

Zajęcia dla uczniów zainteresowanych fizyką i ich nauczycieli.



Paradoksy w fizyce

Krzysztof Korona

12 XI 2008

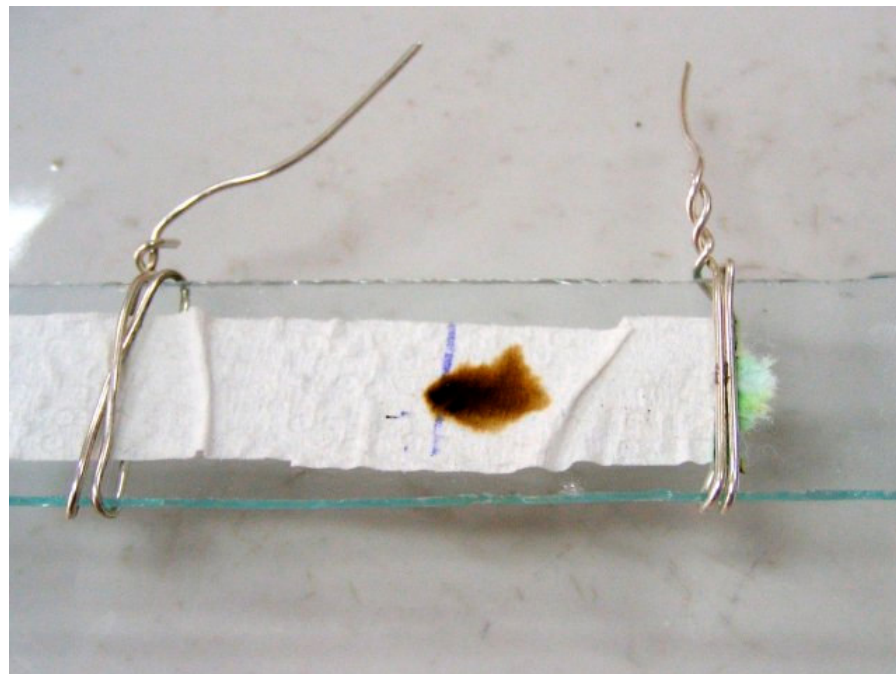
11:30 - 14:00

Paradoks to zdanie, rozumowanie lub obserwacja, która zawiera (lub zdaje się zawierać) sprzeczne ze sobą stwierdzenia.

Na przykład, zdanie: *"Niniejsze zdanie jest fałszywe."*

Paradoksy łącząc sprzeczności, formułują nieraz nowe prawdy.

Elektryczność



Przepływ prądu przez bibułę z KMnO_4

Dysocjacja:



Dlaczego ptaki siedzące na przewodach elektrycznych są bezpieczne?



Prąd nie płynie przez ptaki dopóki siedzą tylko na jednym przewodzie. Opór metalowego przewodu jest tak mały, że różnica potencjałów wzdłuż przewodu nie stanowi zagrożenia.

Ładunek elektronów mobilnych elektronów w 1 m drutu, to około 6000 C. Żarówka pobiera prąd około 0,3 A. Elektrony muszą zatem płynąć z prędkością:

$$0,3 \text{ C/s} / 6000 \text{ C/m} = 0.05 \text{ mm/s.}$$

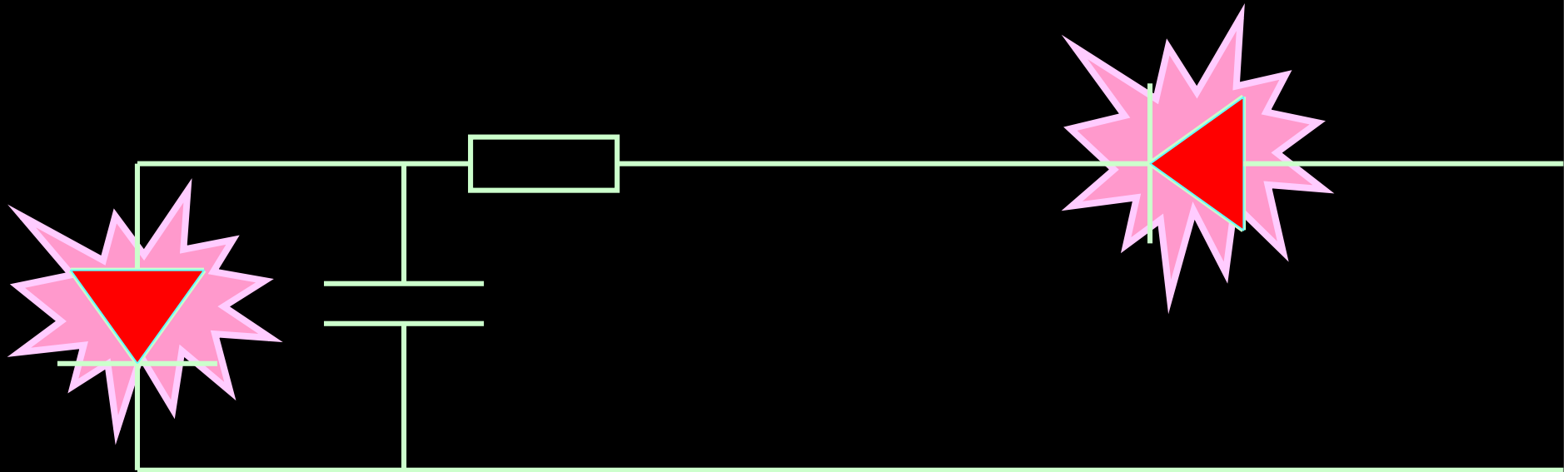
Jest to prędkość mniejsza od prędkości ślimaków, natomiast podobna do tej, z jaką rosną grzyby.

Dlaczego zatem żarówka zapala się natychmiast po włączeniu prądu?

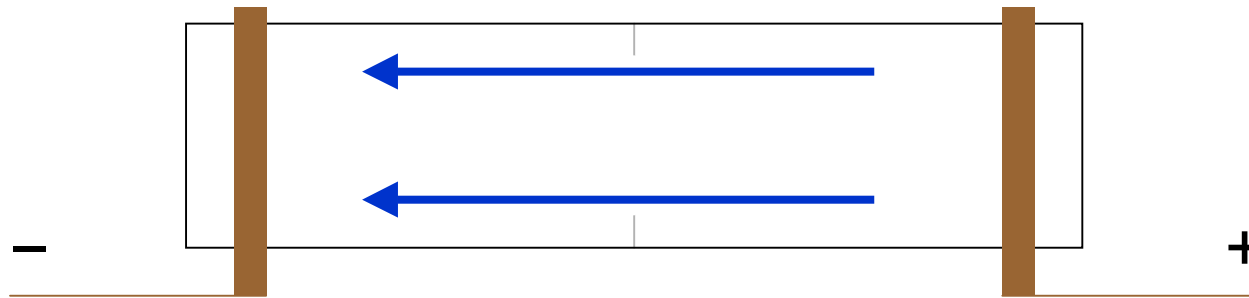
Ciekawostka:

Prędkości nośników w półprzewodnikach są znacznie większe, mogą dochodzić do 100 000 m/s.

Żarówka zapala się gdy dotrze do niej
napięcie.



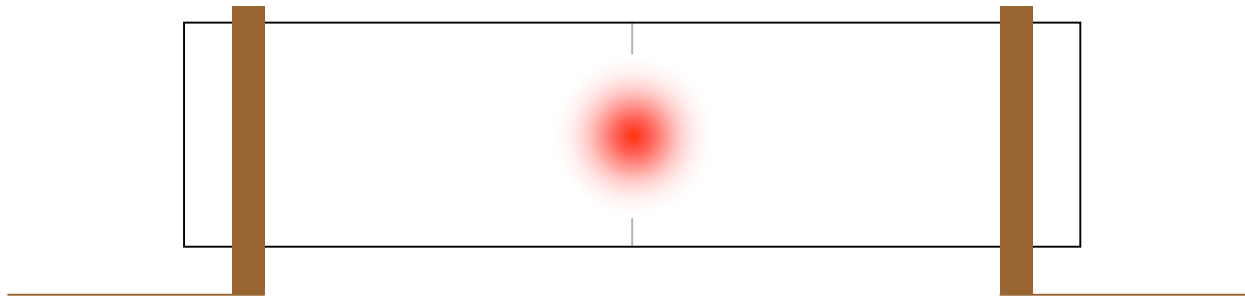
Prąd elektryczny można zobaczyć



Pole elektryczne

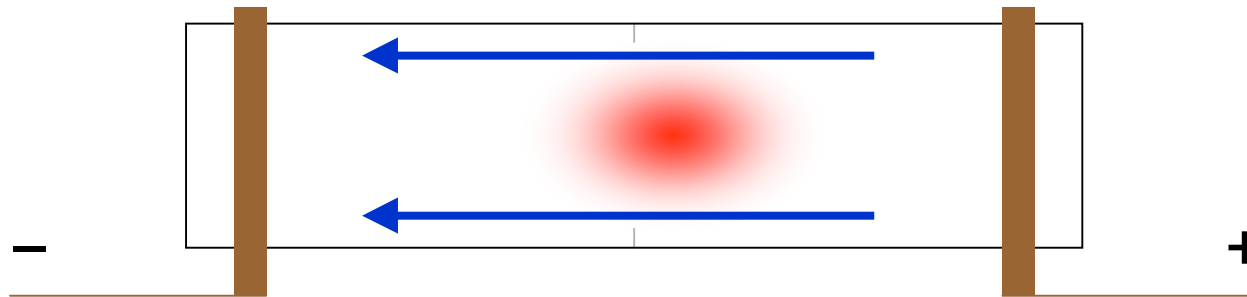
Jony poruszają się też dzięki ruchom termicznym.

dyfuzja



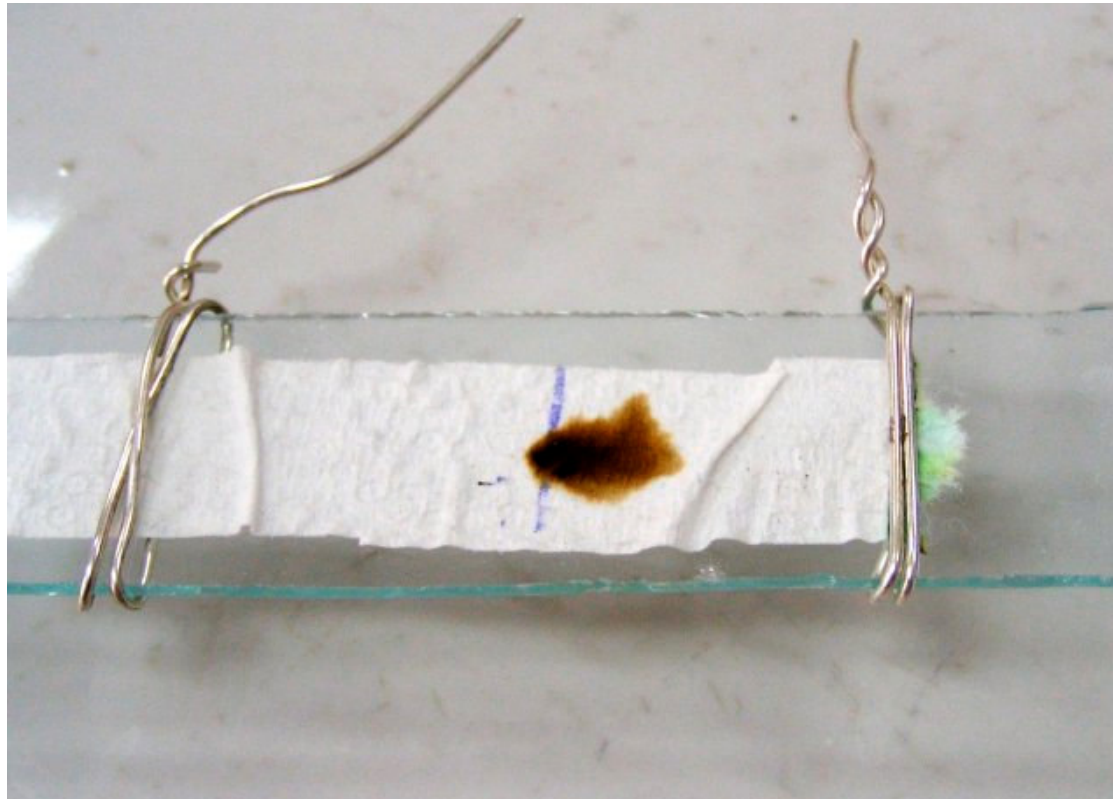
Prąd elektryczny może być przenoszony przez jony.

dyfuzja + unoszenie



Pole elektryczne

Przepływ prądu przez bibułę z KMnO_4



Gęstość prądu \mathbf{j} = strumień jonów:

$$\mathbf{j} = v \cdot n \cdot e,$$

Prędkość jonów (nośników ładunku) w polu elektrycznym E :

$$v = \mu E,$$

gdzie μ to ruchliwość, a więc:

$$\mathbf{j} = en\mu E.$$

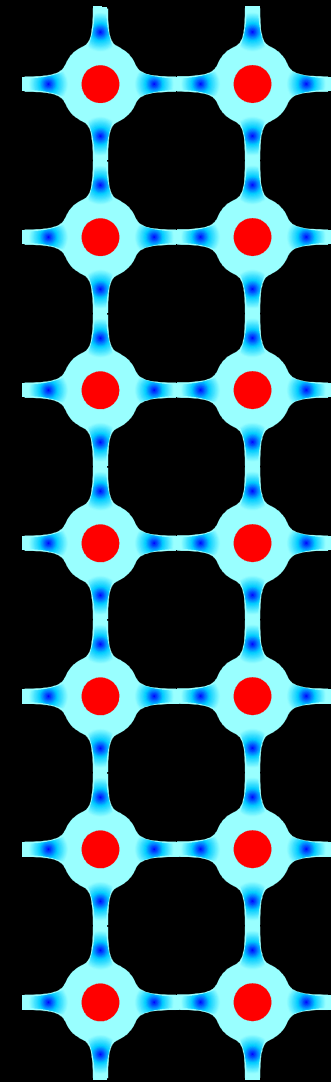
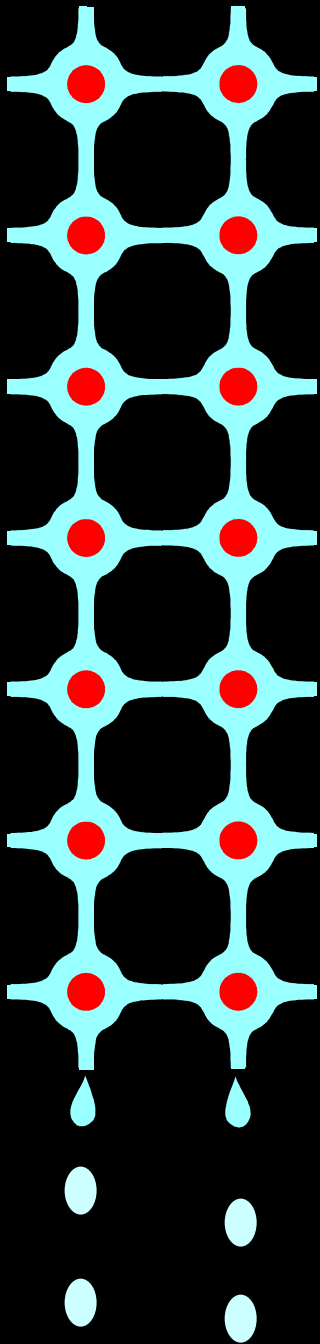
Dioda

Dlaczego w rurze wypełnionej wodą, woda może płynąć, a w wypełnionym elektronami paśmie stanów w kryształach, elektrony nie mogą płynąć?

Dioda przewodząca

Decydują o tym prawa mechaniki kwantowej.

Elektrony musimy traktować jak fale. Mechanika kwantowa mówi nam, że jeżeli będziemy mieli wszystkie stany obsadzone, to będziemy mieli tylko fale stojące.



Paradoksy Zenona z Elei



Zenon z Elei (żył ok. 490 - 430 p.n.e.), filozof grecki. Następca Parmenidesa z Elei, główny przedstawiciel szkoły eleatów, twórca dialektyki. Zajmował się ruchem, twierdził, że ruch jest złudzeniem, a prędkość jest względna, a więc nieokreślona.

Jego najbardziej znane paradoksy to wyścig żółwia i Achillesa oraz paradoks strzały.

Der Wettkampf zwischen Achilles und Schildkröte ist wahrscheinlich sein berühmtes Paradoxon. Held Achilles versucht die Schildkröte einholen, die allerdings einen Vorsprung vor ihm hat. Wenn er die ursprüngliche Distanz zurücklegt, ist sie schon ein Stück weiter gegangen. Laft er auch noch diese Strecke, ist sie wieder ein Stückchen voran gegangen. Usw. Zenon's Schlussfolgerung: Achilles wird nie die Schildkröte einholen.

Paradoks strzały:

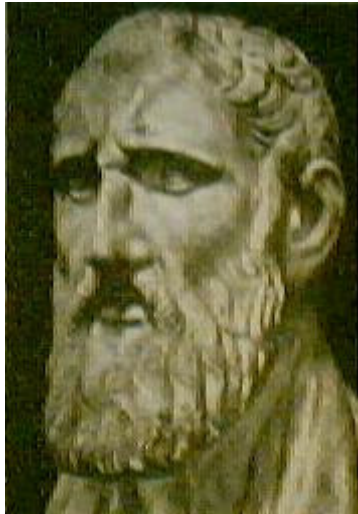
Wystrzelona strzała, aby przebyć drogę do celu, musi najpierw przebyć jej połowę, potem połowę drogi pozostałej itd., a więc musi przejść nieskończoną liczbę odcinków. Nieskończoności nigdy nie można osiągnąć, a więc strzała nigdy nie dotrze do celu.

Obecnie potrafimy sumować nieskończone ciągi liczb:

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots = 1$$

$$\frac{1}{q} + \frac{1}{q^2} + \frac{1}{q^3} + \dots = \frac{1}{q-1}$$

Paradoksy Zenona z Elei



Zenon z Elei (żył ok. 490 - 430 p.n.e.), filozof grecki. Następca Parmenidesa z Elei, główny przedstawiciel szkoły eleatów, twórca dialektyki. Zajmował się ruchem, twierdził, że ruch jest złudzeniem, a prędkość jest względna, a więc nieokreślona.

Jego najbardziej znane paradoksy to wyścig żółwia i Achillesa oraz paradoks strzały.

Der Wettkampf zwischen Achilles und Schildkröte ist wahrscheinlich sein berühmtes Paradoxon. Held Achilles versucht die Schildkröte einholen, die allerdings einen Vorsprung vor ihm hat. Wenn er die ursprüngliche Distanz zurücklegt, ist sie schon ein Stück weiter gegangen. Laufen er auch noch diese Strecke, ist sie wieder ein Stückchen voran gegangen. Usw. Zenon's Schlussfolgerung: Achilles wird nie die Schildkröte einholen.

Paradoks strzały:

Wystrzelona strzała, aby przebyć drogę do celu, musi najpierw przebyć jej połowę, potem połowę drogi pozostałej itd., a więc musi przejść nieskończoną liczbę odcinków. Nieskończoności nigdy nie można osiągnąć, a więc strzała nigdy nie dotrze do celu.

Pozostaje jednak pytanie:

Czy przestrzeń i materia dają się dzielić w nieskończoność?

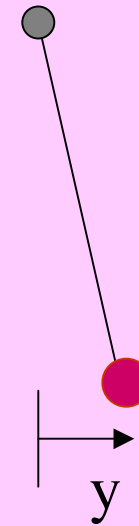
Podzielność czasu i przestrzeni



Izaak Newton (1643 - 1727)

wynalazł rachunek różniczkowy

Wahadło

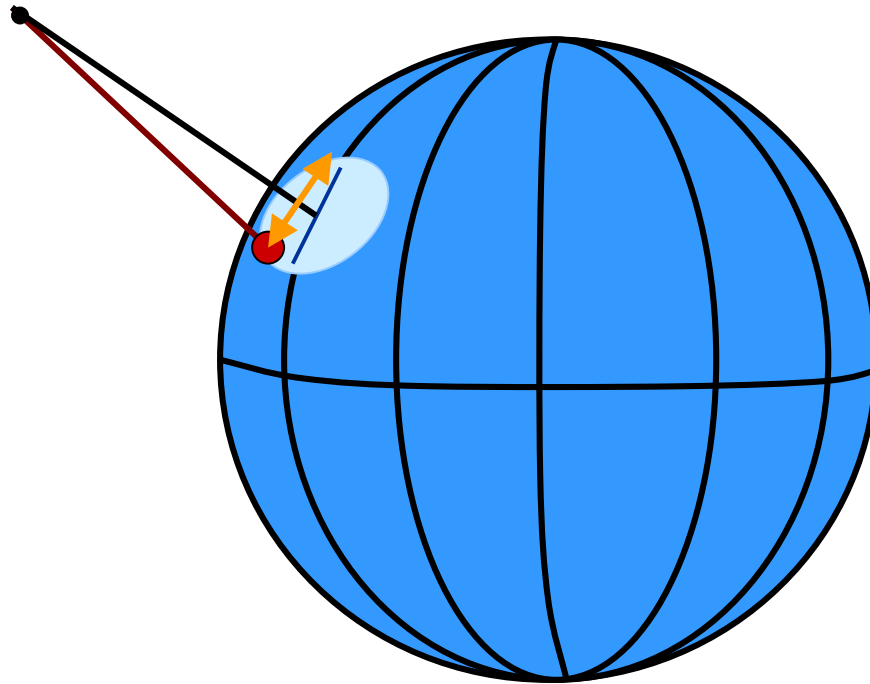


$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -\omega^2 y$$

$$y(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$$

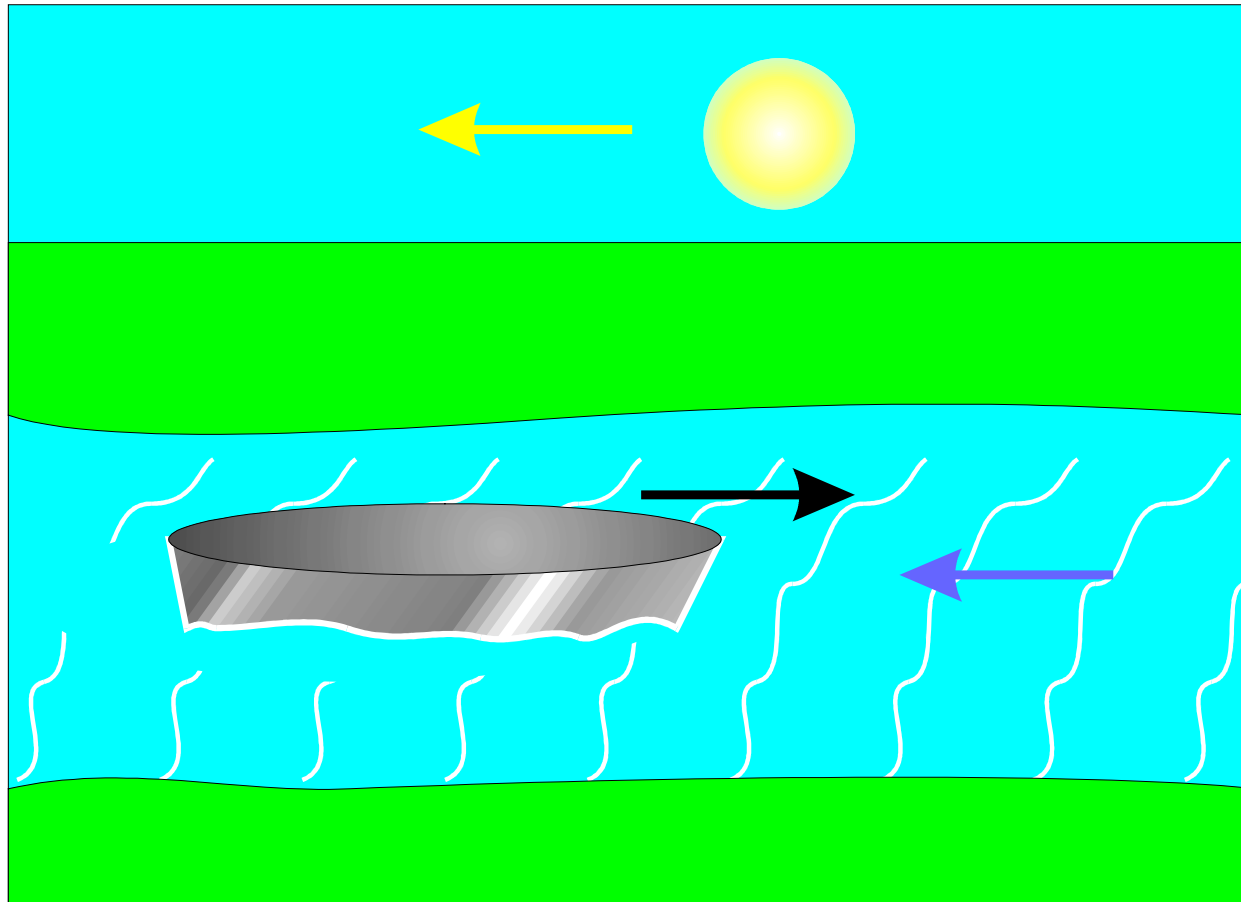
Co się kręci:

Ziemia czy reszta wszechświata?



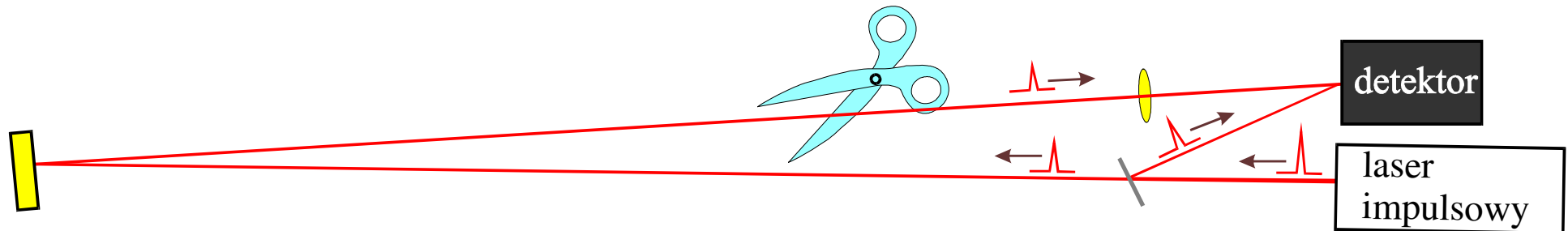
Wahadło Foucaulta

Zasada względności Galileusza



Każdy układ poruszający się ze stałą prędkością jest równoważny.
Wszystkie prawa fizyki w takich układach są identyczne.

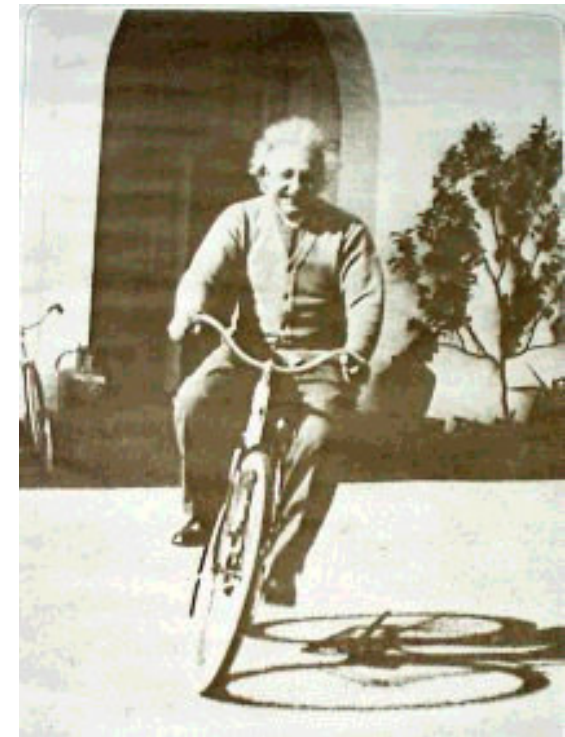
Pomiar prędkości światła



$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$
$$c \approx 300\,000 \text{ km/s} = \mathbf{0.3 \text{ m/ns}}$$

Zasada względności Einsteina

We wszystkich układach poruszających się ze stałą prędkością, prędkość światła jest taka sama.



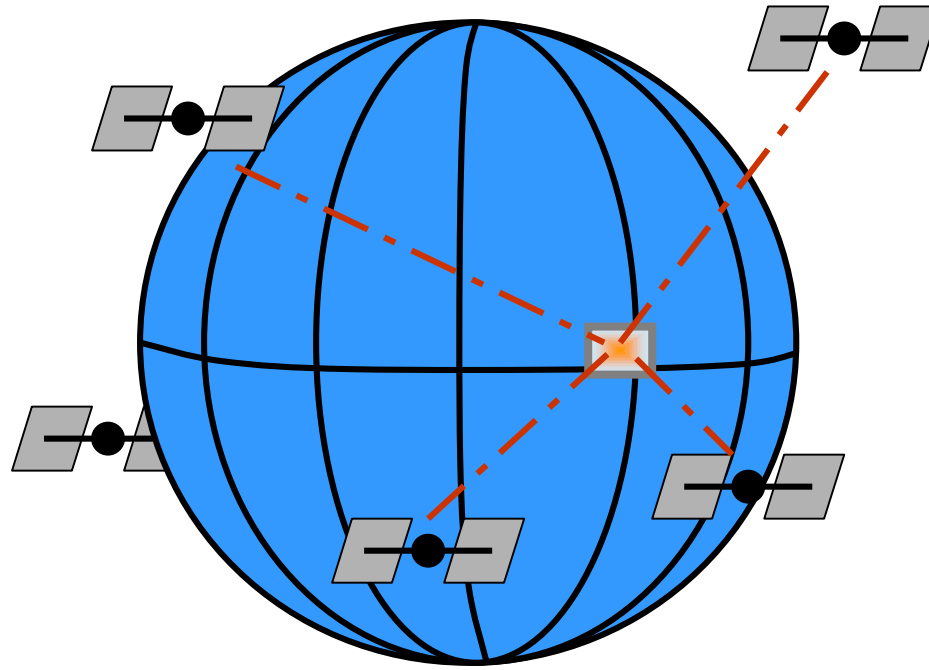
Paradoks bliźniąt

Aby prędkość światła była stała w układach poruszających się względem siebie, czas musi płynąć wolniej, a odległości muszą ulec skróceniu. Oznacza to, że geometria czasoprzestrzeni jest inna niż nam się wydaje.

Według pozostających na Ziemi, czas w pędzącej rakiecie płynie wolniej. Jednak podróżnicy zauważają, że to na Ziemi czas płynie wolniej. Kto ma rację?

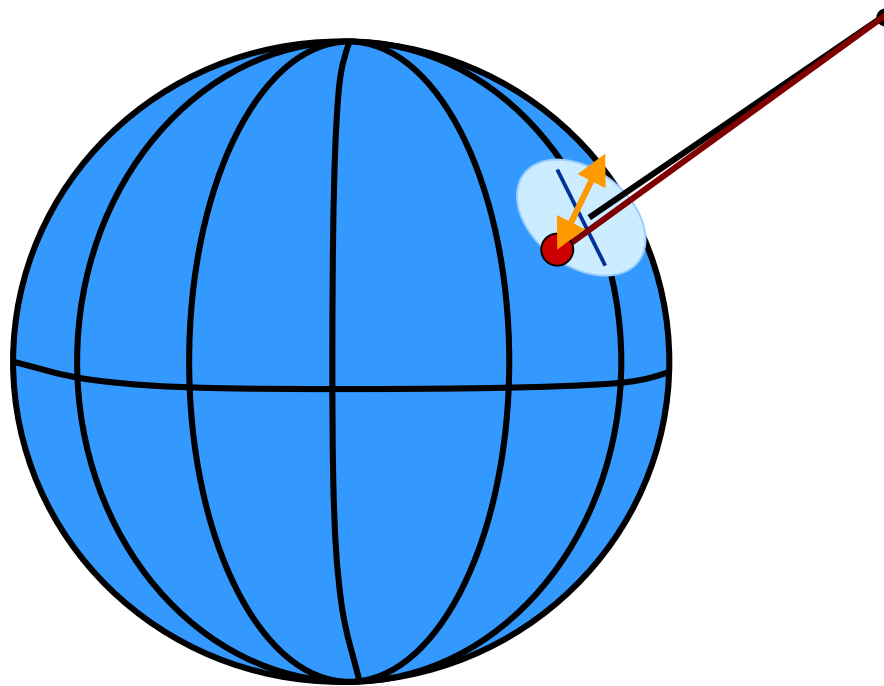
Tak naprawdę zgodzą się dopiero, gdy rakieta zacznie hamowanie. Czas zwalnia także pod wpływem o pola grawitacyjnego.

GPS - Global Positioning System



Z powodu spowolnienia czasu wywołanego prędkością, zegary na satelitach GPS spóźniałyby się o $7 \mu\text{s}$ na dobę. Z powodu grawitacji, ziemskie zegary spóźniają się $45 \mu\text{s}$ na dobę. Różnica czasu $1 \mu\text{s}$ daje różnicę położenia 300 m . Oznacza to, że bez poprawek relatywistycznych GPS myliłby się ponad 10 km/dobę .

Wahadło Foucaulta

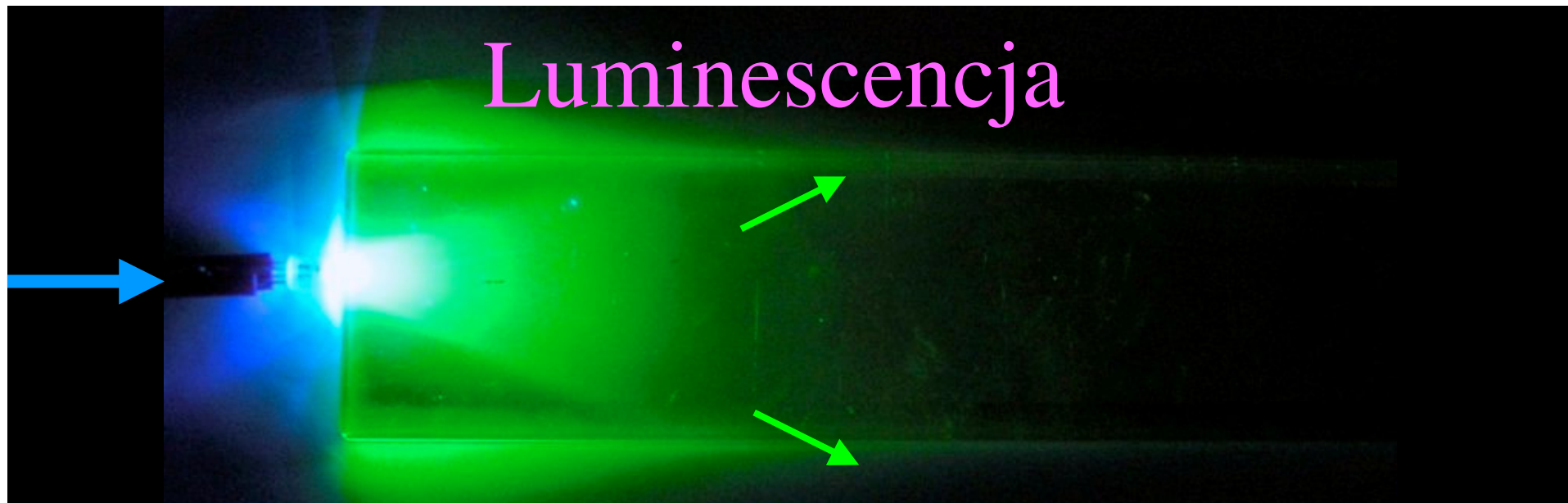


$$\omega = 15^\circ/h * \sin(\phi)$$

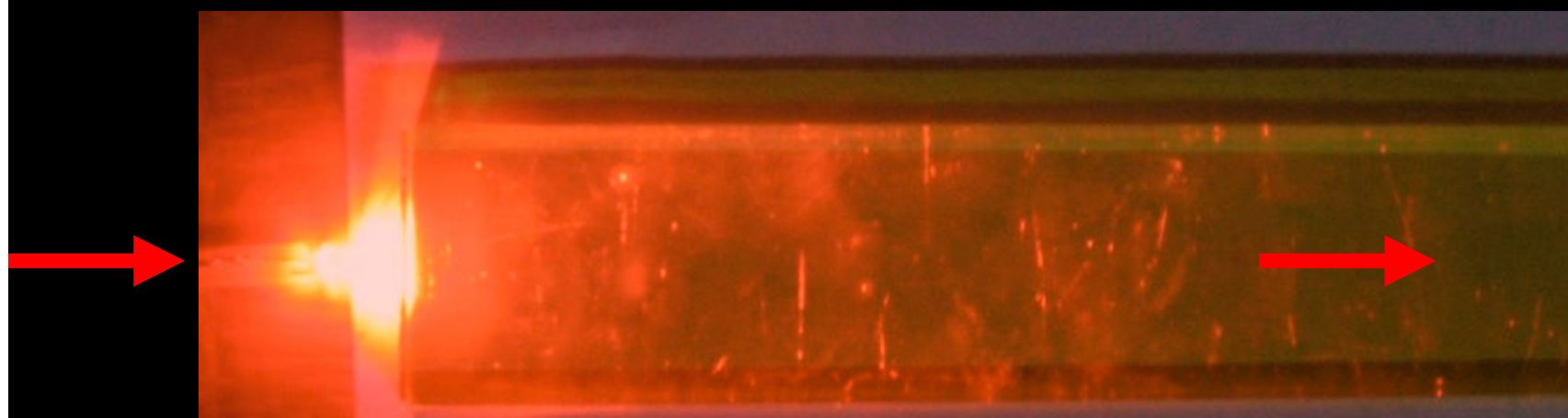
ϕ - szerokość geograficzna

A jednak się kręci!

Luminescencja

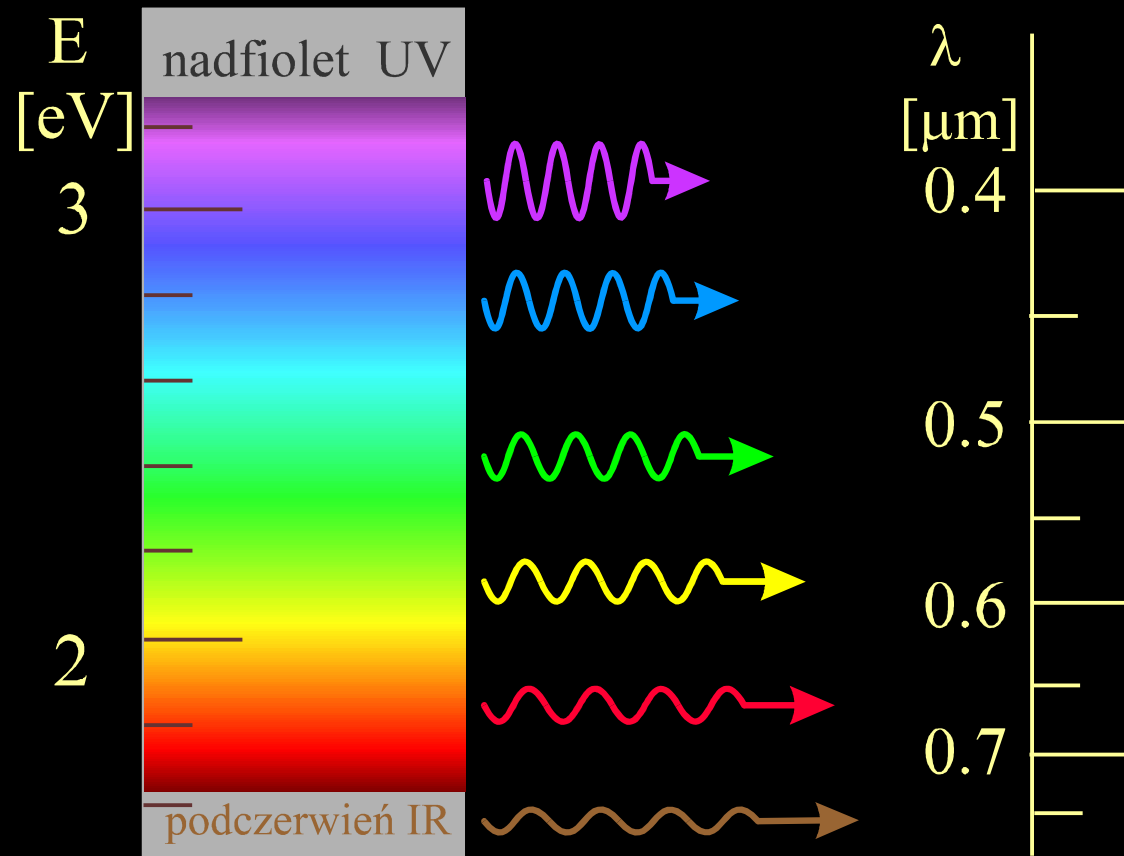


Wysokoenergetyczne (niebieskie) fotony mogą pobudzać elektrony na wyższe poziomy. Elektrony rekombinując emitują fotony o niższej energii (zielone). Zjawisko to nazywamy fotoluminescencją.



Światło czerwone przechodzi nie wzbudzając świecenia.

Energia fotonów

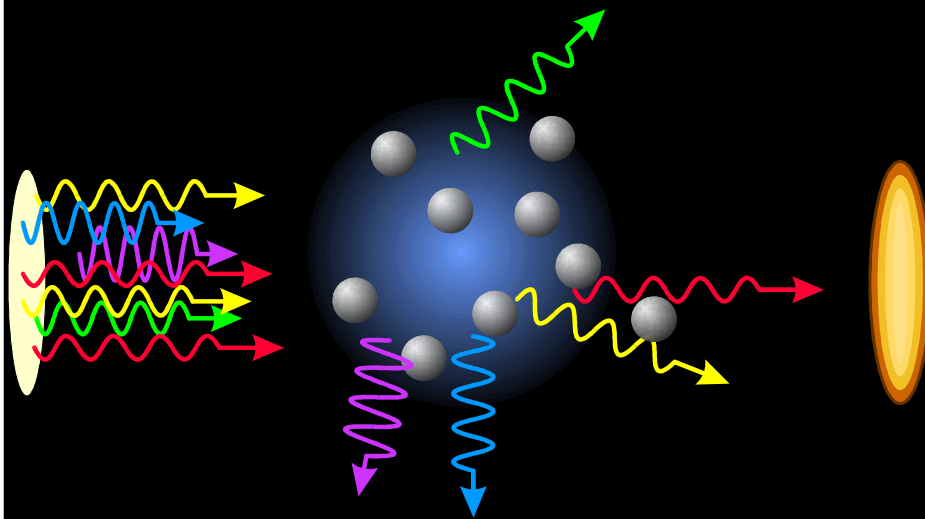


Energia, E , fotonów światła jest odwrotnie proporcjonalna do długości fali, λ , a proporcjonalna do częstości, ν :

$$E = \frac{hc}{\lambda} = h\nu$$

Dlaczego niebieskie światło wydaje się nam zimne?

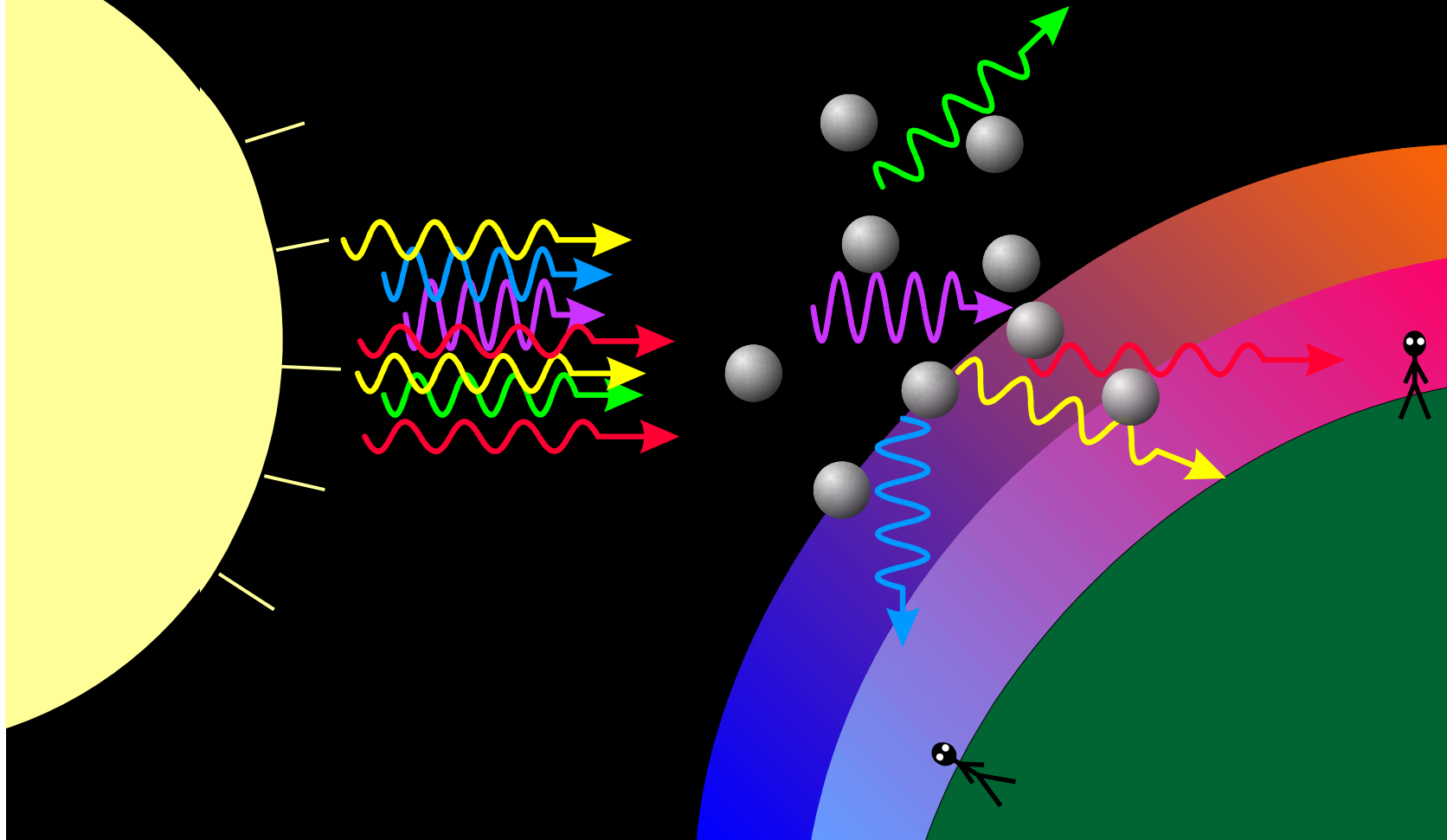
Im krótsza fala, tym silniej się rozprasza.



Najłatwiej przechodzi światło czerwone. Najsilniej rozpraszane jest światło fioletowe.

W akwarium rozprasza się głównie światło niebieskie!

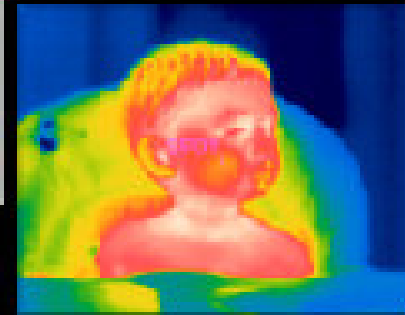
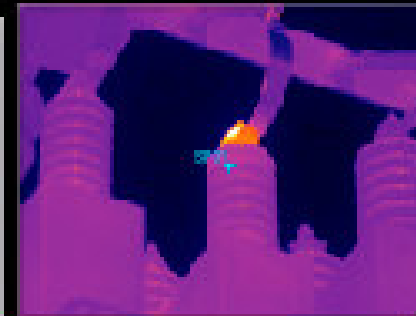
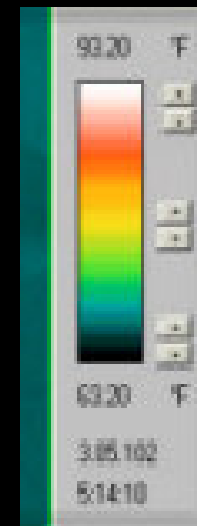
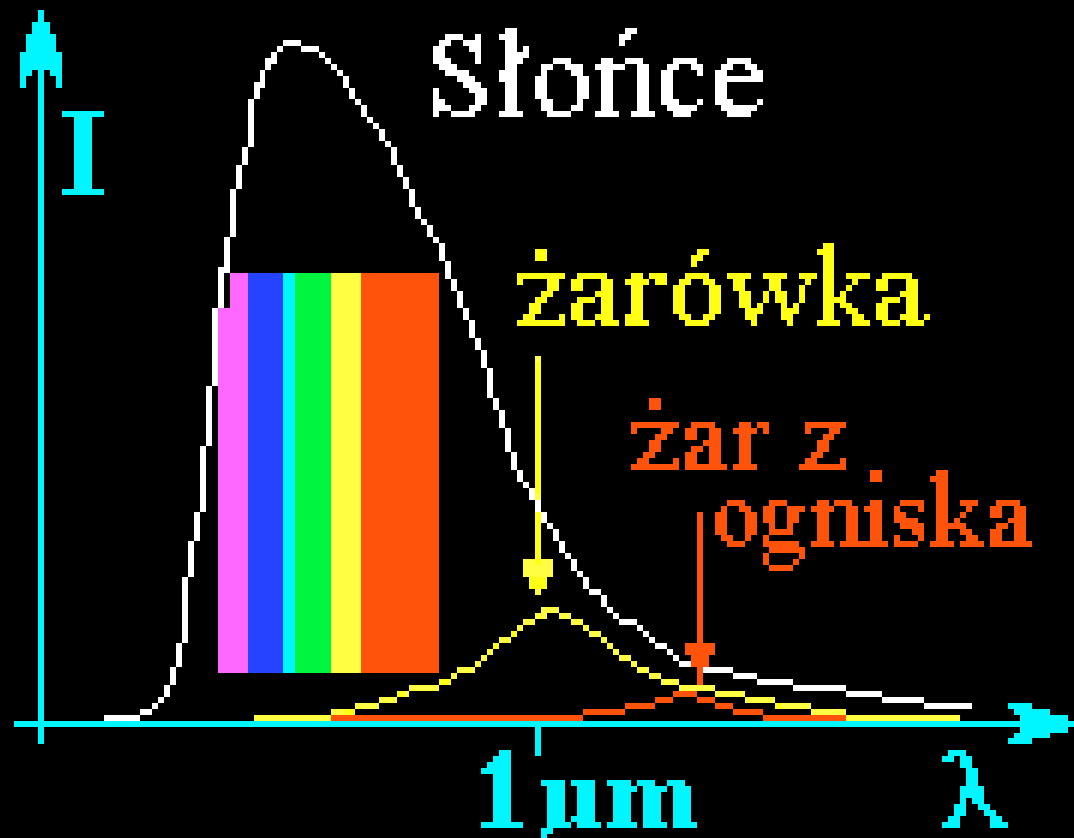
Rozpraszanie światła w atmosferze



Niebieskie światło jest silnie rozpraszane dlatego dociera do nas z różnych stron nieba, także tych odległych od słońca, a więc zimnych.

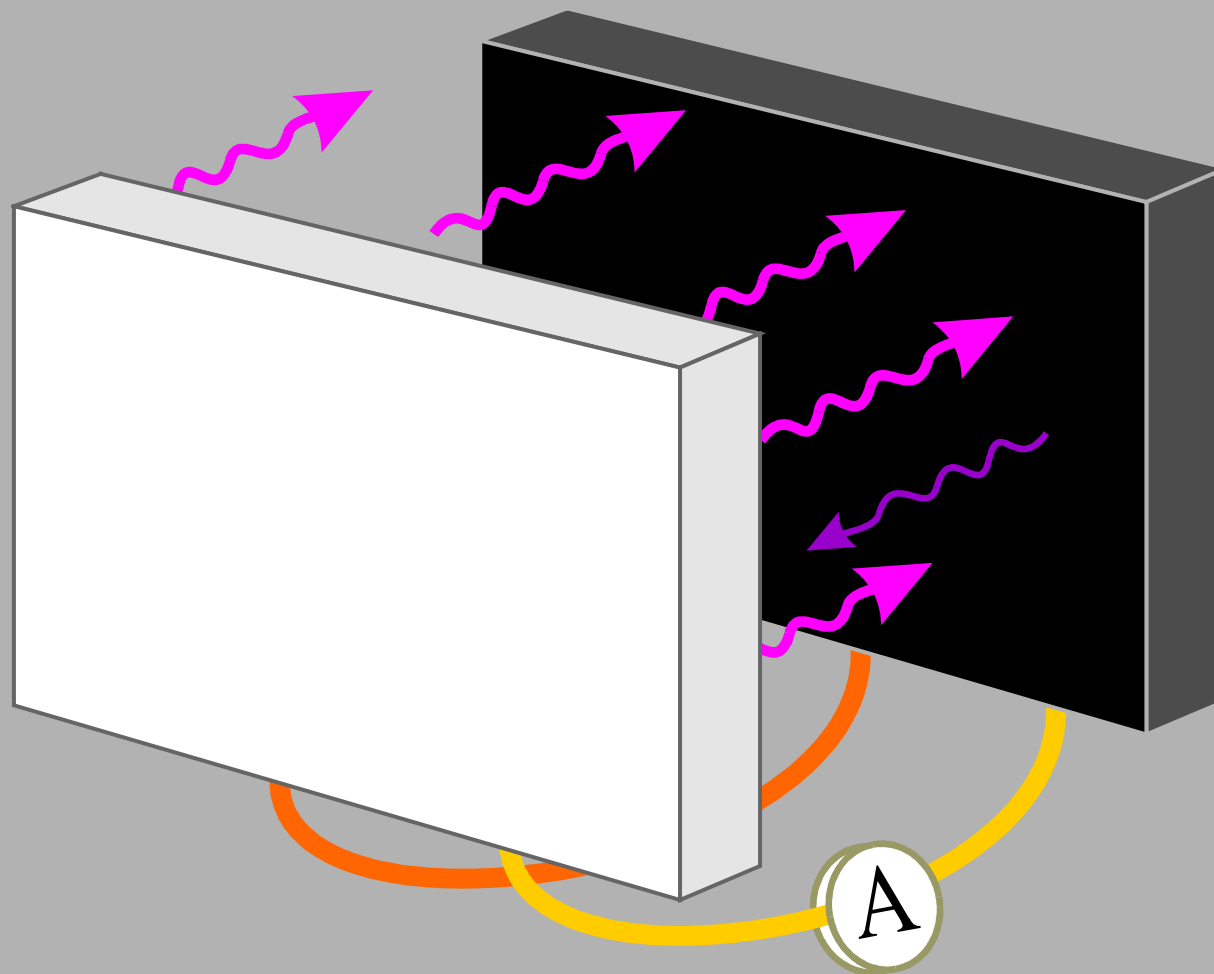
Światło czerwone słabo się rozprasza, dlatego dociera do nas głównie wprost ze słońca.

Świecenie rozgrzanych ciał

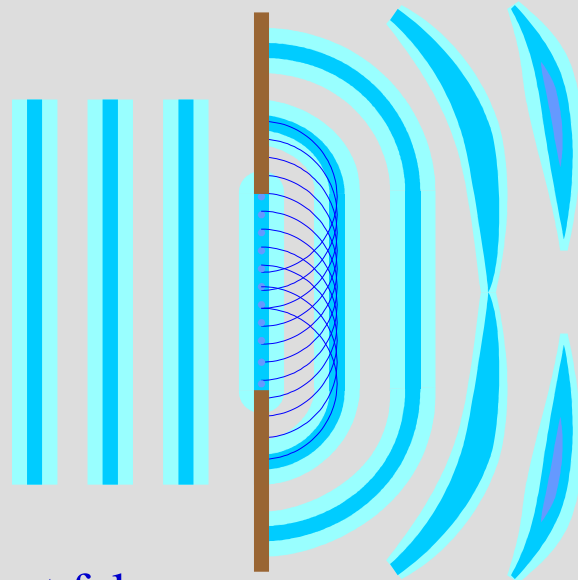


**Kamera
podczerwona**

Świetlne perpetuum mobile



F o t o n y



licznik 1 

licznik 2 

licznik 3 

Liczniki liczą pojedyncze, nierównoczesne impulsy odpowiadające uderzeniom cząstek światła, czyli fotonów.

Światło jest falą.

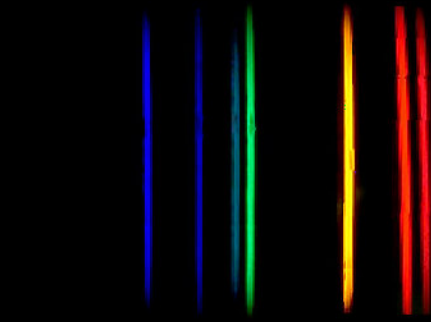
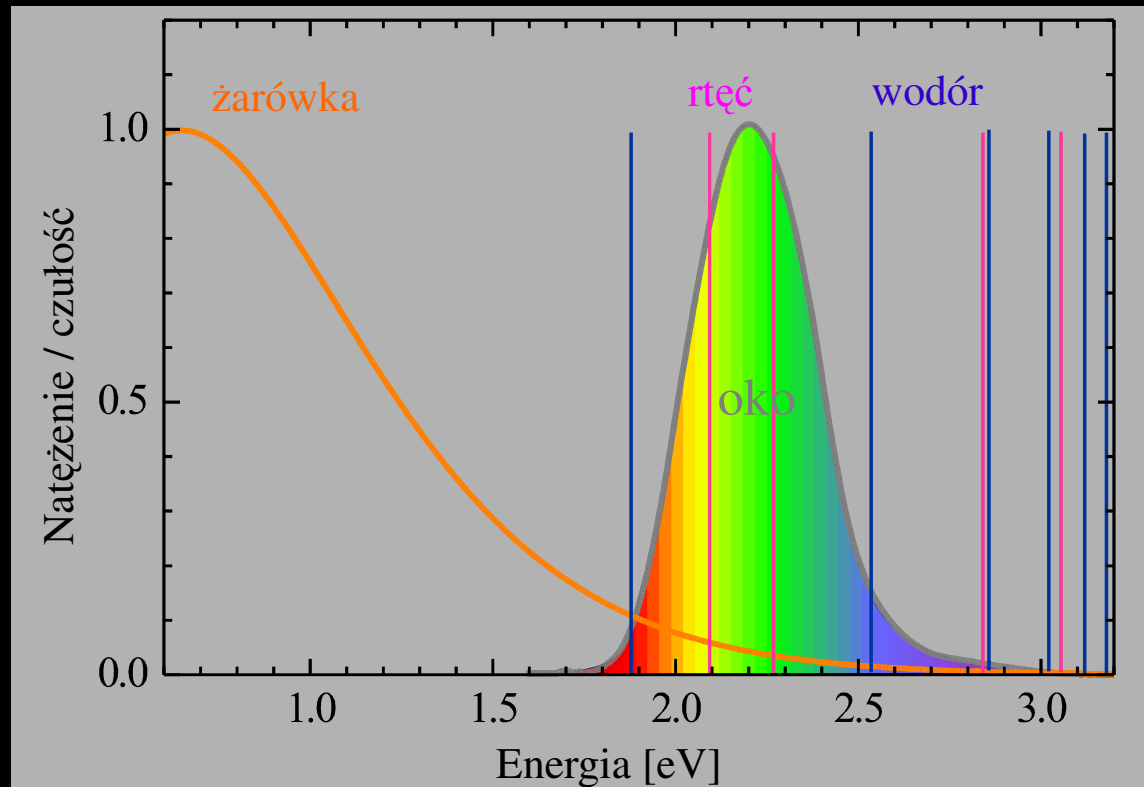
Fale interferują

Światło jest strumieniem cząstek.

Światło rozchodzi się w postaci fal, ale oddziałując przekazuje pojedyncze porcje energii, czyli kwanty. Kwanty te zachowują się jak cząstki. Mówimy, że światło składa się z cząstek zwanych **fotonami**. Pęd, p , fotonów światła zależy od długości fali, λ , lub wektora falowego, k :

$$p = \frac{h}{\lambda} = \hbar k$$

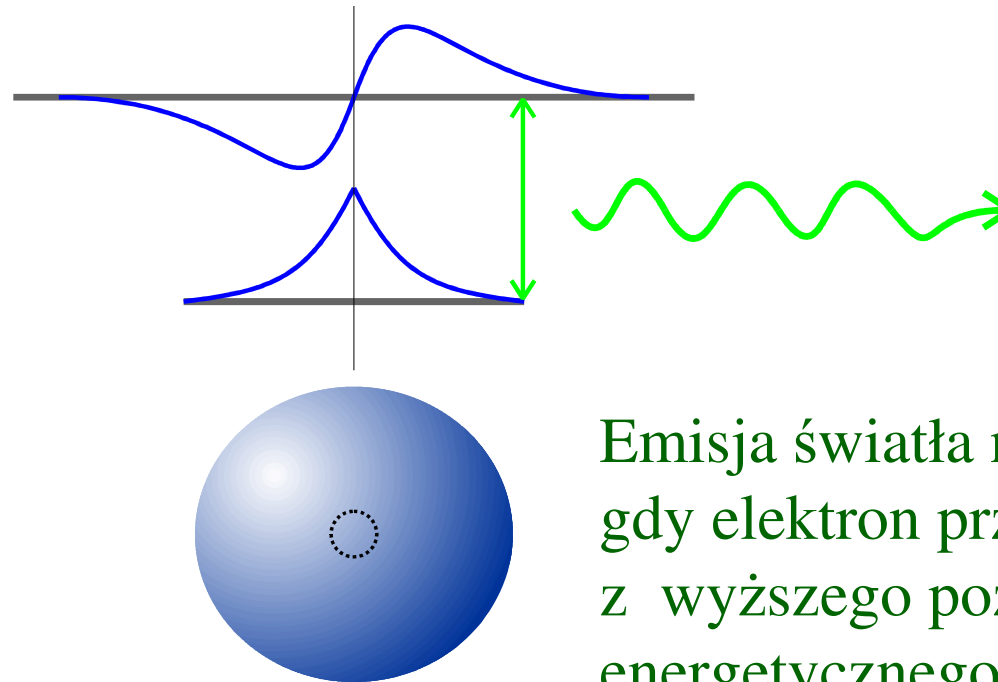
Świecenie gazów w rurkach Plücker'a



Widmo świecenia helu

W przeciwieństwie do ciągłego widma świecenia gorących ciał, gazy świecą widmami liniowymi.

Elektron w atomie



Emisja światła następuje,
gdy elektron przechodzi
z wyższego poziomu
energetycznego na niższy.

Elektron zamknięty w atomie może mieć
tylko pewne mody drgań (stany kwantowe)
i pewne częstotliwości (poziomy energetyczne).

Dualizm korpuskularno-falowy, cząstki jako fale

Obiekty materialne o masie m i energii kinetycznej E_k są falami o długości fali λ :

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_{kin}}}$$

Przykłady:

Elektron o energii 100 keV:

$$\lambda = 1,2 \text{ \AA}.$$

Kot o masie 3 kg ($v = 5 \text{ m/s}$):

$$\lambda = 0,4 \cdot 10^{-24} \text{ \AA}.$$

$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} \approx$ średnica atomu wodoru.

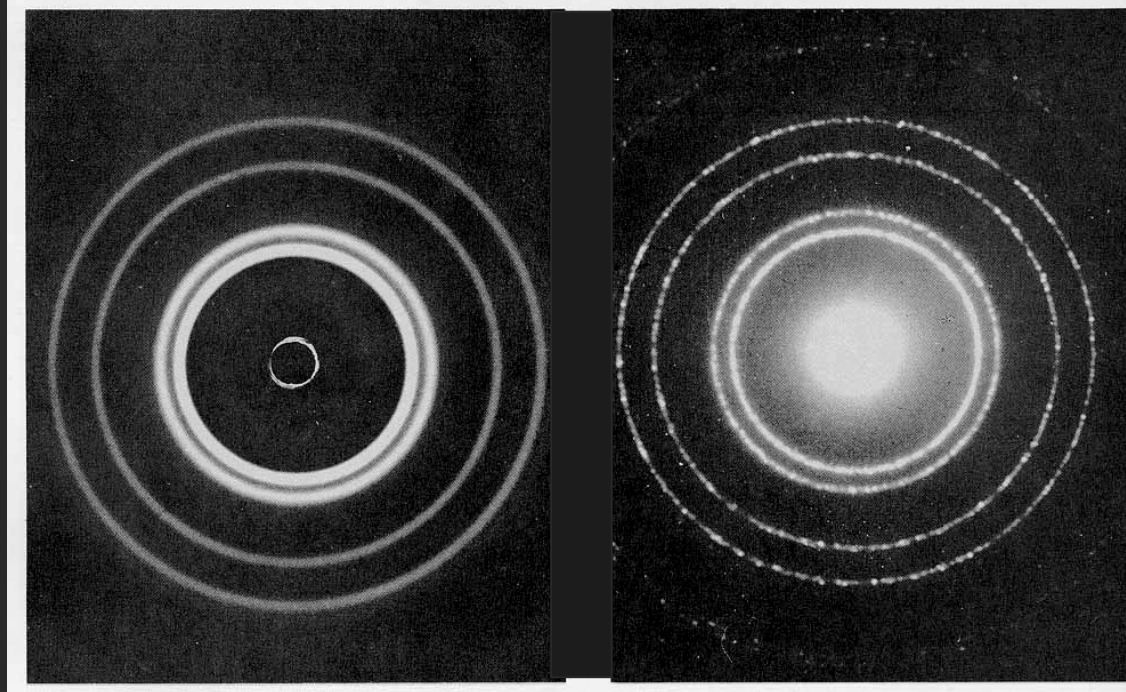


Louis de Broglie
nagroda Nobla 1929

Dyfrakcja i interferencja

promienie Rentgena

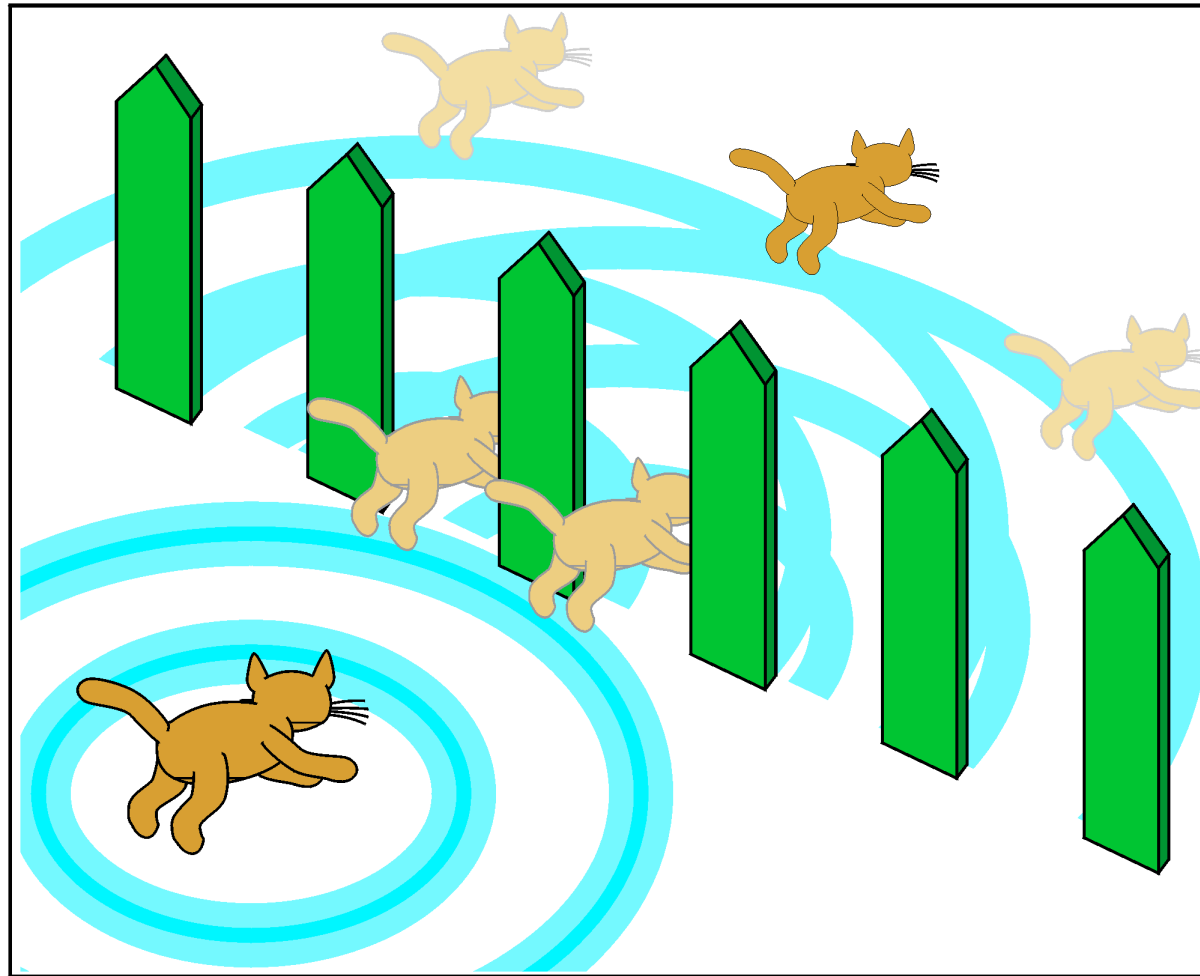
elektrony



Dyfrakcja promieni Rentgena i elektronów
na folii aluminiowej

G. P. Thompson i A. Reid (1927)

Kot Schrödingera



Czy kot może znajdować się jednocześnie w dwóch miejscach?

Dualizm korpuskularno-falowy, cząstki jako fale

Obiekty materialne o masie m i energii kinetycznej E_k są falami o długości fali λ :

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_{kin}}}$$

Przykłady:

Elektron o energii 100 keV:

$$\lambda = 1,2 \text{ \AA}.$$

Kot o masie 3 kg ($v = 5 \text{ m/s}$):

$$\lambda = 0,4 \cdot 10^{-24} \text{ \AA}.$$

$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} \approx$ średnica atomu wodoru.



Louis de Broglie
nagroda Nobla 1929

Lewitacja nadprzewodnika



Nadprzewodnik unosi się nie tylko dzięki prądom wirowym oraz dzięki efektowi Meissnera. (wypychanie diamagnetyka z pola magnetycznego).

Nadprzewodnictwo pojawia się dzięki kwazicząstkom zwanym parami Coopera, których istnienie wynika z praw mechaniki kwantowej.

Prawo Bernoulliego

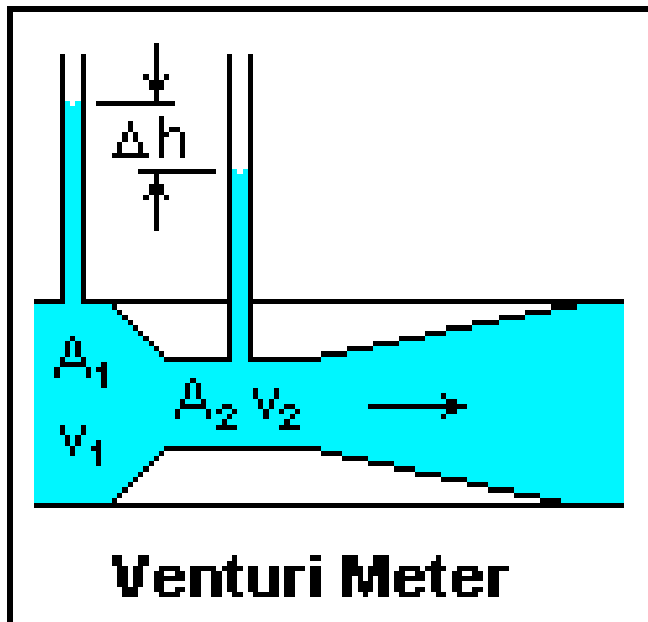


Ciecz lub gaz przepływająca w naczyniach o różnej średnicy zmienia swoje ciśnienie. W miejscach szerszych ciśnienie rośnie, a w węższych - maleje.

Ciśnienie płynącej cieczy

Gdy ciecz przepływa przez przewężenie musi przyspieszyć, co oznacza, że jej energia kinetyczna rośnie. Aby suma energii była stała, zmniejsza się jej energia potencjalna związana z ciśnieniem.

$$E = pV + \frac{mv^2}{2}$$



Daniel Bernoulli (1700-1782)

syn Johanna