

Wykład IV

METALE



Metale

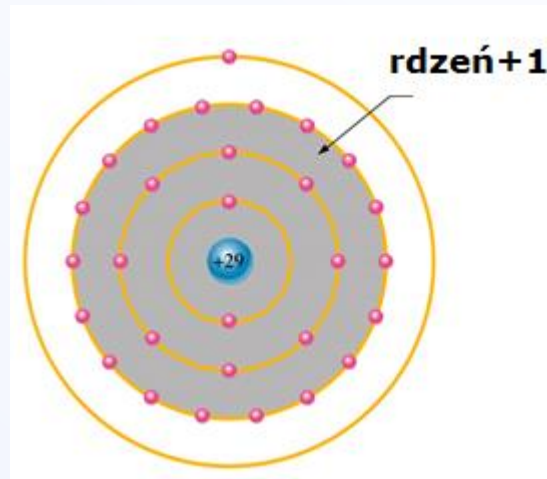
Atom Cu:

- Tylko 1 elektron walencyjny
- Dobry przewodnik
- Konfiguracja elektronowa:2:8:18:1

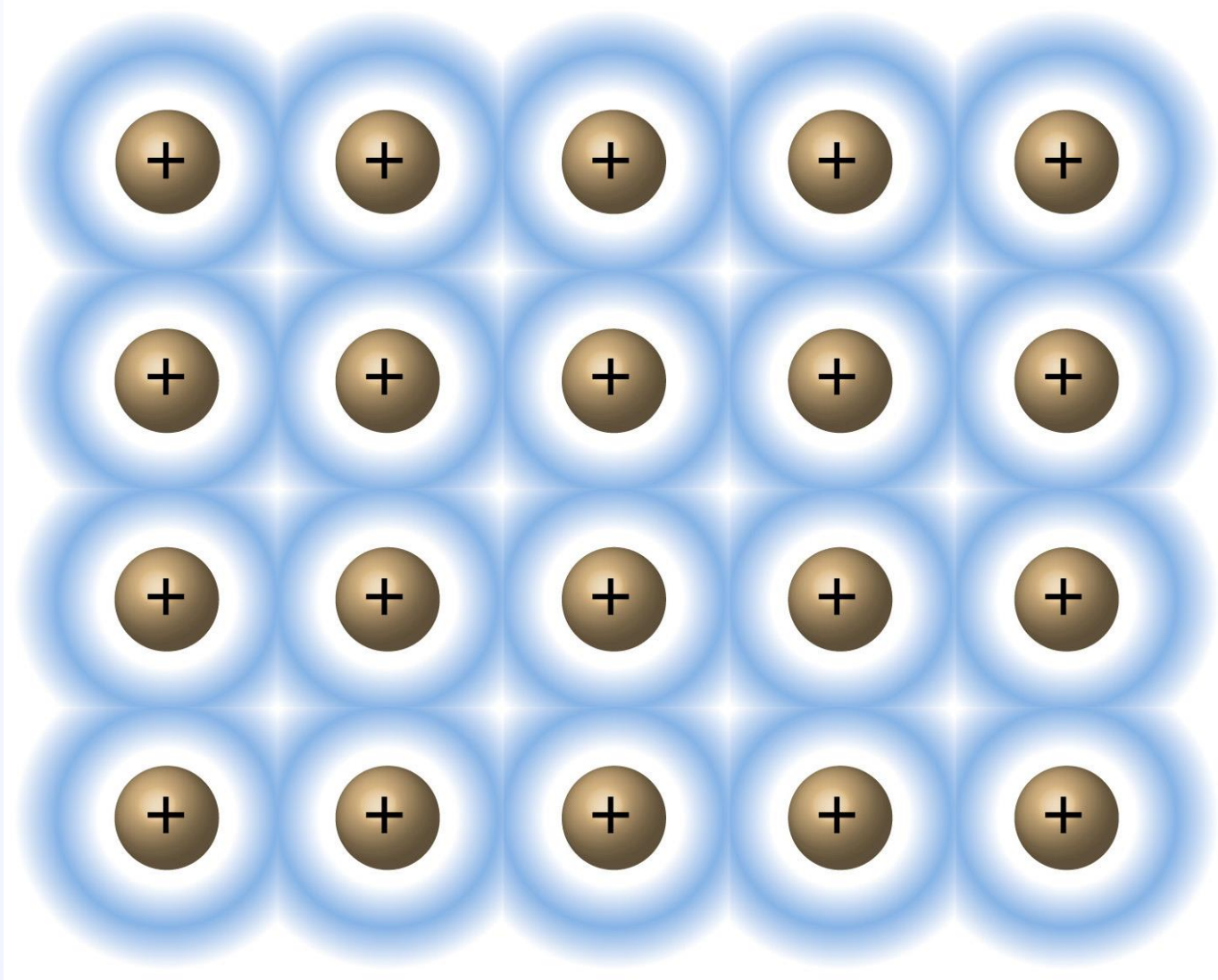
29 protonów

29 neutronów

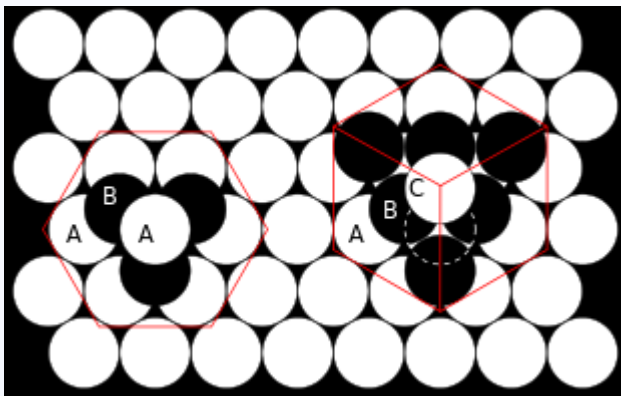
**28 elektronów na
powłokach
wewnętrznych**



METALE



METALE



1) Struktura regularna płasko centrowana fcc :

ABC – ABC

Ag, Au, Pt

2) Struktura heksagonalna gęstego upakowania:

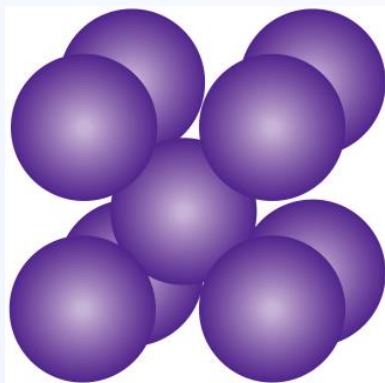
AB – AB;

Atom A (000), atom B ($2/3, 1/3, 1/2$)

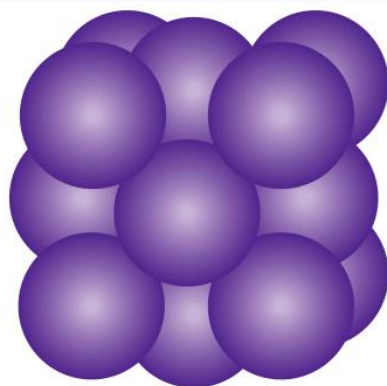
Hg, Ti

3) Struktura regularna objętościowo centrowana bcc
Na, Li, K

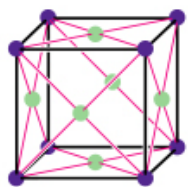
4) Struktura CsCl
Tak jak bcc, ale atom w środku sześcianu jest inny niż w narożach



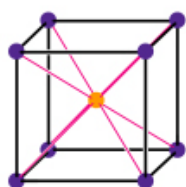
(a)



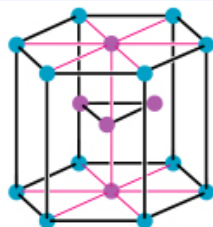
(b)



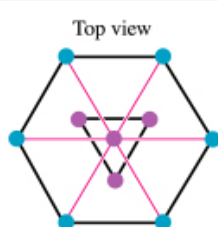
fcc



bcc



heksagonalna najgęstszego upakowania



Top view

lk=8

lk=12

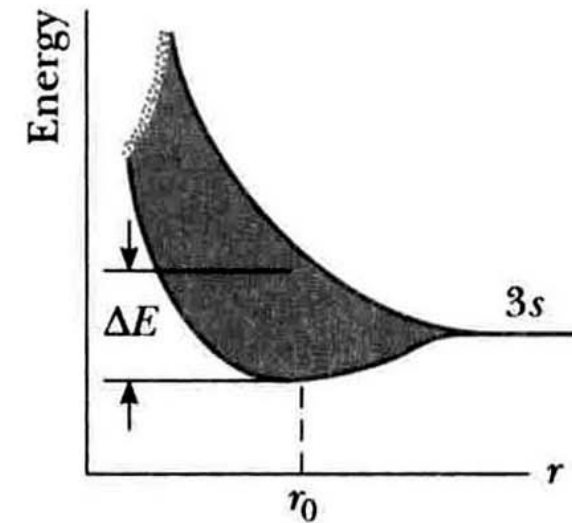
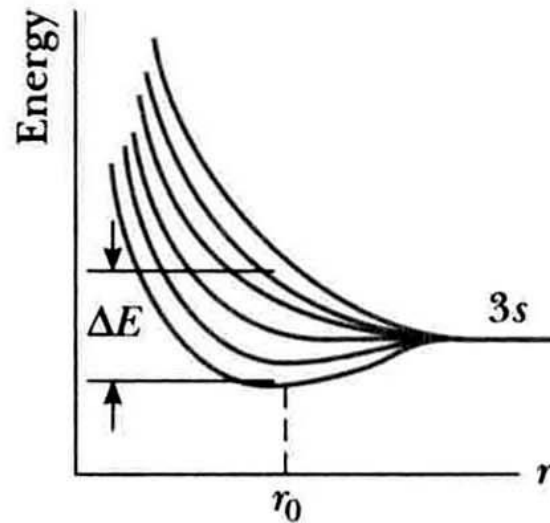
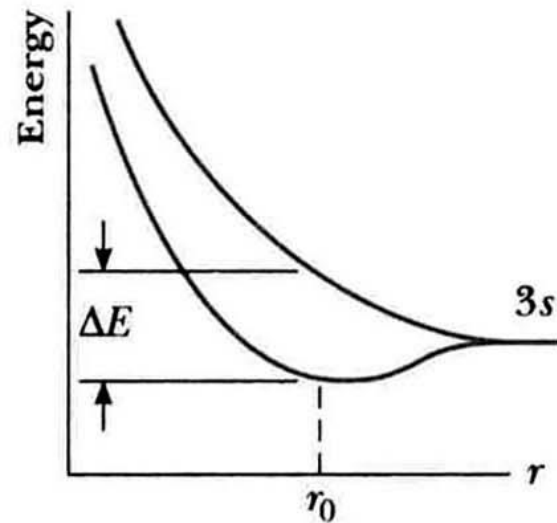


METALE

Dwa atomy

Sześć atomów

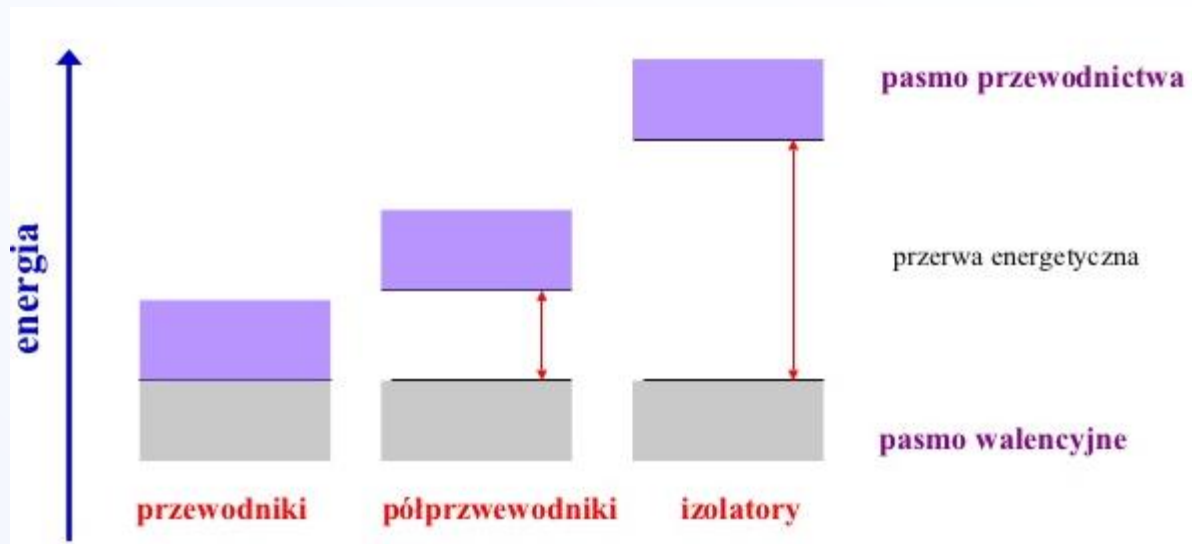
Ciało stałe
 $N \sim 10^{23}$ atomów/cm³



- **Zakaz Pauliego:** elektrony w atomie muszą różnić się przynajmniej jedną liczbą kwantową tzn. nie ma dwóch takich elektronów których stan opisywany byłby przez ten sam zestaw liczb kwantowych n , ℓ , m_ℓ oraz m_s .
- W zbiorze wzajemnie oddziałujących na siebie atomów nie ma dwóch elektronów o identycznych stanach energetycznych



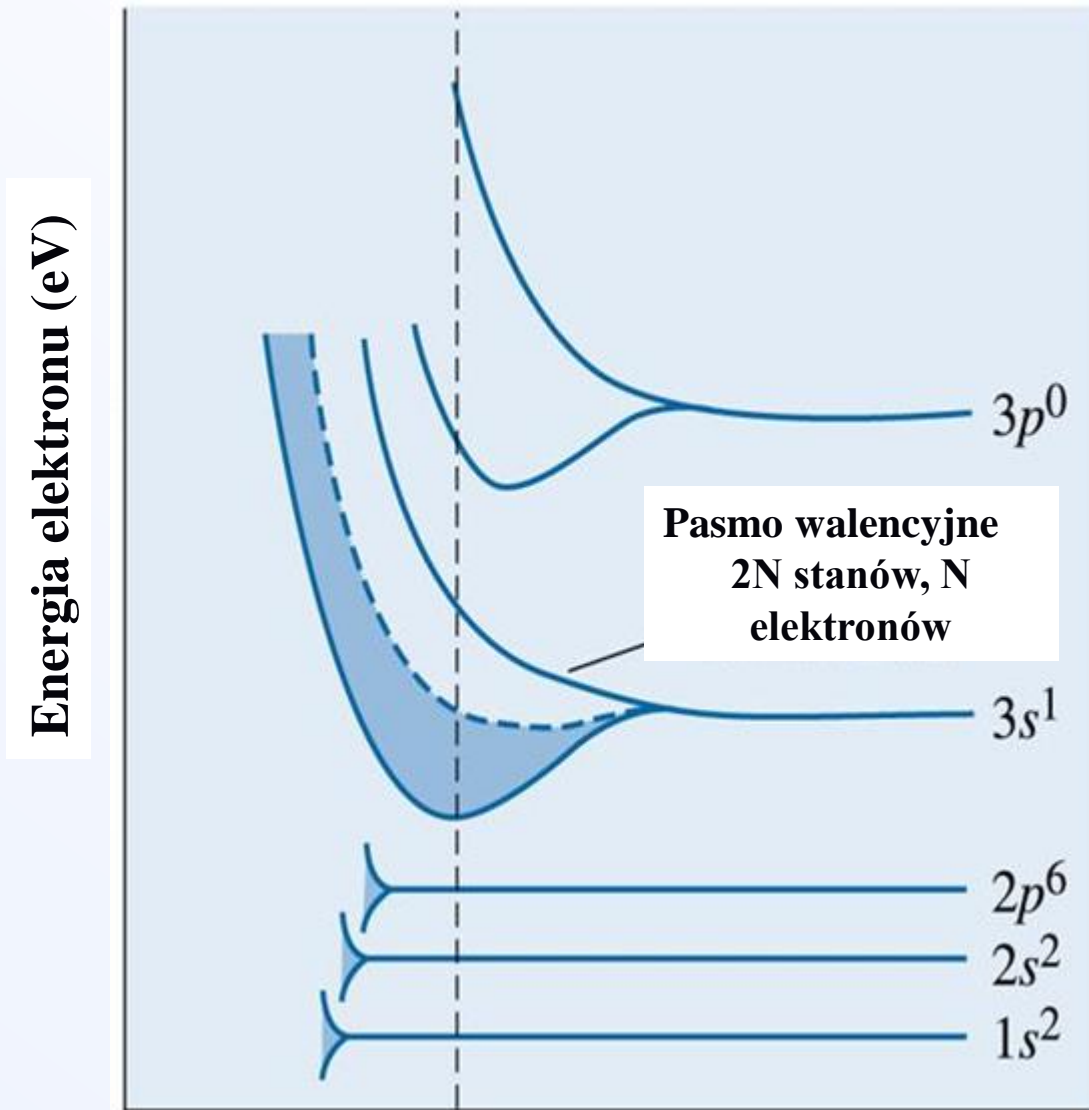
Rodzaje ciał stałych



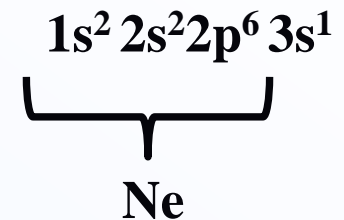
- W ciałach stałych istotnemu rozszczepieniu ulegają stany elektronów walencyjnych.
- Rozszczepione poziomy grupują się w pasma.
- Najwyższe pasmo obsadzone elektronami w niemetalach nazywa się pasmem walencyjnym.
- Sąsiednie wyższe pasmo nazywa się pasmem przewodnictwa.
- Obszar energii zawartej pomiędzy pasmami, niedozwolony dla elektronów nazywa się przerwą wzbronioną.



Powstawanie pasm w kryształe sodu



Konfiguracja w
izolowanym atomie
Na:



Położenie
równowagowe

Odległość między atomami

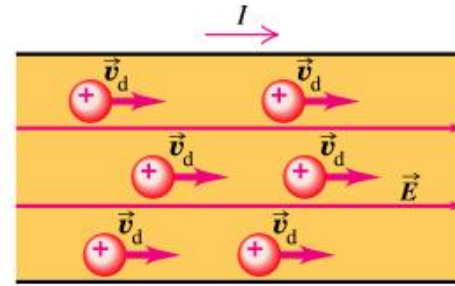
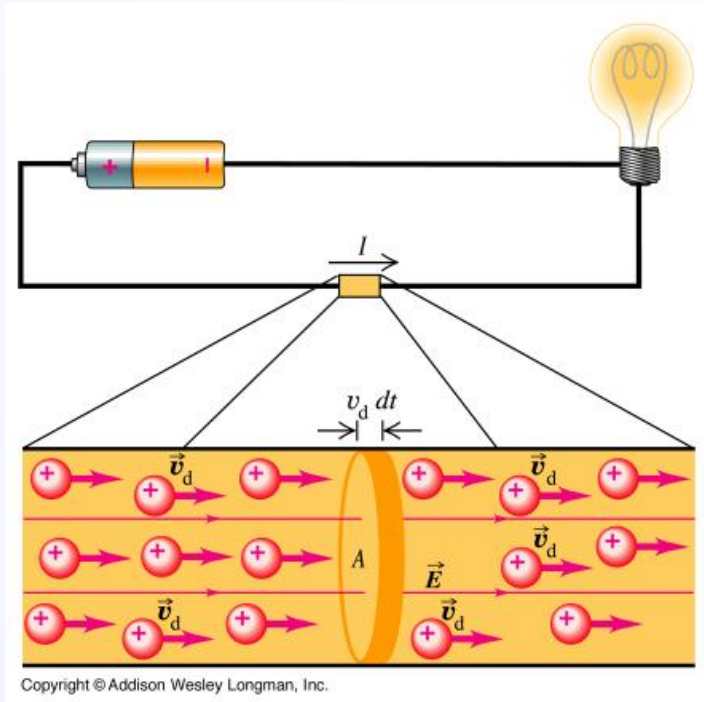


Kwantowy model elektronów swobodnych

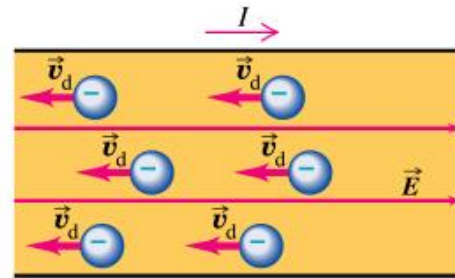
- (i) Elektrony są swobodne: elektrony walencyjne nie oddziałują ze sobą – tworzą gaz doskonały**
- (ii) Przewodnictwo jest ograniczone zderzeniami z niedoskonałościami sieci krystalicznej (przybliżenie czasu relaksacji).**
- (iii) Elektrony są fermionami: podlegają statystyce Fermiego-Diraca**



Prąd elektryczny



(a)



(b)

Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.

Prawo Ohma

$$\rho = 1/\sigma$$

Rezystancja właściwa

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}$$

$$\sigma = qn\mu$$

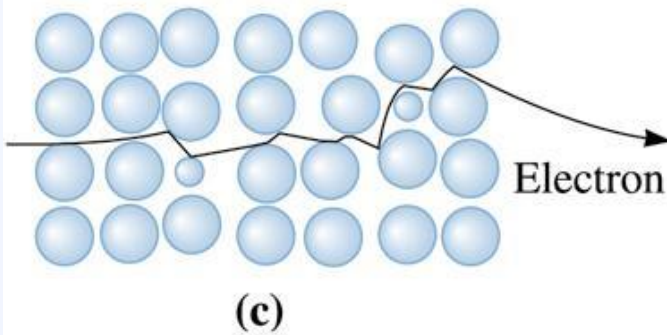
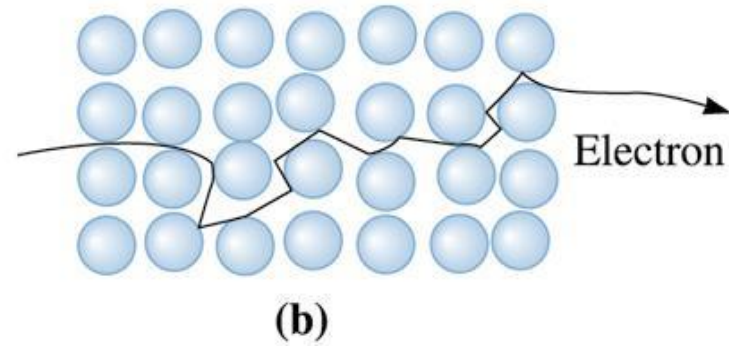
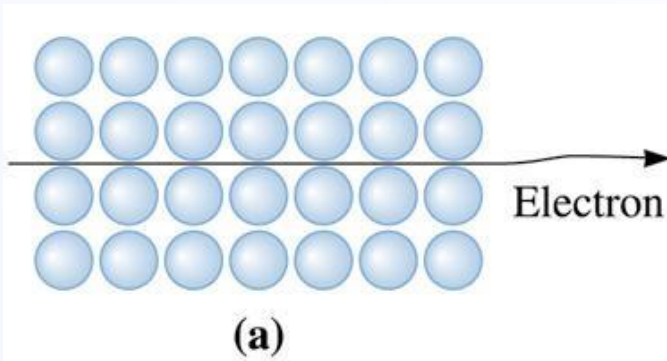
Ruchliwość

$$I = \vec{j} \cdot \vec{A}$$

Przewodność właściwa



Transport elektronów w metalu



- a) Elektron w perfekcyjnym kryształe
- b) Elektron w kryształe w skończonej temp.
- c) Elektron w kryształe zdefektowanym

©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning[®] is a trademark used herein under license.

$$\sigma = en\mu$$

Przewodność właściwa
Rezystancja właściwa

$$\rho = 1/\sigma$$

$$\mu = \frac{v}{E}$$

Ruchliwość

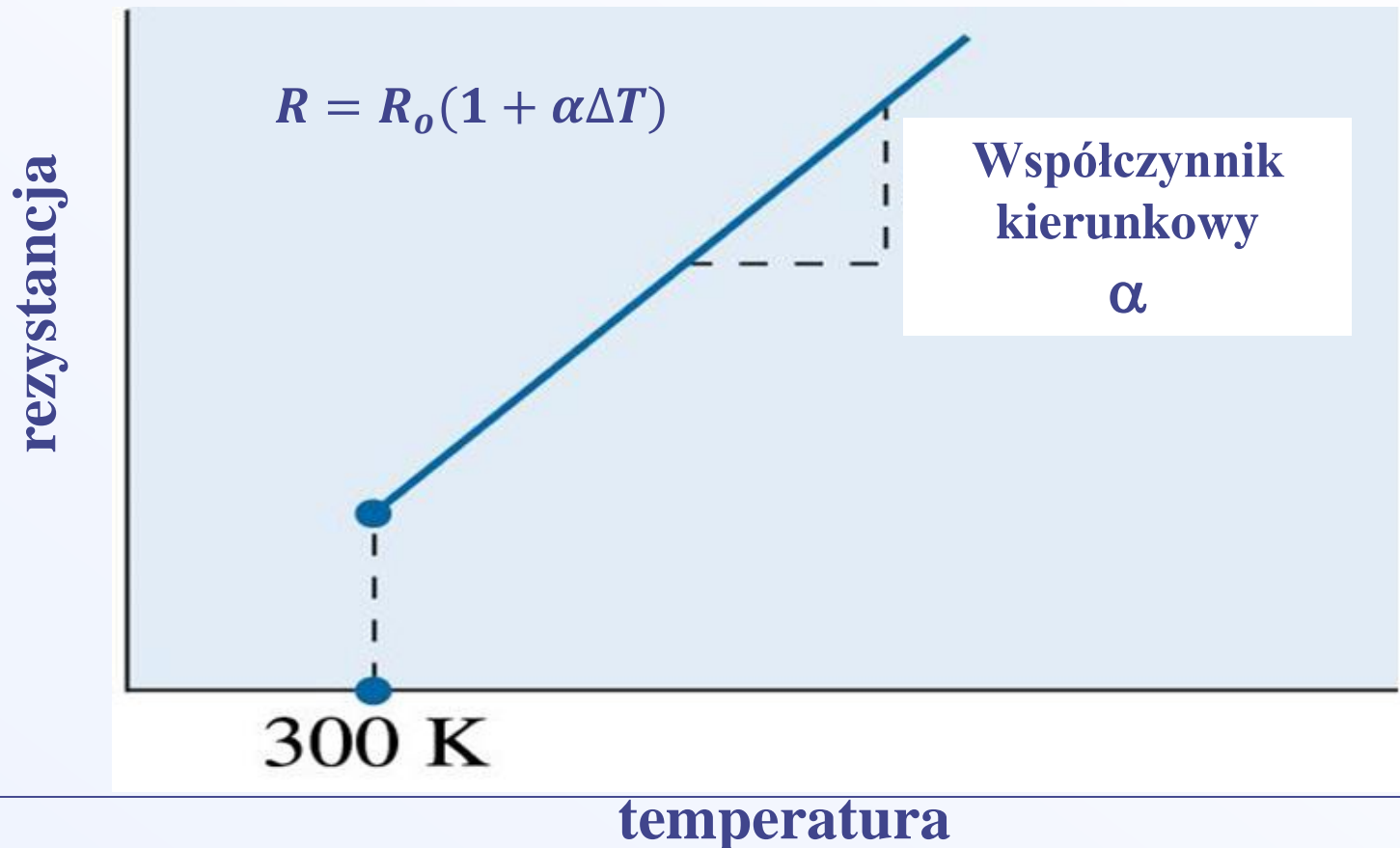
Natężenie pola elektrycznego



Współczynnik temperaturowy rezystancji

Wraz ze wzrostem temperatury ruchliwość μ maleje, wtedy przewodność właściwa maleje a rezystancja właściwa ρ rośnie i rośnie rezystancja R:

$$\sigma(T) = en\mu(T) \quad \rho = 1/\sigma \quad R = \rho \frac{l}{A} = \frac{l}{\sigma A}$$



Funkcja rozkładu Fermiego-Diraca

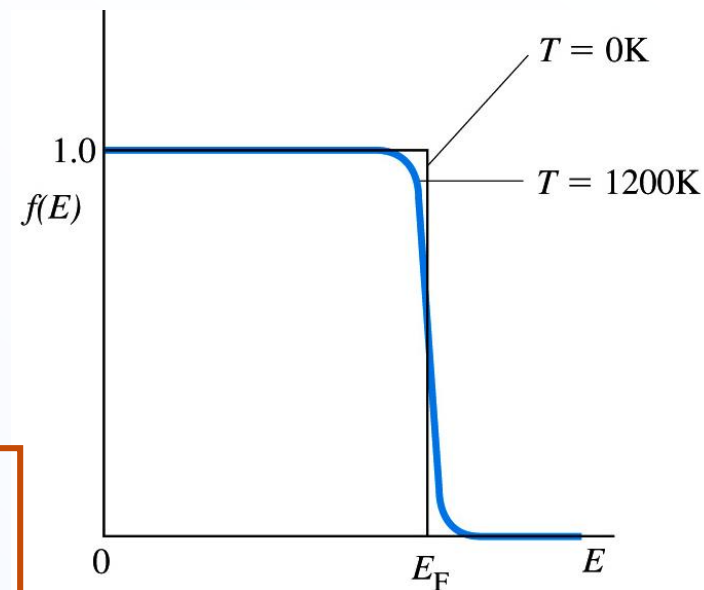
Elektrony są fermionami.

Prawdopodobieństwo obsadzenia stanu fermionem:

$$f(E) = \frac{1}{e^{(E-E_F)/kT} + 1}$$

$$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$\text{Dla } T = 0 \text{ K, } f(E) = \begin{cases} 1 & E < E_F \\ 0 & E > E_F \end{cases}$$



- W $T=0$ wypełnione są wszystkie stany o energiach poniżej E_F
- Dla dowolnej temperatury prawdopodobieństwo wypełnienia stanu o energii E_F wynosi 0.5:

$$f(E) = 0.5 \text{ dla } E = E_F$$

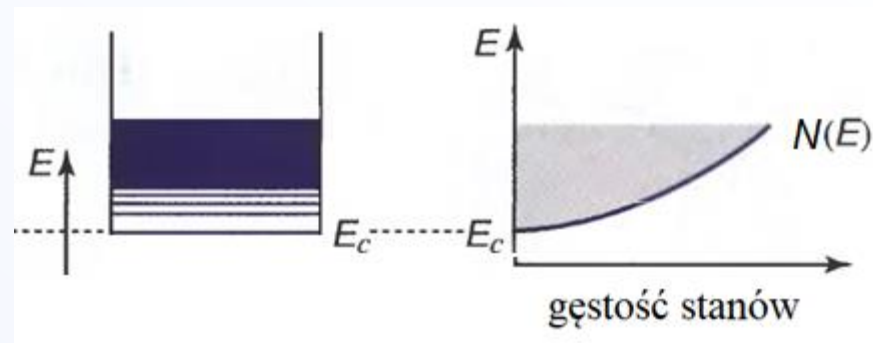
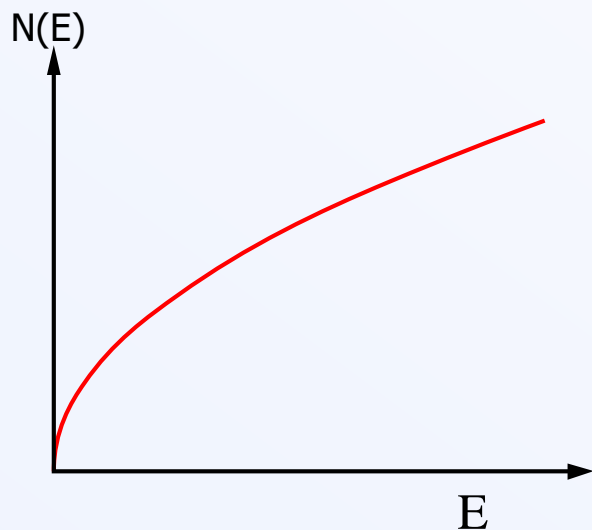


Gęstość stanów

Gęstość stanów $N(E)$ jest to liczba stanów energetycznych na jednostkę objętości, których energia zawarta jest w przedziale od E do $E+dE$ wynosi:

$$N(E)dE = \frac{1}{2\pi^2} \left(\frac{2m}{\hbar^2} \right)^{3/2} \sqrt{E} dE$$

$$h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$
$$\hbar = h/2\pi$$



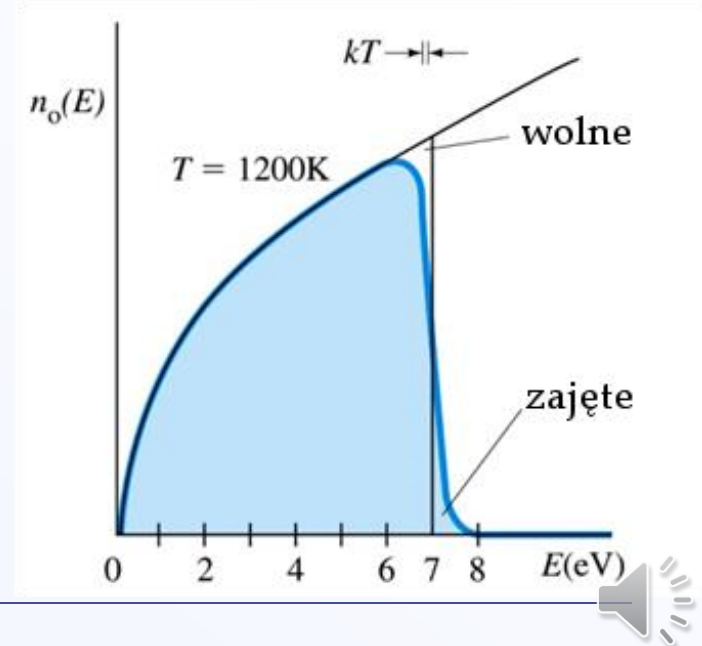
Koncentracja elektronów swobodnych w metalu

Aby obliczyć ilość elektronów w jednostce objętości o energiach od E do $E+dE$ w stanie równowagi w temperaturze T , gęstość stanów należy pomnożyć przez funkcję Fermiego-Diraca:

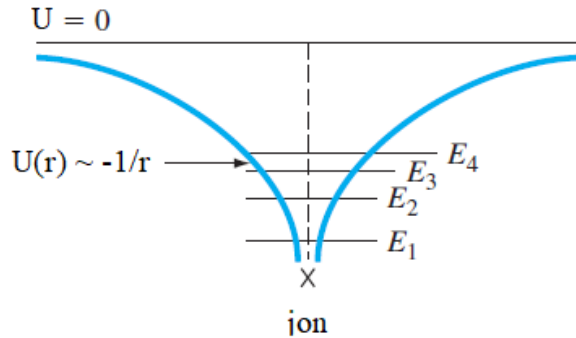
$$n_o(E)dE = N(E)f(E)dE = \frac{8\sqrt{2}\pi m^{3/2}}{h^3} \frac{E^{1/2}}{e^{(E-E_F)/kT} + 1} dE$$

Koncentrację elektronów otrzyma się, jeśli doda się (scałkuje) te elementarne ilości z całego zakresu energii w pasmie:

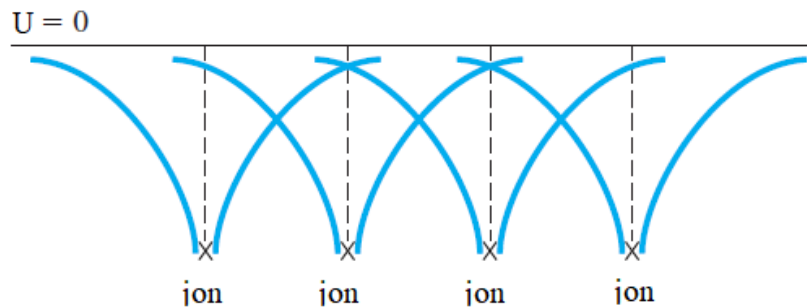
$$n = \int_0^{E_F} f(E)N(E)dE = \frac{16\sqrt{2}\pi m^{3/2}}{3h^3} E_F^{3/2}$$



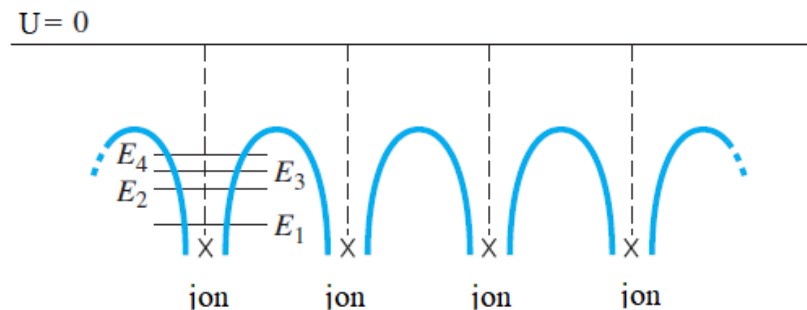
Energia potencjalna łańcucha monoatomowego



**Energia potencjalna elektronu
w izolowanym atomie**



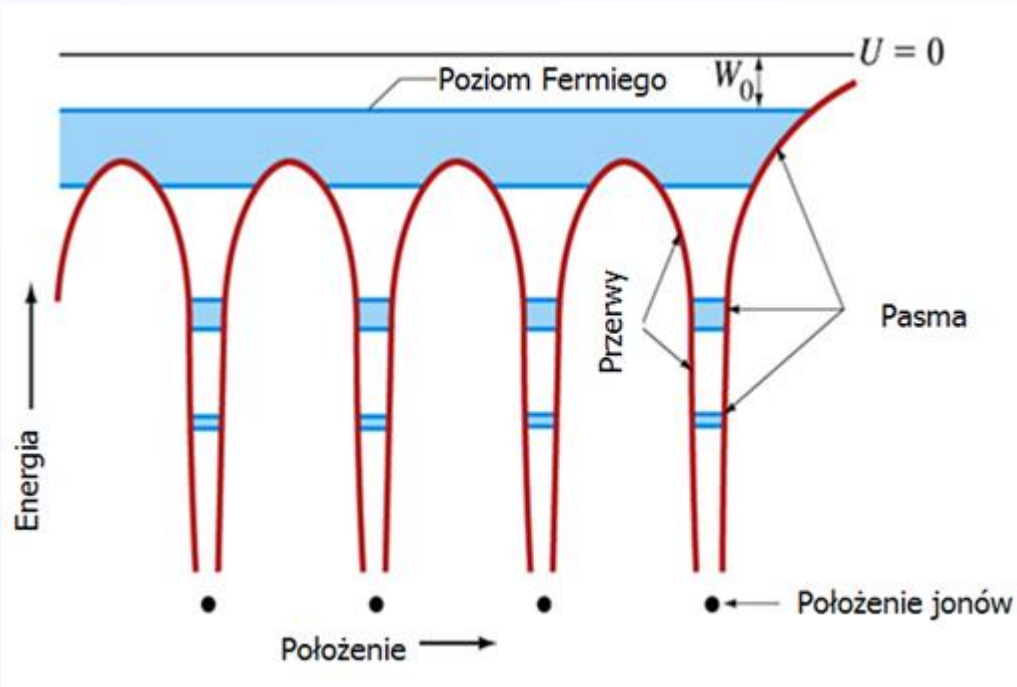
**Przekrycie energii
potencjalnej elektronu
w kryształie
jednowymiarowym**



**Wypadkowa energia
potencjalna elektronu
w kryształie
jednowymiarowym**



Model elektronów swobodnych w metalu

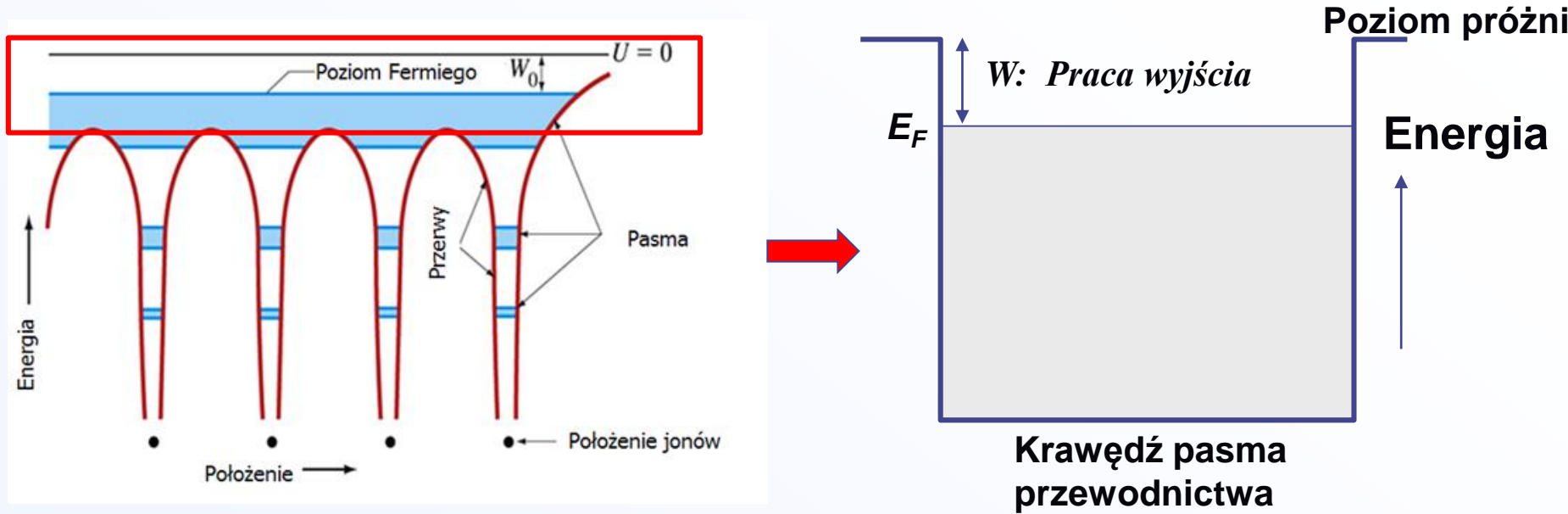


$$E_F = \frac{h^2}{8m} \left(\frac{3}{\pi} n \right)^{2/3}$$

- Dla $T = 0$, wszystkie stany o energii poniżej energii Fermiego E_F są wypełnione elektronami, a wszystkie o energiach powyżej E_F są puste.
- Dowolnie małe pole elektryczne może wprawić w ruch elektrony z poziomu E_F dostarczając im energii $\Delta U = eEx$ prowadząc do bardzo dużego przewodnictwa elektrycznego.
- W temperaturach $T > 0$, elektrony są termicznie wzbudzone do stanów o energiach powyżej energii Fermiego.



Parametry Fermiego dla el. swob. w metalu

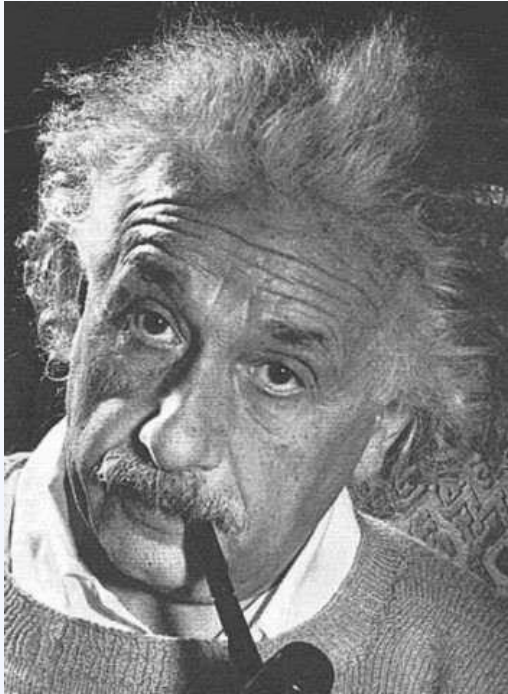


$$E_F = \frac{h^2}{8m} \left(\frac{3}{\pi} n \right)^{2/3}$$

metal	Koncentracja elektronów [10^{28} m^{-3}]	Energia Fermiego E_F [eV]	Praca wyjścia W [eV]
Na	2.65	3.24	2.35
Cu	8.47	7.00	4.44
Ag	5.86	5.49	4.3
Au	5.90	5.53	4.3
Fe	17.0	11.1	4.31
Al	18.1	11.7	4.25
Sn	14.8	10.2	4.38



Efekt fotoelektryczny

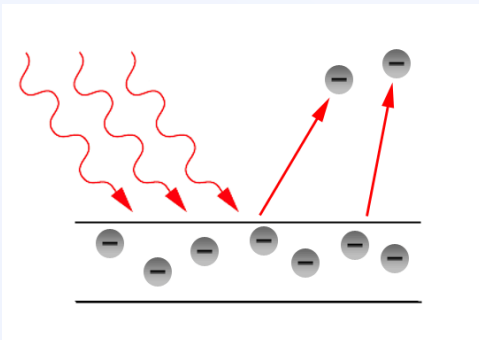


Nobel 1921

- Fala elektromagnetyczna o częstotliwości f jest strumieniem fotonów, z których każdy posiada energię $E=hf$
- Równanie opisujące efekt fotoelektryczny

$$hf = W + K_{max}$$

gdzie W – praca wyjścia elektronu, K_{max} – maksymalna energia kinetyczna elektronów



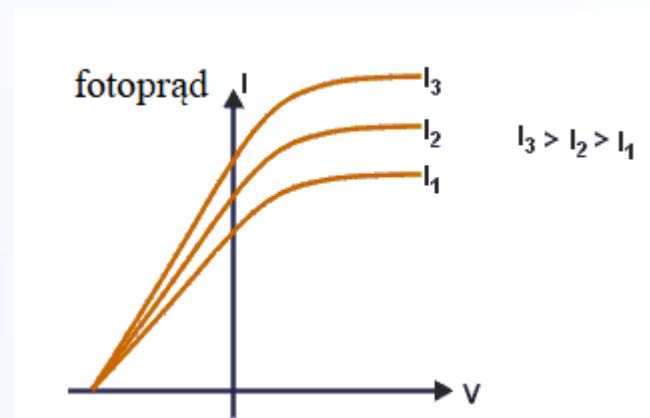
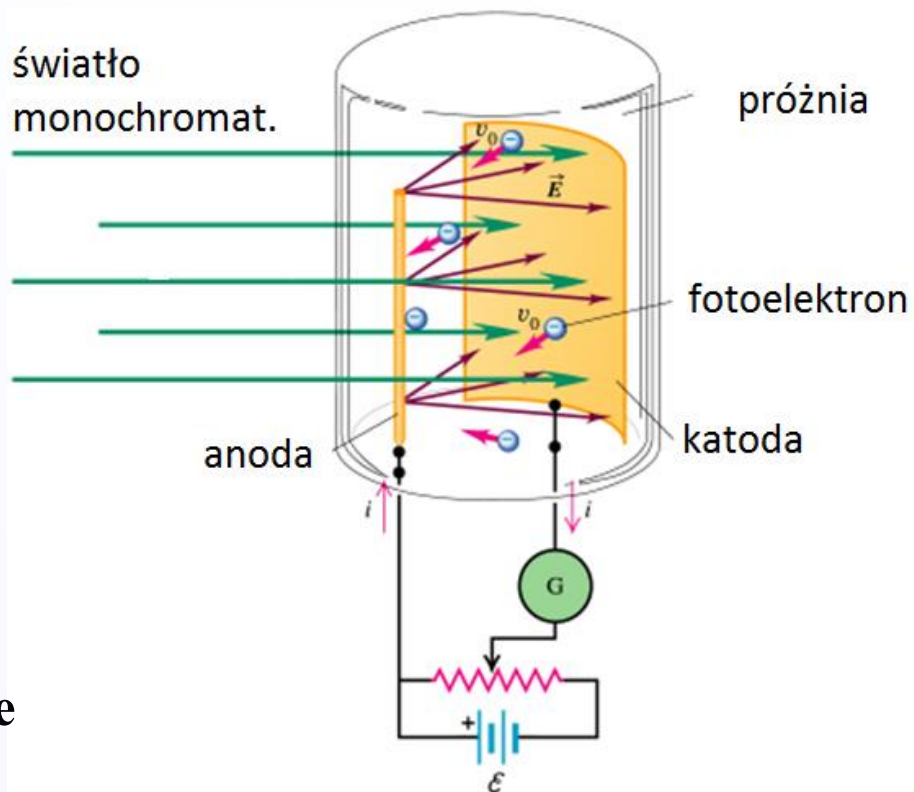
W wyniku absorpcji fotonu, elektron uzyskuje energię $E = hf$. Jeżeli energia ta jest większa od pracy wyjścia W , elektron może opuścić powierzchnię fotokatody.



Efekt fotoelektryczny

$$hf = W + K_{max}$$

- W wyniku absorpcji fotonu, elektron uzyskuje energię $E=hf$. Jeżeli energia ta jest większa od pracy wyjścia W , elektron może opuścić powierzchnię katody. Jeśli dotrze do anody w układzie płynie prąd.
- 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 natężenie prądu nasycenia.



Foton

$$E_f = hf = \frac{h}{\lambda} c$$

$$\lambda = \frac{h}{E_f} c$$

stała Plancka

$$h = 6.63 \cdot 10^{-34} J \cdot s$$

prędkość światła

$$c = 3 \cdot 10^8 m/s$$

$$1eV = 1.6 \cdot 10^{-19} C \cdot V = 1.6 \cdot 10^{-19} J$$

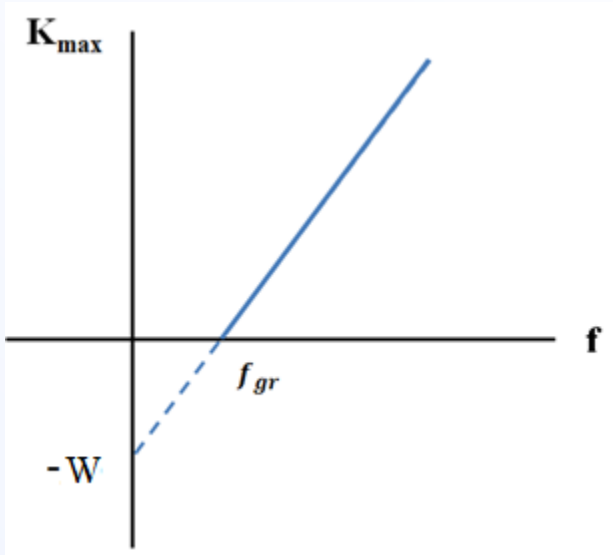
Jeśli energia fotonu jest wyrażona w eV to długość fali (w nm) jest równa:

$$\lambda(nm) = \frac{1240}{E_f(eV)}$$

$$\lambda(nm) = \frac{1240}{4eV} = 310nm \quad \longrightarrow \quad \text{ultrafiolet}$$



Efekt fotoelektryczny



$$hf = K_{max} + W$$

$$K_{max} = hf - W$$

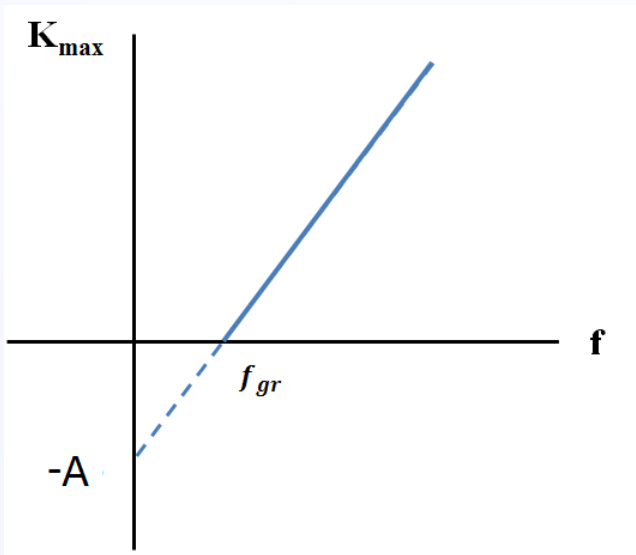
- Maksymalna energia kinetyczna elektronów jest proporcjonalna do częstotliwości fali
- Fotoefekt występuje dla fali o częstotliwości powyżej pewnej granicznej, zależnej od rodzaju fotokatody (pracy wyjścia)

$$hf_{gr} > W$$

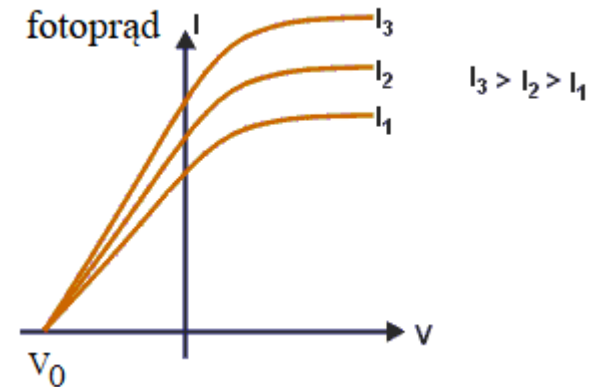
- Zauważmy, że z ekstrapolacji wykresu $K_{max}(f)$ do przecięcia z osią K_{max} można wyznaczyć pracę wyjścia W .



Efekt fotoelektryczny



$$K_{max} = hf - W$$



- Różnicę energii pomiędzy energią fotonu a pracą wyjścia elektron unosi w postaci energii kinetycznej. Maksymalna energia kinetyczna zależy liniowo od częstotliwości fali. Aby zahamować elektron potrzebne jest napięcie, tym większe im większa jest częstotliwość fali.
- Napięcie hamowania nie zależy od natężenia oświetlenia

$$eV_0 = K_{max}$$

