

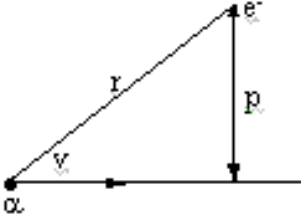
## 2.1 Взаимодействие заряженной частицы с электроном

Рассмотрим элементарную схему взаимодействия заряженной частицы с одним электроном.

Пусть **тяжелая частица** с зарядом  $q=ze$  пролетает со скоростью  $v$  на расстоянии  $r$  от свободного (несвязанного) электрона с массой  $m_e$  и зарядом  $-e$  (**Рис.2**). Если скорость электрона намного меньше скорости частицы, то его можно считать покоящимся. Во время движения частицы на покоящийся электрон действует кулоновская сила:

$$F = b_0 * \frac{qe}{\epsilon r^2} \quad (1)$$

где  $r$  - расстояние между зарядами, зависящее от времени;  $b_0 = 9 \cdot 10^9$  м/ф - постоянная, характеризующая взаимодействие зарядов в вакууме;  $\epsilon$  - относительная диэлектрическая проницаемость среды, показывающая, во сколько раз сила взаимодействия в среде меньше, чем в вакууме.



**Рис.2.** Схема столкновения заряженной частицы  $\alpha$  с электроном  $e^-$ .

Кулоновская сила направлена вдоль радиуса  $r$ . Положительно заряженная частица притягивает электрон, и он начинает двигаться по направлению к траектории частицы. Отрицательно заряженная частица, наоборот, удаляет электрон от траектории. Так как масса тяжелой частицы намного больше массы электрона, то частица после столкновения с электроном почти не изменяет направление своего движения.

Энергетические потери частицы за одно столкновение с электроном:

$$\Delta E \approx \frac{b_0 q^2 e^2}{\epsilon m_e v^2} * \frac{1}{d} \quad (2)$$

где  $d$  - кратчайшее расстояние электрона до траектории частицы (параметр столкновения). Энергетические потери пропорциональны квадрату заряда частицы. С увеличением скорости время взаимодействия частицы с электроном, а вместе с ним и потери энергии на одно столкновение уменьшаются. Энергетические потери не зависят от массы частицы, так как под столкновением частицы с электроном понималось их электрическое взаимодействие. Минимальные неупругие потери ограничиваются энергией возбуждения электрона в атоме. Частица может передать электрону порцию энергии, которая переводит его на один из возбужденных уровней атома. Вследствие этого начиная с некоторого параметра столкновения  $d > d_0$  частица взаимодействует не с отдельным электроном, а со всем атомом в целом. В этом случае происходит упругое столкновение частицы с атомом. Максимальный параметр столкновения  $d_0$ , при котором атом возбуждается или ионизируется, зависит от порядкового номера  $Z$ , т.е. от степени связанности электронов в атоме.

В предположении, что масса частицы  $M \gg m_e$ , взаимодействие ее с электроном приведет к тому, последний получит импульс в направлении, перпендикулярном к линии полета частицы,

$$\Delta p_{\perp} = \frac{2ze^2}{rv} \quad (3)$$

Кинетическая энергия, соответствующая этому импульсу, равна

$$\Delta E = \frac{\Delta p_{\perp}^2}{2m_e} = \frac{2z^2 e^2}{m_e v^2} * \frac{1}{r^2} \quad (4)$$

Такую энергию приобретает электрон, если мимо него на расстоянии  $r$  проходит заряженная частица с зарядом  $z_e$ , двигающаяся со скоростью  $v$ . Таковую же энергию теряет заряженная частица.