

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА АТОМОВ

Эффект Зеемана

Спин электрона

Опыты Штерна и Герлаха

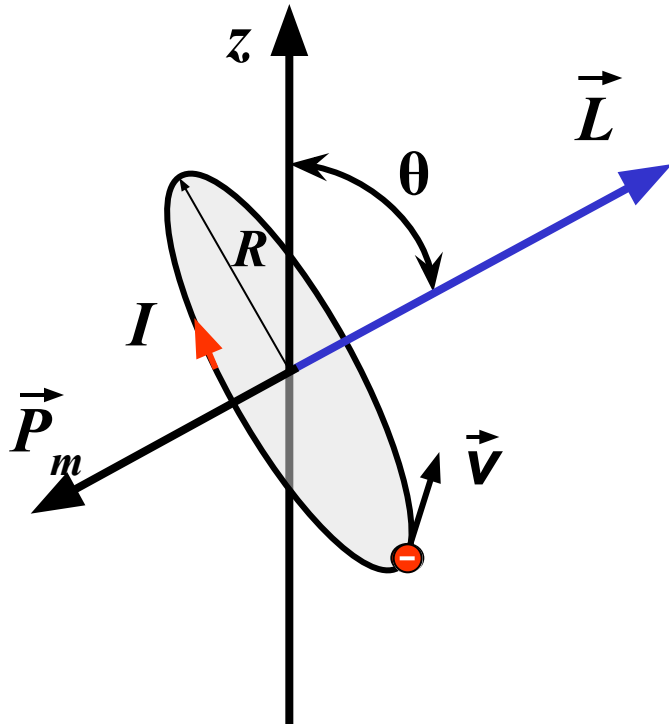
Принцип тождественности одинаковых частиц

**Распределение электронов по энергетическим
уровням атома**

Заключение

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА АТОМОВ

Связь магнитного момента с орбитальным механическим моментом



$$I = \frac{Q}{T} = ev$$

$$P_m = IS = ev\pi R^2 \quad \times \frac{2m}{2m}$$

$$P_m = \frac{e}{2m} 2\pi v m R^2 = \frac{e}{2m} L$$

$$\vec{P}_m = -\frac{e}{2m} \vec{L}$$

$$g = \frac{e}{2m} - \text{гирромагнитное отношение}$$

$$\vec{P}_m = -g\vec{L}$$

$$\vec{P}_m = -g\vec{L}$$

$$g = \frac{e\hbar}{2m}$$

$$|\vec{L}| = \hbar\sqrt{l(l+1)} \quad \text{где } l = 0, 1, 2, \dots, n-1$$

$$|\vec{P}_m| = -\frac{e\hbar}{2m}\sqrt{l(l+1)} = \mu_B\sqrt{l(l+1)}$$

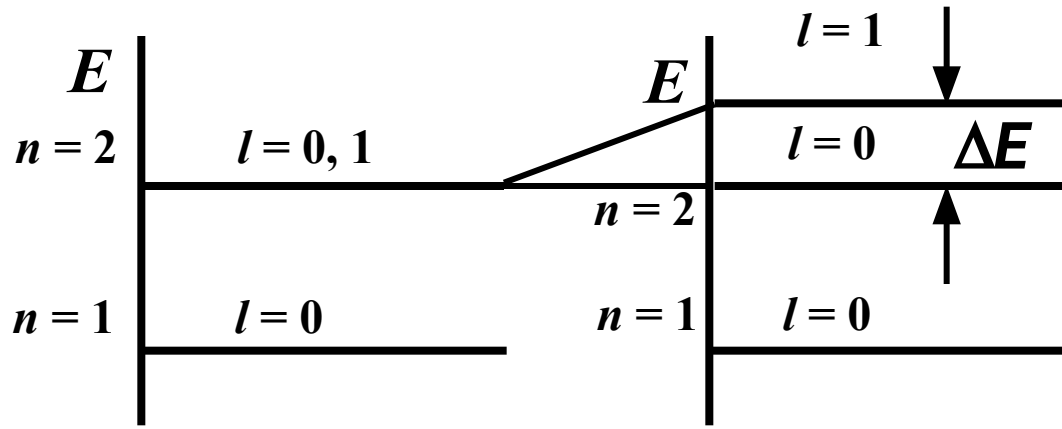
$$L_z = m_l\hbar \quad \text{где } m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$$

$$P_{m_z} = -\frac{e\hbar}{2m}m_l = -\mu_B m_l$$

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m}$$

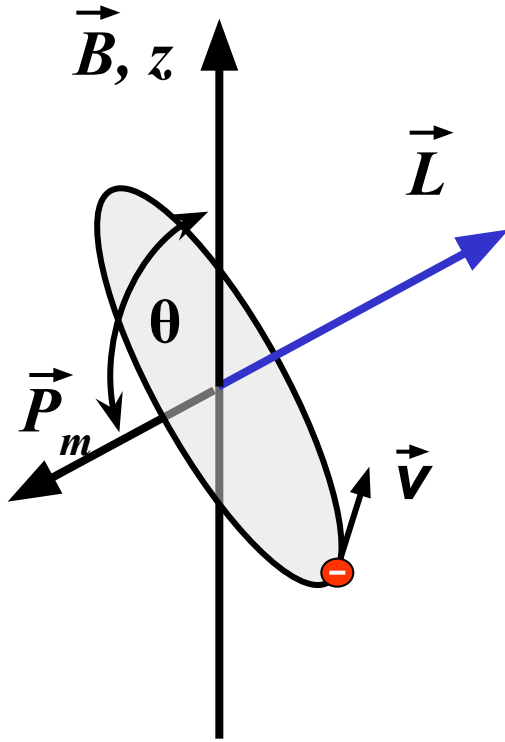
$$\mu_B = 9,2740 \cdot 10^{-24} \text{ Дж/Тл}$$

Вырожденные состояния



В многоэлектронных атомах происходит снятие вырождения по квантовому числу l .

АТОМ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

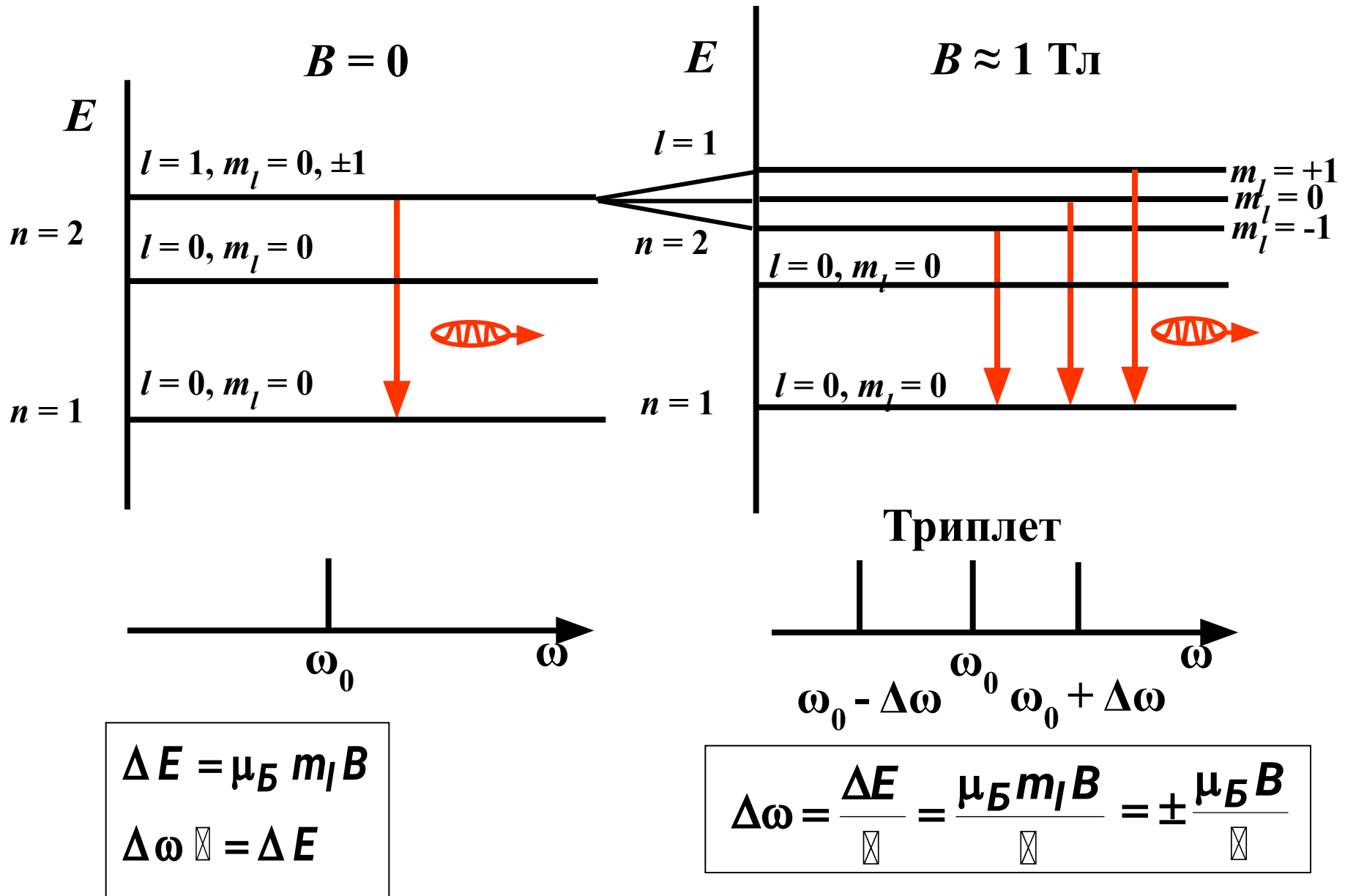


$$E_M = -P_m B \cos\theta$$

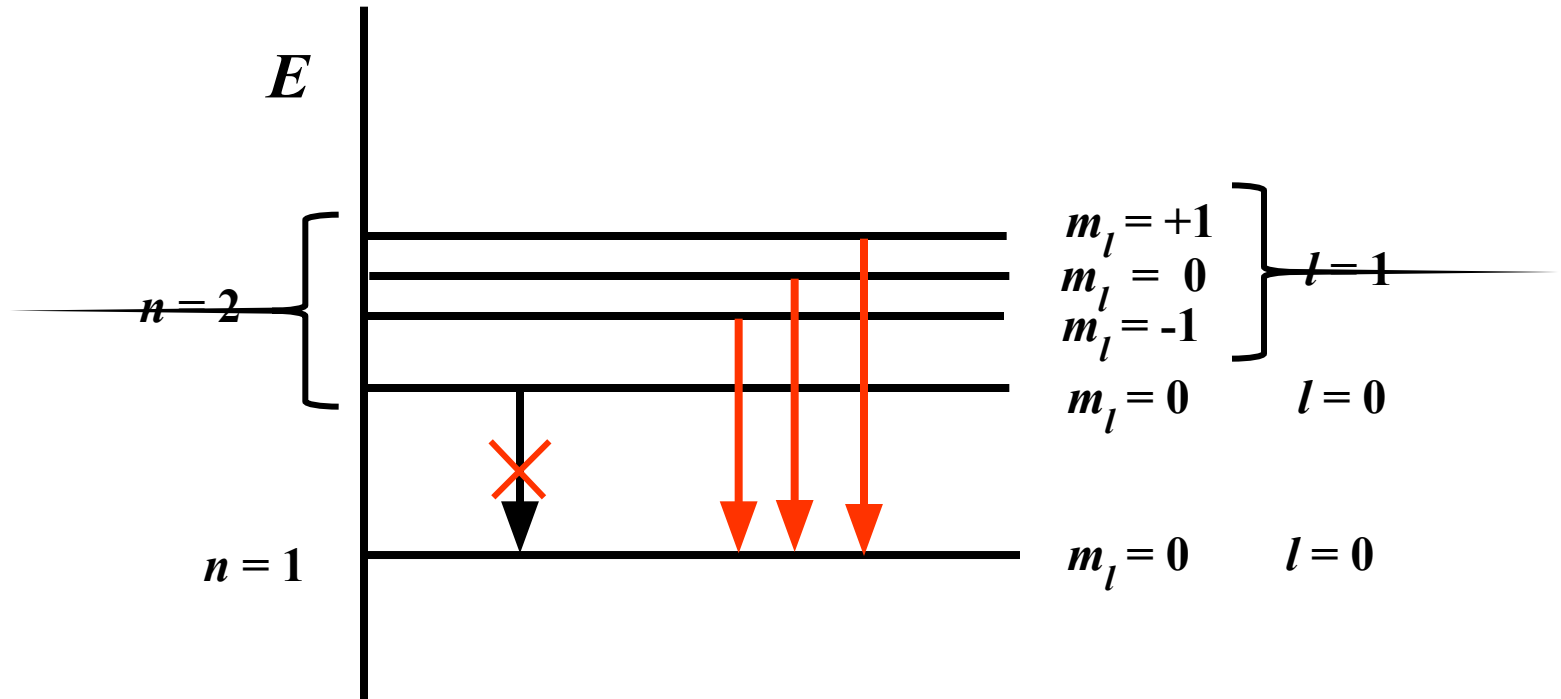
$$\Delta E = -P_m B \cos\theta = -P_{m_z} B$$

$$\Delta E = \mu_B m_l B$$

ЭФФЕКТ ЗЕЕМАНА



Разрешенные переходы электронов в атоме

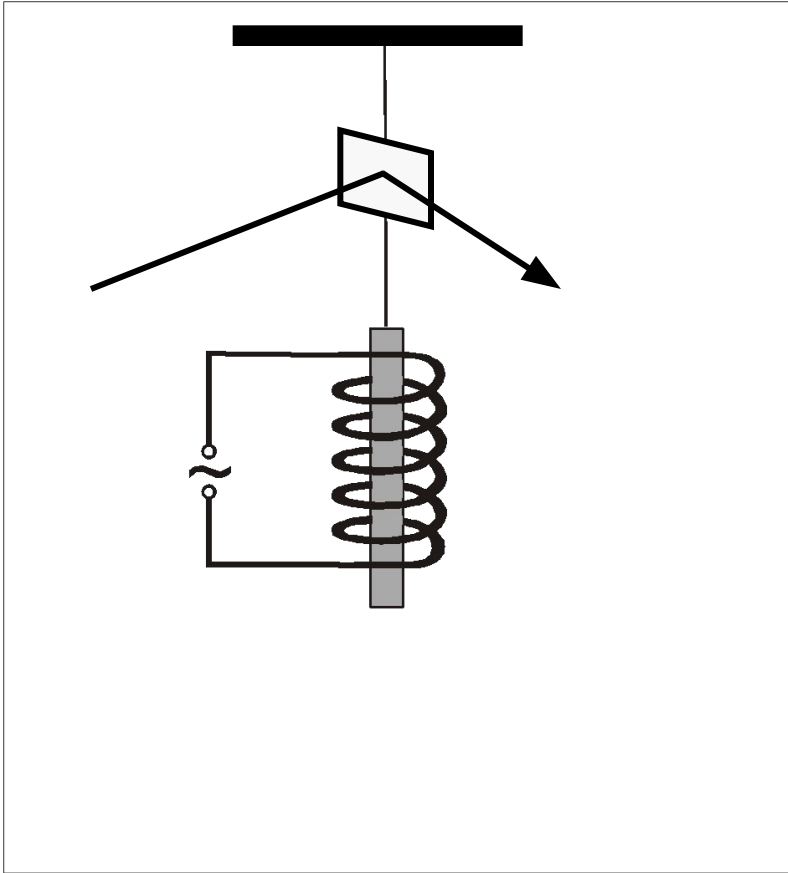


$\Delta l = \pm 1$

$\Delta m_l = 0, \pm 1$

Правила отбора

СПИН ЭЛЕКТРОНА



$$\frac{P_{m_s}}{L_s} = -\frac{e}{m}$$

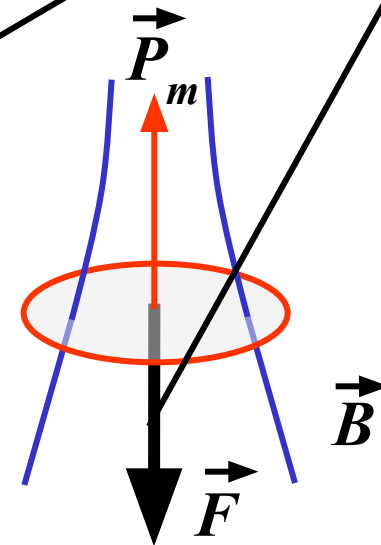
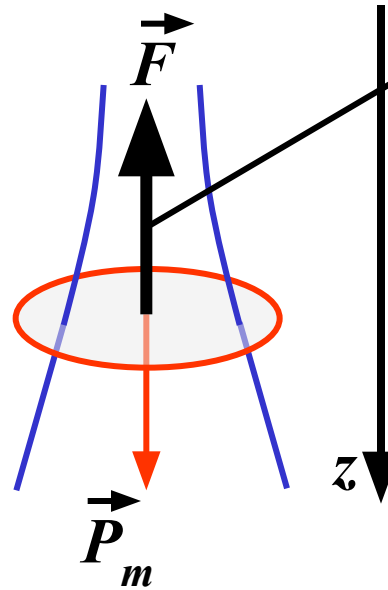
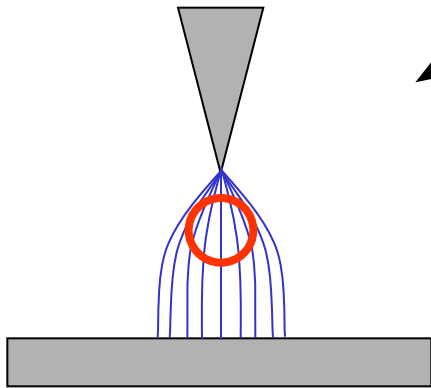
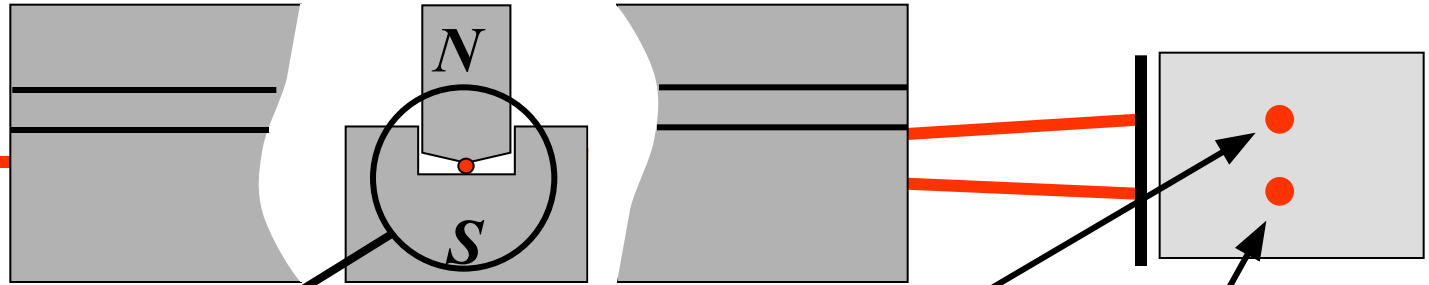
$$g_s = \frac{e}{m} = 2g$$

ОПЫТЫ ШТЕРНА-ГЕРЛАХА

$$l=0 \quad m_l=0$$

$$\vec{P}_m = 0$$

Na

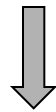


$$F_z = P_m \frac{\partial B}{\partial z} \cos(\widehat{P_m, B})$$

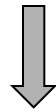
$$|\vec{L}_s| = \hbar \sqrt{s(s+1)} \quad L_{s_z} = \hbar m_s$$

s - спиновое квантовое число

$$2s+1 = 2 \quad \text{ВСЕГО СОСТОЯНИЙ}$$



$$s = \frac{1}{2}$$



$$m_s = \pm \frac{1}{2} \quad \text{магнитное спиновое квантовое число}$$

$$|\vec{L}_s| = \hbar \frac{\sqrt{3}}{2} \quad L_{s_z} = \pm \frac{1}{2} \hbar$$

$$|\vec{P}_s| = -\frac{e}{m} \hbar \frac{\sqrt{3}}{2} = -\mu_B \sqrt{3} \quad P_{s_z} = \pm \frac{e}{m} \frac{1}{2} \hbar = \pm \mu_B$$

$$g_s = \frac{e}{m} = 2g$$

Квантовые числа

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

– главное квантовое число

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

– азимутальное

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

– магнитное

$$m_s = \pm \frac{1}{2}$$

– спиновое

$$N = 2 \sum_{l=0}^{n-1} (2l + 1) = 2n^2 \quad \text{– кратность вырождения}$$

Правила отбора

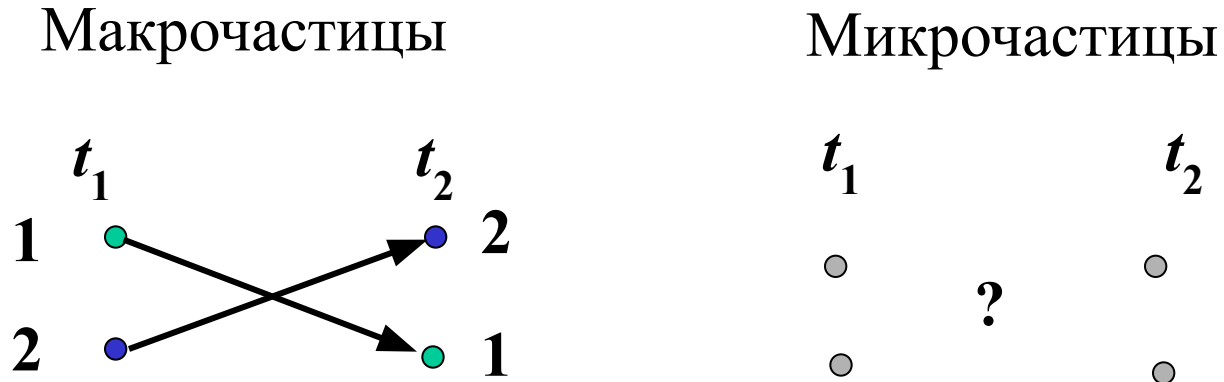
$$\Delta n = 1, 2, 3, \dots$$

$$\Delta l = \pm 1$$

$$\Delta m_l = 0, \pm 1$$

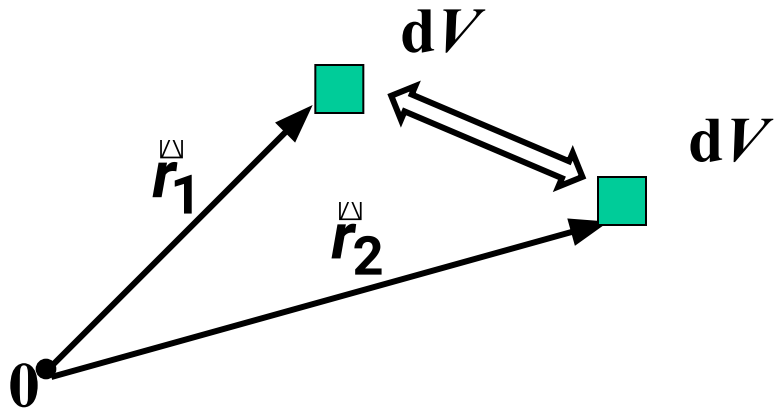
$$\Delta m_s = 0$$

ПРИНЦИП НЕРАЗЛИЧИМОСТИ ОДИНАКОВЫХ ЧАСТИЦ. ПРИНЦИП ПАУЛИ



Одинаковые частицы неразличимы (тождественны)

В системе одинаковых частиц реализуются только такие состояния, которые не меняются при перестановке местами двух любых частиц



Система из двух частиц описывается волновой функцией

$$\psi(\vec{r}_1, \vec{r}_2)$$

Если переставить частицы местами, состояние не изменится

$$|\psi(\vec{r}_1, \vec{r}_2)|^2 = |\psi(\vec{r}_2, \vec{r}_1)|^2$$

Отсюда две возможности:

$$\psi_s(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = \psi_s(\vec{r}_2, \vec{r}_1) \quad - \text{симметричная волновая функция}$$

$$\psi_a(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = -\psi_a(\vec{r}_2, \vec{r}_1) \quad - \text{антисимметричная волновая функция}$$

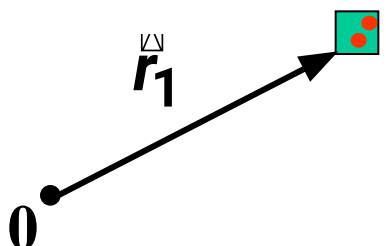
Микрочастицы делятся на два класса

БОЗОНЫ – описываются симметричными функциями

имеют целочисленный спин: $0, \pm \hbar, \pm 2\hbar, \dots$

ФЕРМИОНЫ – описываются антисимметричными функциями

имеют полуцелый спин: $\pm \frac{1}{2}\hbar, \pm \frac{3}{2}\hbar, \dots$



The diagram shows a particle at position \vec{r}_1 with a spin vector pointing up. A box contains two particles, one red and one green, representing a pair of fermions.

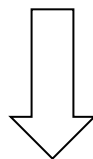
$$\psi_a(\vec{r}_1, \vec{r}_1) = -\psi_a(\vec{r}_1, \vec{r}_1)$$

↓

$$\psi_a(\vec{r}_1, \vec{r}_1) = 0 \quad \longrightarrow \quad |\psi_a(\vec{r}_1, \vec{r}_1)|^2 = 0$$

ПРИНЦИП ПАУЛИ

В системе тождественных фермионов не может быть двух частиц, находящихся в одном и том же состоянии



В атоме не может быть двух электронов, характеризующихся одинаковой четверкой квантовых чисел

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ УРОВНЯМ АТОМА

1. Принцип запрета Паули

$m_s = \pm 1/2$ \longrightarrow В квантовом состоянии (n, l, m_l) может находиться не более двух электронов

2. Принцип наименьшей энергии

n	1	2	3	4		l	0	1	2	3	
5						4					
оболочка	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>O</i>	подоболочка	<i>s</i>	<i>p</i>	<i>d</i>	<i>f</i>	<i>g</i>

Возможные состояния электрона в атоме

Оболочка	n	l	m_l	m_s	Подоболочка	Число электронов	
K	1	0	0	$\uparrow\downarrow$	1s	2	2
L	2	0	0	$\uparrow\downarrow$	2s	2	8
		1	-1 0 +1	$\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow$	2p	6	
M	3	0	0	$\uparrow\downarrow$	3s	2	18
		1	-1 0 +1	$\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow$	3p	6	
		2	-2 -1 0 +1 +2	$\downarrow\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow\uparrow$	3d	10	

Структура электронных оболочек атомов

$Z = 1$ H $n = 1, l = 0, m_l = 0$ $1s^1$

$Z = 2$ He $1s^2$

$Z = 3$ Li $1s^2 2s^1$

$Z = 4$ Be $1s^2 2s^2$

$Z = 10$ Ne $1s^2 2s^2 2p^6$