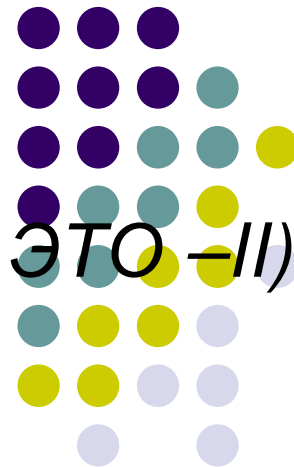


ЛЕКЦИЯ №16
«ВОДОРОДОПОДОБНАЯ
СИСТЕМА В КВАНТОВОЙ
МЕХАНИКЕ»

\vec{M}

(Для студентов элитного отделения ЭТО – II)



Атом в первом электростатическом приближении



- Водородоподобная система – это система, состоящая из ядра и движущегося вокруг него электрона
- Первое электростатическое приближение справедливо для электрона в водородоподобной системе: учитывается только взаимодействие электрона с ядром

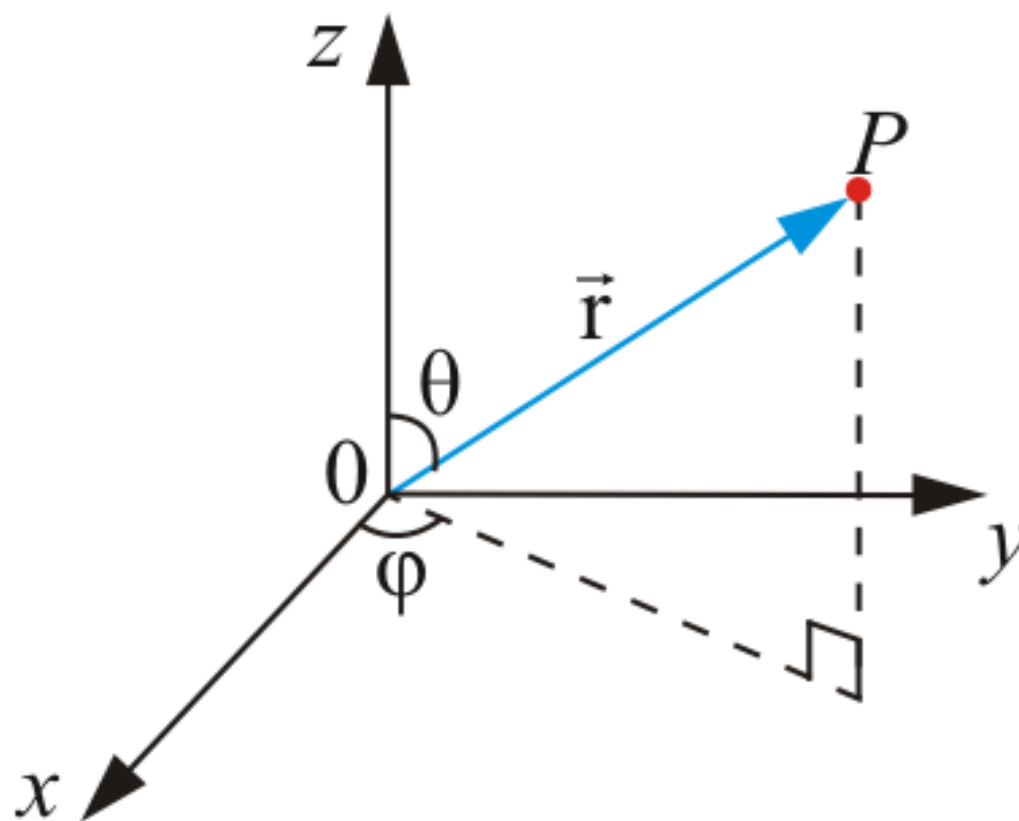
- Стационарное уравнение Шрёдингера для электрона в водородоподобной системе:

$$\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E + \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right) \psi = 0.$$

- В сферической системе координат:

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2 \sin^2 \vartheta} \cdot \frac{\partial}{\partial \vartheta} \left(\sin \vartheta \frac{\partial}{\partial \vartheta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \vartheta} \cdot \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2}$$

Сферическая система координат



Уравнение Шредингера



$$\hat{H}\psi = E\psi$$

$$U = -\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r},$$

$$\nabla^2\psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E + \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right) \psi = 0.$$

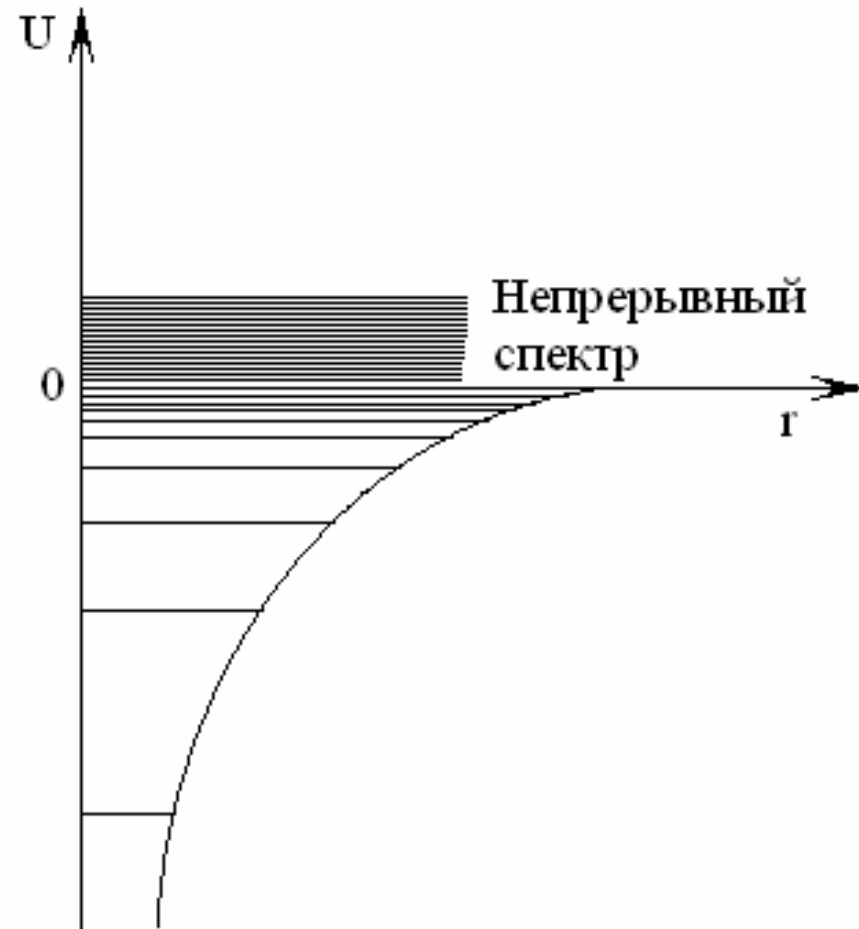
Собственные значения энергии



$$E_n = -\frac{Z^2 m e^4}{32 \pi^2 \varepsilon_0^2 \hbar^2 n^2}$$

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

n —главное квантовое
число





Квантовые числа

- Орбитальный момент количества движения

$$\vec{L}$$

- Модуль орбитального момента импульса:

$$L_l = \sqrt{l(l+1)}\hbar$$

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

l – орбитальное квантовое число

Символы состояний



Квантовое число	0	1	2	3	4	5
Символ состояния	<i>s</i>	<i>p</i>	<i>d</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>

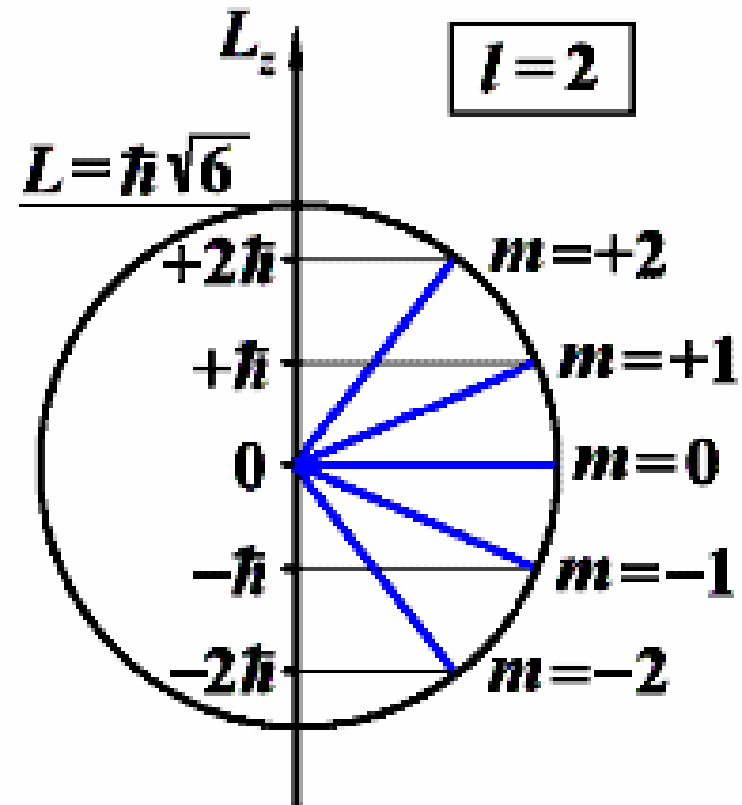
Пространственное квантование



$$L_{lz} = m_l \hbar$$

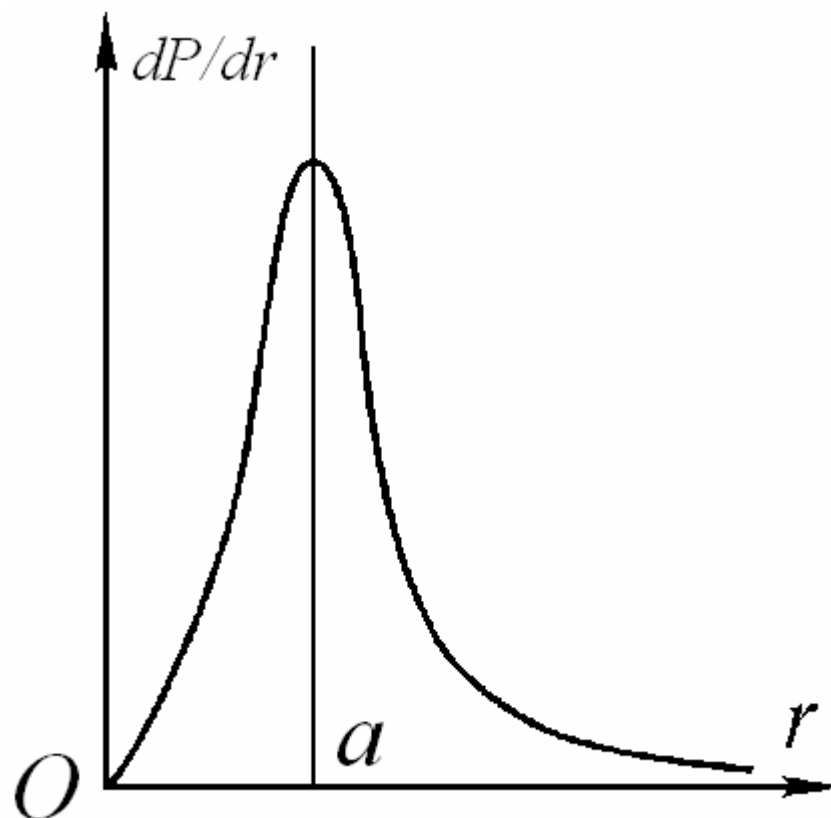
$$m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$$

m_l – магнитное квантовое
число

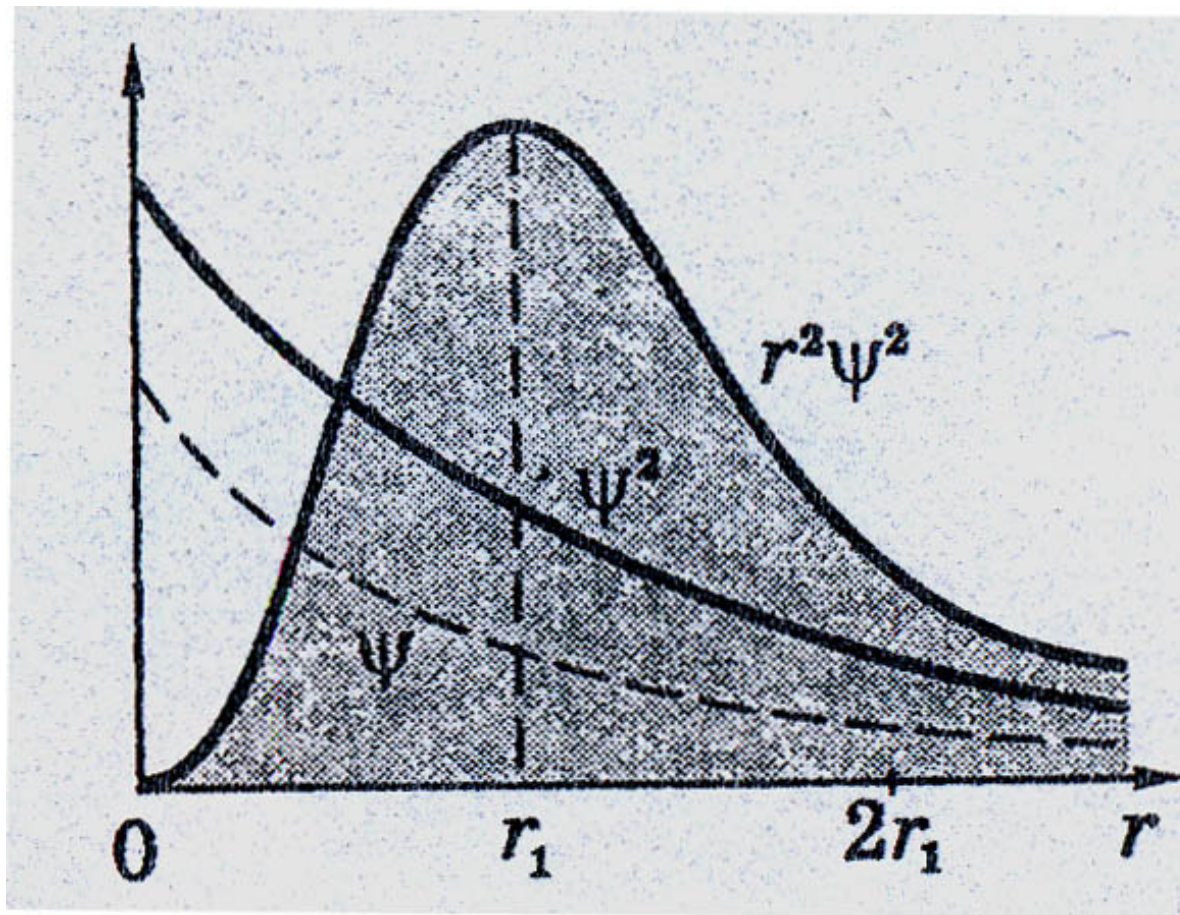
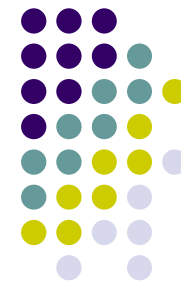


$l=2$

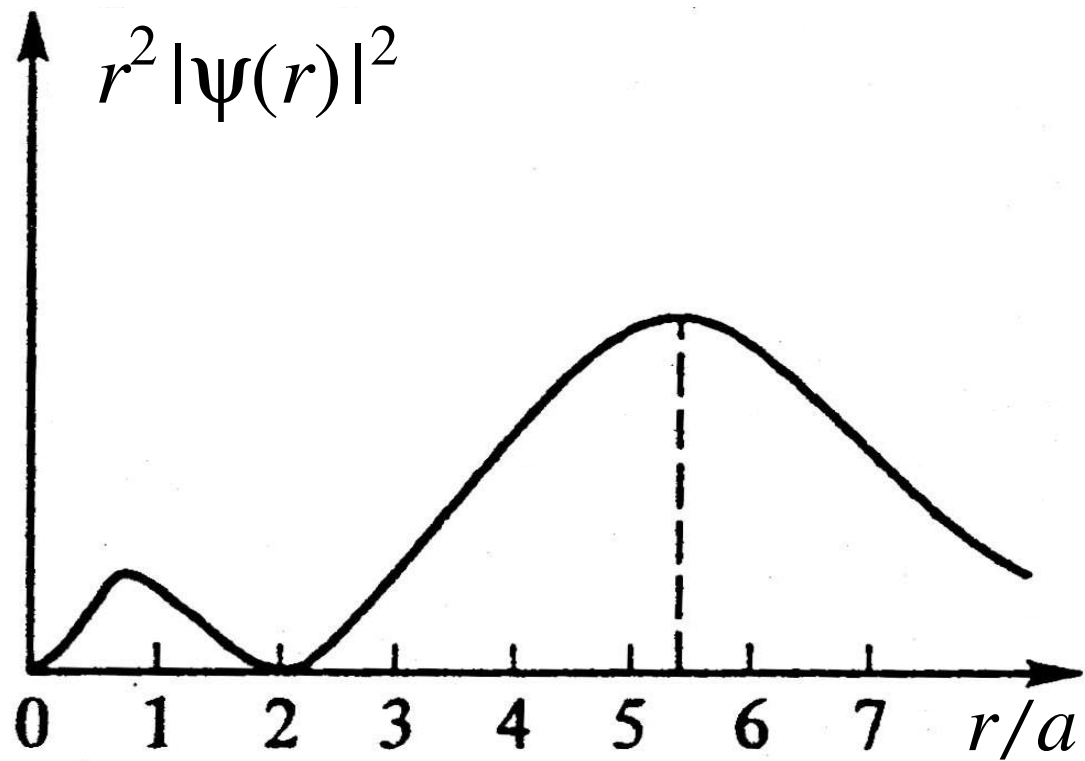
Зависимость плотности вероятности dP/dr от r



Распределение вероятности 1s-электрона



2s- электрон



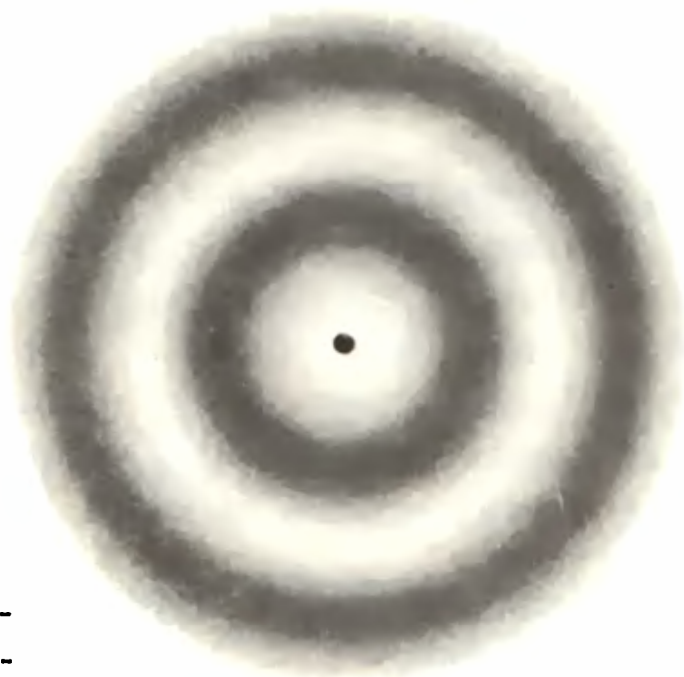
Электронное облако вероятности



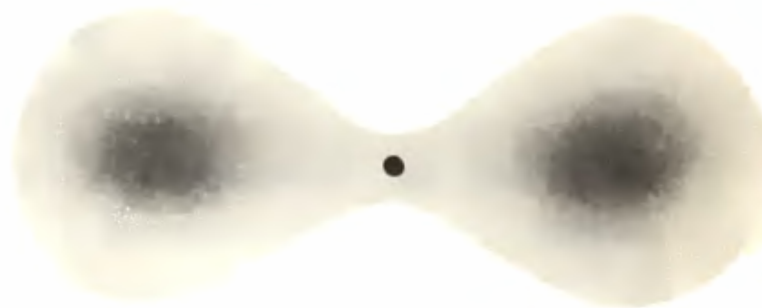
$$n=1, l=0, m_l=0$$



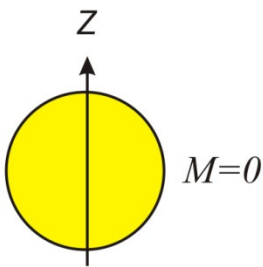
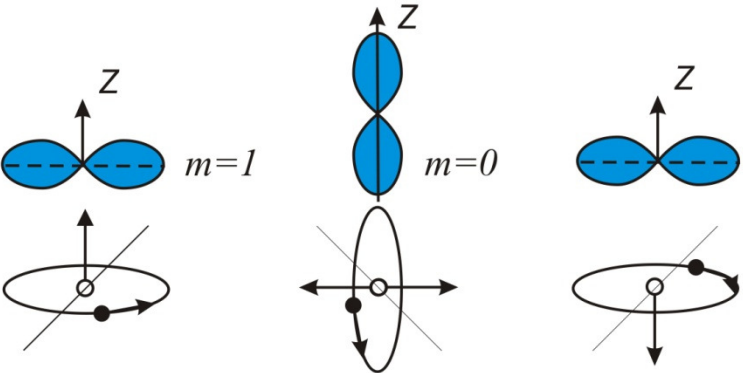
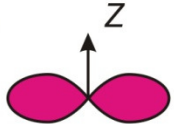
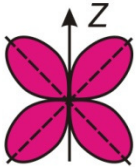
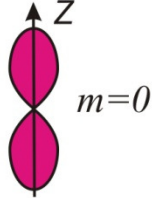
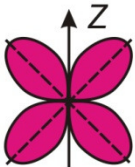
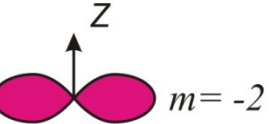
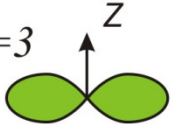
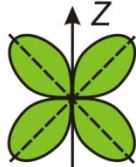
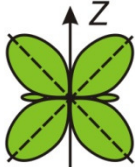

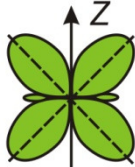
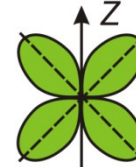
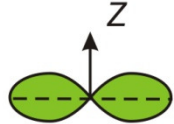
«Электронное облако» вероятности



a $n=2, l=0, m_l=0$

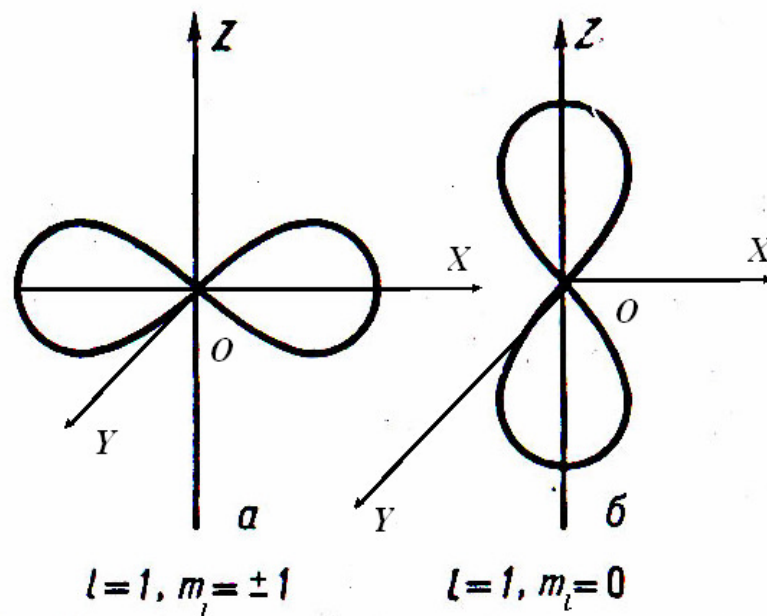
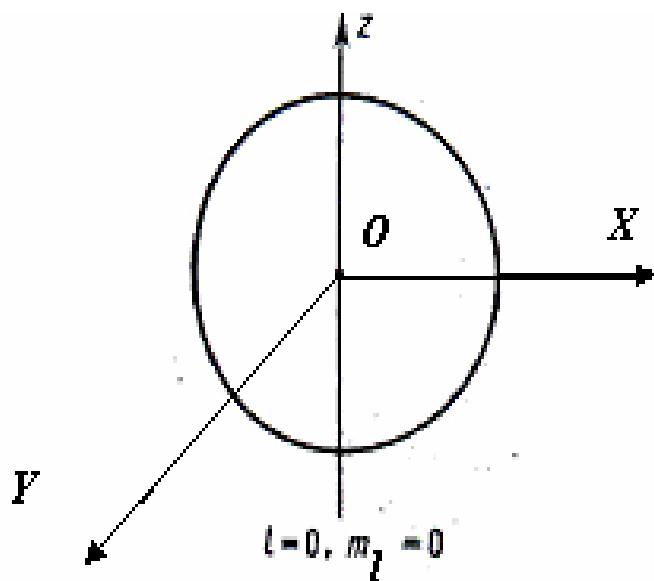


б $n=2, l=1, m_l=1$

s-электроны	$l=0$  $M=0$	p-электроны	$l=1$  $m=1$ $m=0$ $m=-1$				
d-электроны	$l=2$  $m=2$	 $m=1$	 $m=0$	 $m=-1$	 $m=-2$		
f-электроны	$l=3$  $m=3$	 $m=2$	 $m=1$	 $m=0$	 $m=-1$	 $m=-2$	 $m=-3$



«ЭЛЕКТРОННОЕ ОБЛАКО» ВЕРОЯТНОСТИ



Спин электрона



- Модуль спина: $L_s = \sqrt{s(s+1)}\hbar, s = \frac{1}{2},$
- Проекция спина на произвольно выбранную ось z :

$$L_{sz} = m_s \hbar,$$

$$m_s = \pm s = +\frac{1}{2} \quad \text{и} \quad -\frac{1}{2}$$

m_s – магнитное спиновое квантовое число



Вырожденные состояния

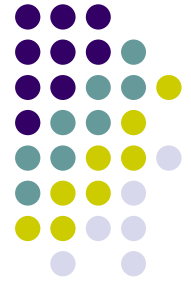
УРОВНИ ЭНЕРГИИ	ψ_{nlm}	n	l	m_l	ЧИСЛО СОСТОЯНИЙ
E_1	ψ_{100}	1	0	0	1
E_2	ψ_{200}	2	0	0	
	ψ_{210}	2	1	0	4
$d = 2$	ψ_{211}	2	1	1	
	ψ_{21-1}	2	1	-1	

$$N = \sum_{l=0}^{n-1} (2l + 1) = \left[\frac{a_0 + a_n}{2} \cdot n \right] = \frac{1 + 2(n-1) + 1}{2} \cdot n = n^2.$$

$$a_n = 2(n-1) + 1 = 2n - 1. \quad d = 2$$

$$2 \sum_{l=0}^{n-1} (2l + 1) = 2n^2$$

Полный момент импульса электрона в атоме водорода



$$\vec{L}_j = \vec{L}_l + \vec{L}_s \quad j = l \pm s = l \pm \frac{1}{2}$$

- Модуль полного момента импульса:

$$L_j = \sqrt{j(j+1)}\hbar.$$

- Проекция момента импульса на ось OZ:

$$L_{jz} = m_j \hbar. \quad m_j = j, j-1, j-2, \dots, -j.$$

j - квантовое число полного момента (внутреннее квантовое число)