

Лекция 10.

Возбуждение и ионизация электронным ударом

Рассмотрим неупругое столкновение атома и электрона, когда свободный электрон, обладающий достаточной энергией, выбивает связанный электрон из атома. Этот элементарный процесс получил название *ионизации атома электронным ударом* (на примере атома водорода):



Прежде всего следует определить сечение процесса. Для этого рассмотрим столкновение двух электронов, один из которых является связанным (можно считать покоящимся). Снова воспользуемся приближением далеких пролетов. Вычислим энергию ε , которую приобретет связанный электрон после столкновения. Обозначая через w_y ускорение атомного электрона в направлении, перпендикулярном к скорости налетающего электрона, а через v_y его скорость в том же направлении, имеем

$$w_{y\perp} = \frac{e^2}{m} \frac{b}{(b^2 + v_0^2 t^2)}, \quad (10.1)$$

$$v_y = \frac{e^2}{m} \int_{-\infty}^{\infty} w_y dt = \frac{2e^2}{mv_0 b}, \quad (10.2)$$

$$\varepsilon = \frac{mv_y^2}{2} = \frac{2e^4}{mv_0^2 b^2} = \frac{e^4}{Wb^2}, \quad (10.3)$$

где b - прицельный параметр, $W = mv_0^2/2$ - энергия налетающего электрона. Из уравнения (8.3) найдем

$$b^2 = \frac{e^4}{W\varepsilon},$$

Что дает для дифференциального сечения рассеяния следующее соотношение

$$dq = q(\theta)d\theta = |2\pi bdb| = \frac{\pi e^4}{W\varepsilon^2} d\varepsilon. \quad (10.4)$$

Атом будет ионизован, если энергия ε , переданная атомному электрону, превысит потенциал ионизации I (пороговая реакция). С другой стороны, ясно, что ε не может быть больше, чем энергия налетающего электрона, т.е. $I \leq \varepsilon \leq W$. Интегрируя дифференциальное сечение ионизации $d\sigma$ в пределах от I до W , найдем полное сечение ионизации σ_i ,

$$\sigma_i = \frac{\pi e^4}{W^2 I} (W - I). \quad (10.5)$$

Эта формула называется формулой Томсона. Максимальное сечение достигается при $W \approx 2I$ и приблизительно равна $\sigma_{\max} \approx \pi e^4 / 4I^2 = \pi a_E^2 \approx 10^{-16} \text{ cm}^2$. Полученная формула довольно точно отражает характер зависимости σ_i от энергии налетающего электрона, в частности, из нее следует, что при больших энергиях $\sigma_i \propto W^{-1}$, поскольку эффективное время взаимодействия уменьшается и вероятность ионизации стремится к нулю. Квантовая теория предсказывает более медленное убывание сечения ионизации, $\sigma_i \propto \ln(W)/W$ при $W \gg I$, и лучше согласуется с экспериментальными данными.

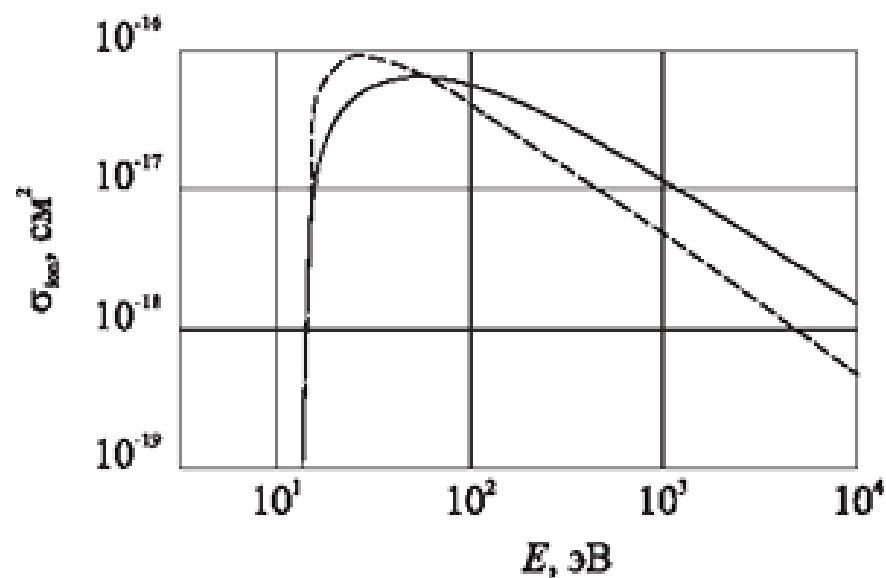


Рисунок 10.1 Сечение ионизации атома водорода электронным ударом. Сплошная линия – экспериментальное сечение, пунктирная – вычисленное по формуле Томсона.