

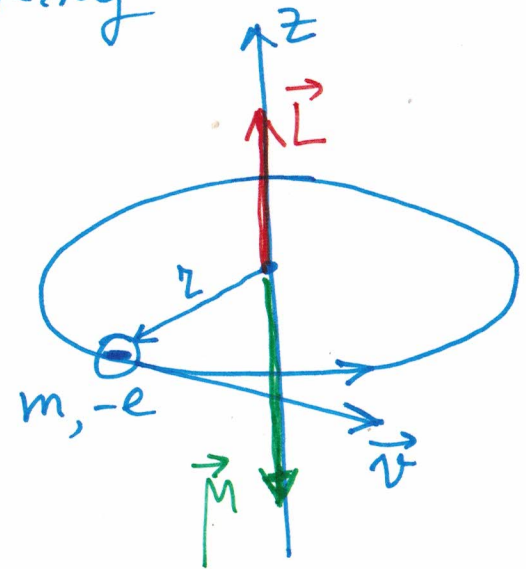
# Właściwości atomów

Atomy

- atomy są trwałe
- atomy łączą się ze sobą i tworzą trwałe cząsteczki i ciała stałe
- istnieje porządek wśród atomów (właściwości powtarzają się w układzie okresowym)
- atomy emitują i pochłaniają światło.  $h\nu = E_w - E_n$
- atomy mają moment pędu i moment magnetyczny

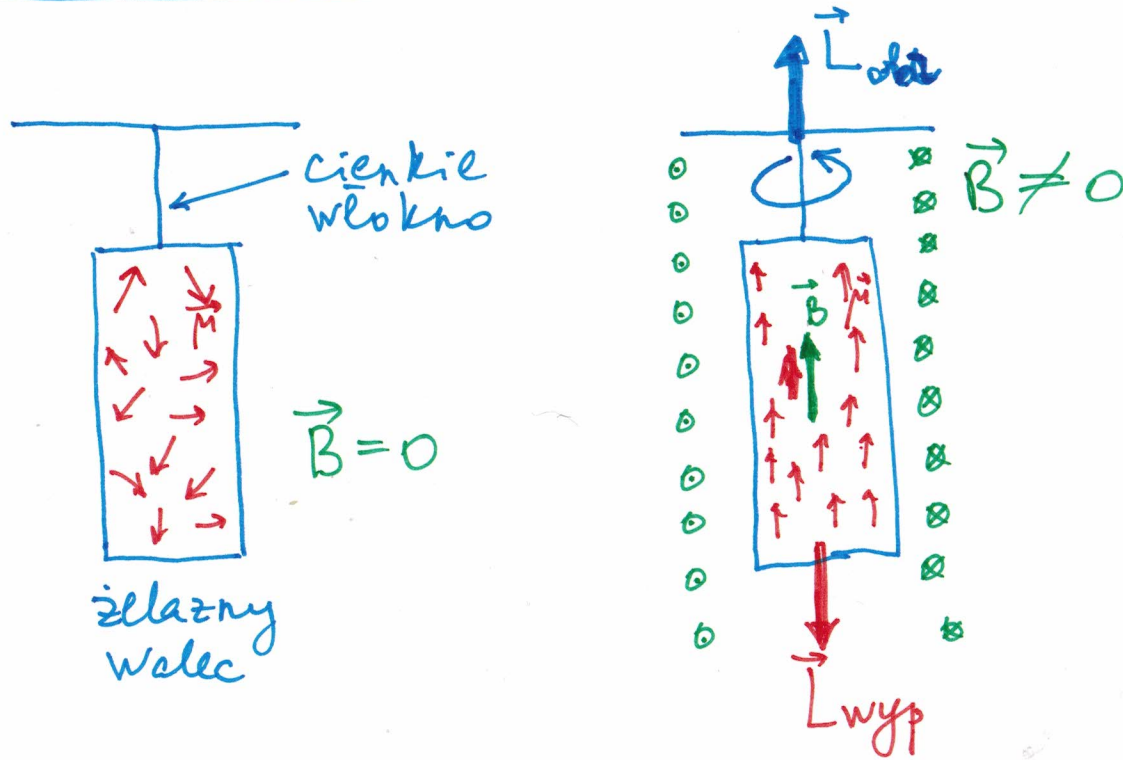
$\vec{L}$  - moment pędu

$\vec{\mu}$  - moment magnetyczny



model klasyczny  
(ruch po okręgu)

# Doświadczenie Einsteina-de Haasa (1915)



Potwierdzenie, że moment pędu i moment magnetyczny pojedynczych atomów są ze sobą ~~spójne~~ związane

Walec zaczyna się obracać dookoła swojej osi

# Spin elektronu

Elektron ma własny moment pędu - spin  $\vec{S}$

Wartość spinu elektronu jest  $S = 1/2$  (u protonów i neutronów  $S = 1/2$ )

Składowa spinu  $\vec{S}$  zmierzona ~~wzdłuż~~ wzdłuż dowolnej osi (os kwantyzacji) jest skwantowana - przyjmuje tylko dwie wartości:  $1/2$  i  $-1/2$  (nazywamy magnetyczne spinowe wartości  $M_S$ )

## Stany elektronowe atomu

Liczba kwantowa

główna

$$n = 1, 2, \dots$$

orbitalna

$$l = 0, 1, 2, \dots, (n-1)$$

magnetyczna

$$m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$$

magnetyczna spinowa  $M_S = \pm 1/2$

Wszystkie stany o jednakowej głównej liczbie  $n$  tworzą powłokę  
Powłokę tworzy  $2n^2$  stanów

Wszystkie stany o jednakowych wartościach  $n$  i  $l$  tworzą podpowłokę.

Podpowłoka tworzy  $2(2l+1)$  stanów

### Momenty pędu i momenty magnetyczne

Wartość orbitalnego momentu pędu  $\vec{L}$  jest  $L = \hbar \sqrt{l(l+1)}$

Orbitalny dipolowy moment magnetyczny  $\vec{\mu}_{orb} = -\frac{e}{2m} \vec{L}$

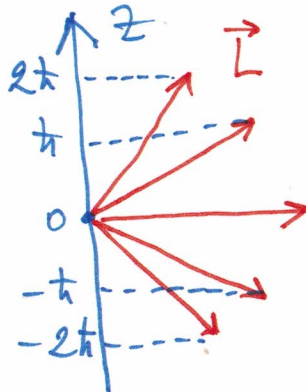
Wartość momentu magnetycznego  $\mu_{orb} = \frac{e\hbar}{2m} \sqrt{l(l+1)}$

Składowe orbitalnego momentu magnetycznego względem osi  $z$ :

$$\mu_{orb, z} = -m_l \mu_B$$

Składowe momentu pędu:

$$L_z = m_l \hbar$$



$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m} \approx 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ J/T}$$

magneton Bohra

Dozwolone wartości:  $L_z$

## Spinowy moment pędu

Wartość spinowego momentu pędu  $S = \sqrt{s(s+1)} \hbar$  ( $s = 1/2$ )

Spinowy moment magnetyczny  $\vec{M}_s = -\frac{e}{m} \vec{S}$

Wartość spinowe momentu magnetycznego  $M_s = \frac{e\hbar}{m} \sqrt{s(s+1)}$

Składowe spinowego momentu pędu

$$S_z = m_s \hbar$$

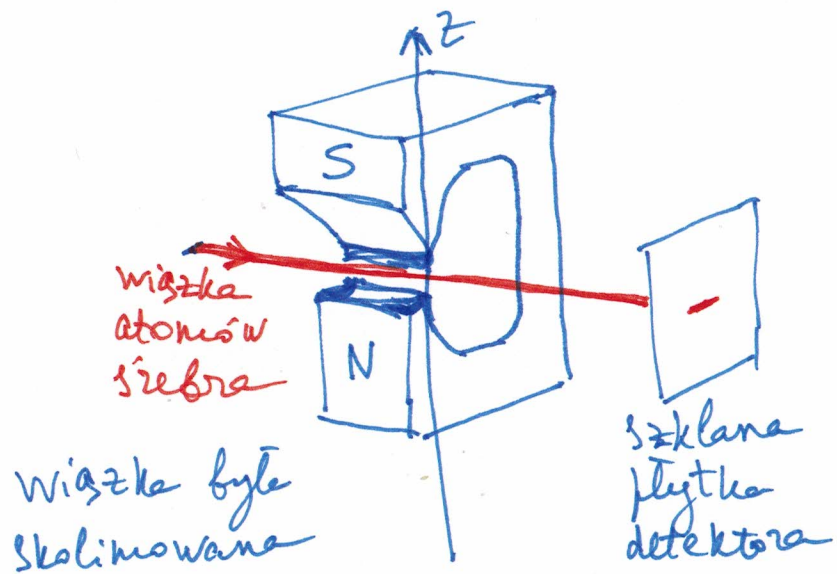
Składowe spinowego momentu magnetycznego

$$M_{s,z} = -2 m_s \mu_B$$

Całkowity moment pędu atomu  $\vec{J} = \sum \vec{L}_i + \sum \vec{S}_i$

sumujemy elektrony

# Doświadczenie Sterna - Gerlacha (1922)



Atom srebra jest obojętny, ale posiada moment magnetyczny  $\vec{\mu}$   
 Energia potencjalna dipola w polu magnetycznym

$$E_p = -\mu_z B$$

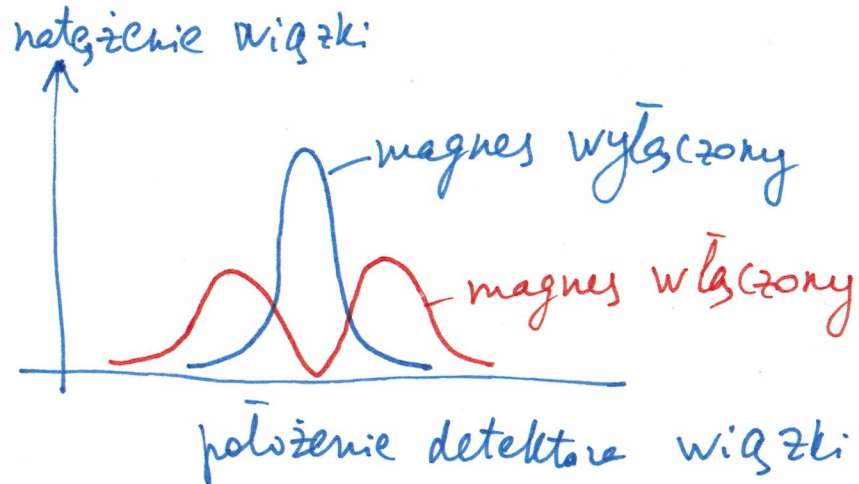
Siła w kierunku osi z:

$$F_z = -\frac{dE_p}{dz} = \mu_z \frac{dB}{dz}$$

gradient pola magnetycznego magnese

$$\Rightarrow \mu_{s,z} = \pm \mu_B$$

$$m_s = \pm 1/2$$



pozy włączeniu magnese pojawiło się dwie plamki zamiast jednej

magnetyczny moment dipolowy atomów srebra jest skwantowany

# Rezonans magnetyczny

Proton ma spin  $S=1/2$  i moment magnetyczny  $\vec{\mu}$  (w kierunku spinu)

Warunek rezonansu magnetycznego (magnetycznego rezonansu jądrowego) jest

$$h\nu = 2\mu_z B$$

Zmienne pole magnetyczne o częstotliwości  $\nu$  powoduje odwrócenie spinu protonu (spin flip)

⇒ Energia zmiennego pola magnetycznego jest pochłaniana

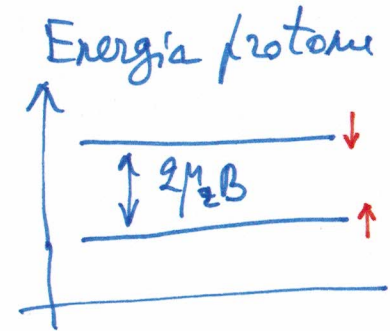
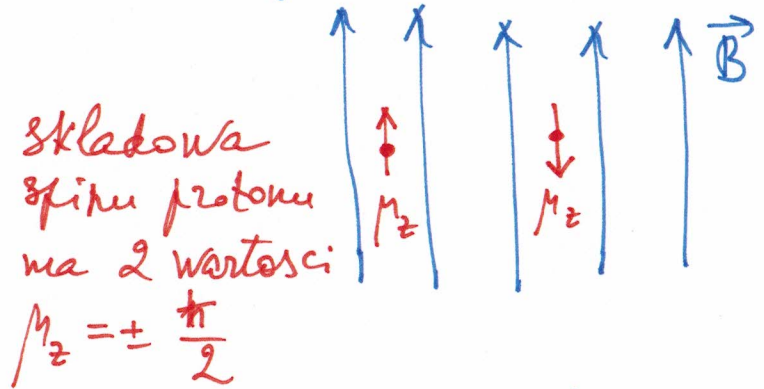
W rzeczywistości istnieje także poprawka na niewielkie lokalne pole magnetyczne ⇒ warunek rezonansu

$$h\nu = 2\mu_z (B_{zew} + B_{lok})$$

metoda jest zastosowana w diagnostyce medycznej:

Kropki wody w polu B

5.

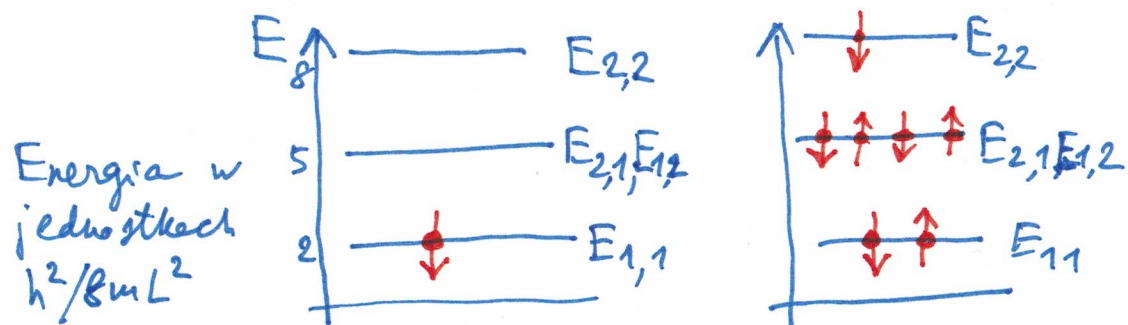


# Zakaz Pauliego (1925)

Żadne dwa elektrony umieszczone w tej samej pałapce nie mogą mieć wszystkich jednakowych liczb kwantowych

Zasada stosuje się do wszystkich cząstek z połowkowym spinem ( $s=1/2, 3/2, \dots$ ). Takie cząstki nazywamy fermionami

## Wiele elektronów w pałapkach prostokątnych



- dwie liczby kwantowe  $n_x$  i  $n_y$  ( $=1, 2, 3, \dots$ )

Elektron uwięziony w kwadratowej zagrodzie o boku  $L$

$$E_{1,1} - n_x=1, n_y=1$$

$$E_{1,2} - n_x=1, n_y=2$$

itd.



## Budowa układu okresowego

Wszystkie stany o takich samych  $n$  i  $l$  tworzą podpowłokę.

Dla danych  $l$  jest  $2(2l+1)$  stanów

Wszystkie stany danej podpowłoki mają prawie taką samą energię

Oznaczenie podpowłok o różnych wartościach  $l$ :

$l=0$	1	2	3	4	5	...
s	p	d	f	g	h	...

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

$$l = 0, 1, 2, \dots (n-1)$$

$$m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \pm l$$

$$m_s = \pm 1/2$$

### Neon ( $Z=10$ )

2 elektrony na podpowłocie 1s ( $n=1, l=0, m_l=0, m_s=\pm 1/2$ )  
- podpowłoka jest zamknięta

2 elektrony na podpowłocie 2s ( $n=2, l=0, m_l=0, m_s=\pm 1/2$ ) - zamknięta

6 elektronów na 2p ( $n=2, l=1, m_l=0, \pm 1, m_s=\pm 1/2$ ) - zamknięta

gaz szlachetny

$Z$  - liczba atomowa  
(liczba protonów)

Chlor ( $Z = 17$ )

- halogen, aktywny  
chemicznie

2 elektrony w stanie 1s

2 elektrony w 2s

6 elektronów w 2p

2 elektrony w 3s ( $n=3, l=0, m_l=0, m_s=\pm 1/2$ )

5 elektronów w 3p ( $n=3, l=1, m_l=0, \pm 1; m_s=\pm 1/2$ )

} tak jak u neonu

jest możliwość wyboru  
ponieważ podpowłoka może  
mieścić 6 elektronów  
 $\Rightarrow$  jest 1 luka

Sód ( $Z = 11$ ) - metal alkaliczny  
(chemicznie aktywny)

2 elektrony w 1s

2 elektrony w 2s

6 elektronów w 2p

1 elektron w 3s

} jak u neonu

- także jest możliwość wyboru ( $m_s = +1/2$  albo  $m_s = -1/2$ )

Sód i chlor tworzą bardzo trwały związek  $\rightarrow$  chlorek sodu NaCl