

wykład I - II

Podstawy Procesów
i Konstrukcji Inżynierskich

Falowa natura materii

Podstawy Procesów i Konstrukcji Inżynierskich

Warunki zaliczenia:

Aby uzyskać dopuszczenie do kolokwium końcowego należy uzyskać zaliczenie:
z laboratorium na ocenę nie gorszą niż trzy
uzyskać zaliczenie z ćwiczeń rachunkowych na ocenę nie gorszą niż trzy

Kolokwium końcowe obejmuje materiał omówiony w trakcie wykładów.
Zagadnienia do kolokwium podane zostaną nie później niż na trzy tygodnie
przed terminem zaliczenia i będą dostępne na stronie:

www.biofizyka.p.lodz.pl w zakładce dydaktyka

Termin zaliczenia przypada na termin ostatniego wykładu

Fizyka klasyczna:

- budowa materii - atomy i cząsteczki
- prawa Newtona, pole grawitacyjne
- kinetyczna teoria ciepła
- elektryczność
- magnetyzm
- elektromagnetyzm – falowa natura światła
- szczególna teoria względności

- budowa materii - atomy i cząsteczki
 - koncepcja atomowej budowy materii Demokryta (460-370 p.n.e.)
 - układ okresowy pierwiastków Mendelejewa (1824-1907)
 - chemia jako nauka o łączeniu atomów w cząsteczki
- prawa Newtona
 - I. Jeżeli na ciało nie działa żadna siła, lub działające siły równoważą się, to ciało spoczywa lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym
 - II. Jeżeli na ciało działa niezrównoważona siła \mathbf{F} to ciało porusza się ruchem zmiennym z przyspieszeniem \mathbf{a}
$$\mathbf{F} = m \mathbf{a}$$
 - III. Każdemu działaniu towarzyszy przeciwdziałanie
$$\mathbf{F}_{AB} = - \mathbf{F}_{BA}$$

- kinetyczna teoria ciepła

- przemiany gazowe

- równanie stanu gazu doskonałego:

$$pV = nRT$$

- relacja pomiędzy energią kinetyczną cząsteczek i temperaturą:

$$E_k = 3kT/2$$

- pojęcie entropii:

$$dS = dQ/T; \quad S = k \ln W$$

- zasady termodynamiki:

$$\text{I} \quad dU = dQ + dW$$

$$\text{II} \quad dS \geq 0$$

$$\text{III} \quad \text{gdy } T=0 \text{ to } S=0$$

■ elektryczność

- elektrostatyka, dwa rodzaje ładunków, pole elektrostatyczne
- przewodniki i izolatory, prąd elektryczny, prawo Ohma:

$$U = i R$$

- prawa Kirchhoffa:

I. w punkcie węzłowym $\Sigma i = 0$

II. w zamkniętym oczku $\Sigma E = \Sigma iR$

- zamiana energii prądu elektrycznego w ciepło, prawo Joule'a - Lenza:

$$Q = 0,24 U i t$$

- elektrochemia, elektroliza, prawa Faraday'a:

I. $m = k i t$

II. $m_1/m_2 = k_1/k_2 = R_1/R_2$

- magnetyzm

- magnesy trwałe, magnetyzm ziemski, linie sił pola magnetycznego
- materiały magnetyczne i niemagnetyczne (diamagnetyczne)
- doświadczenie Oersteda wiążące pole magnetyczne z przepływem prądu
- siła oddziaływania pola magnetycznego na przewodnik z prądem:

$$F = B i l \sin\alpha$$

- wzbudzanie prądu indukcji Faradaya:

$$E = B l v$$

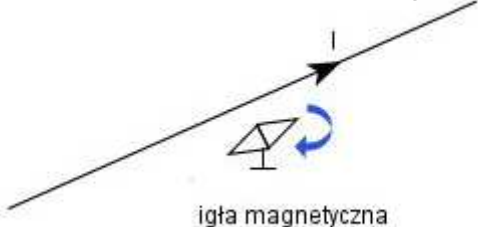
- indukcja własna i wzajemna, transformator:

$$E = L d\phi/dt$$

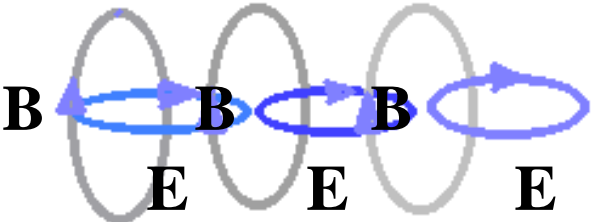
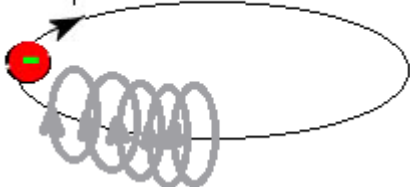
- elektromagnetyzm – falowa natura światła
 - równania Maxwella wiążące w jedną całość zjawiska elektryczne i magnetyczne (1854):
 1. pole elektryczne wytworzone przez rozkład ładunków (Coulomb)
 2. nie istnieją ładunki magnetyczne
 3. zmienne pole magnetyczne wytwarza zmienne pole elektryczne (Faraday)
 4. pole magnetyczne związane jest z prądami elektrycznymi i zmiennymi polami elektrycznymi (Ampere)
 5. pole elektryczne i magnetyczne wytwarzają siły działające na ładunek (Lorentz)

Falowa natura materii

Przewodnik z prądem

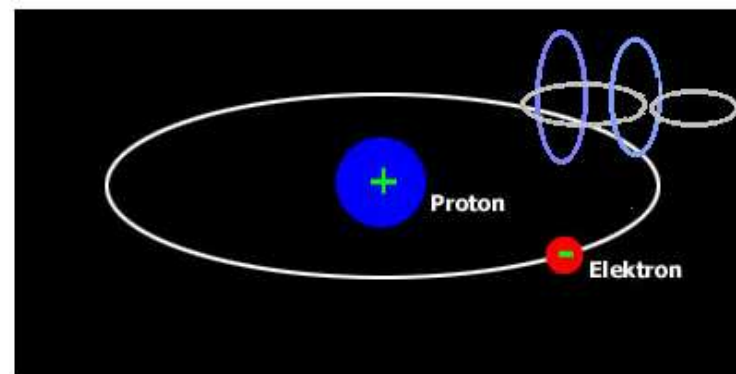


Pętla z prądem



Emisja energii w postaci fali EM

- elektromagnetyzm – falowa natura światła
 - doświadczalne potwierdzenie teorii Maxwella przez Hertza (1888)
 - światło jako fala elektromagnetyczna
 - widma emisyjne i absorpcyjne
 - promieniowanie ciała doskonale czarnego
 - rozkład $R_{\nu,T} = f(\nu,T)$ dąży do nieskończoności dla małych λ (katastrofa w ultrafiolecie)
 - paradoks trwałości atomu



- szczególna teoria względności

- Einstein (1905) połączył zasadę względności z ograniczoną prędkością światła. Myśl ta została nazwana szczególną teorią względności i stanowi szczytowe osiągnięcie fizyki klasycznej.
- matematycznym narzędziem teorii względności jest transformata Lorentza zawierająca czynnik:
$$1 - v^2/c^2$$
- wynikiem zastosowania szczególnej teorii względności jest fizyka relatywistyczna, będąca w istocie wciąż fizyką klasyczną poszerzoną o postulaty Einsteina

Zdolność emisyjna/absorpcyjna ciał

Promieniowanie ciepłe (termiczne) – emitowanie fal elektromagnetycznych kosztem energii wewnętrznej ciał.



Całkowita zdolność emisyjna - strumień energii emitowany przez jednostkę powierzchni promieniującego ciała we wszystkich kierunkach. Jest funkcją temperatury T oraz częstotliwości ν .

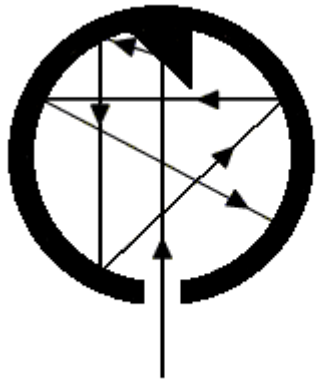
$$R_T = \int_0^{\infty} r(T, \nu) d\nu$$

Zdolność absorpcyjna – określa stopień pochłaniania promieniowania elektromagnetycznego przez ciała. Jest funkcją temperatury T oraz częstotliwości ν . Określa ją stosunek strumienia energii promieniowania pochłoniętego przez dane ciało do strumienia padającego na nie.

Zdolność absorpcyjna $a_{T\nu} = \frac{d\Phi'_\nu}{d\Phi_\nu}$



Ciało doskonale czarne



Całkowicie pochłania padające na nie promieniowanie elektromagnetyczne niezależnie od temperatury, kąta padania i widma promieniowania.

Prawo Kirchoffa

Stosunek zdolności emisyjnej do zdolności absorpcyjnej nie zależy od rodzaju ciała i jest on dla wszystkich ciał jednakową funkcją częstości i temperatury

$$\frac{r_{T\nu}}{a_{T\nu}} = f(T, \nu)$$

Dla ciała doskonale czarnego f jest zdolnością emisyjną.

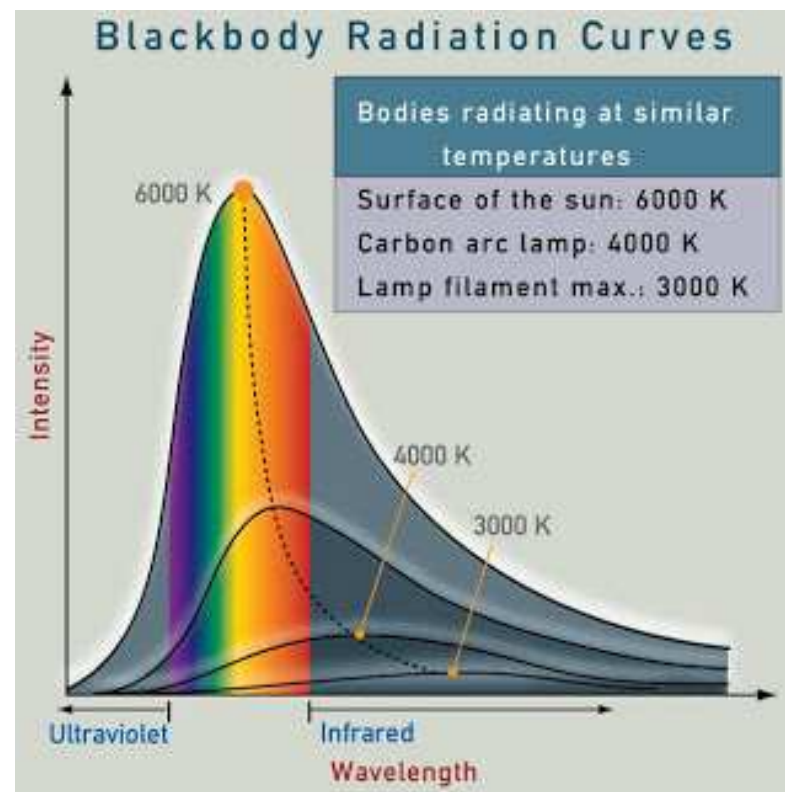
Prawo Stefana - Boltzmana

$$R_T = \sigma T^4 \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$$

Prawo przesunięć Wiena

Ze wzrostem temperatury widmo promieniowania ciała doskonale czarnego przesunę się w stronę fal krótszych.

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}$$



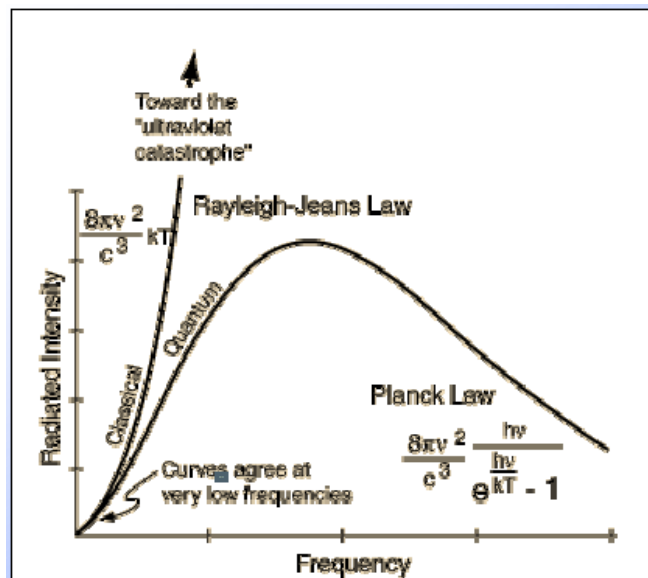
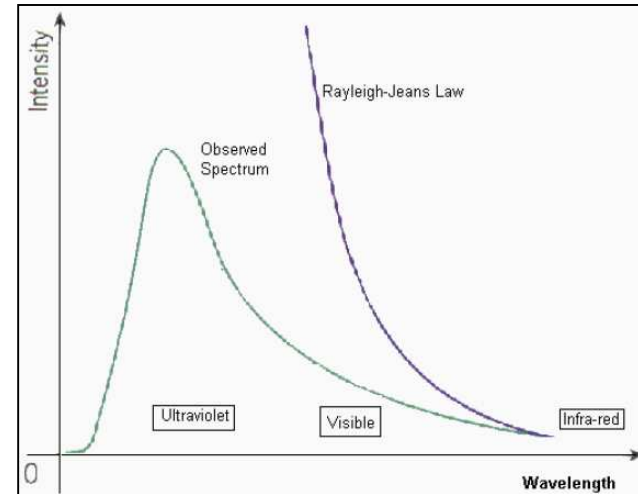
Źródło: <http://ay20-andykeller.blogspot.com/2012/10/black-body-radiation.html>

Katastrofa w ultrafiolecie

Zdolność emisyjna na jednostkę objętości

$$\rho_T(\nu) d\nu = \frac{8\pi\nu^2 kT}{c^3} d\nu$$

Jest to wzór Rayleigha - Jeansa dla promieniowania ciała doskonale czarnego.



Wyrażenie na gęstość energii promieniowania ciała doskonale czarnego, otrzymane przez Plancka i zwane **wzorem Plancka na rozkład widmowy promieniowania ciała doskonale czarnego**, ma postać :

$$\rho_T(\nu) d\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} d\nu$$

Fizyka współczesna a fizyka klasyczna

Fizyka współczesna:

- korpuskularna natura materii
 - zjawisko fotoelektryczne
 - zjawisko Comptona
- falowa natura materii
 - dyfrakcja elektronów

Fizyka współczesna a fizyka klasyczna

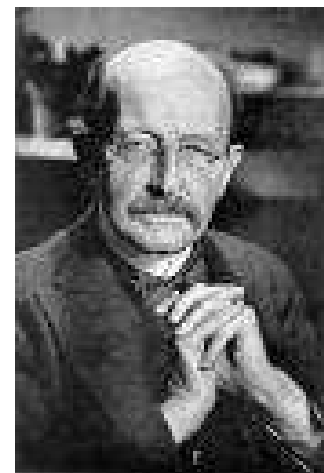
Fizyka współczesna:

Postulat Plancka (1900) – prawo opisujące emisję światła przez ciało doskonale czarne znajdujące się w danej temperaturze. Zgodnie z nim emisja (i absorpcja) światła odbywa się w porcjach (kwantach) o energii

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

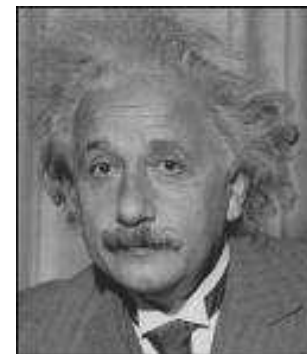
gdzie f - częstotliwość drgań oscylatorów

h – stała Plancka, $h=6,6253 \cdot 10^{-34}$ Js



Max Karl Ernst **PLANCK**
(1858-1947), wybitny fizyk
niemiecki

Zjawisko fotoelektryczne



Albert **EINSTEIN**

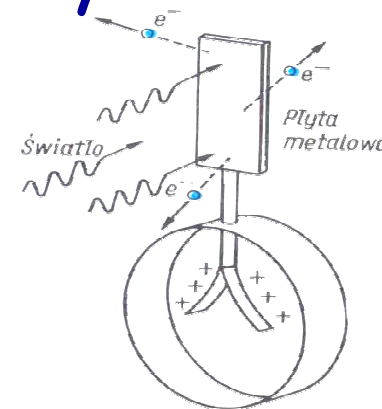
(1879-1955), fizyk niemiecki

Hipoteza Einsteina (1905):

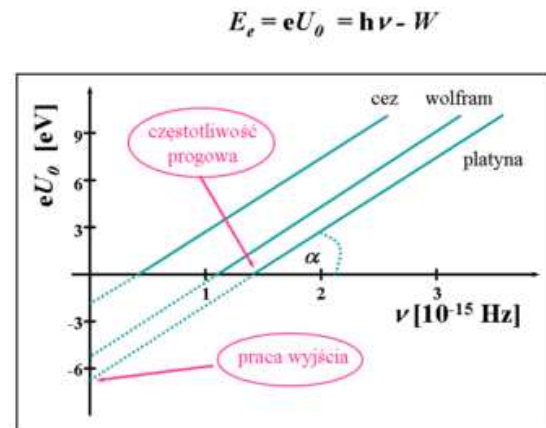
- światło składa się z kwantów (fotonów) o energii $E=hf$, gdzie h – stała Plancka
- fotony zachowują się jak cząstki materii
- podczas zderzenia z elektronem, fotony są pochłaniane przez elektrony i mogą oddawać im swoją energię

Zjawisko fotoelektryczne

Zjawisko polegające na wybijaniu elektronów z powierzchni materiałów



E-STUDIA INFORMACYJNE
doświadczenie Millikana (1914)

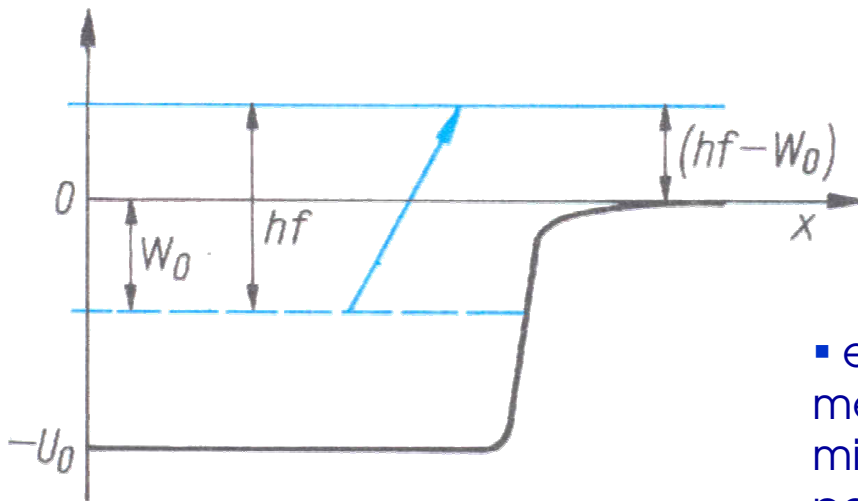


pomiar stałej Plancka:

$$h \cong \text{tg } \alpha$$

- energia wybijanych elektronów zależy od częstotliwości promieniowania elektromagnetycznego
- dla różnych metali f_0 przyjmuje różną wartość
- E_{max} jest niezależne od natężenia promieniowania elektromagnetycznego
- liczba emitowanych elektronów zależy od natężenia promieniowania elektromagnetycznego a nie zależy od jego częstotliwości

Zjawisko fotoelektryczne

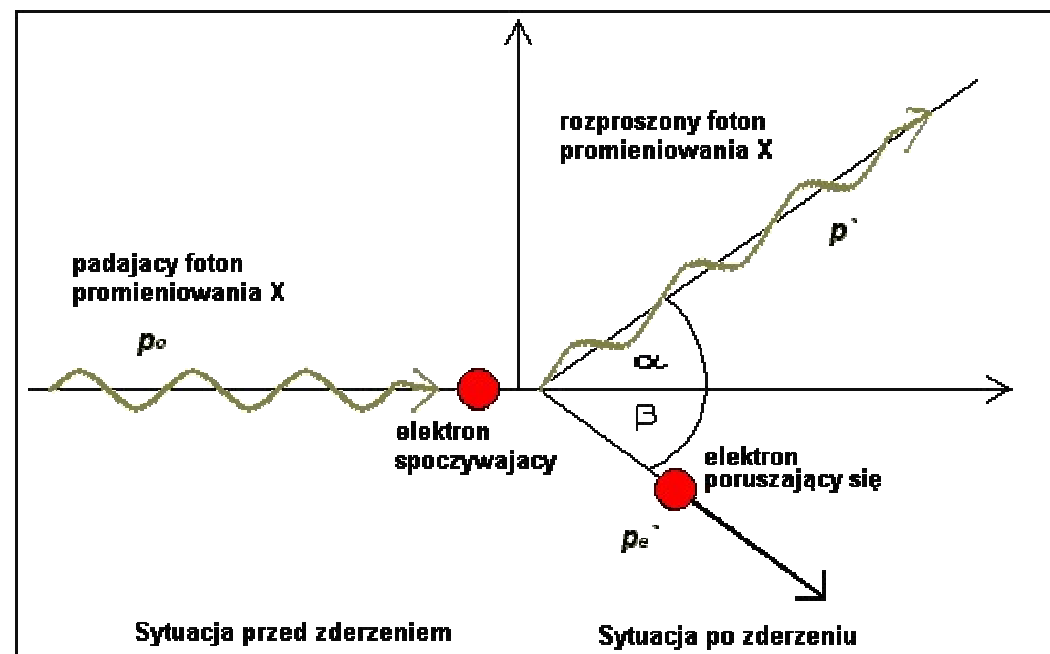


$$E_{max} = hf - W_0$$

- energia charakterystyczna dla danego metalu, zwana pracą wyjścia (W_0), jest minimalną energią potrzebną elektronowi na pokonanie sił przyciągania wiążących go wewnątrz metalu, przekroczenie powierzchni i wydobywanie się na zewnątrz
- jeżeli zjawisko fotoelektryczne zachodzi na pojedynczym atomie, to praca wyjścia jest równa energii wiązania wybitego elektronu

Zjawisko Comptona

- rozpraszanie fotonu na swobodnym elektronie



Zjawisko Comptona

Z zasady zachowania energii $hf + mc^2 = pc + mc^2 = p'c + E'_e = hf' + E'_e$

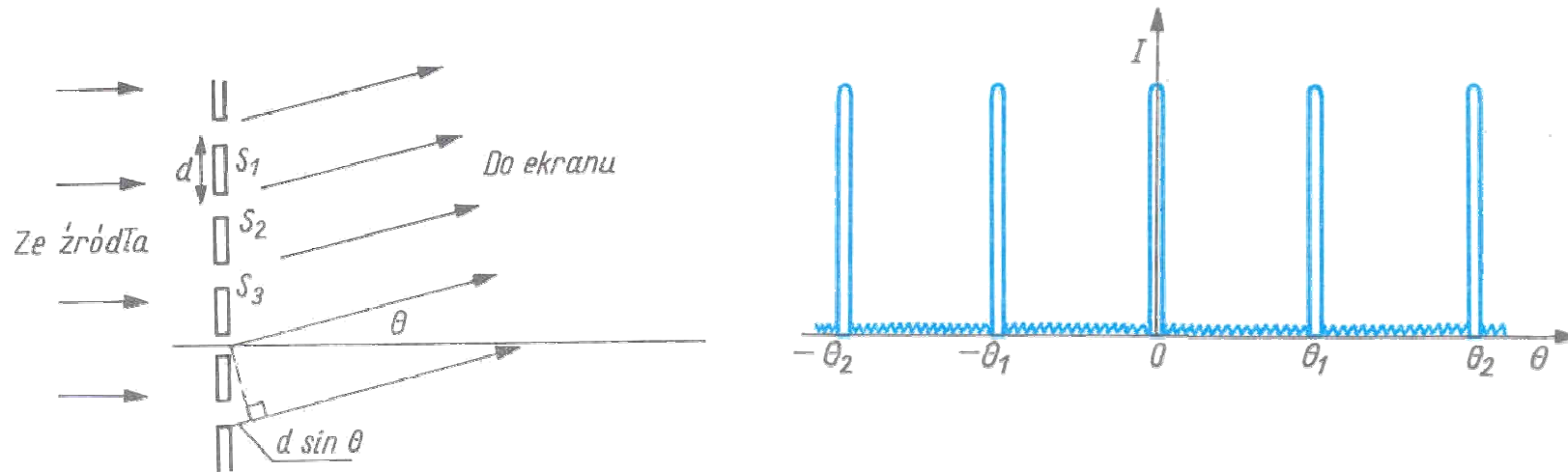
Z zasady zachowania pędu $p - p' = p_e$

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos \alpha)$$

Zmiana długości fali w zjawisku Comptona zależy jedynie od kąta rozproszenia, nie zależy od energii początkowej fotonu.

Komptonowska długość fali $\lambda_c = h/m_e c = 0.0024$ nm jest bardzo mała. Dlatego nie widać rozpraszania Comptona dla światła widzialnego o długości fal 400-700 nm.

- zjawiska falowe – dyfrakcja i interferencja



Powiększony obraz szczelin siatki dyfrakcyjnej i odpowiadający temu rozkład natężenia światła na ekranie

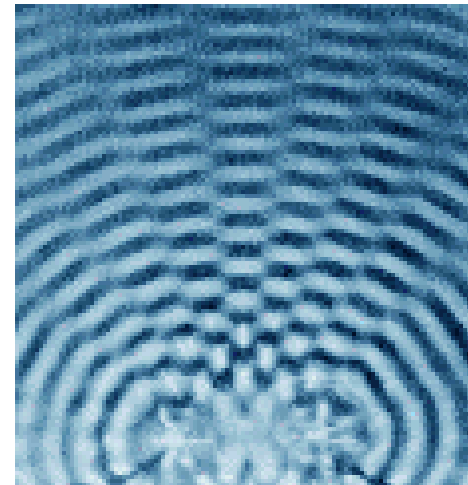
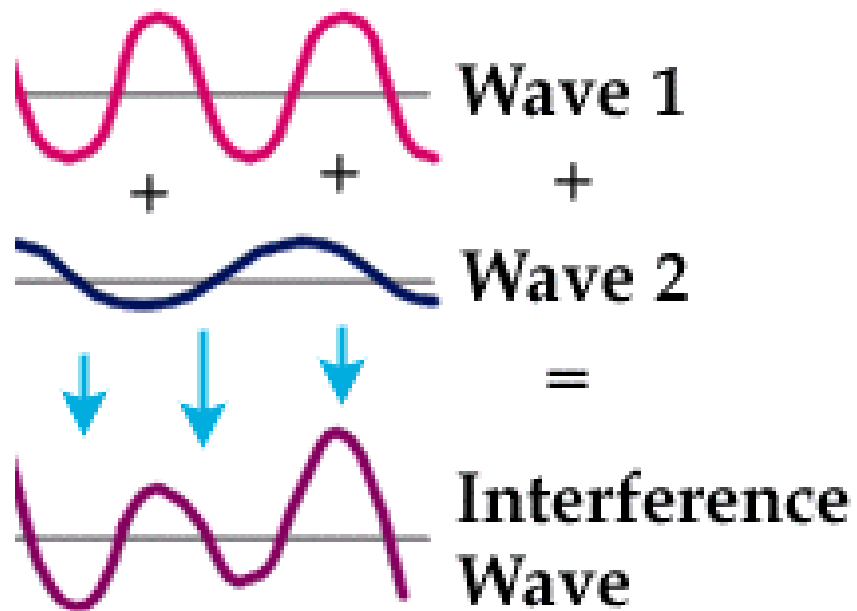
$$\sin \theta = \frac{n\lambda}{d}$$

warunek wystąpienia
maksimum

Fizyka współczesna a fizyka klasyczna

c.d.:

- zjawiska falowe - interferencja



The interference of water waves coming from two sources.

Dualizm falowo - cząsteczkowy

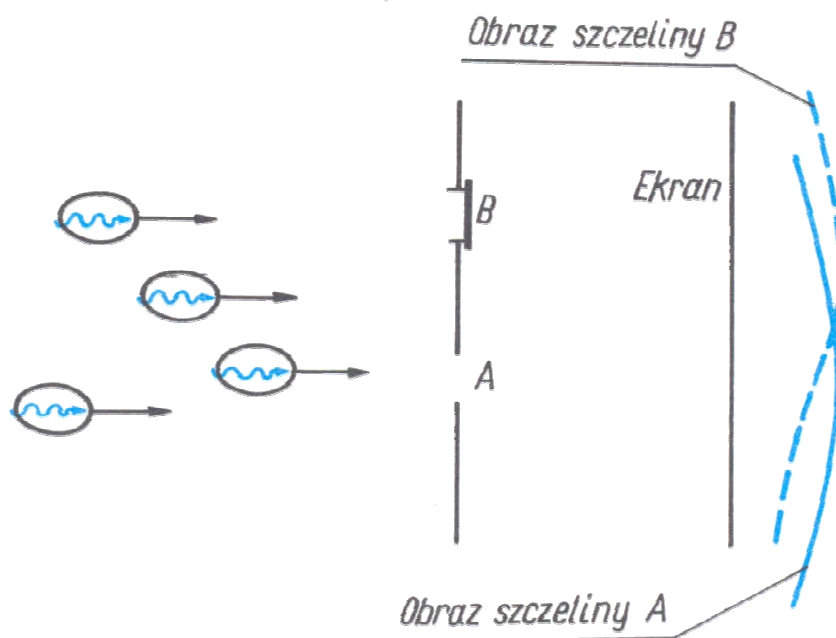
Hipoteza de Broglie`a (1924) głosi, że dwoiste, tj. korpuskularno-falowe zachowanie jest cechą nie tylko promieniowania, lecz również materii. Tak samo jak z fotonem stowarzyszona jest pewna fala świetlna, która rządzi jego ruchem, tak i cząstce materialnej (np.: elektronowi) przypisana jest pewna, określająca jego ruch fala materii



Louis de **BROGLIE** (1892 – 1987), fizyk francuski

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad \text{oraz} \quad E = hf \quad \text{dla wszystkich cząstek}$$

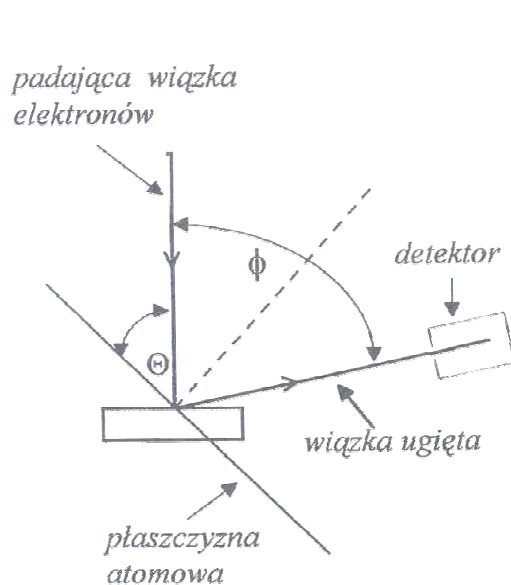
Dualizm falowo - cząsteczkowy fali elektromagnetycznej



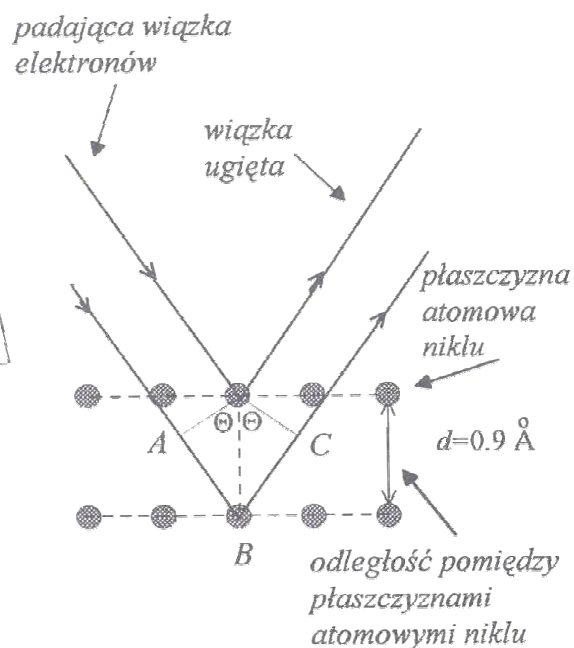
Fotony przechodzące przez szczelinę A dają obraz na ekranie

Dualizm falowo - cząsteczkowy

Schemat doświadczenia Davissona i Germera potwierdzający hipotezę de Broglie'a; odbite od monokryształu niklu elektrony dały obraz interferencyjny, którego maksimum wypadło pod kątem 65° a wyliczona długość fali $16,5 \text{ nm}$ zgadzała się z wartością wynikającą ze wzoru de Broglie'a $16,7 \text{ nm}$.



Schemat doświadczenia.



Różnica dróg dwu wiązek
 $AB + BC = 2d \sin \Theta$

Dualizm falowo - cząsteczkowy

Warunek wzmocnienia wiązki ugiętej

$$2d \sin \theta = m \lambda$$

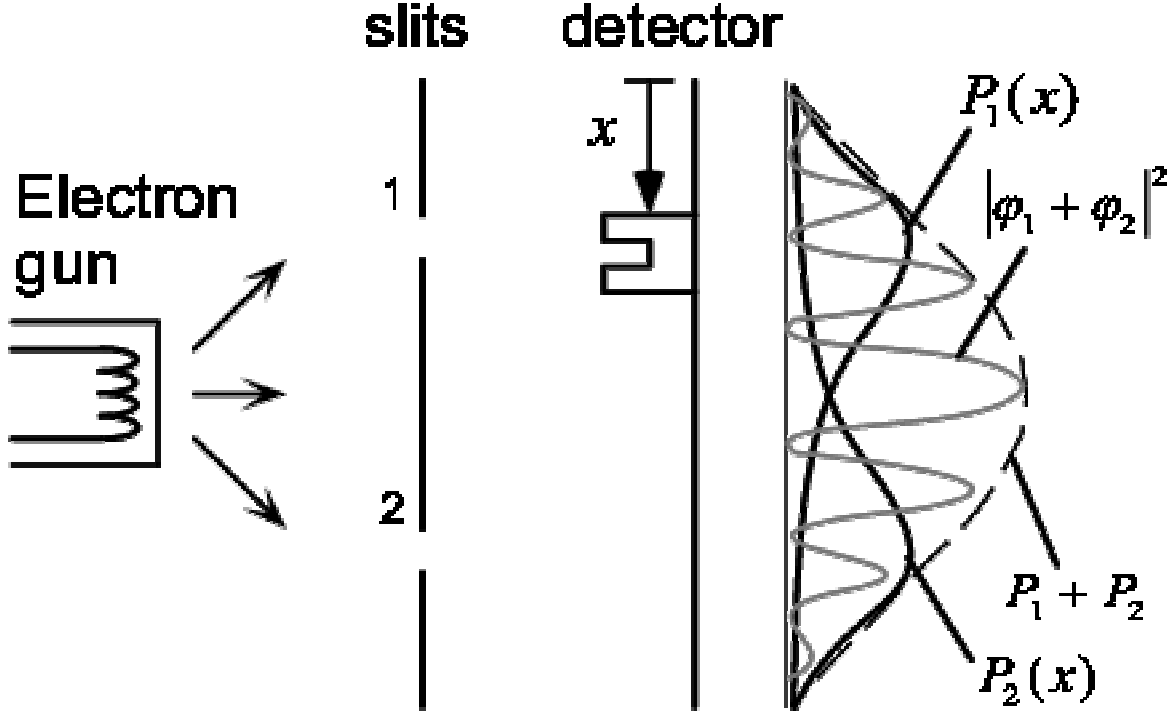
d – odległość między płaszczyznami atomowymi

θ – kąt pomiędzy padającą wiązką a płaszczyzną atomową

m – liczba całkowita $m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

λ – długość fali elektronów

Dualizm falowo - cząsteczkowy



Dualizm falowo - cząsteczkowy

Dyfrakcja elektronów

Dualizm falowo - cząsteczkowy

Funkcja falowa

Właściwości falowe cząstki opisuje się za pomocą funkcji falowej

$$\Psi(x, y, z, t)$$

Prawdopodobieństwo znalezienia cząstki w dowolnym punkcie (x, y, z) i dowolnej chwili t jest proporcjonalne do natężenia fali

$$|\Psi(x, y, z, t)|^2$$

Dualizm falowo - cząsteczkowy

Funkcja falowa

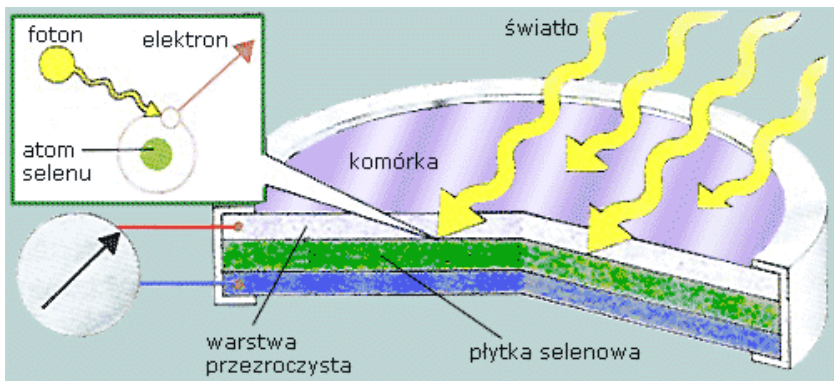
Jeżeli zdarzenie może zajść na kilka równoważnych sposobów, to amplituda prawdopodobieństwa tego zdarzenia jest sumą poszczególnych amplitud prawdopodobieństwa

$$\Psi = \Psi_1 + \Psi_2$$

Zasada korespondencji

Niels Bohr jest twórcą tzw. **zasady korespondencji** (odpowiedniości). Mówiła ona o kierowaniu się analogią między światem klasycznym, a kwantowym w budowaniu teorii kwantowych i zachowaniu oszczędności w modyfikowaniu teorii klasycznych, ale w taki sposób, by powstałe teorie były zgodne z wynikami doświadczeń w świecie kwantów. Wedle tej zasady, wynik kwantowy powinien sprowadzać się do swego klasycznego odpowiednika w obszarze, w którym stała Plancka możemy uważać za zanedbywalnie małą, a także przy przejściu do wysokich liczb kwantowych, czy zastępując grupę danych przy kwantowym pomiarze wielkości ich wartością średnią (zasada Ehrenfesta).

Zastosowanie efektu fotoelektrycznego



Noktowizory



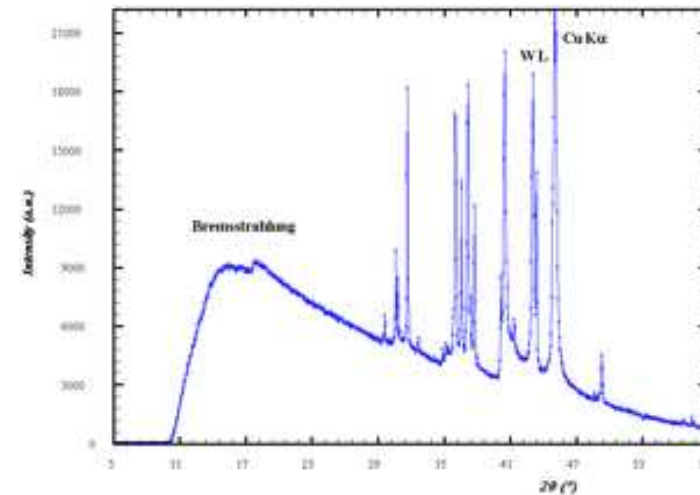
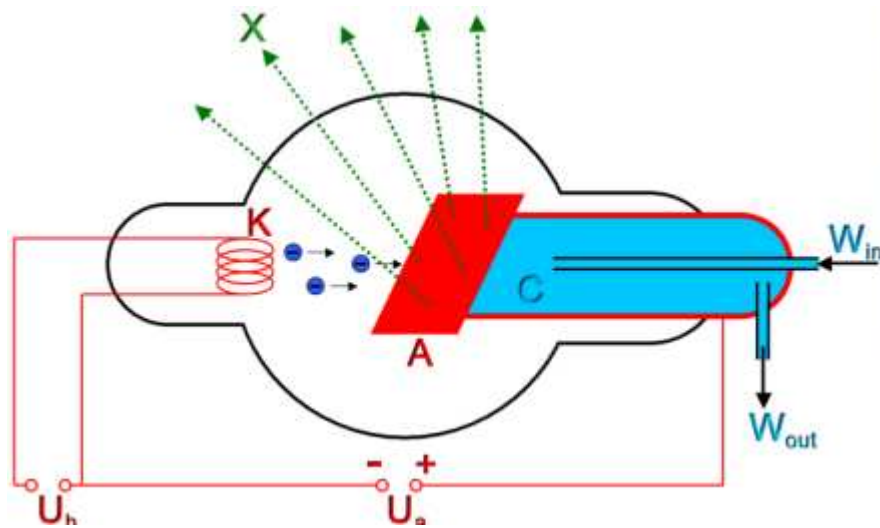
Fotokomórki



Baterie słoneczne

Wykorzystanie efektu Comptona

Zjawisko Comptona odgrywa istotną rolę w oddziaływaniu promieniowania gamma i rentgenowskiego z materią. W zakresie energii fotonów od kilkudziesięciu keV do kilku MeV rozpraszanie Comptona jest najbardziej prawdopodobnym rodzajem oddziaływania, jakiemu może ulec promieniowanie podczas przechodzenia przez materię



Widmo promieniowania rentgenowskiego dla antykathody zawierającej miedź. Widmo składa się z ciągłego widma hamowania i linii promieniowania charakterystycznego.