

# Еще один вечный двигатель?

**А. СТАСЕНКО**

*Первые проекты механического вечного двигателя относятся к 13 веку (Виллар де Оннекур, 1245, Пьер де Марикур, 1269, Франция) ... С 1775 года Парижская Академия наук отказалась рассматривать проекты вечного двигателя.*

Физический энциклопедический словарь

**П**РОЕКТЫ вечных двигателей запрещено рассматривать, чтобы не тратить напрасно время. Но иногда полезно порассуждать и понять, действительно ли некую машину можно отнести к классу запретных «вечных двигателей».

Так вот, один вдумчивый школьник слышал, что молекулы при столкновении со стенкой могут терять определенную часть импульса, а в предельных случаях — отражаться абсолютно упруго (изменяя скорость нормального удара на обратную без изменения

модуля) или неупруго (полностью теряя эту скорость и «соскальзывая» уже вдоль поверхности). И тут его осенило.

Он решил приобрести пластинку, одна сторона которой отражает молекулы абсолютно упруго, а другая — неупруго, и, вырезав из нее два одинаковых по площади диска, насадить их на стержень (конечно, невесомый), предварительно развернув на  $180^\circ$  их плоскости относительно друг друга, а затем этот стержень укрепить на вертикальной оси, конечно, без трения. И он даже нарисовал это устройство (рис.1, вид сверху). На этом рисунке он обозначил и площадь дисков  $S$ , и среднюю тепловую скорость молекул газа  $v$ , и линейную (окружную) скорость дисков  $u$  в данное мгновение, а круглой стрелкой показал ожидаемое направление вращения всего устройства. При этом он принял, что левая поверхность верхнего диска отражает молекулы упруго, а правая — неупруго.

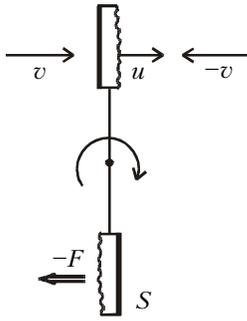


Рис. 1

Разумеется, школьник понимал, что молекулы газа движутся равновероятно во всех направлениях, но рисовать их все он не стал, ибо его интересовали только те, которые движутся по направлению к диску или от него. А таких, согласно привычной школьной оценке, в единице объема было  $n/6$  ( $n$  – концентрация молекул, «шесть» – это число сторон куба: вверх – вниз, вправо – влево, вперед – назад). Значит, плотность потока молекул (т.е. число молекул, попадающих на единицу площади в единицу времени), догоняющих слева верхний диск, равна  $(n/6)(v - u)$  (легко проверить: при  $u = v$  эти молекулы не догонят диск и не столкнутся с ним). Далее, каждая молекула ударяется о левую

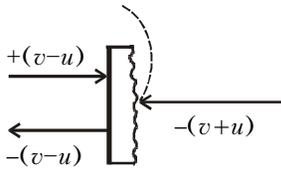


Рис. 2

поверхность диска со скоростью  $+(v - u)$  (в его системе координат) и, согласно условию упругости удара, отражается обратно с той же по величине скоростью (опять же, в системе диска), но с другим знаком (рис.2):  $-(v - u)$ . Значит, в неподвижной (лабораторной) системе координат ее скорость после отражения будет  $-(v - u) + u = -v + 2u$ , а изменение импульса одной молекулы составит  $m(-v + 2u) - mv$ . Такой же по величине, но противоположный по знаку импульс получит верхний диск. А умножив его на соответствующую плотность потока молекул и на площадь диска, найдем силу, действующую на верхний диск слева:

$$\frac{n}{6}(v - u)m(2v - 2u)S = \frac{mnS}{6}2(v - u)^2.$$

Проведем аналогичные рассуждения для правой поверхности верхнего диска. В системе диска скорость перед ударом  $-(v + u)$ , а после удара 0.

Скорость после удара в лабораторной системе равна  $u$ , изменение скорости молекулы в лабораторной системе составляет  $u - (-v) = u + v$ . Плотность потока молекул, налетающих справа на верхний диск, равна  $(n/6)(v + u)$ , так что суммарная сила, действующая на диск справа, будет

$$-\frac{mnS}{6}(v + u)^2.$$

Можно далее учесть, что произведение  $mn$  равно плотности газа  $\rho$ , и записать силу, действующую на верхний диск, в виде

$$F = \frac{\rho S}{6}(2(v - u)^2 - (v + u)^2) = \frac{\rho S}{6}(v^2 + u^2 - 6vu).$$

Такая же по величине, но противоположная по направлению сила будет действовать на нижний диск, так что система начнет вращаться под действием пары сил как раз в том направлении, которое указано на рисунке 1.

Ясно, что каждая из сил обратится в ноль (и вращение перестанет ускоряться) при условии

$$u^2 - 6vu + v^2 = 0.$$

Решая это квадратное уравнение, наш исследователь получил установившуюся линейную скорость:

$$u_{\infty} = 3v \pm \sqrt{9v^2 - v^2} = v(3 \pm 2\sqrt{2})$$

и, конечно, выбрал отрицательный знак, чтоб не смешить людей – не может ведь диск двигаться быстрее молекул.

Итак, установившаяся окружная скорость дисков  $u_{\infty} = v(3 - 2\sqrt{2}) = 0,172v$  получилась заметно меньше тепловой скорости молекул, поэтому способный изобретатель догадался пренебречь ее квадратом в выражении для  $F$ , так что уравнение, описывающее второй закон Ньютона для диска, приобрело вид следующего линейного дифференциального уравнения относительно  $u$ :

$$\frac{du}{dt} = \rho \frac{vS}{m} \left( u - \frac{v}{6} \right) = \frac{u - v/6}{\tau}.$$

Даже не решая это уравнение, можно кое-что сказать. Из него, в частности, видно, что ускорение с ростом  $v$  уменьшается и обращается в ноль при  $u_{\infty} = v/6 = 0,167v$ , что действительно близко к найденному ранее значению. А постоянная величина  $\tau = m/(\rho v S)$  в знаменателе правой части уравнения называется *временем релаксации*. Например, если взять  $m = 1$  г,  $\rho = 10^{-5}$  кг/м<sup>3</sup>,  $v \sim 300$  м/с,  $S = 1$  см<sup>2</sup>,

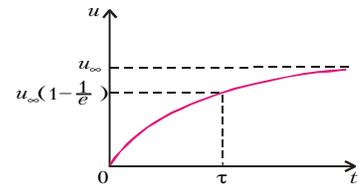


Рис. 3

получится  $\tau \approx 3 \cdot 10^3$  с  $\sim 1$  ч. Это – время, за которое почти достигается «предельное значение скорости»  $u_{\infty}$  (см. рис.3).

Тут надо обратить внимание, что вся теория построена для свободномолекулярного режима обтекания дисков, поэтому наш изобретатель и взял плотность газа на пять порядков ниже, чем для обычного воздуха. Тогда и длина свободного пробега молекул увеличится на пять порядков и, таким образом, вместо  $10^{-7}$  м станет как раз 1 см, что уже сравнимо с принятым размером диска.

Итак, устройство должно вращаться вечно. К нему даже можно сделать привод и заставить совершать полезную работу. Однако никакого отношения к тому вечному двигателю, который отказывалась рассматривать французская академия, наше устройство не имеет. Оно ведь не пытается родить энергию «из ничего»: диски получают энергию при соударениях молекул со стенками сосуда, которые поддерживаются при постоянной температуре. Так что закон сохранения энергии не нарушается.

Казалось бы, все в порядке, и остается только «изобрести» диски нужной конструкции. Необходимо добиться, чтобы с одной поверхностью молекулы соударялись упруго, а с другой – неупруго. Но оказывается, здесь нашего изобретателя подстерегает немалая опасность. Он очень легко может пойти по ложному пути и увязнуть в тщетных попытках сконструировать нечто столь же невозможное, как и вечный двигатель.

«Зеркальность» упругой поверхности равносильна предположению о ее термодинамическом равновесии с газом: молекулы стартуют с поверхности с такой же средней скоростью, как и падают на нее (температуры газа и поверхности одинаковы). Но как сделать другую поверхность «неупругой»?

Рассмотрим два варианта подхода к решению проблемы. В одном из них (назовем его «механическим») поверхность делают пористой: молекулы, попадающие внутрь цилиндрических пор, ударяются о ее «зеркальные» стенки, а каждая пора, плавно искривляясь под

прямым углом, выбрасывает молекулу в конце концов сбоку от пластинки (см. рис. 2).

Другой подход можно назвать «термическим»: специальная жидкость (например, жидкий азот или гелий) постоянно охлаждает «неупругую» поверхность, и средняя энергия отлетающих молекул, определяемая температурой поверхности, будет гораздо меньше, чем энергия падающих молекул.

Какой же из вариантов выбрать? Может показаться, что первый проще и экономичнее: не нужно тратить усилий на поддержание запасов охлаждающей жидкости, а для вращения устройства нужно только поддерживать стенки сосуда при постоянной температуре. Возможно, что такое устройство представляло бы собой нечто замечательное и для человечества весьма полезное. Ведь никто не говорит, какой именно должна быть температура стенок. Можно поместить миллион та-

ких устройств в океан и качать сколько угодно энергии, а потери энергии будут постоянно компенсироваться солнечными лучами. Но люди давно поняли, что подобные устройства – которые могли бы работать за счет энергии *одного* теплового резервуара – ничем не отличаются от вечного двигателя. Их даже тоже назвали вечными двигателями, но *второго* рода. На попытки сконструировать такой двигатель было затрачено, неверное, не меньше усилий, чем на создание обычных вечных двигателей (*первого* рода), – но безуспешно. И это, конечно, неслучайно. На пути изобретателей стоял второй закон (второе начало) термодинамики. Одна из формулировок этого закона гласит: «Невозможен процесс, единственным результатом которого было бы превращение в работу теплоты, взятой из резервуара при постоянной температуре». Или так: «Невозможно существование циклической машины,

работающей за счет энергии одного теплового резервуара».<sup>1</sup> Так что «механический» подход к конструированию неупругой поверхности не может быть успешным (кстати – подумайте, почему он не будет работать).

А вот второй, «термический», подход – с использованием охлаждающей жидкости – не противоречит второму закону термодинамики. Ведь кроме «нагревателя» в виде стенок сосуда здесь присутствует и «холодильник» в виде жидкого азота. Но, к сожалению, эффективность такого устройства вряд ли будет высокой.

Итак, ничего вечного и дарового не существует. Хотя, конечно, жаль.

<sup>1</sup> Затронутая здесь тема (второе начало термодинамики и вечные двигатели второго рода) обсуждаются также в статье «О квантовой природе теплоты». (Прим. ред.)