

Демон Максвелла и демон Циолковского: два мысленных эксперимента и следствия из них

Д.И.Озол

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Мысленный эксперимент Максвелла, предложенный им в 1871, и под названием «демона Максвелла» введенный в научный оборот В. Томсоном [1], на протяжении более чем ста лет привлекает к себе внимание (см., напр., [2-6]). Одну из идей К.Э.Циолковского [7] также можно изложить в виде мысленного эксперимента с участием существа, которое уместно назвать демоном Циолковского.

Рассмотрим сосуд №1, в котором при постоянной температуре содержится некоторое количество неидеального многоатомного газа – возьмём для определённости, следуя Циолковскому, водяной пар. Некоторое количество молекул воды всегда будет диссоциировано. В сосуде, следовательно, всегда будет присутствовать некоторое количество атомов и/или молекул кислорода и водорода. Пусть демон управляет двумя дверцами: одну он открывает перед атомами и молекулами водорода, выпуская их из сосуда №1 в сосуд №2 (и закрывает перед всеми остальными), а другую открывает перед атомами и молекулами кислорода, выпуская их в сосуд №3 (и закрывает перед всеми остальными). Перед молекулами воды обе дверцы всегда закрыты. Таким образом, через некоторое время продукты диссоциации будут удалены из сосуда №1, но т.к. он поддерживается при постоянной температуре, некоторое количество молекул воды вновь диссоциирует. Так может продолжаться до тех пор, пока в сосудах №2 и №3 не будет собрано известное количество чистого водорода и кислорода, после чего их можно сжечь, используя полученную теплоту для производства работы, а затем вернуть систему в исходное состояние.

Подчеркнём, что, в отличие от демона Максвелла, демону Циолковского не нужно измерять скорость молекул – ему достаточно уметь различать молекулы по сортам.

Иначе – уже без участия демона, но с использованием полупроницаемых перегородок – мысленный эксперимент можно сформулировать в следующем наиболее простом виде: возьмём сосуд, разделённый на две половины идеальной полупроницаемой перегородкой. В начале эксперимента слева от мембраны находится водород (или иной двухатомный газ) при постоянной температуре, справа – вакуум. Перегородка проницаема для атомов водорода, но непроницаема для молекул. Часть молекул водорода всегда диссоциирована, следовательно, некоторое количество атомов будет проникать в правую часть сосуда (где затем рекомбинирует). Т.к. левая часть сосуда поддерживается при

постоянной температуре, переток водорода в правую часть будет продолжаться до тех пор, пока плотности газа по обе стороны мембраны не сравняются. Однако это означает, что в правой части сосуда выделится энергия рекомбинации, которую можно использовать для совершения работы. Убрав перегородку, и изотермически сжимая газ, можно вернуть систему в первоначальное состояние. Путём подбора параметров и, при необходимости, сорта газа, можно добиться того, что на возвращение системы в исходное состояние будет затрачено меньше энергии, чем получено при использовании теплоты рекомбинации.

Демон-«разделитель» рассматривался и ранее, однако считался вполне «законным» – т.к. он не приводит к парадоксам и противоречиям со Вторым началом [6] (по крайней мере, если не принимать во внимание диссоциацию): «разделение ... не требует обязательно вмешательства сверхестественного существа, так как может быть осуществлено с помощью физического прибора, который хотя и не может быть реализован на теперешнем уровне знаний, но вполне мыслим» (имеются в виду именно идеальные полупроницаемые перегородки). Однако диссоциация меняет картину. Вероятно, вышеизложенное является аргументом в пользу мнения, что некорректно использовать идеальные полупроницаемые перегородки даже в мысленных экспериментах – как это делается, например, в [6], при анализе парадокса Гиббса и других вопросов.

Литература

1. Thomson W. (*Lord Kelvin*) The Sorting Demon Of Maxwell. Abstract of a Friday evening Lecture before the Royal Institution of Great Britian, February 28, 1879. - Proceedings of the Royal Institution. – vol. IX . – p. 113.
2. Brillouin L. Maxwell's Demon Cannot Operate: Information and Entropy. – J. of Appl. Phys. – 1951. – Т. 22. – № 3. – С. 334-337.
3. Поплавский P.П. Демон Максвелла и соотношения между информацией и энтропией. – УФН. – 1979. – Т. 128. – № 5. – С. 165-176.
4. Maruyama K., Nori F., Vedral V. Colloquium: The physics of Maxwell's demon and information. – Reviews of Modern Physics. – 2009. – Т. 81. – № 1. – С. 1.
5. Zhiyue L., Dibyendu M., Christopher J. Engineering Maxwell's demon. – Phys. Today. – 2014. – Т. 67. – С. 60.
6. Шамбадаль П. Развитие и приложение понятия энтропии. – М.: Наука, 1967.
7. Гвай И.И. О малоизвестной гипотезе Циолковского. – Калуга, 1959.