Число вылетающих шайб можно считать обычным способом — как при расчете давления молекул на стенку. Нужно только учесть, что движение «двумерное» и оценка скорости вдоль некоторой оси должна содержать не «корень из трех», а «корень из двух» — квадрат полной скорости складывается из суммы квадратов двух составляющих скорости. Для оценки времени τ_1 вылета первой тысячи шайб будем считать «концентрацию» шайб неизменной:

$$\frac{0{,}5l\left(v/\sqrt{2}\right)\tau_1 N}{a^2}=\frac{N}{10},\ \tau_1\approx 3\cdot 10^3\ \text{с}.$$

Для оценки времени вылета остальных шайб заметим, что при уменьшении концентрации уменьшается во столько же раз и число ударов (скорости шайб внутри будем считать не изменяющимися — это не совсем точно, так как у быстрых шайб вероятность вылететь за данный интервал времени побольше, но для оценки мы это учитывать не будем), тогда за следующие 3000 секунд вылетит $1/10$ оставшихся шайб, за следующие 3000 секунд — еще $1/10$ и т.д. Это означает, что число шайб, оставшихся после n таких интервалов, будет $(0{,}9)^n N$ и можно найти такое число интервалов, после которого останется, скажем, только одна шайба:

$$\lg N+n\lg 0{,}9=0,\ n=-\frac{4}{\lg 0{,}9}\approx 100.$$

Тогда

$$\tau_2=n\tau_1\approx 3\cdot 10^5\ \text{с}.$$

Посмотрим, большой ли вклад дают последние шайбы. Вероятность вылета при одном ударе можно оценить как отношение длины лузы к суммарной длине всех стенок — получается $1/400$. Время между ударами около 20 секунд, время вылета оказывается порядка нескольких тысяч секунд, что не изменяет заметно времени τ_2.

А.Зильберман

Ф1617. *В вертикальном теплоизолированном сосуде под массивным подвижным поршнем находится порция идеального одноатомного газа при температуре T_0, поршень при этом находится в равновесии. Температуру газа в сосуде при помощи миниатюрного нагревателя очень быстро увеличивают в 2 раза и оставляют систему в покое. Какая температура установится в сосуде после того, как поршень перестанет двигаться? Трение поршня о стенки пренебрежимо мало. Поршень и стенки практически не получают тепла от газа. Воздуха снаружи нет.*

Газ совершает работу по подъему поршня за счет своей внутренней энергии. Будем считать, что нагрев произошел настолько быстро, что поршень не успел за это время сместиться и набрать заметную скорость. Внутренняя энергия газа после нагрева составляет

$$U_1=1{,}5\nu R\cdot 2T_0.$$

Пусть поршень в конце концов поднялся на высоту h над начальным положением H. Обозначив конечную температуру T_1, запишем условие равновесия до нагрева и после установления равновесия:

$$\frac{Mg}{S}SH=\nu RT_0,\ \frac{Mg}{S}S(H+h)=\nu RT_1,$$

где M — масса и S — площадь поршня. Теперь запишем закон сохранения энергии:

$$Mgh=1{,}5\nu R\cdot 2T_0-1{,}5\nu RT_1.$$

Решая эту систему уравнений, получим

$$h=0{,}6H,\ T_1=T_0\frac{H+h}{H}=1{,}6T_0.$$

М.Учителев

Ф1618. *Теплопроводность дерева вдоль волокон в 2 раза больше, чем поперек. Два длинных тонких цилиндра одинаковых размеров сделаны из такого дерева; ось одного из них направлена вдоль волокон, ось другого составляет с направлением волокон угол 30°. Боковые поверхности цилиндров теплоизолируют и создают одинаковые разности температур между торцами цилиндров. Во сколько раз отличаются тепловые потоки в этих цилиндрах?*

Тепловой поток (Q) через цилиндр пропорционален разности температур (T_2-T_1), приходящейся на единицу длины (L) вдоль направления распространения тепла, и площади (S) поперечного сечения. Обозначив коэффициент пропорциональности K (коэффициент теплопроводности), получим тепловой поток для первого случая:

$$Q_1=\frac{KS(T_2-T_1)}{L}.$$

Во втором случае все сложнее. Будем считать, что полный тепловой поток складывается из потоков тепла, которые распространяются вдоль волокон (под углом α к оси цилиндра) и перпендикулярно этим волокнам. Мы могли бы выбрать направления и иначе, но именно вдоль этих направлений мы знаем коэффициенты теплопроводности. Для потока вдоль волокон перепад температур на единицу длины получается меньше, чем в первом случае, — он равен $\left((T_2-T_1)\cos\alpha\right)/L$. Учтем и изменение «поперечной» площади — для этого направления получится $S\cos\alpha$. Для потока тепла в поперечном направлении все аналогично, но вместо угла α надо взять ($90°-\alpha$) и считать коэффициент теплопроводности вдвое меньшим. Тогда полный поток тепла во втором случае будет

$$Q_2=\frac{KS\cos^2\alpha\cdot(T_2-T_1)}{L}+\frac{0{,}5KS\sin^2\alpha\cdot(T_2-T_1)}{L}.$$

Отношение тепловых потоков составит

$$\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{1}{0{,}75+0{,}5\cdot 0{,}25}=\frac{8}{7}\approx 1{,}14.$$

С.Варламов

Ф1619. *Вдали от всех других тел в космосе двигаются два маленьких заряженных шарика, масса одного из них 1 г, другого 2 г. Заряды шариков равны по величине и противоположны по знаку. В данный момент расстояние между шариками 1 м, скорость более тяжелого шарика равна 1 м/с и направлена вдоль прямой, соединяющей центры шариков, по направлению*