Модель Томпсона предполагала, что заряд распределен в атоме равномерно. После были изучены спектры разных элементов, в том числе спектр атома водорода. Формулы Бальмера, Лаймона, … позволяют описать расстояния, отвечающие за энергию между уровнями. **Серия Бальмера:** $\omega = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right)$, **Серия Лаймона:** $\omega = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right)$, **Серия Пашена:** $\omega = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right)$, **Серия Брэккета:** $\omega = R\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2}\right)$, **Серия Пфунда:** $\omega = R\left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2}\right)$. Энергия ионизации – энергия перехода из основного состояния в состояние $n = \infty$. Спектр атома водорода хорошо описывается атомарной теорией Бора.

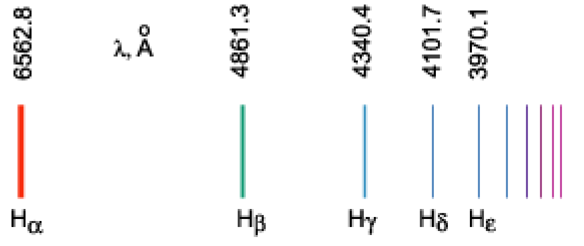

Рис. 14.1.3. Бальмеровская серия атома водорода.

Волновые свойства частиц

Корпускулярно-волновой дуализм – эффект, который заключается в том, что объект проявляет и корпускулярные, и волновые свойства. Де Бройль предложить распространить этот эффект на частицы: частица, имеющая импульс, может быть описана как волна с длиной, равной $\lambda_д = \frac{h}{p}$. Левой части соответствуют волновые свойства частицы, правой – корпускулярные. Если частица с зарядом q движется в каком-то силовом поле с ускоряющей разностью потенциалов U, то ее энергия будет определяться как $E = qU$ или как $E = \frac{p^2}{2m}$, откуда можно выразить импульс частицы $p = \sqrt{2mE} = \sqrt{2mqU}$. Тогда **длина волны Де Бройля** есть $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mqU}}$. Длину волны Де Бройля можно вводить тогда, когда ее величина сопоставима с размером препятствия, т.е. только для микрочастиц. **Длину волны Де Бройля нельзя сопоставить ни с переносом энергии, ни с переносом сигналов**.

Опыт Девиссона-Джермера

Показал, что имеет место дифракция электронов. В качестве решетки использовался кристалл никеля с периодом решетки $d = 0.215$нм. Для появления дифракционной картины необходимо, чтобы $\lambda_д \sim d$. Условия максимума те же: $d \sin\theta = m\lambda_д$. Если первый максимум, то $m = 1$.

Свойства волны Де Бройля

Любая волна может характеризоваться фазовой и групповой скоростью. **Фазовая скорость волны Де Бройля** $\boldsymbol{V_ф = \frac{\omega}{k}}$, где $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число. $E = \hbar\omega$, откуда $\omega = \frac{E}{\hbar}$. Но $E = h\nu$, откуда $\omega = 2\pi\nu$. Получаем, что $\boldsymbol{V_ф = \frac{\omega}{k} = \frac{E\lambda}{\hbar 2\pi} = \frac{E}{p}}$. Фазовая скорость это ненаблюдаемая величина, показывающая скорость геометрического места точек, имеющих одинаковую фазу. **Групповая скорость волны Де Бройля** $\boldsymbol{V_{гр} = \frac{\partial\omega}{\partial k} = \frac{\partial}{\partial k}\left(\frac{E}{\hbar}\right) = \frac{\partial E}{\partial p} = \frac{\partial}{\partial p}\left(\frac{p^2}{2m}\right) = \frac{p}{m} = V}$. Получилось, что **групповая скорость волны де Бройля равна скорости частицы**. Это уже наблюдаемая величина.

Посмотрим, имеет ли место явление дисперсии волны Де Бройля. $V_ф = \frac{E}{p} = \frac{E}{\sqrt{2mE}} = \sqrt{\frac{E}{2m}} = \sqrt{\frac{\hbar\omega}{2m}}$. Получаем, что **фазовая скорость зависит от частоты**. Т.е. **частицу нельзя описывать как волновой пакет**, так как волны Де Бройля зависят от частоты, частицы были бы ненаблюдаемы и нестабильны, пакет бы расплылся.

Волна Де Бройля – вероятностная волновая функция (пси-функция), описывает волну де Бройля как плоскую монохроматическую волну. $\psi(r,t) = A_0 \exp\left(-\frac{i}{\hbar}[Et - (\vec{p}\vec{r})]\right) = \psi_0(r) \exp\left(-\frac{i}{\hbar}Et\right) = A_0 \exp\left(-i\left(\omega t - \left(\vec{k}\vec{r}\right)\right)\right) = \psi_0(r)\exp(-i\omega t)$, где ω – частота волнового процесса, $\vec{k} = \frac{\vec{p}}{\hbar} = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновой вектор. **Волновая функция является математической абстракцией. Она не имеет физического смысла**. $|\psi|^2 = \psi * \bar{\psi}$ – имеет физический смысл – описывает плотность вероятности, свойством которой является $\int_{-\infty}^{+\infty} |\psi|^2 dV = 1$.

Стыковка Бора

По первому постулату Бора $L = n\hbar$. Тогда $mvr_n = n\frac{h}{2\pi}$, откуда $r_n = n\frac{h}{mv2\pi}$. Следовательно $2\pi r_n = n\frac{h}{mv} = n\lambda_д$. Получили, что длина боровской орбиты составляет n волн Де Бройля. $r_1 = 5 * 10^{-11}$м, $r_n = n^2 * r_1$.

Принцип неопределенности Гейзенберга

Нельзя одновременно точно измерить координату частицы и ее проекцию на эту ось. $\Delta x * \Delta p_x \geq \hbar, \Delta y * \Delta p_y \geq \hbar, \Delta z * \Delta p_z \geq \hbar$, $\Delta E * \Delta t \geq \hbar$. Если мы ограничим $\Delta x = b$, то мы уменьшим неопределенность по координате и получим схему Юнга и дифракционную картину. $b\sin\theta = \lambda; \Delta x \sin\theta = \lambda_д; \Delta x = \frac{\lambda_д}{\sin\theta}; \Delta p_x = p\sin\theta; \Delta x\Delta p_x = \frac{\lambda_д}{\sin\theta} p \sin\theta = \lambda_д p = \hbar$.

Пример: Атом излучает фотон $\lambda = 5500\text{A}$ в течение времени $t = 0.01$мкс. Найти неопределенность по длине волны. Решение: $\lambda = \frac{h}{p}; d\lambda = -\frac{h}{p^2}dp; p = \frac{h}{\lambda}; \Delta p = -\frac{h}{\lambda^2}\Delta\lambda; \Delta\lambda = \lambda^2\frac{\Delta p}{h}$. $\Delta p -?$ $p = \frac{E}{c}; \Delta p = \frac{\Delta E}{c}$. $\Delta E\Delta t = \hbar; \Delta E = \frac{\hbar}{\Delta t}$. Получаем, что $\Delta p = \frac{\Delta E}{c} = \frac{\hbar}{c\Delta t}; \Delta\lambda = \lambda^2\frac{\hbar}{c\hbar\Delta t} = \frac{\lambda^2}{c\Delta t} = \frac{(5500*10^{-10})^2}{3*10^6*10^{-8}} = 10^{-12}$м.