

# Foton 85

LATO  
2004

Pismo dla nauczycieli fizyki i przyrody oraz ich uczniów

INSTYTUT FIZYKI x UNIwersYTETU JAGIELLOŃSKIEGO  
SEKCJA NAUCZYCIELSKA POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO

Doświadczenia wakacyjne  
Strzał z bicia  
Miód z wodą w kosmosie



Arkadiusz Piekara z ojcem

Na okładce: Piękne oczy Zosi (fot. G. Guerth)



## Łapanie okazji w wakacje

Wakacje to doskonała okazja do kształcenia u dzieci i uczniów umiejętności dokonywania obserwacji przyrody. Paul Black, znakomity dydaktyk angielski, powiedział kiedyś, że fizyka to specyficzny sposób patrzenia na rzeczywistość; to tak jakby obserwowanie świata przez specjalne okulary. Tego się trzeba nauczyć. To nie pojawia się zupełnie spontanicznie, przynajmniej u większości osób. Mało tego, „niedojrzały” sposób jest różny od sposobu patrzenia fizyka. Wakacje to okres, w którym można dzieciom i nastolatkom zwracać uwagę na pewne zjawiska. Jakież pole do popisu w czasie igraszek w wodzie, na jeziorze, w czasie pływania łódką czy kajakiem! Od objaśniania prawa Archimedesesa do fal stojących na basenie i fali uderzeniowej, potrzebnej do zrozumienia fizyki strzału z bata. Optyka to bardzo wdzięczny wakacyjny temat, pozwala bowiem na rozmaite stopnie wgłębiania się w problem. Małym dzieciom wystarczy np. dokonywanie zabawnych odkryć o powstawaniu zdeformowanych obrazów w soczewkach, w niepłaskich lustrach, obserwacja kształtów i warunków powstawania cieni, czy rozszczepienia światła na kroplach wody z węża ogrodowego. Starszym trzeba już zwrócić uwagę na pewne elementy, by zapamiętanie nie było chaotyczne i nie kojarzyło się jedynie z innymi towarzyszącymi zdarzeniami jak np. „to wtedy się objadłem lodami” lub „wtedy się spaliła stodoła u sąsiada” (obserwacja tęczy). Tu nie chodzi o regularne lekcje, czy nawet o niepełne tłumaczenia, raczej o zwrócenie uwagi, np.: „popatrzcie gdzie my stoimy, a gdzie jest słońce” w przypadku tęczy. To powinno wystarczyć. Później na lekcji można się do tych obserwacji i doświadczeń odwoływać. Są dosłownie na wagę złota w pospiesznym nauczaniu. W tym zeszycie podsuwamy Państwu pomysły. Zaręczamy, że konkurs na wyścig jajek może zaciekać i babcie i wujka oraz wszystkie wakacyjne dzieci, a ponieważ i fizycy i inżynierowie mogą błędnie odgadnąć zwycięzcę wyścigu, to oczywiście spowoduje gorące dyskusje. Przypominamy również nasze stare artykuły, które umieściliśmy na naszej stronie internetowej. Zachęćcie Państwo do lektury letniego *Fotonu* swoich uczniów. Ambitni licealiści dowiedzą się, co to znaczy złamana symetria, trudne, ale fascynujące pojęcie. Temat ważny w fizyce współczesnej.

Zaskakującą informację można znaleźć w artykule o strzale z bicia – koniec strzelającego bicia przekracza prędkość dźwięku. Wszystko „prosto jak drut” wyłożone.

Redakcja życzy zasłużonego wypoczynku i dużo radości z *Fotonem*.

ZG-M



## Contents

Editorial: Summer opportunities	
<i>Zofia Gołqb-Meyer</i> .....	1
Physics of the cracking whip	
<i>Piotr Pierański and Waldemar Tomaszewski</i> .....	4
Spontaneous symmetry breaking on examples from classical mechanics	
<i>Henryk Arodź</i> .....	13
Nobel Prizes in Physics (Lord Rayleigh) and in Chemistry (Sir William Ramsay) for their discovery of inert gaseous elements in air	
<i>Maria Średniawa</i> .....	22
Superformula	
<i>Katarzyna Cieślak</i> .....	27
GNOMON the simplest astronomical instrument	
<i>Marcin Egert</i> .....	29
Quantum world	
<i>Józef Spalek</i> .....	38
Summer vacation experiments .....	39
Sparkling music	
<i>Eryk Rajch, Grzegorz Karwasz</i> .....	40
Mystery in a Cup of Tea	
<i>Tony Phillips</i> , translation <i>Jacek Bieroń</i> .....	46
Kasia's favourite experiments	
<i>Katarzyna Cieślak</i> .....	50
Egg's races	
<i>Anna and Marcin and Tomasz Dohnalik</i> .....	53
Maria Skłodowska-Curie experiment with eggs .....	54
Professor Piekara's suggestions .....	56
What to read. „Physics lessons of Marie Curie. Lecture notes of Isabelee Chavannes, 1907”	
<i>Zofia Gołqb-Meyer</i> .....	61
Erratum .....	65
Reading in English. Mystery in a Cup of Tea .....	66
Problems. „Young Lion Competition” .....	67
Physics Toys Exhibition in Słupsk	
<i>Katarzyna Szerement</i> .....	68
Corrigendum .....	69
Afternoon with physics in Pieńsk	
<i>Urszula Mięsook</i> .....	70
Physics in the Internet. World Year of Physics 2005 .....	73
Physics Festival in Cracow .....	74
Editorial News .....	75



## Spis treści

Lapanie okazji w wakacje <i>Zofia Gołąb-Meyer</i> .....	1
Fizyka strzelającego bicia <i>Piotr Pierański i Waldemar Tomaszewski</i> .....	4
Spontaniczne złamanie symetrii na przykładach z mechaniki klasycznej <i>Henryk Arodź</i> .....	13
Nagrody Nobla w dziedzinach fizyki i chemii w 1904 roku za odkrycie gazów szlachetnych <i>Maria Średniawa</i> .....	22
Superwzór <i>Katarzyna Cieślar</i> .....	27
GNOMON najprostszy przyrząd astronomiczny czyli jak przy użyciu zwykłego patyka nauczyć się wielu rzeczy o otaczającym nas świecie <i>Marcin Egert</i> .....	29
Świat kwantowy <i>Józef Spalek</i> .....	38
Kącki eksperymentatora. Doświadczenia wakacyjne.....	39
Szampańska muzyka <i>Eryk Rajch, Grzegorz Karwasz</i> .....	40
Cuda w szklance herbaty <i>Tony Phillips, tłumaczył Jacek Bieroń</i> .....	46
Ulubione domowe doświadczenia Kasi <i>Katarzyna Cieślar</i> .....	50
Wyścigi jajek <i>Anna i Marcin i Tomasz Dohnalik</i> .....	53
Doświadczenie Marii Skłodowskiej-Curie z pływającymi jajkami .....	54
Propozycje Profesora Piekary .....	56
Co czytać. „Lekcje Marii Skłodowskiej Curie. Notatki Isabelle Chavannes z 1907” <i>Zofia Gołąb-Meyer</i> .....	61
Errata.....	65
Czytamy po angielsku. Mystery in a Cup of Tea .....	66
Kącik zadań. Wybór zadań z „Lwiątko 2003” .....	67
Wystawa „Fizyka zabawek” w Słupsku <i>Katarzyna Szerement</i> .....	68
Sprostowanie.....	69
Pieńskie Popołudnie z Fizyką <i>Urszula Mięśok</i> .....	70
Fizyka w Internecie. Światowy Rok Fizyki 2005.....	73
Sesja Dydaktyczna w ramach Jarmarku Fizyki .....	74
Komunikaty Redakcji .....	75



## Fizyka strzelającego bicza

Piotr Pierański i Waldemar Tomaszewski

Politechnika Poznańska

Laboratorium Fizyki Komputerowej i Półprzewodników

### 1. Zjawisko

Wszyscy dobrze znamy charakterystyczny trzask, wydawany przez bicz Indiany Jonesa w krytycznych momentach filmów Stevena Spielberga. Czy trzeba być Harrisonem Fordem, by umieć strzelać z bicza? Z pewnością nie. To w gruncie rzeczy bardzo proste. Spróbujmy postrzelać sami. Zróbmy więc sobie bicz, niekoniecznie taki jak ten, którego używa Indiana Jones. Bicz Indiany Jonesa to bicz australijski, spleciony z kilku pasków wyciętych ze skóry kangura. Zróbmy sobie bicz polski, czyli po prostu – bat.

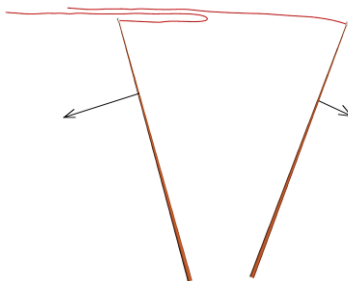
Czego nam potrzeba? Po pierwsze rękojeści. Wystarczy patyk metrowej długości lub bambusowa tyczka o średnicy około 1 cm, jaką możemy kupić w sklepie ogrodniczym, ale prosta gałązka leszczyny nie jest wiele gorsza. Prawdę mówiąc, niemal wszystko jedno, czego użyjemy. Będzie-



my musieli tym machać, więc niech to nie będzie za ciężkie. Rękojeść posłuży do wprawiania w ruch wiotkiego sznurka, sama zatem niech nie będzie zbyt wiotka.

Teraz część druga. Nazwijmy ją rzemieniem, bowiem w batach używanych przez woźniców jest zrobiona ze skóry. Można oczywiście użyć cienkiego rzemienia sprzedawanego przez górali, ale, jak się okazuje, kawałek zwykłego sznurka jest znacznie lepszy. Sznurek nie może być za krótki. 2 metry będą w sam raz. Sznurek mocno przywiązujemy do końca rękojeści. Dla pewności możemy miejsce przywiązania okleić taśmą.

Spróbujmy sobie postrzelać. Stajemy gdzieś, gdzie przed i za nami jest wystarczająco dużo miejsca (najlepiej więc na dworze, jeśli jesteśmy w Poznaniu, albo na polu, gdy znajdujemy się w Krakowie). Wznosimy rękojeść tak, by jej koniec znalazł się w górze, przed nami. Wykonujemy spokojny ruch wstecz, a następnie gwałtowny do przodu. W pierwszej fazie ruchu sznurek unosi się, rozprostowuje i biegnie za poruszającym się wstecz końcem rękojeści. W fazie drugiej jego przymocowany do rękojeści koniec zawraca. Mamy więc do czynienia z sytuacją, w której jedna część sznurka nadal biegnie wstecz, podczas gdy druga już porusza się do przodu. Z upływem czasu długość części nadal biegnącej wstecz ulega skróceniu.



Rys. 1. Technika strzału z bicia polskiego

Trzask powstaje, choć nie można tego dostrzec gołym okiem, gdy sznurek się rozprostowuje. Skąd się bierze? Jaka jest jego przyczyna?

## 2. Fala uderzeniowa

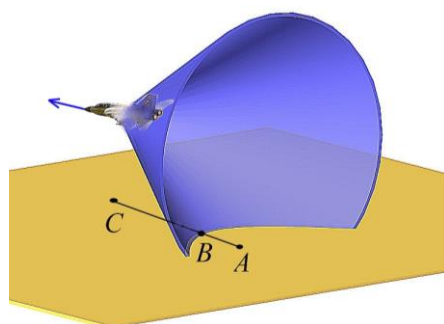
Odpowiedź na postawione wyżej pytanie jest zdumiewająca: trzask bicia ma tę samą fizyczną przyczynę, co huk towarzyszący samolotowi poruszającemu się z prędkością ponaddźwiękową – jest nią fala uderzeniowa. Fala uderzeniowa powstaje zawsze, gdy przedmiot wytwarzający falę porusza się szybciej od niej. Najłatwiej zobaczyć to na wodzie, gdzie prędkość fal jest na tyle mała, że można śledzić ich bieg. Włóżmy do wody patyk i zaczniemy poruszać nim w górę i w dół. Wokół patyka zaczną rozchodzić się koliste fale. Ich centrum jest wspólne – drgający patyk. Jeśli jednak do ruchu góra-dół dołączymy powolny ruch w kierunku poziomym, centra kolejnych fal zaczną się przemieszczać. Fale przestaną być koncentryczne: odległość między ich grzbietami mierzona w kierunku ruchu patyka będzie mniejsza niż w kierunku przeciwnym (efekt Dopplera!). Jeśli prędkość poziomego ruchu patyka przekroczy prędkość, z jaką fale poruszają się na wodzie, obraz zmieni się: zobaczymy charakterystyczną falę o trójkątnym kształcie, taką, jaką ciągnie za sobą poruszająca się łódź. Ta fala, zwana w żegludze falą dziobową, to fala uderzeniowa.



Rys. 2a. Fala dziobowa, towarzysząca łodzi poruszającej się z prędkością większą od prędkości fal na wodzie



Rys. 2b. Gdy źródło fali jest nieruchome, fala jest kolista.  
Gdy się porusza z szybkością większą od prędkości fali, powstaje fala dziobowa



Rys. 2c. Fala uderzeniowa towarzysząca samolotowi poruszającemu się z prędkością większą od prędkości dźwięku

Samolot poruszający się z prędkością większą od prędkości dźwięku też ciągnie za sobą taką falę dziobową. Rysunek 2 pokazuje jej stożkowy kształt. Przecięcie stożka z powierzchnią ziemi jest parabolą. Parabola ta przemieszcza się z tą samą prędkością, z jaką porusza się samolot. Gdy dochodzi do nas – słyszymy huk. Obserwator A już go słyszał, obserwator B właśnie słyszy, obserwator C usłyszy za chwilę. Sprostujmy przy okazji często wypowiedane błędne wyjaśnienie. Huk



nie pojawia się wtedy, gdy samolot **przekracza** prędkość dźwięku, lecz **towarzyszy** samolotowi poruszającemu się z prędkością większą od prędkości dźwięku.

### 3. Jak sfotografować falę uderzeniową?

Hipotezę, że trzask bicia jest akustycznym dowodem na przekroczenie przez koniec bicia prędkości dźwięku, postawił w 1905 roku Otto Lummer, profesor fizyki na Uniwersytecie Wrocławskim, znany przede wszystkim z prac doświadczalnych, których wyniki wykorzystywał Planck w weryfikacji znalezionej przez siebie kwantowego prawa opisującego widmo promieniowania ciała doskonale czarnego [1]. Inspiracją dla Lummera były słynne doświadczenia Ernesta Macha, który wraz z Peterem Salcherem wykonał metodą fotografii cieniowej pierwsze zdjęcia fali uderzeniowej wytwarzanej przez poruszający się z prędkością ponaddźwiękową pocisk. Hipoteza Lummera spotkała się z niedowierzaniem. Koniec rzemienia, albo, co gorsza, zwykłego sznurka, miałby poruszać się z prędkością pocisku karabinowego? Trudno było w to uwierzyć. Do zwolenników hipotezy Lummera należeli Ernest Mach i Ludwig Prandtl, których autorytet nie był bez znaczenia, jednak przekonanie przeciwników wymagało dostarczenia dowodu doświadczalnego, argumentacja heurystyczna nie wystarczała. Jak przekonać przeciwników? Jak sfalsyfikować kontrhipotezę, że źródłem trzasku jest uderzenie końca bicia w poprzedzający go fragment? Fotografia fali uderzeniowej byłaby wystarczającym dowodem. Jeszcze bardziej przekonujący byłby film, na którym gołym okiem można by zobaczyć przyspieszający do prędkości ponaddźwiękowych koniec bicia i odrywającą się od niego falę uderzeniową.

Na czym polega fotografowanie fali uderzeniowej? Przecież powietrze jest przezroczyste. Nie widać na nim fal tak, jak widać je na wodzie. To prawda, powietrze jest przezroczyste, ale jego współczynnik załamania światła zależy od gęstości, ta zaś nie musi być wszędzie taka sama. W obszarze fali uderzeniowej mamy do czynienia z dużymi zmianami ciśnienia, a więc i dużymi zmianami gęstości powietrza, te zaś powodują, że i współczynnik załamania silnie się tam zmienia i biegnące przez taki obszar promienie świetlne ulegają załamaniu. Zmiana kierunku biegu promieni światła w obszarach, w których powietrze ma inną gęstość, jest zjawiskiem, które dobrze znamy, choć nie zawsze zdajemy sobie z tego sprawę. Popatrzmy latem, w słoneczny dzień, na powierzchnię autostrady. Zobaczymy na niej w oddali coś, co przypomina jezioro. Jeśli przyjrzymy się dobrze, zobaczymy, że w jego powierzchni, jak w lustrze, odbijają się znajdujące się w pobliżu przedmioty. Jak to wyjaśnić? To proste. Asfaltowa powierzchnia drogi rozgrzana jest do wysokiej temperatury. Powietrze, znajdujące się w jej pobliżu, również. Jego temperatura spada wraz z wysokością. Powietrze cieplejsze ma mniejszą gęstość, wobec tego jego współczynnik załamania jest również mniejszy. Mamy do czynienia z sytuacją, w której współczynnik załamania maleje w miarę zbliżania się do powierzchni drogi. Promienie światła, biegnące z nieba, pod małym kątem, w stronę drogi, ulegają w jej pobliżu zakrzywieniu tak silnemu,

że w jego efekcie zaczynają biec w górę, do naszego oka. Patrzymy w dół, w stronę drogi, ale do naszego oka trafiają promienie, które wybiegły z nieba. Patrzymy na drogę, ale widzimy niebo. Podobnie dzieje się z promieniami, które wyszły z przedmiotów znajdujących się blisko powierzchni drogi. Biegają w dół, zakrzywiają się i trafiają do naszego oka. Widzimy w drodze, jak w lustrze, ich odbicie. To fatamorgana. Rozgrzane powietrze porusza się wskutek konwekcji. Gradient temperatury fluktuuje. To samo dzieje się ze współczynnikiem załamania. Obraz drga, jakby falowała powierzchnia tego wirtualnego lustra. Złudzenie, że patrzymy na falującą powierzchnię jeziora, jest bardzo silne.



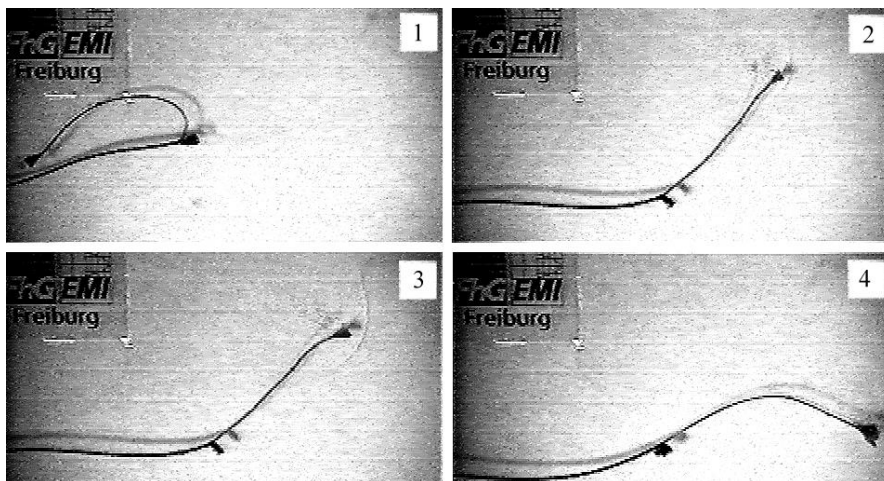
Rys. 3. Fatamorgana

Powróćmy do problemu bicza. Wykonanie filmu, na którym można by zobaczyć falę uderzeniową, towarzyszącą poruszającemu się z prędkością większą od dźwięku koniuszkowi bicza, było w czasach Lummera nieosiągalne. Impas trwał wiele lat. Przełom pojawił się w 1927 roku. Z. Carrière z Tuluzy wykonał, oświetlając iskrowym źródłem światła, poruszany mechanicznie bicz [2]. Wykonane zdjęcia ujawniały, że koniec bicza osiąga prędkości ponaddźwiękowe.

Przeskoczmy do współczesności. Ostatnie, najbardziej precyzyjne obserwacje kolejnych faz ruchu bicza wykonane zostały w 1998 roku przez Krehla, Engemanna i Schwenkela z Instytutu Ernesta Macha we Freiburgu [3]. Układ doświadczalny, jaki zbudowali, by osiągnąć swój cel, był dość wyrafinowany.

Bicz oświetlany był laserem impulsowym o mocy 25 W. Częstość impulsów wynosiła 9 kHz, czas trwania – 20 ns. Moc impulsu wynosiła 200 kW. Wiązkę lasera ogniskowano na przesłonie z małym, kolistym otworem. W efekcie otrzymywano niemal punktowe, impulsowe źródło światła, równomiernie oświetlające

ekran, przed którym w małej odległości poruszał się koniec bicia, obsługiwanego przez zawodowca.



Rys. 4. Cztery klatki z filmu przedstawiające końcowe fazy ruchu bicia. Na klatce numer 3, z prawej strony końca bicia, widoczny jest kolisty cień fali uderzeniowej (zdjęcia publikujemy dzięki uprzejmości Petera Krehla)

Szybka, cyfrowa kamera filmowała bicz poprzez małe zwierciadło umieszczone blisko przesłony z otworem. Obserwacja bicia odbywała się więc niemal z miejsca, w którym umieszczone było źródło światła. Dzięki temu nieco większy od fotografowanego obiektu (rzemienia bicia) cień nie był przesłaniany przez sam obiekt. Obrazy z przetwornika kamery przekazywane były do bufora mogącego pomieścić 1024 obrazów. Przy zapełnionym buforze wpisanie nowego obrazu powodowało usunięcie najstarszego. Wpisywanie kolejnych obrazów przerywał trzask bicia. W ten sposób, po przerwaniu rejestracji, w buforze znajdowały się obrazy z interwału czasowego obejmującego pojawienie się fali uderzeniowej. Na kolejnych klatkach filmu prócz samego bicia obserwujemy jego cień i, co istotniejsze, cień fali uderzeniowej.

Rysunek 4 przedstawia kilka klatek filmu zarejestrowanego w doświadczeniu wykonanym przez Krehla. Z otrzymanych obrazów można zrekonstruować kształt i położenie końca bicia w krytycznym momencie, tuż przed i tuż po uzyskaniu przez niego maksymalnej prędkości. Analiza tych danych pozwoliła autorom doświadczenia na znalezienie współrzędnych końca bicia w przestrzeni, w równo od

siebie odległych, wyznaczonych przez rytm impulsowego źródła światła chwilach czasu.



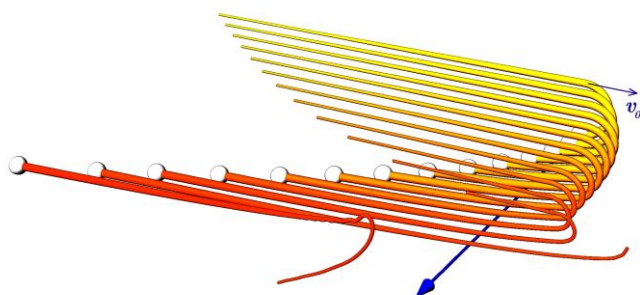
Rys. 5. Koniec rzemiennego bicza postrzępiony po kilkunastu strzałach

Jak się okazało, w czasowym wykresie prędkości, w końcowym, zanotowanym przez kamerę etapie ewolucji kształtu bicza, pojawia się ostry, podobny do asymetrycznego zęba piły, trójkątny pik. W jego maksimum koniec bicza osiągał prędkość ok. 750 m/s, a więc przeszło dwukrotnie przekraczał prędkość dźwięku. Jeszcze bardziej spektakularny wynik dała analiza przyspieszenia, jakiemu podlegał koniec bicza. W końcowym etapie przyspieszania, trwającym ok. 850 mikrosekund, jego prędkość wzrastała od 340 m/s do wspomnianych wyżej 750 m/s. Jak łatwo obliczyć, przyspieszenie wynosiło więc prawie 50 000 g! Jeszcze większe wartości przyspieszenia pojawiały się na opadającym zboczu piku prędkości. Wartości te wydają się nieprawdopodobne. Zastanówmy się przez chwilę nad ich fizycznym sensem. Poddanie końca rzemienia przyspieszeniu wynoszącemu 50 000 g oznacza, że jego fragment o masie 1 grama odrywany jest z siłą, jakiej trzeba użyć, by podnieść przedmiot o masie 50 kilogramów. Zwykły rzemień nie ma z pewnością takiej wytrzymałości, powinien więc ulec zerwaniu. Potrenujmy trochę strzelanie z wykonanego przez nas bicza, by trzaski, jakie wytwarza, były dobrze słyszalne, a następnie przyjrzyjmy się jego koniuszkowi. Zobaczymy wyraźnie postrzępienie. To ślad potężnych przyspieszeń, jakim był poddawany.

#### 4. Symulacje numeryczne

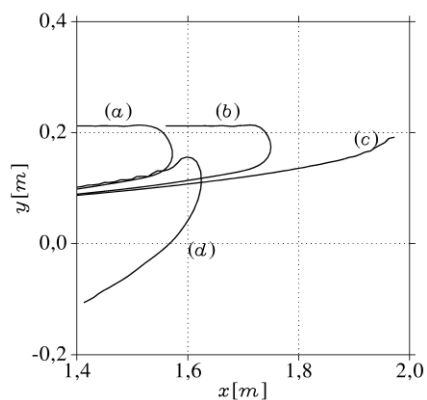
Ruch bicza to zjawisko czysto klasyczne, w przybliżeniu opisywane równaniami Newtona. Problem polega na tym, że są to równania dość złożone, ponieważ zamiast jednego punktu materialnego mamy do czynienia z ich dużą liczbą. Rzemień można potraktować jako ciąg powiązanych z sobą punktów materialnych, mówiąc dokładniej: ciał sztywnych, bowiem prócz ich ruchu translacyjnego musimy rozważać również ruch obrotowy. Nawet jeśli założymy, że rzemień jest idealnie wiotki, co w jego opisie teoretycznym sprowadza się do idealnie wiotkiego połą-

czenia sztywnych segmentów, na jakie go rozkładamy, analityczne rozwiązanie jego równań ruchu nie jest możliwe. Dziś jednak, gdy zawodzą metody analityczne, sięgamy po komputer. Jeden z nas (WT) opracował program całkujący równania ruchu bicia [4]. W efekcie jesteśmy dziś w stanie symulować doświadczenia, jakie wykonujemy, bawiąc się w strzelanie z bicia. Opiszmy jedną z takich symulacji. Zakładamy w niej, że rzemień jest idealnie wiotki i nierozciągliwy. Wprowadzamy go w ruch jednostajny z prędkością  $v_0 = 10 \text{ m/s}$ , a następnie jego początek zwracamy, poddając wstępnemu przyspieszeniu równemu  $200 \text{ m/s}^2$ .



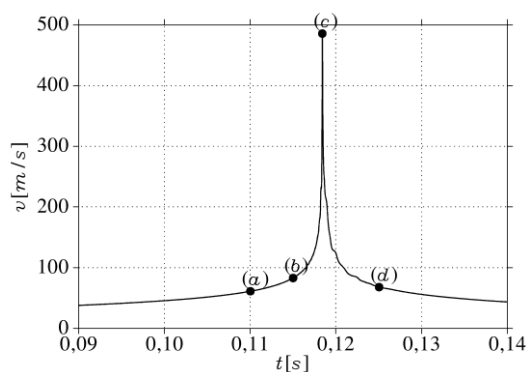
Rys. 6. Kolejne fazy ruchu rzemienia w sytuacji, gdy rękojeść jest poddana przyspieszeniu w kierunku przeciwnym do kierunku początkowego ruchu rzemienia

Rysunki 6 i 7 przedstawiają kolejne fazy symulowanego numerycznie ruchu rzemienia, rysunek 8 zaś zależność prędkości jego końca od czasu. Widać wyraźnie, że w tym numerycznym doświadczeniu prędkość dźwięku została przekroczona. Maksimum prędkości zależy od takich parametrów, jak długość rzemienia, promień łuku, po którym zmuszamy jego początek do powrotu, i przyspieszenie, z jakim zaczyna on powracać.



Rys. 7. Szczegóły ruchu końca bicia w otoczeniu chwili (c), w której osiąga on największą prędkość

Jeśli trochę poeksperymentujemy, łatwo odkryjemy, że tak jest w istocie. Trzask można uzyskać także wtedy, gdy rzemień jest krótki, ale wówczas wsteczny ruch ręki musi być szybszy. Spróbujmy zmoczyć sznurek. Mokry sznurek, szczególnie konopny, sztywnieje. Strzelanie zrobi się trudniejsze. Okazuje się, że wiotkość sznurka także ma znaczenie.



Rys. 8. Czasowa zależność prędkości ostatniego segmentu rzemienia w sytuacji, gdy jego początek poddany jest przyspieszeniu w kierunku przeciwnym do kierunku początkowego ruchu. Wykres obejmuje otoczenie punktu, w którym prędkość osiąga wartość maksymalną.

Trudno w to uwierzyć, ale tak właśnie jest: trzymamy w dłoni patyk z przywiązanym do niego sznurkiem, machamy ręką i jego koniec osiąga prędkość myśliwca F-16.

#### Literatura

- [1] O. Lummer, *Über die Theorie des Knalls*. Schlesische Gesellschaft für vaterländische Kultur **83**, II:2 (1905) [cytujemy za P. Krehlem].
- [2] Z. Carrière, *Le claquement du fouet*, J. de Physique et Le Radium Ser. VI, **8**, 365 (1927) [cytujemy za P. Krehlem].
- [3] P. Krehl, S. Engemann and D. Schwenkel, *The puzzle of whip cracking – uncovered by a correlation of whip-tip dynamics with shock wave emission*, Shock Waves, **8**, 1 (1998).
- [4] W. Tomaszewski i P. Pierański, *Fizyka strzału z biczem*, Postępy Fizyki **55**, 10 (2004).



## Spontaniczne złamanie symetrii na przykładach z mechaniki klasycznej

Henryk Arodź

*Institut Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego*

### 1. Wstęp

Nie ulega wątpliwości, że pojęcie symetrii odgrywa niezwykle istotną rolę we współczesnej fizyce. Szczególnie mocno jest ono eksponowane w fizyce kwantowej, gdzie E. P. Wigner stworzył w latach 30. i 40. XX wieku piękną teorię symetrii. Trudno też znaleźć współczesny podręcznik elektrodynamiki klasycznej, w którym nie byłoby chociażby wzmianki o transformacjach Lorentza i symetrii relatywistycznej, lub podręcznik mechaniki klasycznej bez twierdzenia Noether. W latach 60. minionego stulecia, dzięki pionierskim pracom Y. Nambu oraz J. Goldstone'a, zwrócono uwagę na zjawisko spontanicznego złamania symetrii. Obecnie zjawisko to, wraz z odpowiednim, dość subtelnym, aparatem pojęciowym i matematycznym, leży u podstaw wielu działów fizyki, w tym znacznej części fizyki fazy skondensowanej oraz fizyki mikroświata. Znany teoretyk angielski T.W.B. Kibble w roku 1976 wysunął hipotezę, że jest ono istotne także dla zrozumienia ewolucji wczesnego Wszechświata.

W niniejszym artykule chcemy wyjaśnić Czytelnikowi, co to jest spontaniczne złamanie symetrii. Podajemy też kilka przykładów prostych układów mechanicznych, gdzie zjawisko to występuje.

### 2. Symetria i jej złamanie

Zacznijmy od określenia symetrii. Posłużymy się przykładem. W pustej przestrzeni, a więc bez żadnych pól lub cząstek, umieszczamy jedną cząstkę. Dla prostoty przyjmujemy, że jest ona punktowa. Pomijamy też efekty relatywistyczne. Wiemy, jakie stany takiej cząstki są **fizycznie możliwe**: spoczynek w dowolnym punkcie przestrzeni lub ruch jednostajny prostoliniowy. Jest to nikły podzbiór ruchów możliwych do pomyślenia. Na przykład cząstka nie będzie poruszać się wzdłuż żadnej zakrzywionej linii, chociażby okręgu. Fizycznie możliwy stan można przeprowadzić w inny taki stan za pomocą pewnych transformacji. Przesunięcie całej trajektorii o stały wektor (translacja) lub jej obrót o pewien kąt wokół jakiejś osi da fizycznie możliwą trajektorię naszej cząstki. Takie transformacje nazywamy transformacjami symetrii, a ich zbiór **symetrią** danego układu fizycznego. Obroty i translacje nie wyczerpują zbioru transformacji symetrii dla naszej cząstki. Pełny ich zbiór zawiera jeszcze tak zwane pchnięcia, tj. transformacje zmieniające prędkość cząstki o stały wektor, a także translacje czasowe. Ma on matematyczną stru-



kturę grupy zwanej grupą Galileusza (gdy uwzględnimy efekty relatywistyczne, będzie to grupa Poincarègo).

Jasne jest, że konkretna trajektoria cząstki jest na ogół zmieniana przez transformację symetrii (czyli nie jest niezmiennicza). Translacja przeprowadza cząstkę spoczywającą w jednym punkcie w cząstkę spoczywającą w innym punkcie. Natomiast obrót wokół dowolnej osi przechodzącej przez punkt, w którym cząstka spoczywa, nic nie zmienia.

Spośród wszystkich fizycznie możliwych trajektorii układu szczególnie istotne są te, które mają najniższą energię. Nazywane są one **stanami podstawowymi**. W wypadku naszej cząstki w pustej przestrzeni są to wszystkie trajektorie „punktowe”, odpowiadające cząstce spoczywającej w dowolnym punkcie, bo wtedy energia kinetyczna przyjmuje minimalną wartość równą zeru. Wyobraźmy sobie, że cząstka znajduje się w jednym ze stanów podstawowych. Mówimy, że dana symetria została **spontanicznie złamana**, gdy ten stan podstawowy nie jest niezmienniczy względem niektórych lub wszystkich transformacji symetrii. W naszym przykładzie spontanicznie złamana jest między innymi symetria translacyjna. Nie jest spontanicznie złamana symetria zawierająca obroty wokół dowolnej osi przechodzącej przez punkt, w którym cząstka spoczywa.

Określenie, że symetria została złamana „spontanicznie”, nawiązuje do tego, że większość układów fizycznych samorzutnie, a więc spontanicznie, zdąża do stanów o najniższej możliwej energii (między innymi, wskutek dysypacji energii).

Zauważmy, że układ, w którym nastąpiło spontaniczne złamanie symetrii, tzn. znalazł się on w jednym ze stanów podstawowych nie niezmienniczych względem transformacji symetrii, nadal ma symetrię: transformacje symetrii przeprowadzają trajektorie fizycznie możliwe w trajektorie fizycznie możliwe. Inaczej mówiąc, zbiór wszystkich fizycznie możliwych trajektorii układu nadal jest niezmienniczy względem transformacji symetrii – jedynie „wybrany” przez układ konkretny stan podstawowy nie jest niezmienniczy. Spontaniczne złamanie symetrii jest czymś zupełnie różnym od **jawnego złamania symetrii**, z którym mamy do czynienia, gdy przez włączenie jakichś sił (oddziaływań) zmieniamy zbiór transformacji symetrii. Oczywiście także zbiór fizycznie możliwych trajektorii na ogół ulega wtedy zmianie. Kontynuując przykład z cząstką w przestrzeni, włączenie stałej siły grawitacyjnej w całej przestrzeni powoduje, że fizycznie niemożliwe jest pozostawanie w spoczynku lub ruch prostoliniowy ze stałą prędkością. Zbiór transformacji symetrii nadal zawiera wszystkie translacje. Symetria względem translacji w dwu kierunkach prostopadłych do kierunku siły grawitacyjnej prowadzi do prawa zachowania odpowiednich składowych pędu cząstki, natomiast symetria względem translacji w kierunku do niej równoległym prowadzi do całki ruchu (tzn. wielkości zachowywanej) postaci  $p_{\parallel} - mgt$ , gdzie  $p_{\parallel}$  jest składową pędu równoległą do siły grawitacyjnej,  $g$  – przyspieszeniem grawitacyjnym,  $m$  – masą cząstki. Ponieważ  $dp_{\parallel}/dt = mg$  na mocy równania Newtona, powyższa wielkość

jest stała w czasie. Transformacjami symetrii są też obroty wokół osi równoległych do siły grawitacyjnej, ale nie wokół innych osi. Symetria względem dowolnych obrotów została jawnie złamana przez włączenie pola. Układ taki nie ma stanu o najniższej energii – energia potencjalna może być dowolnie mniejsza od zera. Nieco bardziej realna jest sytuacja, gdy cząstka znajduje się w części przestrzeni ograniczonej z dołu poziomą „podłogą”. Wtedy stany podstawowe istnieją – są to stany, w których cząstka spoczywa na owej „podłodze”<sup>1</sup>. Obecność „podłogi” ogranicza w oczywisty sposób zbiór transformacji translacji – jest to jawne złamanie symetrii translacyjnej.

Zbiór wszystkich trajektorii o najniższej energii nazywany jest **rozmaitością próżniową** danego układu fizycznego. Termin ten wprowadzono najpierw w kwantowej teorii pola, gdzie stan o najniższej energii jest nazywany stanem próżni. W wielu wypadkach transformacje symetrii nie zmieniają energii układu. Jeśli właśnie taka symetria jest spontanicznie złamana, to stosując transformacje symetrii do jednego stanu podstawowego, otrzymamy inne stany podstawowe, czyli rozmaitość próżniową lub przynajmniej jej część.

W wypadku gdy symetria nie jest spontanicznie złamana, stan podstawowy pozostaje niezmienny po dowolnej transformacji symetrii. Przykładem może być przestrzenne wahadło matematyczne, którego ruchomy, obciążony koniec może poruszać się po sferze o promieniu równym długości ramienia wahadła. Z powodu obecności jednorodnego pola grawitacyjnego, a także dlatego, że drugi koniec ramienia jest nieruchomy, symetrią tego układu są jedynie obroty wokół pionowej osi przechodzącej przez nieruchomy koniec ramienia wahadła. W stanie podstawowym wahadło jest nieruchome i jego obciążony koniec zajmuje najniższą możliwą pozycję. Obroty wokół owej osi nie zmieniają jego położenia, więc nie ma spontanicznego złamania symetrii.

Brak spontanicznego złamania symetrii jest typowy dla układów kwantowych zawierających zadaną skończoną liczbę cząstek. Z kolei w kwantowych układach teoriopolowych, mogących zawierać cząstki w dowolnej liczbie, spontaniczne złamanie symetrii występuje dość często, podobnie jak w układach niekwantowych (czyli klasycznych).

Wróćmy do przykładu z cząstką w pustej przestrzeni. Mamy tutaj bardzo dużą rozmaitość próżniową, równą całej przestrzeni – cząstka, spoczywając w dowolnym punkcie przestrzeni, ma minimalną energię. Dodając takiej cząstce dowolnie małą ilość energii kinetycznej, spowodujemy, że cząstka będzie się przemieszczać dowolnie daleko w rozmaitości próżniowej. Ruchy tego typu są nazywane **modami Goldstone’a** (od angielskiego *mode*). W przypadku stanu podstawowego wahadła przestrzennego dodanie małej porcji energii kinetycznej umożliwi jedynie

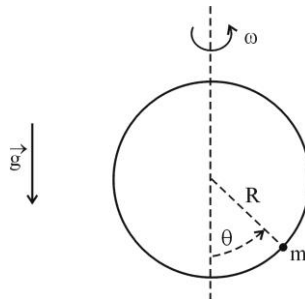
---

<sup>1</sup> *Nota bene*, jest jedną z tajemnic natury, że wszystkie zaobserwowane dotychczas układy fizyczne mają stany podstawowe.

ruch w małym zakresie odchyłeń wahadła od położenia równowagi trwałej. Tutaj nie ma modów Goldstone'a.

### 3. Przykład spontanicznego złamania symetrii dyskretnej $Z_2$

Koralik o masie  $m$  znajduje się na sztywnej obręczy o promieniu  $R$ , wirującej ze stałą prędkością kątową  $\omega$  wokół nieruchomej, pionowej osi leżącej w jej płaszczyźnie i przechodzącej przez jej środek.



Rys. 1. Koralik na obręczy

Stąła siła ciężkości jest skierowana pionowo w dół. Koralik ślizga się po obręczy bez tarcia. Jedynym efektem ruchu obrotowego obręczy jest pojawienie się siły odśrodkowej, działającej na koralik. Sile tej odpowiada energia potencjalna równa  $-\frac{1}{2}mR^2\omega^2 \sin^2 \theta$ , gdzie  $\theta$  jest kątem z przedziału  $[-\pi, \pi]$ , określającym położenie koralika na okręgu (patrz rysunek 1).  $\theta = 0$  odpowiada najniższemu położeniu koralika. Dodając energię potencjalną grawitacyjną, otrzymujemy następujące wyrażenie dla całkowitej energii potencjalnej koralika

$$V_1(\theta) = mgR(1 - \cos \theta) - \frac{1}{2}mR^2\omega^2 \sin^2 \theta. \quad (1)$$

Koralik w stanie podstawowym ma zerową energię kinetyczną i minimalną całkowitą energię potencjalną. Minimum funkcji  $V_1(\theta)$  znajdujemy, rozwiązując równanie  $dV_1/d\theta = 0$ . Różniczkując obie strony wzoru (1), przyrównując stronę lewą do zera i dzieląc przez  $mgR$ , otrzymujemy następujące równanie

$$0 = \sin \theta(1 - \alpha \cos \theta), \quad (2)$$

gdzie

$$\alpha = \frac{R\omega^2}{g}.$$

Równanie to ma oczywiste rozwiązanie

$$\theta = 0. \quad (3)$$

Jednakże gdy  $\alpha > 1$ , istnieją też dwa inne rozwiązania

$$\theta = \pm\theta_0, \quad (4)$$

gdzie  $\theta_0$  jest dodatnim kątem wyznaczonym z warunku

$$\cos \theta_0 = \alpha^{-1}. \quad (5)$$

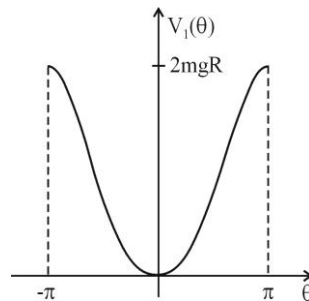
Z warunku tego wynika, że kąt  $\theta_0$  zawarty jest w przedziale  $(0, \pi/2)$ . Aby stwierdzić, dla którego z tych rozwiązań funkcja  $V_1(\theta)$  ma minimum, można zastosować standardową procedurę ze sprawdzaniem znaku drugiej pochodnej. Można też zauważyć, iż

$$V_1(\theta) = 2mgR \sin^2 \frac{\theta}{2} \left( 1 - \alpha + \alpha \sin^2 \frac{\theta}{2} \right). \quad (6)$$

Ze wzoru (6) natychmiast wynika, że gdy  $\alpha \leq 1$ , całkowita energia potencjalna osiąga minimum dla  $\theta = 0$ . Z sytuacją taką mamy do czynienia, gdy prędkość kątowa nie jest zbyt duża: warunek  $\alpha \leq 1$  można zapisać w postaci

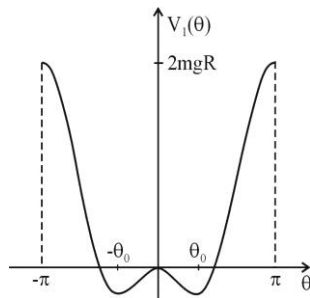
$$\omega \leq \sqrt{\frac{g}{R}}.$$

W tym wypadku wykres całkowitej energii potencjalnej ma kształt przedstawiony na rysunku 2.



Rys. 2. Energia potencjalna koralika, gdy  $\alpha \leq 1$

Przy większych prędkościach kątowych, tzn. gdy  $\alpha > 1$ , wykres funkcji  $V(\theta)$  ma kształt przedstawiony na rysunku 3. Łatwo można go uzyskać, korzystając ze wzoru (6).

Rys. 3. Energia potencjalna koralika, gdy  $\alpha > 1$ 

Teraz całkowita energia potencjalna przyjmuje minimalną wartość dla  $\theta = \pm\theta_0$ . Punkt  $\theta = 0$  stał się położeniem równowagi niestabilnej. Położeniami równowagi stabilnej są  $\theta = \pm\theta_0$ .

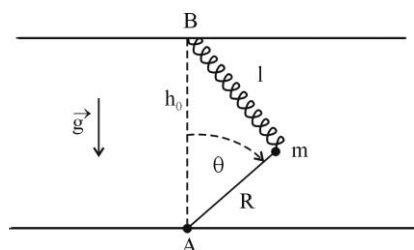
Przyjrzyjmy się teraz symetrii tego układu fizycznego. O ruchu obrotowym obręczy można „zapomnieć”, jeśli tylko uwzględnimy siłę odśrodkową, bo jedynym efektem wprowadzanym przez ten ruch jest pojawienie się owej siły. Siła ta działa w kierunku prostopadłym do osi obrotu i jest zwrócona od osi. Zauważmy też, że koralik nie „czuje” pełnej siły ciężkości, lecz jedynie jej składową styczną do okręgu. Zarówno siła odśrodkowa jak i ta składowa styczna zależą od położenia koralika na obręczy. Jasne jest więc, że przesuwanie koralika wzdłuż okręgu nie jest transformacją symetrii. Symetrią jest natomiast przeniesienie koralika na drugą część obręczy, symetrycznie względem osi obrotu – chodzi o zmianę kąta  $\theta$  na  $-\theta$ . Dwukrotne wykonanie tej transformacji daje powrót do położenia wyjściowego, czyli tzw. transformację identycznościową. Te dwie transformacje:  $\theta \rightarrow -\theta$  oraz identycznościowa (czyli  $\theta \rightarrow \theta$ ) tworzą grupę zwaną  $Z_2$ . Obecność tej symetrii ma odzwierciedlenie w tym, że funkcja  $V_1(\theta)$  jest parzysta,  $V_1(\theta) = V_1(-\theta)$ . Położenie koralika  $\theta = 0$  jest niezmiennicze względem transformacji symetrii, położenia  $+\theta_0$  i  $-\theta_0$  zaś nie są. Wyniki te oznaczają, że przy dostatecznie dużych prędkościach kątowych ( $\omega > \sqrt{g/R}$ ) następuje spontaniczne złamanie symetrii  $Z_2$ . Rozmaitością próżniową jest wtedy zbiór dwuelementowy  $\pm\theta_0$ . Ponieważ niemożliwy jest ruch wzdłuż takiej rozmaitości próżniowej, nie ma tutaj możliwości pojawienia się modów Goldstone’a. Dodajmy, że symetrią naszego układu fizycznego zawsze jest  $Z_2$  – jest oczywiste, że zmiana prędkości kątowej  $\omega$  jej nie zmienia.

Model ten stanowi analogię do przejść fazowych: zmiana parametru zewnętrznego, w tym wypadku prędkości kątowej  $\omega$ , wywołuje zmianę stanu podstawowego układu. W przejściach fazowych parametrem zewnętrznym jest najczęściej

temperatura, ale może też nim być ciśnienie, pole magnetyczne itd. W wielu przejściach fazowych następuje spontaniczne złamanie jakiejś symetrii.

#### 4. Przykład spontanicznego złamania symetrii ciągłej $U(1)$

Układ przedstawiony na rysunku 4 zawiera odwrócone wahadło przestrzenne, zamocowane do podłogi w punkcie A. Ruchomy koniec o masie  $m$  i nieważkie ramię o długości  $R$  są podtrzymywane sprężyną o długości własnej  $l_0$ , zamocowaną do sufitu w punkcie B, dokładnie nad punktem A. Odległość sufitu od podłogi wynosi  $h_0$ . Zakładamy, że  $l_0 + R < h_0$ . Zatem gdy wahadło znajduje się w pozycji pionowej, sprężyna jest rozciągnięta: ma wtedy długość  $l = h_0 - R > l_0$ . Koniec wahadła może poruszać się po górnej połowce sfery o promieniu  $R$  i środku w punkcie A.



Rys. 4. Wahadło podtrzymywane sprężyną

Układ ten ma symetrię złożoną z transformacji obrotów wokół osi przechodzącej przez punkty A i B. Z matematycznego punktu widzenia zbiór ten jest tzw. grupą  $U(1)$  (co czyta się, że jest to jednowymiarowa grupa unitarna).

Położenie wahadła możemy określać, podając kąt  $\theta$ , dający odchylenie od pionu, oraz kąt azymutalny  $\phi$  (niezaznaczony na rysunku 4), dający położenie na płaszczyźnie podłogi pionowego rzutu ramienia wahadła. Energia potencjalna układu zależy jedynie od kąta  $\theta$  (co ma związek z symetrią  $U(1)$ ). Jest ona dana wzorem

$$V_2(\theta) = mgR \cos \theta + \frac{1}{2}k(l - l_0)^2, \quad (7)$$

gdzie

$$l = \sqrt{h_0^2 + R^2 - 2h_0R \cos \theta} \quad (8)$$

jest długością sprężyny,  $k$  zaś charakteryzuje jej sprężystość. Kąt  $\theta$  może zmieniać się w przedziale  $[0, \pi/2]$ .

Minima energii potencjalnej  $V_2(\theta)$  znajdujemy, analizując warunek  $dV_2/d\theta = 0$ . Prowadzi on do równania

$$\sin \theta \left[ \left( 1 - \frac{m}{\mu} \right) l - l_0 \right] = 0, \quad (9)$$

gdzie

$$\mu = \frac{kh_0}{g}.$$

Oczywistym rozwiązaniem jest

$$\theta = 0. \quad (10)$$

Czy istnieją inne rozwiązania zgodne z warunkiem  $0 \leq \theta \leq \pi/2$ ? Przyrównując do zera wyrażenie w nawiasie kwadratowym i stosując wzór (8), otrzymujemy równanie

$$\cos \theta_0 = \frac{1}{2h_0R} \left( h_0^2 + R^2 - \frac{l_0^2 \mu^2}{(\mu - m)^2} \right). \quad (11)$$

Rozwiązanie istnieje, gdy strona prawa ma wartość w przedziale  $[0,1]$ , tzn. gdy

$$0 \leq h_0^2 + R^2 - \frac{l_0^2 \mu^2}{(\mu - m)^2} \leq 2h_0R.$$

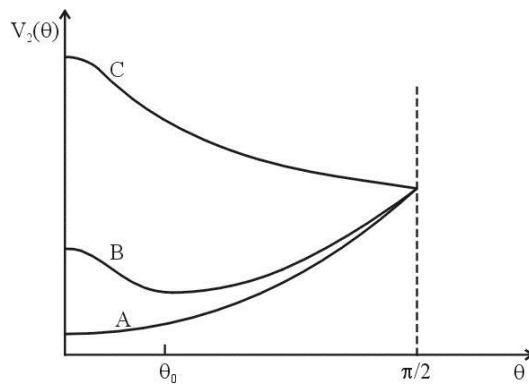
Rozwiązując te nierówności, otrzymujemy następujący warunek na  $m$

$$m_* \leq m \leq m^*, \quad (12)$$

gdzie

$$m_* = \mu \left( 1 - \frac{l_0}{h_0 - R} \right), \quad m^* = \mu \left( 1 - \frac{l_0}{\sqrt{h_0^2 + R^2}} \right).$$

Gdy  $m \leq m^*$ , energia potencjalna osiąga minimum dla  $\theta = 0$ , co odpowiada pionowemu ustawieniu wahadła. Z kolei dla  $m$  z przedziału otwartego  $(m_*, m^*)$  wahadło w stanie podstawowym jest odchylone od pionu o kąt  $\theta_0$  z przedziału  $(0, \pi/2)$ , wyznaczony z równania (11). W końcu gdy  $m \geq m^*$ , wahadło w stanie podstawowym leży nieruchomo na podłodze,  $\theta_0 = \pi/2$ . Wykresy energii potencjalnej są przedstawione na rysunku 5.



Rys. 5. Wykresy energii potencjalnej  $V_2(\theta)$ . Krzywa A odpowiada sytuacji  $m \leq m_*$ , krzywa B sytuacji  $m_* < m < m^*$ , zaś krzywa C  $m \geq m^*$

Aby uwzględnić kąt azymutalny  $\phi$ , należy powyższy wykres obrócić dookoła osi pionowej, co da trzy powierzchnie obrotowe. Powierzchnia otrzymana z krzywej B nazywana jest często kapeluszem meksykańskim. Przez analogię powierzchnię generowaną przez obracanie krzywej C można by nazywać kapeluszem podhalańskim.

W przypadkach B i C mamy oczywiście spontaniczne złamanie symetrii  $U(1)$ . Rozmaitość próżniowa jest teraz okręgiem o promieniu  $R \sin\theta_0$ . Ruchy końca wahadła po tym okręgu są modami Goldstone'a. Dodajmy na wszelki wypadek, że gdy wahadło spoczywa wychylone, to taki stan układu nie jest niezmienny względem obrotów wokół osi danej przez ramię wahadła. Chodzi o to, że wprawdzie przy tych obrotach ramię nie zmienia swego położenia, ale inne części naszego układu fizycznego, mianowicie sufit i podłoga, przemieszczają się.

### Zakończenie

Pojęcia spontanicznego złamania symetrii, rozmaitości próżniowej i modów Goldstone'a grają podstawowe role w opisach powstawania i własności tzw. defektów topologicznych. Należą do nich na przykład wiry w nadprzewodnikach i w nadciekłym helu, różnego typu ścianki domenowe, a także jeże w ciekłych kryształach. Spontaniczne złamanie symetrii jest odpowiedzialne za niezerową masę spoczynkową wielu cząstek elementarnych. Z kolei istnienie modów Goldstone'a wyjaśnia, dlaczego niektóre występujące w fizyce fazy skondensowanej kwazicząstki mają masę równą zero. Niezwykle interesujący jest też tzw. mechanizm Higgsa, dzięki któremu w pewnych sytuacjach mody Goldstone'a znikają, tzn. stają się niemożliwe do zaobserwowania. Są to tematy do innych opowieści o spontanicznym złamaniu symetrii.



**Literatura**

Przykłady spontanicznego złamania symetrii w prostych układach mechanicznych są omawiane na przykład w następujących artykułach:

- [1] G. Fletcher, *Am. J. Phys.* **65** (1997), 74.
- [2] R. V. Mancuso, *Am. J. Phys.* **68** (2000), 271.
- [3] F. Charru, *Eur. J. Phys.* **18** (1997), 417.

Przykład przytoczony w §3 pochodzi z pracy [1]. W pracy [2] przykład ten rozszerzono, rozważając jednostajny obrót obręczy wokół pionowej osi leżącej w płaszczyźnie okręgu, jak w §3, lecz nieprzechodzącej przez środek okręgu. Wtedy minima widoczne na rysunku 3 mają różne głębokości. Układ omawiany w §4 istotnie różni się od rozważanego w pracy [3], niemniej ta właśnie praca zainspirowała niniejszego autora.

W artykule A.M.J. Schakela, opublikowanym w *Fotonie* 73 (2001), str. 15–21, poruszone są niektóre z zagadnień wspomnianych w Zakończeniu.



## Nagrody Nobla w dziedzinach fizyki i chemii w 1904 roku za odkrycie gazów szlachetnych

*Maria Średniawa*

*II LO w Krakowie*

Przed stu laty przyznano Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki i chemii dwóm współpracującym ze sobą uczonym angielskim. Laureatem nagrody z dziedziny fizyki został **John William Strutt (lord Rayleigh)** za badania gęstości najważniejszych gazów i związane z tym odkrycie argonu. Nagrodę w dziedzinie chemii otrzymał sir **William Ramsay** za odkrycie gazowych obojętnych pierwiastków w powietrzu i za określenie ich miejsca w układzie okresowym.

### **Lord Rayleigh**

John William Strutt (lord Rayleigh) urodził się w 1842 roku w rodzinie arystokratycznej w Loneyford Grove w hrabstwie Essex. Studia w Cambridge ukończył w 1865 roku. Przez następnych sześć lat pełnił tam obowiązki wykładowcy w Trinity College. Po śmierci ojca w 1871 roku przejął majątek rodowy i administrował nim przez pięć lat. Do pracy naukowej w Cambridge powrócił w 1876 roku. Trzy lata później został profesorem uniwersytetu, następcą zmarłego Jamesa Maxwella i kierownikiem Cavendish Laboratory. W latach 1887–1905 był profesorem Royal Institution of Great Britain w Londynie. W 1877 roku został członkiem Royal Society, w którym w latach 1885–1895 pełnił funkcję sekretarza, a w latach 1905–1908 piastował godność prezesa. Zmarł w roku 1919.

Lord Rayleigh zajmował się wieloma zagadnieniami fizyki, między innymi akustyką, teorią elektromagnetyzmu, optyką, rozpraszaniem światła w atmosferze, promieniowaniem ciała doskonale czarnego i pomiarami gęstości gazów. Jego zainteresowanie akustyką zaowocowało klasycznym dwutomowym dziełem *Theory of Sound*.

Rozpraszanie światła w atmosferze jest przyczyną zjawiska błękitu nieba. Rayleigh uważał powietrze za „mętny ośrodek, składający się z próżni i zawieszonych w niej drobin gazowych”. Nierównomierność ich rozkładu powoduje rozpraszanie światła. Obliczenia Rayleigha wykazały, że natężenie światła rozpraszanego przez taki ośrodek jest odwrotnie proporcjonalne do czwartej potęgi długości fali.

Badaniami nad rozpraszaniem światła w atmosferze zajmował się również Marian Smoluchowski (1872–1917), który uważał, że nierównomierność ośrodka, jakim jest atmosfera ziemska, jest spowodowana przez powstawanie w niej fluktuacji gęstości rozmieszczenia cząsteczek gazów. W dwóch pracach, ogłoszonych

w latach 1904 i 1907, Smoluchowski wykazał, że fluktuacje gęstości ośrodka wywołują zarówno zjawisko opalescencji w pobliżu stanu krytycznego, jak i zjawisko błękitu nieba. Zależność natężenia światła rozproszonego przez fluktuacje gęstości w atmosferze obliczył w 1910 roku na podstawie teorii pola elektromagnetycznego Albert Einstein, i również otrzymał prawo Rayleigha.

Badania własności gazów tworzących atmosferę prowadzono od XVII wieku. Brali w nich udział Boyle, Priestley, Cavendish, Lavoisier, Regnault i inni fizycy i chemicy. Badania te podjął też Lord Rayleigh, wykonując dokładniejsze niż poprzednicy pomiary gęstości gazów wchodzących w skład atmosfery. Stwierdził, że gęstość azotu atmosferycznego jest o pół procenta większa niż gęstość azotu otrzymywanego z jego związków w wyniku reakcji chemicznych. Aby wyjaśnić tę rozbieżność, przypuścił, że w atmosferze znajduje się nieznaną jeszcze gaz, cięższy niż znane do owego czasu gazy atmosferyczne. W celu wyodrębnienia owego cięższego gazu i otrzymania ilości, pozwalającej na zbadanie jego właściwości, nawiązał współpracę z Williamem Ramsayem. Obydwaj pracowali osobno w swoich laboratoriach, komunikując sobie wzajemnie, prawie codziennie, otrzymane rezultaty badań. W 1894 roku obydwaj otrzymali wyodrębniony z azotu atmosferycznego gaz o gęstości o połowę większej niż gęstość azotu, niereagujący chemicznie, o cząsteczkach jednoatomowych (na co wskazywała wartość 1,67 stosunku ciepła właściwego pod stałym ciśnieniem do ciepła właściwego przy stałej objętości). Gaz ten nazwano argonem (nieczysty). Jego zawartość objętościowa w powietrzu atmosferycznym wynosi 1,18%, a symbolem chemicznym jest  $^{39,95}_{18}\text{Ar}$ .

Rayleigh i Ramsay badali w ciągu następných miesięcy własności argonu i innych gazów atmosferycznych, a w szczególności odstępstwa stanów tych gazów od stanu gazu doskonałego przy niskich ciśnieniach i ciśnieniach zbliżonych do jednej atmosfery.

### **Sir William Ramsay**

William Ramsay urodził się w 1852 roku w Glasgow. Po studiach w rodzinnym mieście wyjechał do Tybingi, gdzie w 1872 roku uzyskał doktorat na podstawie pracy z dziedziny chemii organicznej. Po powrocie pracował w Glasgow. W 1886 roku został mianowany profesorem chemii w Bristolu, a w 1887 roku otrzymał nominację na stanowisko profesora chemii nieorganicznej w University College w Londynie, gdzie pracował do czasu przejścia na emeryturę w 1913. Zmarł w 1916 roku.

Pierwsze jego prace dotyczyły chemii organicznej. Później badał wraz z Sydneyem Youngiem przede wszystkim zjawiska zachodzące w warunkach zbliżonych do stanu krytycznego. W latach 1885–1890 ogłosił kilka prac o własnościach tlenku azotu. Studiując dawne prace Cavendisha, doszedł, niezależnie od Rayleigha, do wniosku, że przyczyną większej gęstości azotu atmosferycznego jest

obecność nieznanego gazu w atmosferze. Podjął z Rayleighem współpracę, która zaowocowała odkryciem argonu.

Poszukując argonu w minerałach, Ramsay wyodrębnił z kleweitu, minerału zawierającego uran, gaz, którego linie widmowe nie były identyczne z liniami widmowymi argonu, lecz z liniami zaobserwowanymi uprzednio w widmie słonecznym podczas zaćmień Słońca. Linie te przypisywano nieznanemu do owego czasu pierwiastkowi, który nazwano helem. Ramsay otrzymał zatem po raz pierwszy hel w warunkach ziemskich. Wyzначzył jego ciężar atomowy jako równy 4 i stwierdził, że jest to gaz jednoatomowy. Zauważywszy, że argon posiada ciężar atomowy o wartości pomiędzy ciężarami atomowymi chloru i potasu, a ciężar atomowy helu leży pomiędzy ciężarami atomowymi wodoru i litu, Ramsay podjął wysiłki znalezienia pierwiastków o ciężarach atomowych leżących pomiędzy ciężarami atomowymi znanych wówczas fluorowców i litowców, co przedstawił w poniższej tabeli:

H	F	Cl	Br	I
He	?	Ar	?	?
Li	Na	K	Rb	Cs

Ramsay wraz z ówczesnym swoim asystentem W. Traversem rozpoczął poszukiwanie tych pierwiastków od przebadania wielkiej liczby minerałów i źródeł mineralnych. W jednym ze źródeł Ramsay i Travers stwierdzili obecność nowego pierwiastka o ciężarze atomowym 20 i nadali mu nazwę neon (nowy). Następnie, prowadząc wielokrotną frakcjonowaną dyfuzję argonu w niskiej temperaturze, stwierdzili istnienie wśród gazów atmosferycznych jeszcze jednego pierwiastka, który nazwali kryptonem (ukryty).

Po zgromadzeniu dostatecznych ilości argonu i helu, Ramsay wraz z konstruktorem udoskonalonej skraplarki Hampsonem wyodrębnił w 1898 roku z argonu neon ( ${}_{10}^{20}\text{Ne}$ ). W tym samym roku wyodrębnił z helu krypton ( ${}_{36}^{84}\text{Kr}$ ) i zbadał własności obu tych pierwiastków.

Przeprowadzając dyfuzję frakcjonowaną z większą ilością (1 litra) ciekłego powietrza Ramsay i Travers wyodrębnił jeszcze jeden gaz, który nazwali ksenonem (obcym) ( ${}_{54}^{131}\text{Xe}$ ). Nowo odkryte gazy nazwano szlachetnymi i ich symbole umieszczono w tabeli periodycznej pierwiastków w osobnej kolumnie między kolumnami litowców i fluorowców.

Ostatnim odkrytym gazem szlachetnym był radon, zwany ówczesnie „emanacją”. Jej izotopy, emanację torową i emanację radową odkryli Ernest Rutherford i Frederic Soddy w 1898 roku.

### **Kontakty Williama Ramsaya z Karolem Olszewskim**

Kontakty naukowe Williama Ramsaya z profesorem chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego, Karolem Olszewskim (1846–1915) zaczęły się od listu, który Ramsay wysłał z Londynu do Olszewskiego na przełomie listopada i grudnia 1894 roku. List zawierał wiadomość, że profesor Royal Institution James Dewar powtarzał w Royal Society doświadczenia Olszewskiego, lecz pominął przy tym jego nazwisko, wywołując wrażenie, że to Dewar wykonał je po raz pierwszy. Ramsay zachęcił Olszewskiego do przedstawienia streszczenia swoich prac przed angielskim środowiskiem naukowym i oddał do jego dyspozycji łamy czasopisma *Philosophical Magazine*. Olszewski podjął polemikę w obronie uznania swojego pierwszeństwa i przeciw przywłaszczaniu swoich wyników przez Dewara.

Do trwającej kilka miesięcy polemiki włączyli się Ramsay i Patison Muir, popierając argumenty Olszewskiego. Polemika zakończyła się sukcesem Olszewskiego.

Po odkryciu argonu Ramsay przesłał Olszewskiemu próbkę 300 cm<sup>3</sup> tego gazu z prośbą o szybkie zbadanie jego własności. W styczniu 1895 roku Olszewski skroplił i zestalił argon.

Również po odkryciu helu Ramsay przesłał Olszewskiemu próbkę 140 cm<sup>3</sup> helu z prośbą o skroplenie. W próbach skroplenia helu Olszewski osiągnął temperaturę  $-263,9^{\circ}\text{C}$  (o  $5,5^{\circ}\text{C}$  wyższą niż temperatura skraplania helu). Niestety, zarówno ta, jak i późniejsze dwie próby Olszewskiego nie doprowadziły do skroplenia gazu. Hel skroplił dopiero w 1908 roku Heike Kamerlingh Onnes.

#### Literatura:

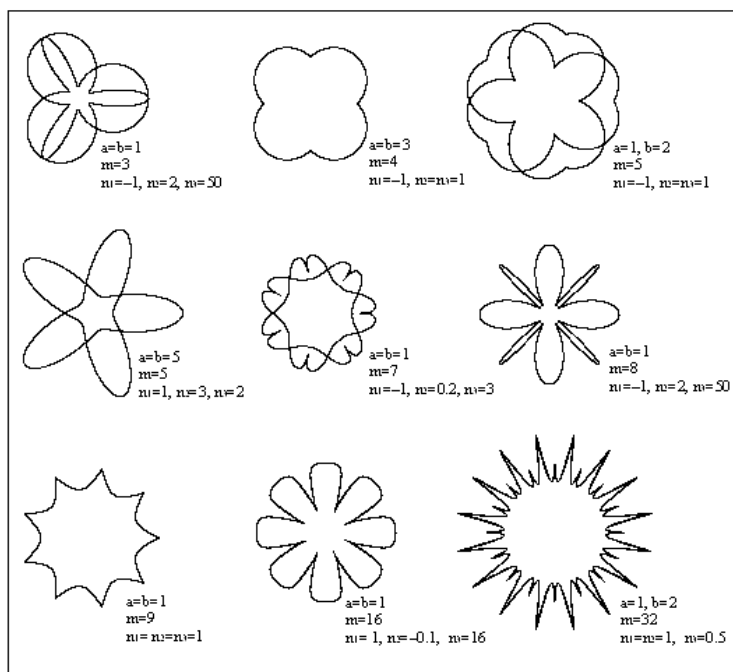
- [1] *Nobel Lectures in Physics*, 1901–1921, Elsevier, Amsterdam 1962.
- [2] *Nobel Lectures in Chemistry*, 1901–1921, Elsevier, Amsterdam 1967.
- [3] W.V. Bonin, E. Bage, R. Heringer, *Laureaci Nagrody Nobla. Chemia, fizyka, medycyna*. Iskry, Warszawa 1969.
- [4] Z. Wojtaszek, H. Kuzyk, A. Morzyniec, J. Dubowy, K. Łopata, *Karol Olszewski*, Zeszyty Naukowe UJ, Acta Chemica, t. 33 (1–196), Kraków 1990.



## Superwzór

Katarzyna Cieślak

Co mają ze sobą wspólne wszystkie poniższe kształty?



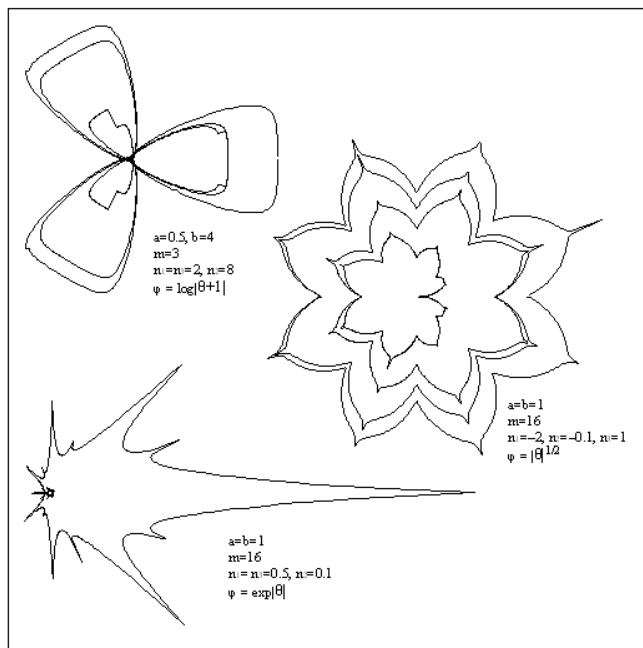
Rys. 1

Zostały one narysowane przy użyciu jednego tylko wzoru, tzw. superwzoru (*superformula*). Wzór ten, zaproponowany w zeszłym roku przez Johana Gielisa, inżyniera, specjalistę od biotechnologii roślin i matematyki, ma następującą postać

$$r(\theta) = \varphi(\theta) \left[ \left| \frac{\cos(\frac{1}{4}m\theta)}{a} \right|^{n_2} + \left| \frac{\sin(\frac{1}{4}m\theta)}{b} \right|^{n_3} \right]^{-1/n_1}$$

gdzie  $r$  i  $\theta$  to współrzędne punktu w układzie biegunowym, a  $\varphi(\theta)$  to dowolna funkcja.

Manipulując wartościami parametrów  $a$ ,  $b$ ,  $m$ ,  $n_1$ ,  $n_2$  i  $n_3$ , można otrzymać zaskakująco rozmaite kształty. Obecność parametru  $m$  w argumentie funkcji sinus i cosinus powoduje, że wszystkie figury otrzymane za pomocą tego wzoru charakteryzują się  $m$ -krotną symetrią obrotową. Figury na rysunku 1 zostały narysowane przy założeniu  $\varphi(\theta) = 1$ , jeśli jednak będziemy zmieniać kształt funkcji  $\varphi(\theta)$ , to otrzymamy jeszcze bogatszy zestaw figur (rys. 2).



Rys. 2

W tegorocznym styczniowym numerze *Wiedzy i Życia* ukazał się artykuł pani Ireny Szymczak pt. „Przyroda kołem się toczy”. Zawiera on piękne zdjęcia, które przekonują o tym, jak wiernie superwzór pozwala odtworzyć kształty spotykane w naturze. Serdecznie zachęcam do spróbowania własnych sił w tworzeniu oryginalnych figur.

Więcej informacji na temat superwzoru:

<http://www.geniaal.be/>

<http://www.sciencenews.org/articles/20030503/mathtrek.asp>

<http://www.nature.com/nsu/030331/030331-3.html>

<http://mathworld.wolfram.com/Superellipse.html>



## GNOMON

### najprostszy przyrząd astronomiczny

czyli jak przy użyciu zwykłego patyka nauczyć się  
wielu rzeczy o otaczającym nas świecie

*Marcin Egert*

*Polskie Towarzystwo Gnomoniczne*

#### Wstęp

Jednym z najstarszych przyrządów astronomicznych jest z całą pewnością **gnomon**. Pod tą, wydaje się, skomplikowaną, nazwą nie kryje się nic innego jak zwykły kij lub pręt wbity pionowo w ziemię. Oficjalna, znana nam historia wykorzystania gnomonu sięga starożytnej Grecji. Z pism Herodota dowiadujemy się między innymi, że Grecy wiedzę o wykorzystaniu gnomonu przejęli od Babilończyków. Trudno jednak zakładać, że przyrząd tak prosty i tak potrzebny narodził się tylko w jednym miejscu. Bardziej prawdopodobne wydaje się, że odkrywany był wielokrotnie w różnych krajach i w różnych czasach. Cała idea zastosowania gnomonu sprowadza się do faktu, że rzuca on **cień**. Zarówno długość jak i kierunek tego cienia się zmieniają. Jakie to niesie konsekwencje i co oznacza, nasi przodkowie odkryli już dawno temu, a Ty, w najgorszym razie, dowiesz się z dalszej części tego tekstu. Pomimo że gnomon to przyrząd najprostszy z możliwych, można dzięki niemu zaobserwować bardzo wiele interesujących zjawisk i w praktyce poznać i zrozumieć to, o czym bardzo często uczymy się tylko teoretycznie. Mówiąc prościej, gnomon pozwoli nauczyć się wielu rzeczy o otaczającym Cię świecie, w szczególności o wzajemnym ruchu Ziemi i Słońca. Biorąc pod uwagę szerokie możliwości zastosowania, jak też olbrzymią prostotę, wydaje się, że jest to idealny przyrząd do nauki astronomii i geografii w szkole, klubie astronomicznym czy na kursie. Bez komputerów, teleskopów, drogich narzędzi możesz w prosty i przyjemny sposób „bawić się” astronomią.

#### Ćwiczenia z gnomonem

Aby rozpocząć „zabawę” z gnomonem, potrzebujesz przede wszystkim ustawionego pionowo gnomonu. Jeśli chcesz przeprowadzić zajęcia terenowe, to za gnomon może posłużyć np. prosty kij albo jakiś pręt. Jeśli jednak chcesz wszystko zrobić w nieco mniejszej skali, to proponuję po prostu wbić gwóźdź w jakąś deseczkę, którą możesz później ustawić na swoim tarasie lub balkonie. Musisz tylko sprawić, aby deseczka była ułożona poziomo, gwóźdź wbity pionowo oraz aby deseczka nie przesuwiała się w trakcie trwania obserwacji. Warto też na deseczkę nakleić kartkę w kratkę. Nie jest to konieczne, ale może ułatwić zaznaczanie punktów i dalsze prace.



Załóżmy, że masz już wszystko przygotowane. Od tej chwili cała „zabawa” polega na regularnej obserwacji położenia cienia (a dokładnie jego końca) w ciągu dnia, a później także w ciągu roku. No i oczywiście na późniejszej interpretacji otrzymanych wyników.

### Pierwsze obserwacje

Twoje zadanie będzie polegało na wykonaniu serii obserwacji cienia rzucanego przez gnomon w ciągu dnia. W moim przykładzie jako dzień obserwacji wybrałem 20 kwietnia. Tylko dlatego, że akurat w kwietniu piszę ten artykuł. Jako miejsce wybrałem Łódź – miasto, w którym mieszkam.

Pierwszą obserwację najlepiej przeprowadzić wcześniej rano (tuż po wschodzie Słońca), ostatnią – tuż przed zachodem. Pomoże to w wyciągnięciu kilku dodatkowych wniosków – o czym jednak później.

Moja przykładowa, pierwsza obserwacja przeprowadzona została o godzinie 7:30 – czyli jakiś czas po wschodzie Słońca. Rysunek 1 pokazuje wynik takiej obserwacji, widziany z góry. Gnomon oznaczony jest podpisanym punktem.

Podobnym punktem zaznaczyłem także koniec cienia i podpisałem, o której godzinie znajdował się właśnie w tym miejscu.



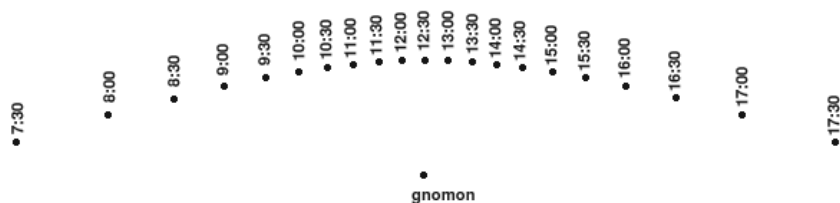
Rys. 1. Cień rzucany przez gnomon o godz. 7:30 – Łódź, 20 kwietnia

Obserwację dobrze jest prowadzić przez cały dzień, w odstępach, powiedzmy, półgodzinnych. Tak właśnie robiłem w moim przykładzie. O godzinie 8:00 sytuacja wyglądała tak jak na rysunku 2.



Rys. 2. Cień rzucany przez gnomon o godz. 8:00 – Łódź, 20 kwietnia

Kontynuując obserwację przez cały dzień i co pół godziny zaznaczając końcówkę cienia, otrzymałem następujący rezultat.



Rys. 3. Koniec cienia rzucanego przez gnomon w ciągu całego dnia – Łódź, 20 kwietnia

### Kilka wniosków z pierwszych obserwacji

#### Południe lokalne

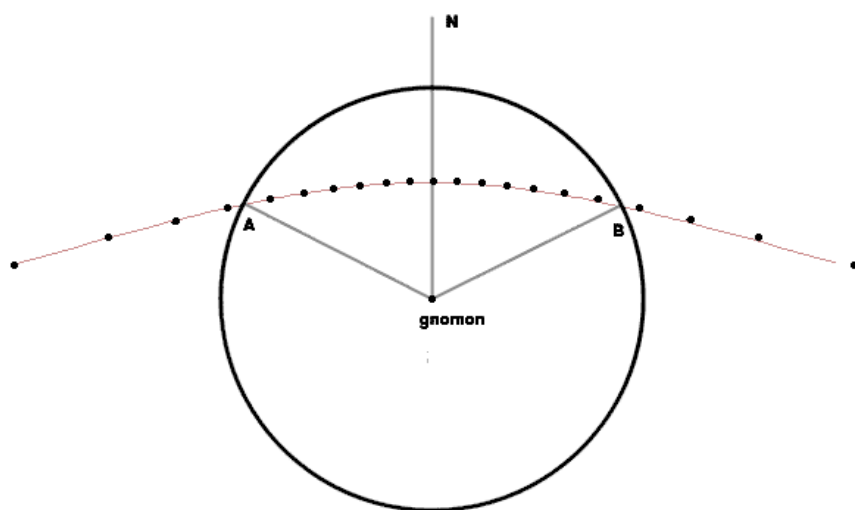
Jeśli przyjrzyysz się długości rzucanego cienia, zauważysz z pewnością, że zmienia się ona w ciągu dnia. Przypatrz się i spróbuj poszukać momentu, w którym cień był najkrótszy. W moim przypadku było to gdzieś w okolicy godz. 12:30. Moment, w którym cień gnomonu jest najkrótszy, nazywamy **południem lokalnym**. Nie musi ono wypaść dokładnie o godzinie 12 i na ogół nie wypada. Dlaczego tak się dzieje, to już jednak temat na inny artykuł. W każdym razie wiąże się to m.in. z eliptycznym kształtem orbity Ziemi oraz zastosowaniem w rachubie czasu tzw. słońca średniego, nie mówiąc już o urzędowych zmianach czasu na letni/zimowy. Południe lokalne zwane jest tak dlatego, ponieważ zależy od długości geograficznej obserwatora. Kiedy Ty obserwujesz południe lokalne, u osoby mieszkającej bardziej na wschód od Ciebie jest już po południu. Z kolei osoba znajdująca się na zachód od Ciebie dopiero czeka na swoje południe. Ten fakt astronomiczny leży u podstaw wprowadzenia stref czasowych.

#### Wyznaczanie linii północ-południe

Kierunek, w którym pada najkrótszy cień, wyznacza dokładnie **północ**. W zależności od pory roku jego długość będzie się różnić, jednak zawsze wskaże on północ. Jeśli jesteś pewien, że poprawnie uchwyciłeś moment, w którym cień jest najkrótszy, to tym samym właśnie wyznaczyłeś **południk lokalny**. Jeśli jednak nie masz tej pewności, to istnieje bardzo prosta metoda wyznaczenia południka na bazie wykonanych obserwacji.

Spróbuj połączyć delikatną kreską wszystkie punkty, które wyznaczyłeś. Następnie narysuj okrąg o środku w punkcie wbicia gnomonu, w taki sposób, aby w dwóch miejscach przeciął on krzywą powstałą z połączenia punktów.

Rysunek 4 pokazuje dokładnie, jak to wygląda w moim przypadku.



Rys. 4. Sposób wyznaczania południka lokalnego

Punkty A i B to właśnie punkty przecięcia rysowanego okręgu z wcześniej poprowadzoną krzywą. Połącz te punkty z miejscem, w którym znajduje się gnomon. Powstałe dwa odcinki wyznaczają kąt. Jeśli teraz tak powstały kąt podzielisz linią (dwusieczną) na dwie równe części, to linia ta będzie leżała dokładnie w płaszczyźnie południka lokalnego. Czyli, innymi słowy, wskaże ona dokładnie **północ**. Jest to fundamentalne określenie kierunku północnego. Bardzo często zdarza się, że za północ uważa się kierunek, jaki wskazuje nam kompas. Nic bardziej błędnego. Kompas pokazuje zawsze biegun magnetyczny Ziemi, który nie pokrywa się z biegunem północnym. W ramach ćwiczeń możesz spróbować położyć kompas na nowo wyznaczonej linii północ-południe i sprawdzić, na ile jego wskazania pokrywają się z tym, co właśnie wyznaczyłeś.

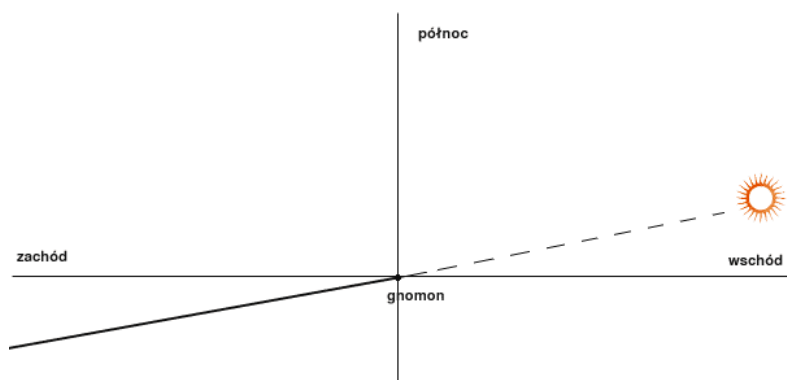
Metoda, którą zastosowaliśmy do wyznaczenia północy, stosowana była od tysięcy lat. Przykładem jej wykorzystania może być, opisany przez rzymskiego architekta Witruwiusza sposób wykorzystania gnomonu, który znajdziesz w internetowym, pełnym, wydaniu tego tekstu.

### Miejsca wschodu i zachodu Słońca

Cień rzucany przez gnomon leży dokładnie po przeciwnej stronie niż oświetlające gnomon Słońce. Dlatego też obserwując w danym momencie cień, możesz z łatwością powiedzieć, z którego miejsca świeci właśnie nasza dzienna gwiazda. Spróbujmy zatem, na bazie przeprowadzanych obserwacji, określić miejsca wschodu i zachodu Słońca w dniu naszej obserwacji (w moim przypadku, jak już wiesz,

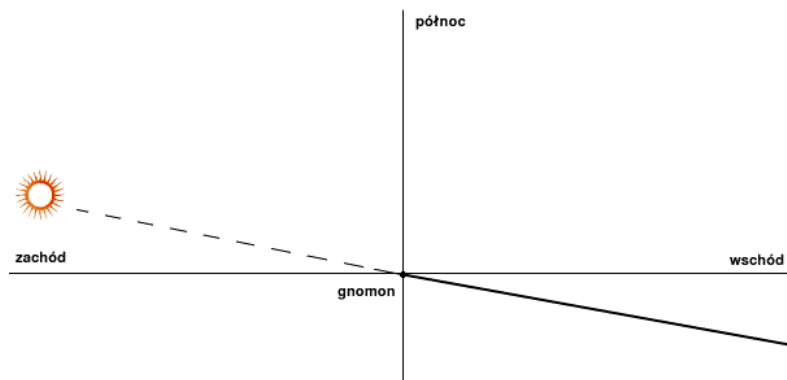
będzie to dzień kwietniowy). Aby to zrobić, trzeba jednak wstać nieco wcześniej, tak aby zaznaczyć kierunek padania cienia tuż po wschodzie Słońca.

Pierwsze, co zobaczysz, to że cień rzucany przez gnomon tuż po wschodzie Słońca ma prawie nieskończoną długość. Nie ona jednak się liczy w tej chwili. Zwróć uwagę na kierunek, w którym pada cień. W moim przypadku okazało się, że wcale nie jest to zachód. Cień rzucany przez mój gnomon leży w kierunku południowo-zachodnim. Wniosek z tego taki, że oświetlające gnomon Słońce musi wschodzić **nie na wschodzie**, ale gdzieś na **północnym-wschodzie**.



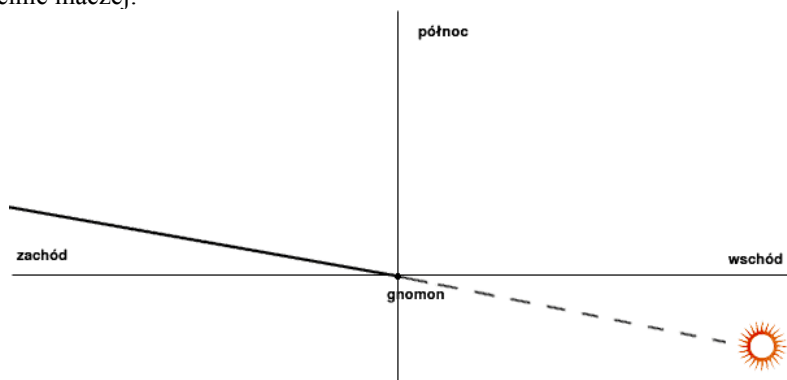
Rys. 5. Kierunek cienia rzucanego 20 kwietnia przez wschodzące Słońce

Poczekaj teraz do zachodu Słońca i zobacz, jak teraz będzie się układał cień gnomonu. W moim przypadku ułożył się on w kierunku południowo-wschodnim. Czyli Słońce w kwietniu zachodzi **nie na zachodzie**, ale gdzieś na **północnym-zachodzie**.



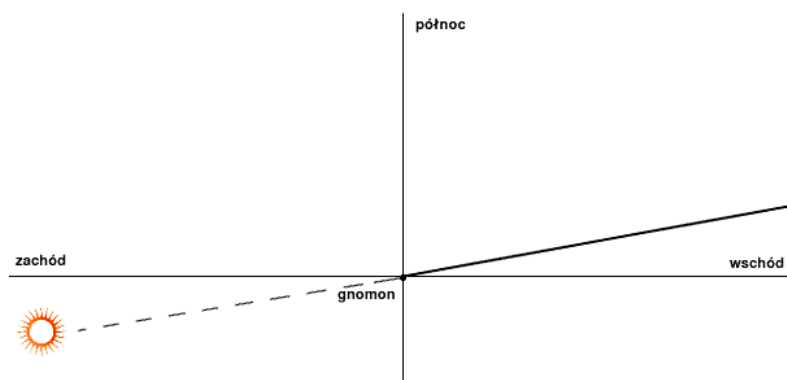
Rys. 6. Kierunek cienia rzucanego 20 kwietnia przez zachodzące Słońce

Jeśli będziesz miał na tyle cierpliwości, aby poczekać i podobny pomiar zrobić mniej więcej za pół roku, przekonasz się, że kierunek padania cienia wygląda zupełnie inaczej.



Rys. 8. Kierunek cienia rzucanego 20 października przez wschodzące Słońce

Widać, że cień gnomonu wykonał w ciągu pół roku wędrówkę z kierunku południowo-zachodniego na północny zachód. Jest to konsekwencja pozornego ruchu Słońca, które wschodzi w październiku **nie na północnym wschodzie**, jak miało to miejsce w kwietniu, ale na **południowym wschodzie**. Podobnie sytuacja wygląda w przypadku zachodzącego Słońca.



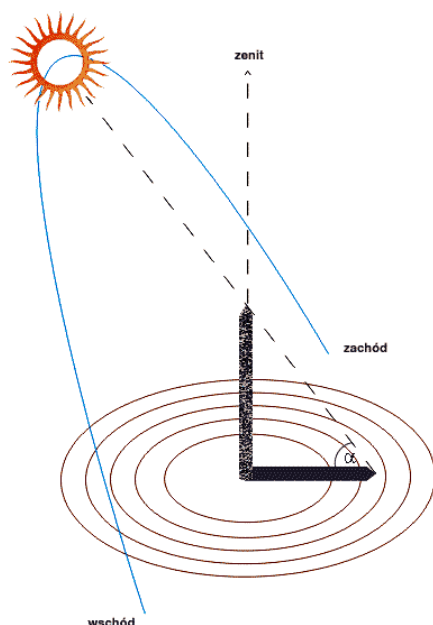
Rys. 7. Kierunek cienia rzucanego 20 października przez zachodzące Słońce

Zachodzi ono **nie na północnym zachodzie**, tak jak miało to miejsce w kwietniu, ale na **południowym zachodzie**.

### Wysokość Słońca nad horyzontem

Zauważyłeś na pewno, że w ciągu dnia zmienia się długość cienia rzucanego przez Twój gnomon. Jest to efekt zmian w wysokości Słońca nad horyzontem. Rano i wieczorem, kiedy Słońce znajduje się najniżej, cień jest najdłuższy. Z kolei w samo południe (słoneczne) cień rzucany przez Twój gnomon będzie najkrótszy.

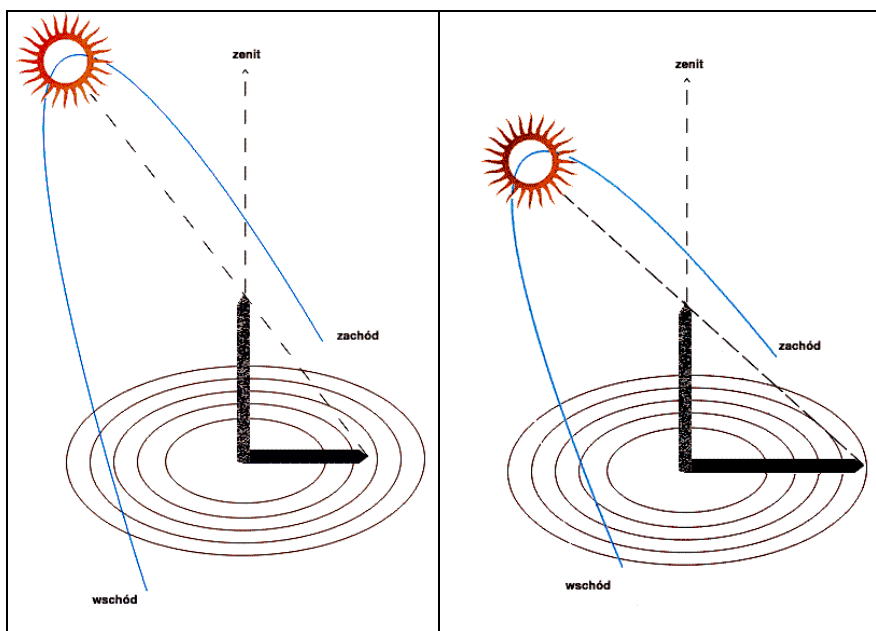
Mając określoną wysokość gnomonu i możliwość pomiaru długości rzucanego przez niego cienia, możesz pokusić się o wyliczenie wysokości Słońca nad horyzontem, a następnie sprawdzić, w jaki sposób ta wysokość zmienia się w ciągu dnia. Możesz także porównać wysokość Słońca w południe w różnych porach roku. Kiedy już przekonasz się, że latem cień jest najkrótszy, a zimą najdłuższy, przyjdzie czas na zadanie sobie pytania – dlaczego?



Rys. 9. Sposób wyliczenia wysokości Słońca nad horyzontem. Rys. Krzysztof Igras

Wróćmy jednak do obliczeń związanych z wysokością Słońca nad horyzontem. Jak widzisz na rysunku 9, gnomon, jego cień oraz droga promienia światła tworzą trójkąt prostokątny. Wysokość gnomonu mamy określoną (w razie potrzeby możesz po prostu ją zmierzyć), długość cienia bardzo łatwo zmierzysz. Kąt  $\alpha$ , będący wysokością Słońca nad horyzontem, wyznaczysz, korzystając z definicji tangensa:

$$\tan \alpha = \frac{\text{wysokość gnomonu}}{\text{długość rzucanego cienia}}$$



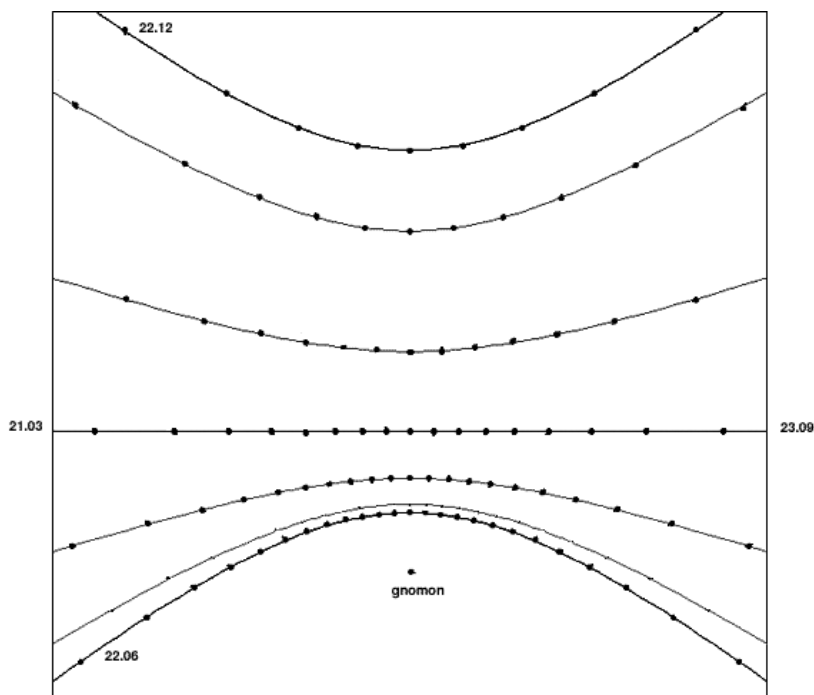
Rys. 10. Zmiana długości cienia w zależności od wysokości Słońca nad horyzontem.

Rys. Krzysztof Igras

### Roczne zmiany pozycji Słońca na niebie

Na koniec jeszcze jedna obserwacja. Z dziennej obserwacji ruchu cienia wiesz, że jego koniec kreśli w ciągu dnia symetryczną krzywą. Wiesz już także, że wraz ze zmianami pór roku zmienia się długość cienia. Czas więc, aby połączyć razem te dwie obserwacje i zobaczyć, w jaki sposób zmienia się w ciągu roku kształt kreślonej przez koniec cienia krzywej. Spróbuj wybrać sobie kilka dni w roku i przeprowadzić obserwacje ruchu końcówki cienia w tych dniach. Biorąc pod uwagę kompletność obserwacji i płynące wnioski, postaraj się przeprowadzić obserwację także w okolicach 21 marca, 22 czerwca, 22 grudnia i 23 września.

Rysunek 11 pokazuje, jak wspomniane krzywe wyglądają w moim przypadku.



Rys. 11. Roczne zmiany kształtu krzywej wyznaczonej przez koniec cienia gnomonu

### Krótkie podsumowanie

Na koniec przypominę listę problemów, jakie można omówić (na przykład na lekcjach) na bazie obserwacji wykonywanej przy użyciu gnomonu:

1. O której godzinie wypada lokalne południe? Co to jest lokalne południe? Dlaczego jest nazywane lokalnym?
2. Gdzie znajduje się północ? Co to jest południk lokalny? Wyznacz kierunek północny, wykorzystując metodę znajdowania południka lokalnego.
3. Czym się różni biegun magnetyczny od bieguna północnego?
4. Gdzie wschodzi i zachodzi Słońce w różnych porach roku? Dlaczego tak się dzieje?
5. Spróbuj zmierzyć wysokość Słońca nad horyzontem w południe. Porównaj ją z wysokością w innych porach roku. Dlaczego wysokość Słońca nad horyzontem zmienia się w ciągu dnia? Skąd się biorą zmiany roczne? Co one powodują?

marcin@zegarysloneczne.pl, [www.zegarysloneczne.pl](http://www.zegarysloneczne.pl)

Pełna wersja artykułu dostępna jest na stronie [www.if.uj.edu.pl/Foton/](http://www.if.uj.edu.pl/Foton/)





## Świat kwantowy

*Józef Spalek  
Instytut Fizyki UJ*

### Świat kwantowy

Uderzył mnie w głowę  
kwant światła niewidzialnego  
i zamienił się  
w strumień iluminacji  
tego faktu elementarnego.

Przeleciał elektron  
wąską ścieżką,  
w poprzek potencjału.  
Przystanął i oświetlił  
całe laboratorium.

Oto dylemat komplementarności.

Rozpadło się jądro atomu  
na dwie nierówne połowy,  
nie wiedzieć dlaczego?  
Po co? I kiedy?

Oto dylemat indeterminizmu.

I takie mają być  
prawa fundamentalne?

A w międzyczasie,  
zrelaksował atom w próżni  
wypluwając dwa fotony,  
z których jeden się zrealizował  
gdy zniknął drugi  
w śmiertelnym pomiarze.

Przy okazji  
zdechł kot Erwina,  
którego miało tam nie być.  
Ale w śmiertelnej agonii  
zobaczył świat kwantowy,  
który, oczywista,  
istnieje tylko w naszej wyobraźni.

Czy wiesz, że w nim mieszkasz?



## KĄCIKI EKSPERYMENTATORA

### Doświadczenia wakacyjne

Wakacje! Ale radość! Gdziekolwiek będziecie, nad morzem, w górach, nad jeziorami, na obozach, koloniach, półkoloniach, w ogródku działkowym lub osiedlowym – wszędzie – przyda Wam się umiejętność zorganizowania konkursów, zgadywanek, pokazów, koncertów. Będziecie czarnoksiężnikami, przywódcami, macie szansę zabłysnąć!

Konkursy to ulubiona forma rozrywki dzieci i młodzieży. Konkurs na budowę domku z kart, mostu z klocków – to doskonała okazja do podrzucenia paru uwag na temat statyki. Amerykanie tradycyjnie organizują konkursy na opakowanie jajka, by jajko, umieszczone w nim i wyrzucone przez okno, nie zbiło się. Można wymyślić podobny.

Konkurs na najzabawniejszy obraz w nietypowej soczewce można skojarzyć z konkursem fotograficznym. *Kamera obscura* pozwoli na urządzenie konkursu na pejzaż.

Nie chodzi o to, by w czasie wakacji robić regularne lekcje i uczyć, lecz raczej, by dać okazję do wykonania zaskakujących obserwacji i zapisać w pamięci – zawsze jednak krótki komentarz jest potrzebny.

Dla ułatwienia przygotowaliśmy Wam sporo materiałów, czerpiąc pomysły z różnych źródeł, nawet takich sław jak Maria Skłodowska-Curie czy Arkadiusz Piekara. Pan Grzegorz Karwasz pomoże Wam zrozumieć mechanizm gry na „instrumentach kuchennych”. Może potraficie wyszkolić zespół i zorganizować koncert.

Tym razem *Kącików doświadczalnych* jest kilka, w każdym mnóstwo propozycji do wykorzystania. Przeczytajcie. Jeśli uda Wam się coś wykorzystać, napiszcie nam, jak to zrobiliście, zadbajcie o zdjęcia, rysunki – opublikujemy.



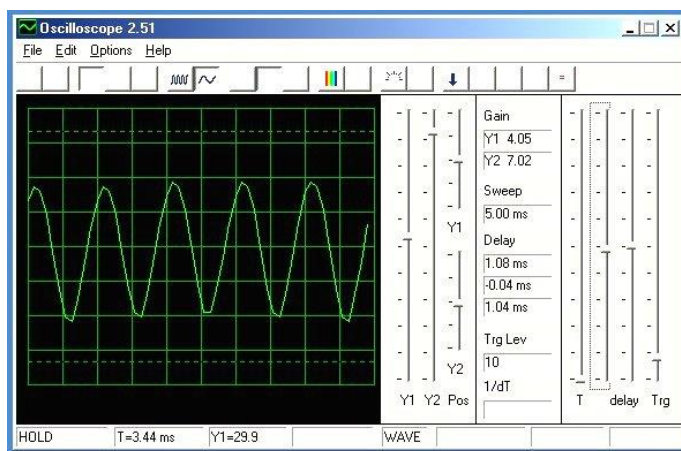
## Szampańska muzyka

Eryk Rajch, Grzegorz Karwasz

Instytut Fizyki, Pomorska Akademia Pedagogiczna, Słupsk

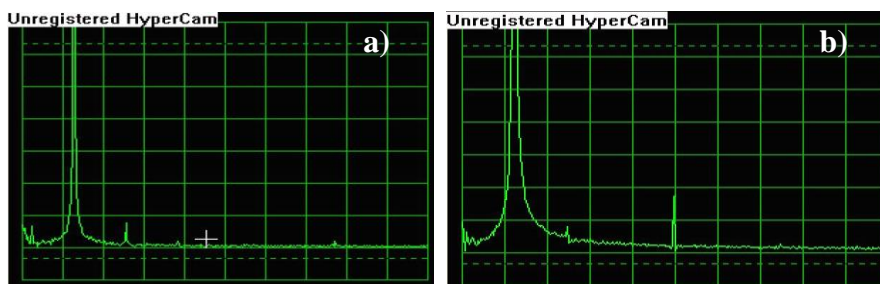
1. Wszyscy zapewne potrafią grać na kieliszkach – wodząc palcem zamoczonym w wodzie po jego górnej krawędzi. Przy odrobinie cierpliwości można „zmusić” do gry zwykle (cienkościenne) szklanki czy półmiski z *pyreksu* (te trzeba przytrzymywać z góry za podstawę lub, lepiej, przykleić na stałe do jakiejś płaskiej podstawki). Nie wszyscy natomiast wiedzą, że Benjamin Franklin między wynalazkiem kondensatora płaskiego a pisaniem konstytucji USA skonstruował również „glass-harmonikę” – układ kieliszków o różnych średnicach, umieszczonych na jednym wałku, obracanych za pomocą pedału. Kieliszki w dolnej części zanurzone były w wodzie, a grało się dotykając palcem ich krawędzi. Muzykę na ten niezwykle instrument pisali nawet Mozart i Beethoven. Później „glass-harmonika” popadła w niełaskę – podobno jej muzyka powodowała zaburzenia nerwowe u słuchaczy.

2. Fala dźwiękowa wytwarzana przez kieliszki jest „piękną” sinusoidą (rys. 1), co oznacza, że w jej widmie częstotliwości występuje zasadniczo tylko jedna składowa.



Rys. 1. Fala dźwiękowa wytwarzana przez pocieranie górnej krawędzi „szampanówki” – kształt prawie doskonałej sinusoidy wskazuje na zasadniczo jedną składową w widmie częstotliwości (1020 Hz)

Analiza wysokości dźwięków emitowanych przez różne kieliszki – szampańówki 1010 Hz, koniakówki 900 Hz, do win wytrawnych 920 Hz, do piwa 1545 Hz, wskazuje na zbliżone wartości częstotliwości, około 1 kHz – dość przenikliwe „piszczenie”, odpowiadające wysokiemu (trójkreślnemu)  $do^3$  (w terminologii naukowej natomiast  $C_6$ ) (rys. 2a).



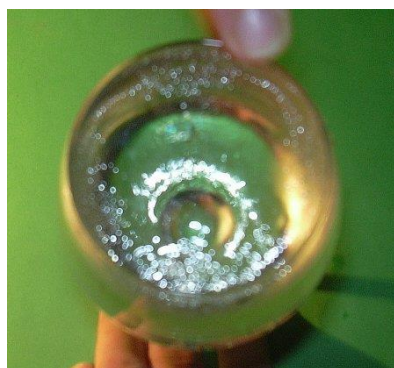
Rys. 2. Widmo częstotliwości grającej koniakówki (oś OX obejmuje zakres od 0 do 7046 Hz):

- a) bez wody, dominuje częstotliwość 900 Hz (nieco wyżej niż „la dwukreślnie” =  $A_5$ ), wyższe harmoniczne (druga 1800 Hz) są słabo widoczne;
- b) z wodą – częstotliwość podstawowa się obniża (875 Hz), wyższe harmoniczne (tu pokazana czwarta – 3500 Hz) rosną. Tłumienie drgań wywołane obecnością wody powoduje poszerzenie piku rezonansowego wokół częstotliwości podstawowej

Prędkość rozchodzenia się fal podłużnych w szkłe (typu *pyrex*) wynosi około 5640 m/s, dlatego stojąca fala podłużna o najniższej częstotliwości w przecie szklanym o długości 30 cm (czyli na obwodzie dużego kieliszka) miałaby częstotliwość około 10 kHz – prawie w zakresie ultradźwięków, dwa razy wyżej niż najwyższa nuta fortepianu. Muzyka kieliszka nie jest więc drganiem podłużnym – lecz poprzecznym. Innymi słowy, kieliszek ulega „spłaszczeniu” w jednym kierunku i wydłużeniu w kierunku prostopadłym. Podobnie drgają dzwony kościelne.

3. Drgania poprzeczne łatwo uwidocznisz, nalewając do dużego kieliszka wody, mniej więcej tyle, ile nalewałby zręczny kelner – nie za dużo (zbyt duża ilość wody utrudnia wzbudzenie drgań, zbyt mała nie uwidacznia efektu). Po wzbudzeniu dźwięku wydaje się, że woda wrze w czterech rogach kwadratu wewnątrz kieliszka (rys. 3). Ten typ drgań polega na „rozciąganiu” kieliszka w jednym kierunku i jego „zgniataniu” w kierunku prostopadłym. Teoretycznie można wyobrazić sobie jeszcze niższe harmoniczne – w którym występuje tylko jedna, lub tylko dwie strzałki, lecz nie występują one w praktyce. Drgania takie wymagałyby zgniatania i rozciągania szkła (moduł sprężystości na zgniatanie jest bardzo duży,

200–320  $10^8$  Pa, w porównaniu z modułami na rozciąganie lub zginanie 0,3–0,9  $10^8$  Pa). Zanim kieliszek zacznie „pięknie” grać, wytwarza on również dźwięki o niższych częstotliwościach. A woda w grającym kieliszku, oprócz obrazu stacjonarnych drgań poprzecznych, jest pomarszczona szeregiem „własnych” fal.



Rys. 3. W kieliszku wypełnionym wodą, po wzbudzeniu częstotliwości rezonansowej, pojawiają się najpierw fale wędrujące za palcem po powierzchni wody, przy większej amplitudzie woda zaczyna „wrzeć” w czterech wierzchołkach kwadratu

4. Drgania, poprzeczne z natury – jak powiedzieliśmy, są niebezpieczne dla kieliszka. Ich amplituda jest całkiem spora, rzędu dziesiątych części milimetra – co łatwo sprawdzić, dotykając z boku drgającego kieliszka. Nie dziw więc, że głos wprawnego śpiewaka (o natężeniu nawet do 100 dB) w rezonansie z kieliszkiem może doprowadzić do katastrofy.

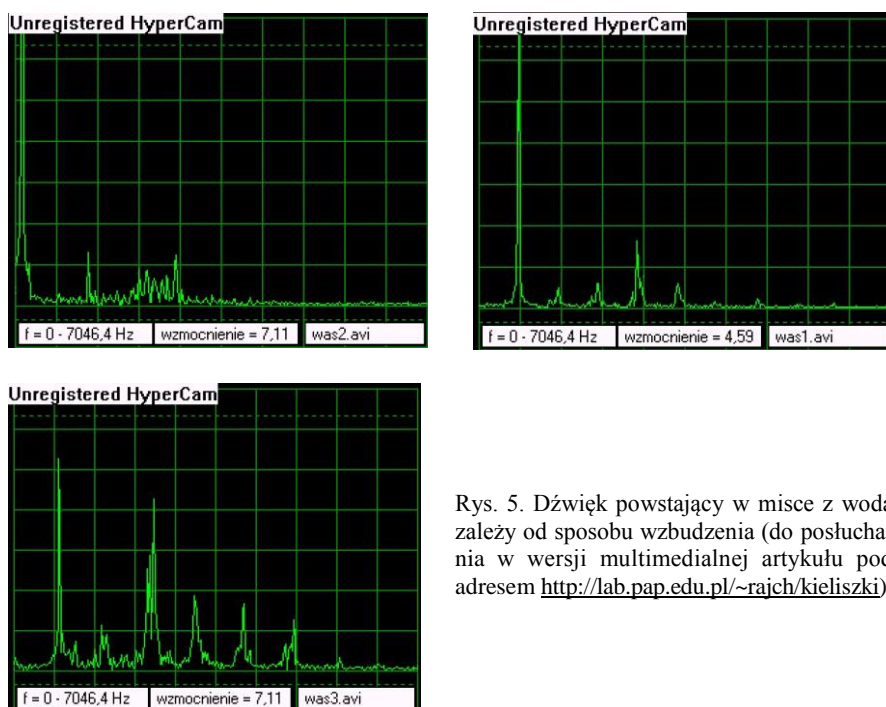
5. Nalanie wody powoduje obniżenie wysokości emitowanych dźwięków (zob. rys. 2b) – zgodnie z prawem, że częstotliwość drgań oscylatora harmonicznego, a właściwie kwadrat tej częstotliwości jest odwrotnie proporcjonalny do drgającej masy. W kieliszku z wodą „efektywna” masa ścianek kieliszka wzrasta – część energii drgań jest przekazywana cieczy, częstotliwość dźwięku maleje. Dodatkowo, nalana woda jest w pewnym sensie ośrodkiem tłumiącym drgania – pogarsza się tzw. „dobroć” rezonatora – maksimum częstotliwości rezonansowej ulega poszerzeniu (por. rys. 2b). Pytanie: czy ktoś jest w stanie rozróżnić, czy drgająca ciecz to woda, czy jakaś inna, o niższej gęstości (dobry koniak)?

6. Identyczne względem drgań kieliszka są drgania „zabytkowej chińskiej wazy” z brązu (200\$, [www.teachersource](http://www.teachersource)) lub ze złota (2000\$). Przy pocieraniu wazy dłońmi dobrze namoczonymi, po wzbudzeniu fali stojącej (ok. 130 Hz), woda wytryska w rogach kwadratu jak w fontannie (fot. 4a). Przy pocieraniu bardziej

energicznym, nieco ukośnie, możliwe jest wzbudzenie wyższej harmonicznej, z sześcioma punktami fontanny (fot. 4b).

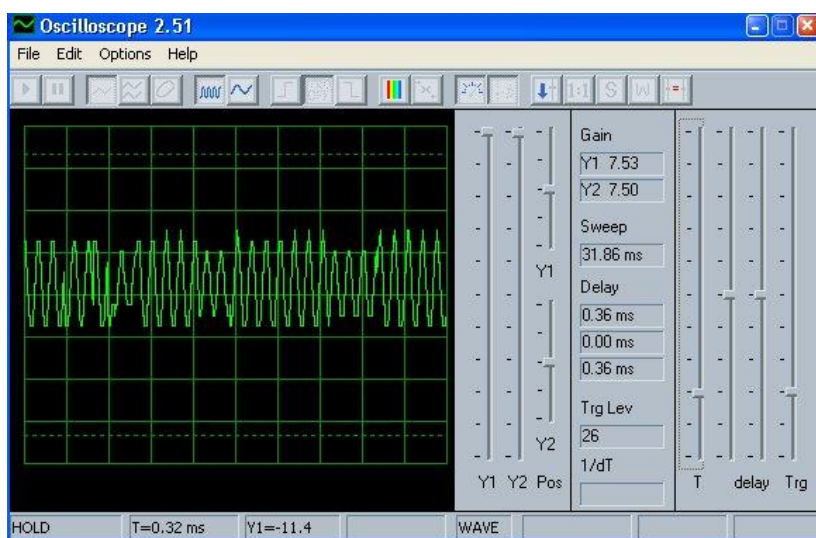


Rys. 4. Podobną falę stojącą można wytworzyć w misce z wodą (tu specjalna miska z brązu ze zbiorów dydaktycznych [www.teachersource](http://www.teachersource)). W zależności od sposobu wzbudzenia obserwuje się cztery „rogi” fontanny lub sześć



Rys. 5. Dźwięk powstający w misce z wodą zależy od sposobu wzbudzenia (do posłuchania w wersji multimedialnej artykułu pod adresem <http://lab.pap.edu.pl/~rajch/kieliszki>)

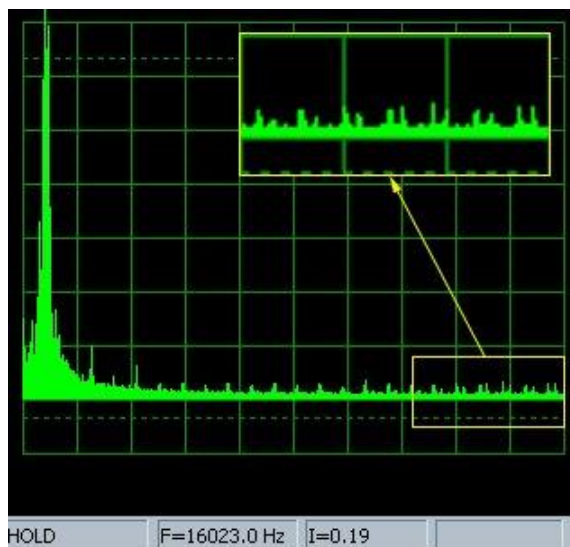
7. Dokładniejsze przyjrzenie się widmu częstotliwości kieliszka pokazuje, że i dla szkła wyższe harmoniczne (nawet do czwartej) są widoczne, szczególnie w kieliszku wypełnionym wodą (fot. 1b). W misce z wodą też jest mnóstwo wyższych harmonicznych (do posłuchania w wersji multimedialnej artykułu pod adresem <http://lab.pap.edu.pl/~rajch/kieliszki>). W kieliszku przesuwanie palca po obwodzie powoduje, że fala nie jest „dokładnie” stojąca, ale niejako wędruje za palcem. Ponieważ kieliszek nie jest nigdy dokładnie symetryczny, fala jest powoli modulowana przez taki przesuw palca – pojawiają się wyraźne dudnienia dźwięku (rys. 6). W analizie Fouriera dudnienia takie oznaczają pojawienie się drugiej częstotliwości, bardzo zbliżonej do częstotliwości podstawowej.



Rys. 6. Przy przesuwaniu palca po krawędzi kieliszka pojawiają się dudnienia – narastanie i słabnięcie dźwięku

8. A co z obłędem, jaki powodowała „glass-harmonika”? Może był on spowodowany z jednej strony wspomnianymi „dudnieniami”, lub obecnością wysokich, prawie ultradźwiękowych częstotliwości – z grubsza zgodnych z częstotliwościami drgań podłużnych (zob. widmo na rys. 7).

9. Zauważmy na koniec, że sinusoida drgań poprzecznych ścian kieliszka przypomina stojącą falę de Broglie’a elektronu na stacjonarnej orbicie Bohra w atomie wodoru. Lub dokładniej: najniższy ton miski lub kieliszka to fala de Broglie’a na drugiej orbicie.



Rys. 7. Widmo dźwięku kieliszka, uśrednione po dłuższym czasie, wyraźnie wskazuje na obecność bardzo wysokich (aż do ultradźwięków) częstotliwości – przyczyny obłędu przy słuchaniu muzyki „glass-harmoniki”?





## Cuda w szklance herbaty

*Tony Phillips, tłumaczył Jacek Bieroń*

Lubisz herbatę z miodem? Jeżeli tak, to czy obserwowałeś kiedyś, w jaki sposób zachowuje się miód, gdy wlewa się go cienką stróżką do szklanki z herbatą? Początkowo prosta, stróżka rozszczepia się, skręca w wijące się nici, tworzy wirujące pierścienie. Ten hipnotyzujący spektakl trwa ułamek sekundy, po czym miód opada i rozlewa się na dnie. Grawitacja jest nieubłagana.



Miód i woda w kuchni autora

Potrzebna byłaby kuchnia w przestrzeni kosmicznej. Gdy grawitacja nie ściąga wszystkiego bezlitośnie w dół, pierścienie miodu mogą wirować w wodzie przez całe godziny, tworząc... nikt nie wie jakie struktury.

„Mieszanie cieczy w warunkach nieważkości nie jest zbyt dobrze poznanym zjawiskiem”, tłumaczy profesor John Pojman z Uniwersytetu Południowego Missisipi. Tu, na Ziemi, dominuje grawitacja. Ciężkie ciecze idą na dno, lekkie unoszą się ku powierzchni; wszystko inne stanowi uboczny skutek tych dwóch podstawowych ruchów.

W przestrzeni kosmicznej siła grawitacji ustępuje innym, bardziej subtelnym oddziaływaniom. Siły międzycząsteczkowe mogą utrzymać ciecz w warstwach lub w bardziej skomplikowanych kształtach, które na Ziemi zostałyby rozerwane pod wpływem własnej wagi. Te delikatne struktury mogą istnieć bardzo długo, ponieważ unoszą się swobodnie, a nie spadają na podłogę lub na dno naczynia.

Bynajmniej nie oznacza to, że ciecze w stanie nieważkości są nieruchome. Przeciwnie, naukowcy sądzą, że w naczyniu zawierającym dwie różne ciecze, na przykład miód i wodę, mogą tworzyć się złożone, skomplikowane układy prądów.

„Niewielkie różnice proporcji lub wahania temperatury mogą wygenerować naprężenia, które z kolei spowodują pojawienie się konwekcji”, tłumaczy Pojman. Efekt ten, zwany „naprężeniem Kortewega”, nie jest obserwowalny na Ziemi, ponieważ niwelują go znacznie większe siły hydrostatycznego wyporu. W przestrzeni kosmicznej efekt Kortewega może jednak być obserwowalny.

Jak wygląda przerwa na herbatę w kosmosie? W 2003 roku astronauta Don Pettit sfilmował czynność picia herbaty na pokładzie Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (ISS – International Space Station). Zamiast pić z kubka, Pettit użył pałeczek, przy użyciu których łapał w powietrzu krople cieczy wielkości winogron, uśmiechając się do kamery za każdym razem, gdy wkładał ładunek do ust. Pojman doskonale pamięta cały film: „Miałem ochotę natychmiast tam polecieć i spróbować samemu poeksperymentować”.



Don Pettit łapie kroplę herbaty na pokładzie Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (obok puszka z rosyjskim miodem)

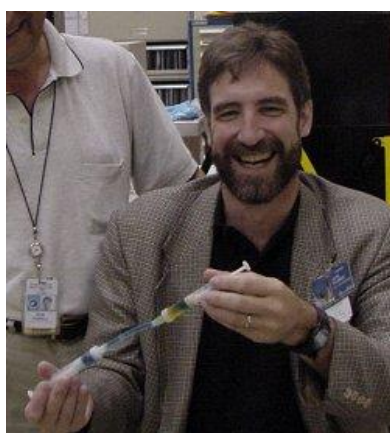
Zrozumienie praw rządzących zachowaniem cieczy, zarówno jednorodnych jak i mieszanin, jest istotne dla programu badania kosmosu, zwłaszcza teraz, gdy NASA planuje wysłanie ludzi na Księżyc i na Marsa.

„Będziemy musieli produkować różne rzeczy w przestrzeni”, tłumaczy Pojman, „a to oznacza, że będziemy mieć także do czynienia z cieczami w stanie nieważkości”. Jako przykład podaje plastik, z którego zbudowane są kabiny, osłony radiacyjne, pojazdy itp. Plastik powstaje zwykle przez połączenie różnych cieczy lub cieczy i proszków, a następnie podgrzanie mieszaniny. Jeżeli naprawiałeś lub kleiłeś coś klejem dwuskładnikowym, na przykład Poxipolem, masz to doświadczenie za sobą: żywica zmieszana z utwardzaczem tworzy lepką, plastyczną substancję.

Mieszanie cieczy jest także niezbędne w badaniach prowadzonych w stanie nieważkości na użytek medycyny, „a w szczególności wzrost kryształów białkowych w warunkach mikrogravitacji”, mówi Pojman. Czy pojawią się „prądy Kor-

tewega”, gdy dwie ciecze zostaną zmieszane? Czy ciecze ulegną równomiernemu rozpuszczeniu? Czy rozpadną się na oddzielne krople? Te szczegóły są bardzo istotne.

Pojman nie mógł osobiście wybrać się na Międzynarodową Stację Kosmiczną, aby szukać odpowiedzi na takie pytania, więc zaprojektował doświadczenie, które wykonali astronauta: Eksperyment z Mieszalnymi Cieczkami w Warunkach Mikrogravitacji (Miscible Fluids in Microgravity Experiment, w skrócie MFMG). „MFMG stanowi w istocie bardzo prosty eksperyment. Potrzebne są dwie strzykawki, rurka do picia, miód i woda. Wszystko to było pod ręką na pokładzie Stacji”, mówi Pojman.



John Pojman demonstruje prototyp eksperymentu MFMG. Obok stoi Bob Powell, ekspert NASA odpowiedzialny za procedury wykonywania eksperymentów w warunkach mikrogravitacji

Jedna strzykawka jest wypełniona miodem lub roztworem miodu i wody, w drugiej znajduje się czysta woda. Końcówki strzykawek są połączone krótką rurką (kawałkiem słomki). Gdy wszystko jest gotowe, astronauta delikatnie wstrzykuje porcję miodu do wody lub *vice versa*, a następnie filmuje procesy zachodzące wewnątrz strzykawki. W marcu 2003 Mike Foale wykonał taki eksperyment i przesłał obraz wideo na Ziemię.

„Od razu nauczyliśmy się czegoś nowego”, mówi Pojman. W teorii cieczy występuje pewna liczba, zwana „parametrem kwadratowego gradientu”, oznaczana zwykle literą  $k$ . Jest ona proporcjonalna do siły międzycząsteczkowego oddziaływania dla dwóch różnych cieczy, na przykład miodu i wody. „Zachowanie dwóch cieczy w warunkach mikrogravitacji zależy od  $k$ . Na Ziemi nie da się zmierzyć  $k$  dla pary mieszalnych cieczy, więc nie mamy pojęcia, jaka może być

wartość  $k$ . Wyłącznie na podstawie obserwacji filmu z eksperymentu MFMG możemy oszacować górną granicę –  $k$  musi być mniejsza od 8–10 newtonów”, dodaje Pojman.

Do tej konkluzji prowadzi następujące rozumowanie: gdyby  $k$  było znacznie większe niż 8–10 newtonów, porcje miodu wstrzykiwane do wody szybko przyjmowałyby kształt kuli. W rzeczywistości jednak pozostawały wydłużone, utrzymując kształt, jaki wymusiło na nich przejście przez dyszę strzykawki.



Miód wstrzyknięty do wody w trakcie eksperymentu MFMG na pokładzie Międzynarodowej Stacji Kosmicznej, wykonanego w marcu 2003

Podobna procedura może zostać zastosowana do szacowania, a nawet mierzenia  $k$  dla wielu różnych par cieczy. Niektóre ciecze są bardziej istotne dla rozwoju kosmicznych programów badawczych niż miód. Pojman jest najbardziej zainteresowany monomerami i polimerami, które mogą znaleźć zastosowanie w rozwijaniu technologii produkcji w warunkach kosmicznych. Takie substancje mają prostszą strukturę wewnętrzną niż miód, dzięki czemu pomiary ich własności mogą być „czystsze”.

Jest jednak mało prawdopodobne, że którakolwiek z tych cieczy okaże się równie fascynująca jak miód. Któż może przewidzieć, jaka nowa fizyka kryje się w słodkich, wirujących pierścieniach i splątanych wstęgach? Pomyśl o tym następnym razem, gdy pijąc herbatę ... sięgniesz po miód.

Nota amerykańskiego wydawcy: kuchenny eksperyment, opisany na początku niniejszego artykułu, można w prosty sposób zrealizować za pomocą „niedźwiadka” – zakończonego dyszą plastikowego pojemnika z miodem, w kształcie niedźwidzia, dostępnego w sklepach spożywczych – wstawionego na ok. 30 sekund do kuchenki mikrofalowej. Lepkość podgrzanego miodu jest tylko trochę większa od lepkości wody, dzięki czemu miód wypływa bez trudności przez dyszę. Aby zaobserwować pierścienie oraz różne inne kształty, wstrzyknij delikatnie miód do szklanki wypełnionej zimną wodą.

Dr. Tony Phillips, Science@NASA



## Ulubione domowe doświadczenia Kasi

*Katarzyna Cieślak*

### 1. Elektroskop



Prosty model elektroskopu można zbudować ze szklanego słoika, drutu, folii aluminiowej oraz kawałka styropianu. Ze styropianu należy zrobić korek szczelnie zamykający słoik. Drutem należy przebić korek na wylot, na jednym z jego końców formując haczyk, a na drugim umieszczając zrobioną z folii aluminiowej kulkę. Przez haczyk należy przewiesić cienki pasek folii aluminiowej – będą to listki elektroskopu. Należy zadbać o to, żeby na początku listki zwisały równolegle. Pocierając plastikowe przedmioty o kawałek wełnianego materiału, można je elektryzować. Taki naelektryzowany przedmiot po przysunięciu w pobliżu kulki elektroskopu będzie powodował rozchylanie się aluminiowych listków. Jeśli przyjmujemy, że linijka naładowana została dodatnio, to umieszczenie jej w pobliżu kulki elektroskopu spowoduje

przemieszczanie się ruchomych ładunków ujemnych z obszaru listków w górę. Pozbawione częściowo ładunków ujemnych listki staną się naładowane dodatnio i będą się odpychać.

### 2. Zmiana kierunku strumienia wody



Czy można za pomocą plastikowej linijki zmienić bieg strumienia wody, nie mocząc jednocześnie linijki? Aby to zrobić, wystarczy potrzebę linijkę (lub jakiś inny plastikowy przedmiot) o kawałek materiału (najlepiej wełnianego) i zbliżyć ją do słabego strumienia wody. Cząsteczka wody jest dipolem, to znaczy, że jeden z jej końców jest naładowany dodatnio, a drugi ujemnie. Umieszczając dodatnio naładowaną linijkę w pobliżu strumienia, powodujemy, że molekuly wody kierują swoje ujemnie naładowane końce w jej stronę i są do niej przyciągane.

### 3. „Rozpuszczanie” monety w wodzie



Żeby „rozpuścić” monetę w wodzie, należy ją włożyć... pod dno słoika! Początkowo wydaje się, że moneta leży wewnątrz słoika. Dla określonego kierunku patrzenia przy pewnej wysokości słupa wody w słoiku promienie świetlne biegnące od monety już nie docierają do naszych oczu i wydaje nam się, że moneta zniknęła. Oczywiście, patrząc wprost z góry, zobaczymy monetę na dnie. Żeby trik się udał, najlepiej jest przykryć słoik pokrywką.

### 4. Usuwanie wody z talerza

Jak usunąć wodę z talerza, tak żeby wydobyć monetę bez zamoczenia palców? (woda w eksperymencie została zabarwiona atramentem, żeby efekt był bardziej widoczny).



Żeby usunąć wodę, należy do pustej szklanki wrzucić kawałek papierowego ręcznika, zapalić go, a następnie odwrócić szklankę do góry dnem i postawić na talerzu obok monety. Po pewnym czasie płomień zgaśnie, a ciśnienie oziębiającego się wewnątrz szklanki powietrza zmaleje. Ciśnienie atmosferyczne wepchnie wówczas wodę do środka szklanki, pozostawiając odkrytą monetę na talerzu.





## Wyścigi jajek

*Anna i Marcin i Tomasz Dohnalik*

Każdy z nas wie, jak rozróżnić jajko ugotowane od jajka surowego. Trzeba jajko „rozkreślić” na stole. Ugotowane łatwo rozkręca się i szybko wiruje, a surowe kiwa się, chyboce i nim się „zbierze” do kręcenia – wyhamowuje.

W okresie wielkanocnym fizycy z Katowic przedstawili w TVP kilka pokazów z jajkami. Jeden z nich polegał na równoczesnym puszczeniu z równi pochyłej dwóch jajek: surowego i ugotowanego na twardo. Które będzie pierwsze na dole? Na które stawiacie? Taka demonstracja to świetna zabawa. Powtórzyliśmy ją.

Wzięliśmy gładką deskę z szafki kuchennej, oparliśmy o szufladę i z takiej równi toczyliśmy nasze 2 jajka (ciemne było ugotowane na twardo).



Zaskoczeni wynikiem „wyścigu” jajek, prosiliśmy wielu naszych kolegów fizyków o „typowanie” rezultatu. Prawie wszyscy podali błędną odpowiedź!

Zorganizujcie sami taki pokaz połączony ze zgadywaniem wyniku, to przecież łatwe. Z jajek nadtłuczonych usmażcie jajecznicę dla zwycięzców. Jesienią zamieścimy dłuższy artykuł wyjaśniający tajemnicę. A może Wy to wyjaśnicie? Próbujcie.

Uwaga: kluczem do rozwiązania jest oczywiście fakt, że jajko składa się z żółtka i białka, różniących się konsystencją w stanie surowym i po ugotowaniu.

Wyścigi staczających się innych przedmiotów po równi pochyłej mogą dostarczyć zaskakujących emocji. Inaczej stacza się puszka z napojem gazowanym wstrząśniętym, a inaczej z niewstrząśniętym. Sprawdźcie!





## Doświadczenie Marii Skłodowskiej-Curie z pływającymi jajkami

*Lekcje Marii Skłodowskiej-Curie. Notatki Isabelle Chavannes z 1907 roku, WSiP, Warszawa 2004.*

– Wiemy, że w czystej wodzie jajka opadają na dno. Jajka włożyliśmy do słonej wody. Jak widzimy, pływają, ponieważ ich gęstość jest mniejsza niż słonej wody. Dolejcie teraz wszyscy wody czystej do słonej, aż jej gęstość stanie się taka sama jak gęstość jajek. Rozpoznacie to po tym, że jajka będą wtedy pływały zawieszony w wodzie.

Wszystkim dzieciom doświadczenie udaje się wspaniale.

– A teraz zrobimy bardzo piękne doświadczenie. Oto dwie zlewki. W jednej jest woda i oliwa: oliwa pływa po wierzchu, ponieważ jej gęstość jest mniejsza od gęstości wody. W drugiej jest oliwa i alkohol; tu oliwa jest na dnie, ponieważ ma większą gęstość niż alkohol. Skoro oliwa wypływa na powierzchnię wody, a w alkoholu opada na dno zlewki, można zrobić taką mieszaninę wody i alkoholu, żeby oliwa ani nie tonęła, ani nie pływała po powierzchni. Zobaczycie, że oliwa przybierze wtedy kształt kulki i jak to ładnie wygląda.

Musimy próbować na chybił trafił. Gdy oliwa wypływa, to oznacza, że dodaliśmy do naszej mieszaniny za dużo wody; jeżeli opada na dno naczynia, to dlatego, że dolaliśmy zbyt dużo alkoholu.

Każdemu dziecku udaje się w końcu uformować piękną, złocistożółtą kulę zawieszoną w cieczy. Wszystkie dzieci są zachwycone.

à l'eau salée jusqu'à ce qu'elle soit juste  
aussi dense que les oeufs. Vous vous en  
apercevrez à ce fait que les oeufs resteront  
alors en suspension dans l'eau.



Chaque enfant réussit très bien  
l'expérience.

Nous allons faire maintenant  
une très jolie expérience. Voici deux verres;  
dans l'un il y a de l'eau et de l'huile:  
l'huile flotte parce qu'elle est moins dense  
que l'eau; dans l'autre il y a de l'huile et  
de l'alcool; l'huile est au fond parce qu'elle  
est plus dense que l'alcool.

Puisque l'huile nage sur l'eau et  
qu'elle se noie dans l'alcool, on peut faire  
un mélange d'eau et d'alcool, tel que  
l'huile ne se noie ni ne flotte. Vous  
verrez que l'huile prendra alors la forme  
d'une boule et que ce sera très joli.

Il faut tâtonner - Si l'huile monte c'est  
que nous avons mis trop d'<sup>eau</sup> dans notre  
mélange; si elle se noie et va vers le  
fond du vase, c'est que nous avons mis  
trop d'alcool.

Chaque enfant arrive à former une belle  
boule jaune or qui se tient suspendue au milieu  
du liquide.

Tous les enfants sont ravis



## Propozycje Profesora Piekary

Profesor Arkadiusz Piekara, wspaniały popularyzator fizyki, napisał dwie urocze książeczki dla dzieci. Jedną z nich to *Ciekawe historie o powietrzu*, wydana w 1984 roku przez Naszą Księgarnię. Wybraliśmy dla Państwa dwa fragmenty.

### O ciśnieniu

Czy wiecie, ile wynosi ciśnienie powietrza normalnego, czyli ciśnienie atmosferyczne? Otóż jest ono takie, jak gdyby



1 kilogram naciskał na powierzchnię 1 centymetra kwadratowego ( $1 \text{ cm}^2$ )

albo 2 kilogramy naciskało na powierzchnię 2 centymetrów kwadratowych ( $2 \text{ cm}^2$ ),



albo 5 kilogramów naciskało na powierzchnię 5 centymetrów kwadratowych ( $5 \text{ cm}^2$ ).

Widzimy więc, że ciśnienie atmosferyczne wynosi na każdy centymetr kwadratowy jeden kilogram\*. Mówimy, że wynosi ono 1 kilogram na centymetr kwadratowy, piszemy zaś to tak:  $1 \text{ kG/cm}^2$  (dokładne pomiary dają  $1,033 \text{ kG/cm}^2$ ). Takie ciśnienie nazywamy „1 atmosferą”.

A ile wynosi ciśnienie powietrza rozrzedzonego lub zgęszczonego?

To zależy od tego, w jakim stopniu jest ono rozrzedzone lub zgęszczone.

Jeżeli powietrze rozrzedzone jest tak, że w stoiku pozostaje tylko 1/10 normalnej ilości powietrza, to wywiera ono ciśnienie 1/10 atmosfery, czyli  $0,1 \text{ kG/cm}^2$ .



\* Mamy na myśli, że na 1 cm wywierana jest siła, z jaką Ziemia przyciąga 1 kg. Ci, którzy chodzą do szkoły, wiedzą, że to jest ok. 10 N (bo  $g$ , przyspieszenie ziemskie, wynosi  $10 \text{ m/s}^2$ ).

Jeżeli zaś powietrze zgęszczone jest tak, że w pewnej objętości znajduje się go 10 razy więcej niż normalnie, to wywiera ono ciśnienie 10 atmosfer, czyli 10 kG/cm<sup>2</sup>.

Dlaczego nie odczuwamy działania ciśnienia atmosferycznego na nasze ciało?

Dlaczego dłoni naszej nie zgniata ogromna siła kilkuset kilogramów (kilogram na każdy centymetr kwadratowy)?

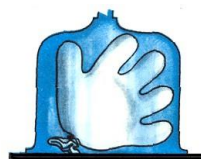


Ażeby odpowiedzieć na te pytania, zrobimy ciekawe doświadczenie. Weźmie w nim udział nie nasza dłoń, lecz gumowa rękawiczka. Zawiążmy jej wylot sznurkiem.



Dlaczego nie zgniata jej ciśnienie powietrza atmosferycznego? Dlatego że powietrze, znajdujące się wewnątrz rękawiczki, wywiera na jej ścianki takie samo ciśnienie jak powietrze zewnętrzne. Czy chcielibyście zobaczyć działanie tego wewnętrznego ciśnienia?

Nic prostszego! Włóżcie rękawiczkę pod kloz przyrządu do odpompowywania słoików z konserwami i zacznijcie wypompowywać powietrze. Ciśnienie pod klozem zmniejsza się, a rękawiczka wydma się jak balon!



To daje znać o sobie ciśnienie wewnętrzne.

Właśnie takie ciśnienie wewnętrzne wywiera płyn, który znajduje się w komórkach naszego ciała. Dzięki niemu komórki nie ulegają zmiążdżeniu, gdy działa na nie zewnętrzne ciśnienie atmosferyczne.

A czy owo zmiążdżenie pod działaniem ciśnienia atmosferycznego to nie przesada?!

Naprawdę nie! Zaraz zobaczycie, jak ciśnienie atmosferyczne zgniata butelkę plastikową. Trzeba tylko usunąć z niej powietrze. Pompką? Nie, zrobimy to prościej.

Oto butelka plastikowa ze szczelną nakrętką, jaką możecie łatwo kupić w sklepie. Popłuczcie ją wrzącą wodą kilka razy, żeby się nagrzała, a potem wlejcie do niej trochę dobrze wrzącej

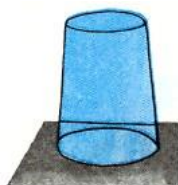


wody. Para wydzielająca się z wrzącej wody wypełni butelkę. Zakręćcie więc mocno nakrętkę na szyjce butelki, chroniąc rękę ściereczką lub rękawiczką.



A teraz polejcie butelkę zimną wodą. Para w jej środku skropi się i w butelce wytworzy się próżnia. I oto widzimy, że ciśnienie powietrza atmosferycznego zgniotło butelkę!

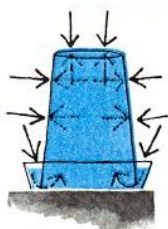
Działanie ciśnienia atmosferycznego nie zawsze objawia się tak drastycznie jak w poprzednim przykładzie. Kto z was nie zna takich prostych i pięknych doświadczeń, jakie tu opiszę, niech je koniecznie zrobi. Jeśli zaś zna, niech je powtórzy!



Do szklanki (albo wazonika) nalejcie pełno wody. Przykryjcie ją kartką papieru, by przylegała do powierzchni wody. Przytrzymując kartkę ręką, obróćcie szklankę do góry dnem i usuńcie rękę. W tej pozycji papier trzyma się sam. Woda się nie wylewa!

Zamiast papieru możecie użyć płytki szklanej albo innej płaskiej przykrywki, nawet ciężkiej.

Dlaczego tak się dzieje? Bo na kartkę papieru działa od spodu duże ciśnienie atmosferyczne, od góry zaś małe ciśnienie wywierane przez ciężar wody. Duże ciśnienie zwycięża, przyciska kartkę i nie pozwala wodzie wylać się ze szklanki.



Ten sam skutek osiągniecie, jeśli napełnią i przykrytą kartką papieru szklankę zanurzą otworem w miseczce z wodą. Papier jest już niepotrzebny i możecie go usunąć.

Dlaczego woda ze szklanki nie wylewa się? Bo ciśnienie atmosferyczne działa na całą powierzchnię znajdującą się w miseczce wody i powoduje jej nacisk na ściany i dno szklanki.

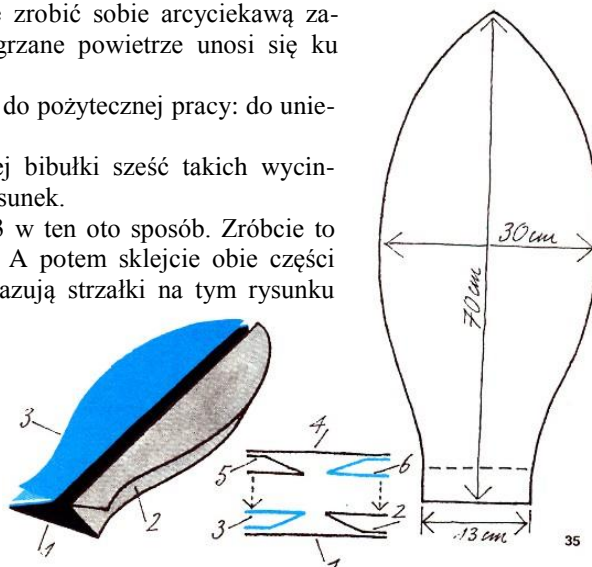
## O powietrzu

[...] powiem, jak możecie zrobić sobie arcyciekawą zabawkę. Już wiecie, że ogrzane powietrze unosi się ku górze.

Zapręgnijmy je teraz do pozytywnej pracy: do uniesienia w górę balonu!

Wycinajcie z kolorowej bibułki sześć takich wycinków, jakie pokazuje ten rysunek.

Sklejcie wycinki 1,2,3 w ten oto sposób. Zróbcie to samo z wycinkami 4,5,6. A potem sklejcie obie części wzdłuż brzegów, jak pokazują strzałki na tym rysunku (w przekroju).



U spodu, wzdłuż obwodu otworu, przyklejcie kołnierz z kartonu. Przez ten kołnierz przetknijcie drut z kawałkiem waty w środku.

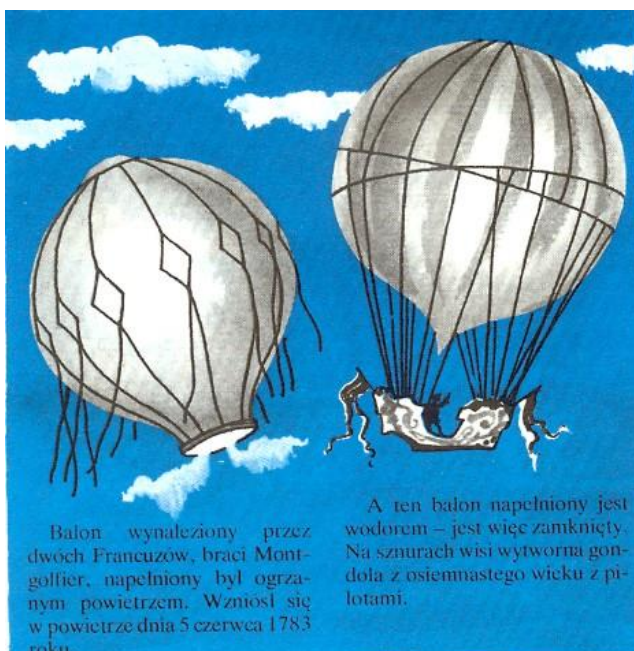
Na watę nalejcie trochę spirytusu i ostrożnie zapalcie. Balon wznosi się w górę! A jeśli zanadto się przechyli i zapali od płonącej waty, nie płaczcie, lecz zróbcie nowy, lepszy.

A jeśli chcecie bawić się swoim balonem w domu, bez ryzyka spalania go, to zróbcie tak: wyjmijcie drut z watą, a otwór balonu umieśćcie tuż nad płomieniem kuchenki gazowej (lub lampy naftowej). Po minucie balon napełni się silnie rozgrzanym powietrzem, a wtedy... wypuśćcie go z rąk. Balon wzniesie się aż do sufitu, a potem, gdy powietrze w jego wnętrzu oziębi się, opuści się na dół. Świetna zabawa!



Oto są pierwsze balony na świecie!

Balony te nazywano „mongolfierami” od nazwiska wynalazców. Napę-  
nione były ogrzany powietrzem, więc  
u dołu otwarte.



Balon wynaleziony przez  
dwóch Francuzów, braci Mont-  
golfier, napęczniony był ogrza-  
nym powietrzem. Wzniósł się  
w powietrze dnia 5 czerwca 1783  
roku.

A ten balon napęczniony jest  
wodorem – jest więc zamknięty.  
Na sznurach wisi wytworna gon-  
dola z osiemnastego wieku z pi-  
lotami.

Od redakcji:

Baloniki można zrobić z cieniutkich foliowych torebek (np. na śmieci) i równie cieniutkiego drucika. Zgrabnie wykonany balon uniesie się w górę po ogrzaniu go powietrzem suszarki do włosów. Taki eksperyment jest bezpieczny.



## CO CZYTAĆ

### ***Lekcje Marii Skłodowskiej Curie Notatki Isabelle Chavannes z 1907***

*Zofia Gotąb-Meyer*

W *Fotonie* 83 pisaliśmy o reakcjach czytelników na zapowiedź wydania *Lekcji Marii Skłodowskiej Curie. Notatki Isabelle Chavannes z 1907*. Otóż miło donieść, że książeczka ukazała się nakładem wydawnictwa WSiP, z przedmową Andrzeja Kajetana Wróblewskiego.

Andrzej Kajetan Wróblewski w przedmowie do książki napisał, iż czytelnik otrzyma dokument niezwykły. To prawda, trudno nie doznać uczucia wzruszenia, czytając scenariusze lekcji fizyki prowadzonych dla zupełnie małych dzieci. Najmłodsze z grupy miało zaledwie sześć lat.

Dla mnie niezwykłość tej książeczki objawia się w tym, że ukazuje ona nieomalże wszystkie cechy osobowości Marii Skłodowskiej-Curie. Cokolwiek robiła w życiu, traktowała to niezwykle poważnie. Dotyczyło to pracy naukowej, przygotowywania na zimę przetworów i – tym bardziej – wychowywania dzieci. W przypadku lekcji fizyki mam na myśli zarówno przygotowanie teoretyczne, obejmujące znajomość najnowszych prądów wychowawczych i dydaktycznych, jak i przygotowanie praktyczne poprzez sporządzanie przyrządów, precyzyjny plan zajęć. Z notatek przebija wrodzone zacięcie i odziedziczony po rodzicach talent dydaktyczny. Widać też zmysł eksperymentatora, i to wszystko w tak prostej rzeczy jak scenariusze lekcji dla dzieci.

Dydaktyczna działalność Marii Skłodowskiej-Curie była znana i opisana w jej licznych biografiach. Uczona nie była odosobniona w swoich zainteresowaniach edukacją. Żyła w czasach wykuwania się nowoczesnych poglądów na nauczanie i wychowanie.

Ówczesne szkoły, z ich werbalizmem i brakiem miejsca na indywidualne traktowanie uczniów, było ostro krytykowane. Niektórzy swe przekonania wcielali w życie bardzo radykalnie. Na przykład Stanisław Witkiewicz kształcił swego syna Stasia, Witkacego, w domu. Maria nie byłaby sobą, gdyby również nie wzięła spraw we własne ręce. Wraz z gronem przyjaciół założyła tzw. Spółdzielnię, której celem było nauczanie gromadki dzieci. Dzieci, w zróżnicowanej nieco wiekowo grupie, miały wgłębiać się w tajniki przyrody wraz z wybitnymi uczonymi poprzez wycieczki, eksperymenty, obserwacje. Ze sztuką zapoznawano je w muzeach. Dostrzeżono w tych czasach rolę wychowania fizycznego i sportu. Maria



Curie miała wręcz „bzika” na tym punkcie. Jej córki zażywały sportów, miały lekcje gimnastyki, były, jak to się mówiło, hartowane, pływały, żeglowały.

O niezwykłym hartie ducha Marii świadczy to, że „Spółdzielnia” została założona w 1907 roku, w rok po śmierci Piotra Curie. Wydarzenie to Maria przeżyła głęboko, nie pozwoliła jednak, by wywarło ona negatywny wpływ na wychowanie córek. „Spółdzielnia” działała dwa lata. Po tym czasie jednak dzieci musiały uczęszczać do zwykłych szkół, by zdać normalne matury i przebywać w gronie bardziej przeciętnych rówieśników. Można by sądzić, że o wartości dydaktycznego eksperymentu, jakim była „Spółdzielnia”, świadczyć mogą dalsze losy jej uczestników. Andrzej Kajetan Wróblewski przypomina we wstępie dalsze losy niektórych uczniów „Spółdzielni”: Irena została wybitną fizyczką, która wspólnie z mężem Fryderykiem Joliotem otrzymała Nagrodę Nobla w 1935 roku. Francis Perrin został wybitnym fizykiem jądrowym, podobnie jak bracia Andre i Jean Langevinowie. Isabelle Chavannes, autorka zapisu lekcji, została inżynierem chemikiem – co w tamtych czasach w przypadku kobiety było rzadkością.

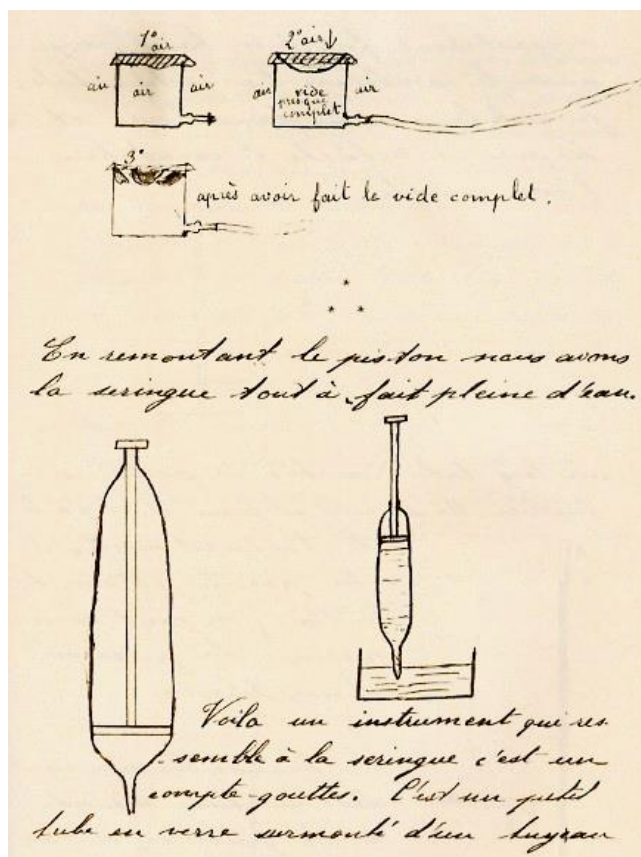
Nie zapominajmy, że w tym wypadku „niedaleko padły jabłka od jabłoni”. Przecież rodzice uczniów to śmietanka nauki i sztuki francuskiej. Oprócz Marii dzieci uczyli: Jean Perrin chemii, jego żona Henrietta francuskiego i historii, Paul Langevin matematyki, Alice Chavannes angielskiego, a rzeźbiarz Magrou rysunku. Uczniowie „Spółdzielni” z mlekiem matki wyssali zainteresowania intelektualne, naukowe oraz poglądy polityczne i społeczne. „Spółdzielnia” dostarczyła im jednak bezcennych rzeczy: kontaktu z rówieśnikami (bardzo ważne), bezpośredniego kontaktu z wybitnymi naukowcami oraz po prostu solidnej porcji doskonale pod względem merytorycznym przedstawionej wiedzy. Dzieci takich rodziców były „skazane na sukces”.

Po zaprzestaniu działalności „Spółdzielni” Maria nadal bardzo intensywnie zajmowała się edukacją córek. Otrzymała ona w pewnym sensie dar od losu. Jej córka Irena nie tylko okazała się być wybitnym talentem matematycznym, lecz miała też zamiłowanie do fizyki i była bardzo wdzięcznym obiektem matczynych zabiegów dydaktycznych. Dzięki korespondencji pomiędzy kilkunastoletnią Ireną i jej matką można prześledzić umiejętne sterowanie nauką Ireny oraz postępy, jakie czyniła w nauce.

Matka i córka bardzo wczesnie znalazły wspólny język i wspólne pasje naukowe. Utalentowana muzycznie Irena pobierała lekcje muzyki. W biografii Marii autorstwa drugiej córki Ewy można odczytać jednak ślady lekkiego zdystansowania się do metod wychowawczych matki.

Wróćmy do książeczki, będącej zapisem 10 lekcji z fizyki, przeprowadzonych pomiędzy 17 stycznia 1907 a 14 listopada 1907 roku. Parzyste strony książki to prawie dosłowne tłumaczenie tekstu ukazanego w oryginale na stronach nieparzystych. Chwała wydawnictwu za ten pomysł.

Zaintrygował mnie „dorosły” charakter pisma autorki notatek, nie wygląda ono bowiem na pismo trzynastoletniej uczennicy. Na stronie 111 znajdujemy rysunek i jego opis sporządzony innym charakterem pisma, bardziej dziecięcym.



Forma i język notatek jest doskonale wykończona, starannie opracowana. To przygotowany scenariusz lekcji. Czytamy: „oto instrument, który przypomina strzykawkę” albo „zanurzę go [ciężarek] w naczyniu, żeby móc go trzymać, ale wybieram sznurek dość cienki, aby objętość wody, którą wypiera, była mała w porównaniu z resztą wypartej wody”. Moim zdaniem to nie są notatki z lekcji trzynastoletniej uczennicy. Z całą pewnością nie są to również notatki samej Marii Curie (inny charakter pisma). Możliwe, że zostały przepisane lub opracowane przez asystentkę Marii Curie, ale z jej pomocą. Ta forma czyni je tym cenniejszymi.

Przyjrzyjmy się tytułom lekcji:  
Odróżnianie próżni od powietrza  
Odkrywamy, że powietrze ma swój ciężar  
W jaki sposób woda dociera do kranu?  
Nauka ważenia  
Mierzenie gęstości ciał stałych i cieczy  
Mierzenie gęstości przedmiotów o dowolnym kształcie  
Sprawdzanie prawa Archimedesesa  
Co należy zrobić, żeby statki mogły pływać?  
Obserwacja pływającego jajka  
Budowanie barometru

Cóż, rutynowe tematy z programu szkolnego, chociaż ich sformułowania na owe czasy były nowatorskie. Mają one swoje miejsce w naszych programach szkolnych. Po stu latach od czasu „Spółdzielni” Marii Skłodowskiej-Curie wszystkim wiadomo, że uczniowie powinni samodzielnie eksperymentować. Teoretycznie powinno to być chlebem codziennym w szkole. Nie jest – i wszyscy o tym wiemy, a potwierdzają to uwagi internautów na temat książki.



Isabelle Chavannes i Irène Curie. © Album G. Chavannes

1905

Zachęcam wszystkich nauczycieli, rodziców i dziadków do przestudiowania książki i próby pójścia w ślady Marii Skłodowskiej-Curie. Latem można założyć

„spółdzielnię” dla dzieciaków przebywających na wakacjach, nudzących się na koloniach i obozach.

---

---

Muszę zwrócić uwagę Państwa na wydaną już dawno, lecz może tu i ówdzie dostępną, przeuroczą książeczkę wybitnego fizyka Arkadiusza Piekary *Ciekawe historie o powietrzu* (Nasza Księgarnia, Warszawa 1984). Napisał Piekara dedykację mojemu, wtedy małemu, synowi: „pamiętaj, że książka ta oraz inne, jakie również dla Ciebie napisałem, będą Ci zawsze pomocą, a zapewne i fundamentem Twojej wiedzy, niezależnie, czy będziesz kompozytorem, czy może lekarzem”. Syn książeczkę tę oraz inne przeczytał, fizykę dość polubił i został... japonistą, noszącym w sercu rady swojego przyjaciela Arkadiusza Piekary.

W *Kąciku eksperymentatora* „Doświadczenia wakacyjne” znajdą Państwo propozycje zajęć z dziećmi zarówno z *Lekcji Marii Skłodowskiej-Curie*, jak i z książeczki Arkadiusza Piekary.

---

---

Najmłodszy, zabierzcie na wakacje *Fizykę dla najmłodszych wierszem pisaną* Agaty Orłoś i Jerzego Wolnego. W zabawnych wierszykach znajdziecie mnóstwo zagadek i pomysłów na konkursy (*Foton* 83, Zima 2003).



## ERRATA

W *Fotonie* 83 w „Komunikacie” na str. 76 mylnie podaliśmy, że sztuka „Kopenhaga” *Michaela Frayna* została opublikowana w *Dialogu* nr 8, 2001.

Powinno być: **DIALOG, ROK XLV, CZERWIEC 2000, NR 6 (253)**.  
Redakcja przeprosza za pomyłkę.



## CZYTAMY PO ANGIELSKU

### Mystery in a Cup of Tea



#### Mystery in a Cup of Tea

Using odds and ends from the space station pantry, researchers have learned something new about fluid physics.



In space, the pull of gravity subsides and other, more subtle phenomena rule. Intermolecular forces can hold films or globs of fluid together that, on Earth, would be torn apart by their own weight. These delicate structures can last for a long time, simply because they float rather than crash into the floor of their container.

That's not to say weightless fluids are still. On the contrary, in a container holding two different fluids, like honey and water, scientists expect strange and complicated currents to flow. "Tiny differences in fluid composition or temperature can, in theory, induce stresses that cause convection," explains Pojman. This effect, called "Korteweg stress," is unobservable on Earth because buoyant motions overwhelm it. But in space it could be important.

#### Credits & Contacts

Author: [Dr. Tony Phillips](#)

Responsible NASA official: [Ron Koczor](#)

Production Editor: [Dr. Tony Phillips](#)

Curator: [Bryan Walls](#)

Media Relations: [Steve Roy](#)

The Science Directorate at NASA's Marshall Space Flight Center sponsors the Science@NASA web sites. The mission of Science@NASA is to help the public understand how exciting NASA research is and to help NASA scientists fulfill their outreach responsibilities.

#### Dictionary:

**pull of gravity** – siła grawitacji

**intermolecular** – międzycząsteczkowy

**film** – cienka warstwa

**stress** – naprężenie

**current** – prąd

KĄCIK ZADAŃ**Wybór zadań z „Lwiątko 2003”****KLASA 1–2 GIMNAZJUM**

12. Można przyjąć z pewnym przybliżeniem, że Księżyc krąży wokół Ziemi po orbicie kołowej, stale zwrócony ku Ziemi tą samą stroną. Kosmonauta, który patrzy z Księżyca, stwierdzi, że względem powierzchni Księżyca tor Ziemi jest:

- A. Elipsą
- B. Kołem
- C. Prostą
- D. Punktem
- E. Spiralą

13. Człowiek pływa w wodzie. Jak zmienia się siła wyporu, działająca na człowieka, podczas wdechu?

- A. Zmniejsza się
- B. Zwiększa się
- C. Nie zmienia się
- D. W słodkiej wodzie się zwiększa, w słonej zmniejsza
- E. W słodkiej wodzie się zmniejsza, w słonej zwiększa

**KLASA I LICEUM**

1. Gdy patrzymy na koło przejeżdżającego roweru, zdarza się, że szprychy w dolnej części koła widać wyraźniej, a w górnej szprychy jakby zlewają się ze sobą. Dlaczego?

- A. Efekt spowodowany jest drganiem rozgrzanego powietrza
- B. Górna część koła obraca się szybciej wokół osi koła
- C. Prędkość liniowa górnych szprych jest większa
- D. Nic takiego nie występuje
- E. W górnej części koła szprychy rozmieszczone są gęściej

Odpowiedzi na stronie: <http://slo.bednarska.edu.pl/lwiatko/>



## Wystawa „Fizyka zabawek” w Słupsku

*Katarzyna Szerement*

*Pomorska Akademia Pedagogiczna w Słupsku*



Tłumy na wystawie „Fizyka zabawek”



Organizatorzy Wystawy

W dniach 1.03–12.03 w Pomorskiej Akademii Pedagogicznej w Słupsku Studenckie Koło Naukowe Fizyków TETRAKTYYS zorganizowało kolejną edycję wystawy „Fizyka zabawek”. Wystawa odbyła się w sali konferencyjnej w Domu Studenta nr 4. Wystawa zawierała ponad 150 eksponatów i podzielona była na pięć stanowisk. Na pierwszym stanowisku zgrupowane były eksponaty dotyczące elektryczności i magnetyzmu. Zabawką wzbudzającą największe emocje wśród zwiedzających była kula plazmowa, w której można było obserwować widowiskowe wyładowanie gazowe. Ciekawym eksponatem było „urządzenie do pomiaru potencjału intelektualnego”, zbudowane z szeregu płytek wykonanych z różnych metali, w których płytki te stanowiły elektrody, a ciało ludzkie elektrolit. Zwiedzający miał wybrać takie dwie płytki, po dotknięciu których można było uzyskać najwyższe napięcie mierzone na mierniku. Oprócz tego można było obejrzyć lewitujące magnesy, różnego typu wahadła magnetyczne czy też baterie z ziemniaków i cebul. W dziale mechaniki zaskakiwały zwiedzających działające pozornie wbrew prawom fizyki wstające bączki, kręcące się tylko w jedną stronę amulety celtyckie, wjeżdżające pod górę stożki oraz cały szereg kroczących po równiach pochyłych drewnianych zwierzątek. Nad stanowiskiem zjeżdżał na małym rowerku po linie miś ekwilibrysta, którego zdjęcie znalazło się też na koszulkach organizatorów jako maskotka wystawy. Na następnym stanowisku przedstawiane były zabawki obrazujące procesy termodynamiczne. Nikt ze zwiedzających nie zdawał sobie wcześniej sprawy, że temperaturę można mierzyć przy użyciu szklanych ku-

lek wypełnionych kolorową cieczą, pływających w termometrze Galileusza. Za pomocą termometru miłości można było zmierzyć swoje uczucia. Po położeniu go na dłoni kolorowa ciecz zaczynała gwałtownie bulgotać, oczywiście tylko w przypadku osoby zakochanej. Kaczka pijaczka zachowywała się jak *perpetuum mobile* – ciągle pochylała się nad szklanką, aby napić się wody. Co ciekawe, gdy w szklance znajdował się alkohol, kaczka poruszała się szybciej. W części wystawy dotyczącej optyki w osłupienie wprowadzała zwiedzających „wirtualna” świnka, którą widać było w otworze jednego z dwóch zwierciadeł wklęsłych. Jednak po próbie uchwycenia świnki okazywało się, że jej tam nie ma. Natomiast w magicznej skarbnice w niewyjaśnionych okolicznościach ginęły wrzucone tam monety. Ktoś stwierdził, że może to być model budżetu naszego państwa. Na ostatnim stanowisku poświęconym akustyce grały kieliszki, fujarki, flety i cymbałki. Fale akustyczne i ich widmo można było obserwować na monitorze komputera za pomocą wirtualnego oscyloskopu.

W czasie dwóch tygodni trwania wystawy odwiedziło ją około dwóch tysięcy uczniów liceów i gimnazjów w zorganizowanych grupach oraz około kilkuset osób przychodzących indywidualnie. Wystawa otwarta była w godzinach od 9.00 do 19.00. Prezentacje prowadziło dziesięcioro członków Koła Tetraktys, którzy, pomimo wielkiego zmęczenia, nie zamierzają poprzestać na tym przedsięwzięciu i również w przyszłości popularyzować fizykę wśród młodzieży.



## SPROSTOWANIE

Redakcja przeprosza Andrzeja Kajetana Wróblewskiego za to, iż odnośnik do książki *Prawda i mity w fizyce* był użyty niewłaściwie (*Foton 84, Albert Abraham Michelson – noblista ze Strzelna*, Tomasz Kardaś i Szymon Kardaś). Powstała sugestia, iż to z tej książki pochodzą cytaty o prześladowaniu Żydów w Strzelnie. Tymczasem w książce jest omówiony problem znalezienia prędkości światła i fałszowań historycznych na temat Roemera.

Jeśli przypadkiem są jeszcze tacy, którzy nie znają tej książki, to gorąco ją polecamy.





## Pieńskie Popołudnie z Fizyką

Urszula Mięśok

Gimnazjum im. O. M. Tomaszka w Pieńsku

Wszystko zaczęło się już w wakacje 2003 r. Miałam pewien zamysł, zaczęłam planować, ale najprawdopodobniej poszłoby to w zapomnienie, gdyby nie mój były wykładowca dr Stanisław Jakubowicz (IFD Uniwersytetu Wrocławskiego). We wrześniu spytał mnie, czy nie chciałabym, aby wygłosił wykład „*Perpetuum mobile* – wieczna obsesja” w Pieńsku.

Oficjalne działania rozpoczęłam od ogłoszenia konkursu „Fizyka nie boli” w sześciu kategoriach (prezentacja multimedialna, praca pisemna, zjawiska fizyczne w fotografii, plakat, wiersz lub komiks, praca badawcza lub przyrząd). Od tej chwili już nie byłam sama, bo do pomocy wkroczył mój mąż – Roman Mięśok, który też jest fizykiem. Rozmnażając ten konkurs na tyle kategorii, chciałam dać szansę tym wszystkim uczniom, dla których fizyka (niestety) jest trudna.

Nagrodą w konkursie miał być wyjazd uczniów do Instytutu Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Wrocławskiego. Burmistrz Pieńska, Jerzy Strojny, doceniając zaangażowanie uczniów i rolę fizyki, zaoferował autokar. Udało mi się jeszcze zdobyć pieniądze z innych źródeł (Fabryka Form Szklarskich HEYE oraz Bank Spółdzielczy w Pieńsku), a to dawało jeszcze większe możliwości.

Przy ocenianiu prac konkursowych bardzo nam pomogły osoby niezwiązane z naszą szkołą (dr M. Staszek – Uniwersytet Warszawski, mgr A. Serwik-Mróż – Uniwersytet Wrocławski, K. Popko – uczennica LO w Zgorzelcu). Znając już wyniki konkursu, „produkowałam” w domu dyplomy i wraz z 4-osobową grupą uczniów (Robert Rędziaż, Malwina Jarosz, Michał Kasprzyk, Marcin Zarębski) przygotowywałam Pieńskie Popołudnie z Fizyką, bo taką nazwę wymyśliłam dla naszego przedsięwzięcia.

Dyrektor Gimnazjum, Marek Popko, oczywiście był o wszystkim poinformowany, ale my działaliśmy po cichutku, bojąc się, że nam się nie uda. Teraz myślę, że to ja byłam wystraszona (chciałam wszystko przeprowadzić w mojej pracowni), a uczniowie – nie, bo to oni doprowadzili do tego, że po każdym naszym spotkaniu impreza zaczynała się coraz bardziej rozrastać.

Ostatecznie zajęliśmy dużą część parteru naszej szkoły. W pracowni fizycznej uczniowie demonstrowali różne zjawiska i prawa fizyczne za pomocą prostych środków. Np. wystarczył kieliszek i piłeczka pingpongowa, żeby zaskoczyć widza rezonansem, albo plastikowa butelka z wodą i małeńki model łodzi, żeby pokazać „łódź podwodną” (ciśnienie cieczy); trzy jajka w różnych roztworach wodnych soli i mamy prawo Archimedesza; wirujący krążek – mieszanie się barw (a dla po-

równania pędzelek i farby plakatowe) itp., itd. Były też „czary”: unoszący się spinnacz (pole magnetyczne); wiatraczek z papieru poruszany ciepłem pochodzącym od dłoni; znikająca po nalaniu wody do słoika moneta itp. Uczniowie zaprezentowali wykonane przez siebie peryskopy, radio, telegraf świetlny, hamulec hydrauliczny i inne. 11 uczniów przygotowało 32 demonstracje, a każdy uczestnik PPzF mógł zobaczyć i uzyskać wyjaśnienia dotyczącego danego zjawiska.

Jeden z korytarzy szkolnych służył do pokazania prac pisemnych, wierszy, komiksów i zdjęć zjawisk fizycznych, a hol główny zajęły plakaty i prezentacje multimedialne. Nasi goście, w oczekiwaniu na wykład dra S. Jakubowicza, mogli wybierać i nie nudzić się.

Pieńskie Popołudnie z Fizyką rozpoczęło się o godz. 16<sup>00</sup>. Nikt nie musiał przychodzić, nie było wyznaczonych grup uczniowskich do „wypełnienia sali”, nasi goście przyszli, bo chcieli zobaczyć coś ciekawego z fizyki. I nie zawiedli się, bo z zainteresowaniem oglądali prace przygotowane przez uczniów i bardzo żywo uczestniczyli w wykładzie dra S. Jakubowicza.

Fakt, że PPzF jest udanym przedsięwzięciem, jest głównie zasługą uczniów. Oprócz czterech osób, które wymieniłam wcześniej, mieliśmy jeszcze grupę techniczną, z nieocenionym „szefem” – Arturem Borcińskim, odpowiedzialną za przygotowanie całego niezbędnego sprzętu.

Warto wspomnieć o tym, że wydaliśmy okolicznościową broszurkę ze zdjęciami uczniów, fragmentami prac itp. Planujemy też wydanie broszurki związanej z tym, co działo się podczas PPzF.

Najpiękniejsze w tym wszystkim jest, że i ci, którzy PPzF przygotowywali, i ci, którzy przyszli na nie, w większości byli uczniami naszej szkoły lub okolicznych szkół średnich (nasi absolwenci). Ich udział w tym przedsięwzięciu był dobrowolny, a przeżycia niezapomniane (wiem to z relacji) i już następnego dnia pytali o kolejne Pieńskie Popołudnie z Fizyką.

### **Fizyka?!**

Co to jest fizyka?

Może to garść ryzyka?

Mnie to nie obchodzi!

I jedno pytanie mnie nachodzi:

Skąd wiele tych wspaniałych umysłów

Miało czas na tak wiele pomysłów?????

Czy fizyka jest trudna?

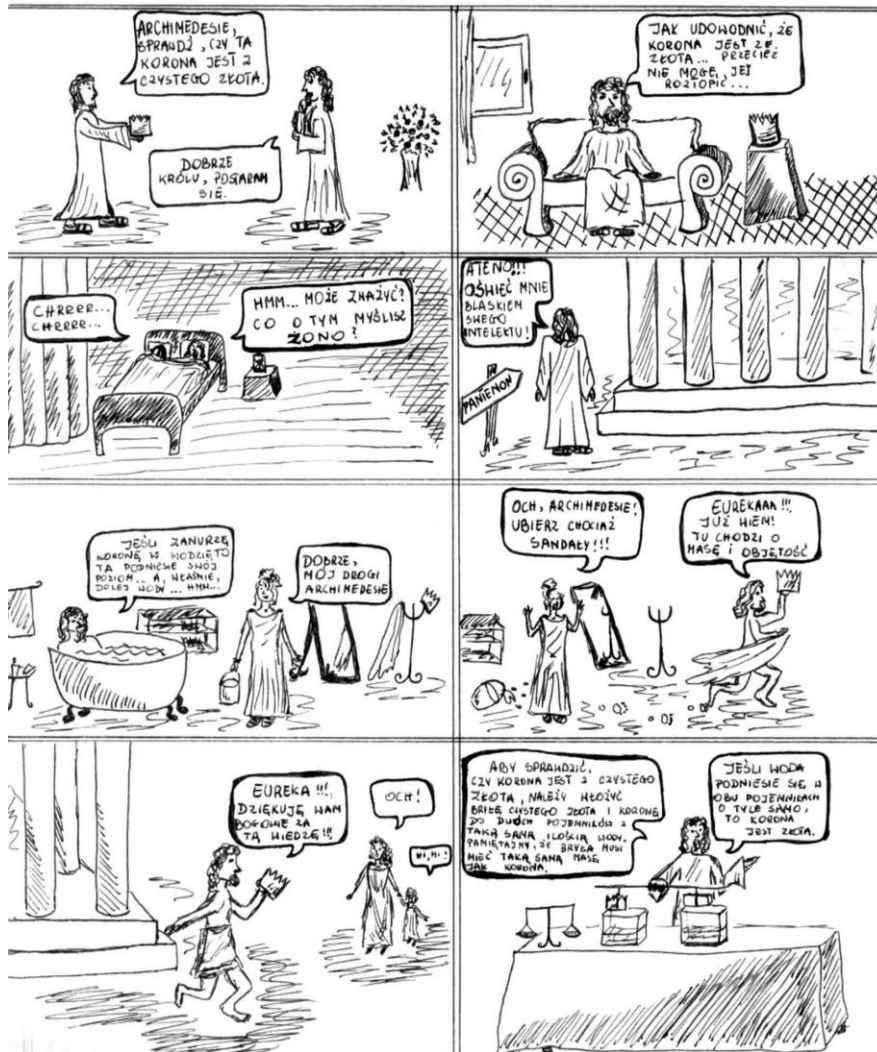
Nie wiem!

Ale wiem jedno!

Choć fizyka jest piękna,

To praca przy niej jest ciężka!

# Odkrycie Archimedesesa





FIZYKA W INTERNECIE  
**Światowy Rok Fizyki 2005**

**World Year of Physics 2005**

**Einstein in the 21-st Century**



<http://www.physics2005.org/>

KOMUNIKAT**Sesja Dydaktyczna  
w ramach Jarmarku Fizyki****Sesja Dydaktyczna w ramach Jarmarku Fizyki**

Kraków, środa 29 września 2004

Sala 055 IF UJ, Reymonta 4

- 15,00–16,00 sesja posterowa  
Prezentacja posterów i rejestracji video na temat: scenariusze lekcji, doświadczenia uczniowskie dotyczące tematu związków fizyki z biologią, medycyną, rolnictwem
- 16,15–17,00 wykład z pokazami przeźroczy na temat co można w gimnazjum powiedzieć uczniom na temat czarnych dziur. Wykładowca będzie podany w terminie późniejszym.  
Przewidziane po wykładzie wypowiedzi nauczycieli na temat: „co fascynuje, ciekawi moich uczniów z rzeczy «mało użytecznych»”.
- 17,30–19,00 wybrane prezentacje uczniów typu „Fizyka na Scenie”

Zgłoszenia posterów, zapisy do dyskusji, zgłoszenia prezentacji

- intencja wystąpienia: do 15 maja 2004, telefonicznie, pocztą e-mailową
- opracowane projekty, wystąpienia: do 15 lipca 2004
- nadesłanie posterów, kaset video, projektów uczniów, dokładnych scenariuszy: do 5 września 2004.

Zgłoszenia 012 663 5677

012 663 5563

e-mail [meyer@th.if.uj.edu.pl](mailto:meyer@th.if.uj.edu.pl)

Instytut Fizyki UJ, 30-059 Kraków, ul. Reymonta 4

Zgłoszone przez Państwa propozycje będą najpierw przedyskutowane, a następnie po ustaleniu wersji ostatecznej przygotowane do prezentacji.



## KOMUNIKATY REDAKCJI

### SPOTKANIA ŚRODOWE W IF UJ

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

Uprzejmie informujemy, iż w roku szkolnym 2004/2005 w **środy o 16<sup>00</sup>** w Instytucie Fizyki UJ odbywać się będą wykłady i pokazy dla młodzieży szkół średnich, jak również dla gimnazjów.

Tytuły i terminy można będzie znaleźć na stronie internetowej:

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

---

---

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

---

---

**Uczestnictwo w wykładach wyłącznie po zgłoszeniu telefonicznym:  
663 55 63 bądź 663 56 77, lub za pośrednictwem e-mail: [foton@if.uj.edu.pl](mailto:foton@if.uj.edu.pl)**

Fale stojące w kieliszku  
– doświadczenie  
redakcyjne

fot. K. Cieslar



fot. G. Guerth

Obrazy w „soczewkach”  
– doświadczenie  
redakcyjne

fot. G. Guerth

