

# Podstawy Fizyki

# dla Informatyki

Stanisław Drożdż  
Katedra Informatyki PK

## Bozony, fermiony i zakaz Pauliego

Fermiony i bozony

Układ okresowy

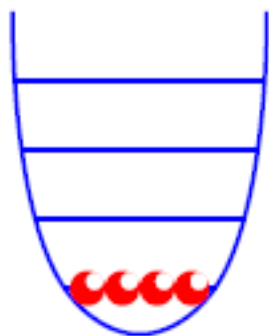
Gaz Fermiego

## Fermiony i bozony

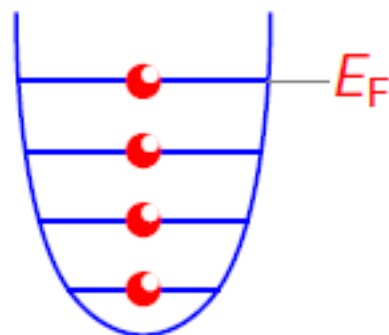
- **Fermiony** — cząstki i atomy o spinie **połówkowym**  
Np. elektron, proton i neutron mają spin  $s = \frac{1}{2}$ .
- **Bozony** — cząstki i atomy o spinie **całkowitym**  
Np. foton ma spin  $s = 1$ ,  
mezony  $\pi^0$ ,  $\pi^+$  mają spin  $s = 0$ ,  
atom  $^{23}_{11}\text{Na}$  — parzysta liczba cząstek o spinie  $s = \frac{1}{2}$   
(11 protonów, 11 elektronów i 12 neutronów).
- Takie same cząstki w tym samym stanie kwantowym są **nierozróżnialne** (np. dwa elektrony).

# Zakaz Pauliego

Obsadzanie poziomów energetycznych:



bozony



fermiony

- Wiele bozonów może zajmować ten sam stan kwantowy (statystyka **Bosego-Einsteina**).

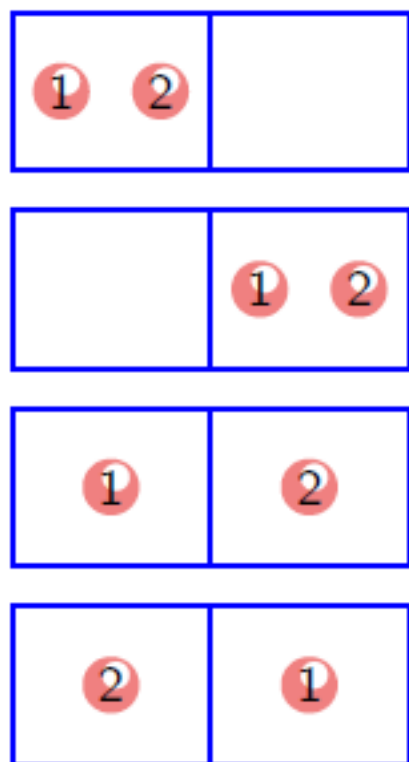
## Zakaz Pauliego (1925 r.):

Fermiony zamknięte w tej samej przestrzeni nie mogą mieć **jednakowych wszystkich** liczb kwantowych.

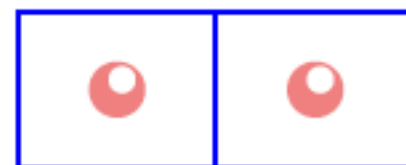
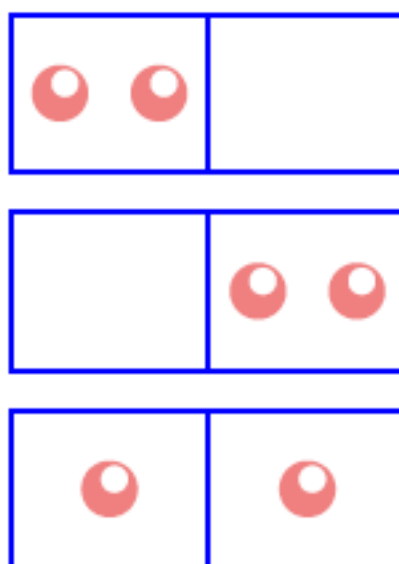
- $E_F$  — stan i energia Fermiego.
- Fermiony podlegają statystyce **Fermiego-Diraca**.
- Istnienie atomów, a zarazem świata jaki znamy, jest **związane z zakazem Pauliego**!

# Dwie cząstki w dwóch przegrodach

Statystyka klasyczna  
(cząstki rozróżnialne)



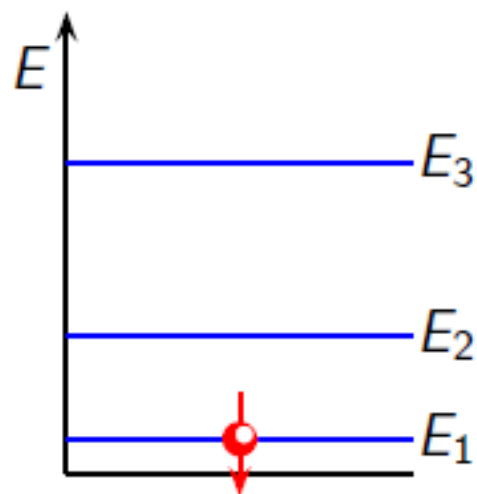
Statystyka kwantowa  
(cząstki nierozróżnialne)



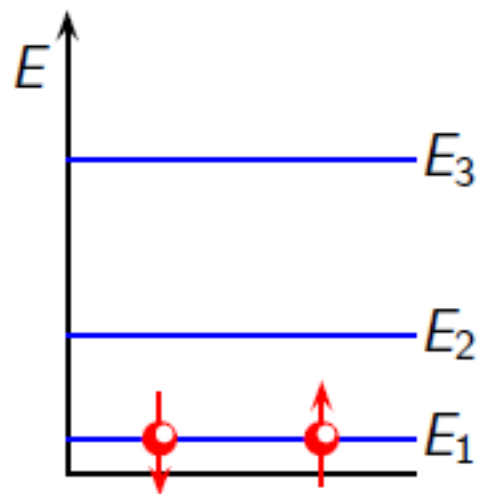
Bosego-Einsteina

Fermiego-Diraca

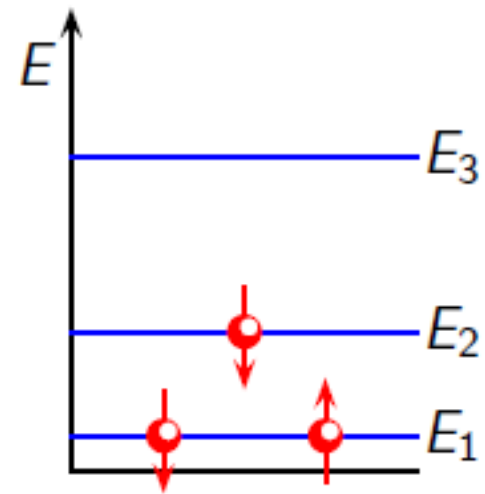
# Obsadzanie poziomów energetycznych elektronów w nieskończonej studni



Jeden elektron



Dwa elektrony



Trzy elektrony

# Stany elektronowe atomu

Symbol	Nazwa liczby kwantowej	Dozwolone wartości
$n$	główna	$1, 2, 3, \dots$
$\ell$	orbitalna	$0, 1, 2, \dots, n - 1$
$m_\ell$	magnetyczna	$-\ell, \dots, 0, \dots, +\ell$
$m_s$	spinowa magnetyczna	$\pm 1/2$

## Powłoka

Wszystkie stany o **jednakowym  $n$** :  $2n^2$  stanów

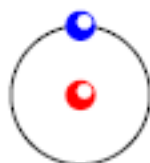
## Podpowłoka

Wszystkie stany o **jednakowym  $n$  i  $\ell$** :  $2(2\ell + 1)$  stanów

# Przykłady konfiguracji elektronowych

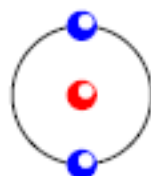
W konfiguracji elektronowej atomów podane są ilości elektronów zajmujących stany z określonymi  $n$  i  $\ell$ .

Wodór



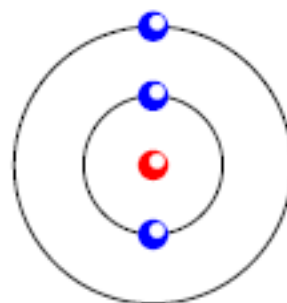
H:  $1s^1$

Hel



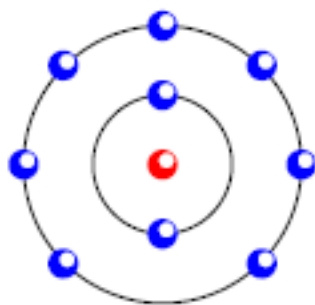
He:  $(1s^2)$

Lit



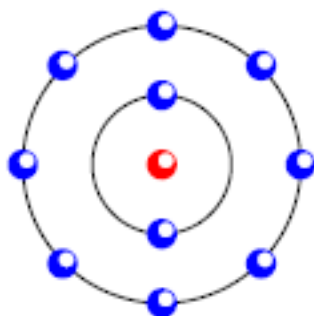
Li:  $(1s^2)2s^1$

Fluor



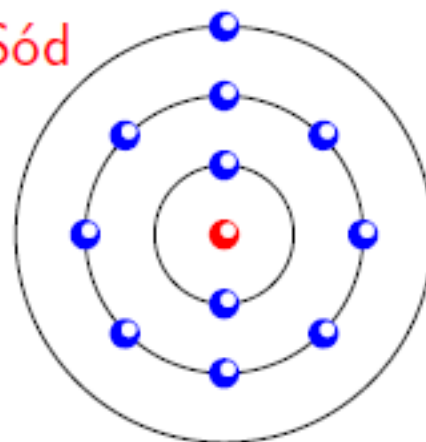
F:  $(1s^2)2s^22p^5$

Neon



Ne:  $(1s^2)(2s^22p^6)$

Sód



Na:  $(1s^2)(2s^22p^6)3s$



# Budowa układu okresowego

- Cztery liczby kwantowe identyfikują stany każdego z elektronów w atomie wieloelektronowym.
- Funkcje falowe tych stanów **nie są** takie same jak odpowiednie funkcje w atomie wodoru, ponieważ elektrony **oddziałują z sobą**.
- Do obliczenia funkcji falowych i energii atomów wieloelektronowych służą komputery.
- Oznaczenia podpowłok:  
 $\ell = 0, 1, 2, 3, \dots$   
**s, p, d, f, ...**
- Wszystkie stany danej podpowłoki mają **prawie taką samą** energię.
- Bezwzględna wartość energii określonego stanu elektronowego **rośnie ze wzrostem** liczby atomowej.

# Nukleony w jądrze

- Nukleony w jądrach są gęsto upakowane.
- Protony **odpychają się** w wyniku oddziaływania elektromagnetycznego o **nieskończonym** zasięgu.
- Nukleony **przyciągają się** (również dwa protony!) w wyniku silnego oddziaływania jądrowego o **krótkim zasięgu**. Poniżej 0.2 fm siły jądrowe są **odpychające**.
- W bardzo ciężkich jądrach siły elektromagnetyczne **przeważają**  $\Rightarrow$  jądra są **nietrwałe**!

