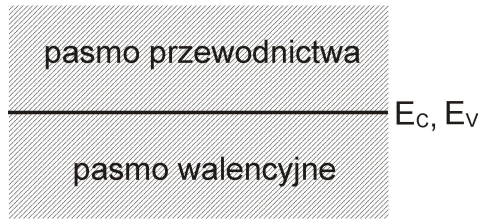


# **Budowa pasmowa ciał stałych**

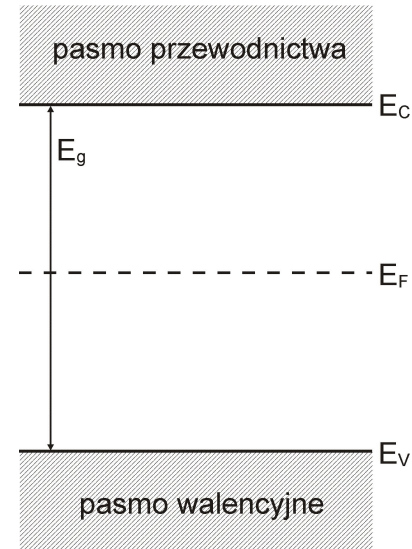
# Podział ciał stałych pod względem właściwości elektrycznych

- przewodniki (przewodzą prąd)
- izolatory (nie przewodzą prądu)
- półprzewodniki (przewodzą lub nie przewodzą prądu)

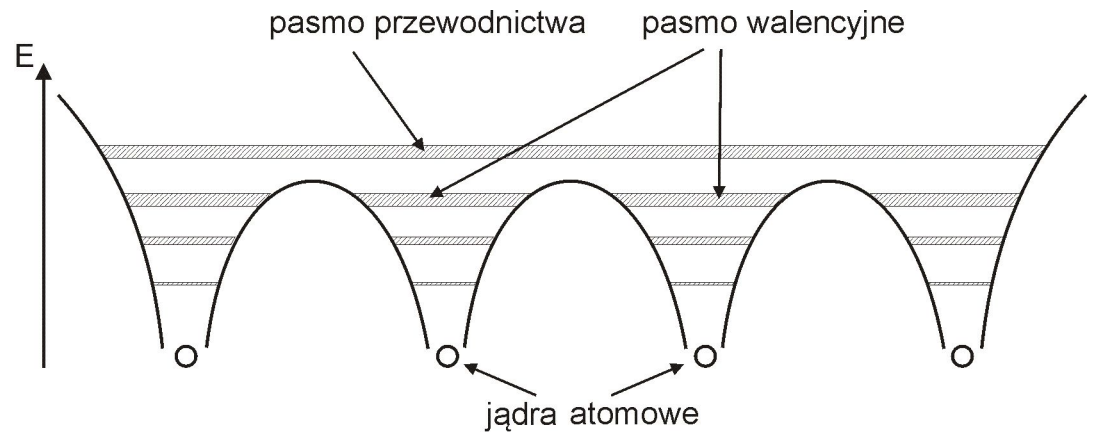
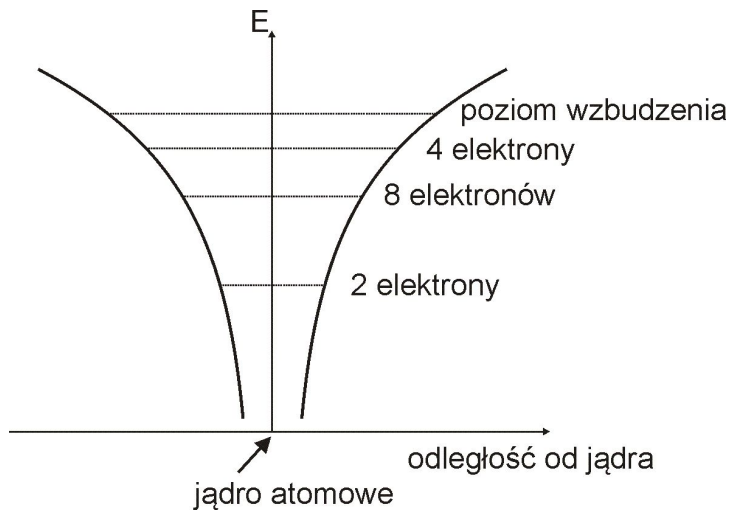
# Struktura pasmowa ciał stałych



Metal

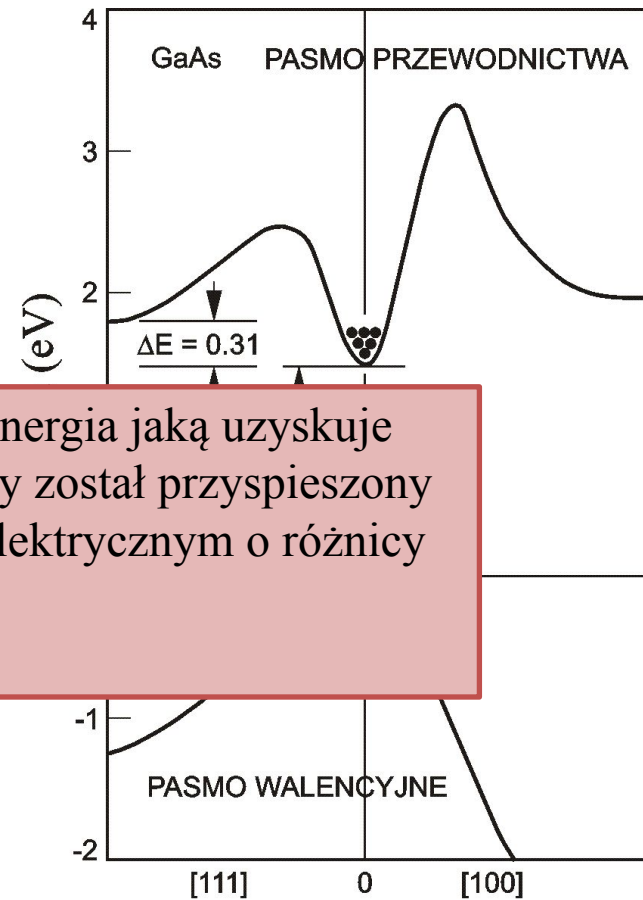
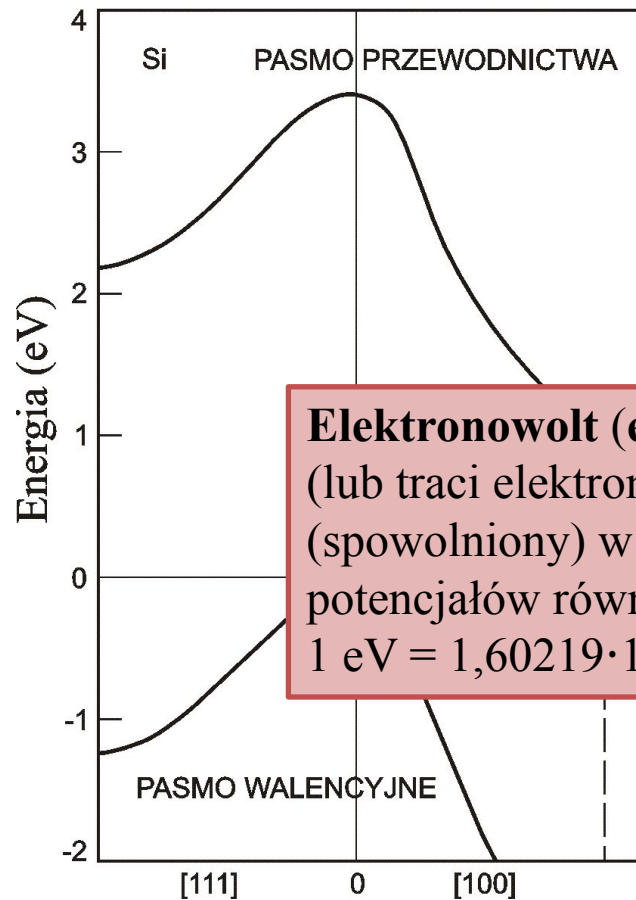


Półprzewodnik samoistny / izolator



Energia potencjalna elektronów w atomie i kryształie krzemu

# Rodzaje przerwy energetycznej



**Elektronowolt (eV)** – energia jaką uzyskuje (lub traci elektron), który został przyspieszony (spowolniony) w polu elektrycznym o różnicy potencjałów równej 1 V.  
 $1 \text{ eV} = 1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

**Krzem (Si)**

przerwa energetyczna skośna

$$E_g = 1,11 \text{ eV}$$

**Arsenek galu (GaAs)**

przerwa energetyczna prosta

$$E_g = 1,43 \text{ eV}$$

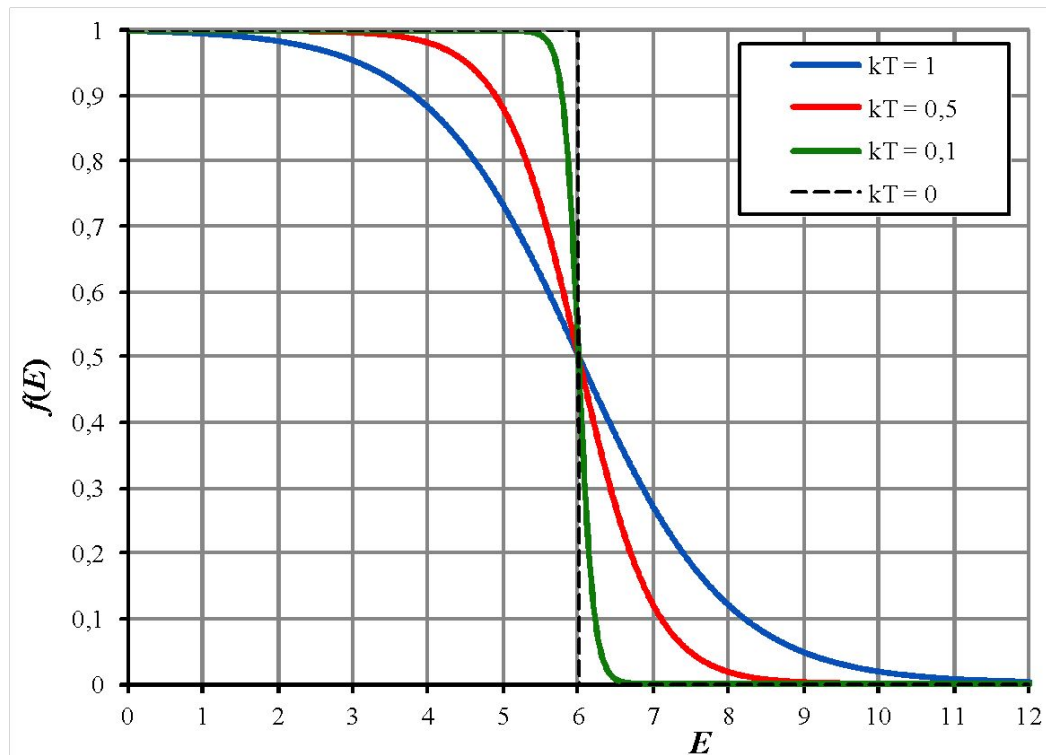
# Rozkład Fermiego-Diraca

Prawdopodobieństwo wystąpienia elektronu w stanie o energii  $E$  w danej temperaturze.

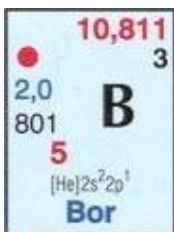
$$f(E) = \frac{1}{\exp\left(\frac{E - E_F}{k_B T}\right) + 1}$$

$k_B$  – stała Boltzmana:  $8,61 \cdot 10^{-5}$  [eV/K]

Prawdopodobieństwo wystąpienia elektronu w stanie o energii  $E$  dla różnych iloczynów  $k_B T$ .



# Domieszkowanie półprzewodników

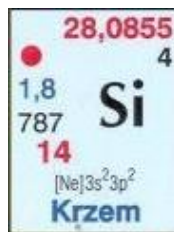


**Borium**

g: 13

o: 2

z. p.: 2, 3

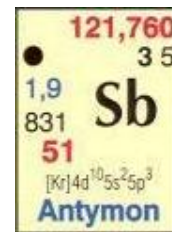


**Silicium**

g: 14

o: 3

z. p.: 2, 8, 4

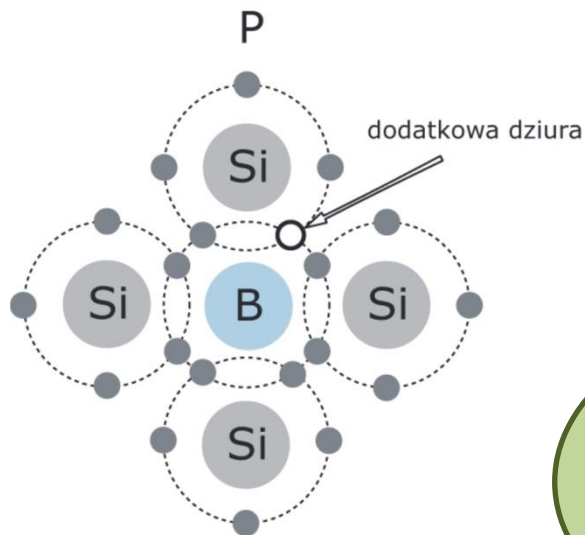


**Stibium**

g: 15

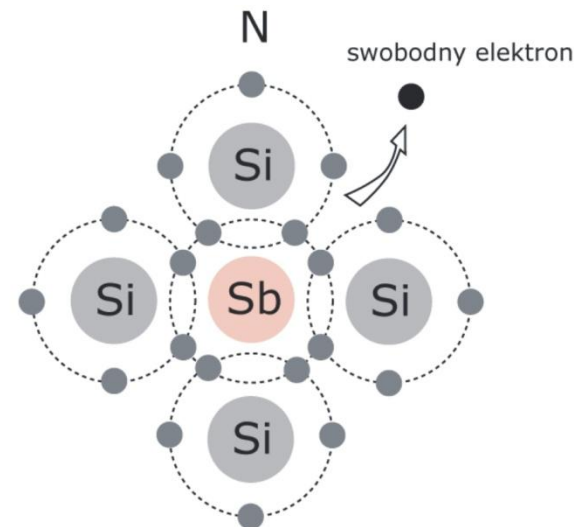
o: 5

z. p.: 2, 8, 18, 18, 5



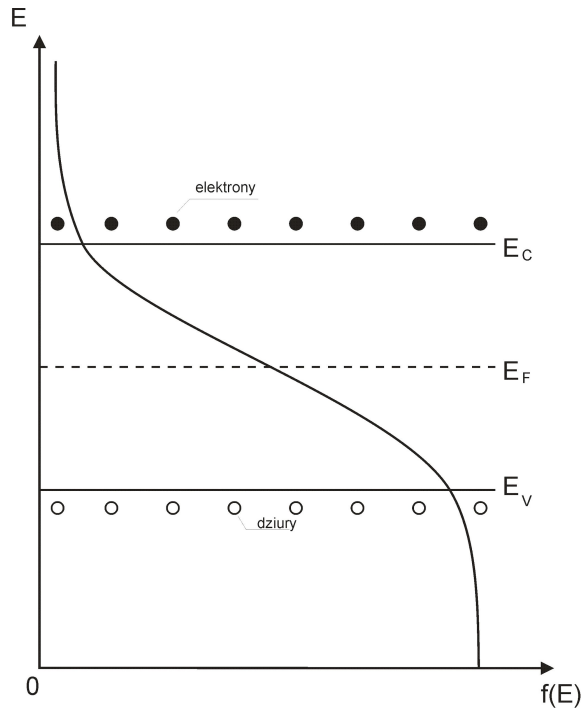
**Półprzewodnik typu P**  
(domieszkowany akceptorowo)

Wystarczy tylko  
1 atom domieszki  
na  $10^7$  atomów pp  
domieszkowanego !!!

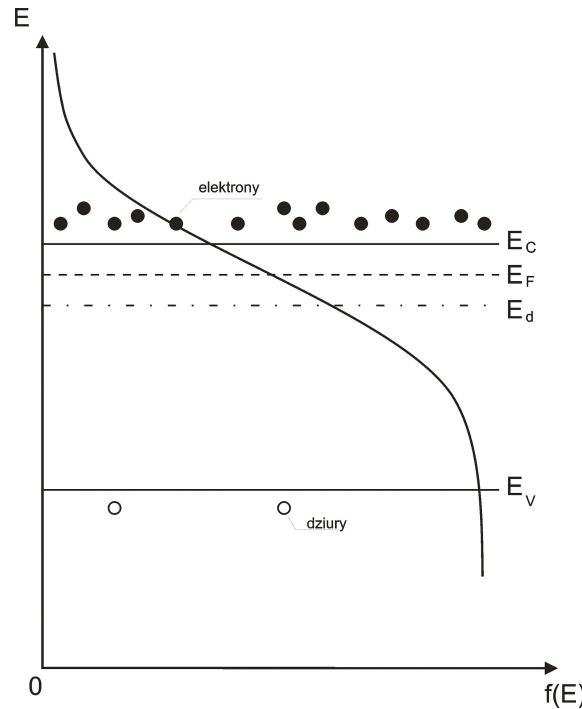


**Półprzewodnik typu N**  
(domieszkowany donorowo)

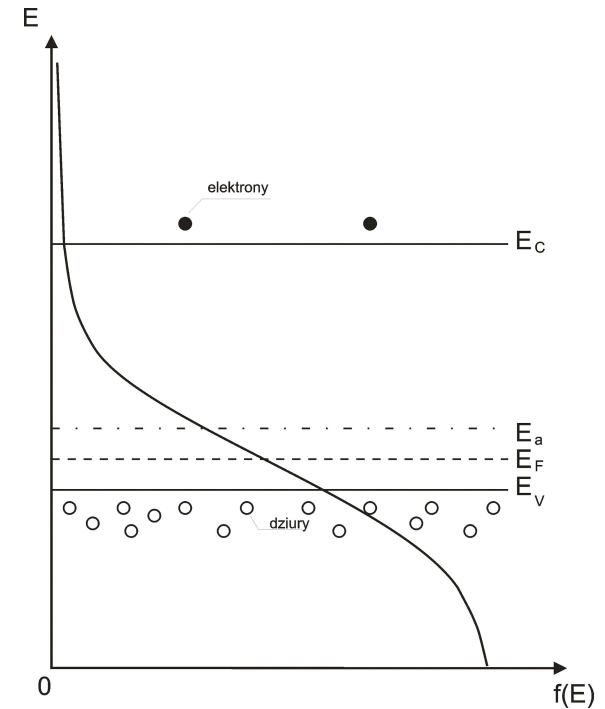
# Budowa pasmowa półprzewodników



Półprzewodnik **samoistny**  
(bez domieszek)



Półprzewodnik **typu N**



Półprzewodnik **typu P**

# Właściwości elektryczne metali / półprzewodników / izolatorów

- rezystywność (opór elektryczny właściwy)  $\rho$  [ $\Omega\text{m}$ ], dla metali  $\rho < 10^{-6} \Omega\text{m}$ , natomiast dla izolatorów  $\rho > 10^8 \Omega\text{m}$  (w temperaturze pokojowej)

$$\boxed{\times} = \frac{\boxed{\times\! \times}}{\boxed{\times\! \times}^2 \boxed{\times\! \times\! \times\! \times}}$$

- temperaturowy współczynnik oporu  $\alpha = (1/\rho)(d\rho/dT)$  [ $\text{K}^{-1}$ ],
- koncentracja nośników ładunku  $n$ , liczba nośników ładunku przypadająca na jednostkę objętości [ $\text{m}^{-3}$ ],
- wzrost temperatury o  $1^\circ\text{C}$  powoduje wzrost rezystancji metali o około 0,3-0,6%, natomiast w typowo domieszkowanych półprzewodnikach spadek rezystancji o 5-10%,
- przewodnictwo półprzewodników silnie zależy od nawet niewielkiej ilości zanieczyszczeń w kryształach



# Złącze metal-półprzewodnik

**Możliwe kombinacje złączy *metal-półprzewodnik*:**

- 1) półprzewodnik typu n oraz  $\Phi_m < \Phi_s$
- 2) półprzewodnik typu n oraz  $\Phi_m > \Phi_s$
- 3) półprzewodnik typu p oraz  $\Phi_m < \Phi_s$
- 4) półprzewodnik typu p oraz  $\Phi_m > \Phi_s$

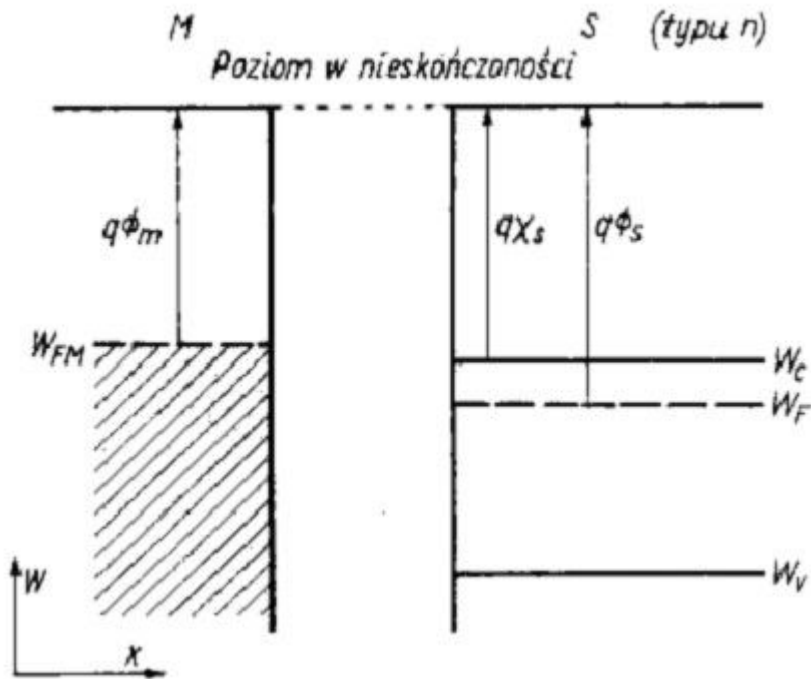
**w przypadku:**

- 1 i 4 – złącze ma charakter omowy,  
2 i 3 – ma charakter prostujący.

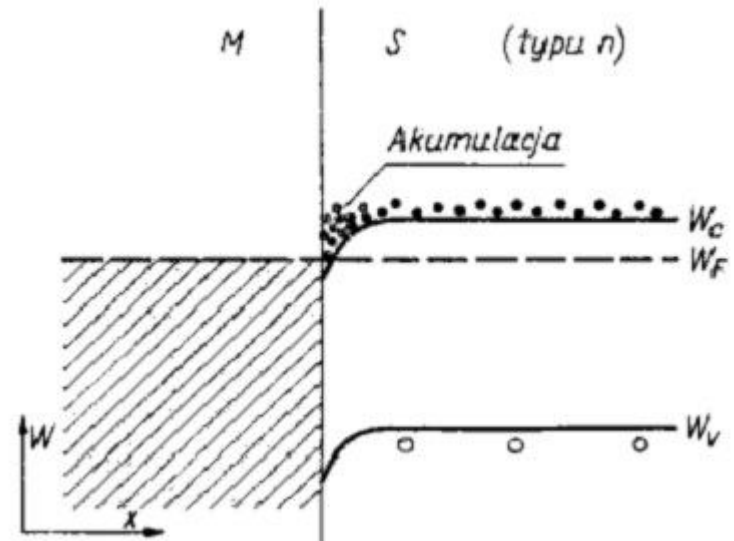
**Praca wyjścia elektronu,  $\Phi$**  - praca jaką należy wykonać aby przenieść elektron z poziomu Fermiego do nieskończoności (minimalna energia kinetyczna elektronu niezbędna do opuszczenia przez niego powierzchni ciała).

# Złącze metal-półprzewodnik (n)

praca wyjścia z metalu < praca wyjścia z półprzewodnika



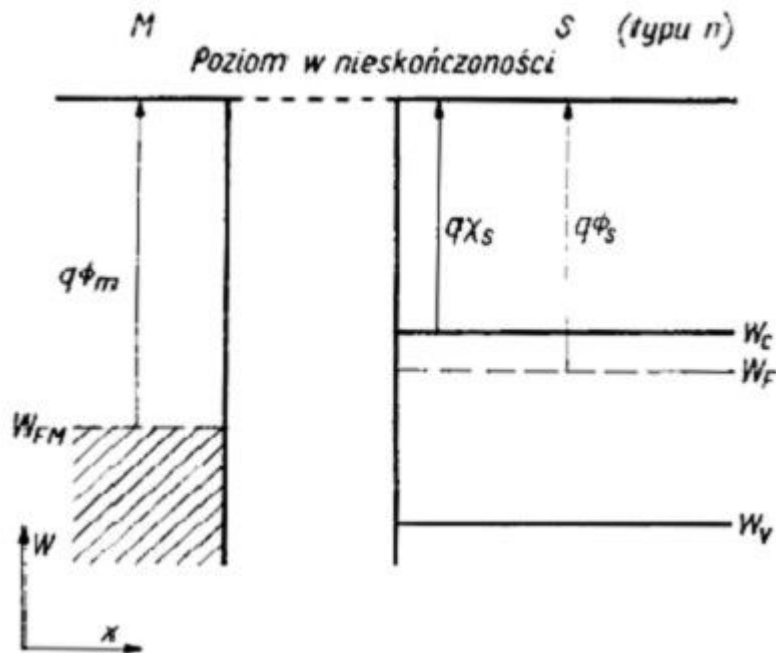
przed złączeniem



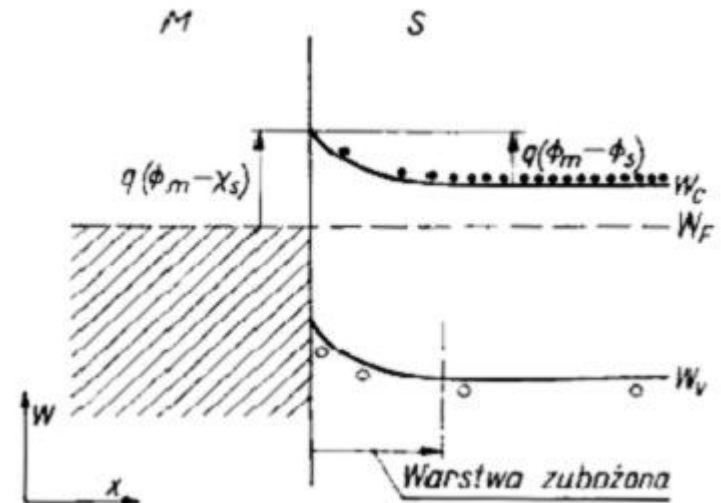
po złączeniu

# Złącze metal-półprzewodnik (n)

praca wyjścia z metalu > praca wyjścia z półprzewodnika



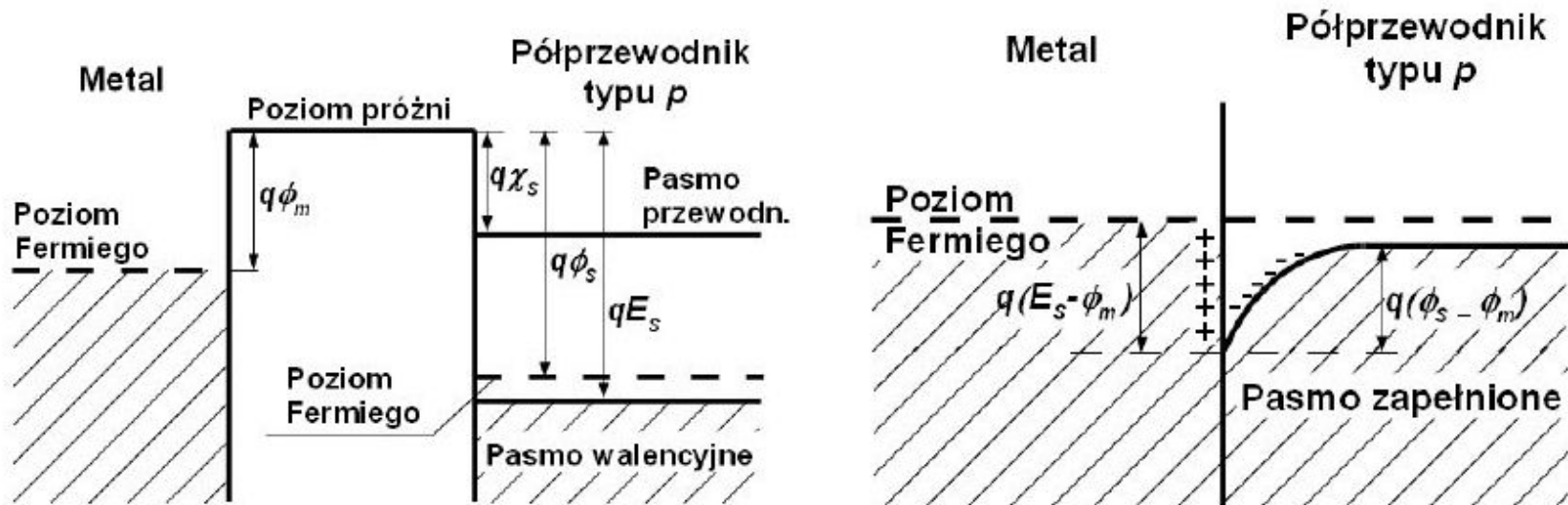
przed złączeniem



po złączeniu

# Złącze metal-półprzewodnik (p)

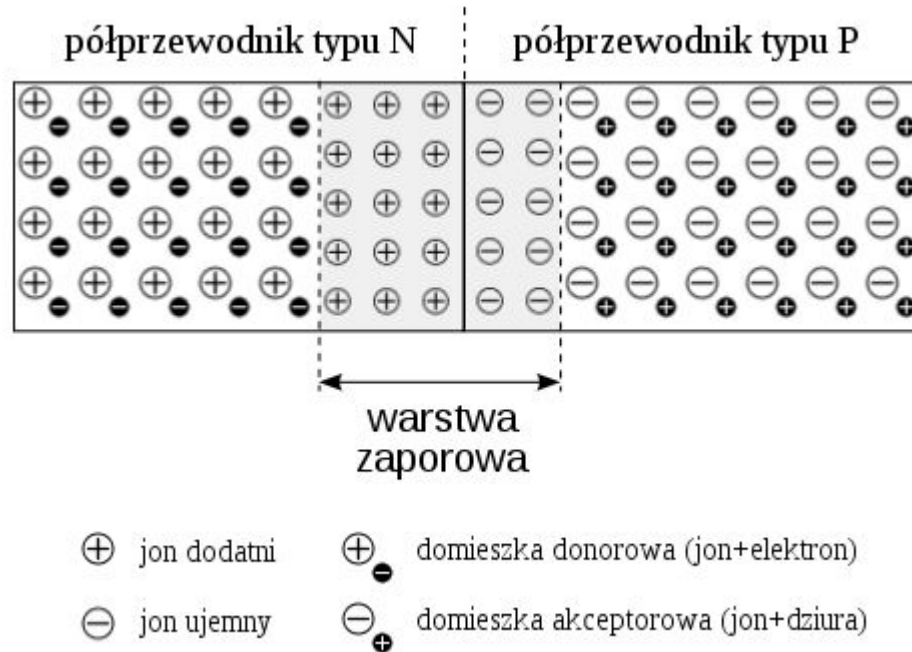
praca wyjścia z metalu < praca wyjścia z półprzewodnika



przed złączeniem

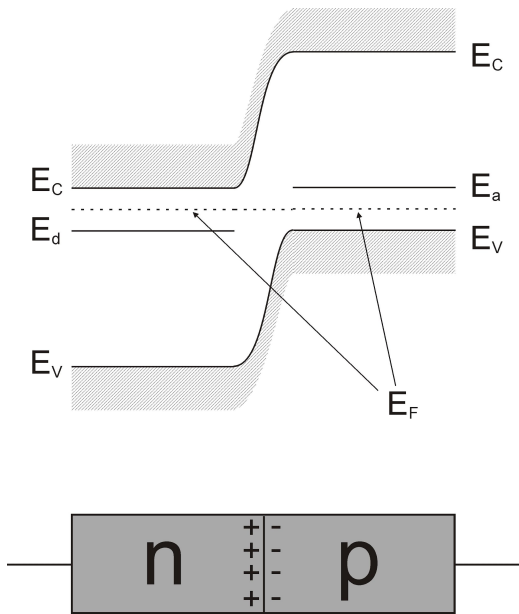
po złączeniu

# Złącze p-n (dioda)

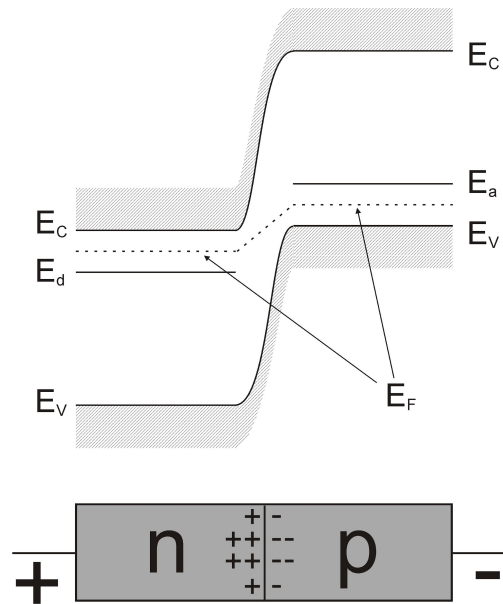


**Niespolaryzowane  
złącze p-n**

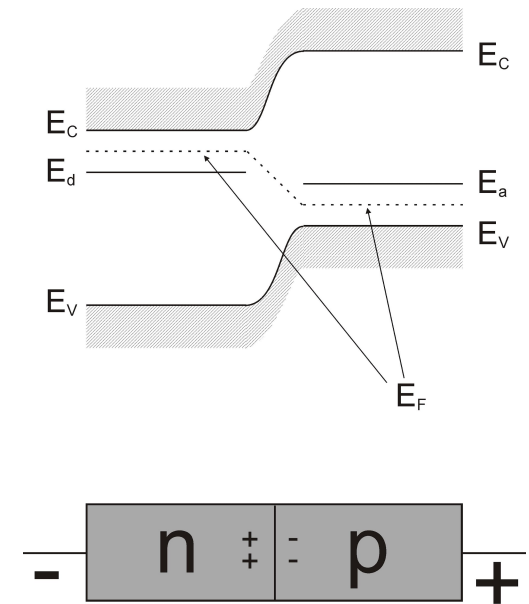
# Złącze p-n (dioda)



Złącze bez polaryzacji

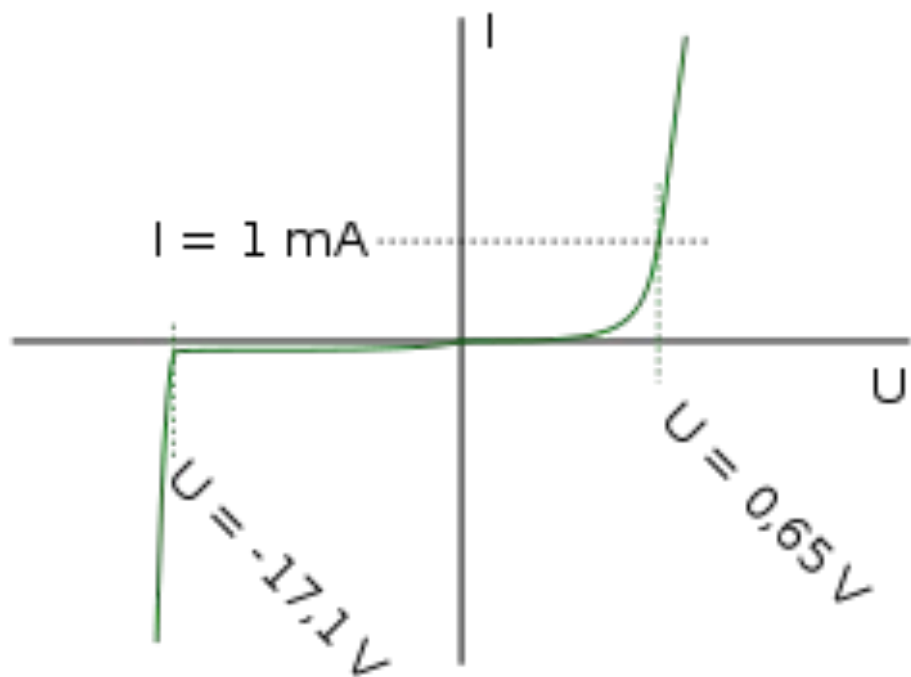


Złącze spolaryzowane  
w kierunku zaporowym



Złącze spolaryzowane  
w kierunku przewodzenia

# Rodzaje diod i typowa charakterystyka $I(U)$ diody



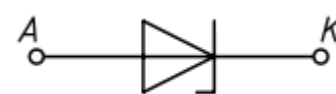
Charakterystyka prądowo-napięciowa diody

## Rodzaje diod:

Dioda LED



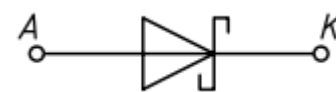
Dioda Zenera



Dioda tunelowa



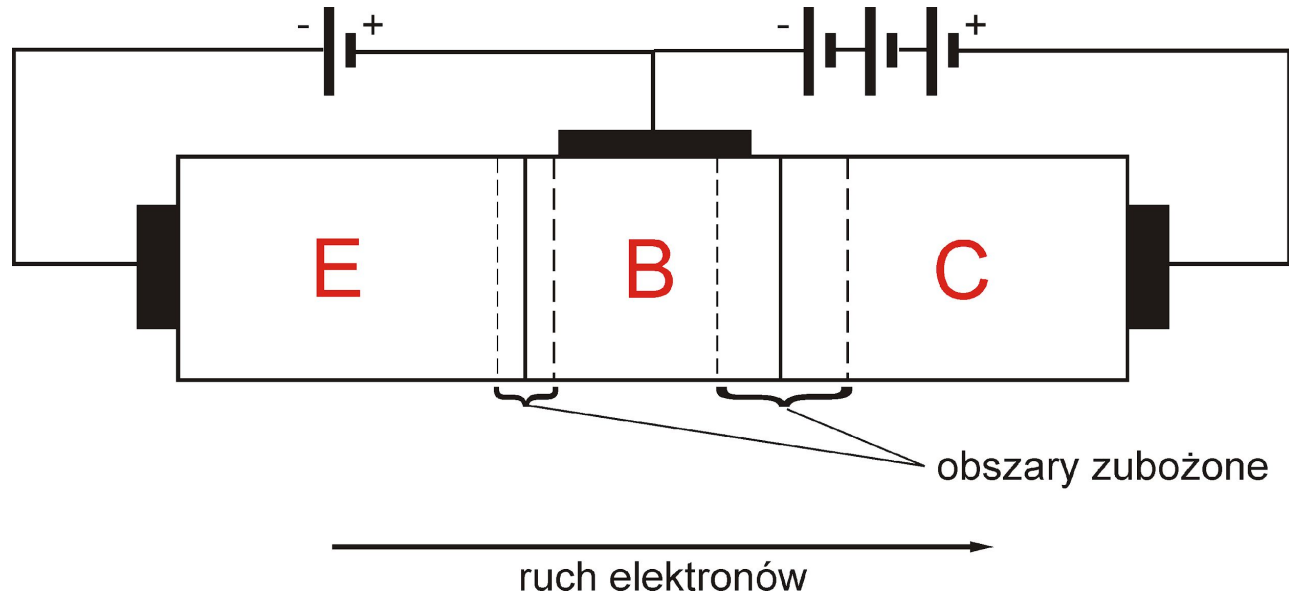
Dioda Schottky'ego



Dioda pojemnościowa



# Tranzystor bipolarny

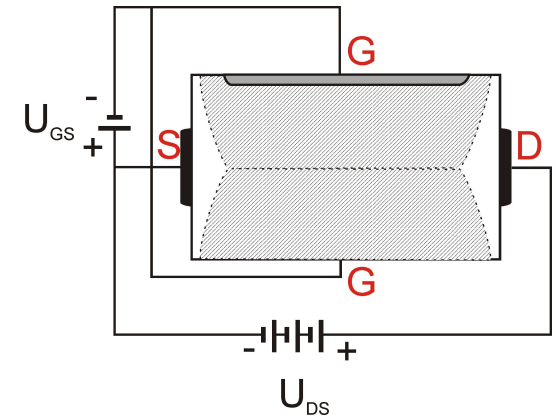
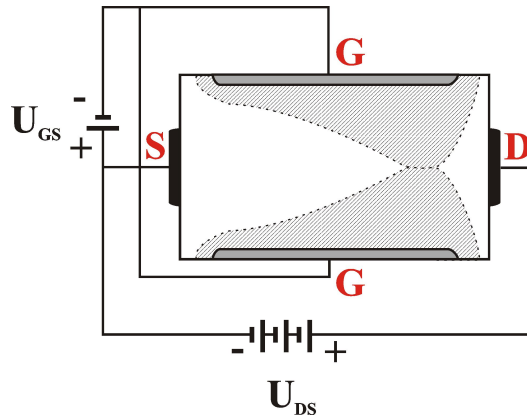
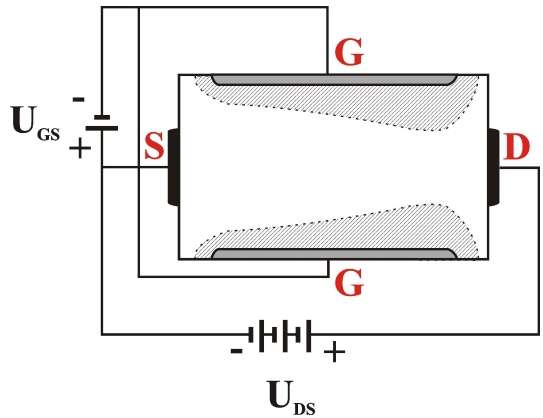
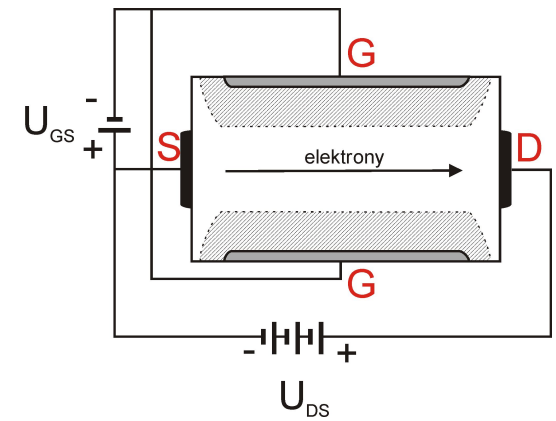
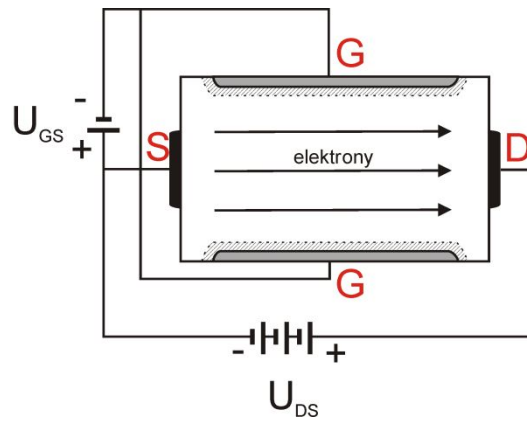
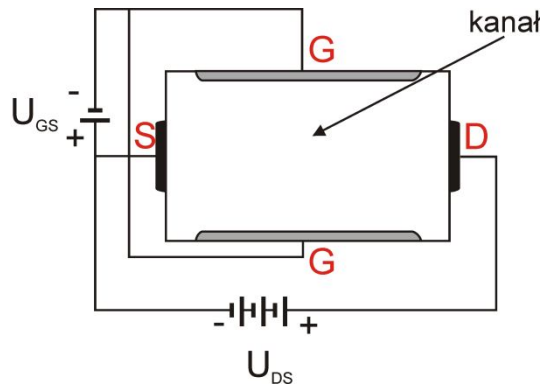


- E** – emiter
- B** – baza
- C** – kolektor



# Tranzystor polowy z kanałem typu $n$

**S** – źródło  
**G** – bramka  
**D** – dren

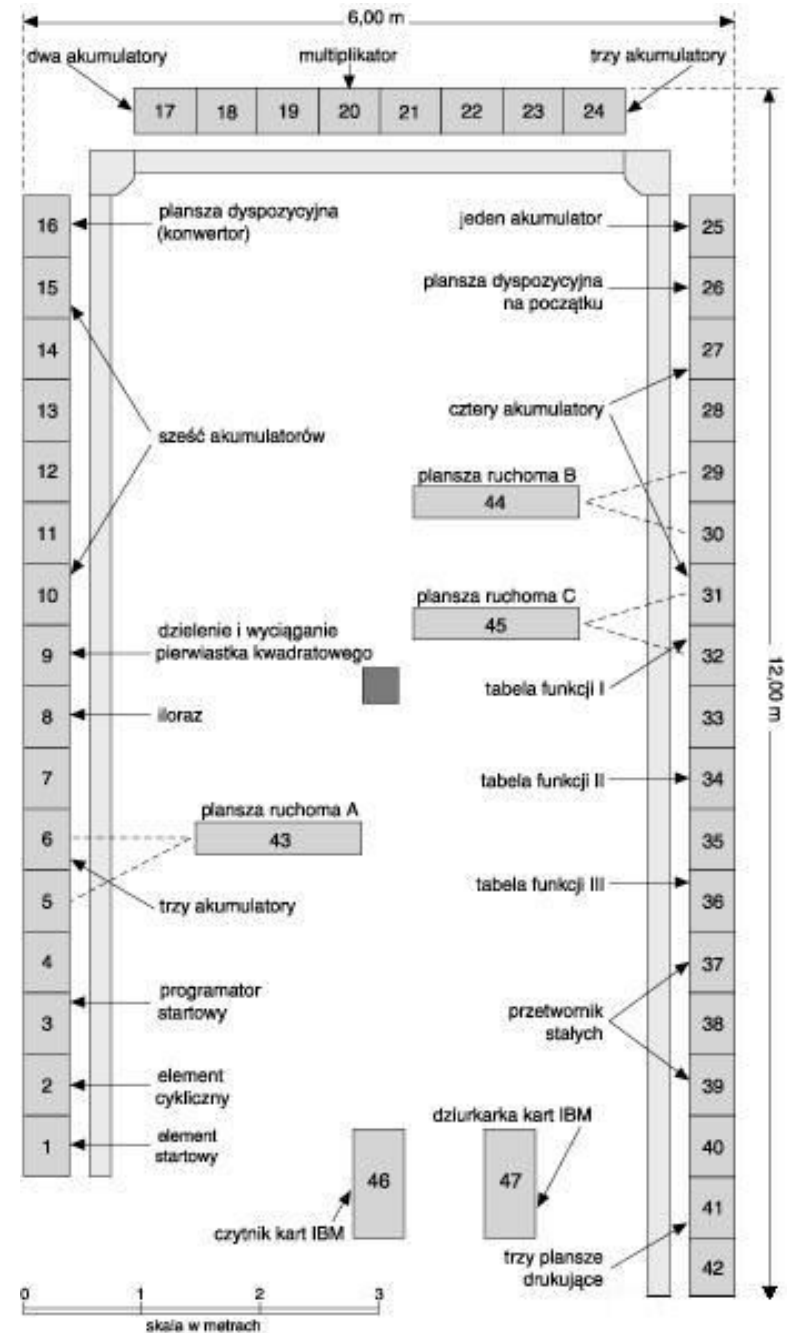


# Eniac pierwszy komputer

- Pierwsze obliczenia listopad 1945
- 15.02.1946 – poinformowano opinię publiczną o jego istnieniu
- 30.06.1946 – koniec testów, ENIAC wszedł w posiadanie armii USA

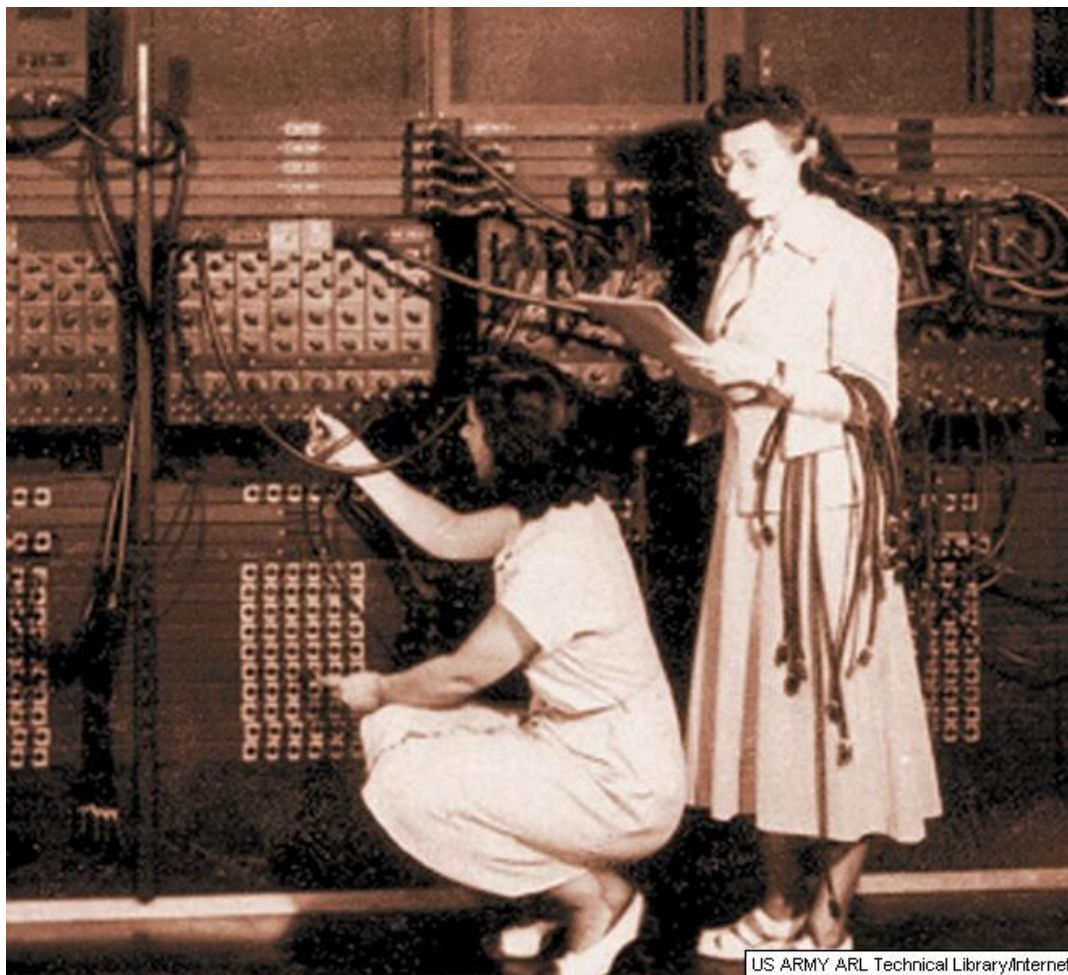
# Dane techniczne

- Masa 30 ton
- 42 czarne blaszane szafy o wymiarach: 3x0,6x0,3m
- składał się z: 18800 lamp w 16 rodzajach, 6000 komutatorów, 1500 przełączników i 500 000 oporników
- Zużycie mocy 150kW
- Wentylacja: dwa silniki Chryslera o łącznej mocy 24 KM
- Po przekroczeniu 48 stopni Celsjusza w którymkolwiek module, termostaty wyłączały cały system



# Przeznaczenie

- Pracował w systemie dziesiętnym na liczbach 10-cyfrowych (w razie konieczności 20-cyfrowych) dodatnich jak i ujemnych
- Używany do rozwiązywania równań różniczkowych potrzebnych przy tworzeniu tablic balistycznych



- Średni czas bezawaryjnej pracy: pół godziny  
!!!
- Ostatecznie wyłączony 02.10.1955 i dzięki sprzeciwom obsługujących go uczonych nie został całkowicie ze złomowany
- Największy fragment znajduje się w Smithsonian Institute w Waszyngtonie