

Лекция №6. История  
естествознания: Формирование  
релятивистской картины мира

**Общая теория относительности**  
**(гравитационная теория)** была создана  
Эйнштейном в 1916 г. Она позволила  
рассматривать не только инерциальные системы  
отсчета, но любые системы координат,  
движущиеся относительно друг друга по  
криволинейным траекториям и с любым  
ускорением.

# Основные идеи ОТО

Пространство и время зависят не только от движения тела по отношению к наблюдателю (описано в СТО), но и от присутствия объектов, обладающих массой и энергией.

Поле тяготения является следствием искривления пространства и времени.

## **Кривизна пространства измеряется отклонением от классических правил геометрии Евклида**

В геометрии Евклида сумма углов треугольника составляет  $180^{\circ}$ . Однако если нарисовать этот треугольник на внешней поверхности сферы, то сумма его углов будет больше  $180^{\circ}$ , а на внутренней меньше  $180^{\circ}$ . Внешняя поверхность сферы в неевклидовой геометрии называется поверхностью положительной кривизны, а внутренняя отрицательной кривизны. Идею искривленного пространства положительной кривизны предложил Риман, а отрицательной Лобачевский.

# Движение тел в искривленном пространстве

Движение тела по инерции в поле тяготения массивных тел рассматривается в ОТО как свободное «инерциальное» движение, но происходящее не в евклидовом пространстве, а в пространстве с изменяющейся кривизной.

В результате движение тела происходит не по прямой, а по кривой – силовой линии гравитационного поля.

**В рамках ОТО Эйнштейном была установлена эквивалентность между инертной и гравитационной массами, между массой и энергией и получено уравнение, связывающее**

**их:**

$$E = mc^2$$

*Масса и энергия проявляются одна через другую.* Это позволило объяснить кажущееся невыполнение закона сохранения массы при радиоактивном распаде, когда масса распадающейся частицы оказывается не равной сумме масс образовавшихся частиц. Очевидно, здесь необходимо говорить о законе сохранения массы - энергии.

# Методологические последствия зарождения релятивистской картины мира

Главным концептуальным изменением естествознания XX в. был отказ от ньютоновской модели получения научного знания через эксперимент к объяснению.

Эйнштейн предложил иную модель, в которой гипотеза и отказ от здравого смысла как способа проверки высказывания становились первичными, а эксперимент — вторичным в объяснении явлений.

В новой картине мира логика и здравый смысл перестают действовать.

# КВАНТОВО-ПОЛЕВАЯ КАРТИНА МИРА

В 1900 г. немецкий физик Макс Планк экспериментально показал, что электромагнитное излучение происходит определенными порциями – квантами, энергия которых зависит от частоты излучения. Таким образом, эксперименты Планка привели к признанию двойственного характера электромагнитных излучений, одновременно корпускулярного и волнового. Такой вывод был несовместим с представлениями классической физики.



Опираясь на идеи Планка, Эйнштейн предложил теорию света, согласно которой свет есть поток движущихся квантов - фотонов. Энергия фотонов определяется выражением:

$$E=hu,$$

где  $u$  - частота излучения,  $s^{-1}$ ;

$h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  Дж·с - постоянная Планка.

Объяснен фотоэффект.

## **Противоречия планетарной теории строения атома водорода (1913 г. датский физик Нильс Бор).**

1. Любая заряженная частица, движущаяся по круговой орбите, обладает ускорением и должна излучать энергию. Из-за потери энергии радиус орбиты электрона должен уменьшаться. Через краткий промежуток времени электрон должен упасть на ядро, и атом разрушится.
2. При движении электрона по спирали его излучение должно было бы иметь сплошной спектр. Наблюдаемые же в эксперименте спектры атомов дискретны.

# Постулаты Бора

1. Каждый электрон в атоме может совершать устойчивое орбитальное движение по определенной орбите, не испуская и не поглощая электромагнитного излучения. В этих состояниях электроны обладают энергиями, образующими дискретный ряд:

$$E_1, E_2 \dots E_n$$

Всякое изменение энергии электрона в результате излучения или поглощения электромагнитного излучения может происходить только скачком из одного состояния в другое.

2. Электрон способен переходить с одной стационарной орбиты на другую. Только в этом случае излучается или поглощается порция электромагнитного излучения определенной частоты в соответствии с уравнением:

$$E_m - E_n = hu,$$

$E_m$  – энергия электрона в начальном состоянии,  
 $E_n$  – энергия электрона в конечном состоянии.

**Сочетание волновых и корпускулярных свойств является фундаментальным свойством материи** и присуще не только фотону, но и любым частицам материи ( 1923 г., француз Луи де Бройль (1892-1987))

Любому движущемуся материальному объекту можно поставить в соответствие корпускулярные характеристики - координаты в пространстве, траекторию, энергию, импульс, и волновые характеристики - длину волны или частоту.

$$\lambda = h/p = h/mv,$$

где:

$\lambda$  – длина волны, м;

$h$  -  $6,62 \cdot 10^{-34}$  Дж·с - постоянная Планка;

$p$  — импульс объекта, кг·м/с

В 1927 году Гейзенберг пришел к выводу о невозможности одновременного точного измерения координаты частицы и ее импульса. Вывод его получил название принципа соотношения неопределенностей. Невозможно одновременно с одинаковой точностью определить координату и импульс (скорость) частиц.

Рассматривая вероятностный характер поведения микрочастиц, современная наука пришла к выводу, что именно статистические, а не динамические закономерности являются фундаментальными.

# Квантовая механика Гейзенберга

В 1926 году немецкий физик В. Гейзенберг (1901-1976) впервые высказал основные положения квантовой механики. При их разработке он руководствовался следующими идеями:

1. Теория атомных явлений должна ограничиваться установлением соотношений между величинами, которые непосредственно измеряются в эксперименте (частоты электромагнитных излучений, интенсивность линий спектра и т.п.).
2. ненаблюдаемые величины, например, координаты электрона, его скорость, траектория не должны использоваться в теории.

# Квантовая механика

## Шрёдингера

Э. Шрёдингер (1887-1961), используя гипотезу де Бройля разработал в 1926 г. волновую (квантовую) механику.

Центральная идея: квантовые процессы следует понимать как волновые процессы, характеризуемые  $\Psi$ -функцией.

Физический смысл  $\Psi$ -функции: квадрат модуля  $\Psi$  пропорционален вероятности нахождения частицы в данной точке объема.

Электрон, вращающийся вокруг ядра, - волна. Там, где укладывается целое число длин волн, образуются боровские разрешенные орбиты. Там где целое число длин волн не укладывается, там орбиты отсутствуют.

# Уравнение Шредингера

- **Уравнение Шредингера** - квантово-механический эквивалент уравнения классической механики:
- $E_{\text{полн}} = E_{\text{кин}} + E_{\text{пот}} = p^2/2m + E_{\text{пот}}$
- Однако для вычисления этих величин используются не координаты, массы и скорости частиц, а волновая функция  $\Psi$ .



# Соответствие квантовомеханических величин механическим

Импульсу частицы в квантовой механике  
соответствует:

$$p \rightarrow -i\hbar \nabla$$

Оператор «набла» означает  
дифференцирование функции по  
координатам.

# Соответствие квантовомеханических величин механическим

$E_{\text{пот}} \hat{=} E_{\text{пот}} \cdot \Psi$  (умножение волновой функции на «классическое» выражение для потенциальной энергии).

# Квантовомеханический аналог уравнения для полной энергии

Суммируем части соответствующие кинетической и потенциальной энергиям:

$$-\frac{\nabla^2 \Psi}{2m} + E_{\text{п}} \psi = E \psi$$

# Оператор Гамильтониан (H)

$$-\frac{\nabla^2}{2m} + E_{\text{п}} = H$$

# Уравнение Шрёдингера для стационарных состояний

$$H\psi = E\psi$$

# Квантовомеханическая модель атома

Решение уравнения Шрёдингера для водорода позволило сделать выводы:

Распределение электронов в атомах по энергиям определяется волновой функцией, зависящей от четырех параметров:

$n$  – главное квантовое число;

$l$  - орбитальное квантовое число;

$m_l$  - магнитное квантовое число;

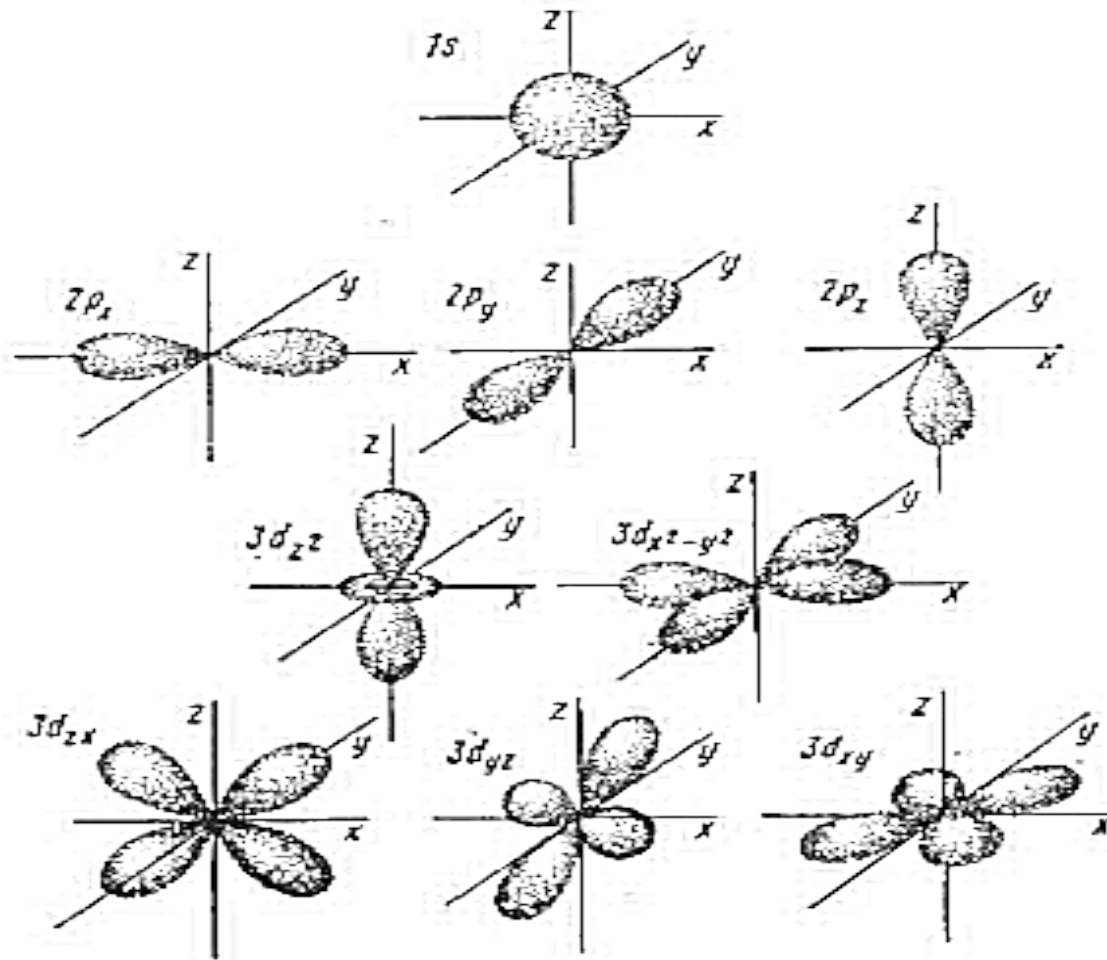
$m_s$  - спиновое квантовое число.

# Атомная орбиталь

Волновая функция, описывающая состояние электрона в атоме, и полностью характеризуемая конкретными значениями квантовых чисел  $n$ ,  $l$ ,  $m_l$ , называется атомной орбиталью (s,p,d,f).

s-орбиталей - 1, p-орбиталей - 3, d-орбиталей - 5 и f-орбиталей-7.

# s, p, d, f-орбитали





# Распределение электронов по орбиталям в многоэлектронном атоме

1. Принцип минимума энергии. Правило Клечковского (заполнение орбиталей от меньших к большим  $n+l$ ).
2. Принцип Паули: в атоме не может быть электронов, имеющих одинаковый набор всех четырех квантовых чисел.
3. Правило Хунда(трамвайное правило): в наиболее устойчивом состоянии атома электроны размещаются в пределах орбитали так, чтобы их суммарный спин был максимален.

# Объяснение расположения элементов в таблице Д.И. Менделеева

ПЕРИОДЫ	ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА										VII		VIII				
	I	II	III	IV	V	VI	H	He	РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ПО ЗАСТРАИВАЮЩИМСЯ И БЛИЖАЙШИМ ПОДОБОЛОНКАМ		РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ПО ОБОЛОНКАМ		АТОМНЫЙ НОМЕР				
1	(H)							1s <sup>1</sup> 1 1,00794±7 ВОДОРОД	1s <sup>2</sup> 2 4,002602±2 ГЕЛИЙ								
2	Li 2s <sup>1</sup> 3 6,941±2 ЛИТИЙ	Be 2s <sup>2</sup> 4 9,01218±1 БЕРИЛЛИЙ	B 2s <sup>2</sup> 2p <sup>1</sup> 5 10,811±5 БОР	C 2s <sup>2</sup> 2p <sup>2</sup> 6 12,011±1 УГЛЕРОД	N 2s <sup>2</sup> 2p <sup>3</sup> 7 14,0067±1 АЗОТ	O 2s <sup>2</sup> 2p <sup>4</sup> 8 15,9994±3 КИСЛОРОД	F 2s <sup>2</sup> 2p <sup>5</sup> 9 18,998403±1 ФТОР	Ne 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 10 20,179±1 НЕОН									
3	Na 3s <sup>1</sup> 11 22,98977±1 НАТРИЙ	Mg 3s <sup>2</sup> 12 24,305±1 МАГНИЙ	Al 3s <sup>2</sup> 3p <sup>1</sup> 13 26,98154±1 АЛЮМИНИЙ	Si 3s <sup>2</sup> 3p <sup>2</sup> 14 28,0855±3 КРЕМНИЙ	P 3s <sup>2</sup> 3p <sup>3</sup> 15 30,97376±1 ФОСФОР	S 3s <sup>2</sup> 3p <sup>4</sup> 16 32,066±6 СЕРА	Cl 3s <sup>2</sup> 3p <sup>5</sup> 17 35,453±1 ХЛОР	Ar 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup> 18 39,948±1 АРГОН									
4	K 4s <sup>1</sup> 19 39,0983±1 КАЛИЙ	Ca 4s <sup>2</sup> 20 40,078±4 КАЛЬЦИЙ	Sc 3d <sup>1</sup> 4s <sup>2</sup> 21 44,95591±1 СКАНДИЙ	Ti 3d <sup>2</sup> 4s <sup>2</sup> 22 47,88±3 ТИТАН	V 3d <sup>3</sup> 4s <sup>2</sup> 23 50,9415±1 ВАНАДИЙ	Cr 3d <sup>4</sup> 4s <sup>1</sup> 24 51,9961±6 ХРОМ	Mn 3d <sup>5</sup> 4s <sup>2</sup> 25 54,9380±1 МАРГАНЕЦ	Fe 3d <sup>6</sup> 4s <sup>2</sup> 26 55,847±3 ЖЕЛЕЗО	Co 3d <sup>7</sup> 4s <sup>2</sup> 27 58,9332±1 КОБАЛЬТ	Ni 3d <sup>8</sup> 4s <sup>2</sup> 28 58,69±1 НИКЕЛЬ							
5	Rb 5s <sup>1</sup> 37 85,4678±3 РУБИДИЙ	Sr 5s <sup>2</sup> 38 87,62±1 СТРОНЦИЙ	Y 4d <sup>1</sup> 5s <sup>2</sup> 39 88,9059±1 ИТРИЙ	Zr 4d <sup>2</sup> 5s <sup>2</sup> 40 91,224±2 ЦИРКОНИЙ	Nb 4d <sup>4</sup> 5s <sup>1</sup> 41 92,9064±1 НИОБИЙ	Mo 4d <sup>5</sup> 5s <sup>1</sup> 42 95,94±1 МОЛИБДЕН	Tc 4d <sup>5</sup> 5s <sup>2</sup> 43 97,9072 ТЕХНЕЦИЙ	Ru 4d <sup>7</sup> 5s <sup>1</sup> 44 101,07±2 РУТЕНИЙ	Rh 4d <sup>8</sup> 5s <sup>1</sup> 45 102,9055±1 РОДИЙ	Pd 4d <sup>10</sup> 5s <sup>0</sup> 46 106,42±1 ПАЛЛАДИЙ							
6	Cs 6s <sup>1</sup> 55 132,9054±1 ЦЕЗИЙ	Ba 6s <sup>2</sup> 56 137,33±1 БАРИЙ	La 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup> 57 138,9055±3 ЛАНТАН	Hf 5d <sup>2</sup> 6s <sup>2</sup> 72 178,49±3 ГАФНИЙ	Ta 5d <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup> 73 180,9479±1 ТАНТАЛ	W 5d <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup> 74 183,85±3 ВОЛЬФРАМ	Re 5d <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup> 75 186,207±1 РЕНИЙ	Os 5d <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup> 76 190,2±1 ОСМИЙ	Ir 5d <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup> 77 192,22±3 ИРИДИЙ	Pt 5d <sup>8</sup> 6s <sup>1</sup> 78 195,08±3 ПЛАТИНА							
7	Fr 7s <sup>1</sup> 87 223,0197 ФРАНЦИЙ	Ra 7s <sup>2</sup> 88 226,0254 РАДИЙ	Ac 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> 89 227,0278 АКТИНИЙ	Pb 6s <sup>2</sup> 6p <sup>2</sup> 82 207,2±1 СВИНЕЦ	Bi 6s <sup>2</sup> 6p <sup>3</sup> 83 208,9804±1 ВИСМУТ	Po 6s <sup>2</sup> 6p <sup>4</sup> 84 209,9871 ПОЛОНИЙ	At 6s <sup>2</sup> 6p <sup>5</sup> 85 222,0176 АСТАТ	Rn 6s <sup>2</sup> 6p <sup>6</sup> 86 222,0176 РАДОН									
* ЛАНТАНОИДЫ																	
Ce 4f <sup>1</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup> 58 140,12±1 ЦЕРИЙ	Pr 4f <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup> 59 140,9077±1 ПРАЗЕОДИЙ	Nd 4f <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup> 60 144,24±3 НЕОДИЙ	Pm 4f <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup> 61 144,9128 ПРОМЕТИЙ	Sm 4f <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup> 62 150,36±3 САМАРИЙ	Eu 4f <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup> 63 151,96±1 ЕВРОПИЙ	Gd 4f <sup>7</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup> 64 157,25±3 ГАДОЛИНИЙ	Tb 4f <sup>9</sup> 6s <sup>2</sup> 65 158,9254±1 ТЕРБИЙ	Dy 4f <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 66 162,50±3 ДИСПРОЗИЙ	Ho 4f <sup>11</sup> 6s <sup>2</sup> 67 164,9304±1 ГОЛЬМИЙ	Er 4f <sup>12</sup> 6s <sup>2</sup> 68 167,26±3 ЭРБИЙ	Tm 4f <sup>13</sup> 6s <sup>2</sup> 69 168,9342±1 ИТТЕРБИЙ	Yb 4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup> 70 173,04±3 ИТТЕРБИЙ	Lu 4f <sup>14</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup> 71 174,967±1 ЛУТЕЦИЙ				
** АКТИНОИДЫ																	
Th 6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup> 90 232,0381±1 ТОРИЙ	Pa 5f <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> 91 231,0359 ПРОТАКТИНИЙ	U 5f <sup>3</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> 92 238,0289±1 УРАН	Np 5f <sup>4</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> 93 237,0482 НЕПУТНИЙ	Pu 5f <sup>6</sup> 7s <sup>2</sup> 94 244,0642 ПЛУТОНИЙ	Am 5f <sup>7</sup> 7s <sup>2</sup> 95 243,0614 АМЕРИЦИЙ	Cm 5f <sup>7</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> 96 247,0703 КЮРИЙ	Bk 5f <sup>9</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> 97 247,0703 БЕРКЛИЙ	Cf 5f <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup> 98 251,0796 КАЛИФОРНИЙ	Es 5f <sup>11</sup> 7s <sup>2</sup> 99 252,0828 ЭЙНШТЕЙНИЙ	Fm 5f <sup>12</sup> 7s <sup>2</sup> 100 257,0951 ФЕРМИЙ	Md 5f <sup>13</sup> 7s <sup>2</sup> 101 258,0986 МЕНДЕЛЕВИЙ	No 5f <sup>14</sup> 7s <sup>2</sup> 102 259,1009 НОБЕЛИЙ	Lr 5f <sup>14</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> 103 260,1054 ЛОУРЕНСИЙ				

# Теория молекулярного строения вещества

Состояние молекул также описывается уравнениями Шрёдингера – для электронов и ядер.

Уравнение для электронов позволяет описать химическую связь.

Уравнение для ядер позволяет описать колебательные и вращательные движения молекулы.

# Последствия развития квантовой механики

- Появление и совершенствование новой экспериментальной техники и новых теоретических методов исследования строения вещества (молекулярная, атомная и ядерная спектроскопия, квантовая теория проводимости, нелинейная оптика и т.д.).
- Прогресс ядерной физики, возможности использования энергии ядра, поиски путей получения энергии за счет термоядерных реакций, разработка ядерного и термоядерного оружия.

**Благодарю за внимание!**

