1. **Тепловое излучение. Законы теплового излучения (закон Кирхгофа; закон Стефана-Больцмана; закон Вина).**

**Люминесценция** – излучение предметом света. Хеми - от фосфора при химическом превращении, электро - от самостоятельного газового разряда, катодолюминесценция – от бомбардировки электронами. Так же есть тепловое (оно же температурное) свечение – оно возникает под воздействием высоких температур. Тепловое излучение есть при любой температуре, но на относительно низких температурах это излучение находится лишь в инфракрасном диапазоне. Тепловое излучение может находиться в равновесии (то есть при равном распределении энергии между телом и тепловым излучением вокруг тела) с излучающими телами, ибо чем выше температура, тем излучает интенсивнее. Другие виды люминесценции не могут добиться равновесия из-за нестабильности своего источника.

**З-н Кирхгофа**: «отношение испускательной и поглощательной способностей не зависит от природы тела, а является для всех тел одной и той же функцией частоты/длины волны и температуры rωT/aωT = f(ω,T)». Величины rωT и аωT могут отличаться очень сильно у двух разных материалов, а вот отношение–одно для всех тел. По определению для абсолютно чёрного тела, аωT = 1, из чего следует, что rωT = f(ω,T), а значит, f(ω,T) – испускательная способность абсолютно чёрного тела. Для теоретических расчётов проще использовать f(ω,T) – функцию частоты. Но для экспериментов используют функцию длины волны:

φ(λ,Т) = (2πс/λ2)\*f(2πс/λ,T)

Чтобы найти f(ω,T) по известной φ(λ,Т), применяют следующее выражение:

f(ω,T) = (2πс/ω2)\*φ(2πс/ω,Т).

Абсолютно чёрных тел нет. Даже такие черные тела, как сажа или платиновая чернь, имеют aωT близкое к единице, но неравное ей, и то - лишь в узком диапазоне частот.

Название «**закон Стефана-Больцмана**» получило выражение R\*э = σТ4, где σ – постоянная, равная 5,7\*10-8Вт/м2\*К4, названная постоянной Стефана-Больцмана, а R\*­­­э – энергетическая светимость тела. Стефан создал этот закон, но при более точных измерениях выяснилось, что Стефан допустил ошибку. Больцман лишь доработал этот закон, исправив ошибку, заключавшуюся в отсутствии σ, которая, к слову, была получена экспериментально.

Закон: энергетическая светимость R абсолютно черного тела прямо пропорциональна четвертой степени его абсолютной температуры Т.

**Закон смещения Вина** имеет вид Т\*λm = b, где b – экспериментально найденная постоянная равная 2,898(нм\*К), а λm - максимальная длина волны для φ(λ,Т). Закон смещения Ви́на даёт зависимость [длины волны](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B0_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%8B), на которой [поток излучения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BA_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F) энергии [чёрного тела](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D1%91%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%BE) достигает своего максимума, от [температуры](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0) чёрного тела. При повышении температуры Т абсолютно черного тела максимум его излучательной способности (спектральной плотности излучения) смещается в сторону коротких длин волн так, что выполняется соотношение

1. **Формула Рэлея-Джинса. Гипотеза Планка. Формула Планка.**

Формула Рэлея-Джинса: f(ω,T)=kTω2/(π2с3)

Ей пользоваться можно только для больших длин волн, т.к. при малых различия с результатами экспериментальными становятся колоссальными, из-за чего пользоваться данной формулой невозможно.

Гипотеза и формула Планка. Гипотеза: ЭМ-излучение испускается не сплошным потоком, а порциями (или квантами). Формула Планка: ε = ћω, где ћ = 1,054\*10-34(Дж\*с) – постоянная Планка (он же квант действия).

1. **Тормозное рентгеновское излучение. Коротковолновая граница спектра тормозного рентгеновского излучения.**

Тормозное рентгеновское излучение возникает при резкой остановке быстро движущихся электронов. Коротковолновая граница – это некоторая длина волны, при которой излучение уже не идёт. Для разных напряжений эта граница имеет разное значение, однако равного нулю среди них нет.

1. **Фотоэффект. Формула Эйнштейна для фотоэффекта.**

Фотоэффект (фотоэлектрический эффект) – испускание электронов веществом под воздействием света. Открыто в 1887 году Генри Герцем: он заметил, что если цинковые шарики разрядника облучать ультрафиолетовым излучением, искре пройти будет легче. В 1888-1889 Столетов изучил фотоэффект. Результаты его изучения выглядят следующим образом: 1) наибольшая эффективность у ультрафиолетового диапазона; 2)испускаемый заряд – отрицательный; 3)чем больше света поглощено, тем больший испускается заряд. Электроны при отрыве уже имеют какую-то скорость, так что даже при нулевом напряжении они будут идти. Чтобы их полностью остановить, нужно на них применить некоторое задерживающее напряжение. Кинетическая энергия электрона равна произведению заряда электрона и этого задерживающего напряжения. На всякий пожарный: от интенсивности света это напряжение зависимости НЕ имеет. Также, есть закон Столетова: если спектр света не меняется, то ток насыщения (по-русски–количество испускаемых электронов) строго пропорционален световому потоку. Кстати, у фотоэффекта есть т.н. «красная граница»: это длина волны/частота, и если её превысить/взять слишком маленькую, то электроны не пойдут. Если определить частоту, где задерживающее напряжение нулю равно, то можно найти и эти границы. Это всё о внешнем фотоэффекте. Есть ещё внутренний: это перераспределение электронов по энергетическим уровням в диэлектриках и полупроводниках под действием света. Думаю, хватит.

Формула Эйнштейна для фотоэффекта hν=eφ+mv2/2, φ–работа выхода (минимальная необходимая энергия для удаления электрона из вещества), h = 2пи\*ћ.

1. **Фотоны. Импульс фотона.**

Гипотеза Планка: свет испускается (и только) порциями. Эйнштейн: свет ещё и распространяется, и поглощается порциями. Порция (квант) света и есть фотон. Опыт Боте: два газоразрядных счётчика ловят рентгеновские лучи от тонкого листа фольги, на который рентгеном и светят. Счётчик срабатывает, механизм делает метку на бумажной ленте. Если бы энергия шла непрерывным потоком, метки были бы симметричны. На деле их расположение абсолютно хаотично, а значит, свет и правда состоит из фотонов, а не из сплошного потока энергии. Квант света имеет энергию, равную (эпсилон, единица измерения–электрон-вольты) =12390\*1010/λ(метры), ну, или ε=hν, где h–константа Планка. Импульс фотона равен отношению его кинетической энергии (а это 100% его энергии, ибо потенциальной у него нет) к его скорости. Фотон не существует в состоянии покоя, лишь в движении, желательно со скоростью света. 2π/λ=k–волновому числу. Тогда можно записать модуль как p=hk (h – константа Планка).

1. **Эффект Комптона.**

Сам по себе эффект в том, что, при рассеянии рентгеновских лучей разными веществами, вместе с волнами той же длины, что подавались, были и волны с большей длиной. Разница между первоначальной и увеличенной длинами волн Δλ=λ0(1-cosθ) λ0=2.42\*10-8м, θ–угол между первичным пучком и направлением рассеянного излучения. Также есть т.н. комптоновская длина волны Λ=h/m0c, где h – константа Планка, с – скорость света, m0 – масса рассматриваемой частицы. Комптоновская длина волны электрона равна 3,86\*10-7м, что в 2π раз меньше λ0, о которой шла речь чуть раньше в данном вопросе, что в какой-то мере доказывает правильность эмпирического значения λ0 и всей формулы для Δλ в целом.

1. **Гипотеза де Бройля. Экспериментальное подтверждение волновых свойств частиц.**

Гипотеза: материя имеет волновые свойства, подобно электромагнитным волнам (свету в частности), доказана Дэвиссом и Джермером в виде экспериментального обнаружения дифракции пучка электронов, рассеивающегося от кристаллической пластинки.

1. **Неприменимость понятия траектории в случае микрочастиц. Соотношения неопределенностей Гейзенберга. Оценка энергии нулевых колебаний гармонического осциллятора.**

Микрочастицы не могут быть обнаружены с вероятностью в 100% квантовой механикой из-за того, что они подчиняются волновым функциям. Квантовая механика лишь предсказывает вероятность, с которой частица может оказаться в точке. Но такой подход лучше показывает истинное поведение микрочастиц, чем классическая механика. В применении к микрочастицам определение точного местонахождения вообще теряет всякий смысл, ибо из-за волновых свойств нельзя построить траекторию частицы. Пример: если наложить друг на друга дифракционные картины от пучков электронов для двух близкорасположенных отверстий по отдельности, то картина будет отличаться от той, что получится, если взять картину от 2 отверстий сразу, ибо оба отверстия влияют на электрон. Пройдёт он только через одно, но на его место на картине будет отличаться от того места, которое получается от 1 отверстия или от наложения картин от отверстий по отдельности. А так как электрон может пройти через любое отверстие, построить траекторию невозможно.

1. **Задание состояния частицы в квантовой физике: волновая функция, ее вероятностный смысл. Нормировка волновой функции. Стандартные условия для волновой функции. Принцип суперпозиции в квантовой механике.**

Сама по себе волновая функция есть комплексная функция, описывающая чистое состояние (то есть полностью указанное состояние – указаны все векторы состояния) системы. Является коэффициентом разложения вектора состояния по базису (чаще всего координатному) в виде |ψ(t)>=∫Ψ(x,t)|x>dx.|x>-ket, вектор координатный базисный. Если что–сопряжённый вектору |x>будет выглядеть как <x| и называться «бра»/”bra”. Смысл волновой функции в том, что если брать её квадрат, то он равен частной производной вероятности по объёму, проще говоря – плотности вероятности ω найти систему в положении, описываемом координатами х1 = х01, х2 = х02, … ,xn = x0n в момент времени t: ω = dP/dV = |Ψ(x1,x2,…,xn,t)|2 = Ψ\*Ψ.

Тогда можно найти вероятность того, что частица будет в любой области конфигурационного пространства конечного объёма V: P = ∫dP = ∫vωdV = ∫vΨ\*ΨdV.

Волновая функция должна соответствовать условию нормировки ∫vΨ\*ΨdV = 1, то есть в данном объёме вероятность найти частицу должна быть стопроцентной (то есть не должно быть вероятности, что мы частицу вообще не найдём).

Стандартные условия (они же условия регулярности) волновой функции:

1) **Волновая функция должна быть конечной**, вот эти ∫dP = ∫vωdV = ∫vΨ\*ΨdV интегралы не должны стать расходящимися.

2)**Волновая функция должна быть однозначной функцией координат и времени**, так как плотность вероятности обнаружения частицы должна определяться в каждой задаче однозначно. В задачах с использованием цилиндрической или сферической системы координат условие однозначности приводит к периодичности волновых функций по угловым переменным.

3) **В любой момент времени волновая функция должна быть непрерывной функцией пространственных координат.** Кроме того, непрерывными должны быть также частные производные волновой функции ∂Ψ/∂*x*, ∂Ψ/∂*y*, ∂Ψ/∂*z*. Эти частные производные функций лишь в редких случаях задач с идеализированными силовыми полями могут терпеть разрыв в тех точках пространства, где потенциальная энергия, описывающая силовое поле, в котором движется частица, испытывает разрыв второго рода.

А теперь суперпозиция. Суть в том, что если система может быть в состояниях, что можно описать волновыми функциями Ψ1­ и Ψ2, то она может быть и в состоянии, описываемом функцией ΨΣ=c1Ψ1+c2Ψ2, где с1 и с2 – любые комплексные числа. Хотя главный смысл скорее в том, что этих функций может быть сколько угодно, и суммарная всё равно имеет место. И тогда квадрат cn будет показывать вероятность того, что будет частица в состоянии, описанном функцией Ψn. А значит, сумма квадратов коэффициентов с должна дать единицу, если волновая функция нормированная.

1. **Уравнение Шредингера (общее и стационарное). Стационарные состояния.**

Общее уравнение Шрёдингера: (-ћ2/(2m))ΔΨ+UΨ = (dΨ/dt)\*ih.

Стационарное уравнение Шрёдингера: Δψ+2m/ ћ2\*(E–U) ψ= 0.

Обозначения: Ψ и ψ – волновая функция, π = 3,14…, Е – полная энергия частицы, i – мнимая единица, m – масса частицы, Δ – оператор Лапласа (ΔΨ есть сумма частных (если следовать учебнику ещё и двойных) производных Ψ по x, y и z).

Общее положено считать как начальное, ибо вывести его нельзя из чего-либо известного ранее, его создал Шрёдингер на основе кучи фактов, которые опыты дали.

1. **Частица в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме. Квантование энергии частицы.**

Предположим, что есть частица, что может двигаться лишь по оси Ох и только между нулём и какой-то точкой на оси Ох, не совпадающей с нулём. Тогда потенциальная энергия относительно оси будет равна нулю в пределах этого отрезка и устремится в бесконечность при покидании этого отрезка, вследствие чего частица проникнуть наружу не может. Эти границы и названы бесконечно глубокой одномерной потенциальной ямой.

Уравнение волновой функции для частицы в границах ямы: dψ2/dt2+2m/ ћ2\*Eψ =0.

Квантование – описание через квантовую теорию классической теории или модели. Более ничего путного нет, импровизируем! Сомнительно.!!!

Н. Я. Эдишн: Квантование – определение допустимых уровней полной энергии(E) частицы (при которых выполняются стандартные условия).

1. **Одномерный квантовомеханический гармонический осциллятор: спектр энергии, волновые функции стационарных состояний.**

Уравнение Шрёдингера для этой штуки (по сути – волновая функция для неё):

(d2ψ/dx2)+(2m/ћ2)/(Ev–(mx2ω2v/2))ψ = 0.

Условие квантования для этой штуки: Ev = ћw0(n+1/2). Ev – полная энергия осциллятора, n – колебательное квантовое число, лежит на множестве неотрицательных целых чисел, показывает номер энергитического уровня на котором находится частица. Мин. возможная энергия при n = 0 – энергия нулевых колебаний.

Условия, которые определяют изменение квантовых чисел при разрешенных переходах системы из одного состояния в другое, называются *правилами отбора* (n1-n2 = +1 или -1). Они характеризуют испускание и поглощение электромагнитного излучения гармоническим осциллятором.

1. **Прохождение частицы через одномерный потенциальный барьер. Туннельный эффект.**

Возьмём частицу, летящую на барьер высотой в U­0 ­и шириной L.

В классической механике, если энергия частицы больше U0, то она спокойно пролетит над барьером, потеряв часть скорости на участке L и восстановив её при покидании данного участка. Если же она будет ниже отметки U0, то она отразится от барьера и полетит назад.

Если же смотреть со стороны квантовой физики, то есть ненулевая вероятность отскока и при E>>U0, хотя и очень маленькая, и наоборот, при E<U0 есть риск, что частица пройдёт барьер. Такое развитие событий описывает уравнение Шрёдингера.

Если случилось так, что частица таки прошла, то такой вариант развития событий называют «туннельным эффектом», то есть полагают, что в барьере есть что-то вроде туннеля, через который частица и проскочила. По классике, туннель и есть абсурд, так как тогда кинетическая энергия была бы отрицательной, но в квантовой механике принцип неопределённости делает бесполезным и даже абсурдным деление энергий на кинетическую и потенциальную, вследствие чего заявление об абсурдности ситуации становится беспочвенным, и возникает вероятность того, что частица сможет «проскочить» этот барьер.

1. **Операторы. Собственные функции и собственные значения операторов. Линейные, самосопряженные операторы. Свойства собственных значений и собственных функций самосопряженных операторов.**

Сам по себе оператор – обозначение одного или нескольких действий, однозначно делающих из одной функции другую.

Обозначается оператор в виде шляпы (как над суффиксом), но в этих записях шляпа будет чуть правее буквы, вот так: A^, G^, T^ и т. п.

Если A^Ψ = aΨ, то а – собственное значение A^, аΨ – собственная функция оператора A^. Чаще всего у оператора собственных значений куча (а1, а2, …, аn), и вот эту кучу называют спектром оператора A^.

Оператор L^ можно назвать линейным, если равенство L^ΣiCiΨi = ΣiL^CiΨi выполняется.

Если же верно равенство скалярных произведений (Ψ, A^φ) = (A^Ψ, φ), то оператор A^ можно назвать самосопряжённым или эрмитовым(Ψ и φ - функции).

При этом сумма самосопряжённых операторов есть самосопряжённый оператор. Произведение самосопряжённых операторов есть самосопряжённый оператор, если они коммутируют. Если \hat{A}\hat{B}=\hat{B}\hat{A}, то говорят, что операторы \hat{A},\hat{B} *коммутируют*. Собственные значения самосопряжённых операторов всегда вещественны. Собственные функции самосопряжённых операторов, соответствующие разным собственным значениям, ортогональны.

1. **Постулаты квантовой механики.**

Первый: Состояние частицы или группы частиц задано, если известна волновая функция. Она должна быть непрерывной, однозначной, а также соответствовать условию нормировки ∫vΨ\*ΨdV = ∫v|Ψ|2dV = 1

Второй: Волновые функции подчиняются принципу суперпозиции: если в состоянии с волновой функцией Ψ1(q) некоторое измерение приводит к результату Х1, а в состоянии Ψ2(q) – к результату Х2, то всякая функция вида Ψ=с1Ψ1(q)+с2Ψ2(q) описывает такое состояние, в котором измерение дает либо результат Х1, либо Х2.

Третий: Всякой физической величине L в квантовой механике сопоставлен линейный самосопряженный оператор. Единственно возможными величинами, которые может иметь эта физическая величина, являются собственные значения l операторного уравнения LΨ = lΨ.

Четвёртый: Возможная волновая функция состояния системы Ψ получается при решении или нестационарного дифференциального уравнения ih·dΨ/dt=HΨ, или стационарного, не зависящего от времени операторного уравнения HΨ = EΨ, где H - оператор Гамильтона, E - энергия системы.

Пятый: Если произвести многократные измерения какой-либо динамической переменной l системы, находящейся в состоянии Y, то на основании результатов этих измерений можно определить её среднюю величину. Эта средняя величина вычисляется по формуле: l = ∫Ψ\*LΨdq/∫Ψ\*Ψdq

1. **Условие совместной измеримости различных физических величин. Полный набор физических величин.**

Если у F^ и G^ общая система собственных функций (а для этого необходимо и достаточно, чтобы они коммутировали), то физические величины F и G одновременно (совместно) измеримы: F^φn(q) = fnφn(q); G^φn(q) = gnφn(q).

Максимальная совокупность всех независимых физических величин, которые одновременно могут иметь определенные значения, называют полным набором. Проиллюстрируем это примерами. Для квантовой частицы, движущейся в пространстве, число степеней свободы равно трем, поэтому в качестве полного набора физических величин могут выступать:

x,y,z-координаты частицы,

px,py,pz-проекции импульса частицы,

x,py,pz-координата и два несопряженных ей импульса и т. д.

1. **Соотношения неопределенностей Гейзенберга (вывод основных формул).**

ΔxΔp>=ћ – фундаментальное неравенство (соотношение неопределённостей), устанавливающее предел точности одновременного определения пары характеризующих систему квантовых наблюдаемых, описываемых некоммутирующими операторами (например, координаты и импульса, тока и напряжения, электрического и магнитного поля). Соотношение неопределённостей задаёт нижний предел для произведения среднеквадратичных отклонений пары квантовых наблюдаемых. Принцип неопределённости, открытый Вернером Гейзенбергом в 1927г., является одним из краеугольных камней квантовой механики. Тут Δx – среднеквадратическое отклонение координаты, Δp – среднеквадратическое отклонение импульса. Это самое известное из соотношений. Также есть отношение неопределённости между двумя ортогональными компонентами оператора полного углового момента частицы ΔJiΔJj> = h|<Jk>|/4π(h–Plunk’sconst.),i<>j<>k,Ji (дичь какая то) обозначает угловой момент вдоль оси xi. И есть ещё отношение неопределённости между энергией и временем, хотя его интерпретация требует осторожности, так как не существует оператора, представляющего время: ΔEΔt> = h/4π. Тут ΔE – неопределённость измерения энергии системы, а Δt – длительность измерения.

1. **Собственные функции и собственные значения оператора проекции момента импульса на ось Оz. Собственные функциии собственные значения оператора квадрата момента импульса частицы (результаты). Орбитальное и магнитное квантовые числа.**

**Ква́нтовое число́**  — численное значение какой-либо квантованной переменной микроскопического объекта ([элементарной частицы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D0%B0), [ядра](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%8F%D0%B4%D1%80%D0%BE), [атома](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%BE%D0%BC" \o "Атом)и т. д.), характеризующее состояние частицы. Задание квантовых чисел полностью характеризует состояние частицы.

**Главное или радиальное**[**число**](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE) — [целое число](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B5%D0%BB%D0%BE%D0%B5_%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE), обозначающее номер [энергетического уровня](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%83%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D1%8C). Характеризует [энергию](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F) [электронов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD), занимающих данный [энергетический уровень](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%83%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D1%8C). Главное квантовое число обозначается как  n. При увеличении главного квантового числа возрастает энергия электрона. Максимальное возможное значение главного квантового числа для электронов атома элемента равно номеру периода элемента.

**Магнитное квантовое число** (m) — квантовое число, параметр, который вводится при решении уравнения Шрёдингера для электрона в водородоподобном атоме (и вообще для любого движения заряженной частицы). Магнитное квантовое число характеризует ориентацию в пространстве орбитального момента импульса электрона или пространственное расположение атомной орбитали. Оно принимает целые значения от –l до +l, где l(л) — орбитальное квантовое число, то есть имеет ровно столько значений, сколько орбиталей существует на каждом подуровне.

**Спин**  — собственный [момент импульса](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82_%D0%B8%D0%BC%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%B0) [элементарных частиц](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D0%B0), имеющий [квантовую](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82) природу и не связанный с перемещением частицы как целого.

**Орбитальное квантовое число** — в квантовой физике квантовое число ℓ, определяющее форму распределения амплитуды волновой функции электрона в атоме, то есть форму электронного облака. Характеризует число плоских узловых поверхностей. Определяет подуровень энергетического уровня, задаваемого главным (радиальным) квантовым числом n и может принимать значения *l* = 0,1,2,…,n-1. Является собственным значением оператора орбитального момента электрона, отличающегося от момента импульса электрона j лишь на оператор спина s

j= s + *l*

Разность орбитального квантового числа и квантового числа полного момента не превосходит, по абсолютной величине, 1/2(спин электрона). Азимутальное квантовое число определяет ориентацию электронного облака в пространстве.

1. **Орбитальный магнитный момент электрона. Опыты Барнетта и Эйнштейна-де Хааса. Спин электрона.**

Орбитальный магнитный момент электрона равен pm = eπRv/2, где е– заряд электрона, R – радиус орбиты, v – скорость, pm – сам момент. (в инете во всех формулах нет π)

Опыты Барнетта имели цель – определение гиромагнитного фактора (g – фактора). Сами опыты начали проводиться после открытия забавного факта: если стержень из ферромагнетика начать вращать вокруг какой-то оси с какой-то частотой, то произойдёт намагничивание этого стержня, как если б его поместили во внешнее магнитное поле какое-то. Одна беда: из-за геомагнитного поля были сильные искажения результатов, и частота вращения должна быть очень высокой, чтобы получать более или менее точный результат. За время его поисков примерно с 1914 года по 1962, он изменялся между 1 и 2.3. Последнее значение –1.919(+\-0.002).

Опыты Эйнштейна и де Хааса (де Хааза, де Гааза – по-разному пишут) заключались в обратном: они помещали стержень из ферромагнетика в магнитное поле, и тот начинал вращаться. Кстати, g-фактор получился примерно один в обоих видах опытов.

Спин электрона – собственный момент импульса, природа его квантовая, связи с перемещением электрона нет. Сначала полагали, что электрон вращается как волчок или веретено, но затем было установлено, что спин – внутреннее свойство электрона, как масса или заряд. Позже было доказано, что у других элементарных частиц (протонов, нейтронов, фотонов и прочих нейтрино(?)) также есть спин. Заодно выяснили, что спин – не только квантовое свойство, но ещё и релятивистское: его свойства и наличие автоматически вытекают из уравнения квантовой механики Дирака, удовлетворяющего всем требованиям теории относительности. Величина собственного момента импульса определяется по общим законам квантовой механики «спиновым квантовым числом» s(у электрона, протона и нейтрона спин равен 0.5): Ms = h(s(s+1))^2. s бывает равным также 0, 1, 1.5, 2, в зависимости от частицы.

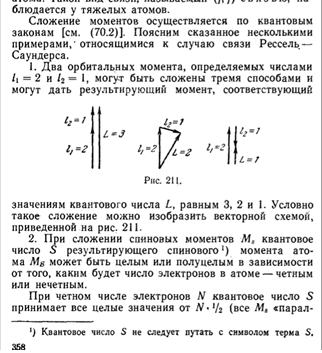
1. **Сложение моментов электрона. Момент многоэлектронной системы.**

Полный момент импульса электрона является суммой орбитального и спинового моментов.

Момент многоэлектронного атома может складываться по 2 вариантам (хотя в обоих M*l* – момент импульса, Ms – момент собственный (спин), Mj – полный момент):

1. M*l* и Ms одного атома взаимодействуют друг с другом хуже, чем с M*l* и Ms других атомов, из-за чего сначала все Ms складываются в MS, все M*l* складываются в ML, а потом ML и MS складываются в MJ. Такое ещё зовут связью Рессель-Саундерса.
2. M*l* и Ms одного атома взаимодействуют лучше друг с другом, чем с M*l* и Ms других атомов, из-за чего сначала все Ms складываются с M*l* в Mj, а потом все Mj складываются в MJ. Такое называют (j,j)-связью и наблюдают чаще всего у тяжёлых атомов.

Сложение идёт по квантовым законам. Разные квантовые числа можно складывать по разному.

 **21. Типы фундаментальных взаимодействий элементарных частиц. Константы и радиусы взаимодействий. Классификация элементарных частиц.**

Типы фундаментальных взаимодействий:

а) сильное (между кварками в адронах и межнуклонные силы (которые ядерные), радиус действия – атомное ядро, примерно 10­-15м),

б) слабое (бета-распад, очень слабое взаимодействие, радиус действия около 10-18м, действуют в очень маленькие промежутки времени),

в) ЭМ (между носителями эл. заряда, по сравнению со слабым и сильным воздействиями эта штука чрезвычайно дальнобойная, этот показывает закон Кулона: F = (kq1q2)/r2, где k = (4πεε0)-1, q – величины зарядов, r – расстояние меж ними),

г) гравитационное (между двумя кусками материи, F = (Gm1m2)/r2, G – гравитационная постоянная, m – массы, r – расстояние; похожа на ЭМ, но тут нужен не заряд, а масса. В целом дико похож на кулоновский: нужны обе массы и некая постоянная в числителе и квадрат расстояния в знаменателе),

д) поле Хиггса (кажется, этого в учебниках пока что нет: слишком слабо исследовано, чтобы туда это запихивать).

G = 6,7\*10-11 (м3/(кг\*с2))

k = (4πεε0)-1 = 9\*109\*м3\*кг\*с-4\*А-2 = 9\*109\*м\*Ф-1

ε0 = 8.85\*10-12\*м-3\*кг-1\*с4\*А2 = 8.85\*10-12\*Ф\*м-1

Кварки – частицы с третью или двумя заряда электрона в себе. Из-за глюонов они взаимодействуют меж собой и образуют адроны. Если у адрона есть и кварки, и антикварки – это мезон, если у него три кварка – это барион. Часть барионов – нуклоны, другая – более тяжёлые и менее стабильные частицы, получаемые в коллайдерах. Из нуклонов и электронов складываются атомы, которые образуют молекулы.

Античастица имеет массу и спин частицы и противоположный знак всех остальных характеристик.

1. **Законы сохранения в мире частиц. Квантовые числа. Частицы и античастиц.**

**Симметрия.** Каждой частице соответствует античастица. е+ и р- отличаются  от е- и р+ знаком электрического заряда. n от n знаком магнитного момента. е+ + е- = γ + γ.  
**Законы сохранения в мире элементарных частиц.** В мире элементарных частиц есть ЗС энергии, импульса, момента импульса + всех зарядов: барионного, электрического и трех лептонных.  
**ЗС барионного заряда B**: В = +1 для барионов; В = -1 для антибарионов; для остальных В = 0. Для всех процессов с участием барионов и антибарионов суммарный барионный заряд сохраняется.  
**ЗС лептонных зарядов**: электронный Le ( для е и ν е (нейтрино)), мюонный Lμ (для μ и νμ), таонный Lτ (для τ и ντ ). Le = Lμ = Lτ = +1 (для лептонов); -1 (для антилептонов). Для всех остальных L = 0. Для всех процессов с участием лептонов и антилептонов суммарный лептонный заряд сохраняется.  
Существуют ЗС странности S, очарования C, прелести (красоты) b, изотопического спина.

Квантовые числа.

Магнитное m, главное (радиальное) n, орбитальное l. n лежит на мн-ве натур чисел, l – тоже, но только по значение n-1, значения n не достигает. m лежит на мн-ве цел чисел от -l до l (это не цифра).

Частицы и античастицы.

Разница в знаке всего, кроме массы и спина. Даже у нейтрона есть антинейтрон – там магнитный момент имеет противоположный по отношению к нейтрону знак.

1. **Сильные взаимодействия. Адроны. Систематика адронов. Кварки. Глюоны.**

Участники: кварки и глюоны и из первых двух составленные адроны. Радиус действия 10-15 м. Адроны делятся на барионы и мезоны. К основным барионам относятся (по мере возрастания массы): протон, нейтрон, лямбда-барион, сигма-гиперон, кси-гиперон, омега-гиперон. Масса омега-гиперона (3278 масс электрона) почти в 1,8 раз больше массы протона. Протон стабилен, то есть сам не распадается; нейтрон живёт примерно 1000 секунд, потом разлетается бета-распадом; более тяжёлые барионы живут примерно от 10-25 до 10-10 секунд. Протон и нейтрон образуют группу, именуемую нуклонами, так как только эти два товарища встречаются в обычных атомах. Все барионы состоят из трёх кварков. У кварков заряд или +2/3 от модуля заряда электрона, или -1/3. Но их аж шесть видов, и они разделены на три поколения. Наименее массивный кварк называется нижним, относится к первому поколению, имеет заряд –(1/3)|е| и масса его примерно равна 4.8 МэВ/с2. Второй по лёгкости также из первого поколения, называется верхним. Заряд +(2/3)|e|, масса примерно 2МэВ/с2. Третий уже относится ко второму поколению, зовётся странным и несёт заряд –(1/3)|e|. Но тяжёлый, зараза, даже понять не могут пока что насколько: колеблются между 90 и 100 МэВ/с2. Четвёртый и того жёстче – заряд 2/3, а вот масса уже 1.8ГэВ. Зовётся, кстати, очарованным. Что касается пятого и шестого, так это вообще что-то жуткое: первый зовётся прелестью, -1/3 и 4.5ГэВ, а второй, то есть шестой зовётся истинным (воистину, самый тяжёлый из известных) – 171 ГэВ, а заряд +2/3. Кстати, у них есть условные обозначения: нижний – d, верхний – u, странный – s, очарованный – с, прелесть – b, истинный – t. Буквы – первые в английской версии этих слов: down, up, strange, charm, beauty, truth. У протона два верхних и один нижний, у нейтрона два нижних и один верхний кварк. Общее у нуклонов и прочих барионов то, что в них всегда по три кварка, ни больше, ни меньше. Другие барионы среди прочих могут иметь нуклоны как продукты распада. Есть ещё один вид частиц, состоящих из кварков – это мезоны. Они состоят из равных количеств кварков и антикварков.

Глюоны служат переносчиками взаимодействия между кварками в адронах. Глюоны бывают шести видов: красный, бирюзовый (антикрасный), зелёный, фиолетовый (антизелёный), синий и жёлтый (антисиний). На примере протона: кварк красный, кварк синий и ещё зелёный кварк. К примеру, надо сместить всё на один цвет по часовой стрелке. Тогда от красного к синему идут антисиний и красный, от синего к зеленому антизеленый и синий, от зеленого к красному – зеленый и антикрасный. Глюоны тут носятся парами, чтобы погасить текущий цвет и установить новый, иначе получился бы кавардак. Глюоны сами себе и частицы, и античастицы, антиглюоны и есть глюоны. Глюоны работают в сильном и грави взаимодействиях.

1. **Структура атомных ядер. Ядерные силы и их свойства. Энергия связи атомного ядра. Дефект массы ядра.**

Атомное ядро: куча сцепленных сильным взаимодействием нуклонов, образующая сгусток массы с кратным элементарному положительным зарядом. Кратность определяет его номер в периодической таблице элементов Дмитрия Менделеева. Бывает у ядер одно число протонов, но разные числа нейтронов – такие ядра друг другу приходятся изотопами. Число протонов определяется зарядовым числом Z, число нейтронов – N, сумма их: А = Z + N; обычно А примерно равно средней массе атома в относительных атомных единицах (там протон имеет массу 1, как-то так). Если ядро нестабильно – в какой-то момент оно распадётся. Есть понятие времени жизни таких ядер. Ядерные силы обладают свойствами насыщения, из-за чего им приписывают обменный характер с помощью π-мезонов; также они зависят от спина, но не от массы нуклона или его заряда, а также действуют на дистанциях порядка 10-15м максимум, удерживают ядро от распада (особенно хорошо получается у стабильных ядер), но есть некий предел энергии, при котором ядро даже не смотря на эту силу всё равно распадётся. Такую энергию называют энергией связи – она же работа по отделению нуклона от ядра и равна произведению дефекта массы и квадрата скорости света.

1. **Радиоактивность. Закон распада радиоактивных ядер. Виды распада и их схемы. Активность препарата. Единицы измерения активности препарата.**

Радиоактивность – самопроизвольное превращение одних ядер в другие с выделением элементарных частиц. Условие ядерного распада: масса материнского ядра больше суммы дочерних ядер. Радиоактивность бывает искусственной (такие ядра человек в природе не нашёл) и природной (а вот такие находил, даже записи официальные есть). Основной закон радиоактивного распада: N = N0e-λt, где N0 – начальное число ядер, t – время, λ – вероятность распада ядра, e = 2,718281828…, N – число таки распавшихся ядер. Всегда округляется в меньшую сторону до целого числа, если не ошибаюсь. Виды распада: альфа (одна из дочек – атом гелия на скорости 107м/с), +/- бета (электрон или позитрон – одна из дочек), электронный захват (как бета-распад, только нестабильный съедает электрон или позитрон и не распадается – это же захват). Позитронного захвата нет, так как нет ещё умника, что смог создать материю с антипротонами вместо протонов и позитронами вместо электронов. Период полураспада – время, за которое гарантированно распадётся ровно половина ядер в нашей кучке нестабильных ядер. Активность препарата – количество распадов в единицу времени. 1 Бк = [Бекерель, ударение на первое Е] = 1 распад в единицу времени (для СИ и СГС это секунда, например). 3.7\*1010Бк = 1 Ки = [Кюри, ударение на И], разница между кюри и бекерелями аналогична разнице между граммом и килограммом.

1. **Ядерные реакции. Энергия реакции. Эффективное сечение реакции.**

Ядерная реакция – сильное взаимодействие атомного ядра с элементарными частицами или другими ядрами с результатом в виде преобразования ядра. Чаще всего имеет такой вид: X + a –> Y + b +/–Q. Энергия реакции – разница кинетических энергий изначального и конечного объектов. WY + Wb – Wx – Wa = MYc2 + Mbc2 – Mxc2 – Mac2. Mc2 – энергия покоя, W – кинетическая энергия. Если Wa мала, то ядерная реакция пойдёт через стадию «промежуточного ядра», то есть сначала частица а ассимилируется, образуется новое ядро, и только потом оторвётся частица b и образуется ядро Y. Если же частица а быстра, то такого не будет – она просто вышибет частицу b. Реакции бывают экзо- и эндотермическими (соответственно выделяют и поглощают энергию). Эффективное сечение реакции – величина, характеризующая вероятность взаимодействия элементарной частицы с атомным ядром или другой частицей. Единица измерения – барн (10-28м2). С помощью этой штуки рассчитывают скорость протекания ядерной реакции или количество прореагировавших частиц.

1. **Деление ядер. Цепная реакция деления и способы ее осуществления. Термоядерная реакция. Использование ядерной энергии.**

Впервые проведено деление ядер в 1938 году Ганом Штрассманом. Суть: тяжёлое ядро съедает нейтрон, а потом раскалывается на 2 куска, чьё соотношение масс примерно равно 2:3; у продуктов энергия связи примерно на 1МэВ больше. Нейтроны бывают медленными (они же тепловые, они же запаздывающие) и быстрыми (они же мгновенные). Торий-232, плутоний-239, уран-235, уран-233 и торий-230 могут разбиться от обоих видов нейтронов, а вот уран-238 только от быстрых нейтронов разбивается. Таких вот любителей скорости типа урана-238 медленными нейтронами можно обогащать – утяжелять их, но не раскалывать. Проблема обогащения в том, что можно получать как «мирное» вещество для АЭС и иже с ними, так и «оружейное» - для бомб, например. Цепная реакция в идеальной картинке выглядит так: Z –> Z2 –> Z4 –>…

Цепная реакция сама по себе есть порождение большого числа того, что возбудило распад данного ядра. То есть ядро расколол нейтрон, а ядро из себя ещё с десяток нейтронов выкинул. Есть коэффициент размножения нейтронов. Если он равен единице – такое можно применять на АЭС – вреда не будет, реакция сама себя поддерживает, но ни ускоряется, ни замедляется. При коэффициенте меньше единицы она затухает, если же он больше единицы – её скорость растёт. Если он много больше единицы – и рвануть может, поэтому за этим ОЧЕНЬ тщательно надо следить. Нейтроны имеют высокую пробивную способность, так что они могут пролететь мимо всех ядер. На такой случай на АЭС есть специальные механизмы, которые их сдерживают и не дают системе сильно греться. В природе цепных реакций пока что замечено не было. Осуществление цепной реакции: а) реактор: руда и механизмы сдерживания лишних тепловых нейтронов; б) бомба (два куска вещества некритической массы сводятся в один (например, взрывом), туда влетает тепловой нейтрон, и понесла-а-ась...). Замедлители нейтронов: дейтерий (изотоп водорода), бериллий и графит. Термоядерная реакция – реакция ядерного синтеза. Температуры где-то 107..109К, так что пока что для человечества ну слишком горячо такое пытаться сделать, точнее результаты зафиксировать, сделать-то можно… Применяется ядерная энергия пока что на атомных подлодках, АЭС и в ядерном оружии. Касательно водородной бомбы: взрывается ядерная, температура 108 К, термоядерный синтез…привет, это тебя зовут Царь-бомбой?

1. **Опыт Резерфорда. Модель атома Резерфорда. Постулаты Бора. Опыт Франка и Герца.**

Первая попытка представить внешний вид атома принадлежит Томсону, он в 1903 году сказал, что атом – электронейтральная сфера радиусом примерно 10-10м. Суть опыта: он бомбил альфа-частицами кусок золотой фольги. Если бы был прав Томсон, сильного разброса от узконаправленного потока не было бы. Но на деле разброс был так огромен, что некоторые частицы даже повернули назад. Тогда было вынесено предположение: атом – не шарик с нуклонами и электронами, а состоит из 2 частей: первая – даже для атома очень маленькое ядро, где слеплены в одну кучку все нуклоны, а вокруг носятся по орбитам электроны. Диаметр ядра примерно 10-14..10-15м, то есть от объёма 10-12 часть – ядро, но там же и 99.95% от его массы и весь положительный заряд. А потом ещё заметили, что если заряд электрона взять за 1, то заряд ядра равен номеру атома по периодической таблице элементов Дмитрия Менделеева. После этого Резерфорд предложил планетарную модель атома: в центре ядро, а вокруг, как планеты, летают по орбитам электроны.

Постулаты Бора:

1. Атом и атомные системы могут длительно пребывать только в особенных стационарных или квантовых состояниях, каждому из которых отвечает определенная энергия. В стационарном состоянии атом не излучает электромагнитных волн. Изменение по n лежит на Z, по l=+/-1, по m=-1, 0, +1 – такие вот условия, так что особо не полетаешь...
2. Излучение света происходит при переходе электрона из стационарного состояния с большей энергией в стационарное состояние с меньшей энергией. Энергия излученного фотона равна разности энергий стационарных состояний.

Постоянная Ридберга Re = (m(ke2)2)/(2h)2 = 13,6 эВ, h – константа Дирака. Это энергия связи электрона в атоме водорода (низшее состояние).

Опыт Франка и Герца: пускали ток через пары ртути, выяснилось, что энергия атома дискретна: по достижении напряжения, кратного 4.9В и дальнейшем росте, наблюдался резкий спад тока, а затем снова монотонный рост. Установлено, что Е1 – Е0 = hc/λ, h – постоянная Планка, с – скорость света в вакууме, λ – длина волны излучаемого света. Для паров ртути (опыт Франка и Герца) Е1 – Е0 = 4.9 эВ. Потом Артур Комптон выяснил, что при напряжении больше 4.9В пары ртути в таких условиях получают электронный удар, испускают квант света с частотой ν = ΔЕ/h (у паров ртути ΔЕ = 4.9 эВ) и возвращаются в исходное состояние. В 1925 Франк и Герц получили Нобеля за открытие законов соударения электронов с атомом.

1. **Модель атома Бора.**

Резерфорд в основе, разница в том, что электрон излучает или поглощает энергию только при межуровневых переходах, а в основном они летают по стационарным орбитам, где не выделяют и не поглощают энергию. Стационарная орбита – такая, где момент количества движения электрона равен целому числу констант Планка mevr = nh, где h – постоянная Планка, не Дирака. Радиус стационарной орбиты Rn = 4πε0n2h2Z-1e-2me, me – масса электрона, Z – число протонов в ядре, ε0 – электрическая постоянная, е – заряд электрона. Энергия стационарной орбиты En = Ze28-1π-1ε0-1Rn-1. Боровский радиус – радиус первой орбиты в атоме водорода и равен 5,3\*10-11м, энергия первой орбиты водорода 13,6 эВ, она же – энергия ионизации атома водорода.

Боровский атом объясняет дискретность энергосостояний, является первой полуквантовой теорией атома, предполагает стационарные состояния, объясняет таблицу Дмитрия Менделеева (граница – 137 атомов, ибо у 138го 1s-электрон носился бы со сверхсветовой скоростью, что чуть-чуть невозможно, если верить СТО). Но он так же не объяснил интенсивность спектральных линий, модель работает только для водородоподобных (другим требуются эксперименты) атомов, а также логически противоречива: классическое уравнение движения электрона и квантовое уравнение квантования орбит. В общем, она послужила основой для создания современной квантовой механики.

1. **Квантово-механическая модель атома водорода. Квантовые числа электрона в атоме. Вырождение энергетических состояний электрона в атоме.**

Разница масс электрона и протона стремится к массе протона, ядро (то есть протон) считается неподвижным. U(r) = –ke2/r, k = 9\*109 м/Ф. Так описана потенциальная энергия электрона.

^HФ(rv) = EФ(rv). ^ перед символом – знак оператора, v в месте степени -знак вектора. Это версия стационарного уравнения Шрёдингера для нашей ситуации: Ф – волновая функция, Е и Н – энергия и её оператор соответственно.

При работе с атомом водорода лучше пользоваться сферической, а не декартовой системой координат: там есть лишь два угла (горизонтальной и вертикальной плоскостей) и вертикальная ось oZ.

Первые попытки описать 11H принадлежат Нильсу Бору – он выдвинул по тем временам абсурдное предположение о том, что вокруг протона по орбите носится электрон, но он не излучает или поглощает энергию, пока находится в пределах орбиты, хотя и движется.

Квантовые числа: n – главное (радиальное), орбитальное *l* и магнитное m. n принадлежит множеству целых чисел Z, *l* меняется от 0 до n–1, m меняется от –*l* до *l*. Волновая функция стационарного уравнения Шрёдингера для такого случая есть произведение трёх функций: fn, *l* (r), P*l*, m (θ), Фm (φ), зависящих от расстояния от нуля оси и двум углам – сферическая же система. Функция Р может быть явно определена. Что касается перевода оператора Лапласа из декартовой в сферическую систему: Δ = Δr – (*~~h~~rl*)-2, оператор декартовой – слева.

Кстати о главном квантовом числе. Число состояний в атоме будет равняться n2. Энергия состояния E = -mee4k2/2n2~~h~~2.

Случай вырождения: для определённого n энергия во всех состояниях одна и та же: F*n, l* = C0ρe-ρ, где ρ = r/a, а = r1 – радиус первой боровской орбиты. Ну, а С0 – постоянная. Если говорить не о водороде – уровень вырожденный, если на одном энергоуровне может быть несколько разных состояний.

Мимолётное замечание о разнице теории квант-мех и Бора о водороде: у Бора (как и у Резерфорда) электрон носится по конкретной орбите и не сбивается с неё, а у квант-мех электрон носится где хочет, но чаще всего бывает в пределах орбиты Бора.

1. **Излучение и поглощение энергии атомом. Правила отбора. Спектральные серии излучения атома водорода.**

Атом излучает или поглощает энергию скачкообразно, в момент перехода электрона на другой энергоуровень. Энергии на переход нужно тем больше, чем электрон переход ближе к ядру.

Правила перехода между состояниями (они же правила отбора): разница в главных числах равна +/–1 (то есть только соседние состояния), в орбитальных +/–1, в магнитных –1, 0, +1.

Серия Лаймана – переход на первый уровень в спектре излучения, и от него на все остальные. Бальмера – на второй, и оттуда – на все остальные. Пашена – от третьего.

1. **Орбитальный магнитный момент атома.**

Магнитный момент атома равен сумме магнитного орбитального и магнитного спинового моментов, а они складываются из суммы соответствующих моментов нуклонов и электронов, а те – из спиновых и орбитальных (этот, правда, только у электронов) магнитных моментов.

Орбитальный магнитный момент электрона: μL = –eL/(2cme), e – заряд электрона, L – орбитальный момент количества движения, c – скорость света, me – масса электрона. L2 = ~~h~~2*l*(*l*+1), *l* – орбитальное квантовое число, ~~h~~ – константа Дирака (постоянная Планка, разделённая на 2π).

Спиновый магнитный момент электрона μS = –gSμБ/~~h~~.

g – g-фактор (множитель Ланде, ударение на е(Э)), g = 1 + ((j(j+1)+s(s+1)-l(l+1))/(2j(j+1))).

μБ = магнетон Бора, μБ = (e~~h~~)/(2cme).

S – спин электрона.

Из суммы μL и μS получается магнитный момент электрона.

Магнитный момент ядра μJ = Jgnμяд/~~h~~, J – момент количества движения, gn – множитель Ланде для ядра, μяд = ядерный магнетон = e~~h~~/(2cmp­), mp – масса протона.

1. **Атом в магнитном поле. Эффект Зеемана. Опыт Штерна и Герлаха.**

Атом в магнитном поле.

Атом имеет магнитный момент, и из-за магнитного поля получает изменение этого момента U = –μJB, тут магнитный момент и индукция имеют знак вектора, который мне лень ставить. Атом перестраивается так, чтобы направление U (оно без знака вектора) совпало с вектором В. Изменение энергии при этом ΔE = gμБmJB.

Эффект Зеемана – расщепление линий атомных спектров в магнитном поле. Происходит из-за того, что атом получает магнитный момент, попадая в такое поле. μБ\*В\*g\*mj в результате энергию, которую из-за поля дополнительно получил атом. Эта энергия приводит к снятию вырождения атомных состояний по магнитному квантовому числу и расщеплению атомных линий. g = 1 + ((j(j+1)+s(s+1)-*l*(*l*+1))/(2j(j+1))). ΔE = μБ\*В\* mj, если j=*l*, а s=0 – тогда g = 1.

Опыт Штерна–Герлаха: пучок атомов серебра пропускали через сильно неоднородное магнитное поле и принимали на пластину. Думали, что на пластине будет размытая полоса – хаотичное расположение атомов серебра. На деле образовалось два чётких пятна – атомы выбирали конкретно одно из двух направлений. Это подтвердило то, что у атома есть спин. Потом проверяли и атомы других веществ, результат был аналогичен. Это подтвердило квантово-механическую теорию о квантовании магнитного момента атома.

1. **Квантово-механическая система тождественных частиц. Принцип тождественности. Принцип Паули. Распределение электронов по энергетическим уровням в атоме. Периодическая система элементов.**

Принцип тождественности: это просто система тождественных частиц, у которых все параметры равны. Например, кучка электронов или протонов. Одна беда: к электронам позитрон или тот же протон замешать нельзя: система утеряет тождественность.

Принцип Паули (он же запрет Паули): в системе тождественных фермионов не может быть двух (или более) частиц, находящихся в одном и том же состоянии.

В первоначальной формулировке принцип Паули звучал так, в атоме не может быть двух электронов, характеризующихся одинаковыми четверками квантовых чисел.

Состояние электрона в атоме однозначно определяется четырьмя квантовыми чис-

лами, при этом: главное n (n =1,2,...), орбитальное l (l n = - 0,1,..., 1), магнитное m*l*

(*-l­*, …, -1, 0, 1, …, *l*), магнитное спиновое m*s* (–1/2, +1/2).

Периодическая система: номер равен числу протонов в атоме, у 1-18 атомов заполняются s и p слои, у 19-20 заполняется 4s-оболочка, 21-30 – достройка 3d-оболочки, 4s-оболочка слоя N (хз что это значит), 31-36 – достройка 4р-оболочки слоя N. Что касается лантан(о)идов и актин(о)идов: у них достраивается своя личная, f-оболочка, хим. свойства не меняются почти, так что их вынесли отдельно, так как они могут одновременно сидеть на той же клетке, что актиний с лантаном.

Распределение по уровням: есть уровни s, p, d, f. Сначала заполняется уровень s, потом р, потом уровень d предыдущего уровня, потом f уровня, что на один раньше d. s есть начиная с первой орбиты, р – со второй, d – с четвёртой (под орбитой ещё можно иметь в виду период по менделеевке), f, кажется, есть только у лантан(о)идов и актин(о)идов. Это ещё в школе проходили, инфа 100%. =)

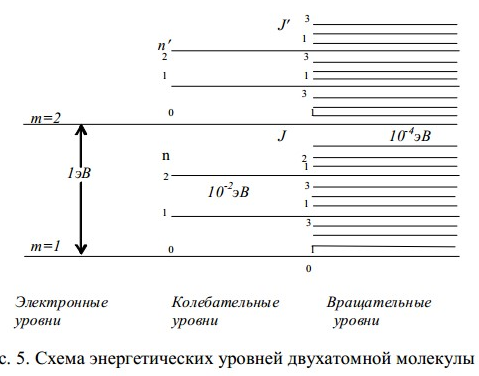
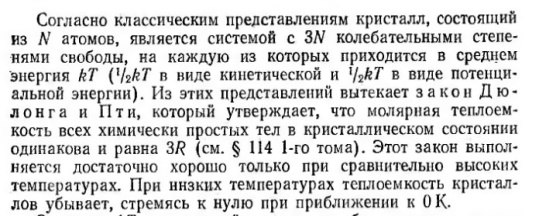
**36. Характеристическое рентгеновское излучение. Закон Мозли.**

Когда энергия бомбардирующих анод электронов становится достаточной для вырывания электронов из внутренних оболочек атома, на фоне тормозного излучения появляются резкие линии *характеристического* излучения. Частоты этих линий зависят от природы вещества анода, поэтому их и назвали характеристическими.

**Зако́н Мо́зли** — закон, связывающий частоту спектральных линий характеристического рентгеновского излучения атома химического элемента с его порядковым номером. \sqrt{\frac{\nu}{R}} = \frac{Z-S_n}{n}

 Закон Мозли позволил по измерению длин волн λ рентгеновских лучей *точно* установить атомный номер элемента. Он сыграл большую роль при размещение элементов в таблице Менделеева.

**37. Схемы энергетических уровней двухатомной молекулы: электронные термы, их колебательная и вращательная структуры.**



**электро́нный терм** атома, молекулы или иона — конфигурация (состояние) электронной подсистемы, определяющая энергетический уровень. Иногда под словом **терм** понимают собственно энергию данного уровня. Переходы между термами определяют спектры испускания и поглощения электромагнитного излучения.

Термы атома принято обозначать заглавными буквами *S*, *P*, *D*, *F* и далее по алфавиту, пропуская букву *J*, соответствующими значению квантового числа орбитального углового момента *L*=0, 1, 2, 3

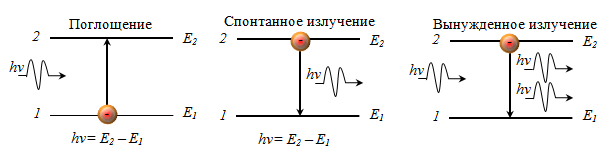
Квантовое число полного углового момента *J* даётся индексом справа внизу. Малой цифрой вверху слева обозначается кратность (мультиплетность) терма. Например, 2*P*3/2 — дублет Р.

**38.Комбинационное рассеяние света.**

Комбинационное рассеяние света (эффект Рамана) — неупругое рассеяние оптического излучения на молекулах вещества (твёрдого, жидкого или газообразного), сопровождающееся заметным изменением частоты излучения. В отличие от рэлеевского рассеяния, в случае комбинационного рассеяния света в спектре рассеянного излучения появляются спектральные линии, которых нет в спектре первичного (возбуждающего) света. Число и расположение появившихся линий определяется молекулярным строением вещества.

**39.Кристаллическое состояние. Теплоемкость кристаллов. Закон Дюлонга-Пти.**



**40.Поглощение, вынужденное и спонтанное излечение. Лазер (на примере трехуровневой системы).** 

Процесс испускания фотона возбужденным атомом без каких-либо внешних воздействий называется спонтанным (самопроизвольным) излучением. Чем больше вероятность спонтанных переходов, тем меньше среднее время жизни атома в возбужденном состоянии. Т.к. спонтанные переходы взаимно не связаны, то спонтанное излучение не когерентно.

Если на атом, находящийся в возбужденном состоянии 2, действует внешнее излучение с частотой, удовлетворяющей h = Е2 - Е1, то возникает вынужденный (индуцированный) переход в основное состояние 1 с излучением фотона с той же энергией h = Е2 - Е1. При подобном переходе происходит излучение атомом дополнительно к тому фотону, под действием которого произошел переход. Излучение, происходящее в результате внешнего облучения называется вынужденным. Таким образом, в процесс вынужденного излучения вовлечены два фотона: первичный фотон, вызывающий испускание излучения возбужденным атомом, и вторичный фотон, испущенный атомом. Вторичные фотоны неотличимы от первичных. Эйнштейн и Дирак доказали тождественность вынужденного излучения вынуждающему излучению: они имеют одинаковую фазу, частоту, поляризацию и направление распространения.  Вынужденное излучение строго когерентно с вынуждающим излучением.

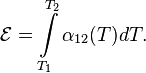
С верхнего третьего уровня возможны переходы 3→1 и 3→2. Оказалось, что переход 3→1 приводит к испусканию энергии Е3-Е1=h3-1, а переход 3→2 не является излучательным: он ведет к заселению ”сверху” промежуточного уровня 2 (часть энергии электронов при этом переходе отдается веществу, нагревая его). Этот второй уровень называется метастабильным, и на нем в итоге окажется атомов больше, чем на первом. Поскольку атомы на уровень 2 поступают с основного уровня 1 через верхнее состояние 3, а обратно на основной уровень возвращаются с “большим запаздыванием”, то уровень 1 “обедняется”. В результате и возникает инверсия, т.е. обратное инверсное распределение населенностей уровней. Инверсия населенностей энергетических уровней создается интенсивным вспомогательным излучением, называемым излучением накачки и приводит в конечном итоге к индуцированному (вынужденному) размножению фотонов в инверсной среде. Как во всяком генераторе, в лазере для получения режима генерации необходима обратная связь. В лазере обратная связь реализуется с помощью зеркал. Усиливающая (активная) среда помещается между двумя зеркалами - плоскими или чаще вогнутыми. Одно зеркало делается сплошным, другое частично прозрачным. “Затравкой” для процесса генерации служит спонтанное испускание фотона. В результате движения этого фотона в среде он порождает лавину фотонов, летящих в том же направлении. Дойдя до полупрозрачного зеркала, лавина частично отразится, а частично пройдет сквозь зеркало наружу. После отражения от правого зеркала волна идет обратно, продолжая усиливаться. Пройдя расстояние *l*, она достигает левого зеркала, отражается и снова устремляется к правому зеркалу. Выходящая из лазера волна имеет почти плоский фронт, высокую степень пространственной и временной когерентности по всему сечению пучка.В лазерах в качестве активной среды применяют различные газы и газовые смеси (газовые лазеры), кристаллы и стекла с примесями определенных ионов (твердотельные лазеры), полупроводники (полупроводниковые лазеры).

**43.Эффект Холла. Термоэлектрические явления: термоэмиссия, термоЭДС, эффект Пельтье.**

**Эффе́кт Хо́лла** — явление возникновения поперечной разности потенциалов (называемой также **холловским напряжением**) при помещении проводника с постоянным током в магнитное поле

**Термоэлектро́нная эми́ссия** (**эффект Ричардсона**, **эффект Эдисона**) — явление вырывания электронов из металла при высокой температуре. Концентрация свободных электронов в металлах достаточно высока, поэтому даже при средних температурах вследствие распределения электронов по скоростям (по энергии) некоторые электроны обладают энергией, достаточной для преодоления потенциального барьера на границе металла. С повышением температуры число электронов, кинетическая энергия теплового движения которых больше работы выхода, растёт, и явление термоэлектронной эмиссии становится заметным.

**Эффект Зеебека** — явление возникновения ЭДС в замкнутой электрической цепи, состоящей из последовательно соединённых разнородных проводников, контакты между которыми находятся при различных температурах.

 **- термоЭДС** \alpha_{12} — термоэлектрическая способность пары

**Эффект Пельтье** — термоэлектрическое явление, при котором происходит выделение или поглощение тепла при прохождении электрического тока в месте контакта (спая) двух разнородных проводников. Величина выделяемого тепла и его знак зависят от вида контактирующих веществ, направления и силы протекающего электрического тока:

*Q = ПАBIt = (ПB-ПA)It*, где

*Q* — количество выделенного или поглощённого тепла;

*I* — сила тока;

*t* — время протекания тока;

*П* — коэффициент Пельтье

**44.Сверхпроводимость.**

свойство некоторых материалов обладать *строго нулевым* электрическим сопротивлением при достижении ими температуры ниже определённого значения (критическая температура). Известны несколько сотен соединений, чистых элементов, сплавов и керамик, переходящих в сверхпроводящее состояние. Сверхпроводимость — квантовое явление. Оно характеризуется также эффектом Мейснера, заключающемся в полном вытеснении магнитного поля из объема сверхпроводника. Существование этого эффекта показывает, что сверхпроводимость не может быть описана просто как *идеальная проводимость* в классическом понимании. Существует несколько критериев для классификации сверхпроводников. Вот основные из них:

**По их отклику на магнитное поле**: они могут быть 1 рода, что значит, что они имеют единственное значение магнитного поля, *Hc*, выше которого они теряют сверхпроводимость. Или 2 рода, подразумевающего наличие двух критических значений магнитного поля, *Hc1* и *Hc2*,. При приложении магнитного поля в этом диапазоне происходит частичное его проникновение в сверхпроводник с сохранением сверхпроводящих свойств.

По их **критической температуре**: низкотемпературные, если Tc < 77 K (ниже температуры кипения азота), и высокотемпературные.

**По материалу**: чистый химический элемент (такие как свинец или ртуть, однако не все элементы в чистом виде достигают сверхпроводящего состояния), сплавы (например, NbTi), керамика (например, YBCO, MgB2), сверхпроводники на основе железа, органические сверхпроводники и т. п.