

Блок № 12. Фотоэффект. Модель атома Бора. Квантовая механика.

Лекция 12.1 Формула Планка. Фотоэффект. Законы фотоэффекта. Формула Эйнштейна для фотоэффекта. Понятие кванта света (фотона).

12.1.1 Формула Планка. В начале 20 века для того, чтобы согласовать классическую теорию электромагнитного излучения, разработанную Джеймсом Максвеллом и экспериментальные результаты, Макс Планк сделал очень смелое, революционное предположение: *световая волна всегда излучается порциями.*

Энергия каждой порции есть постоянная величина, зависящая от частоты электромагнитной волны.

$$E = h\nu, \text{ где } h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж с (12.1)}$$

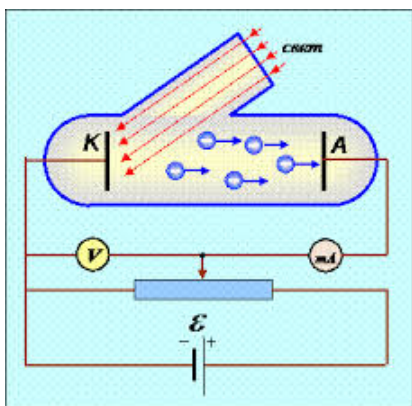
Константа h называется постоянной Планка. Как можно заметить, она очень мала, поэтому энергия отдельных порций электромагнитных волн также обычно крайне мала, поэтому в большинстве случаев порционный характер излучения не заметен. Исключение составляет высокочастотное гамма-излучение, частота которого может достигать 10^{19} Гц и больше, а это значит, что энергия порции такого излучения уже существенно больше энергии связи электронов с атомами.

Отметим, что главный аргумент, благодаря которому идеи Планка получили признания других ученых, это то, что благодаря этим идеям удалось объяснить ряд экспериментальных данных, которые иначе не могли быть объяснены.

12.1.2 Фотоэффект. Явление фотоэффекта можно описать на следующем примере: если взять изолированную электрическую пластину и зарядить ее отрицательно, а потом начать облучать ее ультрафиолетовым излучением, то можно обнаружить, что заряд достаточно быстро начинает исчезать с пластины. Этого не происходит, если пластину зарядить положительно.

Объяснение этого явления состоит в том, что ультрафиолетовое излучение способно выбивать с поверхности алюминия электроны. Если заряд пластины отрицательный, то выбитые электроны отталкиваются от пластины прочь, а если заряд пластины положительный – электроны притягиваются обратно.

Подобное явление было замечено не только при облучении алюминия, но и у ряда других металлов, причем в некоторых случаях эффект наблюдался не только при облучении ультрафиолетом, но и при облучении видимым светом и даже инфракрасным излучением. Итак, *явление вырывания из вещества электронов под действием электромагнитного излучения называется фотоэффектом.*



12.1.3 Законы фотоэффекта. На рисунке №1 изображена установка для изучения фотоэффекта. В стеклянную колбу впаивают два металлических электрода. Между электродами создают напряжение при помощи источника тока. Отрицательно заряженный электрод (катод) освещают источником света. Электроны, которые при этом выбиваются за счет фотоэффекта, захватываются электрическим полем и переносятся на положительно заряженный электрод (анод). По силе тока, которая при этом протекает в цепи можно судить о количестве выбитых электронов. Оказалось, что даже если убрать источник тока из цепи (замкнуть катод и анод между собой) ток в цепи будет продолжать течь, потому что часть электронов выбитых за счет фотоэффекта все равно будет достигать анода. Если поменять полярность источника тока, часть электронов будет достигать противоположного электрода, преодолевая силы электрического отталкивания. Только если

напряжение достигнет некоторого критического значения, кинетической энергии выбитых электронов уже не будет хватать, чтобы достичь противоположенного электрода. При критическом напряжении (запирающем напряжении) вся кинетическая энергия электрона идет на преодоление сил электрического отталкивания. Для этого случая мы можем написать формулу:

$$eU_{\text{зап}} = \frac{mv^2}{2} \quad (12.2)$$

Из формулы 12.2 видно, что, измерив, напряжение, при котором прекращается ток через колбу, можно рассчитать кинетическую энергию фотоэлектронов.

Итак, измеряя максимальную силу тока в колбе, мы можем рассчитать число выбитых фотоэлектронов. Измеряя запирающее напряжение, мы можем рассчитать их кинетическую энергию.

Используя такую установку, можно исследовать как количество выбитых электронов и их скорость зависит от интенсивности падающего на металл излучения и от его частоты.

Было выяснено. При увеличении интенсивности падающего излучения (энергии излучения) увеличивается количество выбитых электронов, но **не меняется** кинетическая энергия каждого выбитого электрона. В то же время оказалось, что кинетическая энергия выбитых электронов уменьшается с уменьшением частоты падающего излучения. При некоторой частоте излучения фотоэффект вообще прекращается. Такая частота называется **красной границей фотоэффекта.**

12.1.4 Формула Эйнштейна для фотоэффекта.

Указанные факты плохо согласовывались с классической теорией электричества, из которой следовало, что при увеличении энергии падающей световой волны должна была увеличиваться кинетическая энергия выбитых электронов. Создать теорию, согласующуюся с экспериментом, удалось Эйнштейну. Эйнштейн предположил, что световая волна не только всегда испускается порциями (12.1), но и поглощается такими же порциями. В этом случае уравнение закона сохранения энергии для фотоэффекта можно записать следующим образом:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2} \quad (12.3)$$

Электрон металла поглощает порцию энергии электромагнитной волны $h\nu$, эту энергию электрон тратит на преодоление электрических сил, удерживающих его внутри металла (работу выхода). Остаток энергии остается у электрона в виде кинетической энергии. Работа выхода – табличная величина, которая зависит от того какой металл мы облучаем.

Предположение Эйнштейна, что свет всегда испускается порциями, полностью объясняло все экспериментальные результаты, поэтому была признана другими учеными.

12.1.5 Фотон.

Так как Планк и Эйнштейн показали, что световая волна всегда испускается и поглощается порцией, энергия которой зависит от частоты (12.1), можно говорить, что электромагнитные волны всегда существуют в виде порций. Порцию электромагнитной волны (квант) называют **фотоном**. Фотон может считаться одной из элементарных частиц.

Главная особенность фотона состоит в том, что это частица, которая всегда движется со скоростью света. Про такие частицы говорят, что их масса покоя равна 0. Массу фотона можно рассчитать, приравняв энергию кванта и формулу Эйнштейна, связывающую массу материи и энергию, которой материя обладает.

$$h\nu = mc^2 \quad m = \frac{h\nu}{c^2} \quad (12.4)$$

Фотон также обладает импульсом:

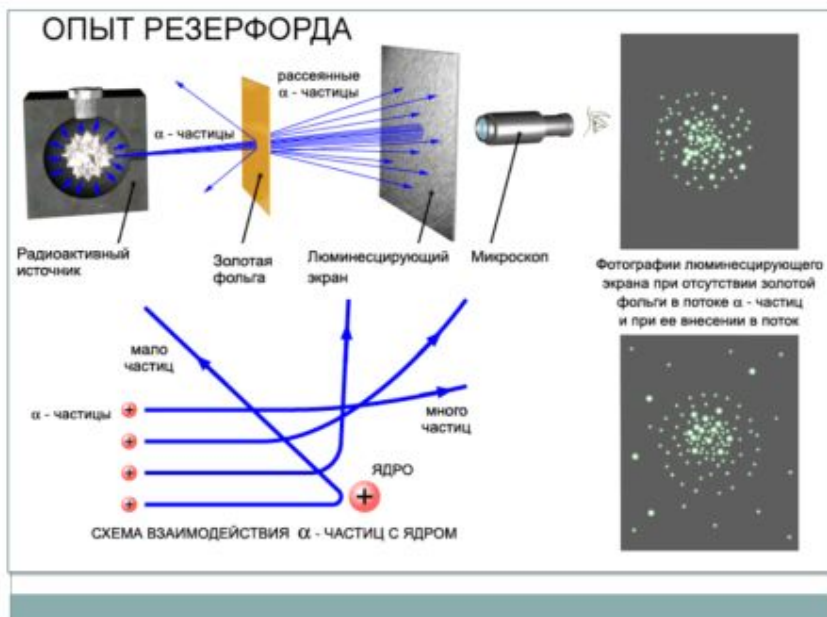
$$p = mc = \frac{h\nu}{c} \quad (12.5)$$

а это значит, что свет, наталкиваясь на препятствие способен передавать препятствию свой импульс, значит создавать давление.

Итак, свет с одной стороны является волной со специфическими волновыми свойствами (дисперсия, дифракция, интерференция), с другой стороны частицей фотоном. Такая двойственность в природе света называется **дуализмом**.

Лекция 12.2 Модель атома Резерфорда. Виды спектров: линейчатый, полосатый, непрерывный. Постулаты Бора. Модель атома Резерфорда-Бора. Волновые свойства частиц.

12.2.1 Модель атома Резерфорда.



Исследуя структуру атома, путем обстрела тонкой золотой пластины альфа частицами Резерфорд пришел к выводу, что атом имеет крайне плотное и маленькое ядро в центре (ядро в 10 000 раз меньше атома), причем это ядро заряжено положительно.

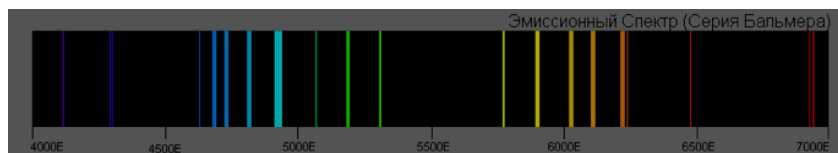
Для объяснения полученных результатов Резерфорд предложил планетарную модель атома: в центре атома находится массивное положительно заряженное ядро, вокруг него вращаются электроны, удерживаемые на орбите силами электрического притяжения подобно тому, как планеты удерживаются на орбитах вокруг солнца силами гравитационного притяжения.

Хотя Резерфорд опубликовал свою модель, но он сам не придавал ей

большого значения, так как она противоречила очень важному закону электродинамики: электрон, вращаясь вокруг атома, должен был обязательно излучать электромагнитную волну и за короткое время полностью потратить на излучение всю свою энергию и замедлиться и упасть на ядро.

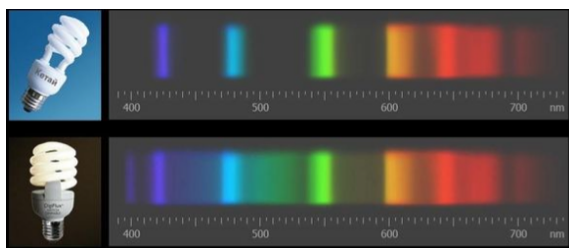
12.2.2 Виды спектров. В начале 20 века, когда Резерфорд проводил свои опыты, шло активное изучение спектров излучения различных веществ. Оказалось, что практически любое вещество, помещенное в определенные условия способно излучать световое излучение. Причем если разложить это излучение в спектр (при помощи призмы или дифракционной решетки), то спектры излучения различных веществ могут существенно различаться по внешнему виду. Можно выделить три основных вида спектров:

Непрерывный спектр: при разложении света мы получаем раду (цвета переходят один в другой плавно, излучаются все возможные частоты). Такой спектр излучают нагретые твердые тела или очень плотные нагретые газы (нить накала лампочки или солнце).



Линейчатый спектр: испускаются только отдельные частоты. Если разложить такое излучение, вместо радуги мы увидим отдельные линии на темном фоне. Такой спектр характерен для излучения атомарных веществ. Например, твердых веществ помещенных в пламя бесцветной горелки (пламя при этом отщепляет отдельные атомы от твердого вещества и заставляет их излучать).

помещенных в пламя бесцветной горелки (пламя при этом отщепляет отдельные атомы от твердого

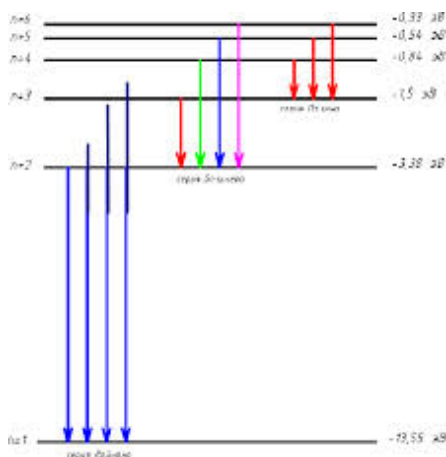


Полосатый спектр: очень сложный линейчатый спектр, состоящий из многих тысяч излучаемых частот. Такой спектр характерен для излучения сложных молекулярных соединений. Особенность линейчатого спектра состоит в том, что для каждого вещества характерно излучение своих особенных частот. Каждый атом можно идентифицировать по испускаемым частотам как человека по отпечатку пальцам или изделие по штрих-коду.

12.2.3 Постулаты Бора. Модель атома Резерфорда-Бора.

Чтобы спасти модель атома Резерфорда, его ученик Нильс Бор развил его теорию.

Нильс Бор сделал крайне революционное предположение, которые никак не основывались на предыдущей теории. Эти предположения называются сейчас постулаты Бора.



1 постулат: Внутри атома существуют стационарные орбиты, находясь на которых электроны не излучают.

2 постулат: Каждой орбите вращения электрона соответствует своя энергия. Чем дальше орбита от центра, тем больше ее энергия. При переходе электрона с верхней орбиту на нижнюю, он излучает электромагнитную волну, а при переходе с нижней орбиты на верхнюю, он поглощает энергию.

Энергия испускаемого кванта света равна разности энергий между уровнями.

$$h\nu = E_m - E_n \quad (12.6)$$

У каждого атома имеется свой набор энергетических уровней, значит, им соответствует свой набор переходов и свой набор излучаемых частот.

Бору удалось сформулировать условия для точного расчета энергетических уровней для атома водорода, что позволило ему рассчитать спектр излучения водорода, который полностью совпал с экспериментально полученным. Для остальных элементов Бору удалось рассчитать только приблизительный вид спектров излучения. Несмотря на это постулаты Бора получили всеобщее признание. Модель атома Резерфорда-Бора стала базовой в науке.

12.2.4 Волновые свойства частиц. Теория Бора не смогла полностью объяснить все особенности излучения атомов. Для создания более точной модели ученые пришли к идее, что электрон обладает волновыми свойствами. Электрон не излучает только в том случае, если длина окружности кратна длине волны. Эти идеи развиваясь, привели постепенно к современной модели электронных облаков, на которой основывается современная химия.

Вместе с тем в первой половине 20 века появилось множество экспериментальных данных, которые говорили о том, что в ряде случаев элементарные частицы проявляют волновые свойства.

Например, пучок электронов рассеивается на решетке кристалла подобно тому, как свет рассеивается на дифракционной решетке.

Многочисленные экспериментальные факты привели к мысли, что любая элементарная частица является в то же время и волной, а любая волна в то же является частицей. Этот факт носит название **корпускулярно-волновой дуализм**, и он лежит в основе современных представлений о материи. Изучение вещества с точки зрения его волновых свойств занимается раздел физики называемый **квантовой механикой**.

Задания для самостоятельного выполнения.

12.1 Формула Планка и Фотоэффект.

1. В таблице указаны характерные частоты для разных видов ЭМ-излучения. Рассчитайте энергии квантов излучения соответствующих этим частотам. Выразите энергию в Джоулях и электрон-вольтах (электрон-вольт – энергия которую приобретает электрон, проходя разность потенциалов 1 В. $1 \text{ эВ} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$. Постоянная Планка равна $h = 6.6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$.)

Вид электромагнитных волн	Частота (Гц)	Энергия кванта (Дж)	Энергия кванта (эВ)
Радиоволны	10^6		
ИК-излучение	10^{13}		
Свет	$5 \cdot 10^{14}$		
УФ-излучение	10^{16}		
рентген	10^{18}		
Гамма-излучение	10^{20}		

2. При фотоэффекте электрон получает энергию от внешнего источника, частично тратит ее, а, частично она остается у него. Заполните таблицу для фотоэлектрона.

Приход	Расход	Остаток
Получена _____	Потрачено на _____	Осталось в виде _____

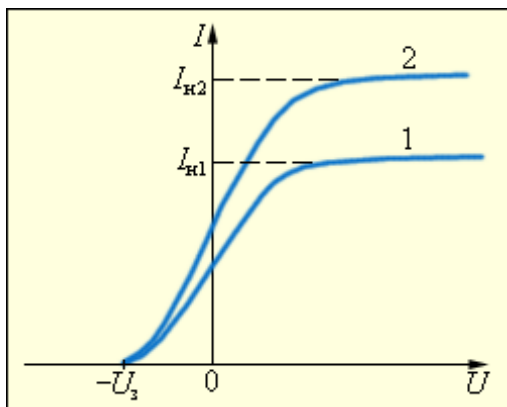
3. Заполните таблицу до конца:

Энергия светового кванта, эВ	Работа выхода, эВ	Оставшаяся у фотоэлектрона кинетическая энергия, эВ
3,0	1,0	
2,0		0,5
2,0	4,0	
	4,4	0

4. Как изменяется энергия кванта при увеличении длины волны? Увеличивается/уменьшается/не меняется? (*подчеркните нужное*)

5. Красная граница фотоэффекта для металла X соответствует зеленому свету. Будет ли идти фотоэффект, если облучать данный металл:

желтым светом? _____ красным светом? _____ фиолетовым светом? _____ инфракрасным светом? _____



6. На рисунке представлена зависимость фототока от напряжения между катодом и анодом (опыт по изучению законов фотоэффекта).

а. Укажите, какая часть графика соответствует ситуации, когда все электроны, которые выбиваются при фотоэффекте, достигают анода.

б. Укажите точку, которая соответствует значению напряжения, при котором не один электрон не достигает анода.

с. Укажите значения тока, который создается в момент, когда анод и катод замкнули накоротко (ток течет самопроизвольно, за счет фотоэффекта).

д. На графике представлена зависимость для двух световых потоков, падающих на металл. Что у них отличается интенсивность или частота? (*подчеркните*) В каком случае отличающаяся величина больше? _____

7. Сила тока $I_{н1} = 1 \text{ мкА}$. Учитывая, что сила тока это заряд, прошедший за единицу времени, и то что заряд электрона равен $1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, определите сколько фотоэлектронов было выбито из металла за секунду?

8. Зная, что запирающее напряжение равно $U_з = 1 \text{ В}$, определите кинетическую энергию фотоэлектронов, которые вылетают из катода при фотоэффекте?

9. Изучая явление фотоэффекта, ученые сумели создать фотоэлемент или солнечную батарею. У вас имеются пластины из лития, вольфрама, оксида бария, цинка, железа и соединительные провода.

Как вам создать простейшую солнечную батарею? Нарисуйте схематический рисунок.

Напишите, почему вы выбрали именно эти пластины (используйте таблицу для справки).

Вещество	Работа выхода, эВ	Красная граница, мкм
Литий	2.4	
Вольфрам	4.5	
Оксид бария	1.0	
цинк	4.2	

7. Рассчитайте длину волны, при которой прекращается фотоэффект в металлах (красная граница фотоэффекта). Заполните таблицу (см. предыдущее задание).

12.2 Фотон. Фотоэффект.

1. Рассчитайте, какой длиной волны обладают различные виды электромагнитных волн, массу фотона, который соответствует этим волнам и его импульс. Заполните таблицу.

Вид электромагнитных волн	Частота, Гц	Длина волны, м	Масса фотона, кг	Импульс фотона, кг/м
Радиоволны	10^6			
ИК-излучение	10^{13}			
Свет	$5 \cdot 10^{14}$			
УФ-излучение	10^{16}			
рентген	10^{18}			
Гамма-излучение	10^{20}			

2. Вспомним, частицы газа, налетающие на препятствие, передают ему часть своего импульса и таким образом создают давление на препятствие. В случае, если частицы налетают и отскакивают, они передают в 2 раза больший импульс, чем если они налетают и останавливаются, значит и давление, которое они оказывают на поверхность будет в 2 раза больше в первом случае.

Свет представляет поток частиц фотонов, несущих свой импульс. Если свет налетает на препятствие, он оказывает на него давление.

Как вы думаете, какая должна быть поверхность (черная или зеркальная), чтобы свет давил на нее максимально сильно? _____

поясните свою мысль _____

3. Давление света предполагается использовать как средства передвижения в ряде фантастических проектов: солнечный парусник, фотонная ракета.

В солнечном паруснике космический аппарат будет передвигаться, используя в виде двигателя солнечный свет. В фотонной ракете свет выбрасывается назад как реактивная струя.

Нарисуйте схемы работы этих аппаратов, сделайте рисунок и поясняющие записи:

4. Расположите виды электромагнитного излучения в порядке возрастания энергии их фотонов: радиоволна, гамма-излучение, рентгеновское излучение, ИК-излучение, зеленый свет, синий свет, УФ-излучение. Как объяснить, что гамма-излучение наиболее опасно для живых организмов и имеет самую большую проникающую способность? _____

5. На один и тот же металл падают две волны желтая и зеленая. Какая из этих волн будет выбивать фотоэлектроны большей энергией? желтая/зеленая (*подчеркните нужное*).

6. На литий, вольфрам и оксид бария падает одна и та же электромагнитная волна. На оксиде бария фотоэффекта не наблюдается, будет ли наблюдаться фотоэффект на других металлах при этом? _____ поясните свою мысль _____

7. На литий, вольфрам и оксид бария падает одна и та же электромагнитная волна. Во всех трех случаях идет фотоэффект. В каком случае у фотоэлектронов будет большая кинетическая энергия? В случае лития/вольфрама/оксида бария (*подчеркните нужное*) поясните свою мысль _____

8. Кинетическая энергия фотоэлектрона, выбиваемого с поверхности оксида бария равна 1эВ.

a. Чему равна энергия светового кванта, вызвавшего фотоэффект? _____

b. Чему равна частота световой волны? _____

c. Чему равна длина волны световой волны? _____

12.3. Модель атома Резерфорда-Бора.

1. /5.2.1/ В опыте Резерфорда α -частицы рассеиваются

- 1) электростатическим полем ядра атома
- 2) электронной оболочкой атомов мишени
- 3) гравитационным полем ядра атома
- 4) поверхностью мишени

/5.2.1/ Планетарная модель атома обоснована

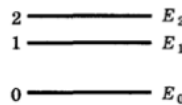
- 1) расчетами движения небесных тел
- 2) опытами по электризации
- 3) опытами по рассеянию α -частиц
- 4) фотографиями атомов, сделанными с помощью микроскопа

2. Если бы ядро атома было бы размером с мяч радиусом 15 см,
 - а. на каком бы расстоянии двигались бы в этом случае внешние электроны? _____
 - б. Оцените плотность вещества, в котором электроны вдавлены в ядро так, что все вещество представляет одно большое ядро (нейтронная звезда). Для оценки имейте в виду, что плотность твердого вещества равна $10\,000\text{ кг/м}^3$ и используйте то, что плотность увеличивается во столько же раз, во сколько уменьшился объем. Плотность нейтронной звезды равна _____

3. Сопоставьте виды спектров и способы их получения:

Линейчатый спектр	Органические молекулы, которые заставляют излучать видимое излучение, облучая их ультрафиолетом (молекулы в свободном состоянии)
	Атомы железа, которые оказались в бесцветном пламени горелки.
Полосатый спектр	Вольфрамовая нить накала лампочки при пропускании через нее тока
	Солнце
Непрерывный спектр	Углекислый газ, который светится, когда через него пропускают электрический ток
	Гелий, который светится, когда через него пропускают электрический ток

4. /5.2.2/ Сколько фотонов различной частоты могут испускать атомы водорода, находящиеся во втором возбужденном состоянии E_2 , согласно постулатам Бора?



- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4

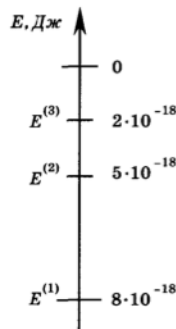
/5.2.2/ Согласно постулатам Бора частота электромагнитного излучения, возникающего при переходе атома из возбужденного состояния с энергией E_1 в основное состояние с энергией E_0 , вычисляется по формуле (c — скорость света, h — постоянная Планка)

- 1) $\frac{E_1 + E_0}{h}$
- 2) $\frac{E_1 - E_0}{h}$
- 3) $\frac{ch}{E_1 - E_0}$
- 4) $\frac{ch}{E_0 + E_1}$

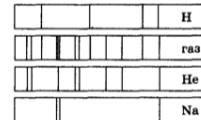
5.

/5.2.2/ Предположим, что энергия атомов газа может принимать только те значения, которые указаны на схеме. Атомы находятся в состоянии с энергией $E^{(3)}$. Фотоны какой энергии может поглощать данный газ?

- 1) любой в пределах от $2 \cdot 10^{-18}$ Дж до $8 \cdot 10^{-18}$ Дж
- 2) любой, но меньше $2 \cdot 10^{-18}$ Дж
- 3) только $2 \cdot 10^{-18}$ Дж
- 4) любой, большей или равной $2 \cdot 10^{-18}$ Дж



18. /5.2.3/ На рисунке приведены фотографии спектра поглощения неизвестного газа и спектров поглощения известных веществ.



По анализу спектров можно утверждать, что неизвестный газ содержит в заметном количестве

- 1) водород (H), гелий (He) и натрий (Na)
- 2) только натрий (Na) и водород (H)
- 3) только натрий (Na) и гелий (He)
- 4) только водород (H) и гелий (He)

б. Воспользовавшись формулой Эйнштейна $E=mc^2$ и формулой Планка $E=h\nu$ можно рассчитать, какая частота соответствует электрону и протону. Рассчитайте эти частоты:

- а. Частота, соответствующая протону равна _____
- б. Частота, соответствующая электрону равна _____
- с. и сравните их с частотой электромагнитных волн. Какой вид электромагнитных волн ближе всего к ним? _____

12.4 Работа с текстом. Прочитайте, ответьте на вопросы.

Отрывки из биографии знаменитого американского физика-оптика Роберта Вуда.

Осенью 1891 года, по окончании Гарварда, он поехал в университет Джона Гопкинса, намереваясь получить там степень доктора философии по химии, работая у профессора Айра Ремсена [J. Remsen

(1846--1926 гг.).]. Первым делом он снял себе комнату в пансионе -- а затем занялся сожжением жареного мяса.

В этом университетском пансионе уже давно среди жильцов-студентов ходило страшное подозрение, что утреннее жаркое готовится из остатков вчерашнего обеда, собранных с тарелок. Подозрение было "очень естественное, так как жареное мясо на завтрак всегда следовало за бифштексом в предыдущий день" Но как доказать это? Вуд почесал в затылке и сказал:

"Я думаю, что мне удастся это доказать при помощи... бунзеновской горелки и спектроскопа". Он знал, что хлористый литий -- совершенно безопасное вещество, вполне похожее на обыкновенную соль и видом и вкусом. Он также знал, что спектроскоп дает возможность открыть мельчайшие следы лития в любом материале, если его сжечь в бесцветном пламени. Литий дает известную красную спектральную линию. Так был задуман адский заговор против хозяйки пансиона, и когда на следующий день студентам был подан на обед бифштекс, Роб оставил на своей тарелке несколько больших и заманчивых обрезков, посыпанных хлористым литием. На следующее утро частички завтрака были спрятаны в карман, отнесены в лабораторию и подвергнуты сожжению перед щелью спектроскопа. Предательская красная линия лития появилась -- слабая, но ясно видимая. Слава этой истории следовала за Вудом в течение всей его карьеры, и теперь есть несколько международных вариантов ее. Одна из побочных версий рассказывает о случае в немецком пансионе, куда отказались пустить неизвестного американского профессора, так как там раньше побывал Вуд со своим литием...

... Вуд работал у Ремсена с органическими веществами. Одной из задач было изготовление гидрохинона по обычной рецептуре из учебника. (Его белые кристаллы применяются главным образом для проявления фотографических пластинок.) По какой-то причине, которую он припомнить не мог, он стал искать дальнейших сведений в большом справочнике Бейлштейна по органической химии и был заинтересован утверждением, что гидрохинон, окисленный хлористым железом, дает новое вещество, известное как хингидрон, которое кристаллизуется "в длинные черные иглы с ярким металлическим блеском". Хотя это и не обещало взрыва, но во всяком случае должно было получиться красивое превращение, увидеть которое хотелось неистово любознательному Роберту. В то время, когда он занялся этим делом, подошел Ремсен, посмотрел в кристаллизатор и сказал:

"Хорошо, а что же вы делаете сейчас?"

"Я делаю хингидрон из гидрохинона".

"Знаете ли, -- назидательно сказал химик, который, как известно, в свое время тоже шел одновременно по многим расходящимся линиям, одни из которых вели в тупик, а другие -- к известности и славе, -- вы тратите время зря; было бы гораздо лучше придерживаться предписанного курса, пока вы не ознакомитесь с элементами органической химии".

Вуд высушил кристаллы, когда Ремсен отвернулся, и они были такие красивые, что он спрятал их в баночку, как прячут светлячков. Любопытные последствия этого имели место сорок лет спустя. Один доктор в Нью-Йорке заявил, что он открыл таинственное новое вещество, которое, если его добавить в крем для кожи, предохраняет ее от загара. Он предложил деньги, за огромные деньги, председателю одной известной парфюмерной компании. Последний, с шотландским упрямством, не желая покупать "кота в мешке", сумел получить образец и отправил для анализа доктору Вуду, который уже давно стал профессором экспериментальной физики и руководил исследовательской работой в тех же самых священных залах, где его когда-то отчитывал Ремсен. Вуд весьма скептически отнесся к известию, что нью-йоркский доктор открыл новое химическое соединение, несмотря на то, что члены Химического отделения, которые вызвались сделать анализ, не сумели опознать его и через несколько дней, оставив надежду, прекратили работу.

Вуд принялся за дело, вооружившись спектрографом. Образец был в виде раствора янтарно-желтого цвета. Сфотографировав спектр поглощения в ультрафиолетовых лучах, он заметил, к своему удивлению, что раствор действительно поглощает вредную для кожи часть солнечного спектра. Спектр поглощения был похож на спектр раствора салициловой кислоты. Если это так, то раствор должен был посинеть под действием хлористого железа. Он попробовал и увидел, что предположение неверно. Таинственный раствор нисколько не изменился. Однако на следующее утро часовое стеклышко, на котором была сделана проба, покрылось кристаллическим слоем длинных черных палочек, блестящих ярким металлическим блеском!

"Где же, -- сказал себе Вуд, -- я их видел раньше?" И, так как он обладал памятью индийского слона, то за этим вопросом тотчас же последовал ответ:

"Где же, как не в баночке, которую я спрятал много лет назад, когда был еще почти младенцем".

Кристаллы оказались тем же старым хингидроном, и, что и требовалось доказать, "кот в мешке" не был новым химическим соединением, а самым обычным гидрохиноном, который знает каждый фотограф, -- замаскированным превращением в присутствии хлористого железа.

"Итак, вот что это такое! -- сказал Вуд косметическому магнату. -- Вы можете купить все, что вам нужно, в любой химической лавке, и средство действует именно так, как говорит ваш доктор. Но, если вы подмешаете его к вашим кремам и снадобьям от загара, то да поможет бог девушкам, которые ими намажутся!"

"Почему же?" -- спросил король кольдкремов.

"Потому что, -- сказал Вуд, -- это раздражитель кожи, и фотографы надевают резиновые перчатки, когда возятся с ним".

Ответьте на вопросы основываясь на прочитанном тексте:

1. Какими способами можно определить химический состав вещества).

2. Всегда ли получают спектр для видимого света?
3. Все гда ли спектр наблюдают непосредственно в спектрографе?

Отрывок из книга Г.Гамова «Мистер Томпкинс в стране чудес».

Глава 8 «В квантовых джунглях».

(В главе рассказано фантастическом мире в котором квантовые законы проявляются и в макром мире, постоянная Планка существенно больше).



Огромная стая несколько размозженных тигров
напала на слона

...-Для путешествия по суше нам нужно приобрести слона, – объявил профессор. – Не думаю, что кто-нибудь из местных жителей рискнет отправиться с нами, поэтому управлять слоном придется нам самим. Полагаю, что вы, мистер Томпкинс, прекрасно справитесь с этой задачей. Я буду слишком поглощен научными наблюдениями, а сэр Ричард должен будет управляться со всем охотничьим снаряжением.

На душе у мистера Томпкина было очень беспокойно, когда придя на слоновый рынок, расположенный на окраине города, он увидел огромных животных, одним из которых ему предстояло управлять. Сэр Ричард, великолепно разбирающийся в слонах, выбрал красивого крупного слона и спросил у владельца, сколько тот хочет за животное.

– Храп ханвек о хобот хам. Хагори хо, о Хохохохи, – ответил туземец, обнажив в улыбке ослепительно белые зубы.

– Он просит за него уйму денег, – перевел сэр Ричард, – но говорит, что его слон из квантовых джунглей и поэтому стоит дороже. Так как, купим этого слона?

– Непременно, – сказал профессор. – На пароходе мне довелось слышать, что слоны иногда заходят из квантовых территорий и туземцы их ловят. Такие слоны гораздо лучше своих сородичей из других областей, и сейчас нам просто повезло, что мы можем купить животное, которое чувствует себя в квантовых джунглях, как дома.

Мистер Томпкинс осмотрел слона со всех сторон. Что и говорить, это было очень красивое, огромное животное, однако, мистер Томпкинс не заметил в повадках слона каких-либо отличий по сравнению с теми слонами, которых ему доводилось видеть в зоопарке.

– Вы говорите, что это квантовый слон, а для меня он вполне обычный слон и ведет себя не так занятно, как бильярдные шары, сделанные из бивней некоторых из его сородичей. Например, почему он не расплывается по всем направлениям? – обратился мистер Томпкинс к профессору.

– Вы медленно схватываете суть дела, – заметил профессор. – Слон не расплывается из-за своей очень большой массы. Некоторое время назад я уже объяснял вам, что неопределенность в положении и скорости зависит от массы. Чем больше масса, тем меньше неопределенность. Именно поэтому квантовые законы не наблюдаются в обычном мире даже для таких легких тел, как пылинки, но становятся вполне заметными для электронов, которые в миллиарды миллиардов раз легче пылинок. Но в квантовых джунглях квантовая постоянная гораздо больше, но все же недостаточно велика, чтобы породить поразительные эффекты в поведении столь тяжелого животного, как слон. Неопределенность в положении квантового слона можно заметить, только если пристально взглянуть в его очертания. Возможно, вы заметили, что поверхность слоновой кожи не вполне определена и кажется несколько неотчетливо видимой. Со временем эта неопределенность увеличивается очень медленно. Мне кажется, что именно с этим обстоятельством связана местная легенда, будто у старых слонов из квантовых джунглей длинная шерсть. Я полагаю, что на не столь крупных животных, обитающих в квантовых джунглях, замечательные квантовые эффекты будут более заметными.

– Хорошо, что в эту экспедицию мы отправляемся не верхом на лошадях, – подумал мистер Томпкинс.

– Ведь если бы мы вздумали отправиться в квантовые джунгли на лошадях, я никогда не мог бы сказать с уверенностью, где моя лошадь – у меня под седлом или в следующей долине.

После того, как профессор и сэр Ричард со своими ружьями взгромоздились в корзину, укрепленную на спине слона, а мистер Томпкинс в новой для себя должности погонщика занял свое место на шее слона, крепко сжимая в руке некое подобие багра – стрекало, которым настоящие погонщики управляют своим подопечным; экспедиция тронулась в путь к таинственным джунглям.

От жителей города наши путешественники узнали, что добраться до джунглей можно примерно за час, и мистер Томпкинс, изо всех сил пытаясь сохранить равновесие между ушами слона, вознамерился с пользой использовать время, чтобы порасспросить у профессора о квантовых явлениях.

– Скажите, пожалуйста, – начал мистер Томпкинс, повернувшись к профессору, – почему тела с малой массой ведут себя столь необычно и как можно истолковать с точки зрения обычного здравого смысла ту квантовую постоянную, о которой вы все время говорите?

– О, – воскликнул профессор, – понять это не так уж трудно. Необычное поведение всех объектов в квантовом мире объясняется просто тем, что вы на них смотрите.

– Они настолько стыдливы? – улыбнулся мистер Томпкинс.

– "Стыдливы" – не то слово, – сурово ответил профессор. – Суть дела в том, что всякий раз, производя любое наблюдение, вы непременно возмущаете движение наблюдаемого объекта. Раз вы узнаете что-то о движении какого-то тела, то это означает, что движущееся тело произвело какое-то действие на ваши органы чувств или на прибор, который вы использовали при наблюдении. В силу равенства действия и противодействия мы приходим к заключению, что ваш измерительный прибор также воздействовал на тело

и, так сказать, "испортил" его движение, введя неопределенность в положение и скорость тела.

- Если бы я тронул бильярдный шар пальцем, то, конечно, внес бы возмущение в его движение, - недоуменно произнес мистер Томпкинс. - Но я только посмотрел на него. Неужели этого достаточно, чтобы возмутить движение бильярдного шара?

- Разумеется, вполне достаточно! Вы же не можете видеть бильярдный шар в крошечной тьме. А если вы вынесете шар на свет, то лучи света, отражающиеся от шара и делающие его видимым, воздействуют на него (мы говорим о таком воздействии как о "давлении света") и "портят" движение шара.

- А что если я воспользуюсь очень тонкими и очень чувствительными приборами? Разве не смогу я сделать воздействие моих приборов на движущееся тело пренебрежимо малым?

- Именно так мы считали, когда у нас была только классическая физика, до открытия кванта действия. Но в начале XX столетия стало ясно, что действие на любой объект не может быть низведено до уровня ниже определенного предела, называемого квантовой постоянной и обозначаемого символом h . В обычном мире квант действия очень мал; в обычных единицах он выражается числом с двадцатью семью нулями после десятичной запятой. Квант действия становится существенным только для таких легких частиц, как электроны: из-за их очень малой массы на движении таких частиц заметно сказываются и очень слабые воздействия. В квантовых джунглях, к которым мы сейчас приближаемся, квант действия очень велик. Это грубый мир, в котором деликатные действия невозможны. Если кто-нибудь в таком мире попытается погладить котенка, то тот либо вообще не ощутит никакой ласки, либо его шея будет сломана при первом же прикосновении.

- Все это хорошо, - задумчиво проговорил мистер Томпкинс, - но ведут ли тела себя прилично, т.е. так, как обычно принято думать, когда на них никто не смотрит?

- Когда на тела никто не смотрит, - ответил профессор, - никто не может сказать, как они себя ведут. Ваш вопрос не имеет физического смысла.

- Должен признаться, - заметил мистер Томпкинс, - что все это изрядно смахивает на философию, а не на физику.

- Можете называть это философией, - профессор был явно задет, - но, в действительности, речь идет о фундаментальном принципе современной физики - никогда не говорить о том, чего не знаешь. Вся современная физическая теория основана на этом принципе, между тем, как философы обычно упускают его из виду. Например, знаменитый немецкий философ Кант провел немало времени, размышляя о свойствах тел, не таких, какими они "видятся нам", а таких, какие они есть "в себе". Для современной физика имеют смысл только так называемые "наблюдаемые" (т.е. принципиально наблюдаемые свойства), и вся современная физика основана на отношениях между наблюдаемыми свойствами. То, что невозможно наблюдать, хорошо только для праздных размышлений: вы можете придумывать что угодно, и плоды ваших размышлений нельзя ни проверить (т.е. убедиться в их существовании), ни воспользоваться ими. Должен сказать, что...

В этот момент ужасный рев потряс воздух. Слон остановился как вкопанный так внезапно, что мистер Томпкинс чуть не свалился. Огромная стая несколько размазанных тигров напала на слона, выпрыгнув из засады со всех сторон. Сэр Ричард схватил свое ружье и, прицелившись ближайшему тигру между глаз, спустил курок. В следующий момент мистер Томпкинс отчетливо услышал, как сэр Ричард пробурчал себе под нос некое крепкое выражение, принятое среди охотников. Еще бы! Выстрел был метким, но пуля прошла сквозь голову тигра, не причинив тому ни малейшего вреда!

- Стреляй еще! - закричал профессор. - Не цельтесь! Постарайтесь создать вокруг себя как можно большую плотность огня! На нас напал только один тигр, но он распределен вокруг нашего слона, и наш единственный шанс на спасение состоит в том, чтобы поднять гамильтониан.

Профессор схватил другое ружье, и грохот выстрелов смешался с ревом квантового тигра. Мистеру Томпкинсу показалось, что прошла целая вечность прежде, чем весь этот ужасный шум затих. Одна из пуль "попала в цель", и к величайшему удивлению мистера Томпкинса тигр, внезапно превратившийся в одного-единственного титра, был с силой отброшен назад, и его мертвое тело, описав дугу в воздухе, приземлилось где-то за маячившей в отдалении пальмовой рощей.

- А кто этот Гамильтониан? - спросил мистер Томпкинс, когда все немного успокоилось. - Знаменитый охотник, которого вы хотели поднять из могилы, чтобы он спас нас?

- О, прошу великодушно простить меня! - сказал профессор. - В пылу битвы я перешел на научную терминологию, которую вы не понимаете! Гамильтонианом принято называть математическое выражение, описывающее квантовое взаимодействие между двумя телами.

1. Чем квантовый слон предпочтительнее для передвижения квантовой лошади?
2. Как наблюдатель влияет на квантовый объект?
3. Что такое «квант действия»?
4. В может ли пуля пройдя сквозь квантового тигра, не поранить его?
5. В чем основная тактика охоты на «квантовых тигров»?

Задания для самопроверки.

1. Какой длиной волны и массой обладают:
 - a. Гамма квант частотой 10^{21} Гц.
 - b. Нейтрон.

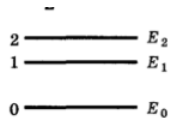
Впишите в таблицу недостающие значения:

	Масса, кг	Длина волны, м
Гамма-квант		
нейтрон	$2 \cdot 10^{-27}$ кг	

2. На оксид бария (работа выхода 1 эВ) падают фотоны разной частоты. Определите:
 - a. Минимальную частоту фотонов вызывающих фотоэффект.
 - b. Какую должны быть энергия фотона, чтобы кинетическая энергия фотоэлектрона была равна 2,5 эВ?
3. Фотоэффект идет при минимальной частоте соответствующей желтому свету: подчеркните те виды излучения, при котором может наблюдаться фотоэффект: **зеленый свет, красный свет, ультрафиолетовое излучение, инфракрасное излучение.**
4. Внешний электрон некоторого атома имеет энергетические уровни равные: 0, 1.5 эВ, 1.7 эВ, 1.8 эВ, 1.85 эВ. Может ли данный атом излучать фотоны с энергией 2 эВ, 0.35 эВ, 0.1 эВ, 1.75 эВ. *Подчеркните возможные варианты.*
5. Выберите правильные утверждения:
 - a. При увеличении частоты электромагнитного излучения уменьшается энергия минимального кванта этого излучения.
 - b. Длина волны протона больше длины волны электрона.
 - c. Электрон меньше ядра.
 - d. В рамках модели Резерфорда-Бора электрон вращается вокруг атомного ядра на стационарной орбите подобно планетам солнечной системы.
 - e. Если нагреть газ или пропустить через него электрический ток, то атомы сталкиваясь друг с другом или со свободными электронами создают условия для перескакивания собственных электронов на более высокие уровни. Это приводит к тому, что атом становится способным излучать фотоны.

6. /5.2.2/ Сколько фотонов различной частоты могут испускать атомы водорода, находящиеся во втором возбужденном состоянии E_2 , согласно постулатам Бора?

1) 1 2) 2 3) 3 4) 4



- /5.2.3/ На рисунке приведены фрагмент спектра поглощения неизвестного разреженного атомарного газа (в середине), спектры поглощения атомов водорода (вверху) и гелия (внизу). В химический состав газа входят атомы



- 1) только водорода
- 2) только гелия
- 3) водорода и гелия
- 4) водорода, гелия и еще какого-то вещества