

$\pi b^2 n v_\infty$, и, значит, среднее время между столкновениями звезд будет

$$\tau \sim \frac{1}{\pi b^2 n v_\infty} = \frac{l^3}{\pi b^2 v_\infty}. \quad (4)$$

Сделаем теперь численные оценки. Выберем $r_{\min} = 2R$ (R – радиус звезды), как для жестких шаров; при этом эти шары «чиркнут» друг о друга. Пусть звезды обладают параметрами Солнца: $R = 0,7 \cdot 10^9$ м и $m = 2 \cdot 10^{30}$ кг, среднее расстояние между ними порядка одного светового года: $l \approx 10^{16}$ м, а средняя относительная скорость $v_\infty = 30$ км/с. Тогда получаем

$$\left(\frac{b}{2R}\right)^2 = 1 + \frac{2mG}{R} \frac{1}{v_\infty^2} = 1 + \left(\frac{v_{II}}{v_\infty}\right)^2 = 425,$$

где v_{II} – вторая космическая скорость, т.е. скорость «убегания» от звезды. Эта оценка показывает, что «сечение столкновения» πb^2 заметно превосходит таковое для случая невзаимодействующих шаров, равное $\pi(2R)^2$. А для среднего времени между такими столкновениями из выражения (4) получим

$$\tau \sim \frac{(10^{16})^3}{\pi \cdot 425 (2 \cdot 0,7 \cdot 10^9)^2 \cdot 3 \cdot 10^4} \text{ с} \approx \approx 10^{32} \text{ с} \approx 3 \cdot 10^{24} \text{ лет}.$$

Конечно, экологи и политологи могут возразить: при «соприкосновении» звезд (когда $r_{\min} = 2R$) перестанут существовать их планетные системы, а сами звезды еще до этого сильно вытянутся навстречу друг другу. Так что допустимое расстояние, с точки зрения целостности системы планет (по крайней мере, ближайших к своему светилу), по-видимому, должно превосходить орбиту Плутона, радиус которой составляет приблизительно десять тысяч радиусов Солнца, т.е. должно быть $r_{\min} \gtrsim 10^4 R$. Тогда сечение взаимодействия вырастет в 10^8 раз, и во столько же раз изменится среднее «время жизни» планетных систем в нашем гипотетическом звездном газе. Все равно это время много больше времени существования известных на Земле цивилизаций.

В газовой плазме, содержащей положительные и отрицательные частицы, сила взаимодействия между парой частиц тоже обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними, только она может быть как положительной, так и отрицательной (закон Кулона). В теории плазмы часто под сечением взаимодействия частиц понимают такое прицельное расстояние, для которого угол разворота частиц χ после «столкновения» равен 90° (см. рис.1). А что же газ молекул?

Молекулы, как уже сказано, тоже взаимодействуют не совсем как жесткие шарики. Правда, их сила взаимодействия и потенциальная энергия изменяются с расстоянием гораздо резче, чем гравитационные силы ($F \sim -r^{-7}$, $E_p \sim -r^{-6}$), поэтому они «чувствуют» друг друга только на близких расстояниях, сравнимых с их размерами. Если учесть, что средняя кинетическая энергия теплового движения молекул пропорциональна температуре, то соотношение (3) можно записать в виде

$$\left(\frac{b}{2r_m}\right)^2 = 1 + \frac{\beta}{r_m^6 \cdot \frac{3}{2} kT},$$

где r_m – «радиус» молекулы, k – постоянная Больцмана, T – температура. Отсюда видно, что именно можно понимать под «радиусом молекулы» r_m . Действительно, для высоких температур последний слагаемый можно пренебречь, тогда b стремится к $2r_m$, а сечение столкновения молекул будет $4\pi r_m^2$. В этих условиях молекулы быстро пролетают мимо друг друга, так что сила притяжения «не успевает поработать» над их сближением. Наоборот, при понижении температуры их движения становятся замедленными, сечение столкновения πb^2 растет, появляется возможность конденсации. Все тела во Вселенной тоже стремятся «сконденсироваться», но, слава Богу, никак не могут этого сделать благодаря начальным импульсам, прицельным расстояниям (и другим факторам).

Конечно, среднее время между столкновениями для молекул много меньше, чем для звезд. Например, в воздухе при комнатных условиях оно порядка наносекунды. Действительно, принимая радиус молекулы $r_m \sim 3 \cdot 10^{-10}$ м, концентрацию $n \sim 3 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$, скорость теплового движения $v_\infty \sim 500$ м/с, по формуле (4) получим $\tau \sim 10^{-9}$ с. При этих столкновениях сами «планетные системы» молекул (их электронные облака) существенно участвуют в процессе взаимодействия: в отличие от звезд, здесь сила притяжения сменяется силой отталкивания.

Вспомним еще, что великие физики, внесшие немалый вклад в *кинетическую теорию* вещества, любили лично рассчитывать траектории взаимодействующих тел. В качестве примера на рисунке 3 приведены гиперболические траектории альфа-частиц вблизи тяжелого атомного ядра, построенные самим Эрнестом Резерфордом в 1911 году. Около каждой траектории написано значение угла разворота альфа-частицы после столкновения (сравните с рисунком 1). В этом случае электрические

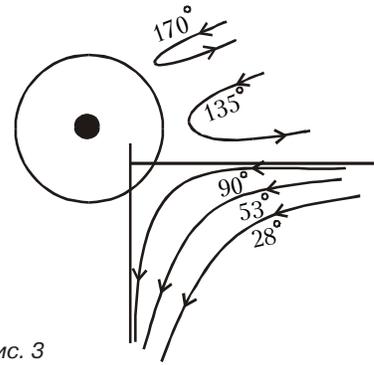


Рис. 3

заряды обеих частиц (альфа-частицы и ядра) имеют один знак и $F \sim +r^{-2}$.

На рисунке 4 изображено несколько траекторий нейтральных молекул относительно такой же фиксированной молекулы S для случая их взаимодействия с силой, обратно пропорциональной пятой степени расстояния ($F \sim +r^{-5}$). Эти молекулы «изобрел» сам Джеймс Клерк Максвелл (они так и называются «максвелловскими молекулами»), и он же сделал этот рисунок еще в прошлом веке.

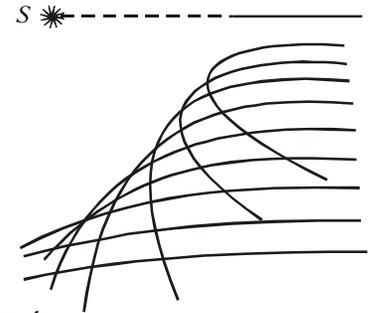


Рис. 4

Хотя в приведенных примерах взаимодействующие частицы считались точками, из рисунков ясно видно, что при «столкновении» они как бы натыкаются на невидимую преграду отнюдь ненулевых размеров. А ведь все эти молекулы, ядра, альфа-частицы, в отличие от звезд, трудно разглядеть. Как тут не восхититься человеческим разумом! Что и сделал еще один замечательный физик и философ: «Все тела, небесный свод, звезды, Земля и ее царства не идут в сравнение с самым низким из умов, ибо ум несет в себе знание обо всем этом, тела же не знают ничего» (Блез Паскаль).