

Рис. 1

несущая положительный заряд, уверенно пронизывает электронные оболочки атомов, разрушая их. А β -частицы, сами будучи электронами, более нежно взаимодействуют с отрицательно заряженными электронными облаками атомов.

Итак, осталось успеть сфотографировать конденсационный след элементарной частицы. Один из удобных способов фоторегистрации трека проиллюстрирован на рисунке 1. В этом случае фотографируют прямое K_1 и отраженное K_2 изображения некоторой капли (K) следа на одной и той же светочувствительной поверхности. Такой способ позволяет получить стереоскопическое изображение следа и определить его положение в пространстве. Это важно, поскольку следы не обязательно горизонтальные и прямые. Например, их можно специально искривить, поместив камеру Вильсона в магнитное поле, — тогда частицы, несущие различные электрические заряды, по-разному отклонятся под действием силы Лоренца.

Одна из множества интересных проблем, связанных с камерой Вильсона, касается ее быстродействия. Как скоро после регистрации одной серии следов можно проводить следующий опыт? Давайте сделаем оценку времени, за которое капельки, несущие заряды разного знака, встретятся друг с другом и рекомбинируют.

Вообще говоря, молекуле воды не безразличен знак того иона, на котором она собирается конденсироваться. Уже сам

Вильсон заметил, что она предпочитает отрицательные ионы. Этот факт объясняется тем обстоятельством, что электрическое поле молекулы воды очень сложное: оно определяется не только дипольным моментом, но и квадрупольным (квадруполь можно вообразить как два диполя, параллельных друг другу, но противоположно направленных). В результате минимум потенциальной энергии даже для электронейтральной капли воды соответствует состоянию, при котором отрицательные «хвосты» молекул торчат наружу, а положительные — внутрь. Вот почему молекулы воды предпочитают, чтобы в центре капли находился отрицательный ион. Значит, размеры положительно и отрицательно заряженных микрокапель в треке элементарной частицы должны быть, вообще говоря, различны. Но мы в дальнейших оценках пренебрежем этим фактом и будем для простоты рассуждений считать все микрокапли одинаковыми, причем не изменяющимися со временем.

Оценим прежде всего силу сопротивления, которую испытывает капелька, движущаяся в газообразной среде. Конечно, в камере Вильсона находится смесь газов — например, воздуха и паров воды. Для оценки положим, что паров воды пренебрежимо мало, так что капелька движется в почти чистом воздухе, масса молекул которого равна

$$m = \frac{M}{N_A},$$

где $M = 29$ кг/кмоль — молярная масса воздуха, $N_A = 6 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$ — постоянная Авогадро. Как известно, молекулы воздуха сталкиваются друг с другом в среднем на расстояниях порядка 10^{-7} м (средняя длина свободного пробега молекулы). Поэтому для всех капелек, размеры которых меньше этой величины, воздух не является сплошной средой: они «чувствуют» удары отдельных молекул. Учтем это обстоятельство.

Для простоты заменим шаровую каплю радиусом a кубиком с тем же поперечным сечением $s = \pi a^2$. И пусть кубик движется параллельно своим ребрам со скоростью u , много меньшей средней скорости теплового движения молекул v (рис. 2).

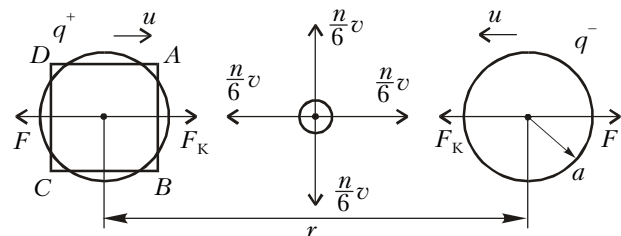


Рис. 2

А что понимать под v ? Пусть это будет средняя квадратичная скорость, определяющая среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул воздуха:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2}kT, \text{ и } v = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}},$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — постоянная Больцмана, а $R = 8,31$ Дж/(моль · К) — универсальная газовая постоянная.

Ясно, что на переднюю грань кубика AB в единицу времени налетает число молекул, равное $\frac{n}{6}(v+u)s$ (число «6» в знаменателе символизирует гипотезу о том, что в изотропном газе молекулы летят равновероятно по шести направлениям). Скорость каждой молекулы перед ударом об эту грань кубика равна $-(v+u)$. Если предположить, что удар абсолютно упругий, то молекула отскочит обратно с той же (по