

**Skład Słońca**

Pierwiastek	Udział masowy
Hydrogen	73.5%
Helium	24.8%
Oxygen	0.788%
Carbon	0.326%
Nitrogen	0.118%
Iron	0.162%
Silicon	
Magnesium	
Neon	

- Transport energii na Słońcu
- W jądrze Słońca energia transportowana jest poprzez promieniowanie.
    - Kwanty promieniowania gamma dyfundują na zewnątrz, tracąc energię przy każdym zderzeniu.
    - Średnia droga swobodna fotonów g wynosi około 1 cm.
    - Średni czas potrzebny fotonowi na dotarcie do powierzchni Słońca wynosi około miliona lat.

**Źródła energii**

**Figure 8.4** Photosynthesis uses solar energy, carbon dioxide, and water to produce energy-storing carbohydrates. Oxygen is generated as a waste product of photosynthesis.

$$6 \cdot \text{CO}_2 + 6 \cdot \text{H}_2\text{O} + h\nu \Rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \cdot \text{O}_2$$

Biology 2e, [openstax.org](https://openstax.org)

**Fale stojące**

**Fale stojące**

• Rozpatrzmy interferencję dwu fal o jednakowych częstotliwościach, lecz rozchodzący się w przeciwnych kierunkach:

$y_R(x,t) = A \cos(\omega t - kx)$   
 $y_L(x,t) = A \cos(\omega t + kx)$   
 $k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \omega = 2\pi f$

Ponieważ  $\cos(\alpha) + \cos(\beta) = 2 \cos\left(\frac{\alpha-\beta}{2}\right) \cos\left(\frac{\alpha+\beta}{2}\right)$

$y_{SUM}(x,t) = 2A \cos(kx) \cos(\omega t)$   
 „amplituda”      Część oscylacyjna

Ekstremum (maksima lub minima) gdy  $kx = 0 + n\pi$

$kx_{max} = n\pi \Rightarrow x_{max} = \frac{\pi}{2\pi} \lambda n = n \cdot \frac{\lambda}{2}$   
 $x_{max} = n \cdot \frac{\lambda}{2}$

$$\Delta x_{max} = \frac{\lambda}{2}(n+1) - n \cdot \frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda}{2}$$

**Fale stojące**

$y_{SUM}(x,t) = y_1 + y_2 = 2A \cos(kx) \cos(\omega t)$

Zero gdy  $kx = n\pi/2 + n\pi$

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$   
 $x_{zero} = \frac{\pi(n + \frac{1}{2})}{k} = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2} = (2n+1) \frac{\lambda}{4}$

$$\Delta x_{zero} = \frac{\lambda}{2} \left(n+1 + \frac{1}{2}\right) - \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda}{2}$$

7

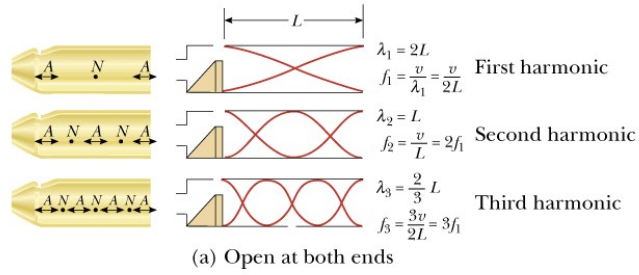
**Fale stojące - struna**

$\Delta x_{zero} = \frac{\lambda}{2}(n+1) - n \cdot \frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda}{2}$   
 $L = m \Delta x_{zero} = m \frac{\lambda_m}{2}$   
 $\lambda_m = \frac{2L}{m}$   
 $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{T} \cdot v = \frac{v}{\lambda}$

$$f_m = \frac{v}{\lambda_m} = m \frac{v}{2L}, \quad m = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$$

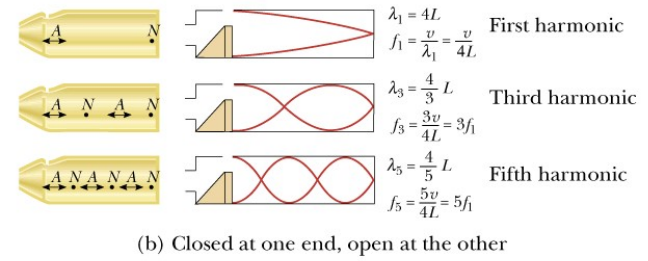
8

Serway, Physics for Scientists and Engineers, 5/e  
Figure 18.14a



Harcourt, Inc.

Serway, Physics for Scientists and Engineers, 5/e  
Figure 18.14b



Harcourt, Inc.

Fale jako strumień kwantów energii

Właściwości fali elektromagnetycznej

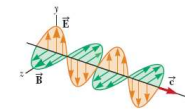
$$E = E_m \cos(\omega t - kx)$$

$$B = B_m \cos(\omega t - kx)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\frac{E_m}{B_m} = c$$

$$c = \frac{\omega}{k} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = \text{prędkość fali em}$$



$\vec{E}$  prostopadłe do  $\vec{B}$   
 Płaszczyzna EB prostopadła do kierunku rozchodzenia  
 E i B zmieniają się w tej samej fazie

**Interferencja fali**

$$\xi(r, t) = A \cos(\omega t - kr)$$

$$\xi_{\text{wyn}} = A \cos(\alpha - kr_1) + A \cos(\alpha - kr_2)$$

$$= 2A \cos\left(\frac{k(r_2 - r_1)}{2}\right) \cos\left(\alpha - \frac{k(r_1 + r_2)}{2}\right)$$

amplituda

Maksimum amplitudy:

$$\frac{k(r_2 - r_1)}{2} = m\pi \Rightarrow \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta = 2m\pi$$

**Maksima dla:**  $d \sin \theta = m \lambda$

**Minima dla:**  $d \sin \theta = (m + \frac{1}{2}) \lambda$

**Rys. 36.8.** a) Fale ze szczelin  $S_1$  i  $S_2$  nakładają się na siebie na ekranie  $C$  w punkcie  $P$  odległym o  $y$  od osi układu. Kąt  $\theta$  może służyć jako wygodny wskaźnik położenia punktu  $P$ . b) Dla  $D \gg d$ , promienie świetlne  $r_1$  i  $r_2$  możemy traktować z dobrym przybliżeniem jak promienie równoległe, tworzące z osią kąt  $\theta$ .

$\Delta L = d \sin \theta$

**wzmocnienie**

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

**wygaszanie**

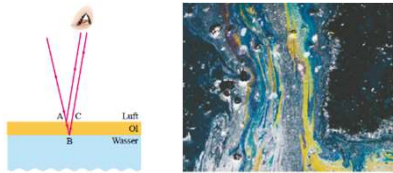
$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda$$

(a) (b)

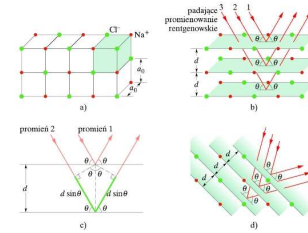
**Prążki równej grubości**

(a) (b)

**Interferencja fali wywołana cienką warstwą oleju na powierzchni wody**



**Dyfrakcja promieniowania X**



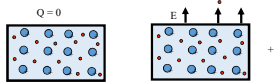
Prawo Bragga

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

$$m = 1, 2, 3, \dots$$

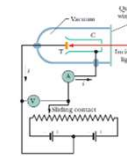
Rys. 37.26. a) Szescienna struktura kryształu NaCl z pokazanymi jonami sodu i chloru oraz komórką elementarną kryształu (zaciemnioną). b) Padające promieniowanie rentgenowskie ulega dyfrakcji na strukturze tej. Ich ugięcie zachodzi tak, jak gdyby były odbijane od rodzin równoległych płaszczyzn, pod kątem odbicia równym kątem ich padania (oba kąty są mierzone względem płaszczyzny, a nie jak w optyce względem normalnej do płaszczyzny odbijającej). c) Różnica ścieżki między falami efektywnie odbitymi przez dwie sąsiednie płaszczyzny jest  $2d \sin \theta$ . d) Imp. kierunek promieniowania rentgenowskiego w stosunku do struktury. W takiej sytuacji efektywne odbicie promieniowania rentgenowskiego zachodzi na płaszczyznach należących do innej rodziny płaszczyzn odbijających

**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**



Przewidywania modelu falowego:

- Dla odpowiednio dużego natężenia oświetlenia fale elektromagnetyczna o dowolnej długości powinna 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**

- **Właściwości fotoefektu**
  - Elektrony emitowane są jedynie pod wpływem „oświetlenia” falą o częstotliwości większej od pewnej minimalnej zwanej *częstotliwością graniczną* fotoefektu ( $\nu_{gr}$ ), a odpowiadającej długości fali *długofalową (czerwona) granicą fotoefektu*

$$\lambda_{gr} = \frac{c}{\nu_{gr}}$$

- Dla  $f > f_{gr}$  natężenie fotoprądu jest proporcjonalne do wartości strumienia padającej fali (natężenia oświetlenia katody)
- Elektrony emitowane są natychmiast



**Efekt fotoelektryczny - wyjaśnienie**

**Założenie Einsteina:**

Fala elektromagnetyczna o częstotliwości  $f$  jest strumieniem cząstek (fotonów) o energii  $E=hf$ , każdy.



$$hf = A + E_{k,max}$$

**Wyjaśnienie:**

- W wyniku absorpcji fotonu przez elektron uzyskuje on energię  $E=hf$ . Jeżeli energia ta jest większa od pracy wyjścia  $A$ , elektron może opuścić powierzchnię katody i w układzie płynie fotoprąd.
- Różnicę energii pomiędzy energią fotonu a pracą wyjścia elektron unosi w postaci jego energii kinetycznej.

- Maksymalna energia kinetyczna:

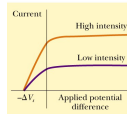
$$E_{k,max} = hf - A$$

Dr Jan Stankowiak

22

**Efekt fotoelektryczny - wyjaśnienie**

Dla  $f > f_{gr}$  natężenie fotoprądu jest proporcjonalne do wartości strumienia padającej fali (natężenia oświetlenia katody)



**Wyjaśnienie:**

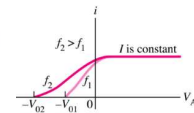
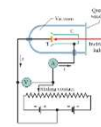
- Wraz ze wzrostem natężenia oświetlenia powierzchni katody (tzn. wzrostem ilości fotonów padających w jednostce czasu na jednostkę powierzchni katody) rośnie ilość elektronów emitowanych z powierzchni, a tym samym wartość fotoprądu nasycenia.

Dr Jan Stankowiak

23

**Efekt fotoelektryczny**

Im większa jest częstotliwość fali tym większa musi być wartość potencjału hamującego, tj. potencjału który powoduje zanik do zera fotoprądu.

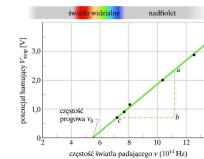


$$e|V_{AC}| = E_{k,max}$$

$$hf = A + E_{k,max}$$

$$E_{k,max} = hf - A$$

$$e|V_{AC}| = hf - A$$



Dr Jan Stankowiak

24