła na soczewkę oka, tym mniej światła zostaje odbite z powrotem w tym samym kierunku.

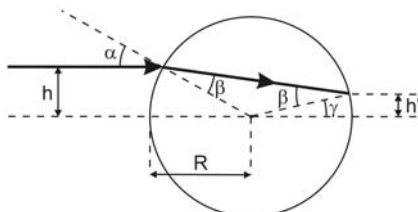
### Szklane mikrokuleczki i mikropryzmaty

Podobny efekt silnego odbicia współdrożnego można uzyskać za pomocą szklanej kulki o odpowiednio dużym współczynniku załamania światła. Rozważmy promień światła padający na powierzchnię kulki w pobliżu jej osi symetrii. Jeśli współczynnik załamania światła materiału, z którego wykonana jest kulka  $n \approx 2$  (rys. 4), to wówczas wszystkie promienie zostaną zogniskowane w miejscu, gdzie oś symetrii przecina tylną ściankę kulki (patrz ramka).



Rys. 4. Odbicie współdrożne w kulce szklanej o współczynniku załamania światła  $n \approx 2$

Wybermy promień padający na powierzchnię kulki o promieniu  $R$  i współczynniku załamania  $n$  w odległości  $h = R/2$  od osi kulki. Wtedy kąt padania  $\alpha = 30^\circ$ .

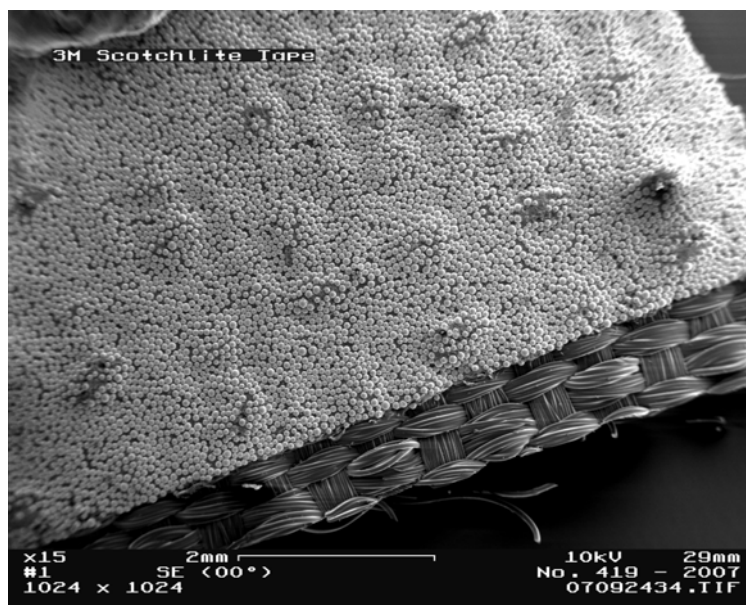


Ponieważ  $30^\circ = 0,52$  rad, a  $\sin 30^\circ = 0,5$ , to możemy zastosować przybliżenie, że  $\sin \alpha = \alpha$  oraz  $\sin \beta = \beta$ . W związku z tym prawo załamania przyjmie postać:  $\sin \alpha = n \sin \beta$ , a więc stosując przybliżenie małych kątów:  $\alpha \approx n\beta$ . Z rysunku wynika, że  $\gamma = 2\beta - \alpha$ , tak więc otrzymujemy:  $\gamma \approx 2(\alpha/n) - \alpha$ . Ponieważ  $h' = R \sin \gamma$ , to  $h' \approx R(2(\alpha/n) - \alpha) = h(2/n - 1)$ .

Z powyższego równania na  $h'$  wynika, że jeśli współczynnik załamania  $n = 2$ , to odległość od osi, w jakiej załamany w kulce promień padnie na tylną ściankę, będzie równa zero, bez względu na odległość  $h$  od osi promienia padającego na kulkę. Tak więc wszystkie przyosiowe promienie padające zostaną skupione w jednym punkcie na tylnej ściance kulki.

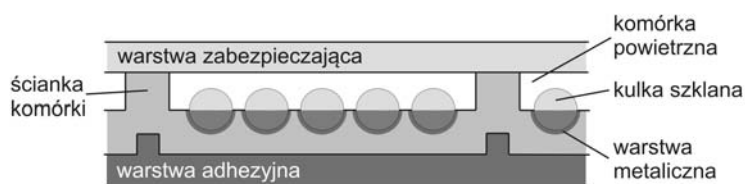
Światło ulega następnie wewnętrznemu odbiciu od tylnej ścianki i po załamaniu na przedniej powierzchni kulki rozchodzi się w powietrzu równoległe do kierunku padającego promieniowania. Choć współczynnik załamania większości szkieł jest równy około 1,5, to poprzez domieszkowanie tlenkami metali (ołowiu, lantanu, bizmutu) można uzyskać szkła charakteryzujące się dużo wyższymi wartościami tego współczynnika ( $n \geq 2$ ).

W praktyce wydajność odbicia współdrożnego na szklanych kulkach ma jednak pewne ograniczenia. Zaledwie około jednej trzeciej powierzchni kulki jest efektywnie wykorzystywane, a podczas odbicia od tylnej ścianki tylko część światła ulega wewnętrznemu odbiciu, a reszta zostaje załamana. Dlatego, żeby zwiększyć luminancję wiązki współdrożnej, tylne ścianki kulek pokrywa się metaliczną warstwą odbijającą. Jeśli umieścimy wiele takich małych odbijających kuleczek na dużej powierzchni, to uzyskamy prototyp warstwy odbłaskowej wykorzystywanej m.in. do pokrywania znaków drogowych, fragmentów ubrań ochronnych i „srebrnych ekranów” w kinach (fot. 1).



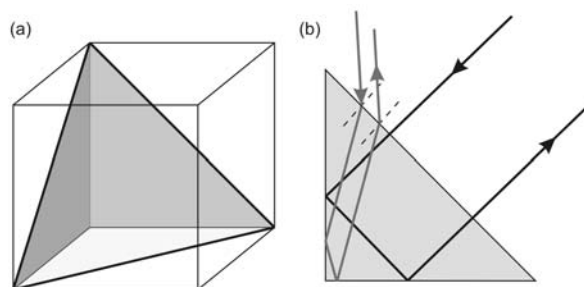
**Fot. 1.** Zdjęcie taśmy odbłaskowej na powierzchni ubrania ochronnego wykonane przy użyciu mikroskopu elektronowego. Widoczny splot dzianiny i mikroskopijne kuleczki szklane

Poniższy rysunek przedstawia schemat budowy współcześnie produkowanej folii odbłaskowej wysokiej jakości, zawierającej szklane mikrokuleczki. Aby zapobiec gromadzeniu się zabrudzeń na powierzchni kulek, co znacznie zmniejszyłoby efektywność odbicia, folie dzieli się na małe komórki pokryte z wierzchu warstwą zabezpieczającą, wewnątrz których umieszcza się kulki.



Rys. 5. Schemat budowy folii odbłaskowej zawierającej mikrokulki szklane

Innym sposobem uzyskania efektu odbicia współdrożnego jest zastosowanie tzw. *reflektora rogowego*. Reflektor ten składa się z trzech wzajemnie prostopadłych powierzchni odbijających. Wyobraźmy sobie, że ucinamy róg szklanego sześciangu wzdłuż przekątnych trzech schodzących się w tym rogu ścian (Rys. 6a) – otrzymamy w ten sposób pryzmat, którego trzy ściany będą trójkątami prostokątnymi, a podstawa – trójkątem równobocznym. Jeśli oświetlimy pryzmat np. prostopadle do podstawy, to światło ulegnie całkowitemu wewnętrznemu odbiciu kolejno od każdej ze ścianek i wróci w kierunku równoległym do kierunku padania (Rys. 6b).

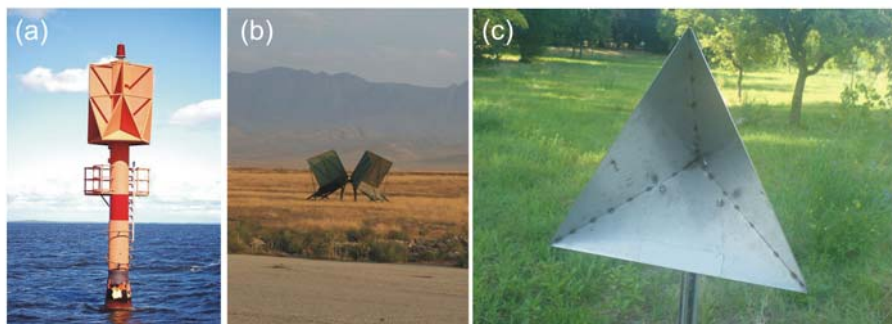


Rys. 6. Reflektor rogowy (a); odbicie współdrożne w reflektorze rogowym (b)

Pryzmaty tego rodzaju używane są w miernictwie geodezyjnym (fot. 2), a metalowe rożki odbijające działające na tej samej zasadzie wykorzystywane są w radiolokacji (fot. 3).

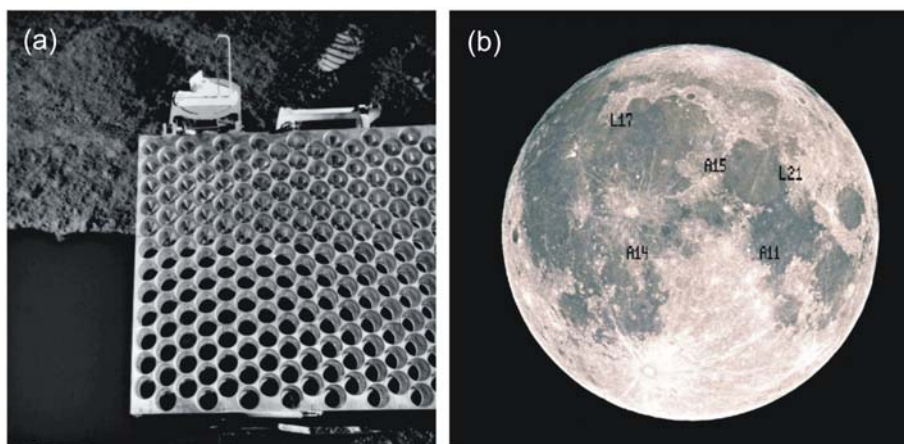


Fot. 2. Pryzmat wykorzystywany do obijania wiązki laserowej w miernictwie geodezyjnym.



Fot. 3. Metalowe rożki odbijające wykorzystywane w radiolokacji

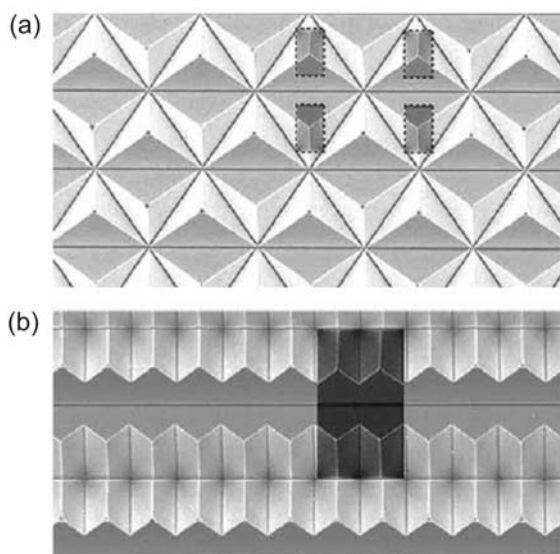
Reflektor rogowy odbija skierowaną na niego wiązkę fal elektromagnetycznych (światła laserowego w przypadku mierników geodezyjnych lub fal radiowych w przypadku pomiarów radarowych), co dzięki znajomości prędkości tych fal pozwala na dokładne obliczenie odległości od reflektora. Zestawy reflektorów rogowych zostały również umieszczone na powierzchni Księżyca w czasie amerykańskich misji Apollo 11, 14 i 15 oraz radzieckich misji Luna 17 i 21 (fot. 4). Umożliwiły one bardzo dokładne pomiary orbity Księżyca.



Fot. 4. Macierz 300 reflektorów rogowych umieszczona na powierzchni Księżyca w ramach misji Apollo 15 (a); lokalizacja zestawów reflektorów rogowych pozostawionych na Księżycu podczas amerykańskich i radzieckich misji kosmicznych (b)

Efektywność odbicia współdrożnego reflektora rogowego zależy od kąta padania wiązki światła i jest stosunkowo wysoka dopóki kąt padania nie przekracza około  $10^\circ$ . Straty zachodzą też w przypadku, gdy wiązka światła pada w pobliżu narożników pryzmatu. Szacuje się, że w ten sposób tracone jest około

35% padającego promieniowania. Sposobem obejścia tego problemu jest... wyeliminowanie tych obszarów. Najnowocześniejsze pryzmatyczne folie odbłaskowe zbudowane są więc nie z pryzmatów ale wyłącznie z ich najwydajniej odbijających fragmentów, co pozwala zminimalizować straty przy odbiciu (rys. 7b).



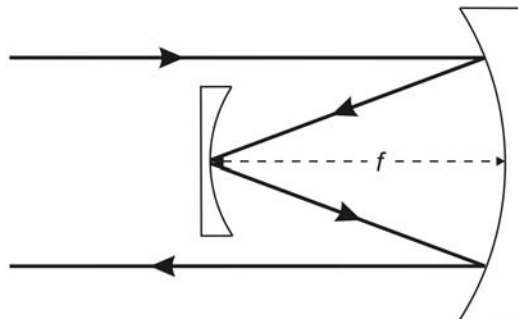
**Rys. 7.** Schemat budowy pryzmatycznych folii odbłaskowych: (a) standardowa folia mikropryzmatyczna z zaznaczonymi czterema obszarami o maksymalnym odbiciu współdrożnym, (b) 3M Dimond Grade Cubed (DG3)

Folie odbłaskowe wyposaża się czasem dodatkowo w warstwę materiału fluorescencyjnego, która poprawia widoczność w trudnych warunkach atmosferycznych, panujących podczas dużego zachmurzenia, o zmroku lub o świcie.

Oprócz oczywistych zastosowań związanych z bezpieczeństwem ruchu drogowego wspominaliśmy już poprzednio, że efekt odbicia współdrożnego stosowany jest również w pomiarach odległości i radiolokacji. Na zakończenie warto wspomnieć o dwóch innych szczególnych sposobach wykorzystania tego efektu w badaniach naukowych i technice.

### Dylatometry

Jak widzieliśmy wcześniej najprostszym układem optycznym zapewniającym odbicie współdrożne jest zestaw: soczewka dwuwypukła + zwierciadło (rys. 3). Analogicznie działa system składający się z dwóch zwierciadeł wklęsłych (rys. 8), z których jedno (mniejsze) umieszcza się w ognisku drugiego (większego).

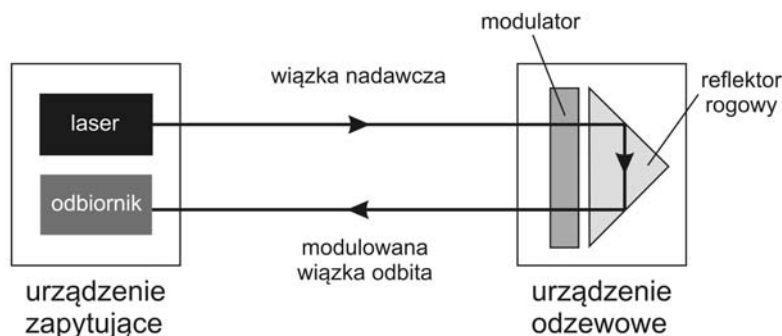


Rys. 8. Odbicie współdrożne w układzie dwóch zwierciadeł wklęsłych

Układy tego typu stosowane są w laserowych interferometrach do pomiaru rozszerzalności cieplnej, tzw. *dylatometrach*. Urządzenia te służą do śledzenia zmian rozmiarów obiektów poddawanych obróbce cieplnej, a także do monitorowania przebiegu procesów chemicznych, w których dochodzi do znacznych zmian objętości (np. polimeryzacja).

#### Modulujące reflektory odblaskowe

Połączenie pasywnego odbicia współdrożnego z metodami elektro-optycznej modulacji wiązki światła laserowego doprowadziło również do powstania nowoczesnej metody asymetrycznej komunikacji przy użyciu tzw. *modulujących reflektorów odblaskowych* (ang. *modulating retroreflectors*). Podstawowe zalety tej metody to możliwość bardzo szybkiego przesyłu dużej ilości danych, małe ryzyko przechwycenia transmitowanej informacji, oraz niskie zużycie mocy. Z tego względu techniką tą interesuje się m.in. wojsko oraz grupy badawcze zajmujące się udoskonalaniem komunikacji na pokładach statków kosmicznych. Zasada transmisji sygnału przy pomocy modulującego reflektora odblaskowego przedstawiona została schematycznie na poniższym rysunku (rys. 9).



Rys. 9. Schemat działania modulującego reflektora odblaskowego



Sygnal nadawczy w postaci wiązki światła laserowego zostaje wysłany przez tzw. *urządzenie zapytujące* w stronę *urządzenia odzewowego*, w którego skład wchodzi reflektor rogowy lub inny odblaskowy układ optyczny (układ soczewek i lusterek). Urządzenie odzewowe wyposażone jest w system modulujący padającą wiązkę światła. System ten umieszczony jest na przedniej ścianie reflektora rogowego (lub w ognisku układu odblaskowego). W ten sposób pasywnie odbita przez reflektor wiązka przechodzi przez modulator zanim zostanie przesłana z powrotem w kierunku urządzenia zapytującego. Jako modulatory wykorzystuje się różnego typu „przełączniki” sterowane elektronicznie, takie jak: modulatory elektroabsorpcyjne, akustooptyczne, mikromechaniczne (MEMS) i inne. Zasada ich działania polega na zmianie współczynnika załamania lub absorpcji przechodzącego przez nie światła albo na modulacji natężenia światła poprzez umieszczenie na drodze odbitej wiązki ruchomej przesłony.

Powyższe przykłady sugerują, że współczesne zastosowania materiałów odblaskowych w technice i nauce są więc bardzo szerokie: od produkcji powłok znaków drogowych i ekranów kinowych, poprzez badania orbity Księżyca, precyzyjne pomiary interferometryczne, aż po nowoczesne metody komunikacji. Z pewnością ich kariera na tym się nie skończy.

#### Literatura

- [1] J. Lloyd, *A brief history of retroreflective sign face sheet materials*, Understanding retroreflectivity, 2008 ([www.rema.org.uk/pdf/history-retroreflective-materials.pdf](http://www.rema.org.uk/pdf/history-retroreflective-materials.pdf))
- [2] C.E. Mungan, *The cat's eye retroreflector*, 2001 (<http://www.usna.edu/Users/physics/mungan/Scholarship/Retroreflector.pdf>)
- [3] I. Berkes, *La physique de tous les jours*, Vuibert 2006
- [4] D. Ren, K.M. Lawton, J.A. Miller, *Application of cat's-eye retroreflector in micro-displacement measurement*, Precision Engineering, 2007
- [5] W. Rabinovich, P.G. Goetz, R. Mahon, L. Swingen, J. Murphy, M. Ferraro, H.R. Burris Jr., C.I. Moore, M. Suite, S. Binari, *45-Mbit/s cat's eye modulating retroreflectors*, Optical Engineering, 2007



## Momenty bezwładności bez całek

Witold Zawadzki

Panuje przekonanie, że do obliczania momentów bezwładności brył konieczna jest znajomość rachunku całkowego. Okazuje się jednak, że momenty bezwładności wielu brył można obliczyć nie używając całek, czego dowodem niech będą poniższe przykłady. Przydatna będzie natomiast znajomość następujących twierdzeń:

1. moment bezwładności bryły jest wielkością addytywną (tzn. moment bezwładności bryły jest sumą momentów bezwładności części, na które daną bryłę można rozłożyć);
2. twierdzenie Steinera, które mówi: jeśli moment bezwładności bryły o masie  $m$  względem osi przechodzącej przez środek masy ciała wynosi  $I_0$ , to moment bezwładności tej bryły względem osi równoległej do danej osi i odległej od niej o  $d$  jest równy  $I = I_0 + md^2$ ;
3. moment bezwładności większości brył można zapisać (analiza wymiarowa) w postaci:  $I = k \cdot m \cdot l^2$ , gdzie:  $m$  to masa bryły,  $l$  – charakterystyczny wymiar bryły (np. długość, promień),  $k$  to bezwymiarowy współczynnik zależny tylko od kształtu bryły i wyboru charakterystycznego wymiaru (np. promień czy średnica), a niezależny od wielkości bryły. Zaprezentowana idea obliczania momentów bezwładności polega na obliczeniu właśnie współczynnika  $k$ .

### Analiza wymiarowa

Analiza wymiarowa jest narzędziem powszechnie stosowanym w fizyce, chemii oraz inżynierii. Opiera się na założeniu, że wszystkie wielkości fizyczne można wyrazić jako kombinacje wielkości podstawowych, tj. masy ( $m$ ), długości ( $l$ ), czasu ( $t$ ) itd. Każde równanie wiążące wielkości fizyczne musi być wymiarowo spójne, tzn. wymiar prawej strony musi być taki sam jak wymiar lewej strony równania.

W odniesieniu do momentu bezwładności, którego jednostką jest  $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ , oznacza to, że jedyną możliwą kombinacją masy oraz wymiarów bryły, dającą prawidłową jednostkę momentu bezwładności jest  $m \cdot l^2$ .

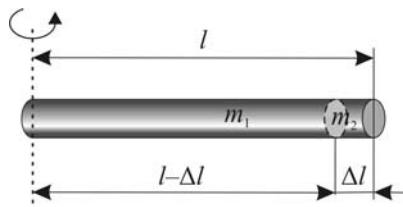
Zatem do dzieła!

### 1. Na początek – coś prostego!

Obliczymy moment bezwładności cienkiego pręta o znanej masie  $m$  i długości  $l$ , gdy oś obrotu jest do niego prostopadła i przechodzi przez jeden z jego końców. Zgodnie z tw. 3, możemy zapisać:

$$I = k \cdot m \cdot l^2.$$

Przetnijmy „myślowo” nasz pręt w bardzo małej odległości  $\Delta l$  od jego końca nie leżącego na osi obrotu (rys. 1).



Rys. 1.

Korzystając z tw. 1 moment bezwładności całego pręta możemy zapisać w postaci sumy momentu bezwładności pręta o długości  $l - \Delta l$  i masie  $m_1$  oraz cienkiego plasterka (który możemy potraktować jako punkt materialny o masie  $m_2$ ) znajdującego się w odległości  $l - \Delta l/2$  od osi obrotu <sup>(1)</sup>:

$$I = k \cdot m_1 \cdot (l - \Delta l)^2 + m_2 \cdot \left( l - \frac{\Delta l}{2} \right)^2.$$

Jak widać, w pierwszym składniku występuje ten sam, szukany współczynnik  $k$ , charakterystyczny dla cienkiego pręta. Masy  $m_1$  i  $m_2$  obliczamy z proporcji:

$$\frac{m_1}{m} = \frac{l - \Delta l}{l}, \quad \frac{m_2}{m} = \frac{\Delta l}{l}.$$

Mamy zatem

$$\begin{aligned} I &= k \cdot m \frac{(l - \Delta l)^3}{l} + m \frac{\Delta l}{l} \cdot \left( l - \frac{\Delta l}{2} \right)^2 = \\ &= k \cdot m \frac{l^3 - 3l^2\Delta l + 3l(\Delta l)^2 - (\Delta l)^3}{l} + m \frac{\Delta l}{l} \cdot \left( l^2 - l\Delta l + \frac{(\Delta l)^2}{4} \right). \end{aligned}$$

„Odcięty” kawałek pręta jest bardzo krótki ( $\Delta l \ll l$ ), zatem w powyższym wyrażeniu możemy pominąć wyrazy mniejsze niż  $\Delta l$ , czyli te z  $(\Delta l)^2$  itd.:

$$\begin{aligned} I &= k \cdot m \frac{l^3 - 3l^2\Delta l}{l} + m \frac{\Delta l}{l} \cdot l^2 = k \cdot m(l^2 - 3l\Delta l) + m \cdot l\Delta l = \\ &= kml^2 - 3kml\Delta l + ml\Delta l = kml^2 + (1 - 3k)ml\Delta l \end{aligned}$$

Przyrównując otrzymane wyrażenie z założonym  $I = k \cdot m \cdot l^2$ , otrzymujemy równanie:

$$kml^2 = kml^2 + (1 - 3k)ml\Delta l,$$

<sup>1</sup> Przyjęcie odległości odciętego kawałka pręta od osi obrotu równej  $l$  zamiast  $l - \Delta l/2$  nie zmieni końcowego wyniku, a uprości obliczenia.

które przy dowolnie małym, lecz niezerowym  $\Delta l$  jest spełnione tylko wtedy, gdy  $1 - 3k = 0$ , czyli  $k = 1/3$ . Zatem moment bezwładności cienkiego pręta względem osi obrotu prostopadłej do niego i przechodzącej przez jeden z jego końców wyraża się wzorem

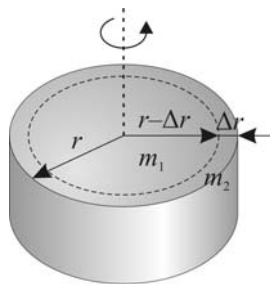
$$I = \frac{1}{3} \cdot m \cdot l^2 .$$

## 2. Coś okrągłego

Obliczymy moment bezwładności walca o znanej masie  $m$  i promieniu  $r$ , względem osi symetrii. Moment bezwładności punktu materialnego zależy od odległości od osi obrotu, zatem moment bezwładności walca zależy od jego promienia  $r$ , a nie zależy od jego długości (wysokości)<sup>2</sup>. Zgodnie z tw. 3, możemy zatem zapisać

$$I = k \cdot m \cdot r^2 .$$

Podzielmy „myślowo” nasz walec na cienkościenną rurę oraz walec o zmniejszonym promieniu (rys. 2).



Rys. 2.

Korzystając z tw. 1 moment bezwładności całego walca możemy zapisać jako sumę momentu bezwładności mniejszego walca o promieniu  $r - \Delta r$  i masie  $m_1$  oraz rury o grubości  $\Delta r$ , promieniu  $r - \Delta r/2 \approx r$  i masie  $m_2$ .

$$I = k \cdot m_1 \cdot (r - \Delta r)^2 + m_2 \cdot r^2 .$$

Masy obu części jak poprzednio obliczamy z proporcji:

$$\frac{m_1}{m} = \frac{\pi (r - \Delta r)^2}{\pi r^2} = \frac{(r - \Delta r)^2}{r^2}, \quad \frac{m_2}{m} = \frac{2\pi r \Delta r}{\pi r^2} = \frac{2\Delta r}{r} .$$

Mamy zatem:

<sup>2</sup> Przy założeniu niezmiennego masy  $m$  walca.

$$I = k \cdot m \frac{(r - \Delta r)^2}{r^2} (r - \Delta r)^2 + m \frac{2\Delta r}{r} r^2 = k \cdot m \frac{(r - \Delta r)^4}{r^2} + 2mr\Delta r$$

Podobnie, jak w poprzednim zadaniu pomijamy wyrazy wyższej potęgi  $\Delta r$  i otrzymujemy:

$$I = k \cdot m(r^2 - 4r\Delta r) + 2mr\Delta r = kmr^2 - 4kmr\Delta r + 2mr\Delta r = kmr^2 + (2 - 4k)mr\Delta r .$$

Przyrównując otrzymane wyrażenie z założonym  $I = k \cdot m \cdot r^2$ , otrzymujemy równanie

$$kmr^2 = kmr^2 + (2 - 4k)mr\Delta r ,$$

które przy dowolnie małym, lecz niezerowym  $\Delta r$  jest spełnione tylko wtedy, gdy  $2 - 4k = 0$ , czyli  $k = 1/2$ . Zatem moment bezwładności walca (oraz płaskiego krążka) względem osi symetrii wyraża się wzorem

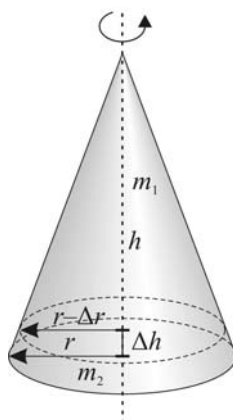
$$I = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 .$$

### 3. Pora na stożek

Obliczymy moment bezwładności stożka o znanej masie  $m$ , wysokości  $h$  i promieniu podstawy  $r$ , względem osi symetrii. Jak poprzednio, moment bezwładności stożka zależy od jego promienia  $r$ , a nie zależy bezpośrednio od jego wysokości. Zgodnie z tw. 3, możemy zatem zapisać

$$I = k \cdot m \cdot r^2 .$$

Odetnijmy „myślowo” od naszego stożka cienki plasterek, równoległy do podstawy (rys. 3).



Rys. 3.

Korzystając z tw. 1 moment bezwładności całego stożka możemy zapisać jako sumę momentu bezwładności mniejszego stożka o promieniu  $r_1 = r - \Delta r$  i masie  $m_1$  oraz krążka o grubości  $\Delta h$ , promieniu  $r - \Delta r/2 \approx r$  i masie  $m_2$ :

$$I = k \cdot m_1 \cdot r_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \cdot r^2.$$

Oba stożki są bryłami podobnymi ( $\Delta r/r = \Delta h/h$ ), a stosunek ich objętości (również mas), jest równy trzeciej potędze skali podobieństwa (równiej  $r_1/r$ ):

$$\frac{m_1}{m} = \frac{r_1^3}{r^3} = \frac{(r - \Delta r)^3}{r^3}.$$

Stosunek masy krążka do masy stożka jest równy ilorazowi objętości tych brył, zatem:

$$\frac{m_2}{m} = \frac{\pi r^2 \Delta h}{\frac{1}{3} \pi r^2 h} = \frac{3 \Delta h}{h} = \frac{3 \Delta r}{r}.$$

Mamy zatem:

$$I = k \cdot m \frac{(r - \Delta r)^3}{r^3} \cdot (r - \Delta r)^2 + \frac{1}{2} m \frac{3 \Delta r}{r} \cdot r^2 = k \cdot m \frac{(r - \Delta r)^5}{r^3} + \frac{3}{2} m \cdot r \Delta r.$$

Podobnie, jak w poprzednim zadaniu pomijamy wyrazy wyższe potęgi  $\Delta r$  i otrzymujemy:

$$\begin{aligned} I &= k \cdot m (r^2 - 5r\Delta r) + \frac{3}{2} mr\Delta r = kmr^2 - 5kmr\Delta r + \frac{3}{2} mr\Delta r = \\ &= kmr^2 + \left( \frac{3}{2} - 5k \right) mr\Delta r. \end{aligned}$$

Przyrównując otrzymane wyrażenie z założonym  $I = k \cdot m \cdot r^2$ , otrzymujemy równanie

$$kmr^2 = kmr^2 + \left( \frac{3}{2} - 5k \right) mr\Delta r,$$

które przy dowolnie małym, lecz niezerowym  $\Delta r$  jest spełnione tylko wtedy, gdy  $3/2 - 5k = 0$ , czyli  $k = 3/10$ . Zatem moment bezwładności stożka względem osi symetrii wyraża się wzorem

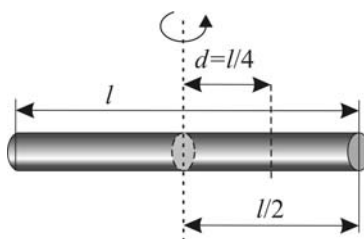
$$I = \frac{3}{10} \cdot m \cdot r^2.$$

#### 4. Cienki pręt po raz drugi

Obliczymy moment bezwładności cienkiego pręta o znanej masie  $m$  i długości  $l$ , gdy oś obrotu jest do niego prostopadła i przechodzi przez środek pręta. Zgodnie z tw. 3, możemy zapisać

$$I = k \cdot m \cdot l^2.$$

Przetnijmy „myślowo” nasz pręt w połowie długości (rys. 4).



Rys. 4.

Korzystając z tw. 1 moment bezwładności całego pręta względem jego osi symetrii jest dwa razy większy od momentu bezwładności jednej połówki względem osi symetrii całego pręta. Oś symetrii każdej z połówek jest oddalona od osi obrotu o  $d = l/4$ . Korzystając z twierdzenia Steinera możemy napisać:

$$I = 2 \cdot \left[ k \cdot \frac{m}{2} \cdot \left( \frac{l}{2} \right)^2 + \frac{m}{2} \cdot \left( \frac{l}{4} \right)^2 \right] = \frac{1}{4} k m l^2 + 16 m l^2.$$

Jak widać, w pierwszym składniku występuje ten sam, szukany współczynnik  $k$ , charakterystyczny dla pręta. Przyrównując otrzymane wyrażenie z założonym  $I = k \cdot m \cdot l^2$ , otrzymujemy równanie

$$k m l^2 = \frac{1}{4} k m l^2 + 16 m l^2,$$

którego rozwiązaniem jest  $k=1/12$ . Zatem moment bezwładności cienkiego pręta względem osi obrotu prostopadłej do niego i przechodzącej przez jego środek wyraża się wzorem

$$I = \frac{1}{12} \cdot m \cdot l^2.$$

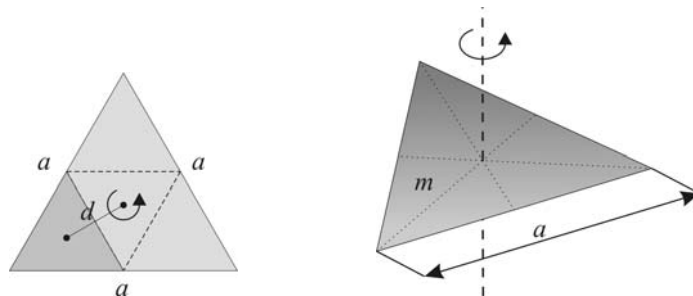
#### 5. Figury płaskie – trójkąt

Obliczymy moment bezwładności figury płaskiej – trójkąta równobocznego o znanej masie  $m$  i boku o długości  $a$ , gdy oś obrotu jest do niego prostopadła i przechodzi przez środek masy trójkąta. Zgodnie z tw. 3 (patrz s. 32, możemy zapisać:

$$I = k \cdot m \cdot a^2.$$

Przetnijmy „myślowo” nasz trójkąt na 4 mniejsze trójkąty (rys. 5). Środek jednego z nich znajduje się na osi obrotu, a środki trzech pozostałych trójkątów w odległości

$$d = \frac{1}{3} \frac{a\sqrt{3}}{2} = \frac{a\sqrt{3}}{6}.$$



Rys. 5.

Korzystając z tw. 1 zapisujemy moment bezwładności całego trójkąta jako sumę momentów bezwładności małych trójkątów (dla trzech z nich stosujemy dodatkowo twierdzenie Steinera).

$$\begin{aligned} I &= k \cdot \frac{m}{4} \cdot \left(\frac{a}{2}\right)^2 + 3 \cdot \left[ k \cdot \frac{m}{4} \cdot \left(\frac{a}{2}\right)^2 + \frac{m}{4} \cdot \left(\frac{a\sqrt{3}}{6}\right)^2 \right] = \\ &= \frac{1}{16} kma^2 + 3 \cdot \left[ \frac{1}{16} kma^2 + \frac{1}{48} md^2 \right] = \frac{1}{4} kma^2 + \frac{1}{16} ma^2. \end{aligned}$$

Znowu w pierwszym składniku występuje szukany współczynnik  $k$ . Przyrównując otrzymane wyrażenie z założonym  $I = k \cdot m \cdot l^2$ , otrzymujemy równanie

$$kma^2 = \frac{1}{4} kma^2 + \frac{1}{16} ma^2,$$

którego rozwiązaniem jest  $k = 1/12$ . Zatem moment bezwładności trójkąta równobocznego względem osi obrotu prostopadłej do niego i przechodzącej przez środek jego masy wyraża się wzorem

$$I = \frac{1}{12} \cdot m \cdot a^2.$$

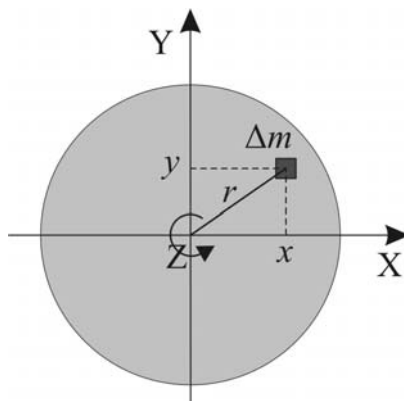
## 6. Krążek

Wiemy już, że moment bezwładności walca oraz płaskiego krążka względem prostopadłej do niego osi przechodzącej przez środek wyraża się wzorem:



$$I = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2.$$

Obliczmy teraz moment bezwładności tego krążka, ale niech osią obrotu będzie prosta zawierająca średnicę. Przyjmijmy układ współrzędnych jak na rys. 6.



Rys. 6.

Odległość małego elementu masy  $\Delta m$  od osi X jest równa  $|y|$ , a od osi Y –  $|x|$ , zatem moment bezwładności tego elementu względem osi Y wynosi  $\Delta m \cdot y^2$ , a względem osi X –  $\Delta m \cdot x^2$ . Na mocy twierdzenia Pitagorasa suma  $x^2 + y^2 = r^2$  jest kwadratem odległości  $r$  tego elementu od punktu  $(0,0)$  (czyli od osi OZ), zatem suma  $\Delta m x^2 + \Delta m y^2 = \Delta m \cdot (x^2 + y^2)$  jest momentem bezwładności tego elementu względem osi Z, czyli rozważanej wcześniej osi obrotu. Sumując te elementarne momenty bezwładności po całej powierzchni figury, otrzymujemy całkowite momenty bezwładności figury:  $I_X$  względem osi X,  $I_Y$  względem osi Y oraz  $I_Z$  – względem osi Z. Analiza ta prowadzi do stwierdzenia (ogólnego dla figur płaskich i trzech wzajemnie prostopadłych osi obrotu), że

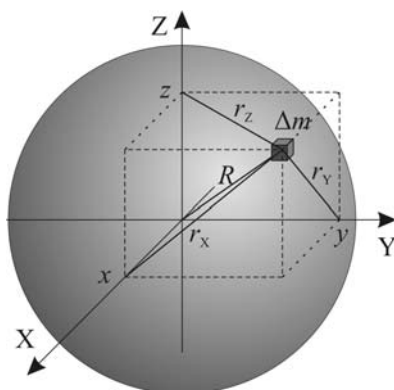
$$I_X + I_Y = I_Z.$$

Po tym „wstępie teoretycznym” wróćmy do obliczenia momentu bezwładności krążka. Z udowodnionego przed chwilą twierdzenia wynika, że w naszym przypadku  $I_X + I_Y = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2$ . Skoro  $I_X = I_Y$ , to moment bezwładności krążka względem jego średnicy wynosi

$$I_X = I_Y = \frac{1}{4} \cdot m \cdot r^2.$$

### 7. Sfera (powłoka kulista)

Obliczmy moment bezwładności cienkiej powłoki kulistej o promieniu  $R$  względem prostej przechodzącej przez jej środek. Przyjmijmy układ współrzędnych jak na rys. 7.



Rys. 7.

Kwadrat odległości małego elementu masy  $\Delta m$  od osi X określa równanie  $r_x^2 = y^2 + z^2$ , od osi Y:  $r_y^2 = x^2 + z^2$ , a od osi Z:  $r_z^2 = x^2 + y^2$ , zatem moment bezwładności tego elementu względem osi Y wynosi  $\Delta m \cdot r_x^2 = \Delta m(y^2 + z^2)$ , względem osi Y –  $\Delta m \cdot r_y^2 = \Delta m(x^2 + z^2)$ , a osi Z wynosi  $\Delta m \cdot r_z^2 = \Delta m(x^2 + y^2)$ . Suma  $x^2 + y^2 + z^2 = r^2$  jest kwadratem odległości  $r$  elementu  $\Delta m$  od początku układu współrzędnych, czyli od środka sfery, mamy więc:

$$\Delta m(y^2 + z^2) + \Delta m(x^2 + z^2) + \Delta m(x^2 + y^2) = 2\Delta m(x^2 + y^2 + z^2) = 2\Delta m \cdot R^2.$$

W celu obliczenia momentu bezwładności „wysumujemy” przyczynki w powyższym równaniu po całej objętości naszej powłoki kulistej. Z lewej strony równania otrzymujemy sumę momentów bezwładności względem trzech kierunków, ale z racji symetrii zagadnienia stanowi to po prostu  $3I_{sfery}$ . Z sumowania prawej strony równania otrzymujemy natomiast  $2m \cdot R^2$ . A zatem mamy:  $3I_{sfery} = 2m \cdot R^2$ , a zatem:

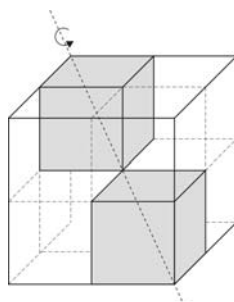
$$I_{sfery} = \frac{2}{3} m \cdot R^2.$$

### 8. Sześcian

A teraz prawdziwa „perełka” wśród zadań: obliczyć moment bezwładności sześcianu o krawędzi długości  $a$  i masie  $m$ , względem osi obrotu zawierającej przekątną sześcianu.

Przy rozwiązaniu tego zadania skorzystamy z trzech twierdzeń przedstawionych na początku artykułu. Zapisujemy więc moment bezwładności sześcianu wzorem  $I = k \cdot m \cdot a^2$ , w którym  $k$  jest znowu szukanym współczynnikiem. Rozkładamy sześcian na 8 mniejszych sześcianów, każdy o krawędzi  $a/2$  i masie  $m/8$  tak, jak to przedstawiono na rys. 8. Moment bezwładności każdego z tych sześcianów względem jego przekątnej jest równy

$$k \cdot \frac{m}{8} \cdot \left(\frac{a}{2}\right)^2 = \frac{1}{32} k \cdot m \cdot a^2.$$



Rys. 8.

Przekątne dwóch (zaznaczonych na rys. 8) spośród ośmiu sześcianów zawarte są w przekątnej „dużego” sześcianu. Przekątne pozostałych 6 sześcianów równoległe do przekątnej „dużego” sześcianu leżą od tej przekątnej w odległości  $a\sqrt{6}/6$  ( $2/3$  wysokości trójkąta równobocznego o boku równym  $a\sqrt{2}/2$ ). Na podstawie twierdzenia Steinera oraz twierdzenia o sumowaniu momentów bezwładności mamy:

$$I = 2 \cdot \frac{1}{32} k \cdot m \cdot a^2 + 6 \cdot \left( \frac{1}{32} k \cdot m \cdot a^2 + \frac{1}{8} m \cdot \left(\frac{a\sqrt{6}}{6}\right)^2 \right)$$

$$I = \frac{8}{32} k \cdot m \cdot a^2 + \frac{6}{8} m \cdot \frac{a^2}{6} = \frac{1}{4} k \cdot m \cdot a^2 + \frac{1}{8} m \cdot a^2$$

Porównując otrzymane wyrażenie z założoną postacią wzoru na moment bezwładności całego sześcianu otrzymujemy równanie

$$k \cdot m \cdot a^2 = \frac{1}{4} k \cdot m \cdot a^2 + \frac{1}{8} m \cdot a^2.$$

Rozwiązujemy je, otrzymujemy kolejno:

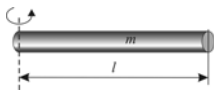
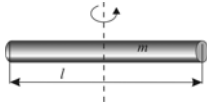


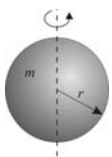

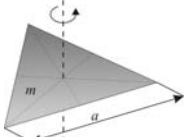
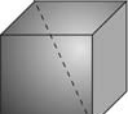
$$\frac{3}{4} k \cdot m \cdot a^2 = \frac{1}{8} m \cdot a^2$$

$$\frac{3}{4}k = \frac{1}{8}$$

$$k = \frac{1}{8} \cdot \frac{4}{3} = \frac{1}{6}$$

Zatem moment bezwładności wspomnianego sześcianu wyraża się wzorem  $I = \frac{1}{6} \cdot m \cdot a^2$ . Przedstawione przykłady dowodzą, że do obliczania momentów bezwładności wielu brył lub figur płaskich nie jest konieczna znajomość rachunku całkowego, przy czym w powyższych rozwiązaniach występują oczywiście pewne jego elementy (np. nieskończenie mały element masy, sumowanie po całej bryle). Wystarczy dobra wyobraźnia przestrzenna oraz znajomość analizy wymiarowej i podstawowych twierdzeń o momencie bezwładności.

Otrzymane wyniki można sprawdzić stosując zwykłe całkowanie. Powyższe zadania można potraktować jako wstęp do rachunku różniczkowego i całkowego.

<p>Pręt</p>  $I = \frac{1}{3} \cdot m \cdot l^2$	<p>Pręt</p>  $I = \frac{1}{12} \cdot m \cdot l^2$
<p>Walec</p>  $I = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2$	<p>Krażek</p>  $I = \frac{1}{4} \cdot m \cdot r^2$
<p>Powłoka kulista</p>  $I = \frac{2}{3} \cdot m \cdot r^2$	<p>Stożek</p>  $I = \frac{3}{10} \cdot m \cdot r^2$
<p>Trójkąt</p>  $I = \frac{1}{12} \cdot m \cdot a^2$	<p>Sześcian</p>  $I = \frac{1}{6} \cdot m \cdot a^2$



## Symulacje fizyczne jako efektywna pomoc dydaktyczna

*Andrzej Sokolowski*

*Texas A&M University*

*Magnolia West High School, Texas, USA*

Dynamiczny rozwój programów komputerowych spowodował rozwój pomocy dydaktycznych. Jedną z nich są symulacje eksperymentów fizycznych. Czy tego typu pomoce dydaktyczne pozwalają na lepsze zrozumienie fizyki i zachęcenie ucznia do jej studiowania? Z pewnością wiele badań zostało przeprowadzonych w tym kierunku w wielu krajach. Mimo, że nic nie zastąpi pracowni fizycznych z realnymi doświadczeniami, dobrze przemyślane symulacje pomagają w zrozumieniu fizyki.

W poniższym artykule chciałbym przybliżyć Państwu symulacje zjawisk fizycznych opracowane przez zespół naukowców z *University of Colorado* w Boulder, które wydają się być wiodącymi w tej dziedzinie w USA (Wieman, Adams, Loeblein, Perkins, 2010). Zespół ten (PhET) pod kierownictwem Dr. Carla Wiemana, który jest laureatem Nagrody Nobla z dziedziny fizyki, opracował ponad 80 symulacji z zakresu fizyki, jak również chemii, biologii i matematyki. Symulacje te dostępne są bezpłatnie *on line* pod adresem:

[http://phet.colorado.edu/simulations/index.php?cat=Featured\\_Sims](http://phet.colorado.edu/simulations/index.php?cat=Featured_Sims).

Na tej stronie można również znaleźć przykłady lekcji opracowanych przez zespół PhET jak również przez innych nauczycieli fizyki (niektóre z nich są przygotowane przeze mnie). Procedura techniczna tych symulacji jest przetłumaczona na ponad 40 różnych języków w tym również na język polski

<http://phet.colorado.edu/simulations/translations.php>

dlatego wypróbowanie ich jest proste.

Badania przeprowadzone przez dydaktyków z fizyki (Finkelstein, Perkins, Adams, Kohl & Podolefsky (2004, p. 1)) wykazały, że studenci korzystający z tych symulacji lepiej rozumieją fizykę niż studenci uczeni metodami tradycyjnymi. Konkludując, propagowanie tych symulacji może mieć pozytywny wpływ na wyniki nauczania fizyki nie tylko w USA, ale również w innych krajach. Z własnej praktyki mogę stwierdzić, że studenci uwielbiają te symulacje i oceniają je bardzo wysoko pod względem wartości poznawczej.

### **1. Dlaczego symulacje PhET są efektywne?**

Pomimo tego, że wiele prac na temat tych symulacji zostało już napisanych (artykuły te są dostępne na <http://phet.colorado.edu/research/index.php>), jako jeden z ich zwolenników chciałbym podkreślić niektóre z ich walorów dydaktycznych odnosząc się do własnej praktyki szkolnej.

### *A. Dostępność i uniwersalność*

Jak wspomniałem, pliki tych symulacji są dostępne bez dodatkowych opłat w Internecie, mogą one też być pobrane na komputer i odtwarzane z komputera. Szeroka gama możliwości pozwala na ich wykorzystanie nie tylko na poziomie uniwersyteckim, ale również licealnym i gimnazjalnym. Uczeń może pracować samodzielnie „przed komputerem”, w grupach lub może być kierowany przez nauczyciela, który pokazuje te symulacje na projektorze. Osobiście preferuję ostatnią metodę, gdyż pozwala ona na „żywą” dyskusję z uczniami i możliwość udzielenia im szybkiej rady.

### *B. Praktyczność i naukowy charakter*

Przed publikowaniem w Internecie, symulacje te przechodzą szereg badań pod względem ich prostoty i pomocy w zrozumieniu przedstawionego zjawiska. Zbierane i analizowane są nie tylko opinie profesorów, którzy je stosują w praktyce, ale również głos mają studenci, do których te symulacje są adresowane. Dzięki temu prezentowane eksperymenty przedstawione są w prosty i atrakcyjny sposób, tak żeby uczeń nie był „przygnieciony” ich stroną naukową, a został „wciągnięty” w proces ich poznawania i jednocześnie odkrywania praw fizyki. Symulacje te pozwalają też na szybkie weryfikowanie stawianych hipotez, rzecz która w realnych doświadczeniach może być czasochłonna.

### *C. Atrakcyjność formy*

Przyjemna i dobrze zbalansowana kolorystyka połączona z humorystycznymi elementami wraz z naturalną scenerią powoduje, że symulacje te mają często charakter zabawy, co czyni je bardzo atrakcyjnymi dla ucznia i „wciągającymi” do poznawania.

Każda z tych symulacji ma również swoje specyficzne zalety, które uczeń i... nauczyciel odkrywa wraz z ich używaniem na lekcji/wykładzie.

## **2. Dlaczego symulacje PhET są efektywne?**

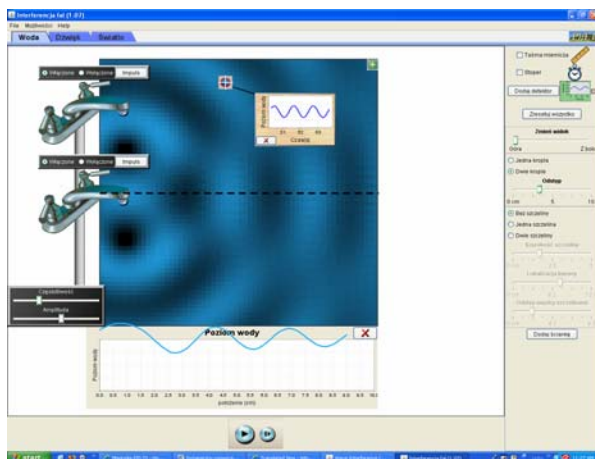
Symulacje te mogą być wykorzystane na różnych etapach lekcji/wykładu i mogą dobrze służyć różnorodnym celom dydaktycznym. Niektórymi z wielu elementów ich zastosowania jest:

- wprowadzenie do tematu lekcji,
- samodzielna praca ucznia,
- forma zadań,
- konsolidacja wiedzy ucznia.

Przykłady z zastosowaniem tych symulacji w różnych fazach lekcji są przedyskutowane poniżej.

### A. Wprowadzenie do tematu

Zjawisko ruchu energii w postaci fali jest stosunkowo łatwe do zademonstrowania na sznurze. Zdecydowanie trudniej jest obserwować zjawisko ruchu i interferencji dwóch fal.



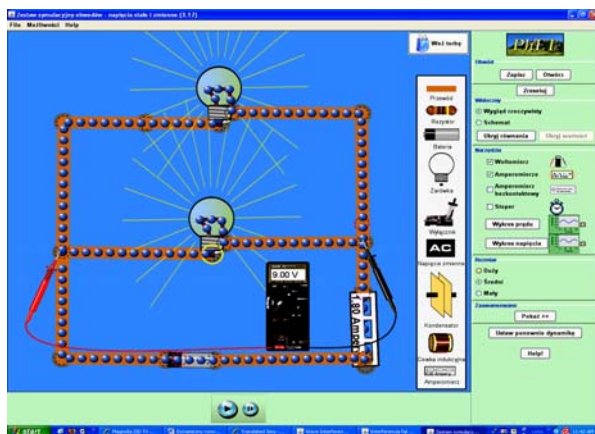
Rys. 1. Interferencja Fal [4]

Trudne do wizualizacji zjawisko *interferencji* może być przedstawione studentom przed rozpoczęciem analizy matematycznej. Zmiana *częstotliwości* źródła powoduje różnicowanie obszarów wzmocnienia i osłabiania fal. Wprowadzony *detektor* pozwala na pomiar *amplitudy* fali wypadkowej i obserwowanie zerowej amplitudy w obszarze *destruktywnej interferencji*.

Prezentowany model interferencji fal na wodzie jest bardzo dobrym pomostem do jednoczesnego badania interferencji światła i dźwięku, na które ta symulacja również pozwala.

### B. Samodzielna praca ucznia

Dostępność tych symulacji w Internecie stwarza możliwość kreowania prac domowych z ich zastosowaniem.



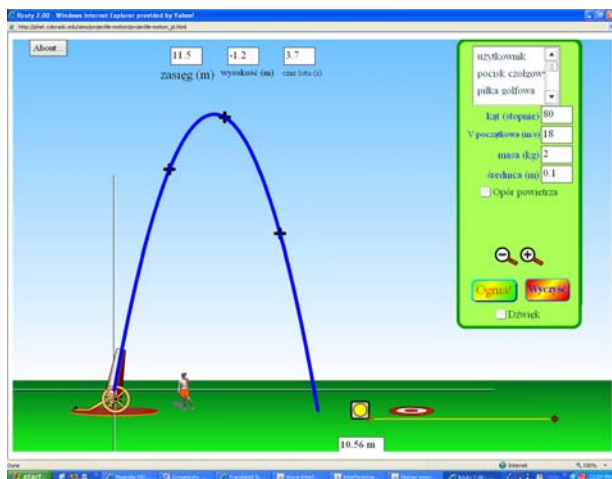
Rys. 2. Zestaw Symulacyjny Obwodów Elektrycznych [1]

Symulacja ta pozwala na konstruowanie różnych obwodów elektrycznych jak również na pomiar napięcia i natężenia prądu przy użyciu różnych elementów obwodu. Studenci mogą mieć za zadanie znalezienie relacji pomiędzy napięciem i natężeniem w połączeniach szeregowym i równoległym.

Symulacja ta „pozwała” na *zwarcie* obwodu, który nie ma odbiornika, a tylko źródło napięcia i przewody; przypadek raczej niepożądany w realnych doświadczeniach na lekcji.

### C. Forma zadań tekstowych

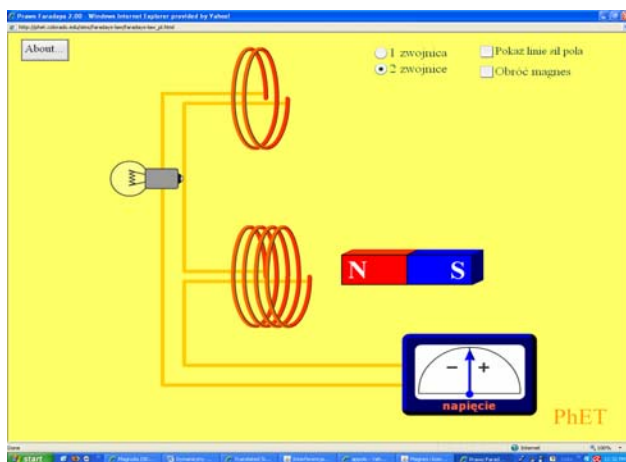
Przez pokazywanie numerycznych wartości wielkości fizycznych, symulacje te mogą służyć jako wizualizacja zadań testowych.



Rys. 3. Rzuty [3]

#### D. Konsolidacja wiedzy ucznia

Symulacja ta pozwala również na podsumowanie lekcji.



Rys. 4. Prawo Faradaya [2]

#### Uwagi końcowe

W artykule odniosłem się do niektórych walorów dydaktycznych tych symulacji. Z pewnością kreatywni nauczyciele fizyki znajdą wiele innych wartościowych aspektów ich zastosowania.

Wysoka wartość dydaktyczna tych symulacji opiera się nie tylko na ich atrakcyjności, ale również na tym, że uczniowie lepiej zapamiętują materiał prezentowany z ich użyciem. Studenci są zainteresowani poznawaniem nowych

Obok analizy istoty rzutu, zasada zachowania energii mechanicznej może być praktykowana za pomocą symulacji „Rzuty”.

Uczniowie mają podaną masę i początkową prędkość pocisku i pytani są o maksymalny zasięg lub wysokość, na którą pocisk się wzniesie. Pytanie o czas lotu może być również uwzględnione. Symulacja ta pozwala na szybką weryfikację rachunków.

Kąt lotu pocisku, jak również opór powietrza, może ulegać zmianom, dzięki czemu trajektorie ruchu jest odpowiednio modelowana

Czynniki wpływające na wartość natężenia prądu indukcyjnego mogą być podsumowane z wykorzystaniem symulacji Prawo Faradaya.

Uczniowie są pytani, jak szybkość zmiany zewnętrznego pola magnetycznego czy też liczba zwojów wpływa na wartość indukowanego prądu. Kierunek prądu może być również analizowany dzięki tej symulacji.

Odpowiedzi uczniów są szybko weryfikowane przez odpowiednie demonstracje.



„możliwości” tych symulacji, przez co poznają fizykę. Poprzez zainteresowanie proces przyswajania trudnych zjawisk fizycznych staje się dla uczniów łatwiejszy. Fakt ten również wpływa na podwyższenie atrakcyjności fizyki jako przedmiotu studiowania.

Bardzo gorąco chciałbym wszystkich czytelników zachęcić do wypróbowania tych symulacji w praktyce i wymiany uwag na temat ich zastosowania.

#### Referencje

- Finkelstein, N.D., Perkins, K.K., Adams, W., Kohl, P., & Podolefsky, N. (2004). *Can computer simulations replace real equipment in undergraduate laboratories?* PERC Proceedings. Colorado.
- Wieman, C., Adams W., Loeblein P., Perkins, K., (2010) *Teaching Physics Using PhET simulation* (in press).

- [1] Circuit Construction Kit  
[http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Circuit\\_Construction\\_Kit\\_DC\\_Only](http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Circuit_Construction_Kit_DC_Only)
- [2] Faraday's Law  
[http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Faradays\\_Law](http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Faradays_Law)
- [3] Projectile Motion  
[http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Projectile\\_Motion](http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Projectile_Motion)
- [4] Wave Interference  
[http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Wave\\_Interference](http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Wave_Interference)



## Zrób to sam – wykrywacz metalu

Katarzyna Cieślak

Kto z nas nie marzy o znalezieniu starego skarbu zakopanego w ogródku? Ale o ile nie otrzymaliśmy w spadku po przodkach „tajemniczej mapy z krzyżkiem”, to nasze szanse, że znajdziemy cenne monety lub inne wartościowe przedmioty przekopując ziemię pod uprawę warzyw, są raczej małe. Chyba, że... skorzystamy z technicznego udogodnienia jakim jest wykrywacz metalu (fot. 1).

Istnieje kilka typów detektorów metalu. Niektóre z nich są w stanie selektywnie wykrywać przedmioty zbudowane z konkretnych materiałów. Jest to przydatne jeśli interesują nas na przykład złote monety, a nie stare gwoździe.

Poniżej przedstawiamy instrukcję, zgodnie z którą można samemu wykonać prosty wykrywacz metalu. Mimo, że ten konkretny model nie będzie rozróżniać przedmiotów zbudowanych z różnych pierwiastków, a jego czułość nie będzie w stanie konkurować z profesjonalnymi urządzeniami, to może on dostarczyć doskonałej zabawy dla całej rodziny, albo stanowić temat szkolnego projektu naukowego.

Zacznijmy od zasady działania wykrywacza. Podstawowym elementem każdego detektora metalu jest *generator*, czyli układ rezonansowy składający się z cewki  $L$  połączonej szeregowo z kondensatorem  $C$ . W zależności od tego jak wybierzemy wartość indukcyjności własnej cewki i pojemności kondensatora, układ ten będzie miał inną częstotliwość rezonansową, określoną wzorem:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

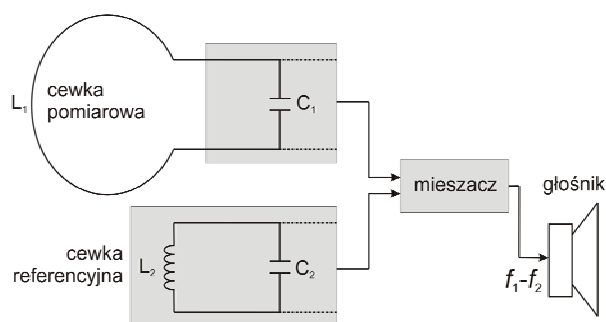
Jeśli układ zasilimy, na przykład przez naładowanie kondensatora, to układ ten zacznie wykonywać drgania elektryczne i otrzymamy źródło zmiennego pola elektromagnetycznego o częstotliwości  $f$ .



Fot. 1. Wykrywacz metalu  
Źródło: <http://www.benmeadows.com/>

Co stanie się, jeśli zbliżymy taki układ do metalowego przedmiotu? Na skutek zakłócenia, spowodowanego obecnością metalu, indukcyjność własna cewki  $L$  ulegnie zmianie. Jeśli badany przedmiot jest zbudowany z materiału diamagnetycznego (np. złoto, srebro, miedź) lub paramagnetycznego (np. aluminium) to indukcyjność własna cewki  $L$  obniży się. Natomiast przedmioty wykonane z substancji ferromagnetycznych (np. żelazo, nikiel, kobalt) spowodują wzrost indukcyjności własnej cewki. W rezultacie, obecność przedmiotów metalowych w pobliżu układu rezonansowego powoduje zmianę jego częstotliwości. Pozostaje więc zarejestrować zmianę indukcyjności lub zmianę częstotliwości generatora. Istnieje kilka sposobów rozwiązania tego problemu, i w związku z tym – kilka różnych rodzajów detektorów metalu.

Wykrywacz, o którym będzie mowa, należy do tzw. typu BOF (ang. *Beat Frequency Oscillator*). W skład tego detektora wchodzi dwie cewki (rys. 1).






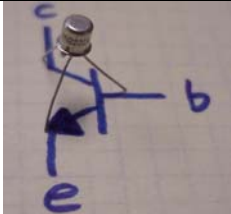

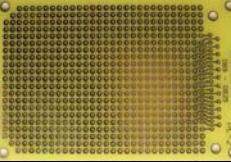

Rys. 1. Schemat wykrywacza typu BOF (generatora dudnieniowego)

Jedną z cewek ( $L_1$ ) umieszcza się na końcu uchwytu detektora i podczas badania przesuwa się ją nad powierzchnią gruntu – indukcyjność własna tej cewki ulega zmianie jeśli zbliżymy ją do przedmiotu metalowego. Natomiast druga cewka ( $L_2$ ), umieszczona z dala od gruntu (na uchwycie detektora) stanowi tzw. układ referencyjny – jej częstość nie ulega zmianie. Sygnały z obydwu cewek przekazywane są na wejście *mieszacza częstości*. Na wyjściu tego urządzenia możemy zmierzyć różnicę częstotliwości wejściowych (*częstość dudnień*). Sygnał ten podawany jest następnie na wejście głośnika. Przed pomiarem, wykrywacz reguluje się w ten sposób, żeby częstotliwości rezonansowe obydwu cewek były zbliżone do siebie. Dopóki obydwie cewki znajdują się daleko od przedmiotów metalowych, różnica ich częstości jest więc mała i w głośniku słyszymy niskie buczenie. Jeśli jednak cewka  $L_1$  znajdzie się nad obiektem metalowym, to jej częstotliwość rezonansowa zmieni się i różnica częstości na wyjściu mieszacza również ulegnie zmianie. Dzięki głośnikowi usłyszymy to jako zmianę wysokości dźwięku.

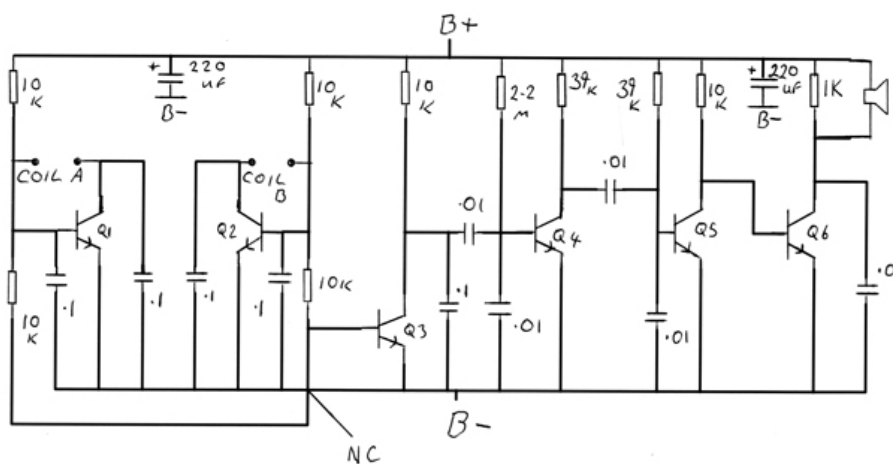
Zmiana częstotliwości układu pomiarowego wywołana obecnością metalowego przedmiotu jest proporcjonalna do częstotliwości rezonansowej generatora. Im większa jest ta zmiana tym czulszy układ detekcyjny. Naturalne wydaje się więc, że w celu zwiększenia czułości wykrywacza należy zastosować układ rezonansowy o wysokiej częstotliwości. Tymczasem częstotliwość generatorów stosowanych w detektorach BOF jest zaledwie rzędu 100 kHz. Wybór ten stanowi kompromis pomiędzy tendencją do zwiększania czułości urządzenia a faktem, że pola o wyższych częstotliwościach ulegają większemu tłumieniu przez podłoże. Jeśli chcemy więc szukać przedmiotów położonych głębiej pod ziemią, to należy użyć generatorów o niższych częstotliwościach. Zasięg wykrywaczy metali zależy od rozmiaru cewki pomiarowej oraz od rozmiaru szukanego przedmiotu. Z grubsza rzecz biorąc szacuje się, że maksymalna głębokość detekcji jest w przybliżeniu równa średnicy cewki, jeśli wielkość szukanego przy jej pomocy przedmiotów jest rzędu połowy średnicy cewki [1].

Uzbrojeni w wiedzę na temat działania wykrywacza metalu zabierzmy się za konstruowanie własnego modelu, zgodnie z projektem Chrisa Wesselsa i Tima Palaga [2]. Do budowy układu elektronicznego potrzebne będą następujące elementy:

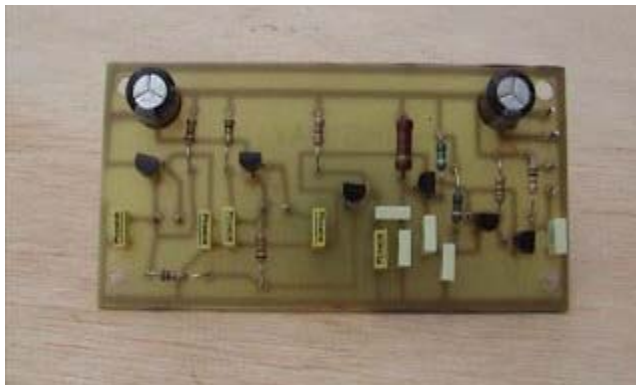
<b>• kondensatory:</b>	
<b>2 kondensatory elektrolityczne 220 <math>\mu</math>F, 16V</b> (polarność tych kondensatorów oznaczona jest najczęściej na obudowie przy pomocy paska z zaznaczonym znakiem „-”, czasem również końcówka o polarności ujemnej jest krótsza)	
<b>5 kondensatorów poliestrowych 0,01 <math>\mu</math>F</b>	
<b>5 kondensatorów poliestrowych 0,1 <math>\mu</math>F</b>	
<b>• oporniki węglowe 0,25 W z tolerancją 5%:</b>	
<b>1 opornik 1 k<math>\Omega</math></b>	
<b>6 oporników 10 k<math>\Omega</math></b>	
<b>2 oporniki 39 k<math>\Omega</math></b>	
<b>1 opornik 2,2 M<math>\Omega</math></b>	

<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 tranzystorów małosygnałowych NPN o wzmacnieniu minimalnym 250, na przykład 2N2222A (schematy, na których producenci zaznaczają układ końcówek: emitor, kolektor, baza dla różnych typów tranzystorów można łatwo znaleźć w Internecie)</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• głośnik miniaturowy o impedancji 8Ω (lub większej)</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• płytki uniwersalna</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• bateria 9 V, PP3</li> </ul>	

Elementy należy zmontować według poniższego schematu:

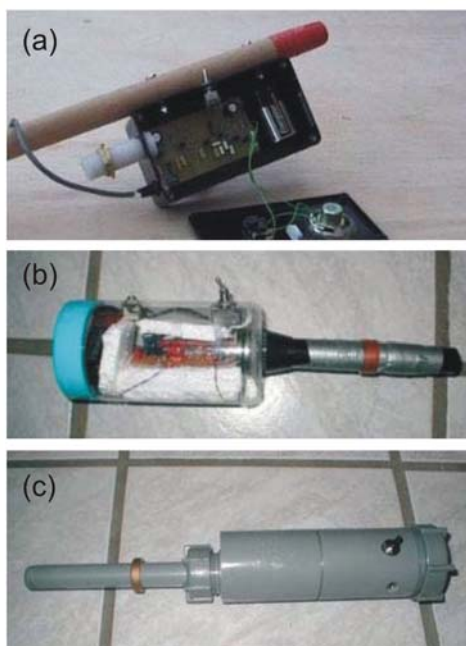


**Rys. 2.** Schemat układu elektronicznego. Oznaczenia: **B-** biegun ujemny baterii, **B+** biegun dodatni baterii, **NC** skrzyżowanie przewodów (brak połączenia), **coil A** cewka pomiarowa, **coil B** cewka referencyjna, **Q1-Q6** tranzystory, **0.1** kondensator 0,1  $\mu\text{F}$ , **0.01** kondensator 0,01  $\mu\text{F}$ , **10 K** opornik 10 k $\Omega$ , **2.2 M** opornik 2,2 M $\Omega$



Fot. 2. Zmontowany układ elektroniczny. Źródło: <http://www.easytreasure.co.uk/bfo.htm>

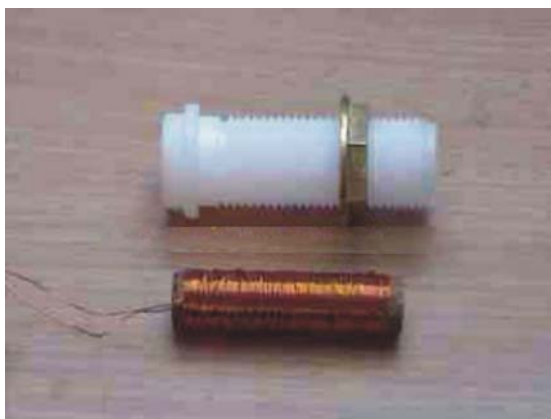
Płytkę ze zmontowanym układem elektronicznym, podobnie jak głośnik należy następnie zamontować w obudowie i umieścić ją na uchwycie urządzenia. Można się w tym celu posłużyć rurą z tworzywa sztucznego lub butelką z twardego plastiku (fot. 3). Następnie należy przygotować i podłączyć do układu elektronicznego dwie cewki: cewkę pomiarową i cewkę referencyjną.



Fot. 3. Przykład trzech różnych realizacji obudowy układu elektronicznego wykrywacza metali: (a) tradycyjna obudowa, (b) butelka z twardego plastiku, (c) rura z tworzywa sztucznego

Żeby zbudować cewkę pomiarową należy zaopatrzyć się w **trzy koła wykrojone ze sklejki o grubości 3 mm**: dwa koła o średnicy 16 cm i jedno o średnicy 15 cm. Koła należy ułożyć jedno na drugim i skleić klejem do drewna w ten sposób, żeby koło o najmniejszej średnicy znajdowało się pomiędzy większymi kołami. W ten sposób powstanie przestrzeń, w której będziemy nawijać zwoje. Potrzebny będzie do tego izolowany **drut miedziany o średnicy 0,25 mm**. W przestrzeni pomiędzy kołami ze sklejki należy nawinąć jeden obok drugiego **10 zwojów**, przez co otrzymamy układ o częstotliwości około 100 kHz.

Do budowy cewki referencyjnej będzie nam potrzebny **drewniany lub plastikowy kołek o długości około 50 mm i średnicy 12 mm**, oraz **nagwintowana plastikowa rurka i dopasowana do niej mosiężna nakrętka** (fot. 4).



Fot. 4. Plastikowa rurka z mosiężną nakrętką i kołek drewniany z nawiniętą na nim cewką referencyjną. Źródło: <http://www.easytreasure.co.uk/bfo.htm>

Na obydwu końcach kołka najlepiej jest nawiercić dwie małe (1 mm) dziurki, po to, żeby przewlec przez nie początek i koniec drutu – w ten sposób można zapobiec przesuwaniu się zwojów. Na kołek należy nawinąć **120 zwojów miedzianego przewodu o średnicy 0,25 mm**. Następnie tak otrzymaną cewkę należy umieścić wewnątrz plastikowej rurki i zamocować ją w obudowie układu elektronicznego. W zależności od precyzji w nawijaniu oraz od dokładnych rozmiarów kołka służącego jako rdzeń do nawijania, indukcyjność cewki referencyjnej może się różnić od przewidywanej wartości. Ze względu na to, że docelowo ważne jest dopasowanie częstotliwości rezonansowej obydwu cewek, częstotliwość cewki referencyjnej będzie można regulować przez przesuwanie mosiężnej nakrętki po powierzchni plastikowej rurki: im głębiej nasunięta nakrętka, tym mniejsza indukcyjność własna cewki, i tym wyższa częstotliwość rezonansowa układu. O tym czy obydwie cewki mają dobrze dopasowaną częstotliwość przekonamy się słuchając dźwięków wydobywających się z głośnika.

Częstotliwość dudnień będzie maleć, a więc wysokość słyszanego dźwięku będzie spadać w miarę jak częstotliwość cewki referencyjnej będzie się zbliżać do częstotliwości cewki pomiarowej. Strojenie możemy zakończyć w chwili gdy dźwięk będzie podobny do buczenia silnika stojącego w miejscu pojazdu. Jeśli nie da się zestroić obydwu cewek przy pomocy mosiężnego pierścienia, należy zwiększyć lub zmniejszyć liczbę zwojów cewki referencyjnej.

Aby przekonać się jak wygląda proces strojenia i testowanie detektora warto zapoznać się z instruktażowym filmem nakręconym przez autorów tego projektu [3].

#### Referencje

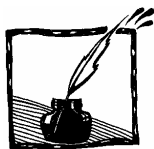
- [1] Piotr Górecki, *Wykrywacze metali*, Elektronika dla wszystkich, 4/1998, 29–35
- [2] <http://www.instructables.com/id/bfo-metal-detector/>
- [3] <http://tinyurl.com/yjnblev>



Poszukiwacze złota z wykrywaczem metalu projektu George'a Hopkinsa

(Źródła: we\_history\_4.gif – <http://www.kellycodetectors.com>  
historyofdetectors2.jpg – <http://www.nqminersden.com>)





## Odgłosy z jaskini (15). Na ramionach olbrzymów

*Adam Smólski*

Tym razem nie będę atakował problemów fizycznych, ale chyba dobrze, by co parę odcinków pojawił się tekst „luźniejszy”. I mniej o samej fizyce, a bardziej o jej nauczaniu, wszak *Foton* jest czasopismem dydaktycznym.

Gdy w 2003 roku powstawały gimnazjalne Standardy Osiągnięć... Hm, czy Państwo na pewno wiedzą, co to takiego? Może tak, dzięki wydawnictwu ZamKor i osobiście dzięki Barbarze Sagnowskiej, która Standardy nieustrudzenie propagowała. Dzięki jej działalności, na stronie internetowej ówczesnej *Fizyki w Szkole* zebraliśmy ponad tysiąc podpisów popierających nadanie standardom rangi obowiązującej normy. Do tego nie doszło, ale Podstawa Programowa z grudnia 2008 roku wyraźnie stara się naśladować (inna rzecz, że mało „udolnie”) ducha Standardów. Istotnym nowatorstwem Standardów był nacisk na umiejętności przekrojowe, których listę zaproponowaliśmy.

No więc, gdy w 2003 roku powstawały gimnazjalne Standardy Osiągnięć, w ich próbnej, pierwszej redakcji na końcu wymagań przekrojowych umieściłem elementy historii fizyki, które, jak uważałem, koniecznie powinny pojawić się w trakcie nauki i które mogłyby pojawić się nawet na egzaminie gimnazjalnym.

Przed wszystkim uważałem, że do ogólnego wykształcenia Polaka powinno należeć prawidłowe kojarzenie kilku naprawdę wielkich imion i nazwisk z odpowiednią dziedziną nauki (w tym wypadku fizyką), z odpowiednim okresem dziejów, no i może choć z grubsza z najważniejszym dokonaniem ich właścicieli. Jakich imion i nazwisk? Na pewno Archimedes, Kopernik, Galileusz, Newton i Marii Skłodowskiej-Curie. W gimnazjum wystarczyłoby tyle. Chyba we wszystkich popularnych podręcznikach te postacie mają swoje „okienka biograficzne”. Ale jako „ciekawostki”, poza obowiązkowym materiałem. Dlaczego? Chyba tylko dlatego, że nie ma w polskim nauczaniu fizyki takiej tradycji. Z tego też powodu ostatecznie do Standardów tematyka historyczna nie weszła (poza żądaniem orientacji w głównych etapach podboju Kosmosu). Próżno by jej było szukać także w Podstawie Programowej z grudnia 2008.

Poza kanonami ogólnego wykształcenia, historia fizyki może być wielce pomocna w nauczaniu samej fizyki. Oczywiście „nie odkrywam Ameryki”, badania i eksperymenty dydaktyczne na ten temat prowadzone są od dawna. Metoda „historyczna” wydaje się szczególnie przydatna dla uczniów o zainteresowaniach humanistycznych. Kiedyś głośny, dziś całkiem zapomniany cykl podręczników Grzegorza Białkowskiego przywoływał historyczny rozwój fizyki niejako „na pomoc”, by ułatwić uczniom zrozumienie trudnych pojęć. Bo też

trudności, jakie ma dzisiaj początkujący uczeń, są często te same, jakie w ogóle miała nauka w swoich dziejach. Gdy chodzi np. o tempo spadania ciał o różnych masach, każdy „na starcie” jest Arystotelesem.

Czy wprowadzamy elementy historii fizyki do Lwiątko? Nieczęsto. Oto kilka podobnych do siebie zadań, z których dwa pierwsze poszły w konkursie w 2007, mimo narzekań recenzentów. Że to nie fizyka. Nie daliśmy się zastraszyć.

„Eureka” zawołać miał, według legendy,

A. Pitagoras, B. Arystoteles, C. Euklides, D. Archimedes, E. Ptolemeusz.

„Dajcie mi punkt podparcia, a poruszę Ziemię” powiedzieć miał, według legendy,

A. Archimedes, B. Kopernik, C. Giordano Bruno, D. Kartezjusz, E. Newton.

„A jednak się kręci” powiedzieć miał, według legendy,

A. Archimedes, B. Giordano Bruno, C. Galileusz, D. Kopernik, E. Newton.

„Bóg nie gra w kości” powiedział, według znanego cytatu,

A. Kartezjusz, B. Pascal, C. Newton, D. Einstein, E. Heisenberg.

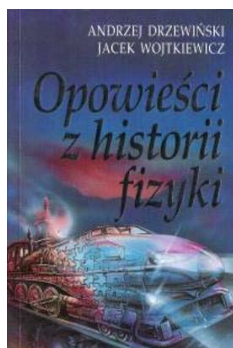
„Mały krok dla człowieka, wielki krok dla ludzkości” powiedział, według znanego cytatu,

A. Neil Armstrong, pierwszy człowiek na Księżycu,  
B. Jurij Gagarin, pierwszy kosmonauta,  
C. Edmund Hillary, zdobywca Everestu,  
D. Roald Amundsen, zdobywca Bieguna Południowego,  
E. Krzysztof Kolumb, odkrywca Ameryki.

„Jeśli widziałem dalej niż inni, to dlatego, że stałem na ramionach olbrzymów” powiedział, według znanego cytatu,

A. Galileusz, B. Kepler, C. Newton, D. Einstein, E. Guliwer.

*A propos* ostatniego z tych zadań, sentencja, której dotyczy, pochodzi od średniowiecznego filozofa Bernarda z Chartres, Newton go cytował. Ponieważ Newton jest sławniejszy, jemu zaczęto przypisywać autorstwo powiedzenia.



Redakcja poleca doskonałą książkę Andrzeja Drzewińskiego i Jacka Wojtkiewicza *Opowieści z historii fizyki*

„Książka nie jest systematycznym wykładem historii fizyki, lecz zbiorem opowieści o różnych epizodach w poznawaniu natury. Przeznaczona jest dla młodych czytelników, pisana wartkim stylem zawiera pojęcia, które występują w programie szkolnym lub nieznacznie poza ten program wykraczają. Autorzy wykorzystują epizody z historii fizyki, aby wyjaśnić wiele pojęć i faktów z fizyki. Jest to czynione zgrabnie i miejscami bardzo pomysłowo.”

(z recenzji prof. Andrzeja Kajetana Wróblewskiego)



## ***Quo vadis* polska fizyko – fizyk polski w przyszłości**

*Zofia Gołąb-Meyer*

Na zakończenie XL Zjazdu Fizyków Polskich w Krakowie, 11 września, odbyła się – kierowana przez Prezesa PAU profesora Andrzeja Białasa – dyskusja panelowa pt. „*Quo vadis* polska fizyko?”. Zasadnym było postawienie na początku dyskusji pytania, kto ją będzie w przyszłości uprawiał. Kto będzie np. zatrudniony w planowanej energetyce jądrowej, kto będzie pracował w wielkich europejskich urządzeniach badawczych jak np. synchrotron.

Fizycy są kształceni na studiach fizyki, a na studia przychodzą ze szkół. Dotychczasowe doświadczenia, to jest dobry stan fizyki, usypiają troskę o kadry przyszłych fizyków. Na uczelniach pojawiają się wybitnie zdolni i ambitni młodzi ludzie, którzy są świetnie wykształceni i bez kompleksów włączają się w nurt światowej fizyki. A fizyka, nie tylko nasza, ale i światowa, ich potrzebuje.

Jak słusznie zauważył jeden z uczestników panelu, zresztą znakomity i nagrodzony w tym roku nauczyciel Marek Orzechowski, dobrą kondycję fizyka zawdzięcza fizykom wykształconym w przeszłości. Taki stan nie jest zagwarantowany na przyszłość, co gorsza czarne chmury kryzysu w szkole dają zgoła nieciekawe prognozy.

Młody człowiek trafia na studia fizyki kierowany różnymi motywami. Niebagatelną rolę gra „obraz fizyki i fizyka ” stworzony w szkole przez nauczyciela fizyki oraz obraz kreowany przez media. Nie sposób przecenić tutaj roli nauczyciela fizyki. Nauczyciel musi mieć jednak warunki, by tę swoją powinność i misję wypełniać. Nie jest mu łatwo, bo szkoła jako taka jest w kryzysie, który szczególnie dotkliwie dotyczy nauczania fizyki.

Kryzys, w jakim znalazła się szkoła, nadchodził nieuchronnie. Było to kwestią czasu, kiedy nastąpi i w jak ostrej formie, a o jego powstaniu zdecydowało dużo czynników.

- Powszechność nauczania, wymarzona i wyczekiwana, oprócz swych zbawiennych rezultatów przyniosła zagrożenia. Najbardziej widoczny symptom to obniżenie poziomu nauczania.
- Szkoła znalazła się pod presją społeczną, pod silnym wpływem polityki, ze wszystkimi negatywnymi tego skutkami, takimi jak uleganie populistycznym naciskom społecznym. W efekcie tego występuje znane nam z poprzedniej epoki rozszczepienie deklarowanych haseł, celów szkoły z faktycznie realizowanymi. Te ostatnie są pod dyktando ekonomii, maksymalnych oszczędności, wbrew szumnym deklaracjom maskującym.

- Wcześniejsze pokolenia wypracowały najlepszą metodę nauczania, a mianowicie uczeń–mistrz. W czasie dyskusji *Quo vadis polska fizyka* jeden z nauczycieli stwierdził, że to nie to samo co nauczyciel–klasa. A mogłoby tak być i czasami się to zdarza. Warunkiem tego jest niezbyt liczna klasa, tak aby nauczyciel mógł poznać dobrze każdego ucznia. Nauczyciel w żadnym wypadku nie może opiekować się paruset wychowankami, a tak jest obecnie w gimnazjach, gdy nauczyciel „wyrabia” pensum w licznych klasach przy minimalnym przydziale godzinowym na fizykę. Model mistrza–ucznia doskonale może funkcjonować w Internecie. Poprzez Internet, były redaktor naczelny „Fizyki w Szkole” Adam Smólski kontaktował się z indywidualnymi czytelnikami (uczniami, nauczycielami). Model mistrz–uczeń jest w każdym wypadku kosztowny.
- Ilość wiedzy, jaką należałoby w trakcie nauki szkolnej przekazać uczniom w ostatnim stuleciu, 50-leciu, czy nawet w ostatnich 20 latach wzrosła ogromnie. W przypadku fizyki nie jest to wzrost liniowy (jak np. w historii), lecz lawinowy. Co gorsza, nie można materiału zredukować usuwając z niego jakieś elementy, co w zasadzie jest możliwe w nauce historii. Większość z nas miała w szkole historię Chin w szcążkowej postaci, co pozostało praktycznie bez wpływu na rozumienie historii Europy. W fizyce takie zabiegi są niemożliwe. Utrudnia to konstrukcję rozsądnie mieszczącego się w czasie programu nauczania. Wymaga badań dydaktyków, które to badania z natury swej muszą być rozciągnięte w czasie. A tymczasem nastąpił regres dyscypliny zwanej dydaktyką fizyki.
- Tak się dzieje w momencie, gdy dydaktyka fizyki stanęła przed nowymi wyzwaniami. Wspomniana już powszechność nauczania oznacza konieczność pracy z uczniami niespełniającymi kryteriów umiejętności logicznego, formalnego i abstrakcyjnego myślenia. Ponadto współcześni uczniowie żyją w zupełnie innym środowisku niż ich rówieśnicy sprzed kilkudziesięciu lat. Pewien uczestnik dyskusji powiedział, iż dzieci obecne mają w buzi „myszki” zamiast smoczków. Trzeba odłożyć do lamusa z trudem wypracowane chwyt dydaktyczne, a w to miejsce należy zaproponować nowe. Potrzebne są pilnie prace nad sposobami popularyzacji fizyki, a jest to zupełnie coś innego niż szkolne nauczanie. Niestety tego nie uczą się na studiach przyszli nauczyciele fizyki.

To tylko przykładowe problemy dydaktyki, dyscypliny zupełnie niedocenianej w kraju. Nie jest to wyłącznie nasz ból. Euforia rozkwitu fizyki drugiej połowy XX wieku, szeroka rzeka młodych adeptów napływających do zawodu fizyka uspiła tę dziedzinę. Ludzie zajmujący się nią skoncentrowali się na poszukiwaniach nauczania w stylu „łatwo, miło i przyjemnie”. Chodziło o nauczanie całej populacji, niekoniecznie przyszłych fizyków, bo oni do fizyki i tak odnajdywali drogę. Tu faktycznie mamy postęp.

- Niebagatelny wpływ na zmniejszenie ilości chętnych do studiowania fizyki i przedmiotów technicznych ma obniżenie poziomu wiedzy nauczycieli fizyki. W ostatnich latach koncentrowano się na, zaniedbanym dawniej, przygotowaniu psychologicznym i wychowawczym. Chodziło o to, by nauczyciel nauczył się radzić sobie w trudnych sytuacjach wychowawczych, by „nie dał sobie włożyć na głowę kosza na śmieci”. Uczyniono to jednak kosztem wykształcenia merytorycznego. Każda kolejna reforma kształcenia nauczycieli pogarsza sytuację. **Absolutnie jest niemożliwe przygotowanie nauczyciela do nauczania w gimnazjum dwóch przedmiotów w ciągu trzech lat.** Jest to trudne do osiągnięcia nawet w ciągu pięciu lat. Nauczyciel musi być obowiązkowo doksztalcany przez cały czas jego szkolnej kariery. Fizyka zbyt szybko się rozwija, by nauczyciel mógł pozostać z wiedzą wyniesioną ze studiów.
- Upadek etosu naukowca, a w naszym wypadku fizyka, którego obarcza się przyczynami wszystkich nieszczęść tego świata, nie zachęca młodych do wyboru kariery naukowej, gdzie ani pieniądze, ani prestiż, nie są magnesem. Wstępujący na studia nie wiedzą, jakie perspektywy otwierają studia fizyki. Jest tu wiele do zrobienia bez nakładów finansowych. Całe szczęście, że wrodzony instynkt badawczy i pasja poznawcza pewnej grupy młodych ludzi kieruje ich w ramiona fizyki. Zbawienna jest tu rola Internetu i jego zasobów.

Każdy z wymienionych powyżej powodów (a bynajmniej nie jedynych) kryzysu szkoły i fizyki w szkole sam w sobie nie spowodowałby katastrofy, zwłaszcza, że z niektórymi objawami walczy się od dawna. Nałożenie się wszystkich przyczyn kryzysu spowodowało stan krytyczny.

Oczywiście podejmowane są kroki ku naprawie sytuacji. Trudno jeszcze wyrokować, które pozostaną jako trwałe zdobycz czy trwały kierunek, a które pozostaną krótkotrwałą modą.

- Wydaje się, że utrwała się proces „wychodzenia” fizyki ze szkoły. Społeczeństwo, które z jednej strony domaga się, by w szkole było łatwo i miło, jednak jest ciekawe świata, zainteresowane nauką i techniką. Stąd tłumnie odwiedzane festiwale nauki, noce naukowców, wystawy, muzea. Akcje typu „Fizyka na Scenie” święcą tryumfy w każdej skali, w wielkich uniwersyteckich miastach i w małych miejscowościach. Wydaje się, że zostanie to już wpisane w model edukacji publicznej.

Muzea zmieniają swoje oblicze, korzystają z nowoczesnych form, stanowią placówki oświatowe, wyręczają na wielu polach szkoły.

- Uniwersytety otworzyły podwoje przed uczniami szkół i to nie tylko ponadgimnazjalnych, lecz także gimnazjalnych, podstawowych, a nawet przedszkoli (jak tzw. uniwersytety dla dzieci, gdzie rodzice toczą istne boje o przyjęcie swych pociech).

- Działają szkoły i klasy elitarne, kształcące zdolnych i zmotywowanych uczniów.
- Ambitni nauczyciele organizują obozy naukowe w rozmaitej formie.

Można się zastanawiać, czy to wystarczy i czy zastąpi niedostatki szkoły. Upowszechnienie edukacji, rola Internetu i innych mediów spowodowały poszerzenie puli młodzieży, z jakiej czerpiemy kandydatów do zawodu fizyka i zawodów technicznych. Jest to kolosalna szansa, znacząca zmiana na lepsze. Doktorant z ongiś biednej podgórskiej miejscowości niczym nie ustępuje doktorantowi z renomowanych szkół. Tak jest, ale z drugiej strony, jeśli uczeń był skutecznie zniechęcony do fizyki w szkole – obojętnie czy na prowincji, czy w stolicy – to do fizyki nie trafi.

Uważam, iż najważszym gardłem hamującym dostęp do fizyki młodym ludziom są nauczyciele. Poprawę należy zacząć od poprawy ich kształcenia i dokształcania, od uzdrowienia systemu awansu zawodowego. Nauczyciele muszą być również finansowo motywowani do dobrej pracy. Tajemnicą poliszynela jest, że system szkolny demotywuje do dobrej pracy.

Motywacje finansowe są niebagatelne. Niech jako przykład posłużą konkursy dla nauczycieli zorganizowane z okazji XL Zjazdu Fizyków Polskich. Na konkursy nadeszło bardzo niewiele prac. Dwa miesiące wcześniej, ogłoszony konkurs przez program FENIKS spowodował wysyp interesujących propozycji. Dlaczego? Czyżby dlatego, że udział w FENIKSIE był stosunkowo bardzo dobrze opłacany, a nagrody w konkursie PTF zaledwie symboliczne?

Nie ulega wątpliwości, że nie uzdrowi się edukacji bez pieniędzy. A rezerwy chyba są. Dr Jerzy Lackowski w dyskusji stwierdził, że w naszym systemie szkolnym jest tani uczeń, tani nauczyciel, a najdroższy urzędnik, na którego idzie co czwarta złotówka z budżetu na edukację.

Nie dokona się znaczącej poprawy kształcenia nauczycieli bez przywrócenia, czy raczej nadania, należytej rangi i badaniom dydaktycznym. Zakłady nauczania fizyki, czy dydaktyki fizyki, czy też metodyki (różne nazwy są używane) muszą pełną parą być skierowane na badania dydaktyczne. Te badania i zajęcia nie mogą być kulą u nogi i zawadą w akademickiej karierze ich kierowników i pracowników prowadzących badania na innym polu fizyki. To nie będzie szybki proces, ale trzeba go rozpocząć od zaraz. Pilnym zadaniem jest ustalenie normalnej ścieżki kariery w dydaktyce fizyki, od magistra przez doktora i habilitację na wydziałach fizyki; badań nad nauczaniem fizyki absolutnie nie może czynić osoba niekompetentna w fizyce, czym groziłoby wyprowadzenie dydaktyki fizyki do wydziału pedagogicznego.

Podsumowując można stwierdzić, iż choć kryzys w nauczaniu fizyki grozi załamaniem wielkości i jakości przyszłej kadry naukowej, to jednak znane są drogi wyjścia z impasu, a niektóre z nich nawet nie wymagają zwiększenia nakładów finansowych, choć zasadniczo cała edukacja ich rozpaczliwie wymaga.



## Refleksje pozjazdowe

*Edward Rydygier*

*Oddział Warszawski*

*Polskiego Towarzystwa Fizycznego*

W dniach 6–11 września tego roku odbył się w Krakowie czterdziesty już Zjazd Fizyków Polskich. Ze względu na to, że w wyniku realizacji reformy systemu edukacji wyjątkowo niekorzystnie potraktowana została fizyka i inne przedmioty przyrodnicze, organizatorzy tegorocznego Zjazdu postarali się dopuścić do głosu nauczycieli fizyki, których stanowisko wobec reformy permanentnie jest ignorowane przez władze oświatowe. I tak oprócz sesji specjalistycznych poświęconych nauczaniu i dydaktyce fizyki (w tym sesji plakatowej), przeprowadzono dyskusję nauczycieli na temat: „O co chodzi w tej reformie? Hyde Park” oraz kończącą zjazd dyskusję panelową zatytułowaną „*Quo vadis polska fizyka?*”, w której uczestniczyli także przedstawiciele środowiska nauczycielskiego.

W wyniku reformy edukacji drastycznym ograniczeniom uległy zarówno ilość godzin przeznaczonych na naukę fizyki, jak i treści w szkolnych programach nauczania. Władze oświatowe redukcję treści i obniżenie wymagań w programach nauczania fizyki tłumaczyły dążeniem do ograniczenia stresu uczniów spowodowanego nauką trudnego i niepopularnego przedmiotu. Skutki tej polityki okazały się jednak wyjątkowo niekorzystne dla samych uczniów, a także szerzej dla społeczeństwa. Ograniczenie materiału i obniżenie wymagań przyczyniły się do intelektualnej degradacji młodzieży, utrudniły absolwentom wybór studiów w zakresie nauk ścisłych i technicznych, a w aspekcie społecznym spowodowały braki w kadrze inżynierskiej, obniżenie prestiżu fizyki i fizyków i szerzenie się analfabetyzmu fizycznego.

Nauczyciele fizyki zdając sobie sprawę z niekorzystnych dla uczniów i społeczeństwa skutków reformy edukacji liczyli, że na Zjeździe odbywającym się na terenie Uniwersytetu Jagiellońskiego ich głos sprzeciwu wobec obniżenia poziomu polskiej szkoły dotrze do władz oświatowych, a poprzez media do społeczeństwa. Niestety, w trakcie obrad okazało się, że nauczyciele mogą liczyć tylko na siebie i ewentualnie na środowisko akademickie, które nie ma jednak wpływu na resort oświaty. Pani Minister Edukacji w ogóle zrezygnowała z wysłuchiwania głosów środowiska fizyków na temat reformy, nie przyjmując zaproszenia na obrady Zjazdu. Jej reakcja wydaje się być konsekwencją konfliktu ze środowiskiem warszawskich fizyków po wystosowaniu przez nich listu do Ministra Edukacji, w którym przeciwstawili się planom Ministerstwa Edukacji Narodowej wprowadzenia nauczania pseudonauki (różczkarstwa, wróżbiarstwa i lewitacji) do podstawy programowej w liceach.

Dyskusja na temat „O co chodzi w tej reformie?” adresowana była przede wszystkim do nauczycieli fizyki. Podtytuł „Hyde Park” dołączono, aby dyskutanci swobodniej się wypowiadali i nie obawiali się wyciągnięcia konsekwencji służbowych przez kierownictwo ich placówek oświatowych, tudzież władze resortowe. Ponieważ równolegle do tej dyskusji odbywało się spotkanie delegatów oddziałów Polskiego Towarzystwa Fizycznego, powstała inicjatywa, aby szybko sformułować propozycję stanowiska fizyków wobec reformy oświaty, które zostałyby przyjęte przez zgromadzenie delegatów jako oficjalny dokument zjazdowy. Stanowisko to zredagowano w formie protestu przeciwko redukcjom nauczania fizyki, skutkującym powszechną ignorancją fizyki i szerzeniem analfabetyzmu. Po sformułowaniu propozycji stanowiska Zjazdu, dalsza dyskusja skupiła się głównie na negatywnych skutkach redukcji nauczania fizyki dla samego środowiska nauczycieli. Wszak redukcja ilości godzin i treści nauczania fizyki w sposób oczywisty powoduje redukcję nauczycieli fizyki. Ten problem na swoim przykładzie wypunktował Mirosław Trociuk, nauczyciel fizyki i wicedyrektor w Zespole Szkół Zawodowych we Włodawie. Stwierdził on, że nauczyciele fizyki są obecnie niepotrzebni w szkolnictwie, co jest wyjątkowo tragiczne dla tych nauczycieli, którzy całe życie poświęcili na nauczanie fizyki, a teraz ich trud okazuje się daremny. Jeśli chodzi o niego, to żeby dalej utrzymać się w zawodzie nauczycielskim musi przekształcić się w nauczyciela informatyki, o ile w przeciągu dwóch lat zdoła ukończyć jakieś podyplomowe studia informatyczne. Ostudził także zapał dyskutantów do przedstawienia wspólnie opracowanej opinii władzom oświatowym, gdyż zarówno przy wprowadzaniu reformy, jak i przy redagowaniu nowej ustawy oświatowej resort nie korzystał z opinii doświadczonych nauczycieli, a opierał się na opracowaniach utytułowanych ekspertów wywodzących się ze środowiska akademickiego. Po takiej dawce sceptycyzmu trudno było dalej prowadzić dyskusję w kierunku wypracowania postulatów dla władz oświatowych, stąd skupiono się jeszcze bardziej na sprawach zawodowych, mając świadomość braku zainteresowania tematem reformy oświaty ze strony mediów. Faktycznie, jeśli chodzi o aktualny etap realizacji reformy, to media naświetliły tylko aspekt nauczania sześciolatków w szkole, a sprawa zmian programowych skutkujących obniżeniem poziomu nauczania zupełnie nie zainteresowała dziennikarzy. Odnosnie warunków pracy kadry nauczycielskiej prasa podkreśla, co prawda, potrzebę aktywności nauczycieli i innowacyjności nauczania, lecz zupełnie nie wnika w szkolne realia, a przecież w szkołach uczą również mierni nauczyciele, także tacy, którzy nie potrafią przeprowadzić eksperymentu z uczniami, a z kolei ci lepsi, aktywniejsi zniechęcają się, bo ich aktywność i trud nie są wynagradzane. Ograniczenie godzin nauczania skutkuje też brakiem czasu na pełną realizację programu ćwiczeń i doświadczeń, a przecież przeprowadzanie doświadczeń na lekcjach fizyki jest niezbędne, aby prawidłowo zrealizować proces nauczania. Po ułomnej edukacji szkolnej kandydaci na studia fizyczne i techniczne są



kompletnie nieprzygotowani do samodzielnego prowadzenia doświadczeń. Redukcja treści nauczania przedmiotów przyrodniczych spowodowała całkowite pominięcie astronomii, dawniej nauczanej nawet jako oddzielny przedmiot w ostatnich klasach szkół średnich. Wyeliminowanie astronomii z programu nauczania powoduje, że uczniowie myślą znaki Zodiaku z ciałami niebieskimi.

Zarządzanie szkołami w warunkach reformy natrafia na wiele trudności z tego względu, że nie obserwuje się korelacji między efektami a kosztami kształcenia. Autonomia dyrektora szkoły jest tylko na papierze, bo w praktyce jest on zależny od terenowych władz samorządowych. Nawet takie działania dyrektora na rzecz polepszenia warunków kształcenia, jak podział klasy na mniejsze grupy, czy przyznanie dodatkowych godzin tzw. dyrektorskich, np. na nauczanie fizyki, nie mogą zostać wdrożone bez zgody władz samorządowych. Poza tym ponowne wprowadzenie matematyki jako przedmiotu maturalnego wymusza na dyrektorze przeznaczenie godzin z dodatkowej puli raczej na douczanie uczniów z matematyki, niż na fizykę czy astronomię.

Reforma edukacji przeprowadzana zgodnie z założonym celem, jakim jest kształcenie użytkowe spowodowała już poważne spustoszenia w rozwoju intelektualnym młodzieży. Skoro decydenci postawili na użyteczność kształcenia, a nie na indywidualny rozwój intelektualny ucznia, to fizyka, traktowana przez twórców i realizatorów reformy jako przedmiot mało użyteczny, a przy tym trudny i nadmiernie obciążający uczniów, nie stanowi w ogóle tematu dyskusji władz oświatowych z nauczycielami. Aby ukrócić krytykę negatywnych skutków reformy władze oświatowe zawiesiły badania jakości nauczania w szkołach, a to opóźnia przeprowadzenie kategoryzacji szkół; co więcej publiczny dostęp do istniejących danych edukacyjnych został obecnie zablokowany. Wygląda na to, że rząd ogranicza reformę oświaty tylko do zmian programowych, a jednocześnie blokuje wprowadzenie istotnych zmian systemowych, np. odnośnie finansowania szkół, oceny i wynagradzania nauczycieli. Jest to spowodowane obawami przed spowodowaniem niezadowolenia pewnych grup społecznych, które utraciłyby swoją pozycję w wyniku gruntownych zmian systemowych. Odwlekanie zmian, chociaż przynosi doraźną korzyść polityczną przez minimalizowanie konfliktów i jest pomocne przy utrzymaniu się przy władzy zwłaszcza w kontekście wyborczym, w szerszym jednak aspekcie społecznym skutkuje narastającym analfabetyzmem fizycznym społeczeństwa i upadkiem prestiżu nauczyciela. Niestety, negatywne dla życia społecznego i poziomu wykształcenia obywatela skutki reformy edukacji nie są interesującymi tematami dla mediów, a także nie stanowią przedmiotu debaty publicznej.

Druga dyskusja zjazdowa dotycząca już nie tylko samego nauczania fizyki, ale kondycji polskiej fizyki została zorganizowana na koniec Zjazdu jako podsumowanie obrad wzorem innych konferencji środowiskowych, które na zakończenie odnoszą się do istotnych problemów danej dziedziny swojej aktywności. Ta druga dyskusja miała formę dyskusji panelowej i została zatytułowana „*Quo*

*vadis*, polska fizyko?”. Niestety wśród dyskutantów-panelistów zabrakło przedstawicieli Ministerstwa Edukacji, za to licznie było reprezentowane środowisko akademickie, a wśród nich znalazło się kilku przedstawicieli Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Jako paneliści wystąpili: prof. Andrzej Białas (UJ i PAU), dr Zofia Gołąb-Meyer (UJ, Sekcja Nauczycielska PTF), prof. Marek Jeżabek (IFJ PAN), prof. Stefan Jurga (UAM, MNiSW), prof. Maciej Kolwas (IFJ PAN, ETF), prof. Reinhard Kulesa (UJ, PTF), prof. Krzysztof Kurzydłowski (PW, MNiSW), prof. Andrzej Kajetan Wróblewski (UW), prof. Jerzy Szwed (UJ, MNiSW). Jako pierwsza głos zabrała pani dr Gołąb-Meyer – honorowa prezeska Sekcji Nauczycielskiej Polskiego Towarzystwa Fizycznego – jedyna w tym panelu przedstawicielka środowiska nauczycielskiego.

Pani Gołąb-Meyer podkreśliła, że uczniowie w szerszym aspekcie społecznym powinni być traktowani jako przyszła kadra. Tymczasem w dziedzinie edukacji obserwuje się kryzys. Z punktu widzenia środowiska fizyków ten kryzys był nieuchronny ze względu na sukcesywną kumulację negatywnych zjawisk takich, jak powierzchowność kształcenia, upadek prestiżu naukowca, nauczyciela i autorytetu nauki, ograniczanie programu nauczania z nastawieniem na użyteczność, a tymczasem nauka wciąż się rozwija, coraz szybciej wdrażane są nowe technologie, zanikają stare zawody, a powstają nowe, wymagające specjalistycznej i aktualnej wiedzy. Kryzys w nauczaniu fizyki zbiegł się z kryzysem szkoły jako takiej. Kryzys szkoły został spowodowany wdrażaniem liberalnej polityki edukacyjnej, według której to nie nauczyciele, a społeczeństwo decyduje o nauczaniu, co paradoksalnie stanowi jakąś nową odmianę pajdokracji, gdyż sprowadza się do tego, że to dzieci decydują o tym, czego chcą się uczyć. Kryzys polskiej szkoły jest już tak głęboki, że nie wiadomo, jak z niego wyjść. Pomocne w ocenie sytuacji jest zadanie sobie pytania o to, jakie „twarde czynniki” obowiązują w edukacji, niezależnie od sytuacji bieżącej, a które powinny być utrzymane w szkolnictwie niezależnie od reform. Wydaje się, że takimi „twardymi czynnikami” są relacje mistrz–uczeń, zróżnicowanie uczniów w procesie kształcenia, aktywność nauczyciela. Dobry nauczyciel potrafi właściwie uczyć młodzież i zna sposoby wzbudzenia zainteresowania nauczonym przedmiotem, czego przykłady zostały zaprezentowane na Zjeździe. Ale tu z kolei pojawia się problem kiepskiego obecnie kształcenia samych nauczycieli.

Jako następny głos zabrał prof. Stefan Jurga, który trudności w edukacji powiązał z popieranym przez rząd modelem powszechnego wykształcenia obywateli. Uczelnie wyższe dopasowując się do modelu masowego kształcenia rozwijają bogatą ofertę ciekawych i nowoczesnych przedmiotów, także mając na uwadze karierę nauczycieli, dla których rektorzy zabiegają w Ministerstwie o wprowadzenie stopni naukowych z dydaktyki. Masowość studiów w obecnych czasach wydaje się być słusznym trendem kształcenia, ale do powodzenia w jego realizacji potrzebne są jeszcze odpowiednie zmiany na rynku pracy

i w odbiorze społecznym. Przykładowo, etaty nauczycielskie traktowane są powszechnie jako miejsce zsyłki dla nieudaczników.

Następni paneliści reprezentowali szkolnictwo wyższe i Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, zatem odnieśli się przede wszystkim do problemów kształcenia studentów i organizacji badań naukowych, a więc tematów niezwiązanych bezpośrednio ze szkolnictwem. Sposób na podniesienie prestiżu fizyki przedstawił w swoim wystąpieniu prof. Jerzy Szwed, a mianowicie propozycję potraktowanie fizyki jako nauki obrotowej. W obecnym świecie fizycy muszą zrezygnować z wygórowanych ambicji i pogodzić się z tym, że fizyka staje się przedmiotem pomocniczym pełniącym uboczną rolę w kształceniu. Można jednak tak ustawić pozycję fizyki, aby znalazła się ona w centrum badań interdyscyplinarnych. Taka obrotowa rola fizyki jest do zaakceptowania zarówno przez społeczeństwo, jak i przez samo środowisko naukowe, a to ono niedługo już, a nie urzędnicy, będzie zarządzało badaniami podstawowymi w wyniku wejścia w życie gotowej już ustawy o Narodowym Centrum Badań i Rozwoju.

Po przedstawieniu stanowisk poszczególnych panelistów, dopuszczono do głosu w dyskusji uczestników z sali obrad. Jako pierwsza głos zabrała pani Jadwiga Salach, długoletnia nauczycielka fizyki, emerytowany pracownik dydaktyczny krakowskiego Uniwersytetu Pedagogicznego i członek Komitetu Organizacyjnego ZFP. Pani Salach zwróciła uwagę na to, że kształcenie nauczycieli jest specyficzne ze względu na czynnik społeczny, jakim jest ukształtowanie takiej postawy nauczyciela, aby dla swoich uczniów był mistrzem. Chociaż obecnie wiele uczelni, nie tylko pedagogicznych, kształci nauczycieli, to proces kształcenia przypomina raczej instruktaż niż kształtowanie właściwej postawy. W zawodzie nauczycielskim obok wiedzy merytorycznej do odniesienia sukcesu pedagogicznego potrzebna jest także dobór odpowiedniej metody nauczania. Zmniejszanie godzin nauki fizyki oraz ograniczanie materiału w programie nauczania powoduje, że wyuczonych na studiach metod specyficznych dla nauczania fizyki nie można zastosować w praktyce. Aby właściwie nauczyć ucznia fizyki, trzeba umożliwić mu samodzielne wykonywanie doświadczeń podczas zajęć lekcyjnych, a to wymaga poświęcenia dodatkowego czasu na przygotowanie. Ministerstwo Edukacji redukcje w nauczaniu fizyki uzasadnia przeciążeniem uczniów, którym na lekcjach wtłaczana jest niezliczona ilość formułek, równań, wzorów matematycznych. To ministerialne stanowisko opiera się na opiniach wybranych ekspertów oświatowych nieprzychylnych fizyce, w tym także z uczelni pedagogicznych, np. prof. Janusza Majcherka z Instytutu Filozofii i Socjologii krakowskiego Uniwersytetu Pedagogicznego. Prof. Majcherek jest zwolennikiem ograniczania nauczania przedmiotów ścisłych w szkole, a to z tego powodu, że nauczanie w tym zakresie sprowadza się według niego do wtłaczania na siłę do głów uczniów niezliczonej ilości faktów, co jest wręcz maltretowaniem ucznia, a nie przekazywaniem wiedzy (por. J.A. Majcherek „Specjaliści i manipulatorzy”, „Gazeta Wyborcza” z 9 lipca 2009 r.).

Jeśli takie poglądy na nauczanie przedmiotów ścisłych ma profesor Uniwersytetu Pedagogicznego, to rzeczywiście trudno jest zwykłym nauczycielom apelować do władz oświatowych o zaprzestanie redukcji fizyki. Niechęć profesora Majcherka do fizyków jest tak głęboka, że zarzuca im nawet ograniczenia mentalne wykluczające ich z pluralistycznego, otwartego społeczeństwa obywatelskiego i powołując się na niedawno wydaną po polsku książkę Mathy Nussbaum („W trosce o człowieczeństwo. Klasyczna obrona reformy kształcenia ogólnego”) utrzymuje, że absolwenci studiów techniczno-inżynierskich są konformistami, podatnymi na techniki manipulacji i inżynierię społeczną (sic!). Prof. Majcherek nawet obecny kryzys systemu finansowego przypisał fizykom, gdyż jak twierdzi: „rynkowa kariera wyrafinowanych instrumentów finansowych, których upowszechnienie doprowadziło do kryzysu amerykańskiego systemu bankowego i w rezultacie do załamania gospodarki światowej, była dziełem fizyków i matematyków opracowujących skomplikowane modele funkcjonowania tych derywatów”.

W nawiązaniu do podniesionej przez panią Salach sprawy odgórnie narzuconych nauczycielom ograniczeń w nauczaniu fizyki, dr Bogdan Bogacz z Uniwersytetu Jagiellońskiego, członek Komitetu Organizacyjnego Zjazdu, zaapelował do Zarządu PTF o opracowanie stanowiska Polskiego Towarzystwa Fizycznego wyrażającego sprzeciw wobec obniżania poziomu nauczania fizyki.

Kondycję polskiej fizyki scharakteryzował w swoim wystąpieniu pan Jacek Orzechowski, nauczyciel ze Starachowic twierdząc, że jeszcze w latach osiemdziesiątych XX wieku polskie uczelnie dobrze kształciły fizyków i teraz są oni cenieni na całym świecie. Ale na studia przychodzili kandydaci dobrze przygotowani przez szkoły. Obecnie ograniczenia w zakresie wiedzy przekazywanej uczniom i ogólne obniżenie standardów spowodowały, że uczniowie nie potrafią myśleć i samodzielnie wyciągać wniosków. Być może należałoby na szczeblu rządowym powiązać szkolnictwo powszechne ze szkolnictwem wyższym, zwłaszcza w kontekście nowoczesnych trendów umasowienia kształcenia. Podkreślanie przez wielu nauczycieli jako pożądane w nauczaniu szkolnym relacje mistrz–uczeń nie wydają się być adekwatne w zastosowaniu do szkolnictwa powszechnego. W układzie nauczyciel–klasa, zwłaszcza w obecnych uwarunkowaniach (przepełnione klasy, upadek prestiżu zawodu nauczyciela) relacje typu mistrz–uczeń nie mogą być realizowane, do tego potrzebne są rozwiązania systemowe.

Pani Maria Rut-Marcinkowska, nauczycielka fizyki z Poznania, podkreśliła wagę nauki dzieci w młodszym wieku szkolnym. Nowoczesna psychologia rozwojowa potwierdza prawidłowość, że dzieci w wieku 7–11 lat są zdolne do wyciągania trafnych wniosków z obserwacji, zatem im więcej stworzymy małym dzieciom okazji do nauki, to mniej wysiłku będziemy musieli włożyć w nauczanie czegoś nastolatkom. Ale ta prawda nie ma przełożenia na organizację pracy nauczycieli. Społeczeństwo wprost nienawidzi pensum nauczyciel-

skiego w ilości 18 godzin na tydzień i żąda jego wydłużenia. Nauczyciel nie jest rozliczany z jakości kształcenia, gdyż wyniki egzaminów gimnazjalnych czy sprawdzianów szkolnych nie mają przełożenia na finansowanie szkół. Z kolei pani Błaszczak, nauczycielka z Łodzi upadek prestiżu fizyki uzasadniła obniżeniem standardów przez uczelnie wyższe. Człowiek jest z natury leniwy, więc skoro obecnie nie trzeba zdawać egzaminów z fizyki na politechnikę, to nawet kandydaci na studia techniczne nie widzą potrzeby w przykładaniu się do nauki fizyki. I na koniec dyskusji pan Witold Zieliński, nauczyciel fizyki z Poznania, skomentował zasłyszane uwagi uczennicy na jakimś spektakularnym pokazie w ramach festiwalu nauki, że „eksperyment jej się podobał, a teorii to ona nie cierpi”. Tymczasem przeprowadzenie eksperymentu wymaga jeszcze poprawnej jego interpretacji, a przy tym korzysta się z opisu matematycznego, a to przecież nie jest teoria tylko modelowanie. Do interpretacji eksperymentu przydaje się wiedza zdobyta już na lekcjach matematyki. Skoro szkoła nie zdołała tak kształtować młodzieży, aby traktowała zdobywaną wiedzę całościowo, ta odbiera lekcje fizyki jako zanudzanie „teorią”, czyli zupełnie niepotrzebnymi i niezrozumiałymi formułami i wzorami.

Na posumowanie dyskusji zdecydowali się tylko nieliczni z panelistów. Pani Gołąb-Meyer nawiązując do swojej oceny kryzysu polskiej szkoły wyjaśniła, że oprócz odniesienia do „sztywnych czynników” nauczania trzeba też uwzględnić nowe warunki społeczne, gdyż inną mamy obecnie młodzież i innych nauczycieli, a i dzieci inaczej się rozwijają, bo obecnie to „myszka zastąpiła smoczek”. Prof. Szwed zwrócił uwagę na to, że rozwój nauki zależy od polityki władzy państwowej i zainteresowania ze strony przemysłu, a niestety nauka, władza i przemysł nie współdziałają ze sobą. Przykładowo, obecny premier obiecał występując na Uniwersytecie Jagiellońskim zbudowanie centrum nauki w Krakowie, tymczasem jest ono obecnie budowane w Warszawie (Centrum Naukowe „Kopernik”).

I tak dobiegł do końca XL Zjazd Fizyków Polskich. Chociaż uczestnicy Zjazdu czuli satysfakcję z owocnych obrad, spotkań towarzyskich, pogłębienia wiedzy, zdobycia ciekawych informacji, to jednak pozostał niedosyt i żal z powodu świadomości tego, że poziom nauczania fizyki w szkole wyraźnie się obniżył, a społeczeństwo przestało poważać fizyków i cenić ich badania. Fizyka utraciła swój prestiż. Dla nauczycieli szczególnie przykre jest to, że w swych działaniach naprawczych zostali pozbawieni pomocy państwa, a przecież to państwowa polityka obniżenia standardów w nauczaniu spowodowała w efekcie ograniczenie rodzimej kadry potrzebnej do rozwoju nowoczesnej gospodarki i ignorancję społeczeństwa wobec wiedzy przyrodniczej.

Autor jest fizykiem jądrowym, nauczycielem fizyki, matematyki i informatyki, posiada tytuł Fizyka Europejskiego (EurPhys).



## Odezwa uczestników XL Zjazdu Fizyków Polskich w Krakowie do MEN i odpowiedź ministerstwa

Obecni na zebraniu delegatów Polskiego Towarzystwa Fizycznego w Krakowie w dniu 10.IX.2009 nauczyciele i naukowcy wyrażają głębokie zaniepokojenie planami Ministerstwa Edukacji Narodowej radykalnych zmian w nauczaniu fizyki w szkołach ponadgimnazjalnych. Planowana przedwczesna specjalizacja już w pierwszej klasie doprowadzi do praktycznego analfabetyzmu w dziedzinie fizyki, chemii, biologii i geografii większość polskich maturzystów (a pozostała ich część – do analfabetyzmu w dziedzinie historii). Kolejne zmniejszanie liczby godzin przeznaczonych na fizykę nie będzie skompensowane wprowadzeniem przyrody, do nauczania której należałoby najpierw wyszkolić nauczycieli, aby nie ograniczyła się do powierzchownego omawiania „modnych” tematów.

Apelujemy o ponowne rozpatrzenie programów szkół ponadgimnazjalnych i przyjęcie rozwiązań, które umożliwią rozpoznanie talentów i zainteresowań uczniów przed wyborem przedmiotów objętych programami rozszerzonymi. Planowane ograniczenie liczby godzin fizyki i wybór tematyki podstawy programowej jest nieprzemyślane i może doprowadzić do powstania pokolenia ignorantów niezdolnych do właściwego funkcjonowania w nowoczesnym społeczeństwie. Polskie Towarzystwo Fizyczne deklaruje gotowość współpracy w przygotowaniu nowego programu i podstawy programowej.

**Odpowiedź Sekretarz Stanu Krystyny Szumilas** przesłana prezesowi prof. dr hab. Reinhardowi Kullesie.

W związku z pismem delegatów 40-tego Zjazdu Polskiego Towarzystwa Fizycznego wyrażającym niepokój w sprawie zmian programowych w szkołach ponadgimnazjalnych uprzejmie wyjaśniam:

Nowa podstawa programowa wychowania przedszkolnego oraz kształcenia ogólnego weszła w życie od dnia 1 września 2009 r. w przedszkolach, w klasach pierwszych szkoły podstawowej i w klasach pierwszych gimnazjum.

Nowa podstawa programowa traktuje okres nauki w gimnazjum oraz w szkole ponadgimnazjalnej, jako spójny programowo, sześcioletni (a w technikum – nawet siedmioletni) okres kształcenia. W okresie tym, w pierwszej kolejności uczniowie uzyskają wspólny, solidny fundament wiedzy ogólnej, po czym będą mieli możliwość znacznego pogłębienia wiedzy i umiejętności w zakresie odpowiadającym indywidualnym zainteresowaniom i predyspozycjom każdego ucznia.

Podstawa programowa z fizyki zawiera cele kształcenia – jako wymagania ogólne oraz treści nauczania – jako wymagania szczegółowe w zakresie podstawowym i w zakresie rozszerzonym. Dotychczasowa podstawa nie uwzględniała standardów wymagań egzaminacyjnych, które były określone w odrębnym dokumencie/rozporządzeniu. Nauczyciele i autorzy programów nauczania byli zmuszeni do znajomości obu dokumentów. Obecnie jeden dokument nowej podstawy programowej kształcenia ogólnego zastępuje i zawiera łącznie treści nauczania i standardy wymagań.

Podczas nauki w liceum uczeń będzie kontynuował naukę w zakresie obowiązkowych przedmiotów maturalnych: języka polskiego, języków obcych i matematyki. Oprócz tego każdy uczeń wybierze kilka przedmiotów (może wybrać także spośród wymienionych wyżej), których będzie się uczył w zakresie rozszerzonym w znacznie większej niż obecnie liczbie godzin. Taka organizacja procesu nauczania pozwoli uczniom w każdym z wybranych przedmiotów osiągnąć poziom, który umożliwi im dostanie się na wybrany kierunek studiów.

W trosce o harmonijny i wszechstronny rozwój każdy uczeń liceum – o ile nie wybierze np. rozszerzonego zakresu kształcenia z fizyki – do zakończenia kształcenia w tej szkole, podobnie jak dla uczniów niewybierających zajęć rozszerzonych z geografii, biologii czy chemii – obowiązkowy będzie blok zajęć „przyroda”, przedstawiający w ujęciu problemowym syntezę wiedzy z nauk przyrodniczych.

Zatem, niezależnie od indywidualnych wyborów zajęć rozszerzonych każdy licealista będzie miał odpowiednią wiedzę i umiejętności zarówno z zakresu nauk humanistycznych, jak i matematyczno-przyrodniczych. Ponadto będzie mógł mieć pogłębioną – w stosunku do stanu obecnego – wiedzę z kilku wybranych przedmiotów.

W nauczaniu fizyki został położony większy nacisk na wykonywanie jak najwięcej doświadczeń i pomiarów, posługując się możliwie prostymi środkami (w tym przedmiotami użytku codziennego) przez nauczycieli i przez samych uczniów.

Nauczanie fizyki w zakresie podstawowym na IV etapie edukacyjnym stanowi dokończenie edukacji realizowanej w gimnazjum, dlatego wszystkie zalecenia dotyczące realizacji tego przedmiotu na III etapie dotyczą również etapu IV. Omawianie zarówno grawitacji z astronomią, jak i fizyki jądrowej, powinno w maksymalnym stopniu wykorzystać tkwiącą w omawianych zagadnieniach możliwość licznych i ciekawych odwołań do rzeczywistości, co powinno być zachęceniem uczniów do kontynuacji nauki fizyki w zakresie rozszerzonym. W trakcie zajęć z fizyki uczeń powinien obserwować pisać i wykonywać jak najwięcej doświadczeń. Nie mniej niż połowa doświadczeń wymienionych w podstawie programowej dla przedmiotu fizyka w zakresie rozszerzonym powinna zostać wykonana samodzielnie przez uczniów w grupach; pozostałe jako pokaz dla wszystkich uczniów, w miarę możliwości wykonywany przez wybranych uczniów pod kontrolą nauczyciela.



## **Stanowisko Forum Dziekanów Wydziałów Fizyki i Dyrektorów Instytutów Fizyki w sprawie Olimpiady Fizycznej**

Forum Dziekanów Wydziałów Fizyki i Dyrektorów Instytutów Fizyki wyraża daleko idące zaniepokojenie sytuacją Olimpiady Fizycznej. Narzucone przez Ministerstwo Edukacji Narodowej coroczne konkursy na organizatora Olimpiady naruszają zasadę ciągłości Olimpiady. Ewentualny wybór nowego organizatora, który nie przedstawia odpowiedniego zaplecza naukowego i doświadczenia w działalności organizacyjnej i dydaktycznej, grozi znacznym spadkiem poziomu i co za tym idzie prestiżu Olimpiady.

Ponadto drastyczne obniżenie i tak przecież niewielkich środków finansowych ze strony MEN nie jest naszym zdaniem niczym uzasadnione. Tym bardziej, że zmniejszeniu środków finansowych towarzyszy znaczące zwiększenie wymogów biurokratycznych.

Taka polityka MEN doprowadziła już do zakończenia lub zawieszenia działalności trzech olimpiad językowych. Istnieje realna groźba zamknięcia dalszych, w tym Olimpiady Fizycznej.

Forum Dziekanów Wydziału Fizyki i Dyrektorów Instytutów Fizyki wzywa Ministerstwo Edukacji Narodowej do gruntownego zrewidowania polityki względem olimpiad przedmiotowych. Olimpiady te stanowią znakomitą formę aktywizacji uczniów wybitnie uzdolnionych, niezwykle cennych nie tylko dla szkolnictwa wyższego.

Wobec zaistniałej sytuacji zebrani dziekani i dyrektorzy instytutów wyrażają wolę wsparcia, w tym finansowego, Olimpiady Fizycznej oraz podjęcia działań zmierzających do utrzymania działalności Olimpiady Fizycznej przy zachowaniu jej dotychczasowego poziomu merytorycznego.

Przewodniczący FORUM  
Dr hab. Ryszard Naskręcki, prof. UAM  
Dziekan Wydziału Fizyki UAM

*Poznań, 8 listopada 2009 r.*





## KRONIKA

### Borowice w Kudowie 2009

Zofia Gołąb-Meyer

W dniach 13–15 listopada już po raz trzeci odbyła się w Kudowie undergroundowa konferencja dydaktyki fizyki Borowice w Kudowie. Tak jak poprzednio została zorganizowana pod patronatem Instytutu Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Wrocławskiego przez „towarzysza Pierwszego”, czyli Ludwika Lehmana. Tak jak poprzednio miejsce akcji to Ośrodek Wypoczynkowy „Orion”.

Zachęcamy innych, jeszcze niewtajemniczonych, do udziału w następnych konferencjach. Należy zajrzeć na stronę internetową <http://lo2.nazwa.pl/obserwatorium/kudowa.htm> lub po prostu „wygoogłać” Borowice w Kudowie.



Ludwik Lehman

Dla niezdecydowanych krótka relacja pani Danuty Latos z tej ostatniej:

„Zaledwie tydzień temu miała miejsce odsłona III undergroundowego sabatu fizyków pod wiele mówiącym tytułem „Borowice w Kudowie”, a już zdążyliśmy wrócić do skrzeczącej rzeczywistości. Niektórzy przejawiający aktywność (Zespół ADHD?) wykręcając łzę z oka szarpia serce mówiąc o tęsknocie za, co mnie wprawia w nostalgię, a że cudne listopadowe zachody słońca i długie wieczory sprzyjają radosnej twórczości, to i ja pragnę złożyć stosowne wyrazy.

Hej, pomnę ja, pomnę, jak to cztery lata temu Olek (ten od wykładów inauguracyjnych) na spotkaniu z doradczynią metodyczną pokazał nam pierwszy komunikat TKO\*. Treść owegoż wzbudziła mój zachwyt, zaś figurujący niżej podpis niejakiego Ludwika L. upewnił mnie, że czy na czczo, czy po jedzeniu, czy konno, czy piechotą, czy na wieki, czy po szkocku – Kudowa musi moją być i basta! Oprócz Olka i mnie zapał wykazały jeszcze dwie nauczycielki z naszych okolic, więc wspólnie w zespół, w wyznaczonym terminie stawiliśmy się w „Orionie”. I tak to się zaczęło.

\* Tajny Komitet Organizacyjny.

Zdarzało mi się drzewiej bywać na różnych sympozjach, konferencjach, zjazdach itp. imprezach mających na celu głównie marnowanie sił i środków oraz ugruntowanie poczucia bezradności; do tego wykładowy maraton przechodzący w wyścig szczurów i rozmowy, nad którymi unosi się zapach kadzidła... Pomyślałam sobie, że – sądząc z treści komunikatu – „Borowice w Kudowie” mogą jawić się zgoła odmiennie. No cóż, to, co mnie tu spotkało, przeszło wszelkie oczekiwania. Gorzej! Pojęłam, że stanowicie najoryginalniejszą układankę i całą sobą zapragnęłam być jej elementem (missing link?). A Wy nie certoląc się wcale wciągnęliście mnie na czarną listę. Jeszcze gorzej! Tę stworzoną przez Was jedyną w swoim rodzaju atmosferę odnalazłam rok później w Borowicach jako takich, potem znów w Kudowie itd., itd.

W drodze powrotnej z pierwszej edycji „B w K” znany już powszechnie Olek wypowiedział się mniej więcej w tym sensie: „Przez parę dni był człowiek w zupełnie innym świecie, jakby wróciły studenckie czasy, a jutro pójdziemy do tych naszych zawodówek. To tak, jak zlecieć z Księżyca na Ziemię – prosto na pysk!” Kochani, moje upadki (och, może nie będziemy drążyć tego tematu...) dzięki Wam nie są straszne. W szkolnej codzienności pomaga mi świadomość Waszego istnienia.”

Pani Danuta Latos zbiera powiedzonka swoich uczniów, które można znaleźć w tym zeszytcie.



W Kudowie pani Dobromiła Szczepaniak-Nowak (na zdjęciu) objęła praktycznie przewodniczenie Sekcji Nauczycielskiej PTF.

Na jednej z wieczornych sesji zebrani zgłosili akces do Sekcji, padły propozycje działalności. Wszystkich Państwa zachęcamy do aktywnego udziału w Sekcji. Informacje znajdują się na stronie PTF

<http://ptf.fuw.edu.pl/>

Z.G-M



## Popisy Intelktualne Moich Pupilków 2009

*Danuta Latos*

*Zespół Szkół Gastronomiczno-Uslugowych  
im. Marii Dąbrowskiej w Chorzowie*

- ☺ Ziemia ma kształt kulisty, a można to udowodnić za pomocą mikroskopu.
- ☺ Drewno nie jest dobrym przewodnikiem prądu elektrycznego, ponieważ może namoknąć i spróchnieć.
- ☺ Pole, którego linie są do siebie równoległe, nazywamy jednorazowym.
- ☺ Ptaki strosząc pióra wywołują zjawisko włoskowatości.
- ☺ Wino schłodzone podaje się na długich nóżkach, ponieważ człowiek trzymając nóżkę nie ogrzewa wina.
- ☺ Knot w lampce oliwnej nasączony jest specjalnym specyfikiem, co powoduje w reakcji z ogniem jego dłuższą przydatność.
- ☺ Opony letnie od zimowych różnią się kształtem i ilością bieżnika oraz temperaturą, przy której się stopią.
- ☺ Na stacji orbitalnej astronauta podczas snu muszą przywiązywać się śpiworami.
- ☺ Po śmierci powstaje entropia.
- ☺ Biegun północny znajduje się na różny wiatrów.
- ☺ Stutysięcznik może zabrać na barki 100 tys. ton i do tego dużo ludzi.
- ☺ W czasie przelotu samolotu ze stałą szybkością wartość siły nośnej jest równa zero.
- ☺ Aby ciało było w stanie nieważkości wystarczy, żeby nie miało podłoża.
- ☺ Prasa hydrauliczna podnosi ciśnienie i gazy.
- ☺ Emisja spontaniczna to emisja, która występuje nagle i nie wiadomo skąd, a emisja wymuszona występuje dzięki jakiejś pomocy.
- ☺ Pocieranie linijki o włosy powoduje przyciąganie papieru.
- ☺ Bezpiecznik wyłącza nam prąd, gdy jest przeciążenie lub zwarcie, a ostatnią możliwością jest komornik.
- ☺ Indukcja elektromagnetyczna pomogła w działaniu kompasu i busoli, co spowodowało nowe odkrycia geograficzne.
- ☺ Od atomów mogą się oderwać części elektronów.
- ☺ Auto i zając mogą poruszać się z tą samą szybkością, ale z różną prędkością, bo auto jedzie, a zając biegnie.
- ☺ Silniki odrzutowe zastosowano w pralkach automatycznych.
- ☺ Ziemia krąży po elipsie, a do tego porusza się wokół własnej osi, a więc siły, które nią poruszają, rozchwytyją ją na wszystkie strony.
- ☺ Jeśli znajdujemy się z przodu Słońca to mamy dzień, a jeśli z tyłu mamy noc.

- ☺ Noc polarna występuje na biegunie południowym, a dzień polarny na północnym, a zależy to od tego, czy Ziemia znajduje się wyżej czy niżej.
- ☺ Promienie słoneczne nie docierają do czubków Ziemi przez to jest tam najchłodniej i najciemniej.
- ☺ Na półkulach Ziemia jest spłaszczona.
- ☺ Cień Księżyca w momencie nowiu najczęściej nie pada.
- ☺ Dzień i noc występują dlatego, że Ziemia wędruje.
- ☺ Ziemia krąży po ekliptyce przeciwnie do ruchu wskazówek zegara.
- ☺ Położenie Ziemi względem Słońca jest odwrotne.
- ☺ W skład galaktyki może wchodzić nawet kilkaset miliardów gwiazd, np. Mały Wóz lub Wielki Wóz.
- ☺ Gdy patrzymy na horyzont, to w pewnym momencie on się urywa.
- ☺ Ziemia ma kształt nierówny, a świadczą o tym jej ruchy.
- ☺ Ziemia obraca się w taki sposób, by Słońce nie docierało na bieguny.
- ☺ Podczas zaćmienia Księżyca obiegający Ziemię narzuca się na stożek.
- ☺ Astronauci, dzięki swoim badaniom, podali w przybliżeniu daty pór roku.
- ☺ Aby wiedzieć, kiedy zbliża się wiosna czy jesień, trzeba zobaczyć zmianę nieba przed wschodem Słońca.
- ☺ Czasami wulkan wybucha tylko po to, żeby się oczyścić.
- ☺ Wewnątrz Ziemi powstaje ciśnienie, które szuka ustępu w szczelinach skał, a gdy znajdzie, to wybucha.
- ☺ Pod skorupą ziemską znajduje się źródło Ziemi, inaczej jądro ziemskie, dzięki któremu na Ziemi istnieje grawitacja.
- ☺ Gdy obie temperatury: wyższa i niższa nad ranem zetną się ze sobą, to powstaje para wodna, która ulega skropleniu.
- ☺ Gwiazda neutronowa powstaje dzięki materii, która rozkłada się na wszystkie strony i odsłania kuliste jądro.
- ☺ Ziemia ma kształt kulisty, a przyczyną tego jest grawitacja, która przyciąga wszystko do jądra.
- ☺ Ciało elektryzuje się podczas tarcia rury o dzinsy.
- ☺ Gdy przypada zbyt duże napięcie na jedno gniazdko, to wtedy jest przeciążenie.
- ☺ Ciało elektryzuje się przez energiczne pocieranie laski.
- ☺ Mikrofalówka zmusza do robienia szybkich drgań, przez co wzrasta energia.
- ☺ Ciała elektryzują się poprzez pocieranie, czyli ruchy poprzeczne między ciałami.
- ☺ Cząsteczki przekazują sobie energię w momencie zbliżenia.
- ☺ Ciepło może być przekazywane na trzy sposoby: z ciała do otoczenia, z otoczenia do ciała i z ciała do ciała.



## „Zakręcenie” – popularyzacja fizyki okiem SPIN-u<sup>1</sup>

*Piotr J. Kucharski, Konrad P. Nesteruk*

*Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski*

Inspiracją do napisania tego artykułu, było dla nas spostrzeżenie, że w popularyzacji fizyki – na przykład programie „Feniks” – studenci są praktycznie nieobecni. Chcielibyśmy jako ich samozwańczy przedstawiciele zaprezentować nasze spojrzenie na propagowanie najciekawszej z nauk, wskazać w nim miejsce dla młodych prowadzących i podzielić się doświadczeniami SPIN-u.

W popularyzacji nauki niezwykle ważną rolę odgrywa właściwy dobór tematu i środków do konkretnej grupy docelowej. Istotne jest też samo podejście do słuchaczy oraz sposób prowadzenia zajęć. Wykłady i warsztaty SPIN-u adresowane są przede wszystkim do ludzi młodych, którzy jeszcze nie rozpoczęli studiów i często dopiero stoją przed trudnym wyborem swojej przyszłości. Biorąc pod uwagę taką grupę docelową, selekcja odpowiednich narzędzi popularyzacji nauki jest szczególnie ważna.

Pytając uczniów, jakie powinny być zajęcia, aby chętnie na nie przyszli i wynieśli z nich coś więcej, niż tylko grymas znudzenia na twarzy, słyszymy oczywistą odpowiedź: „Muszą być ciekawe!”. Faktycznie, jest to pierwszy krok do stworzenia dobrego, wartościowego widowiska. Należy jednak pamiętać, że „ciekawa popularyzacja” to, oprócz odpowiedniego tematu, właściwie przeprowadzone wykłady czy warsztaty. W istocie wiele zagadnień da się przecież zaprezentować w sposób interesujący. Fizyka stwarza tu duże możliwości, bo z natury potrafi być pasjonująca, zaskakująca i rozbudzać w każdym zmysł poszukiwacza odpowiedzi na najtrudniejsze pytania.

Wykłady popularyzatorskie w Polsce często prowadzone są przez bez wątplenia kompetentnych, utytułowanych, ale niestety niezbyt oryginalnych ludzi. Mówienie niezrozumiałym językiem, bez przekonania, unikanie jakichkolwiek pokazów – to tylko niektóre grzechy popularyzatorów. Uczniowie przecież znają to ze szkół! Jeżeli przychodzą na dodatkowe zajęcia, to znaczy, że pragną czegoś innego. Są oczywiście w Polsce wyśmienici popularyzatorzy, jak choćby dr Stanisław Bajtlik, który z każdego swojego wykładu potrafi uczynić niezapomniane widowisko. Miło jest zobaczyć sytuację, która miała miejsce po wykładzie dr. Bajtlika „O czasie”. Po trudnym dla fizycznych laików wywodzie o Szczególnej Teorii Względności jeden z widzów powiedział: „Gdyby tak nas uczono fizyki w szkole, to fizyka byłaby dla każdego niezwykle pasjonująca i zrozumiała”. Należy jednak pamiętać, że mówienie o fizyce i pokazywanie jej

<sup>1</sup> Stowarzyszenie Popularyzatorów Idei Naukowych.

w tak wspaniały sposób jest trudnym zadaniem i wszyscy popularyzatorzy za każdym razem stają przed dużym wyzwaniem. Nigdy też nie mają pewności, czy naprawdę się udało.

Czy w obliczu występujących niedociągnięć wykładowców, mniej kompetentni studenci mogą stanowić alternatywę wartą uwagi? Czy istnieje jakiś powód – poza oszczędzaniem czasu naukowców – do tego, by studenci zajmowali się popularyzacją? W pewnym sensie główne wady młodych popularyzatorów są także ich największymi zaletami. Młódzież doskonale wie, że student nie jest tak mądry jak profesor, doktor czy magister. I z tego powodu nie jest nim tak onieśmielona. Dużo chętniej zadaje pytania, które przecież odsłaniają niewiedzę. Obaj pamiętamy choćby festiwale nauki, na których ciekawość została w nas pokonana przez paniczny lęk. Nie chcieliśmy się skompromitować przed znajomymi, publicznością, a przede wszystkim – panem profesorem.

Z podobnych powodów studentom dużo łatwiej jest prowadzić zajęcia wymagające dużej aktywności uczestników. Często bowiem – szczególnie na początku dyskusji – zdarza się, że padają pomysły świadczące o dużych brakach w wiedzy, choć czasami zmierzające w dobrym kierunku. Dopiero później okazuje się, że inne osoby dobrze rozumieją problem i czasem nawet zaskakują nas oryginalnością spojrzenia. Dlaczego tak się dzieje?

Paradoksalnie osoby, które nie mają w swym otoczeniu opinii najlepszych uczniów, odzywają się pierwsze, bo nie boją się jej utracić. Skłonienie zdolniejszych do zaryzykowania wymaga stworzenia przyjaznej atmosfery, dającej im poczucie bezpieczeństwa.

Niewielka wiedza studentów ma jednak znaczenie nie tylko wizerunkowe. Nasz sposób myślenia mniej się różni od uczniowskiego niż profesorski. Łatwiej przez to ocenić, co dla młodzieży jest łatwe, a co sprawia im trudność. Byliśmy kiedyś na wykładzie o charakterze popularyzatorskim, który można było podzielić na dwie zasadnicze części. Pierwsza swoją łatwością uśpiła naszą czujność – wydawała się strasznie rozwlekła. Później nastąpił pewien moment, w którym wykładowca przechodził nagle do nowych, bardzo trudnych dla nas zagadnień. Po chwili nie rozumieliśmy już nic - i tak pozostało aż do końca.

Pewnym ułatwieniem w unikaniu takich sytuacji jest dla nas fakt, że sami niedawno byliśmy w szkole i pamiętamy, czego uczyliśmy się w odpowiednich klasach. Co ważniejsze – możemy przełożyć to na słuchaczy, bo nadal obowiązuje ten sam program. Oczywiście kolejna reforma podetnie nam skrzydła, a i tak zdarzało się, że chcieliśmy na nich lecieć trochę za daleko. Na pewnym wykładzie tłumaczyliśmy z zapałem związek częstotliwości z energią, gdy ktoś zadał pytanie: „A co to jest częstotliwość?”

Ostatnia nasza przewaga, którą udało nam się znaleźć, jest nieco życzeniowa. Mamy bowiem nadzieję, że sami jesteśmy dla młodych ludzi przykładem, że bycie fizykiem jest nie tylko ciekawe, ale też wcale nie tak odległe, jak mogłoby się wydawać.

Swoje atuty staramy się wykorzystywać prowadząc spotkania z młodzieżą w szkołach. Działalność SPIN-u zaowocowała już kilkugodzinnymi warsztatami pt. „Czym jest światło?”, zorganizowanymi w dwóch warszawskich liceach: XIV LO im. S. Staszica i V LO im. ks. J. Poniatowskiego. Taką formę popularyzacji fizyki cechuje ogromny nacisk na aktywność słuchaczy. Na początku prosimy uczestników, by postarali się wczuć w przednowoczesnych naukowców i postawili jak najwięcej hipotez badawczych na podstawie obserwacji, których mogliby dokonać gołym okiem. Później opracowują oni metody sprawdzenia swoich koncepcji – sami stwierdzają, że powinny być to doświadczenia. Byliśmy bardzo zaskoczeni pomysłowością uczniów. Wymyślili znacznie więcej hipotez niż my (przygotowaliśmy je w przypływie pesymizmu na wypadek braku odzewu ze strony młodzieży). W Staszicu burza mózgów wygasła dopiero po ponad godzinie. Później opowiadaliśmy o historii zmieniających się poglądów na światło, podkreślając dyskusje, niejasności i pomyłki, by na końcu dojść do niesamowitości dualizmu korpuskularnofalowego. W tych zajęciach chcieliśmy, by uczniowie poczuli, że tak naprawdę dla fizyka normalnym stanem jest niewiedza i opisywanie świata, który ciągle jednak pozostaje tajemnicą.

Nasze spotkania urozmaicamy też pokazami, które są w całości opracowywane przez SPIN. Zauważyliśmy, że młodzi odbiorcy wspaniale reagują na taki przebieg zajęć, ujawniając swoją aktywność nawet, gdy nie jest to obligatoryjne. Cały czas oczywiście zachęcamy do takiej postawy, a także staramy się wprowadzać możliwie luźną atmosferę. To nasza widownia decyduje, kiedy chce zrobić przerwę, o czym chce jeszcze usłyszeć (zdarzają się nam dygresje na zamówienie słuchaczy), a nawet może zasygnalizować, że ma już dość.

W naszym dotychczasowym dorobku znalazły się też wykłady przeprowadzone w Kędzierzynie-Koźlu (zarówno w liceum, jak i gimnazjum). Tu również istotą zajęć była aktywność i swoboda słuchaczy. Opowiadaliśmy uczniom o LHC i fizyce czekającej tam na odkrycie. Okazało się, że potrafi ona zafascynować nawet gimnazjalistę, który UJ lokował w Białymstoku (ze względu na klub piłkarski – Jagiellonię). Po zajęciach podszedł do nas i z wielkim entuzjazmem dziękował za lekcję. W liceum mieliśmy czas na długą dyskusję i odpowiadanie na zalew pytań młodzieży, takich jak choćby: „Co zrobić, żeby móc w przyszłości pracować w CERN-ie?” albo oczywiście: „Czy LHC nie jest niebezpieczne?”.

Kędzierzyn-Koźle to też zapowiedź naszej działalności w skali ogólnopolskiej. W planach mamy poszerzenie oferty popularyzatorskiej i przyjęcie kolejnych członków. Nowe idee to m.in. warsztaty dla gimnazjalistów, wystąpienia na festiwalach naukowych, współpraca z innymi polskimi popularyzatorami.

Dzieląc się naszymi doświadczeniami, chcielibyśmy zapoczątkować dyskusję o popularyzacji prowadzonej przez studentów, a nawet uczniów. Uważamy, że mogą oni stanowić znakomite uzupełnienie dla wykładowców i nauczycieli. Dlatego też zachęcamy koleżanki i kolegów do działania, tworzenia własnych kół – a później, być może, wspólnych przedsięwzięć ze SPIN-em.



## KOMUNIKAT

### **Przygotuj się na przybycie ambasadorów nauki w ramach Projektu Xperimania**

Czy chcesz pokazać swoim uczniom najciekawsze doświadczenia z zakresu chemii i fizyki i jednocześnie poznać nowe pomysły realizacji zajęć z tych przedmiotów, które będziesz mógł wykorzystać podczas lekcji. W tym roku Xperimania ([www.xperimania.net](http://www.xperimania.net)) wyśle do sal lekcyjnych ambasadorów nauki, którzy pokażą w jaki sposób można ciekawie i zabawnie prowadzić zajęcia z przedmiotów ścisłych. To Twoja szkoła może stać się jednym z miejsc, które odwiedzą!

Udział w projekcie Xperimania będzie jeszcze łatwiejszy, a sam projekt zawita prosto na lekcje przedmiotów ścisłych w całej Europie. Szkoły mogą wysłać swoje zgłoszenia do ambasadorów nauki projektu Xperimania, którzy odwiedzą trzy wybrane szkoły między lutym a kwietniem 2010 roku.

W szkołach, do których zawitają ambasadorowie nauki projektu Xperimania, przeprowadzone zostaną jedno- bądź dwugodzinne warsztaty naukowe w trakcie których pokazane zostaną inspirujące i interaktywne doświadczenia z obszaru chemii i fizyki skierowane specjalnie do uczniów. Ambasadorowie udzielą także wskazówek, w jaki sposób należy przedstawiać wyniki eksperymentów szerszej grupie odbiorców w postaci raportu laboratoryjnego.

**Jesteście Państwo zainteresowani wizytą ambasadorów nauki w Państwa szkole?** Jeżeli tak, należy wejść na stronę projektu Xperimania i wypełnić formularz internetowy na stronie:

[www.xperimania.net/ww/pl/pub/xperimania/ambassadors.htm](http://www.xperimania.net/ww/pl/pub/xperimania/ambassadors.htm)

do **15 grudnia 2009**. Do udziału zachęcamy wszystkie szkoły, nawet te, które posiadają mniejszą ilość specjalistycznego sprzętu czy doświadczenia.

Informacje dotyczące trzech wybranych szkół, które odwiedzą ambasadorowie nauki opublikowane zostaną w styczniu 2010 roku na stronie projektu Xperimania. Ambasadorowie wyruszą w podróż między lutym a kwietniem 2010 roku.

**Aby uzyskać dodatkowe informacje prosimy o kontakt z:**

Ann Whent, Appe; email: [awh@cefic.be](mailto:awh@cefic.be); Tel. (+32) 02 676 73 60

Agueda Gras-Velazquez, European Schoolnet; email: [aguada.gras@eun.org](mailto:aguada.gras@eun.org);

Tel. (+32) 02 790 75 83

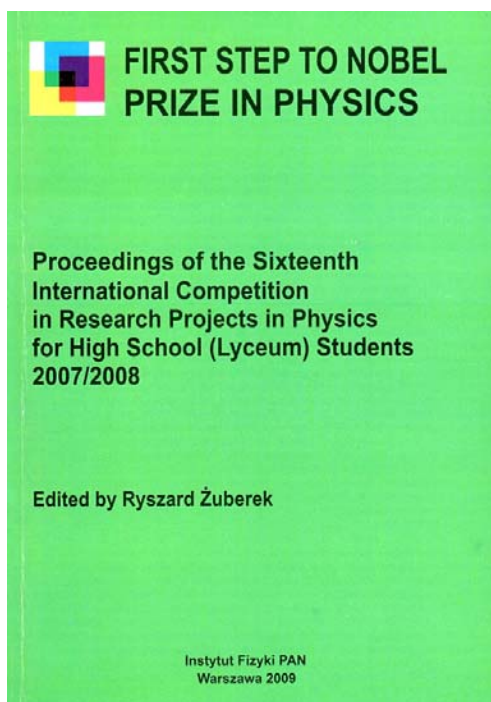


KOMUNIKAT**First Step to Nobel Prize in Physics**

Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk organizuje w roku szkolnym 2009/2010 XVIII międzynarodowy konkurs uczniowskich prac naukowych z fizyki pod nazwą „First Step to Nobel Prize in Physics”. Zachęcamy do udziału, polscy uczniowie odnoszą sukcesy w tym konkursie.

Wszelkie informacje na temat konkursu można znaleźć na stronie:  
[www.ifpan.edu.pl/firststep](http://www.ifpan.edu.pl/firststep)

Polecamy raporty z roku szkolnego 2007/2008 pod redakcją Ryszarda Żuberka (Instytut Fizyki PAN, Warszawa 2009).





## Polsko-Ukraiński Konkurs Fizyczny „Lwiątko 2010”

*Stowarzyszenie Absolwentów i Przyjaciół V LO  
im. Augusta Witkowskiego w Krakowie*

Zapraszamy gimnazja, licea, licea profilowane i technika do udziału w VIII edycji **Polsko-Ukraińskiego Konkursu Fizycznego „Lwiątko 2010”**. Konkurs zostanie przeprowadzony **29 marca 2010 roku**.

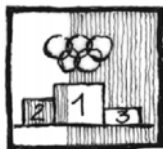
Konkurs rozgrywany jest w szkołach całej Polski w pięciu kategoriach:

- Klasy 1–2 gimnazjum
- Klasy 3 gimnazjum
- Klasy I liceum i technikum
- Klasy II liceum i technikum
- Klasy III liceum, klasy III i IV technikum

Szkoły mogą zgłosić uczestników w terminie **od 16 listopada 2009 roku do 15 stycznia 2010 roku** wyłącznie drogą elektroniczną za pośrednictwem formularza zamieszczonego na stronie internetowej Konkursu.

Więcej informacji dotyczących harmonogramu oraz zasad Konkursu można uzyskać na stronie internetowej Konkursu **www.lwiatko.org**. Tu również można znaleźć zadania konkursowe z lat ubiegłych. Opłata konkursowa wynosi 6 zł od uczestnika.

Informacje można uzyskać również pisząc na adres: [konkurs.lwiatko@o2.pl](mailto:konkurs.lwiatko@o2.pl)



## Wystrzałowa lekcja – konkurs dla nauczycieli

*Małgorzata Kowalczevska*

W konkursie „Wystrzałowa lekcja” może wziąć udział każdy nauczyciel biologii, chemii, fizyki i astronomii ze szkoły gimnazjalnej oraz ponadgimnazjalnej.

Konkurs organizowany przez Centrum Nauki Kopernik i Fundację Partners Polska ma zachęcić nauczycieli do przygotowywania lekcji, które wzbogacają tradycyjne programy nauczania, pokazują obecność nauki w codziennym życiu i inspirują uczniów do rozwijania swoich zainteresowań.

Szkoła, w której pracuje autor najlepszego scenariusza konkursu, otrzyma SONDę ([www.edusonda.pl](http://www.edusonda.pl)) – Skomputeryzowane Urządzenie Nowoczesnego Dydaktyka, umożliwiające przeprowadzanie doświadczeń matematyczno-przyrodniczych i analizę ich wyników za pomocą komputera. Nagrodę o wartości 10 000 zł ufundowała firma pwn.pl sp. z o.o. Ponadto organizatorzy przyznają również 3 nagrody w postaci honorariów w wysokości 500 zł oraz 10 wyróżnień. Wszyscy zwycięzcy i wyróżnieni otrzymają zestawy multimedialne ufundowane przez pwn.pl sp. z o.o.

Prace można nadsyłać do **14 grudnia 2009 r.** Więcej informacji na stronie:  
[http://www.kopernik.org.pl/konkurs\\_wystrzalowa\\_lekcja.php](http://www.kopernik.org.pl/konkurs_wystrzalowa_lekcja.php)

Szczegółowych informacji udzieli Państwu Małgorzata Kowalczevska  
[vcg@translatica.pl](mailto:vcg@translatica.pl)  
tel.: +48 784 02 70 58 .



## Nauczyciele też się uczą

*Małgorzata Kowalczevska  
Specjalista ds. Public Relations*

Relacja z XVI Ogólnopolskiego Zjazdu Polskiego Stowarzyszenia Nauczycieli Przedmiotów Przyrodniczych, który odbył się 12–13 września 2009 w Olsztynie.

Ponad 200 nauczycieli miało okazję uczestniczyć w wykładach i szkoleniach prowadzonych pod hasłem przewodnim „Fascynujący Wszechświat”. W programie zjazdu znalazły się m.in. wykłady o ciemnej materii we wszechświecie, galaktykach aktywnych, czy rozwoju poglądów na kształt Ziemi.

Z kolei podczas warsztatów uczestnicy mogli się dowiedzieć, w jaki sposób motywować uczniów do nauki i uatrakcyjnić lekcje. Zdecydowanie widoczna była tematyka nowoczesnych technologii w nauczaniu. Nic dziwnego – uczniowie na co dzień mają do czynienia z komputerem, czy nowinkami elektronicznymi.

Z tego względu wprowadzanie do szkoły takich urozmaiceń może zaciekawić uczniów i ułatwić im naukę trudnych zagadnień. Właśnie ten kierunek obrali prowadzący warsztaty takie jak: „Prezentacja multimedialna jako narzędzie łączące współzależności pomiędzy przedmiotami matematyczno-przyrodniczymi w szkole”, „Zastosowanie nowych narzędzi (kamera na podczerwień, termowizja) w nauczaniu przedmiotów przyrodniczych – jak motywować uczniów do nauki i pokonywać bariery w nauczaniu”, czy „Zrozumienie przez doświadczenie. SONDa (Skomputeryzowane Oprzyrządowanie Nowoczesnego Dydaktyka) zestaw, który umożliwia rozwijanie umiejętności uczniów w zakresie nauk matematyczno-przyrodniczych”.

Warsztaty przeradzały się niejednokrotnie w luźne dyskusje i konsultacje poruszające tematy związane z możliwościami ciekawej realizacji lekcji. Nauczyciele podkreślali, że uczniowie wykazują duże zainteresowanie, gdy podczas lekcji mogą się samodzielnie zaangażować np. w wykonywanie doświadczenia, dotknąć, spróbować. Właśnie dlatego warsztaty poświęcone połączeniu teorii z praktyką cieszyły się takim zainteresowaniem, a wydawnictwo PWN poza prezentowanym urządzeniem SONDa Fizyka Elektryczność i Magnetyzm, planuje już wprowadzenie na rynek kolejnych urządzeń: SONDa Fizyka Mechanika oraz SONDa Biologia.

Nauczyciele wyjechali do swoich szkół z bagażem pomysłów i nową wiedzą – teraz pozostaje już tylko wprowadzić poznane metody w życie.



## Równanie Schrödingera w poezji

$$\hat{H}|\psi(t)\rangle = i\hbar\frac{\partial}{\partial t}|\psi(t)\rangle$$

### Równanie Schrödingera

Wśród mroków drugiej pochodnej, w studni potencjału  
 Równanie Schrödingera całkujemy pomalu  
 To nic, że potencjał kolebie nam się nieco  
 I że wartości własne w zbiór ciągle się rozleca,  
 Czy spinor to energia, czy energia to spinor?  
 Ten problem stwarza humor w tonacji de-minor  
 Lecz ja liczę i liczę cierpliwie z uporem  
 I zakończyć muszę tę pracę z honorem  
 Kolejno po wszystkich zmiennych przecałkuję  
 I oby nie za szybko do zera się skieruję

*Stanisław Bednarek*

\* \* \*

### Równanie Schrödingera

Zacznijmy zatem... i ha kreślone,  
 gradient z psi (w trzech wymiarach liczone)  
 to już pęd daje... tak, wektor pędu  
 (czytelnik jest już bliski obłądu).

Pęd do kwadratu – minus powstaje  
 (dwóch „i” iloczyn minus nam daje),  
 ha kwadrat, dwa em, druga pochodna  
 i psi, szczególnej uwagi godna.

Już hamiltonian prawie w komplecie  
 (dodać potencjał można, jak wiecie),  
 energii liczyć wartości własne  
 każdy więc może. Czy wszystko jasne?

*annajedi*

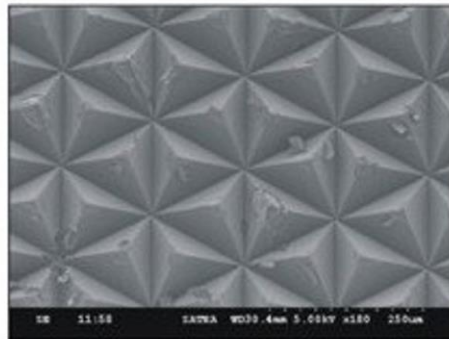


<http://wierszykialme.blox.pl/2006/03/Rownianie-Schroedingera.html>

Funkcja własna będąca rozwiązaniem równania Schrödingera nosi nazwę funkcji falowej. Funkcja falowa, w najogólniejszej postaci funkcja zespolona, nie ma bezpośredniego sensu fizycznego. Dopiero jej kwadrat interpretujemy jako gęstość prawdopodobieństwa znalezienia cząstki. Popryszsza interpretacja pochodzi od niemieckiego fizyka Maxa Borna, który podał ją w 1926 roku.

# Powierzchnie odblaskowe

Powierzchnia odblaskowa pokryta mikropryzmatami  
Źródło: <http://www.satira.co.uk>



Materiał odblaskowy pokryty mikroskopijnymi kulkami szklanymi  
Źródło: <http://wiki.verkata.com>

