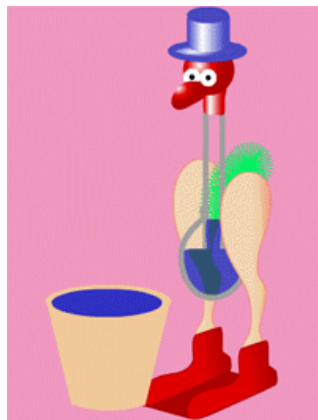


# Metody uatrakcyjniania zajęć z fizyki dla młodzieży szkolnej



**ANDRZEJ KUCZKOWSKI**

**WYDZIAŁ FIZYKI TECHNICZNEJ  
I  
MATEMATYKI STOSOWANEJ**



**POLITECHNIKA GDAŃSKA**



# **STAN OBECNY**

**Czasy gdy fizyka cieszyła się, jeżeli nie zrozumieniem to na pewno powszechnym szacunkiem jako nauka o najbardziej fundamentalnym znaczeniu, która zrewolucjonizowała nasz sposób myślenia, a jej odkrycia zmieniły sposób życia, wydaje się że już przeminęły. Większość młodzieży kojarzy obecnie fizykę z wkuwaniem na pamięć niezrozumiałych formułek i definicji, oraz o zgrozo nawet całych zadań i to o zgrozo bez zrozumienia!**

**Wydaje się że ten stan rzeczy można zmienić przez zwiększenie zainteresowania młodzieży fizyką przy pomocy:**

- ciekawych i interesujących eksperymentów fizycznych,**
- szerokie włączenie w proces dydaktyczny multimediów (animacji komputerowych zjawisk fizycznych czy filmów),**
- organizowanie wycieczek do eksperymentatorów,**
- publikowanie podręczników i literatury popularno naukowej na wysokim poziomie, a przy tym będących pasjonującymi.**

# DETERMINIZM PRAW FIZYKI



- Newton, w przedmowie do pierwszego wydania "Principiów", tak określił cel fizyki, którą nazywał filozofią przyrody:
- *Cale zadanie filozofii przyrody polega na tym, żeby ze zjawisk odczytać siły a następnie ze znajomości sił przewidzieć dalsze zjawiska.*

**Problem polega na tym, że owo "odczytanie sił" może być czasem bardzo trudne.**

**Dla większości ludzi wykształconych fizyka to najbardziej zniechęcający przedmiot w szkole średniej, przedmiot trudny i dotyczący rzeczy trudnych do zrozumienia. Skoro jednak Newton osiągnął tak zdumiewające sukcesy w badaniu rzeczy niemożliwie trudnych, takich jak ruchy planet, to przecież racjonalne urządzenie społeczeństwa, którego funkcjonowanie wydaje się czymś znacznie bardziej zrozumiałym, powinno pójść równie łatwo? Błąd tego rozumowania jest podstawowym składnikiem tego, co nazwałem już "mrokami Oświecenia". Błąd polega na tym, że przedmiot fizyki jest najprostszym z możliwych, niczego prostszego już nie ma. Układ Słoneczny jest czymś nieskończenie prostym w porównaniu z pojedynczą muszką owocową, żeby nie mówić bez sensu o człowieku czy społeczeństwie. Przypuszczenie, że można "odczytać siły", które powodują określone zachowania się ludzi lub społeczeństw, jest czystym szaleństwem, które może przyjść do głowy jedynie dyletantom nie mającym żadnego wyobrażenia o skali trudności, na które napotyka rzetelny poszukiwacz prawdy.**

**prof. dr hab. Andrzej Staruszkiewicz**

# DETERMINIZM W MECHANICE KLASYCZNEJ

**Mechanika klasyczna jest teorią deterministyczną, tzn. że stan układu w pewnej chwili  $t_0$  jednoznacznie wyznacza stan układu w dowolnej chwili  $t$ .**

**Stan układu (izolowanego) określony jest przez położenia  $r$  i pędy  $p$  wszystkich jego składników w chwili  $t$ .**

**Dynamikę układu opisują liniowe równania różniczkowe Newtona.**

$$\vec{F} = m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2}$$

**Równania liniowe mają jednoznaczne rozwiązania.**

# **DETERMINIZM PRAW FIZYKI**

**Aby móc przewidywać przebieg zdarzeń należy znać:**

**1) ogólne prawa ruchu**

**2) działające siły**

**3) warunki początkowe (lub brzegowe) (pędy i położenia składników w pewnej chwili  $t$ )**

**Jednakże warunki początkowe znamy zawsze ze skończoną dokładnością, gdyż otrzymane są one w wyniku pomiaru. Z liniowość równań mechaniki wynika że dokładność przewidywań jest wprost proporcjonalna do dokładności pomiarów.**

# **DETERMINIZM PRAW FIZYKI**

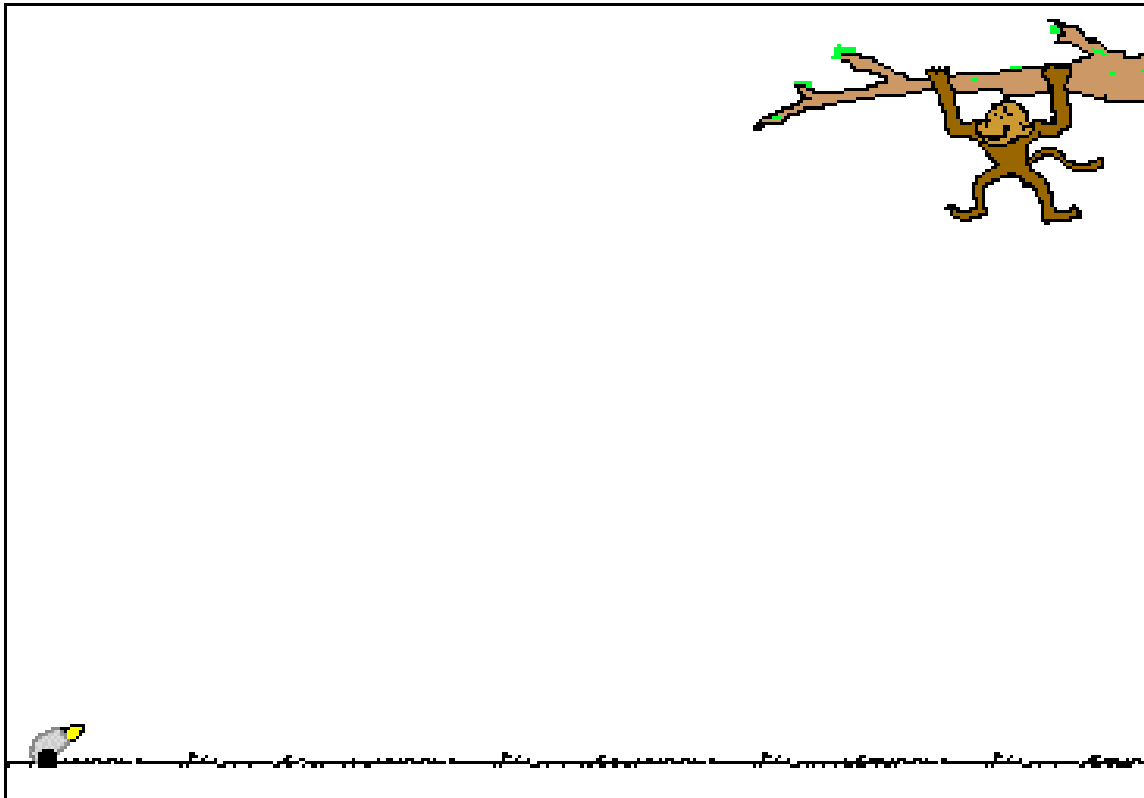
**Do początku XX wieku wyobrażano sobie Wszechświat jako nieskończenie dokładny mechanizm zegarowy w którym obecny stan rzeczy jest z jednej strony następstwem stanu przeszłego, a z drugiej strony przyczyną stanu przyszłego.**

**Czy zatem nieubłagane prawa fizyki sprawiają że przyszłość jest całkowicie zdeterminowana?**

**Że np. małpka do której strzelił myśliwy i która w momencie strzału zsunęła się z drzewa nie uniknie swego przeznaczenia?**

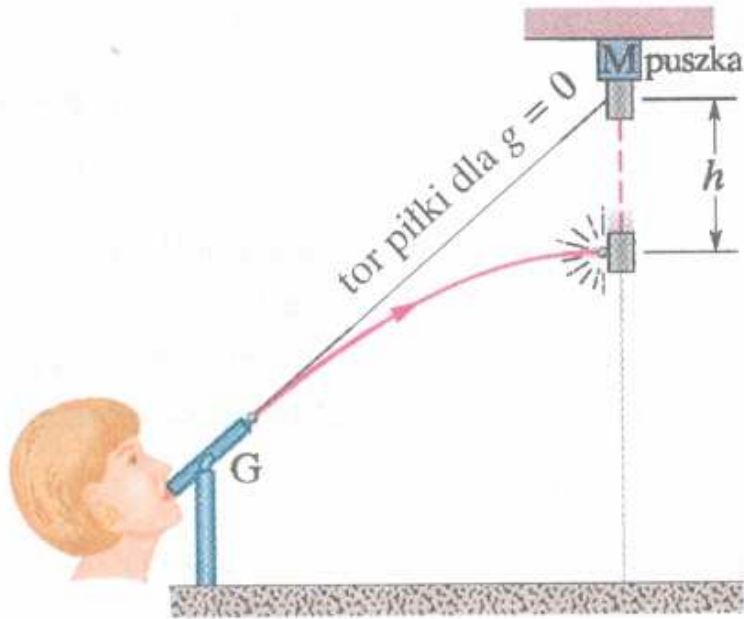


# DETERMINIZM PRAW FIZYKI



- Nieubłagane prawa fizyki powodują że małpka wisząca na gałęzi i puszczająca się z niej w chwili wystrzału, nie uniknie swego przeznaczenia.

# DETERMINIZM PRAW FIZYKI



Piłeczka wystrzelona z armatki pneumatycznej zawsze trafia w spadającą puszkę. Piłka i puszka tracą taką samą wysokość  $h$  w stosunku do ich położenia końcowych pod nieobecność przyciągania ziemskiego

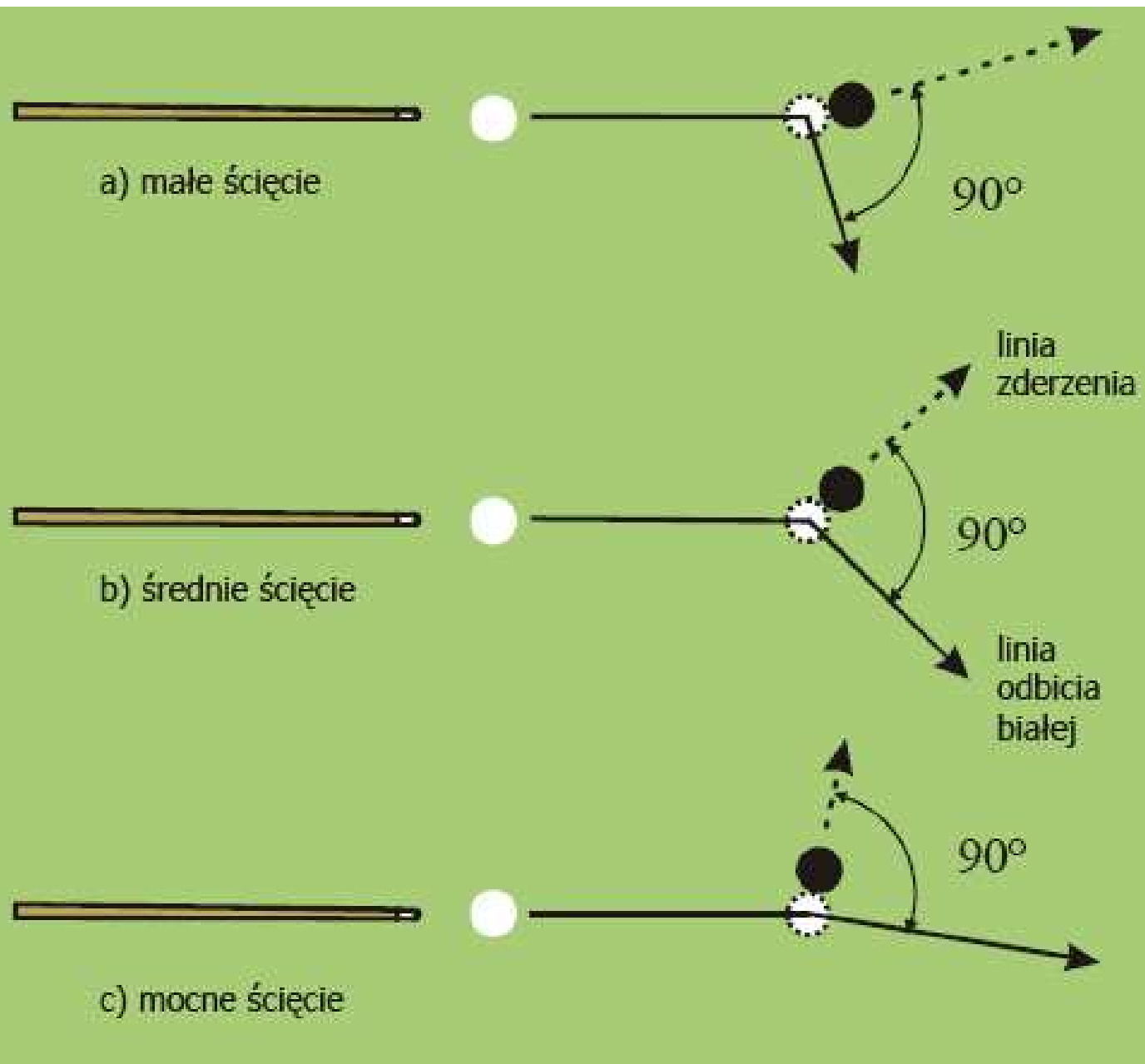
**Znając warunki początkowe, oraz działające siły możemy określić położenie obiektu w dowolnej chwili w przeszłości i w przyszłości.**

## DEMON LAPLACE'A

- Możemy uważać obecny stan wszechświata za skutek jego stanów przeszłych i przyczynę stanów przyszłych. Intelpekt, który w danym momencie znałby wszystkie siły działające w przyrodzie i wzajemne położenia składających się na nią bytów i który byłby wystarczająco potężny, by poddać te dane analizie, mógłby streścić w jednym równaniu ruch największych ciał wszechświata oraz najdrobniejszych atomów; dla takiego umysłu nic nie byłoby niepewne, a przyszłość, podobnie jak przeszłość, miałby przed oczami".
- (P. S. de Laplace, *Essai philosophique sur les probabilités*)



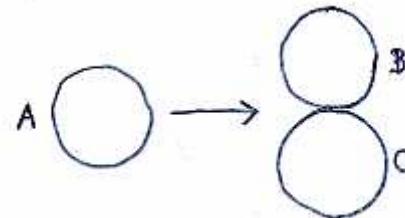
# ZDERZENIE KUL



# ZDERZENIE KUL



- Jeżeli zderzają się sprężyste dwie kulki to odbijają się one pod określonymi kątami i z ustalonymi prędkościami. Prawa Newtona nie pozwalają jednak dla ustalenia rezultatu równoczesnego zderzenia trzech kul.





## **WAHADŁO Z TRZEMA MAGNESAMI.**

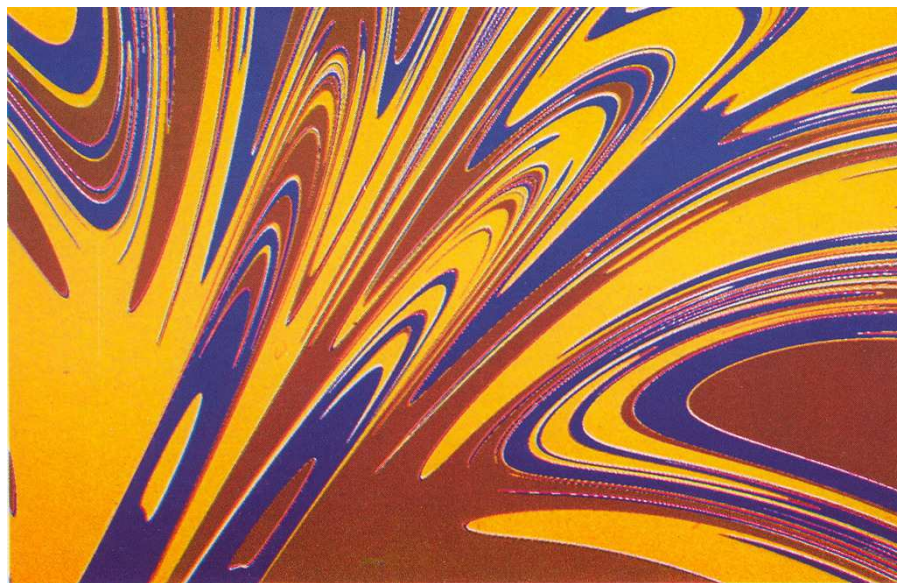
**Jeszcze bardziej poglądowo możemy zademonstrować silną zależność położenia końcowego układu od minimalnej nawet zmiany warunków początkowych w doświadczeniu z wahadłem z trzema magnesami. W doświadczeniu tym metalowa kulka waha się nad trzema magnesami symetrycznie rozmieszczonymi. Gdy położenie początkowe kulki będzie różniło się tylko nieznacznie, to zatrzyma się ona po wykonaniu ruchu o bardzo skomplikowanym torze nad innym magnesem. Zachowanie takie jest przykładem silnej zależności stanu końcowego od nieznacznej nawet zmiany warunków początkowych co jest charakterystyczną cechą zarówno chaosu deterministycznego jak i procesów przypadkowych które jednakże ze względu na różny charakter należy zawsze rozróżniać.**

**Gdy oznaczymy trzema różnymi kolorami wszystkie punkty początkowe z których kulka osiąga dany magnes (biegun przyciągania), to otrzymamy tzw. obraz fraktalny.**

# **BASENY PRZYCIĄGANIA**



**Baseny przyciągania trzech magnesów zaznaczone są kolorami: czerwonym niebieskim i żółtym**



**Powiększone fragmenty powyższego rysunku na którym widać strukturę przeplatających się ze sobą basenów przyciągania**

# ZAGADNIENIE ODWRÓCENIA CZASU W RÓWNANIACH MECHANIKI

**GDYBYM MOGŁ COFNAĆ CZAS ...**



SPN crew



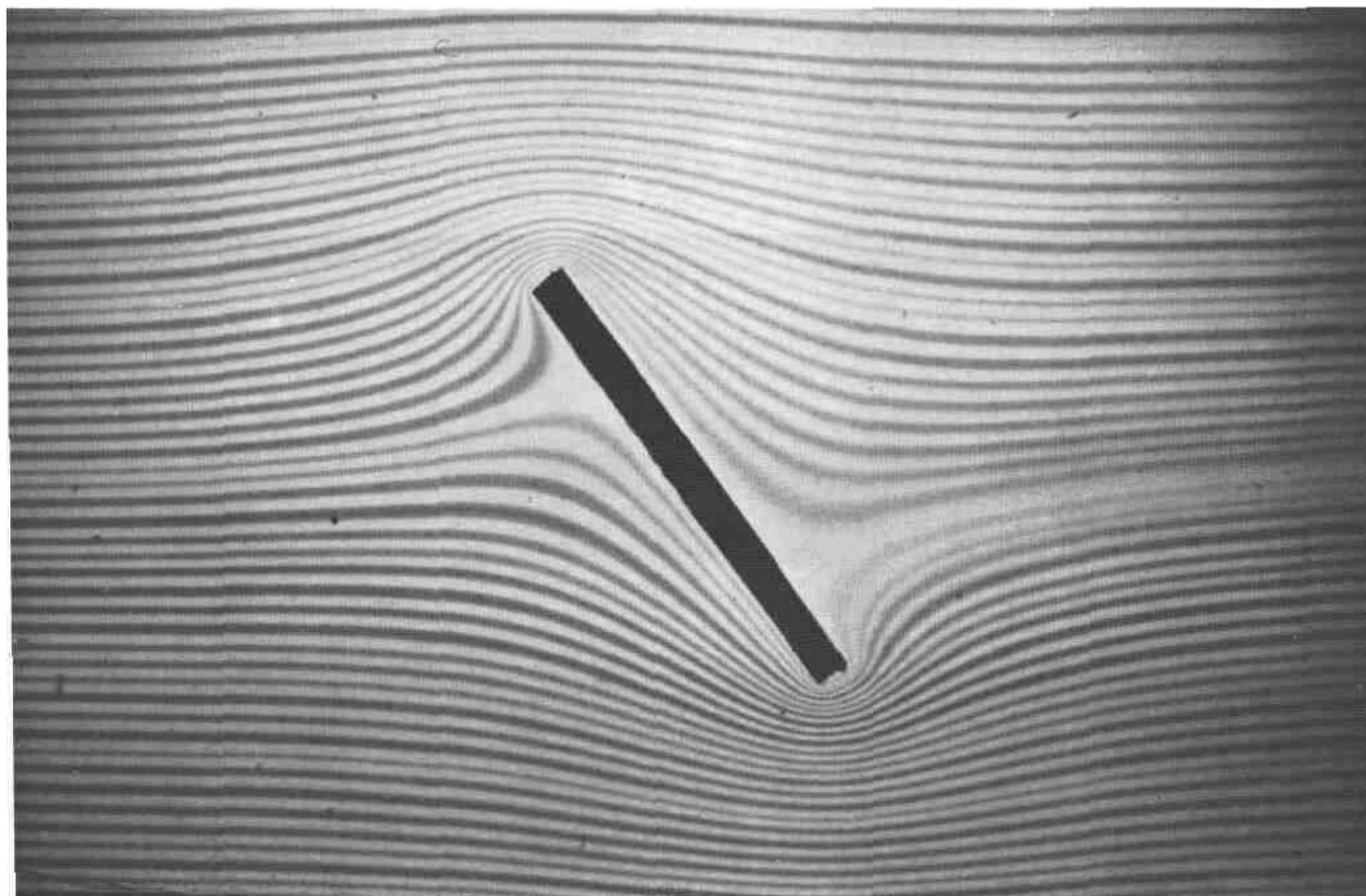
# ZAGADNIENIE ODWRÓCENIA CZASU W RÓWNANIACH MECHANIKI

*„Czas to narzędzie w ręku Boga, które uniemożliwia,  
aby wszystko działo się jednocześnie”  
głosi znane powiedzenie.*

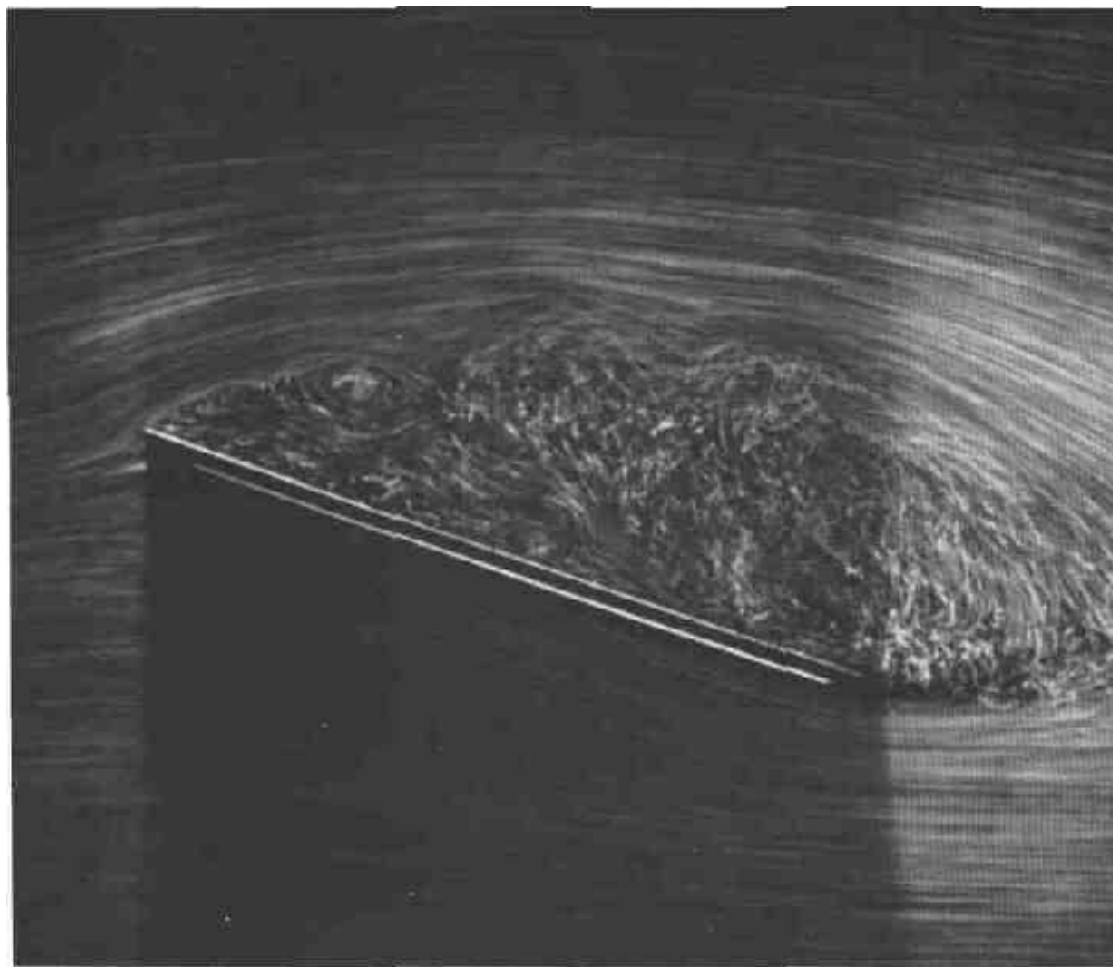
# ZAGADNIENIE ODWRÓCENIA CZASU W RÓWNANIACH MECHANIKI

Czas jest to skalarna wielkość fizyczna określająca kolejność zdarzeń oraz odstępy między zdarzeniami zachodzącymi w tym samym miejscu. Równania dynamiki są symetryczne ze względu na zmianę kierunku upływu czasu. Oznacza to, iż z fizycznego punktu widzenia przeszłość nie wyróżnia się niczym szczególnym od przyszłości, ponieważ zamiana współrzędnej czasowej  $t$  na  $-t$  nie zmienia kształtu odpowiednich równań. Na ogół jednak z upływem czasu w układzie zachodzą nieodwracalne procesy, w których zachodzi rozpraszanie energii dlatego nie istnieje możliwość powrotu układu do stanu z przeszłości. Wtedy bowiem rozproszona energia musiałaby przejść z cząsteczek które ją przejęły z powrotem do naszego układu, co jest statystycznie nieprawdopodobne. Przykładem procesu odwracalnego może być np. ruch wahadła, czy innych odwracalnych ruchów którym nie następuje rozpraszanie energii.

# OPLÝW LAMINARNY

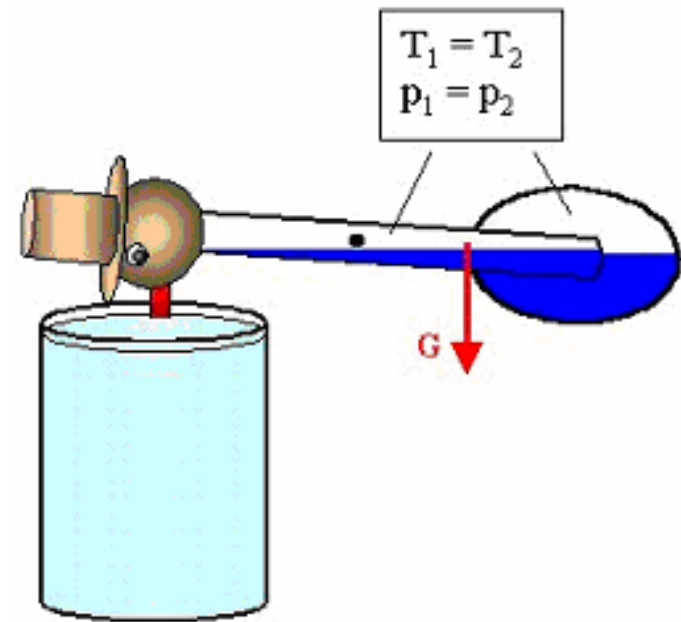
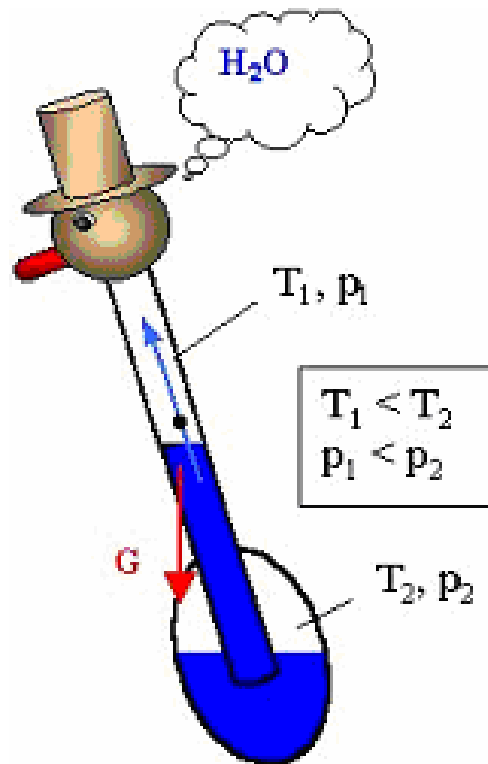


# OPLÝW TURBULENTNY





# KACZKA PIJACZKA



# RZECZYWISTE EKSPERYMENTY FIZYCZNE

Rzeczywiste eksperymenty fizyczne, zwłaszcza gdy są one własnoręcznie wykonywane przez zainteresowanych są niezastąpioną pomocą w nauczaniu fizyki. Do ich przeprowadzenia często wystarczą przedmioty codziennego użytku. Szczególnie zalecane są eksperymenty zawierające element zaskoczenia, czy niezwykłości.



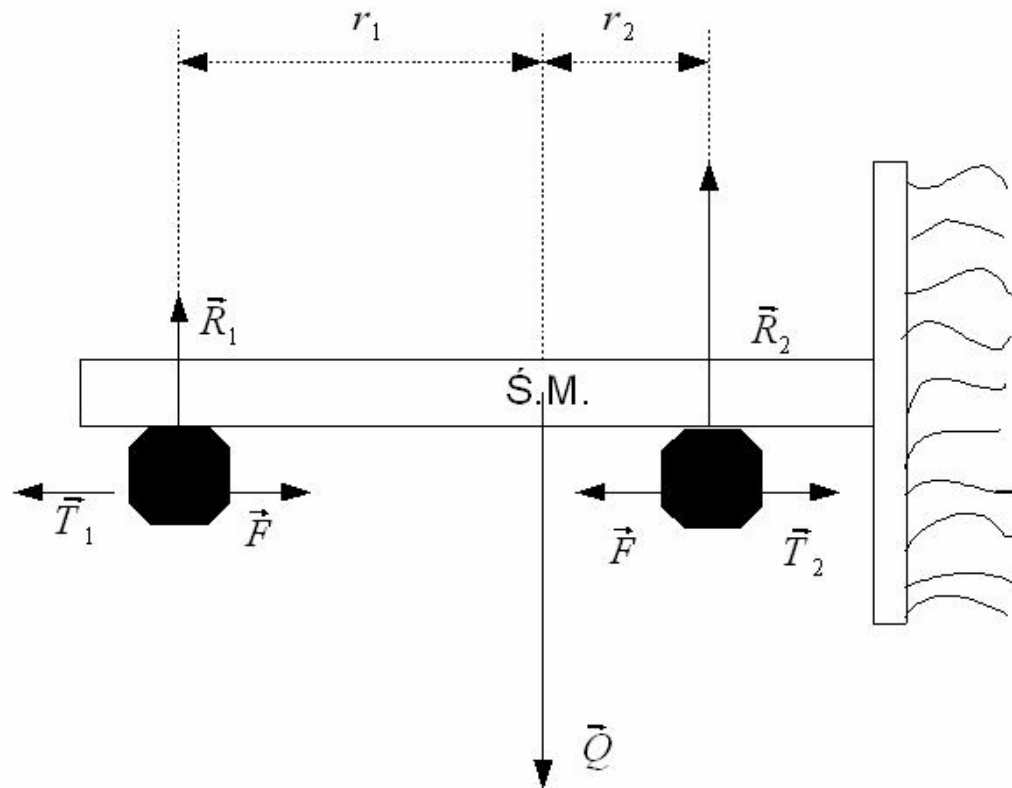
# **PRAKTYCZNY SPOSÓB WYZNACZANIA ŚRODKA MASY MIOTŁY**

**Podtrzymując miotłę przy pomocy dwóch palców i zbliżając je do siebie, stwierdzimy, że palce zawsze spotkają się w punkcie leżącym pod punktem będącym środkiem masy całej miotły niezależnie od naszej woli, jeżeli tylko będziemy zbliżali je do siebie nie za szybko. Zauważymy również że palce nie będą zbliżały się równocześnie, lecz tylko na zmianę: gdy jeden palec się przesuwa to drugi jest nieruchomy, po czym pierwszy się zatrzymuje, a drugi się przesuwa i tak kolejno na zmianę.**





# PRAKTYCZNY SPOSÓB WYZNACZANIA ŚRODKA MASY MIOTŁY



## WARUNKI ROWNOWAGI

$$Q = R_1 + R_2$$

$$R_1 \cdot r_1 = R_2 \cdot r_2$$

$$T_1 = R_1 \cdot \mu \quad T_2 = R_2 \cdot \mu$$

# **RÓWNOWAGA MONETY LEŻĄCEJ NA KARTONIKU**

**Gdybyśmy chcieli położyć monetę na krawędzi kartonika to okazuje się to praktyczne niemożliwe. Gdy jednak kartonik zegnijemy, na załamaniu kartonika położymy monetę, a następnie wolno kartonik rozchylimy, to zauważymy że moneta nie spada nawet z wyprostowanego kartonika. To niezwykle zachowanie monety na kartoniku ma podobne wyjaśnienie jak w przypadku zbliżanych do siebie palców pod miotłą.**



# PRAWO ZACHOWANIA ENERGII



**Przykłady eksperymentów zdających się pozornie przeczyć prawu zachowania energii.**

**a) gumowy sprężysty kołpak puszczony z pewnej wysokości i uprzednio odkształcony po odbiciu wzniesie się na wysokość znacznie większą od tej z której był puszczony.**

**b) układ gumowych kulek o zmniejszających się masach puszczonych z pewnej wysokości, po odbiciu przekazuje swą energię najmniejszej kulce która wznosi się na wysokość kilkakrotnie większą od tej z której była puszczona.**

# PRAWO ZACHOWANIA KRĘTU

*GDY MOMENTY SIŁ ZEWNĘTRZNYCH RÓWNAJĄ SIĘ ZERU TO  
KRĘT CAŁKOWITY UKŁADU POZOSTAJE STAŁY*



**Kamień celtycki**

**Przykład eksperymentu zdającego się pozornie  
przeczyć prawu zachowania krętu**

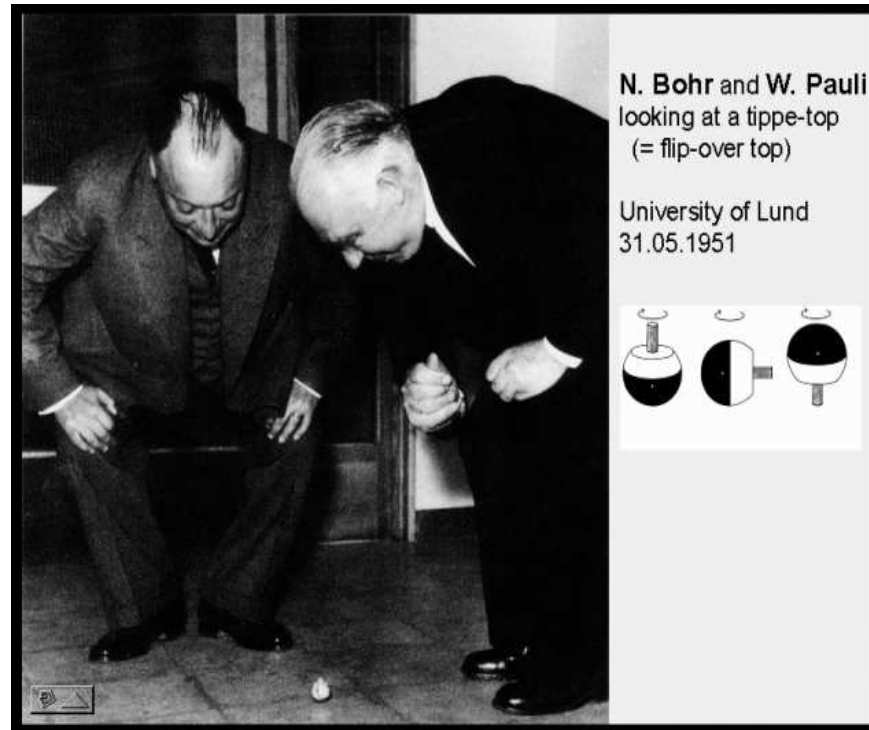
# KAMIEŃ CELTYCKI



Bardzo zagadkowym i intrygującym zjawiskiem jest ruch kamienia celtyckiego. Ruch kamienia zdaje się przeczyć jednej z podstawowych zasad fizyki: zasadzie zachowania momentu pędu. Kamień celtycki rozkręcony w jednym kierunku obraca się długo i spokojnie, natomiast rozkręcony w przeciwnym kierunku szybko zwalnia, zaczyna się wahać, po czym obraca się w przeciwnym kierunku. Wydaje się, że w tym przypadku nie jest spełnione prawo zachowania momentu pędu. Ten paradoksalny ruch kamienia wynika stąd że w tym przypadku nie są spełnione założenia konieczne do zachowania momentu pędu! Suma momentów sił zewnętrznych nie jest równa zeru! Między podłożem a kamieniem działa siła tarcia, która połączona z lekką asymetrią kamienia jest odpowiedzialna za ten paradoksalny ruch.

# BAKI SYMETRYCZNE

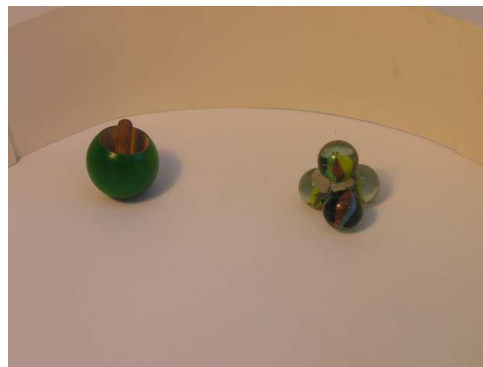
Paradoksalne własności bąków mogą zaskoczyć nawet ludzi obeznanych z fizyką.



N. Bohr i W. Pauli obserwują ruch bączka japońskiego. Po minach noblistów widzimy że eksperyment ten zaciekał ich, zaskoczył oraz rozbawił, podobnie zresztą jak każdego który ogląda go po raz pierwszy.

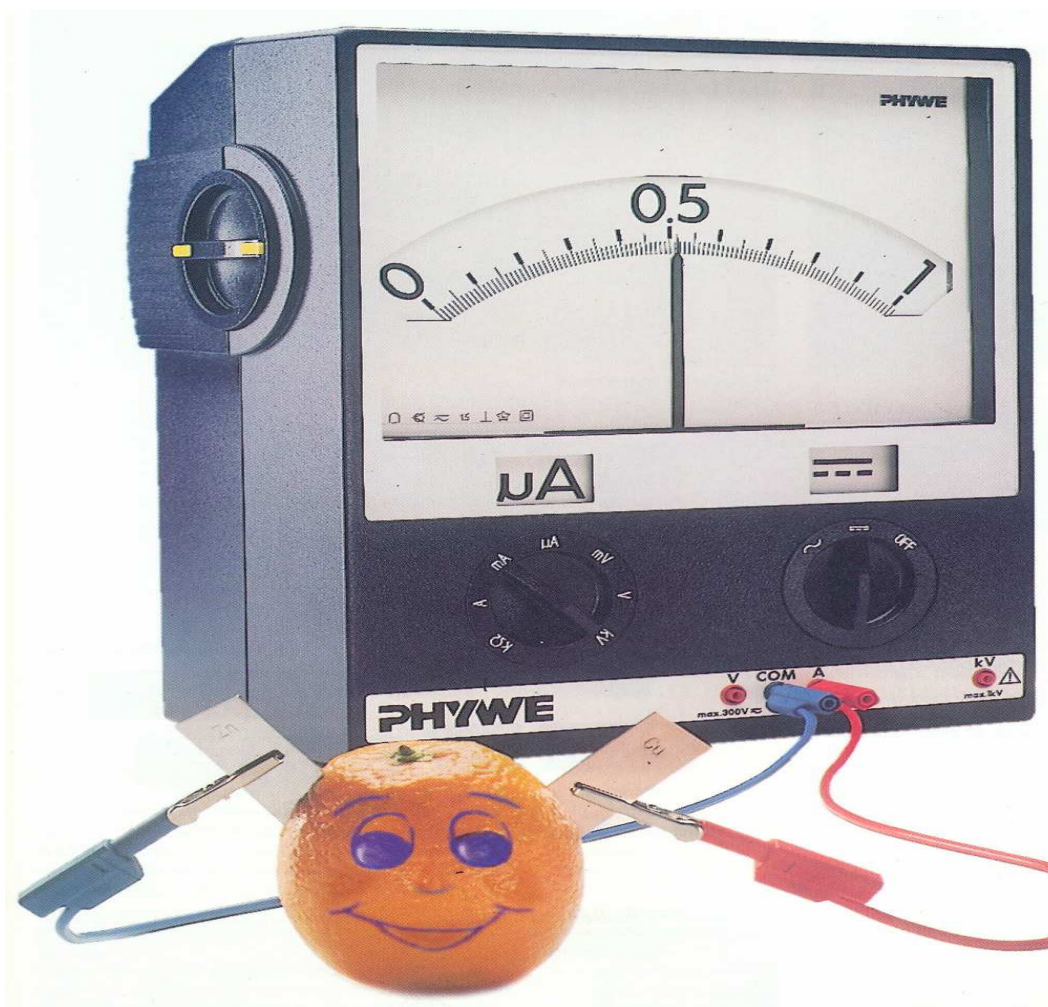
# BĄCZEK JAPOŃSKI

Bączek japoński wprowadzony w ruch obrotowy obraca się początkowo główką w dół, a następnie samorzutnie podnosi się i zaczyna wirować na nóżce. Za efekt ten odpowiedzialna jest siła tarcia pojawiająca się między podłożem a główką bączka. Ogólnie pod wpływem siły wywieranej na oś bąka, przesuwa się ona nie w kierunku działania siły, lecz w kierunku prostopadłym do niej. W naszym przypadku efekt ten powoduje przeorientowanie się osi bączka o 180 stopni. Jest to zjawisko paradoksalne, gdyż podczas tego ruchu środek masy samoczynnie podnosi się do góry! Nie jest to jednak efekt sprzeczny z prawem zachowania energii. Zwiększenie energii potencjalnej odbywa się kosztem zmniejszenia energii kinetycznej ruchu obrotowego bączka. Oczywiście część energii ulega również rozproszeniu na ciepło. Jednym z prostych do wykonania bączków japońskich jest bączek otrzymany przez sklejenie czterech kulek, np. powszechnie dostępnych kulek szklanych: trzech w podstawie i jednej przyklejonej pośrodku nad nimi.



# ELEKTRYCZNOŚĆ

## OGNIWA GALWANICZNE



**Zasadę działania ogniw galwanicznych można wyjaśniać przy wykorzystaniu ogólnie dostępnych środków i w ciekawy sposób.**

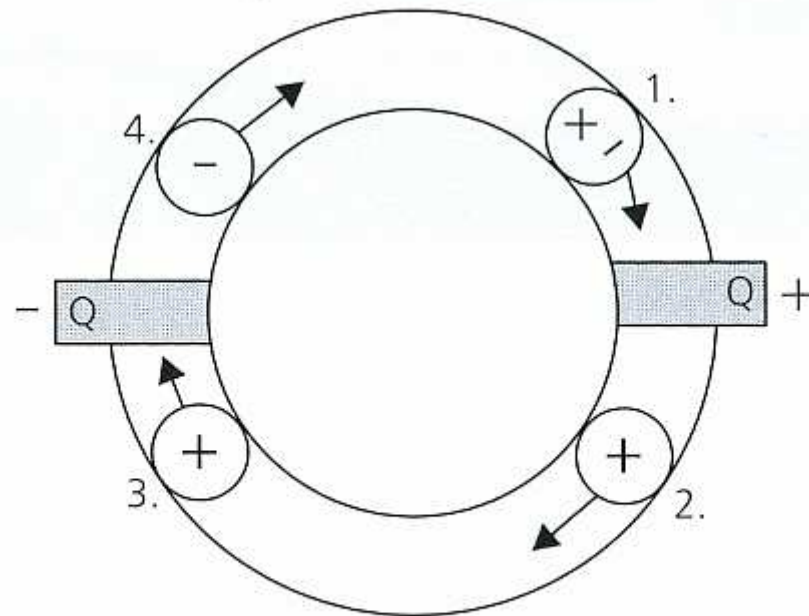


# ELEKTRYCZNOŚĆ



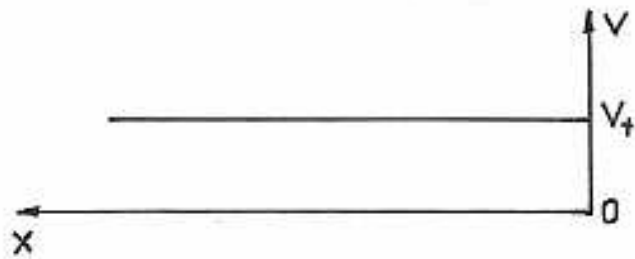
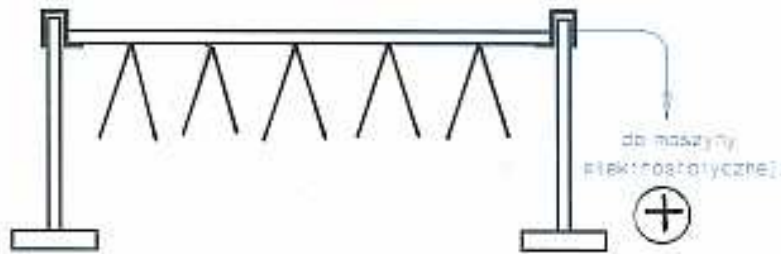
# PRZYKŁAD PRZEPIYWU PRĄDU ELEKTRYCZNEGO ZWIĄZANEGO Z RUCHEM NAŁADOWANYCH CIAŁ

## SILNIK ELEKTROSTATYCZNY

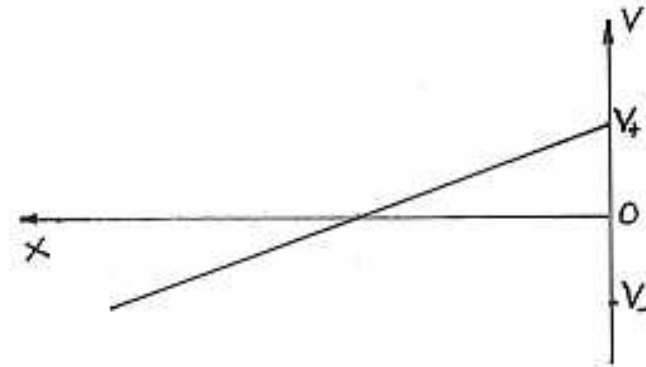


*Schemat działania silnika elektrostatycznego*

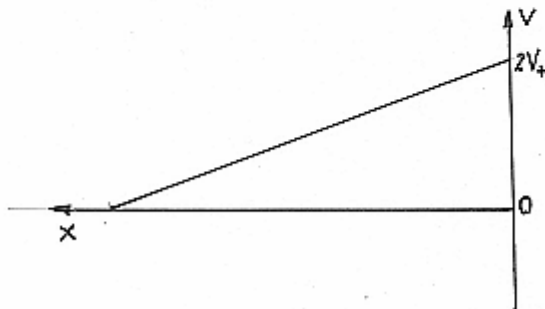
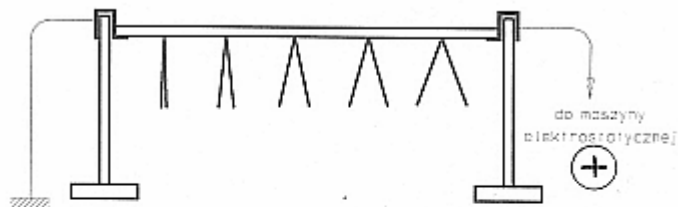
Przewodnik jest pod stałym potencjałem



Przewodnik jest pod napięciem  $U$



Spadek potencjału wzdłuż przewoźnika z prądem.



**Jeżeli przez przewodnik płynie prąd o natężeniu  $I$ , to spadek napięcia na oporze  $R$  równa się:  $U = I \cdot R$ .**

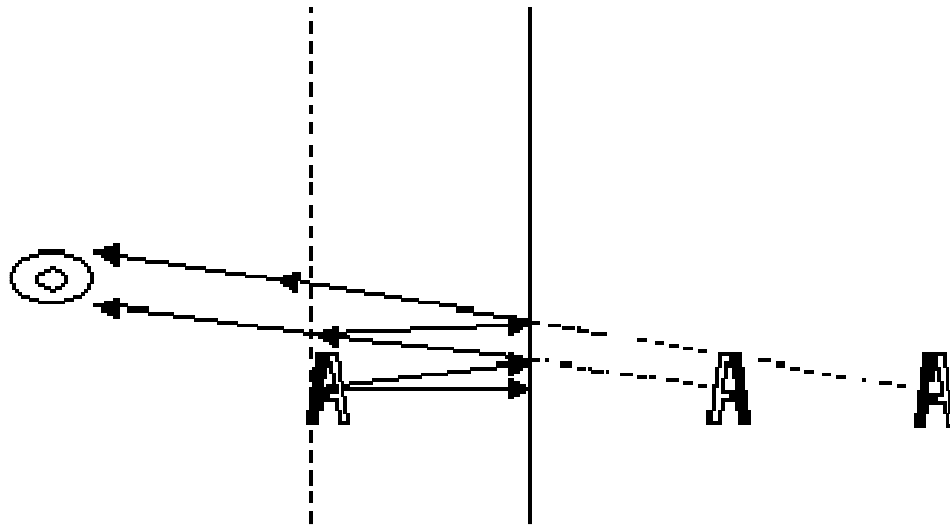
**Opór elektryczny:  $R = \frac{\rho \cdot x}{S} \rightarrow U \propto x$**

# OPTYKA

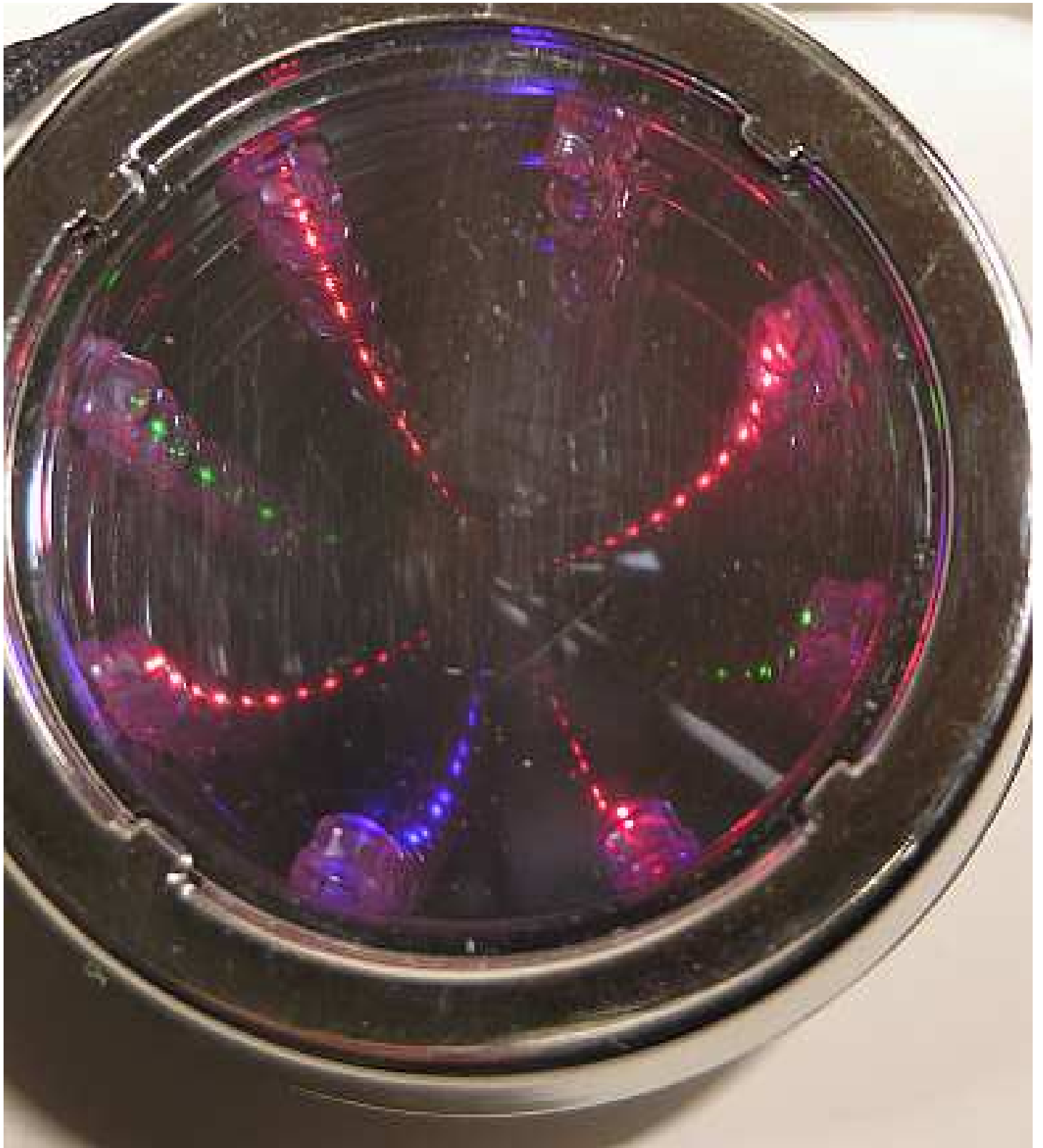


**Prawa optyki geometrycznej można prezentować w ciekawy i nietypowy sposób.**

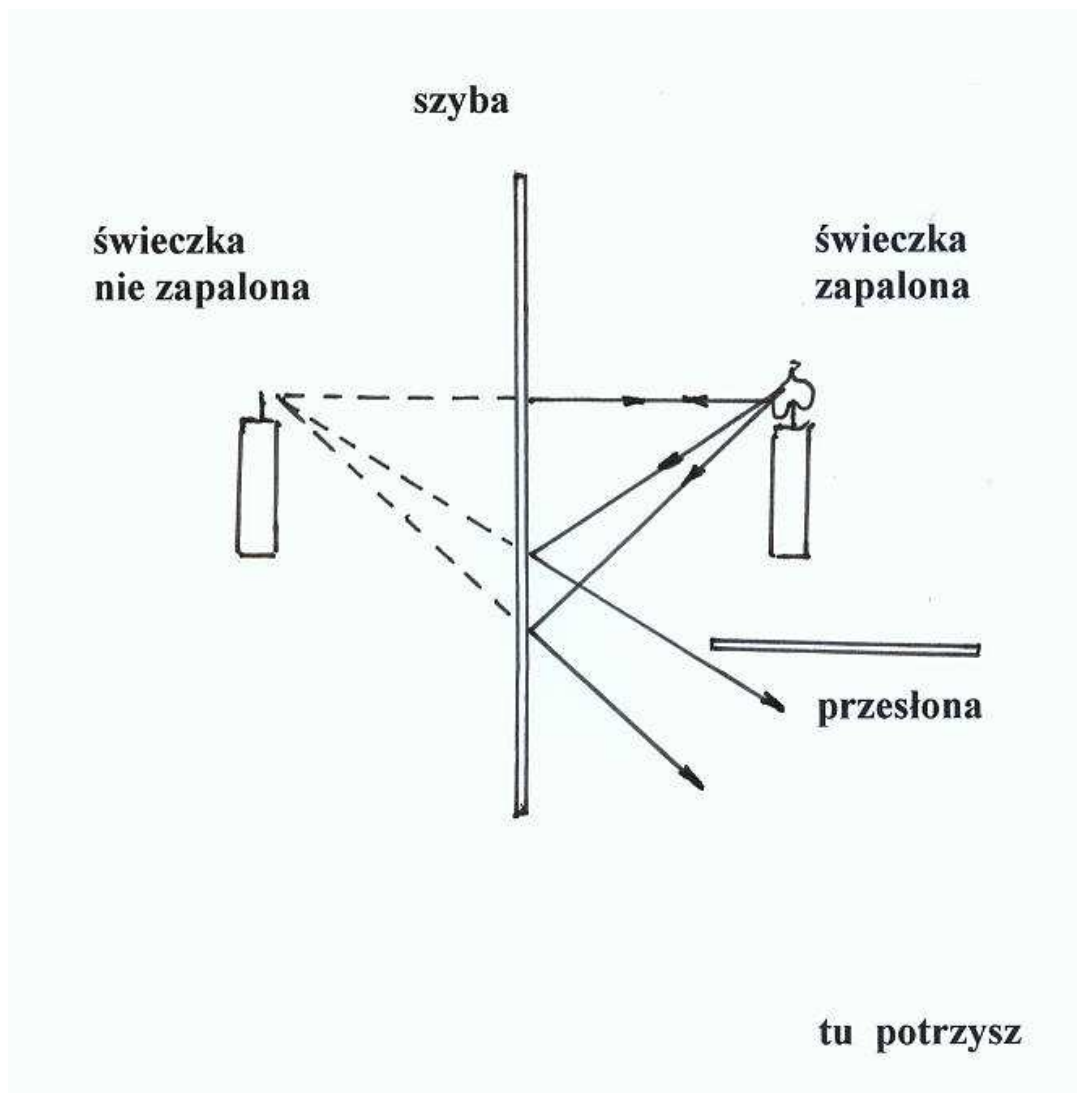
# TUNEL ŚWIETLNY



- Tunel świetlny tworzy się w skrzynce z dwoma lustrami: całkowicie odbijającym na dnie skrzynki i częściowo odbijającym, na przedniej ścianie. Tuż pod przednim zwierciadłem zamocowany jest pierścień lampek. Kolejne odbicia pierścienia w obu zwierciadłach dają wrażenie nieskończenie długiego tunelu.



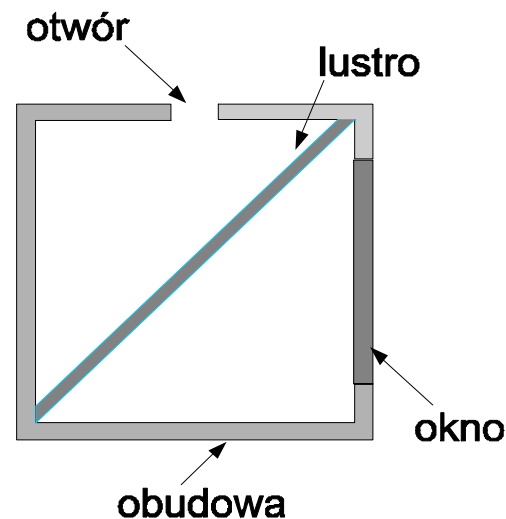
# PRZYKŁAD ILUZJI OPTYCZNEJ



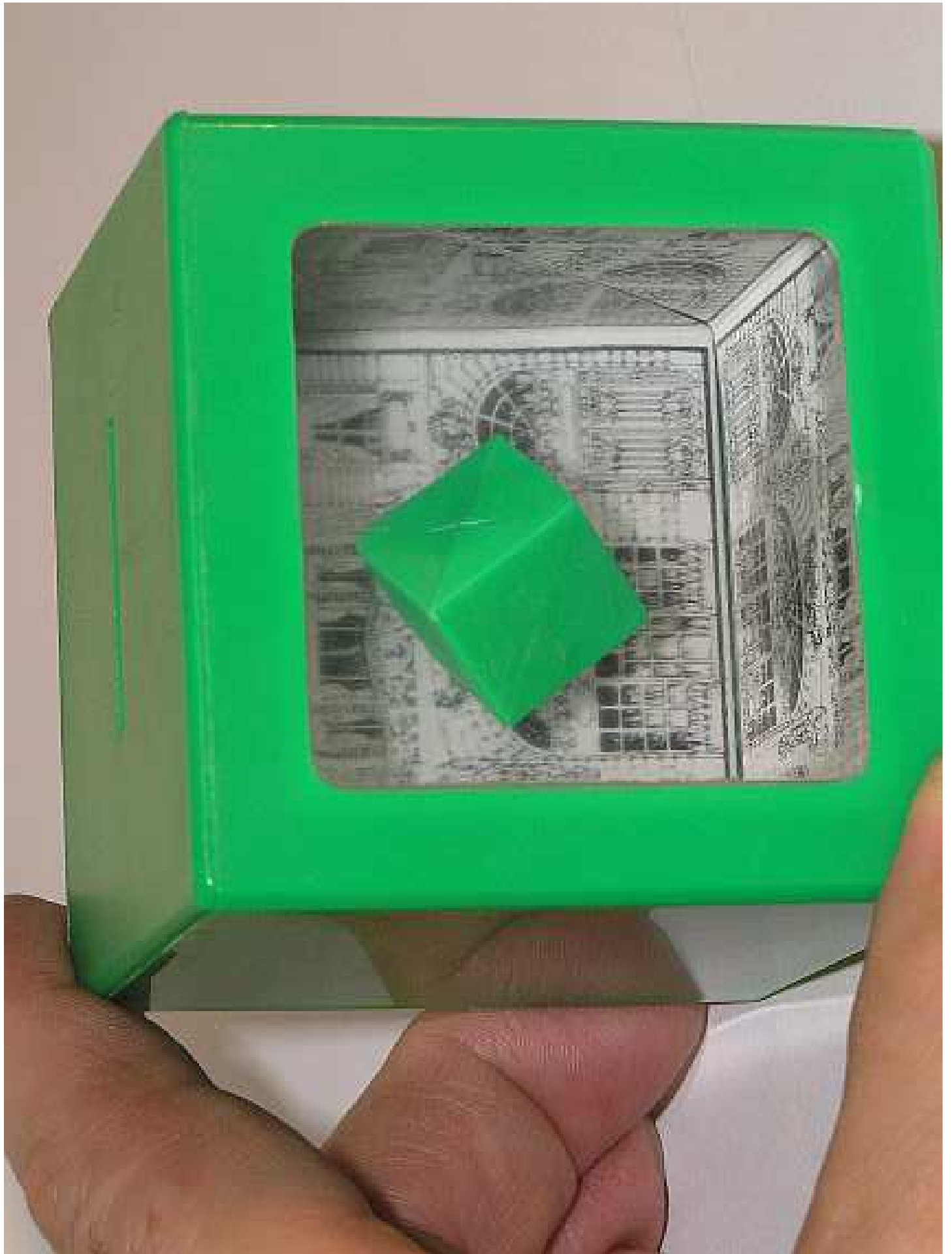
*Nakładanie się obrazów dwu przedmiotów znajdujących się po przeciwnych stronach szyby*

# MAGIC BANK

- Ta popularna zabawka opiera się również na złudzeniu związanym z powstawaniem obrazu w zwierciadle płaskim. Na rysunku poniżej pokazany jest przekrój magic banku. Patrząc przez okno w obudowie nie widzimy zwierciadła i wydaje się nam, że wewnątrz sześcianu jest całkowicie puste. Wrzucane przez otwór monety znikają w dziwny sposób.







# ZNIEKSZTAŁCENIA OBRAZU W ZWIERCIADLE WKŁĘŚLYM



# ŚWIAT W KRZYWYM ZWIERCIADLE



*Nie, to nie cały świat, to tylko autor tak wygląda w krzywym zwierciadle.*

# WYSTAWY I EKSPERYMENTATORIA



PROJEKT  
CENTRUM

NAUKI KOPERNIK  
W WARSZAWIE

# Centrum nauki KOPERNIK w Warszawie



*material internetowy*

# Centrum Nauki EXPERYMENT w Gdyni

Centrum Nauki Experiment   Projekty   Dla nauczycieli   Aktualności   Rezerwacja   Galeria   Kontakt

## Kontakt

Centrum Nauki EXPERYMENT

**P P N T**

Państwowy Instytut Techniczny w Gdyni  
Al. Zwycięstwa 96/98  
81-451 Gdynia  
[experiment@gci.gdynia.pl](mailto:experiment@gci.gdynia.pl)  
+48 58 735 11 37/38

Zapraszamy:  
od wtorku do niedzieli  
(poniedziałki nieczynne)  
10:00 do 16:00  
[więcej](#)

## Aktualności

Nowe tablice w Centrum Nauki  
EXPERYMENT  
[więcej](#)

**FIZYKA**

**ŚWIAT DŹWIĘKÓW**

**OPTYKA**

**ŚRODOWISKO**

**CZŁOWIEK**

*materiał internetowy Centrum Nauki Eksperyment w Gdyni*

# Centrum Nauki EXPERYMENT

## Głowa na tacy



**Zwiedzający mogą położyć swoją głowę na tacy.**

# Centrum Nauki EXPERYMENT

## Komnata Amesa



**Zwiedzający przez otwór w komnacie widzi, że osoby znajdujące się w jej wnętrzu wydają się rosnąć lub maleć w zależności od miejsca, w którym stoją.**

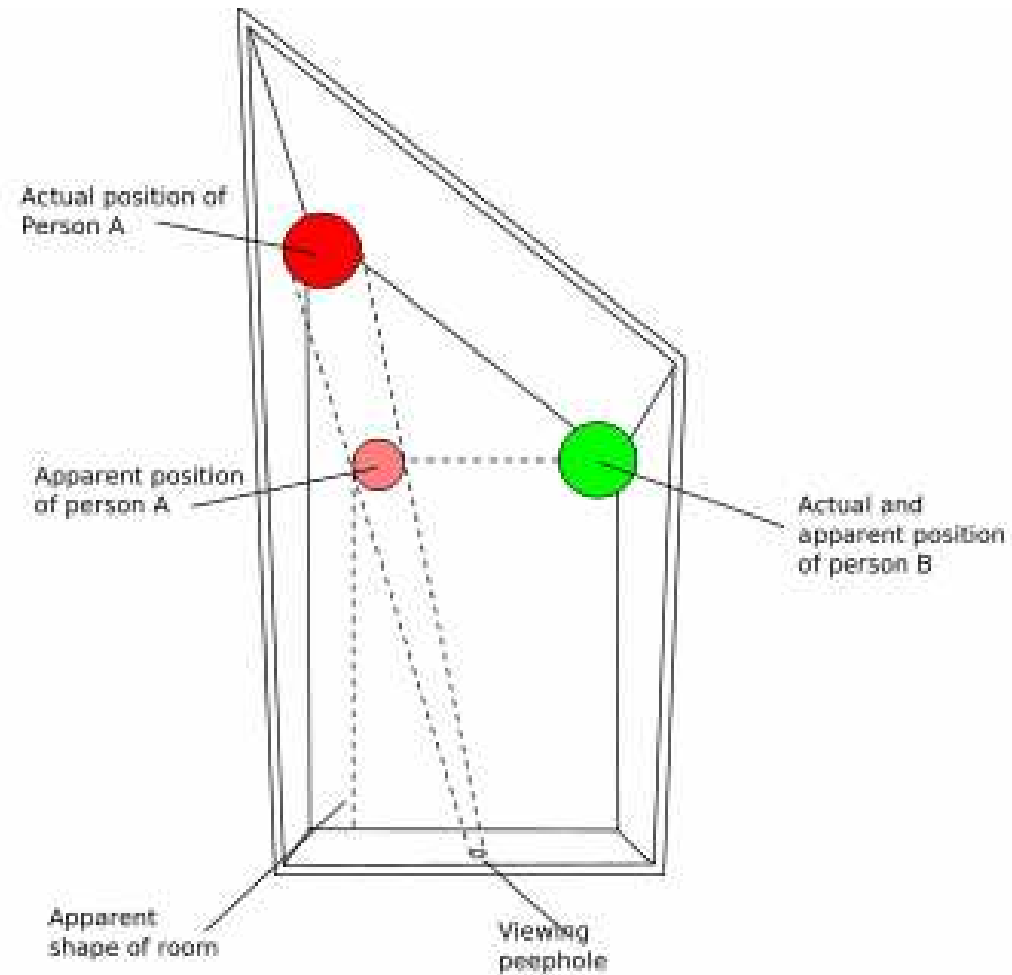


# KOMNATA AMOSA



©Agencja Gazeta

# KOMNATA AMOSA



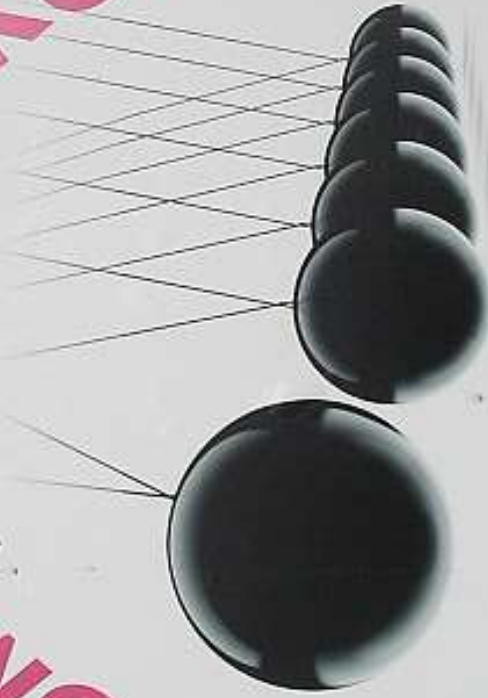
An Ames Room viewed from above, notice the trapezoidal shape. The ceiling is also slanted (not visible)

# CENTRUM HEWELIANUM W GDAŃSKU



# FENOMENY NAUKOWE

[www.scienceontour.de](http://www.scienceontour.de)



**10-21 czerwca**



**PHÄNOMENTA**  
Sprawdź sam jak to działa

**GALERIA  
BAŁTYCKA**  
ul. Bałtycka 10  
80-009 Gdańsk

# MAGICZNA SIEĆKA

TOUR de FORCE

Interaktywna wystawa  
z Glasgow Science Centre

# Discovery

Laboratorium Odkryć i Wynalazków

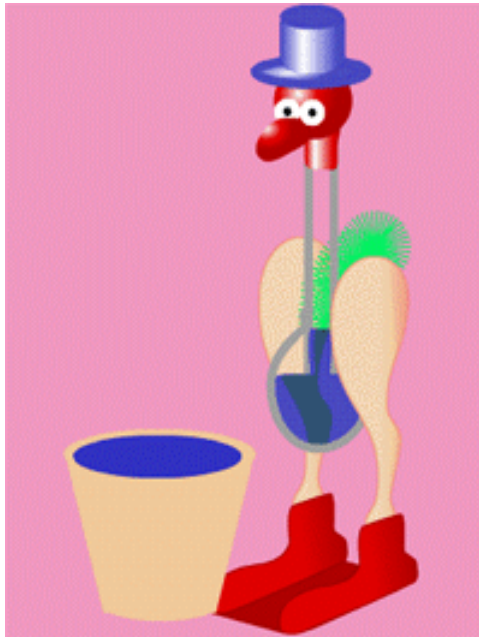
**GDAŃSK**

**20 kwietnia - 17 maja 2006**

Miejsce Wystawy: Międzynarodowe Targi Gdańskie, ul. Bentowskiego 5, Hala  
Główna, ul. 31.03.1945, 80-203 Gdańsk, tel. 58 309 10 10, www.mtg.gdansk.pl  
Organizator wystawy: WIS Interia S.A., ul. Polna 10, 80-203 Gdańsk, tel. 58 309 10 10, www.wisinteria.pl

echina

# MULTIMEDIA



# eFizyka

$\Delta\psi = \frac{1}{v_f} \delta\lambda P$        $E = mc^2$

*Fale*

*Drgania*      *Optyka*      *Termodynamika*

*Dyfrakcja*      *Gravitacja*      *Rzuty*

*Dynamika*      *Kepler*      *Kinematyka*

2

2:13

1 2 3 4 5 6

na – kują) to warstwa powietrza otulająca Ziemię.

ATMOSFERA

egzosfera

termosfera

jonosfera

mezosfera

najdłuższe cząsteczki wiatru

skrajnie zimno

zorza

najbliższe satelity

fale radiowe

Moc

Moc w przyrodzie i technice

1 2 3 4 5

4:9

Moc w przyrodzie

Moc w przyrodzie

Moc w technice

Płotun.  $P = 7 \cdot 10^{14} \text{ W}$

Sila gravitacji

Przyciąganie mas punktowych i ciał o sferycznie symetrycznych rozkładach masy

Czy można traktować przyciąganie Ziemi tak samo, jak przyciąganie punktowej masy o tej samej wartości co Ziemia, umieszczonej w jej środku?

00 : 00:20

0 1 2 3 4 5 6 7 8

6:8

Gdzie odzyskamy przyspieszenie grawitacyjne?

$F_1 = \frac{Gm_1^2}{r_1^2}$

$F_2 = \frac{Gm_2^2}{r_2^2}$

$F_3 = \frac{Gm_3^2}{r_3^2}$

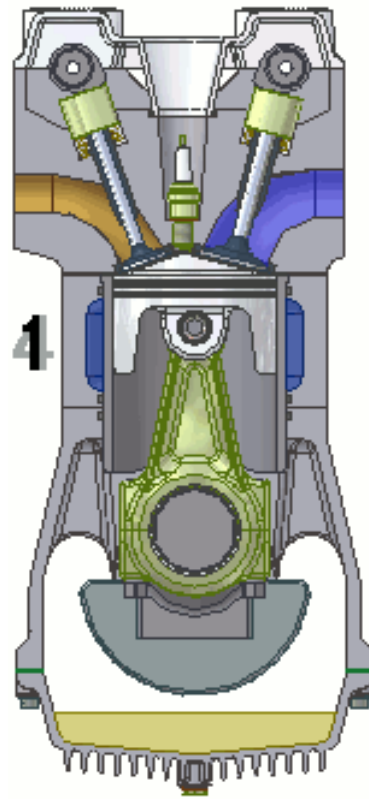
masa punktuowa

# **MULTIMEDIA**

**Programy multimedialne takie jak filmy, animacje, programy komputerowe oraz interaktywne ćwiczenia coraz częściej stosowane są w nauczaniu fizyki.**

**Programy te pobudzają wyobraźnię uczących się do modelowego rozpatrywania omawianych zjawisk i w ten sposób zwiększają stopień ich zrozumienia i zapamiętania. Nauczanie fizyki dzięki temu podąża za rozwojem środków przekazu. Zgodnie ze starym powiedzeniem „obraz stanowi równoważność tysiąca słów”, a doświadczenie lub film składają się z tysięcy obrazów. Tak więc zastosowanie środków multimedialnych może zarówno uatrakcyjnić nauczanie, jak i pogłębić zrozumienie praw i zjawisk fizycznych.**





*material internetowy*

**Multimedia uatrakcyjnijają proces nauczania i utrwalają zdobytą wiedzę. Często służą do ilustracji zjawisk trudnych do wyobrażenia lub niemożliwych do realizacji. Szczególnie dużą wartość dydaktyczną mają profesjonalne filmy uzupełnione dodatkowo o animacje, grafikę, ujęcia w zwolnionym, względnie przyśpieszonym czasie oraz zdjęcia stroboskopowe. Równie interesujące są filmy video tych eksperymentów których nie można zaprezentować podczas lekcji ze względu na czas ich trwania, koszt wykonania oraz bezpieczeństwo. Korzystając z możliwości współczesnej techniki cyfrowej studenci mogą już tylko przy wykorzystaniu aparatu cyfrowego wykonywać samodzielnie krótkie filmy.**

# PRZYKŁADY FILMÓW WYKONANYCH PRZY UŻYCIU APARATU CYFROWEGO LUB KAMERY.



# **MULTIMEDIA NALEŻY STOSOWAĆ Z UMIAREM !!!!!**

**Nadmierne stosowanie form wirtualnych w nauczaniu fizyki może prowadzić do trudności w odróżnieniu rzeczywistości od jej wirtualnego obrazu oraz zatracenia umiejętności wykonywania pomiarów i interpretacji wyników. Dlatego filmy, symulacje i animacje komputerowe nie powinny zastępować rzeczywistego eksperymentu fizycznego lecz go uzupełniać i ubogacać.**

# ZAKOŃCZENIE

**Nauczanie fizyki, podobnie jak sama fizyka, mogą być niezwykle ciekawe. Obecnie mamy ogromną ilość różnych środków ułatwiających zrozumienie i zainteresowanie uczących się, a główna trudność polega na wybraniu odpowiednich narzędzi. Jak zawsze trzeba zachować umiar zarówno w liczbie prezentowanych eksperymentów rzeczywistych i wirtualnych, jak i w stopniowaniu trudności zagadnień teoretycznych i zadań rachunkowych.**

**Jak zauważył A. Einstein - w początkowym okresie nauczania fizyki należy skoncentrować się głównie na prezentacji rzeczywistych, a obecnie także i wirtualnych eksperymentów fizycznych, a potem stopniowo włączać aparat matematyczny do opisu zjawisk, gdyż abstrakcyjne rozumowanie rozwija się z wiekiem.**

**Nauczana tak młodzież dochodzi do wniosku że fizyka jest OK.**

