

Синтетический «демон» Максвелла

А.Ю. Дроздов, Харьков

Классическая термодинамика устанавливает принципиальный запрет на создание так называемого «вечного двигателя» второго рода — то есть двигателя, способного напрямую превращать в полезную работу хаотическое тепловое движение молекул.

А вот Максвелл (автор известного уравнения распределения молекул газа по скоростям) еще в XIX веке придумал устройство, как будто бы способное преодолеть этот запрет. Идея Максвелла заключалась в том, чтобы сосуд с газом, находящимся при температуре выше абсолютного нуля, разделить перегородкой с окошечком и заслонкой, и возле этой заслонки посадить микроскопического «демона», способного открывать заслонку, когда, скажем, слева направо летят быстрые, «горячие» частицы, и закрывать ее на пути медленных, «холодных» частиц. Следствием работы такого фантастического существа стало бы повышение температуры в правой части сосуда и ее понижение в левой части. А потом, с помощью обычной тепловой машины, работающей по циклу Карно, можно было бы получить полезную работу, используя вроде бы самопроизвольно возникающую разность температур.

Однако после длительных дискуссий физики пришли к выводу, что Максвелл ошибался, так как и окошечко с заслонкой, и сам «демон», должны иметь микроскопические размеры, а потому сами служить объектами хаотического теплового движения и не обладать способностью отличать «горячие» частицы от «холодных».

Тем не менее еще около десяти лет назад сотрудникам Харьковского физико-технического

института (ныне — Харьковского национального университета) удалось поставить успешный эксперимент, в котором рабочим телом служил так называемый электронный газ, а роль «демона» Максвелла — постоянное неоднородное магнитное поле, то есть поле неподвижного постоянного магнита. Следствием действия этого устройства было возникновение не разности температур, а разности электрических потенциалов.

Приведу цитату из этой работы, опубликованной в виде препринта, который можно разыскать в научных библиотеках России (О.А.Лаврентьев. Экспериментальные доказательства возможности преобразования тепловой энергии хаотического движения частиц непосредственно в электрическую. ХФТИ, 1992):

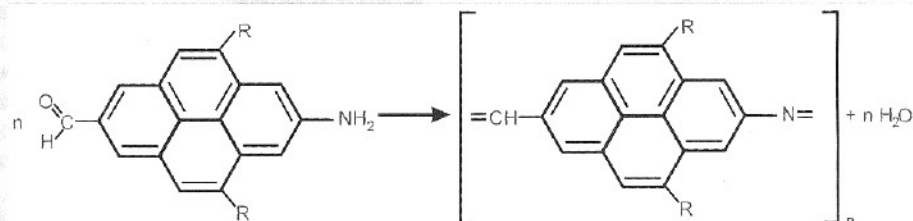
«Измерения показали, что <...> в цепи, соединяющей два электрода из одинакового материала с одинаковой термоэмиссионной способностью, нагретых до одинаковой температуры, помещенных в постоянное неоднородное магнитное поле, наблюдается электрический ток. <...> С изменением направления магнитного поля на противоположное меняется на противоположное и направление тока. Имеется, по крайней мере, качественное соответствие экспериментальных и расчетных зависимостей силы тока от характеристик магнитного поля.

Все это подтверждает достоверность приведенных доказательств возможности преобразования тепловой энергии хаотического движения частиц непосредственно в электрическую».

Однако использовать на практике этот метод получения энергии невозможно из-за малости эффекта и высокой температуры, необходимой для создания свободного электронного газа. Поэтому для реализации идеи Максвелла при обычных температурах я предлагаю другую схему. А именно, нужно создать такую молекулярную систему, в которой пространственные затруднения для теплового движения молекул рабочей жидкости в одном направлении были бы меньшими, чем в противоположном.

Представим себе, что некая рабочая жидкость пропитывает полимер, синтезированный из мономера, растворенного в этой же жидкости. Если полимер представляет собой как бы слоеный пирог, состоящий из пластин твердой фазы толщиной порядка размера молекулы мономера, а между этими пластинами находится рабочая жидкость, то атомные группировки, равномерно распределенные по всей поверхности полимерной поверхности пластин и имеющие одинаковую пространственную ориентацию, окажутся способными выполнять роль «демона» Максвелла.

Это можно пояснить таким примером: если зажать между пальцами ячменный колосок и тереть его, то, несмотря на хаотические



Одна из возможных схем синтеза «демона» Максвелла

Храповик и собачка

Из главы № 46
«Фейнмановских лекций
по физике»
(М.: Мир, 1977)

А ПОЧЕМУ БЫ И НЕТ?

движения пальцев, ость колоска приобретет направленное движение в соответствии с наклоном шипов.

Ясно, что молекулы исходного мономера должны быть плоскими и иметь по четыре группировки атомов, расположенных противоположно друг другу — две из них обладать способностью вступать в реакцию поликонденсации, а две другие служить как бы шипами ячменного колоса, то есть выполнять роль «демона» Максвелла. Подобными свойствами могут обладать, например, молекулы ароматических полициклических соединений (см. рисунок): группировки CHO и NH_2 способны реагировать друг с другом, образуя полимер, а радикалы R , расположенные под острым углом к «экваториальной» линии молекулы, могут выполнять роль шипов ячменного колоса.

В определенном температурном интервале плоские дискообразные молекулы мономера могут существовать в виде столбчатой жидкокристаллической фазы, растворенной в подходящем органическом растворителе. Если эту систему поместить в сильное электрическое поле, то молекулы мономера, обладающие электрическим дипольным моментом, приобретут одинаковую пространственную ориентацию. Поэтому после реакции поликонденсации возникнет слоистая полимерная структура лиотропного жидкого кристалла, пропитанная растворителем, которая сохранится и после выключения электрического поля. И если амплитуда тепловых колебаний жидкой фазы будет превышать длину «зубьев» полимерного храпового механизма, то в системе возникнет направленный ток жидкости в соответствии с пространственной ориентацией радикалов R .

В этой главе мы поговорим о храповике и собачке — очень простом устройстве, позволяющем оси вращаться только в одном направлении. Возможность получать одностороннее вращение заслуживает глубокого и тщательного анализа, из него проистекут интересные заключения.

Вопросы, которые мы будем обсуждать, возникают при попытке найти с молекулярной или кинтетической точки зрения простое объяснение тому, что существует предел работы, которая может быть получена от тепловой машины. <...>

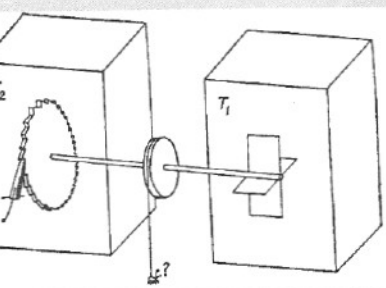
В доказательстве Карно то обстоятельство, что при переходе от одной температуры к другой нельзя извлечь неограниченное количество тепла, следует из другой аксиомы: если все происходит при одной температуре, то тепло не может быть превращено в работу посредством циклического процесса. Поэтому первым делом попытаемся понять, хотя бы на одном элементарном примере, почему верно это более простое утверждение.

Попробуем придумать такое устройство, чтобы второй закон термодинамики нарушался, а перепада температур не было. Пусть в сосуде находится газ при некоторой температуре, а внутри имеется вертушка, причем будем считать, что $T_1 = T_2 = T$. От ударов молекул газа вертушка будет покачиваться. Нам остается лишь пристроить к другому концу оси колесико, которое может вращаться только в одну сторону, — храповик с собачкой. Собачка пресечет попытки вертушки поворачиваться в одну сторону, а повороты в другую сторону — разрешит (см. рисунок). Колесико будет медленно поворачиваться; может быть, удастся даже подвесить на ниточку блошку, привязать нить к барабану, насаженному на ось, и поднять эту блошку!

Возможно ли это?

По гипотезе Карно — нет. Но по первому впечатлению — очень даже возможно (если только мы верно рассудили). Видно, надо посмотреть повнимательнее. И действительно, если вдуматься в работу храповика с собачкой, все оказывается не так просто.

<...> Хотя наш идеализированный храповик и предельно прост, но есть еще и собачка, а при ней положено быть пружинке. Проскочив очередной зубец, собачка должна возвратиться



Храповик и собачка.
Может ли столь простое устройство поднять маленькую блошку?
Фейнман категорически утверждает: нет!

в прежнее положение, так что без пружинки не обойтись.

Весьма существенно и другое свойство храповика и собачки (на рисунке его нельзя показать). Предположим, что части нашего устройства идеально упруги. Когда собачка перейдет через конец зубца и сработает пружинка, собачка ударится о колесико и начнет подпрыгивать. Если в это время произойдет очередная флуктуация, вертушка может повернуться в другую сторону, так как зубец может проскользнуть под собачкой,

Вспомним Циолковского



АРХИВ

когда та приподнята! Значит, для необратимости вертушки важно, чтобы было устройство, способное гасить прыжки собачки. Но при этом гашении энергия собачки перейдет к храповику и примет вид тепловой энергии. Выходит, что по мере вращения храповик будет все сильнее нагреваться. Для простоты пусть газ вокруг храповика уносит часть тепла. Во всяком случае, вместе с храповиком начнет нагреваться и сам газ. И что же, так будет продолжаться вечно? Нет! Собачка и храповик, сами обладая некоторой температурой T , подвержены также и броуновскому движению. Это значит, что время от времени собачка случайно поднимается и проходит мимо зубца как раз в тот момент, когда броуновское движение вертушки пытается повернуть ее назад. И чем горячее предмет, тем чаще это бывает.

Вот отчего наш механизм не будет находиться в вечном движении. Иногда от щелчков по крыльям вертушки собачка поднимается, и вертушка поворачивается. Но иногда, когда вертушка стремится повернуть назад, собачка оказывается уже приподнятой (из-за флуктуаций движений этого конца оси) и храповик действительно поворачивает обратно. В итоге — чистый нуль.

<...> Значит, сколько раз собачка случайно поднимется, давая храповику свободно повернуться назад, столько же раз окажется достаточно энергии, чтобы при прижатой собачке вертушка повернулась вперед. Выйдет равновесие, а не вращение.

Ричард Фейнман

Пикантность ситуации, связанной с попытками построить «вечный двигатель» второго рода и доказательствами невозможности создания подобного устройства, заключается в том, что обе спорящие стороны совершают классическую логическую ошибку, называемой подменой тезиса. Одни говорят о том, что если такое устройство может работать, то неверно второе начало термодинамики; другие же утверждают, что коль скоро второе начало термодинамики представляет собой незыблемый закон природы, то нечего и ступля ломать. И почему-то почти никому не приходит в голову, что возможность реализации «вечного двигателя» второго рода вовсе не противоречит второму началу. Просто речь идет о совершенно различных физических ситуациях.

Что писал Константин Эдуардович

В одной своей брошюре, изданной в Калуге в 1914 году, а написанной девятью годами ранее (и переизданной в 1991 году в первом номере журнала «Русская физическая мысль»), Циолковский вступил в спор с ведущими физическими авторитетами того времени. Дословно процитирую (разумеется, с некоторыми купюрами) его главные мысли.

«Представим себе определенную, хотя, может быть, и очень низкую температуру пространства и вообще Вселенной. Вообразим себе в этом пространстве изолированную <...> массу какого-нибудь газа при той же температуре. Я утверждаю, что температура газа не останется постоянной, несмотря на ее первоначальную равномерность. <...> Причина этого предполагаемого мною явления — всемирное тяготение.

<...> Вообразим в массе газа одну его молекулу, вибрирующую вверх и вниз. Так как она подвергается силе тяготения со стороны остальных молекул, то при поднятии или удалении от центра массы, скорость движения ее будет замедляться и наоборот. Таким образом, наша молекула, ударяясь о верхние молекулы с меньшей скоростью, будет замедлять их движение, вследствие чего температура верхних молекул понизится; ударяясь же с усиленной скоростью о нижние молекулы, она будет ускорять их движение, отчего их температура должна повыситься.

<...> Результатом этого будет громадная неравномерность температур, которую легко вычислить. <...> Более всего очевидно влияние силы тяжести на повышение в столбе весомого газа. Это повышение никакими иными причинами объяснить нельзя. Вполне разумно сомневаться в приложении изложенной гипотезы к жидким и твердым телам, но уж никак не газообразным.

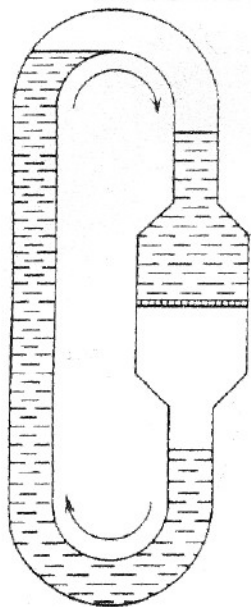


Схема «кольцара» Лазарева.
В правой части этого устройства жидкость и ее насыщенный пар разделены пористой перегородкой

<...> Как-то давно я читал статью. Автор ее, говоря о неизбежном потухании Солнца, надеется, что природа двуногих все-таки извернется. Тогда я подумал: какой оптимизм! и не находил сам возможности выпутаться из беды. Но вот прошло два десятка лет, и в моей душе созрело семя надежды об обратимости процесса рассеяния тепла. Если это так, то человечеству открывается будущее, независимое от солнечной энергии и даже внутренней самостоятельной теплоты Земли. <...> Мы не знаем всех условий, при которых это возможно. Пока мне выяснилось только влияние силы всемирного тяготения».

В годы, когда жил Циолковский, еще не было известно, что с высотой температура воздуха уменьшается практически в точном соответствии с его математическими выкладками, учитывающими влияние силы всемирного тяготения...

Кольцар Лазарева

Лет двадцать тому назад в редакцию «Химии и жизни» пришло письмо от инженера из бывшего Свердловска (ныне Екатеринбург) Михаила Федотовича Лазарева. Он описал свой опыт, в котором наблюдалась длительная циркуляция жидкости по замкнутому контуру (см. рисунок). И при этом, естественно, пытался доказать, что этот эксперимент опровергает второе начало

термодинамики, в чем и заключалась его трагическая ошибка. И так же естественно, что весь ученый люд Уральского научного центра АН СССР счел этот опыт следствием низкой квалификации автора. Опубликовать такую заметку в «Химии и жизни» тех лет было невозможно.

Но спустя некоторое время я попросил Михаила Федотовича прислать мне оригинальные результаты своих непрерывных четырехлетних измерений, что он и сделал. А я эти данные статистически обработал и убедился в том, что в них есть рациональное зерно, хотя при этом никакого нарушения второго начала термодинамики не происходит: ведь устройство Лазарева находилось в поле тяготения Земли. Более того, оказалось, что скорость циркуляции жидкости в этом «кольцаре» (так Лазарев назвал свое устройство) достоверно коррелирует с ритмом солнечной активности!

Дальнейшие исследования (которыми я получил возможность заниматься в конце прошлого века) показали, что кольцар Лазарева — не единственное устройство подобного рода. Кольцары работают при условии, если термодинамическая система находится в поле сил физических взаимодействий — гравитационных, электромагнитных (или каких-либо иных). Желаящие могут ознакомиться с этой моей работой, разыскав в библиотеке изданный на английском языке в Сингапуре (World Scientific, Vol. 39, Part 2) сборник под редакцией А.П.Левича (биофак МГУ) «On The Way To Understandig The Time Phenomenon. The Constructions Of Time In Natural Science». Краткое изложение сути дела можно также найти в Интернете на сайте <http://www.geocities.com/zhvir>.

Одним словом, предсказание Циолковского сбывается: при определенных условиях (то есть при наличии сил физического взаимодействия) термодинамическая система формально может вести себя вопреки второму началу

термодинамики, не нарушая, однако, его физического содержания (см. например, статью С.Д.Хайтуна в «Химии и жизни» №10 за этот год).

Храповик, собачка и... вертушка

Ричард Фейнман совершенно верно изложил ситуацию с храповиком и собачкой. Но он не учел того, что вертушка может быть больших размеров. Если ее верхние лопасти находятся очень высоко, то из-за разности температур газа вверху и внизу сосуда (в точности, как в атмосфере Земли) равновесие нарушится, и храповик станет вращаться в одну сторону, якобы нахальнейшим образом нарушая второе начало термодинамики. Только для того, чтобы устройство Фейнмана работало как кольцар Лазарева, лопасти вертушки следует изогнуть наподобие пропеллера.

Значит, Константин Эдуардович Циолковский, провинциальный российский преподаватель математики, все-таки был прав. А выдающийся американский физик заблуждался, не учитывая в своих рассуждениях важнейшего фактора — существования в природе сил физического взаимодействия, изучением которых он активно занимался...

Поэтому эксперименты по созданию двигателей, работающих не по тепловому циклу Карно, имеют полное право на существование и достойны не порицания, а тщательного обсуждения. Ведь речь идет о совершенно разных системах — идеальных и реальных, и об этом не следует забывать.

В.Жвирблис

