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 180^0. Однако если нарисовать этот треугольник на внешней поверхности сферы, то сумма его углов будет больше 180^0, а на внутренней меньше 180^0. 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:

$$E=h\upsilon,$$

где υ - частота излучения, $с^{-1}$;

$h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}$ 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:

$$E_1,\ E_2 \ldots .. E_n$$

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:

$$E_m - E_n = h\upsilon,$$

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., французу 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:

λ – длина волны, м;

h - 6,62 · 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 Ψ-функцией.

Физический смысл Ψ-функции: квадрат модуля Ψ 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:
- $E_{полн.} = E_{кин.} + E_{пот.} = p^2/2m + E_{пот.}$
- Однако для вычисления этих величин используются не координаты, массы и скорости частиц, а волновая функция Ψ.

∇

Соответствие квантовомеханических величин механическим

Импульсу частицы в квантовой механике соответствует:

$$p\Lambda - i\nabla\ \psi$$

Оператор «набла» означает дифференцирование функции по координатам.

Соответствие квантовомеханических величин механическим

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

Квантовомеханический аналог уравнения для полной энергии

Суммируем части соответствующие кинетической и потенциальной энергиям:

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

Оператор Гамильтониан (H)

$$-\frac{\nabla^2}{2m}+E_{п}=H$$

Уравнение Шрёдингера для стационарных состояний

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

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;

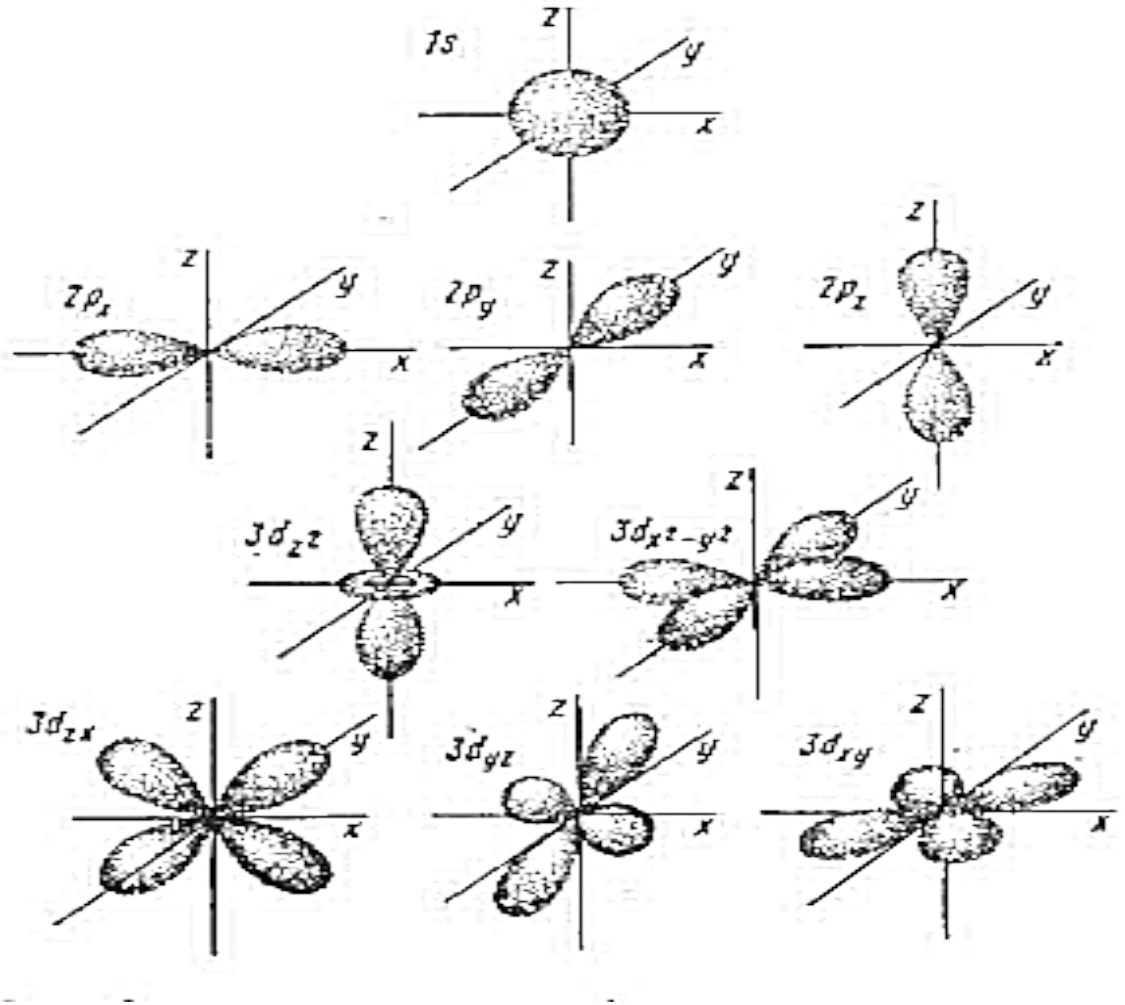
m_s- спиновое квантовое число.

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.

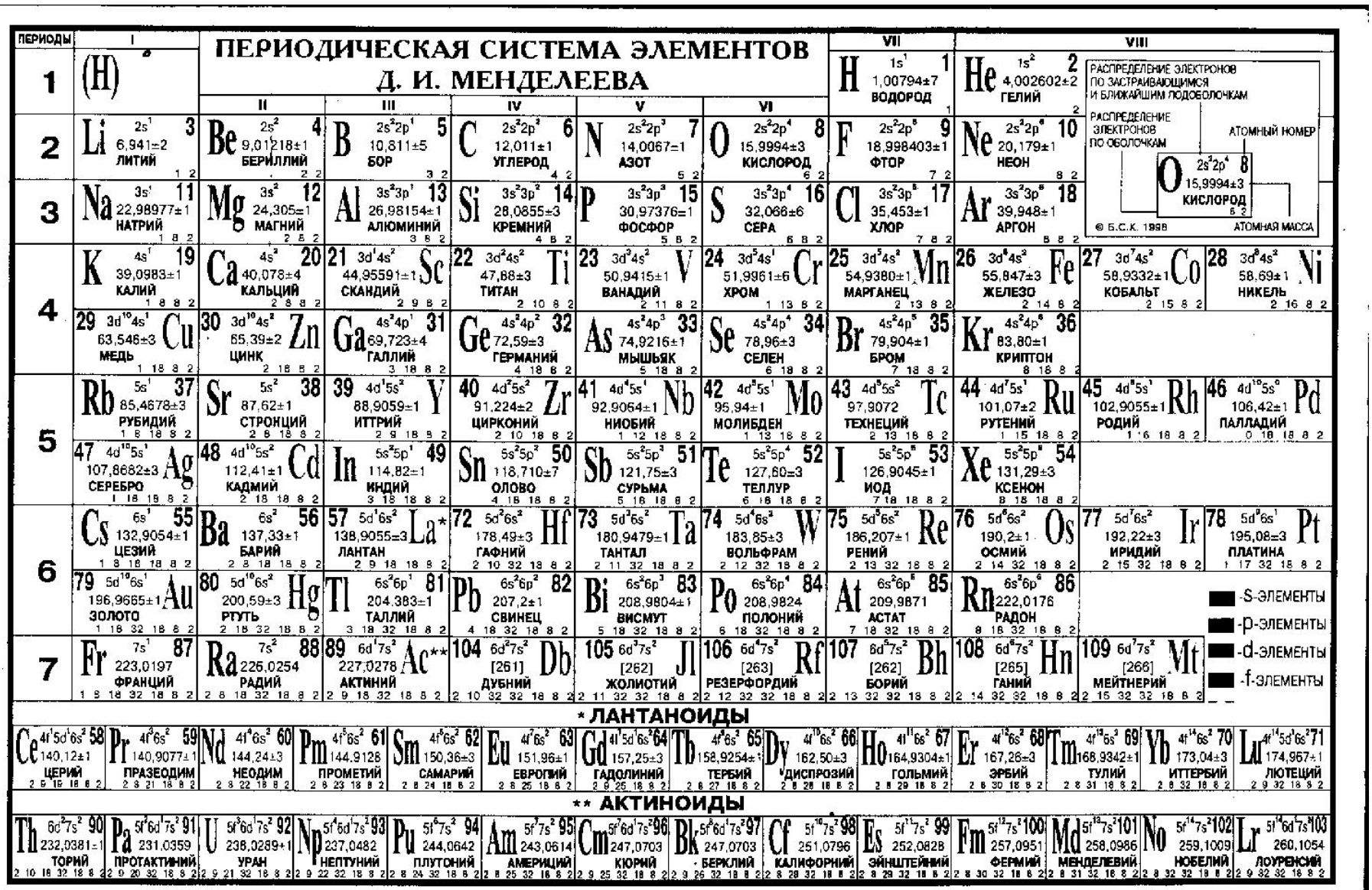
s, p, d, f-орбитали



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



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!