

Физический принцип холодной стены

Русский переводчик иностранного сочинения по астрономии встретил в тексте ссылку на «физический принцип холодной стены».

В учебниках и курсах физики он не нашёл упоминания о таком принципе. Знаете ли Вы, в чём он состоит?

Когда переводчик обратился ко мне с просьбой разъяснить выражение «принцип холодной стены», я убедился, что ни в одном из трёх десятков имеющихся у меня под рукой русских и иностранных курсов физики принцип этот не упоминается. Мне вспомнилось, однако, что о нём говорилось в том старинном учебнике, в который я часто заглядывал, когда был школьником. Это объемистый французский учебник Гано, переведённый и изданный Павленковым. Теперь он стал книжной редкостью, но можно найти перевод более поздней переработки этого учебника (Гано-Маневрие «Полный курс физики»). Параграф о принципе холодной стены в нём уцелел. Вот он: «Принцип Уатта, или принцип охлажденной стенки». Предположим, что у нас есть два сосуда (рис. 1): *A*, содержащий воду при 100°C , и *B*, содержащий воду при 0°C . Пока они не сообщаются, упругость паров в них не одинакова: в *B* – 4,6 мм рт. ст., в *A* – 760 мм рт. ст. Но когда кран *C* открывается, пар из *A* поступает в *B* и там тотчас превращается в воду; поэтому пар в сосуде *A* не может иметь давления больше, чем в *B*.

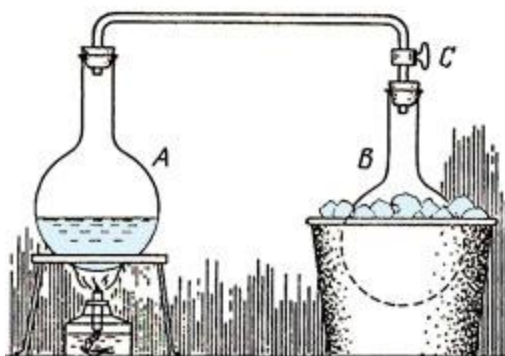


Рис. 1. Опыт для пояснения «принципа холодной стены».

Происходит перегонка из *A* в *B* без увеличения упругости (пара в *B*). Можно сформулировать следующий принцип, установленный впервые Уаттом: «Если два резервуара, заключающие одну и ту же жидкость при различных температурах, сообщаются между собою, то в них устанавливается одинаковая упругость паров, равная максимальной упругости, при более низкой из обеих температур».

Читателю, которому известен поучительный физический приборчик, называемый «криофором», знаком и принцип холодной стены, так как действие прибора основано именно на этом начале. Прибор состоит из двух полых стеклянных шаров, соединенных трубкой (рис. 2). В приборе имеется немного воды с паром над ней; воздух изнутри выгнан. Перелив воду в верхний шар, нижний погружают в охлаждающую смесь. Согласно «принципу холодной стены», над водою в верхнем сосуде должно установиться низкое давление того сосуда, который погружен в охлаждающую смесь. Под пониженным давлением вода закипает, но образующийся пар конденсируется в холодном нижнем шаре – и кипение происходит так энергично, что вследствие усиленной потери тепла на парообразование вода в верхнем шаре замерзает, хотя он и не окружен льдом.

Уатт воспользовался этим принципом для устройства своего холодильника: отработавший пар из цилиндра сам устремляется в холодильник и там конденсируется.

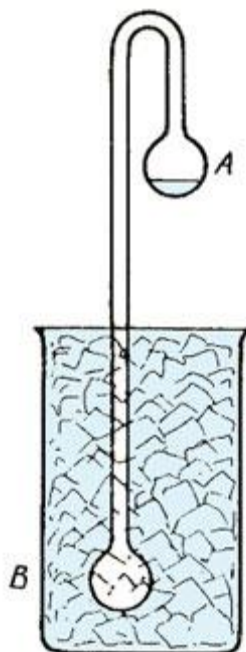


Рис. 2. Криофор (при охлаждении нижнего сосуда, в верхнем вода замерзает).

До Уатта, в машине Ньюкомена, для конденсирования отработавшего пара впрыскивали в цилиндр холодную воду. При этом приходилось охлаждать не только самый пар, но и, прежде всего, стенки цилиндра, без чего конденсация не происходила; между тем при следующем ходе поршня в охлажденный цилиндр впускался горячий пар, первые порции которого конденсировались на стенках до тех пор, пока цилиндр не приобретал температуры пара в котле. Отсюда ясно, как невыгоден был такой способ конденсации: он требовал большого расхода пара и большого количества холодной воды, иначе говоря, лишнего расхода угля. Вот почему до-уаттовские машины имели такой невероятно низкий коэффициент полезного действия (0,3%). Уатт, в числе других улучшений паровой машины, придумал холодильник, основанный на открытом им «принципе холодной стены»: пар сам покидает цилиндр, оставляя его стенки горячими, и конденсируется вне его, в холодильнике.

Читателя, вероятно, интересует, как мог этот принцип, имеющий, казалось бы, только техническое применение, понадобиться в астрономии. Между чем ему принадлежит веское слово в вопросах, связанных с вращением ближайших к Солнцу планет Меркурия и Венеры.

Меркурий движется вокруг Солнца так, что его «сутки» равны его «году»: он неизменно обращён к Солнцу одной и той же своей стороной. На этой непрерывно озаряемой Солнцем стороне планеты стоит вечный день и страшный зной; на другой, всегда обращенной к мраку мирового пространства, – вечная ночь и сильнейший холод, мороз, близкий к температуре мирового пространства, к -264°C^* . На холодной стороне Меркурия атмосфера должна сгуститься и замерзнуть, даже если она состоит из водорода. Но согласно принципу Уатта, к этой «холодной стене» планеты должна притечь атмосфера с дневной стороны, где установится то низкое давление, которое господствует над сжиженной атмосферой холодной стороны. Перетекающая часть атмосферы при низкой температуре тоже сгустится в жидкость – и так будет продолжаться до тех пор, пока на холодной стороне Меркурия не соберется атмосферная оболочка всей планеты. Следовательно, Меркурий не может обладать газообразной атмосферой: это неизбежно вытекает из принципа холодной стены при равенстве периодов вращения планеты вокруг оси и обращения вокруг Солнца.

По вопросу о том, какова продолжительность вращения Венеры, мнения астрономов расходятся. Одни считают, что для этой планеты существует такое же равенство продолжительности «суток» и «года», как и для Меркурия. Другие считают период вращения Венеры, её «сутки», гораздо короче её «года». Принцип холодной стены склоняет весы спора в сторону короткого периода вращения, так как

непосредственными наблюдениями установлено присутствие у Венеры атмосферы: при равенстве «суток» и «года» атмосферу Венеры постигла бы участь атмосферы её соседа Меркурия.

Принцип холодной стены разрушает и догадки Герберта Уэллса об атмосфере Луны, высказанные в остроумном его романе «Первые люди на Луне». Романист допускает, что атмосфера Луны ночью замерзает, а днем тает и испаряется, становится вновь газообразной. Однако одновременное существование на одной половине Луны сжиженного газа, а на другой – того же вещества в состоянии газообразном, как мы уже знаем, невозможно. «Должна происходить, – писал об этом проф. О.Д. Хвольсон, – непрерывная дистилляция воздуха, и нигде и никогда он не может достигнуть сколько-нибудь заметной упругости».

*Источник: «Знаете ли вы физику?» Я.И. Перельман/
/Библиотечка «Квант», выпуск 82, – М.: Наука, 1992.*

Комментарии к статье

Первое издание данной работы Я. Перельмана увидело свет аж в 1934г, в то время учёные-астрономы ещё считали, что Меркурий постоянно обращён к Солнцу одной и той же стороной, и один оборот вокруг оси занимает у него те же 87,97 суток. Наблюдения деталей на поверхности Меркурия, выполненные на пределе разрешающей способности, казалось, не противоречили этому. Данное заблуждение было связано с тем, что наиболее благоприятные условия для наблюдения Меркурия повторяются через тройной синодический период, то есть 348 земных суток, что примерно равно шестикратному периоду вращения Меркурия (352 дня), поэтому в различное время наблюдался приблизительно один и тот же участок поверхности планеты. С другой стороны, некоторые астрономы полагали, что меркурианские сутки примерно равны земным. Истина раскрылась только в середине 1960-х годов, когда была проведена радиолокация Меркурия.

Оказалось, что меркурианские звёздные сутки равны 58,65 земных суток, то есть 2/3 меркурианского года.

Близость к Солнцу и довольно медленное вращение планеты, а также отсутствие атмосферы приводят к тому, что на Меркурии наблюдаются самые резкие перепады температур в Солнечной системе. Средняя температура его дневной поверхности равна 623 K ($349,9\text{ }^{\circ}\text{C}$), ночной – всего 103 K ($-170,2\text{ }^{\circ}\text{C}$). Минимальная температура на Меркурии равна 90 K ($-183,2\text{ }^{\circ}\text{C}$), а максимум, достигаемый в полдень на «горячих долготах» при нахождении планеты близ перигелия – 700 K ($426,9\text{ }^{\circ}\text{C}$).

При пролёте космического аппарата «Маринер-10» мимо Меркурия было установлено наличие у планеты предельно разреженной атмосферы, давление которой в 5×10^{11} раз меньше давления земной атмосферы. В таких условиях атомы чаще сталкиваются с поверхностью планеты, чем друг с другом. Атмосферу составляют атомы, захваченные из солнечного ветра или выбитые солнечным ветром с поверхности – гелий, натрий, кислород, калий, аргон, водород. Среднее время жизни определённого атома в атмосфере около 200 суток.

По материалам Википедии, 2010

* Значительная вытянутость орбиты Меркурия обуславливает на границе областей вечного дня и вечной ночи существование промежуточной зоны, куда Солнце заглядывает в течение некоторой части года. Это обстоятельство, однако, не меняет дальнейших выводов.