



Наука / Физика

Демон Максвелла: наука невозможного

Впервые 1867 года Джеймс Клерк Максвелл в письме к Питеру Тейту высказал идею устройства, нарушающего второй закон термодинамики. Через четыре года представил ее в монографии «Теория тепла». В 1874 году другой великий физик, Томсон, назвал это устройство демоном Максвелла



Алексей Левин
6 мая 2011 19:40



0



0

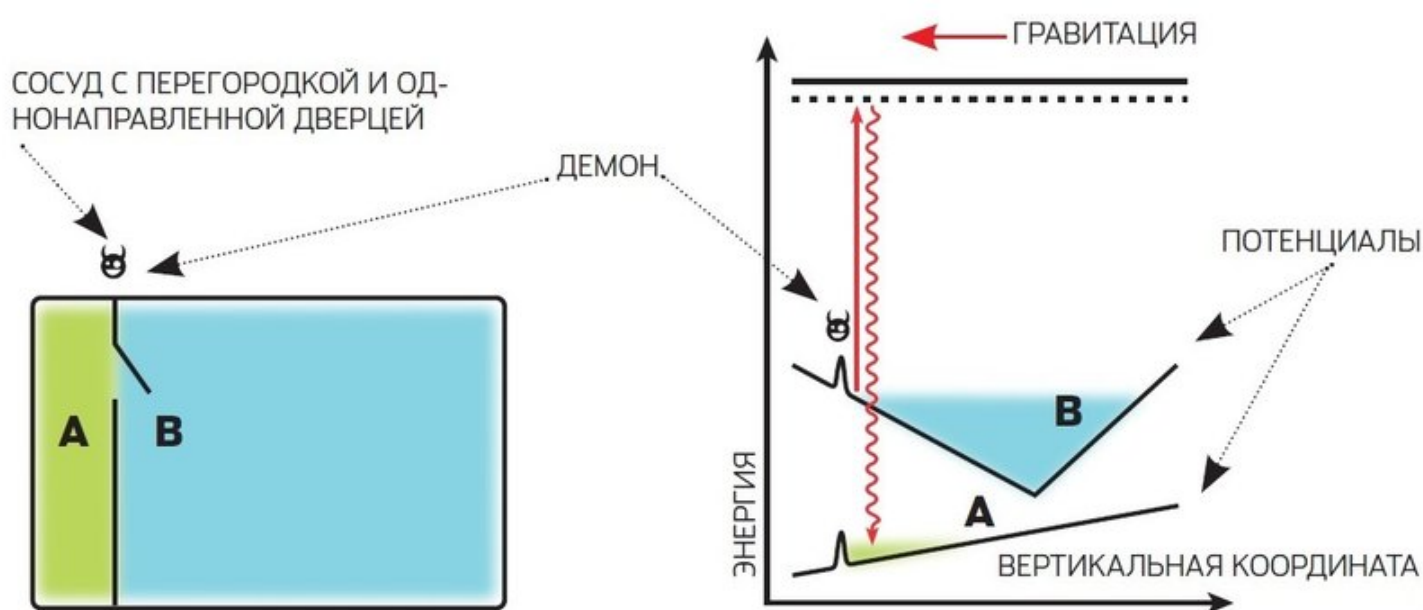


Если разделить сосуд с газом на две части непроницаемой перегородкой с дверцей, управляемой неким демоном, который пропускает налево лишь самые быстрые молекулы, а направо – самые медленные, то со временем левая половина контейнера заполнится горячим газом, а правая – холодным. Это означает, что демон снизил энтропию газа, вовсе не расходуя энергии и не увеличивая энтропии окружающей среды. Такой процесс запрещен вторым законом термодинамики.

Этот парадокс давно разгадан. В 1929 году приват-доцент Берлинского университета Лео Сциллард (в будущем один из виднейших участников Манхеттенского проекта) показал, что даже идеально действующий демон увеличивает собственную энтропию всякий раз, как получает информацию о движении молекулы. Энтропия всей системы остается неизменной, ибо демон и газ образуют единое целое. Судьба порой путешествует странными путями. Лео Сцилларду на склоне лет довелось лечиться у американского кардиолога Алвина Рейзена. У того был маленький сын Марк, который, когда вырос, стал физиком, профессором Техасского университета в Остине. В последние годы он и его коллеги разработали новый метод сверхглубокого охлаждения газов, в котором применяется лазерное устройство... аналогичное по своим действиям демону Максвелла.

Метод Рейзена

Уже несколько десятилетий физики доводят газ до температур в микрокельвины с помощью доплеровского поглощения лазерного излучения. Однако профессор Рейзен объяснил «Популярной механике», почему этот метод его не устраивает: «Он хорош, но слишком привередлив. Так можно охладить лишь отдельные вещества, в основном пары щелочных металлов. Наш метод гораздо более универсальный. Он применим для любого газа, атомы или молекулы которого могут находиться в двух долгоживущих метастабильных квантовых состояниях. Существует множество веществ, отвечающих этому требованию».

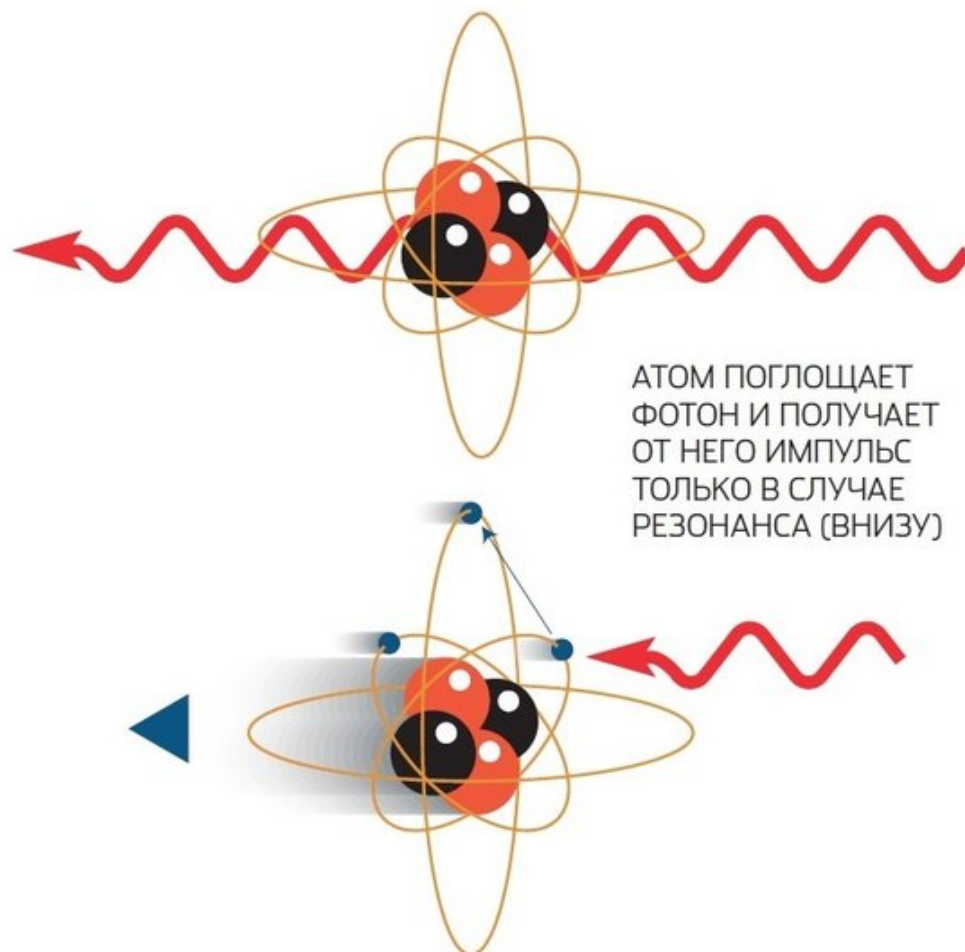


Классический демон на страже дверцы в перегородке сосуда (слева) и схема трехуровневой системы в эксперименте Рейзена (справа). Атомы в магнитно-гравитационной ловушке с помощью

оптической накачки лазером в данном случае это и есть демон) переводятся из состояния В в состояние А через промежуточное состояние).

Метод, разработанный группой Рейзена, заключается в том, что сначала газ охлаждают до нескольких милликельвинов с помощью одного из надежных традиционных способов и запирают в магнитной ловушке, на которую направлены два лазера. Луч одного лазера пересекает полость ловушки в середине, а другой освещает лишь одну половину- допустим, правую.

«Для определенности будем считать, что газ атомарный, — говорит профессор Рейзен. — Назовем одно из возможных состояний его атомов синим, другое — красным. Настроим центральный лазер так, чтобы его излучение отталкивало атомы, пребывающие в красном состоянии. Вторым лазер переводит атомы из синего состояния в красное. Будем считать, что сначала все атомы синие. Заполним ими ловушку и включим центральный лазер. Поскольку красных атомов нет, излучение и газ никак не взаимодействуют. Теперь подадим ток в боковой лазер. Каждый атом, который встретится с испущенным им фотоном, перейдет из синего состояния в красное. Если такой «перекрашенный» атом приблизится к центральной плоскости ловушки, его отбросит назад луч первого лазера. В результате в правой зоне будут накапливаться красные атомы, а левая опустеет. Так что наша пара лазеров работает аналогично демону Максвелла. При этом температура газа не меняется, а его давление, естественно, растет».



Атомы обладают собственной частотой колебаний, и если попасть в резонанс, то есть облучить его фотонами соответствующей частоты, атом поглотит его. Если частота фотонов будет чуть ниже, они будут поглощаться только атомами, движущимися навстречу (за счет смещения резонансной частоты благодаря эффекту Доплера). При поглощении фотон будет передавать атому импульс, уменьшая его скорость и тем самым «охлаждая» его (атом излучает фотоны, однако направление излучения спонтанно, так что в целом оно не оказывает влияния на импульс атома). Таким способом можно охладить атомы до температур порядка десятков милликельвин. Дальнейшее усовершенствование этого способа, за разработку которого физикам Стивену Чу, Уильяму Филипс и Клоду Коэн-Таннуджи в 1997 году вручили Нобелевскую премию, предусматривает охлаждение несколькими лазерными пучками в неоднородном магнитном поле, что позволяет достигать температур в сотни микрокельвин. Самая совершенная разновидность этой методики, которая позволяет достичь десятков и даже единиц микрокельвин — т.н. сизифово охлаждение атомов в лазерных пучках, которые за счет поляризации создают серию стоячих волн, проходя через которые, атомы теряют энергию, как бы поднимаясь «в гору» (отсюда и название).

Холодный газ, горячее излучение

Однако где же эффект охлаждения? «Теперь, — продолжает свое объяснение профессор Рейзен, — будем манипулировать центральным лазером таким образом, чтобы газ медленно заполнил всю полость ловушки. При таком расширении газ охлаждается. Вот, собственно, и все — цель достигнута. Эта теория уже проверена на опыте еще три года назад. Тогда мы провели первый эксперимент — охладил пары рубидия в тысячу

раз (от милликельвинов до микрокельвинов). Эту технику мы назвали однофотонным охлаждением, поскольку для перехода между состояниями атому требуется рассеять всего один фотон. А вот доплеровский метод охлаждает газ посредством торможения атомов, для чего требуется много фотонов».



А как же энтропия? «С ней все в порядке, — успокоил нас профессор Рейзен. — Когда газ соберется в правой зоне, его энтропия, естественно, снизится. Однако вспомним, что кванты лазерного излучения при встрече с атомами хаотически рассеиваются во все стороны. При этом растет энтропия излучения, причем этот прирост полностью компенсирует снижение энтропии газа. Так что лазерный демон работает в полном соответствии с теорией Сцилларда. Конечно, и сам Максвелл, и еще несколько поколений физиков не верили в реальную осуществимость столь тонкого манипулирования газовыми частицами. Я и сам лет двадцать назад считал бы это чистой фантастикой. Но наука нередко добивается, казалось бы, невозможных целей — и это как раз такой случай. Думаю, Максвеллу бы наша разработка понравилась».

Статья опубликована в журнале «Популярная механика» ([№6, Июнь 2011](#)).

Понравилась статья?

Самые интересные новости из мира науки: свежие открытия, фотографии и

невероятные факты у вас на почте.

OK

Я соглашаюсь с [правилами сайта](#)

[#Физика частиц](#)

16 мая 2011 19:40

 0

 0

ИНТЕРЕСНОЕ В СЕТИ

ПОКАЗАТЬ БОЛЬШЕ

ПОДПИСКА НА НОВОСТИ

Введите email

ОК

Нажимая ОК, вы соглашаетесь с условиями
пользовательского соглашения



№3, Март 2019

[Подробнее о номере](#)

Подписка

МЫ В СОЦСЕТЯХ



Популярная Механика

СВЕЖИЙ НОМЕР

РЕКЛАМА

САЙТ

Для Android

В журнале

Контакты

На сайте

На сайте

Правила сообщества

В моб. приложениях

Правовая информация

16+

Перепечатка и любое воспроизведение материалов
сайта возможны лишь с письменного разрешения
ООО «Фэшн Пресс».



Партнер Рамблера

Дизайн: agrigorev.ru

© ООО «Фэшн Пресс», 2017