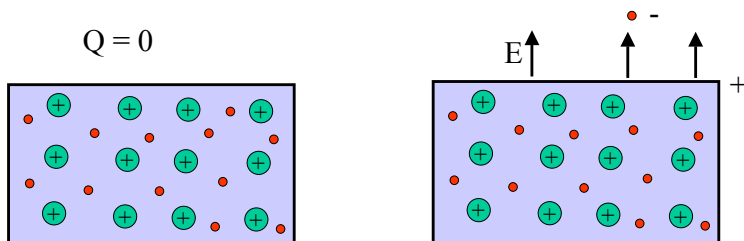
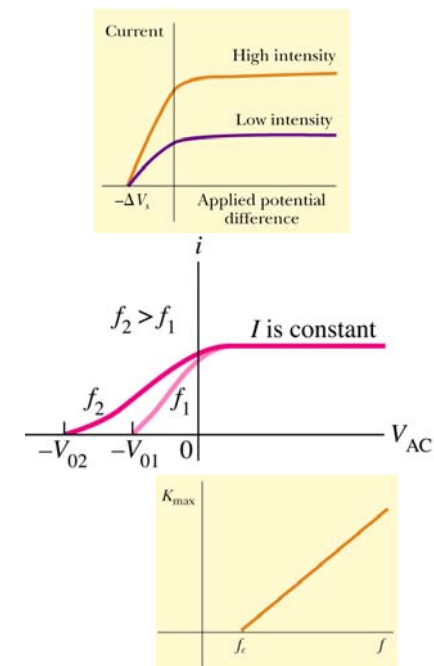
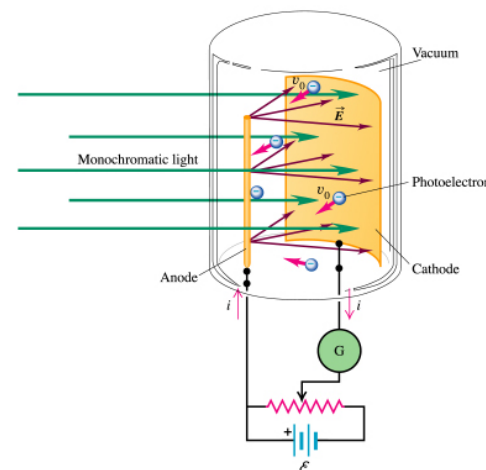


Efekt fotoelektryczny



Aby elektron mógł opuścić metal należy dostarczyć mu pewną minimalną wartość energii którą nazywamy **pracą wyjścia**. Energia ta może być uzyskana np. poprzez absorpcję energii fali elektromagnetycznej. Dla większości metali wartość pracy wyjścia jest bliska 4 eV.

Efekt fotoelektryczny



Efekt fotoelektryczny

• Właściwości fotoefektu

- Elektrony emitowane są jedynie pod wpływem „oświetlenia” falą o częstotliwości większej od pewnej minimalnej zwanej **długofalową granicą** fotoefektu
- Maksymalna wartość energii kinetycznej emitowanych elektronów jest tym większa im większa jest częstotliwość fali, nie zależy jednak od natężenia oświetlenia
- Natężenie fotoprądu jest proporcjonalne do wartości strumienia padającej fali
- Elektrony emitowane są natychmiast

Efekt fotoelektryczny

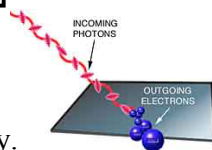
Przewidywania modelu falowego:

- Dla odpowiednio dużego natężenia oświetlenia fale elektromagnetyczne o dowolnej długości powinny wywołać fotoefekt. **Własność nie obserwowana**
- Maksymalna energia kinetyczna elektronów powinna zależeć jedynie od natężenia oświetlenia, a nie od częstotliwości padającej fali. **Własność nie obserwowana**

Efekt fotoelektryczny - *wyjaśnienie*

Założenie Einsteina:

Fala elektromagnetyczna o częstotliwości ν jest strumieniem cząstek (**fotonów**) o energii $E=h\nu$, każdy.

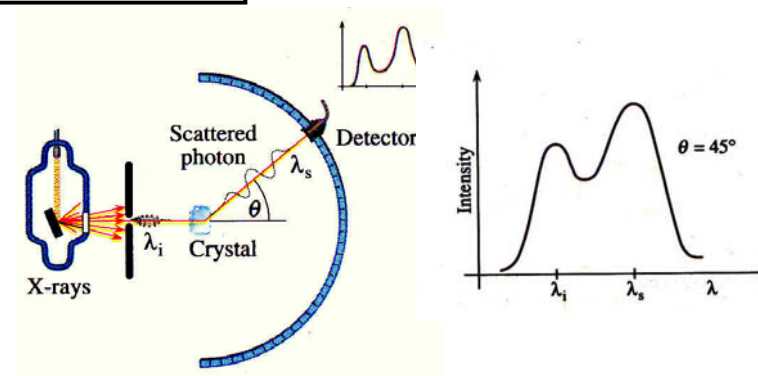


Wyjaśnienie:

- W wyniku absorpcji fotonu przez elektron uzyskuje on energię $E=h\nu$. Jeżeli energia ta jest większa od pracy wyjścia A , elektron może opuścić powierzchnię katody i w układzie płynie fotoprąd.
- Wraz ze wzrostem oświetlenia powierzchni katody (tzn. wzrostem ilości fotonów padających w jednostce czasu na jednostkę powierzchni katody) rośnie ilość elektronów emitowanych z powierzchni, a tym samym wartość fotoprądu nasycenia.
- Różnicę energii pomiędzy energią fotonu a pracą wyjścia elektron unosi w postaci jego energii kinetycznej.

$$h\nu = A + E_{k,max}$$

Efekt Comptona



Efekt Comptona nazywamy zmianę długości fali elektromagnetycznej w wyniku rozpraszania jej na swobodnych elektronach

Przypomnienie

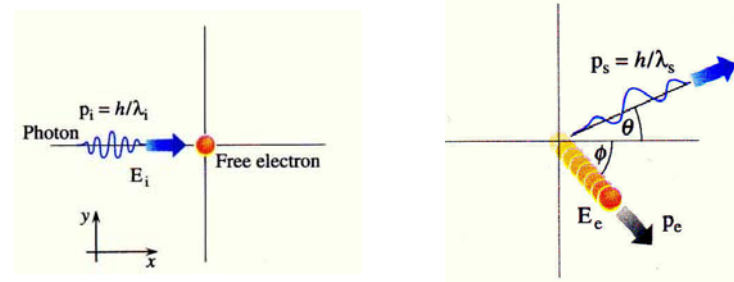
$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$E = c\sqrt{m_0^2c^2 + p^2}$$

$$h\nu = c\sqrt{m_0^2c^2 + p^2}$$

Jeżeli $m_0 = 0$, to $h\nu = cp \Rightarrow p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$

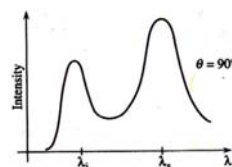
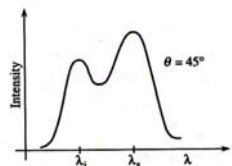
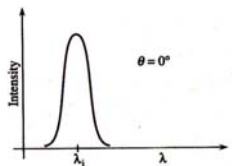
Efekt Comptona - wyjaśnienie



- Zderzenia fotonów o pędzie p_i i energii $E=hc/\lambda_i$ ze spoczywającymi elektronami.
- Elektron uzyskuje pęd p_e , a pęd fotonu maleje do wartości p_s .
- Długość rozpraszanej fali elektromagnetycznej zwiększa się do wartości $\lambda_s=h/p_s$.
- Kierunek propagacji fali ulega zmianie o kąt θ . Zmiana długości fali jest tym większa, im większy jest kąt rozproszenia. Zależność zmiany długości fali od kąta rozpraszania wyznaczyć można wykorzystując prawa zachowania pędu i energii.

$$\vec{p}_i = \vec{p}_s + \vec{p}_e \quad \text{oraz} \quad h\nu_i + m_e c^2 = h\nu_s + c\sqrt{m_e^2 c^2 + p_e^2}$$

Efekt Comptona - wyjaśnienie



$$\vec{p}_i = \vec{p}_s + \vec{p}_e$$

oraz

$$\frac{hc}{\lambda_i} + m_e c^2 = \frac{hc}{\lambda_s} + c\sqrt{m_e^2 c^2 + p_e^2}$$

$$\lambda_s - \lambda_i = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta)$$

Promieniowanie cieplne ciał.

■ **Promieniowanie cieplne ciał.** Każde ciało o temperaturze większej od zera bezwzględnego ($T > 0 \text{ K}$) emituje energię w postaci fali elektromagnetycznej.

■ Strumień energii ΔR_λ emitowanej w przedziale długości fal od λ do $\lambda + \Delta\lambda$ z elementarnej powierzchni ciała ΔS , charakteryzujemy poprzez **spektralną zdolność emisyjną ciała** r_λ .

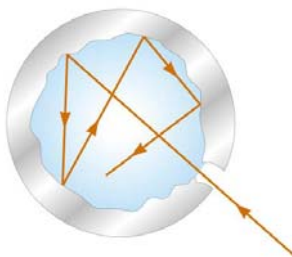
$$r_\lambda = \frac{\Delta R_\lambda}{\Delta S \Delta \lambda}$$

■ Stopień absorpcji fali elektromagnetycznej charakteryzujemy **spektralną zdolnością absorpcyjną** a_λ : zdefiniowaną jako stosunek strumienia energii $\Delta\Phi_\lambda$ absorbowanej w zakresie spektralnym od λ do $\lambda + \Delta\lambda$ do strumienia energii $\Delta\Phi_{0\lambda}$ padającej na daną powierzchnię w tym samym zakresie spektralnym, czyli

$$a_\lambda = \frac{\Delta\Phi_\lambda}{\Delta\Phi_{0\lambda}}.$$

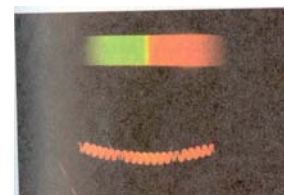
Promieniowanie ciała doskonale czarnego

■ **Ciało doskonale czarne** jest to ciało całkowicie pochłaniające promieniowanie elektromagnetyczne padające na jego powierzchnię. Spektralna zdolność absorpcyjna ciała doskonale czarnego jest równa jedności dla każdej długości absorbowanej fali

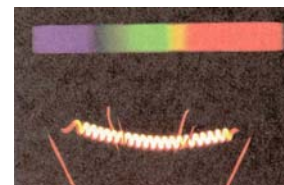


Model ciała d. c.

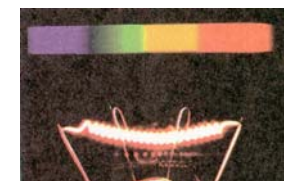
Promieniowanie ciała doskonale czarnego



T_1

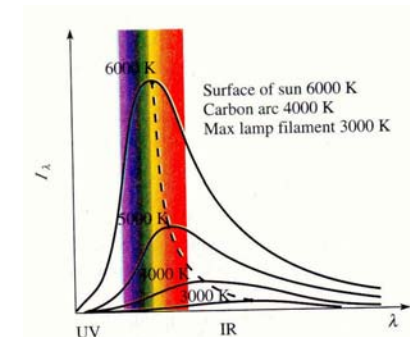


T_2

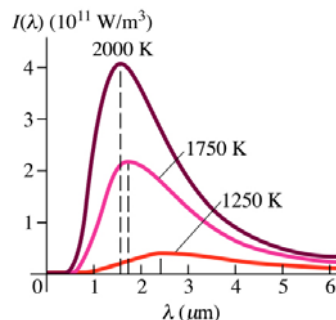


T_3

$$T_1 < T_2 < T_3$$



Prawo Wiena



■ **Prawo Wiena.** Ze wzrostem temperatury widmo promieniowania ciała doskonale czarnego przesuwają się w stronę fal krótszych. Oznacza to, że ze wzrostem temperatury długość fali, dla której spektralna zdolność emisyjna jest maksymalna, przesuwają się w kierunku niższych wartości.

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2.90 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

Promieniowanie ciała doskonale czarnego

■ **Prawo Kirchhoffa.** Stosunek spektralnej zdolności emisyjnej do spektralnej zdolności absorpcyjnej nie zależy od rodzaju ciała i jest on dla wszystkich ciał jednakową, uniwersalną funkcją $\phi(\lambda, T)$ długości fali i temperatury równą spektralnej zdolności emisyjnej ciała doskonale czarnego.

$$\frac{r_{\lambda}^1}{a_{\lambda}^1} = \frac{r_{\lambda}^2}{a_{\lambda}^2} = \frac{r_{\lambda}^3}{a_{\lambda}^3} = \frac{r_{\lambda}^{c.c}}{a_{\lambda}^{c.c}} = r_{\lambda}^{c.c}$$

■ **Prawo Stefana - Boltzmana.** Strumień energii R^* emitowany w całym zakresie spektralnym z jednostki powierzchni ciała doskonale czarnego (tzw. całkowita zdolność emisyjna) jest proporcjonalny do czwartej potęgi temperatury T w skali Kelvina.

$$R^* = \int_0^{\infty} \phi(\lambda, T) d\lambda = \sigma T^4$$

Narodziny kwantów

Założenia Maxa Plancka

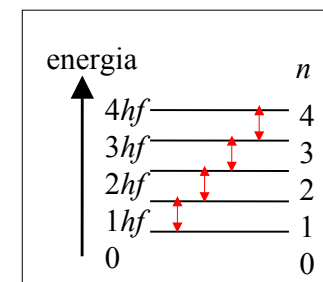
- energia zawarta w fali jest całkowitą wielokrotnością hc/λ :

$$E_n = n \frac{hc}{\lambda}, \text{ gdzie } n = 1, 2, 3, \dots$$

- promieniowanie elektromagnetyczne jest emitowane oraz absorbowane w postaci osobnych porcji energii (**kwantów**) o wartości $E = hc/\lambda$, gdzie λ jest długością emitowanej (absorbowanej) fali.

Narodziny kwantów

[Konsekwencje założeń Plancka](#)



- poziomy energetyczne molekuł muszą być dyskretne
- zmiana energii musi być wielokrotnością hf
- fala elektromagnetyczna jest skwantowana