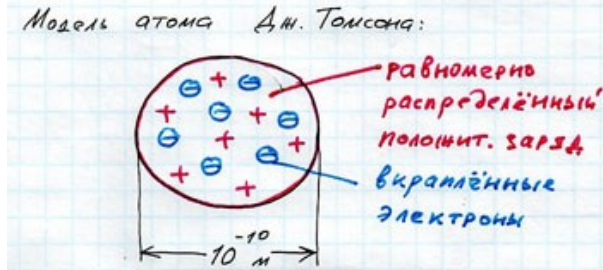


Тема 21. Физика атома

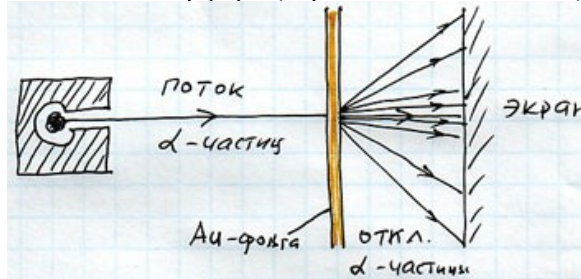
1. Модель атома по Резерфорду

Опираясь на известные к тому времени сведения о строении атома, английский физик Дж. Томсон в 1902 г. предложил модель атома, которую впоследствии назвали "пудингом с изюмом".

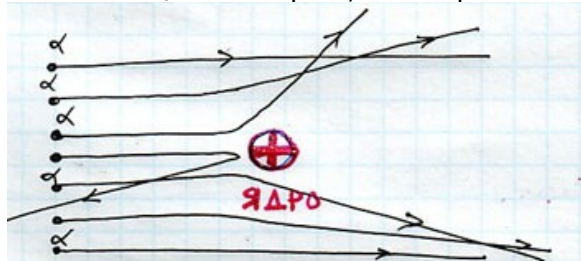


Согласно этой модели, атом представляет собой шар, в котором равномерно распределен положительный заряд. В эту сферу вкраплены маленькие отрицательно заряженные частицы - электроны. Электроны, совершая колебания около положений равновесия, излучают ЭМВ. Суммарный отрицательный заряд электронов равен положительному заряду сферы, поэтому атом в целом электрически нейтрален. Это была первая модель атома.

Опыты Э. Резерфорда, проведенные в 1911 г., полностью опровергли "пудинговую" модель атома.



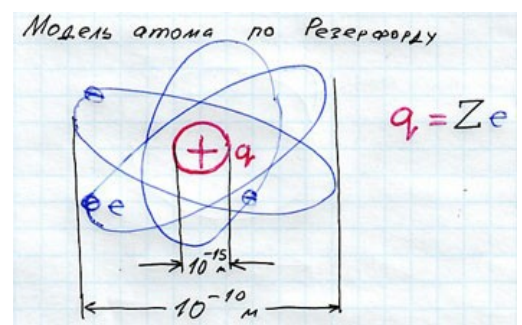
В своих опытах Резерфорд направлял узкий поток **α-частиц** (альфа-частиц) на тонкую золотую фольгу. **α-частицы**, испускаемые радиоактивными элементами, проходили сквозь золотую фольгу и фиксировались на люминесцентном экране, на котором наблюдались вспышки света.



α-частицы:
скорость $\approx 10^7$ м/с
заряд $+2e$
масса $\approx 7350 m_e$
 e - заряд и m_e - масса электрона

Опыт показал, что абсолютное большинство альфа-частиц проходит сквозь фольгу без всякого отклонения, некоторые отклоняются на небольшой угол, и лишь незначительная часть отклоняется на очень большой угол. Единичные отклонения были даже на углы более 90! Это совершенно не соответствовало принятой на то время модели атома Томсона. Появилась ядерная модель Резерфорда (ядерная - от слова "ядро").

Позже датский физик Нильс Бор предложил планетарную модель атома.



Согласно этой модели в центре атома находится ядро, в котором сосредоточена почти вся масса атома ($> 99,4\%$) и весь положительный заряд. Размер ядра примерно в 100 000 раз меньше размера всего атома. Вокруг ядра по эллиптическим орбитам вращаются электроны. Положительный заряд ядра равен сумме отрицательных зарядов электронов.

Исследования Резерфорда позволили определить примерный размер ядра атома и его заряд. При этом оказалось, что заряд q ядра, выраженный в элементарных зарядах e , равен порядковому номеру Z химического элемента в периодической системе $q = eZ$ и равен числу электронов в электронной оболочке атома.

Модель атома Резерфорда хорошо согласовывалась с результатами экспериментов, но совершенно не укладывалась в рамки классической физики. Действительно, согласно законам электродинамики, электрон, вращаясь вокруг ядра, все время движется с ускорением \Rightarrow он должен непрерывно излучать ЭМВ, частота которых равна частоте вращения электрона. При приближении электрона к ядру его частота должна плавно увеличиваться \Rightarrow спектр излучения для атомов данного химического элемента должен быть сплошным. А в действительности он линейчатый! Да и плюс ко всему, постоянное излучение ЭМВ должно вести к нестабильности атома, т.е. к его разрушению, но атомы большинства химических элементов весьма долговечны!

2. Постулаты Бора

Кропотливое изучение спектров атомов различных химических элементов показало, что каждому химическому элементу соответствует строго определенный линейчатый спектр. Также оказалось, что спектральные линии можно распределить по группам - сериям. В разные годы ученые открыли эти серии для разных элементов, но объединить воедино накопленный фактический материал смог Нильс Бор, который в 1913 г. усовершенствовал модель атома Резерфорда и создал **квантовую теорию строения атома**. Она основана на трех постулатах, которые позже были названы постулатами Бора.

Постулат - это утверждение, которое принимается без математического доказательства (аналогично аксиоме в геометрии). Постулат основан на наблюдениях, опытах, научных экспериментах.

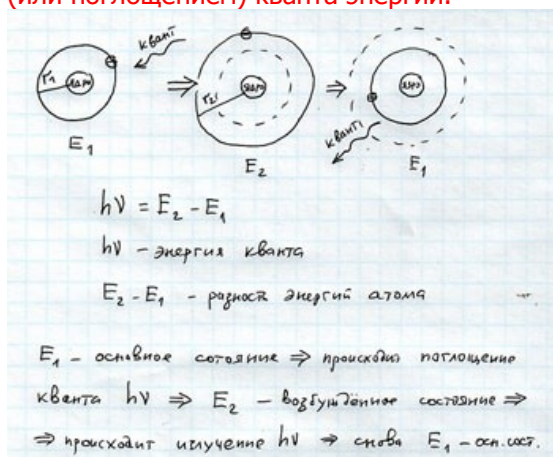
I постулат. Электроны могут двигаться в атоме не по любым орбитам, а по орбитам строго определенного радиуса.

Эти орбиты называют стационарными (устойчивыми):



II постулат. Движение электронов по стационарным орбитам не сопровождается излучением или поглощением энергии.

III постулат. Переход электрона с одной стационарной орбиты на другую сопровождается излучением (или поглощением) кванта энергии.



Итак, обычно атом находится в **основном** состоянии, в котором он не излучает и не поглощает электромагнитную энергию. Его электроны находятся на стационарных орбитах.

Если атом поглотил квант или несколько квантов энергии, то один или несколько электронов "перескакивают" на более "высокие" орбиты - атом переходит в **возбужденное состояние**. В таком состоянии атом не может находиться долго.

Электроны перескакивают на более низкие орбиты => происходит излучение одного или нескольких квантов энергии - атом возвращается в **основное состояние**.

Понятно, что чем больше квантовое число n (см. условие квантования радиуса орбит), тем больше энергия электрона => больше энергия атома.

3. Принцип действия лазера

Атом может излучать электромагнитную энергию (в том числе и свет), если он был до этого переведен каким-то образом в возбужденное состояние. Ион - атом, потерявший электрон - также находится в возбужденном состоянии. В тот момент, когда электрон возвращается на свое место в атоме (на стационарную орбиту), происходит излучение кванта энергии. В некоторых случаях переходы электронов внутри атома на более низкие орбиты не сопровождаются излучением квантов энергии, т.е. являются безизлучательными. При этом избыток энергии передается соседним частицам.

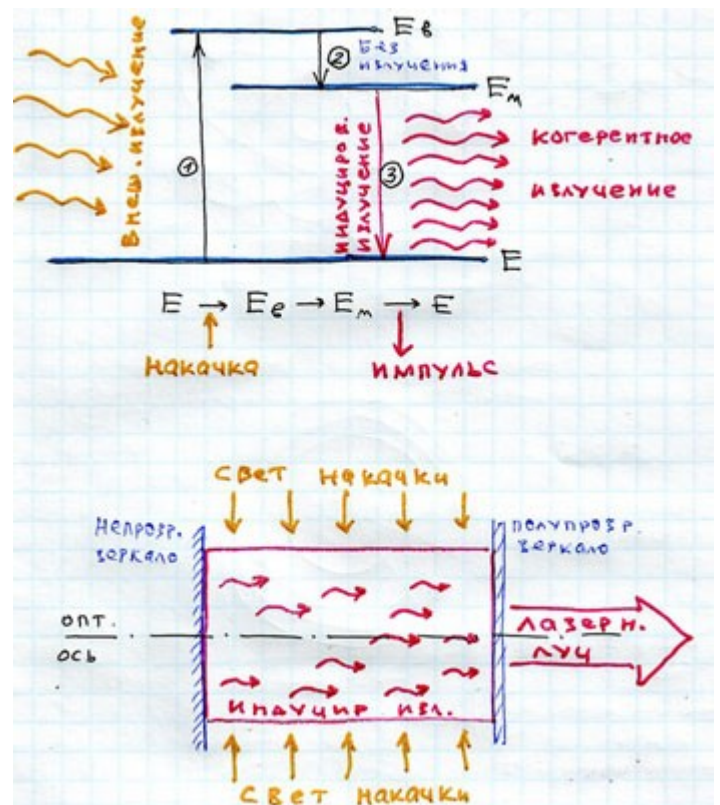
Процесс испускания атомом энергии может происходить **самопроизвольно** или **спонтанно** и только в одном направлении - с более высоких энергетических уровней на более низкие.

Под действием *внешнего ЭМП* вынужденные переходы могут происходить *как одним, так и в другом* направлении. При вынужденном переходе на более высокий уровень атом поглощает энергию. А при вынужденном переходе на более низкий уровень происходит излучение дополнительного кванта энергии. Это дополнительное излучение называют **вынужденным** или **индуцированным**.

При спонтанных переходах излучение атомов не является когерентным, т.к. направления и фазы тоже спонтанны. Все естественные источники дают спонтанное излучение. Поэтому световые лучи от двух газоразрядных трубок, в которых светится, например, неон **Ne**, не будут когерентными, и они не дадут никакой интерференционной картины (см. Тема 19, п. 3).

В некоторых случаях возбужденные состояния атомов могут существовать очень долго (по меркам микромира, разумеется) - порядка 0,001с. Такие состояния и соответствующие им энергетические уровни называют **метастабильными**. На этих уровнях может накапливаться большое количество атомов. Переход из метастабильного состояния в основное может быть вызван внешним электромагнитным импульсом. При этом возникает индуцированное излучение. Этот эффект был предсказан А. Эйнштейном в 1916 г.

Любой лазер имеет так называемое **рабочее тело** (например, кристалл рубина), в котором создается электромагнитное излучение. в начале атомы рубина находятся в основном состоянии с энергией **E**. Затем мощная вспышка лампы накачки переводит их в возбужденное состояние с энергией **E_в**. Из этого состояния атомы спонтанно переходят в метастабильное состояние с энергией **E_м**. Как было сказано ранее, время жизни в метастабильном состоянии гораздо больше, чем в возбужденном, поэтому атомов в этом состоянии в рабочем теле становится очень много. Говорят, что заселенность уровня **E_м** гораздо больше заселенности уровня **E_в** - это состояние рабочего тела называют **инверсией заселенности**. В этом состоянии резко возрастает вероятность индуцированных переходов. происходит **лавинообразный одновременный переход всех атомов** из метастабильного состояния **E_м** в основное **E**, который сопровождается излучением громадного количества фотонов одной частоты (длины волны) и одной фазы. Возникает поток когерентного излучения вдоль оси кристалла рубина. За счет многократного отражения от зеркал этот поток еще более усиливается, достигая высокой интенсивности. Лавина фотонов непрерывно нарастает и, достигая наивысшей интенсивности, выходит через полупрозрачную грань кристалла в виде узкого пучка когерентного света.



Лазеры различной конструкции могут генерировать не только свет, но и инфракрасное излучение, радиоволны, рентгеновские лучи.

Особенности лазерного излучения:

- строгая монохроматичность (один цвет, одна длина волны и частота);
- высокая временная и пространственная когерентность;
- большая интенсивность (до нескольких Мегаватт в импульсе);
- малая расходимость пучка.

Первый рубиновый лазер создал американский физик Т. Мейман в 1960 г. Однако, еще в 1954 г. советские ученые Н.Г. Басов и А.М. Прохоров создали первый в мире квантовый генератор, который работал в диапазоне СВЧ. Его назвали *молекулярным генератором* или *мазером*. В последнее время широкое распространение получили полупроводниковые лазеры, которые используются, например, в DVD-приводах.