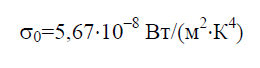
**Абсолютное чёрное тело** -- тело с планковской формой излучения (f(ω,T)).

**Закон Стефана-Больцмана:** , где - постоянная Стефана-Больцмана



*Энергетическая светимость (R) пропорциональная 4ой степени абсолютной температуры абсолютно черного тела*.

Определён экспериментально. Также R -- площадь под графиком f(ω,T) для абс.чёрного тела.

f(ω,T) -- универсальная функция кирхгофа

**Закон смещения Вина:** , b = 2,897771955\*10^-3 м·К

Выводится из соотношения приравниваем производную к нулю и всё.

Описывает положение точки максимума на кривой равновесного излучения абс. черного тела.

*Длина волны, на которую приходится наиболее интенсивное излучение при темп. Т в спектре абс. черного тела, обратно пропорциональна температуре Т.*

**Закон Кирхгофа:** в состоянии равновесия

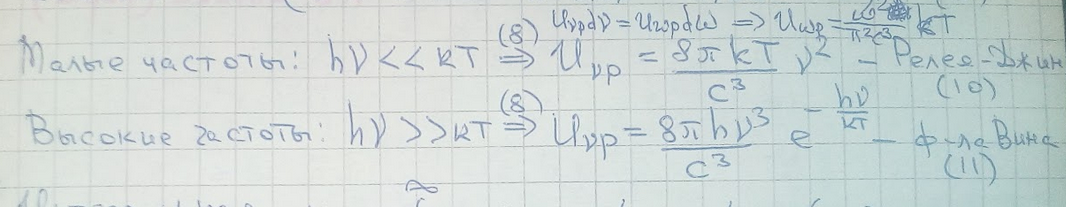
-- поглощающая способность

**Закон Релея-Джинса:**

вопрос: у черепа в лекции другие р-д и ф-ла вина. Или это другое?

Почти. Тут расписана u(ω,T), а у меня f(ω,T). f(ω,T)=c/4\*u(ω,T)

И ещё тут ню вместо омеги



Для абс.чёрного тела испускательная способность пропорциональна квадрату частоты.

“Ультрафиолетовая катастрофа” -- умное название того, что закон *работает только на низких частотах*

**Формула Планка:**

Выводится умножая закон Релея-Джинса на среднюю энергию частицы с частотой от ω до ω+dω

Если проинтегрировать f(ω,T) по всем частотам, получим закон Стефана-Больцмана

А находя экстретум для получаем закон Вина

**Условие линейного резонатора:**



**Эффект Комптона:**

Одно из доказательств квантовой теории света (ещё одно -- фотоэффект)

Фотон врезается в частицу и отражается, смещаясь на угол θ. В результате чего если расписать релятивисткий закон сохранения энергии и закон сохранения импульса, можно выразить:

Где -- постоянная Комптона для частицы массой m

***Стоячие волны -> Долгоживущие волны -> Дискретные изменения -> Квантование***

**Формула Де Бройля:**

p -- импульс. Суть: типо любую частицу с импульсом p можно рассматривать как типо волну с длиной волны λ

**Условие стоячей волны на отрезке:** на отрезке умещается целое число длин полуволн

**Условие стоячей волны на окружности:** должно уместиться целое число длин не полуволн, а уже целиком волн, потому что иначе получаются две волны в противофазе, которые гасят друг друга

*Из условия стоячей волны на окружности и формулы Де Бройля выводится правило квантования Бора*

**Постулаты Бора:**

1. Электрон в равновесном атоме находится на стационарной орбите, где он не излучает и не поглощает свет.
2. Число орбит дискретно, и при переходе с одной орбиты на другую электрон либо излучает либо поглощает квант света с энергией, равной разности энергий электрона на начальном и конечном положении.

харэ стирать постулаты Бора. уже 2й раз кто-то дофига умный пытается стереть и оба раза так и не ответил на вопрос зачем. щас вообще файл закрою и буду один его смотреть

***ОПЕРАТОРЫ!!!!!!!!!!!!***

Измерить как-то по нормальному параметры микрочастиц невозможно, поскольку процесс измерения меняет состояние частицы. Однако иногда возможно. Почему? Вводим следующие объекты:

Ψ -- символ состояния. Чё это такое? Чё угодно. Число, вектор, функция, итд. Но обычно функция. Каким-то образом отражает текущее состояние измеряемого объекта

â -- оператор. Обозначает процесс измерения. a без крыши обозначает результат измерения. Оператор обладает собственными состояниями, для которых

âΨ = aΨ

То есть процесс измерения не изменил состояние

**Принцип эквивалентности (работает только для собственных состояний):**

Ψ можно умножать на число. это ничего не значит и никак не меняет состояние, просто обозначение. aΨ≡Ψ. Символ состояния меняется, а состояние нет

Для несобственных состояний: âΨ = Ψ1 != aΨ

Итого, для собственного состояния мы можем спокойно измерять как в классической механике, так как измерение не меняет состояние. А несобственные?

Находим множество собственных состояний: âΨk = akΨk

При измерении несобственного состояния Ψ мы получаем значение ak с вероятностью pk. Таким образом можем найти квантовое среднее как мат.ожидание измеренного значения.

**Опыт с поляризатором:** фотон колеблется под углом альфа. После взаимодействия фотон либо проходит через поляризатор, после чего колеблется параллельно, либо не проходит, после чего колеблется перпендикулярно. Итого Ψα переходит в одно из собственных: Ψ|| или Ψ⊥.

âΨ⊥ = 0Ψ⊥

âΨ|| = 1Ψ||

Вероятности перехода соответственно синус квадрат альфы и косинус квадрат альфы

**Принцип суперпозиции:** мы ввели бесполезную операцию умножения на число. Введём до кучи ещё и +. Тогда:

2 интерпретации: любая линейная комбинация собственных состояний существует (справа налево) и для любого состояния, разложимого в таком виде, можно подобрать оператор, который будет давать ak с вероятностью pk (слева направо).

**Соотношения Гейзенберга:** он же

**Принцип неопределённости Гейзенберга:**

Некоторые пары величин невозможно определить точно:

однако

Верхнее можно вывести из ур.Де Бройля, если рассмотреть дифракцию электрона

Из третьего выходит прикол с тем, что на время может появиться виртуальная частица с энергией . Максимальное расстояние, которое он сможет преодолеть, равно Комптоновской длине:

**Коммутирование операторов:**

Пусть операторы с собственными значениями (использую о вместо b, так как символа b с домиком нету):

âΨk = akΨk

ôФk = okФk

Тогда: âôΨ = â(ôΨ) -- один из Ψk, а ôâΨ = ô(âΨ) -- один из Фk.

Если ΔaΔo ~ ħ, то у â и ô не совпадают собственные значения. Следовательно:

(âô - ôâ)Ψ = [â, ô]Ψ != 0

[â, ô] = âô - ôâ -- коммутатор

Если ΔaΔo ~ 0, то [â, ô] = 0 -- операторы коммутируют

**Координатное представление:**

До этого говорили, что Ψ это чё угодно. Наконец-то зададим Ψ, с которыми будем работать.

Ψ = -- функция с комплексными значениями, a.k.a волновая функция.

Физ.смысл: вероятность обнаружения частицы в объёме dV:

Условие нормировки: если частица гарантированно находится в объёме V, то

Если это условие нарушено, то просто умножаем функцию на 1/корень из значения интеграла. По принципу эквивалентности, функция поменяется, а состояние нет

Условие финитности: При стремлении к бесконечности Ψ стремится к 0.

Ψ определили. Теперь определим операторы. Операторы могут быть любыми, но их соб.значения -- результаты измерений, а значит не комплексные. Следовательно спектр оператора должен быть действительным.

**Самосопряжённые операторы:**

Введём векторное произведение функций:

-- сопряжённый, если (âu, v) = (u, v)

Если â=, то â -- самосопряжённый.

Свойства самосопр. оператора:

1. Собственные значения действительные. Im(a) = 0, a=a\*
2. Если âu=au, âw=bw и a!=b, то (u,w)=0

Собственные функции ортогональны. Следовательно, если этот базис полный, то через него можно выразить любую функцию как в принципе суперпозиции.

Сейчас мы сможем выразить pk через ck:

Похоже на формулу квантового среднего, если обозначить:

**Всё понятно (нет), но как получить собсна сами операторы?**

Переход от квантового уравнения к классическому.

Чтобы перейти от квантового к классическому, забиваем на неопр. Гейзенберга (ħ->0) и заменяем операторы на числа.

Оказывается, можно и наоборот. Если все операторы коммутируют, то легко. Иначе нужно париться над порядком операторов.

Пусть будет V=R^3. Тогда основные операторы равны:

ОПЕРАТОР КООРДИНАТЫ:

ОПЕРАТОР ПРОЕКЦИИ ИМПУЛЬСА:

ОПЕРАТОР ВРЕМЕНИ:

ОПЕРАТОР ЭНЕРГИИ:

Эти операторы самосопряжённые (а импульс и энергия если функция финитна (а она финитна)). Для этих операторов выполняется принцип неопредённости Гейзенберга:

Знаки такие, чтобы можно было направления волн Де Бройля. Через эти операторы можно выразить ОПЕРАТОР МОМЕНТА ИМПУЛЬСА. Там формула длинная, проще самому вывести. . Расписываем векторное произведение и заменяем величины на операторы.

ОПЕРАТОР ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ (1D случай):

Разложим пот.энергию в ряд Маклорена.

Смысл: просто произведение функции потенциальной энергии и волновой функции.

ОПЕРАТОР КВАДРАТА МОДУЛЯ ИМПУЛЬСА:

треугольник эт оператор Лапласса если кто забыл

ОПЕРАТОР ПОЛНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ (не путать с ОПЕРАТОРОМ ЭНЕРГИИ выше):

Данное соотношение нерелятивистское. При больших скоростях полная мех.энергия немного другая

**Нестационарное уравнение Шредингера:**

Если перепутать ОПЕРАТОР ЭНЕРГИИ и ОПЕРАТОР ПОЛНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, то:

**Стационарное уравнение Шредингера:**

Если , то

Нужно оно для нахождения решения нестационарного уравнения в случае, когда u не зависит от t.

**Решение уравнения Шрёдингера:**

Ура!!!!!!!! УМФ!!!!!!!!! 😍

Пусть . Ищем решение вида

ВНИМАНИЕ!!!!!!!!! Тут стоит не =, а ≡. Хз, но череп сказал, что это важно

Две функции от разных переменных могут быть тождественно равны только если они константы. Приравниваем выражения некой константе Е.

Находим T:

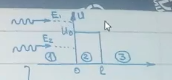
Находим R:

1в1 стационарное уравнение выше.

Там был пример решения для одномерной потенциальной ямы, но тут проще самому выразить

Там ещё был гармонический осцилятор, когда u образует параболу, но там страшно. Да и вроде на экзамене это не спрашивают

**Туннельный эффект:**



Классика:

Частица с E>U0 просто пролетит, а частица с E<U0 отразится.

Кванты:

Частица с E>U0 потеряет часть энергии, но продолжит лететь. Также появятся отражённые процессы. Причём они отражаются как от границы x=0, так и от x=l, отчего в областях 1 и 2 также возникают отражающиеся от стенок процессы.

Частица с E<U0 частица может проникнуть в область 2 и даже пройти сквозь неё и оказаться в 3. Акак? Засчёт 3го соотношения неопределённости можно на время Δt занять энергию ΔW

Также для поиска коэффициентов используется другое условие нормировки: интеграл равен не 1, а количеству частиц

**Квантовый ротатор:**

Помимо ОПЕРАТОРА МОМЕНТА ИМПУЛЬСА, можно расписать и его координаты:

Свойства:

Следовательно, мы можем измерить ТОЛЬКО модуль и одну из проекций.

Решая уравнение находим , l=0,1,2,... -- квантование

Сами решения определяются двумя числами: l и m=0,+-1,...,+-l, и выражены через присоединенные полиномы Лежандра

Решая находим , m=0,+-1,...,+-l

**ЧЕТЫРЕ КВАНТОВЫХ ЧИСЛА:**

Если решить ур. Шредингера для атома Водорода, получим результаты как в теории Бора. В этот раз 3 квантовых числа:

n=0,1,2,... -- главное квантовое число, определяет энергию

l=0,1,2,...,(n-1) -- орбитальное квантовое число, определяет момент импульса

m=0,+-1,+-2,...,+-l -- магнитное(азимутальное) кв.число, опр. проекцию мом. импульса

n фиксирован -- слой

n и l фиксированы -- оболочка

(в файлике как раз говорилось про два способа назвать: “оболочка и подоболочка” или “слой и оболочка”. Черепанов выбрал второй способ)

Трёх параметров недостаточно для описания спектров электрона. Нужен четвёртый.

Пусть электрон помимо того, что вращается вокруг ядра, ещё вращается вокруг своей оси. Спин -- уникальная характеристика элем.частиц, определяет собственный момент импульса и никаких аналогов с классической физикой не имеет.

Четвёртое квантовое число:

ms=-s,...,s -- магнитоспиновое квантовое число

Для электрона s=½, ms=+-½

**Правило суммирования:**

Если складываем и то:

, c=|a-b|,...,a+b

В случае сложения орбитальных моментов, магнитные моменты складываются как обычно. В случае сложения орбитального и спинового, магнитный момент спинового надо умножить на 2.

**Фермионы:** частицы с полуцелым спином. Это частицы, из которых состоит материя (протоны, нейтроны, электроны, нейтрино)

**Бозоны:** частицы с целым спином. Это переносчики энергии/взаимодействия (фотоны, гравитоны, фононы)

**Принцип запрета Паули:** два фермиона не могут одновременно существовать в одном квантовом состоянии. В частности, в атоме не могут быть два электрона с одинаковыми квантовыми числами.

Бозоны наоборот, стремятся занять уже занятые состояния.

Электроны заполняют энергетические уровни, занимая минимальную энергию.

**Распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна:**

На этот раз Ψ описывает состояние не одной частицы, а сразу системы частиц. Введём оператор, переставляющий аргументы, отвечающие за состояния двух частиц.

Повторное применение этого оператора даст исходную функцию. Следовательно:

Если какое-то выражение верно для операторов, оно верно и для их соб.значений:

Следовательно, собственные значения оператора равны +-1.

Собственные системы -- системы из одинаковых частиц (чтобы перестановка их не меняла систему).

Если +1 -- бозоны. Если -1 -- фермионы.

Для фермионов получаем принцип запрета Паули:

Если то . Следовательно,

**Распределение Бозонов:** если все частицы находятся в одном состоянии и обладают энергией E0, то среднее число частиц равно:

если E0>μ -- распр. Бозе-Эйнштейна

если E0<μ -- Бозе-конденсат (сверхпроводимость, сверхтекучесть)

μ -- химический потенциал

**Распределение Фермионов:** в одном состоянии может находиться только 0 или 1 частица, а значит и обладать энергией E0. Потому среднее число частиц равно:

-- распределение Ферми-Дирака

В данном случае μ -- **энергия Ферми** -- энергия верхнего заполненного уровня

При (E0-μ)/kT >> 0 оба распределения превращаются в распределение Больцмана: f(E)=B\*exp(-E0/kT)

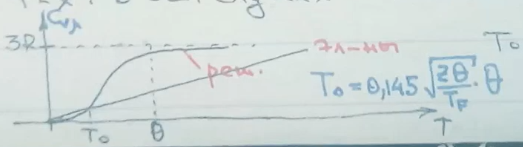
При (E0-μ)/kT < 0 поведение фермионов и бозонов отличается. Фермионный газ вырождается.

**Структура фотона:** небольшой кусок монохроматической волны. Чем выше частота, тем больше похож на точку

Время перехода: условно наносекунда или меньше

Наконец-то последние темы.

**Теплоёмкость твёрдых тел.**



Закон Дюлонга-Пти:

Работает в классической физике и в области высоких температур

Логика: на каждую степень свободы приходится kT энергии. Значит для кубической решётки с 3мя степенями свободы на каждую частицу 3kT. А значит на моль вещества приходится 3kNAT = 3RT энергии.

В квантовой теории рассматриваются упругие взаимодействия между элементами кристаллической решётки. Вводятся фононы -- кванты, передающие колебательную энергию. Фононы являются бозонами. Расписывая энергию для фононов выражаем внутреннюю энергию одного моля и продифференцировав по температуре получаем:

-- максимальная частота фононов.

θ -- температура Дебая

Для низких температур кубическая зависимость:

на этом мои силы заполнять файлик кончились... всем удачи!