

...я исследовал остроумно найденную...формулу для количества, или градуса, теплоты в жидких смесях...

Георг Рихман

С покойным проф. Рихманом делал физико-химические опыты для исследования градуса теплоты, который на себя вода принимает от погашенных в ней минералов, прежде раскаленных.

Михаил Ломоносов

Ничего не зная о природе теплоты, можно построить полную систему термометрии, если смешивать горячую и холодную воду и в качестве термоскопа пользоваться нашими тепловыми ощущениями.

Уильям Томсон (Кельвин)

...даже без помощи термометров мы можем уловить стремление теплоты передаваться от какого-либо более горячего тела к более холодным окружающим телам до тех пор, пока она не будет распределена между ними так, что ни одно из них не будет более склонно забирать теплоту от остальных.

Джозеф Блэк

Внешнее воздействие, выводящее систему из термодинамического равновесия, вызывает в ней процессы, стремящиеся ослабить результаты этого воздействия.

Анри Ле Шателье

А так ли хорошо знакомо вам тепловое равновесие?

Разумеется, хорошо! Ведь тепловые явления начинают изучаться в школе одними из первых. И за помещенными здесь фрагментами из научных трудов сразу угадываются задачи на использование уравнения теплового баланса или лабораторные работы по нахождению температуры смешиваемых жидкостей. Да и в обиходе мы постоянно сталкиваемся либо с определением температуры нашего тела с помощью градусника, либо с приготовлением ванны комфортной температуры — для чего мешаем горячую воду с холодной, либо с добавлением в обжигающий чай или кофе молока — не дожидаясь их остывания. В общем, тепловое равновесие — это так наглядно и просто!

Однако уже в старших классах, при знакомстве с законами термодинамики, эта простота перестает казаться столь очевидной. Как вы отнесетесь, например, к идее «тепловой смерти Вселенной», к которой должно было бы привести всеобщее стремление к выравниванию температуры? Оказывается, все попытки объяснить, почему этого не произошло за невообразимо долгую историю нашего мироздания, были тщетными до создания общей теории относительности.

Еще одним примером нетривиальности понятия термодинамического равновесия и его глубокой связи с другими разделами науки служит приведенный в эпиграфе принцип Ле Шателье. С иной его формулировкой вы встретитесь, например, при изучении электромагнитной индукции или химических процессов, что подтвердит его справедливость и за рамками тепловых явлений.


Нельзя обойти вниманием и проблемы, возникшие у классической термодинамики при переходе к исследованию открытых систем и неравновесных процессов, протекающих как в живой, так и в неживой природе. Ведь возникновение разнообразнейших структур, их «самоорганизация», в конечном счете само появление жизни не согласуются с устоявшимися представлениями о разрушении всего стройного и упорядоченного при эволюции к равновесным, хаотическим состояниям.

Вот как далеко могут привести нас размышления над вроде бы нехитрыми вопросами. Поэтому, обдумывая их,

не упустите за внешней незамысловатостью глубокого их содержания.

Вопросы и задачи

1. Почему калориметры делают из металла, а не из стекла?
2. Верно ли, что при теплообмене энергия всегда переходит от тел с большей внутренней энергией к телам с меньшей внутренней энергией?
3. Нормальная температура человеческого тела около 37°C . Отчего же нам не холодно при температуре воздуха 25°C и очень жарко при 37°C ?
4. Почему в очень жаркую погоду нет смысла обмахиваться веером?
5. Как влияет ветер на показания термометра в морозный день? Рассмотрите два случая: а) термометр находится в тени; б) термометр освещен солнечными лучами.
6. Если у вас имеются два непроградуированных термометра, то как определить, какой из них нагрет больше?
7. В жаркую погоду в тени один термометр кладут в лужу, а другой кладут на скамейку и поливают водой из той же лужи. Какой из термометров показывает более высокую температуру?
8. Можно ли довести воду до кипения, подогревая ее стоградусным паром при нормальном атмосферном давлении?
9. Большой сосуд с кипяченой водой, в котором плавает стакан с сырой водой, ставят на нагреватель. Через некоторое время вода в стакане закипает раньше, чем в сосуде. Как это объяснить?
10. Можно ли вскипятить воду в бумажном стаканчике?
11. Откуда берется энергия, поддерживающая кипение воды в чайнике в течение нескольких секунд после снятия чайника с газовой плиты?
12. На одинаковые плитки поставили две одинаковые кастрюли с равными количествами воды при одной и той же температуре. Через некоторое время в первую кастрюлю долили немного воды из кипящего чайника. В какой из кастрюль вода закипит быстрее?
13. В холодную воду опускают нагретый в кипящей воде



металлический брусок. В каком случае вода нагреется больше: если брусок алюминиевый или свинцовый? Объемы брусков одинаковы.

14. Медный кубик *A* имеет температуру $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, такие же медные кубики *B* и *C* имеют температуру $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Путем теплообмена между ними нужно охладить кубик *A* до температуры $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и нагреть за счет этого кубики *B* и *C* до температуры $75\text{ }^{\circ}\text{C}$. Возможно ли это? Теплообменом между кубиками и воздухом пренебречь.

15. Почему лед дольше не тает, если его завернуть в мокрую газету?

16. Зачем в погребах в холодную погоду рядом с овощами ставят большие емкости с водой?

17. Если в воду при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ бросить кусок льда при температуре $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$, произойдет заметное увеличение массы льда. Кристаллизация воды сопровождается выделением значительного количества теплоты, почему же при этом вода не нагревается?

18. При помещении в переохлажденную воду небольшого кристаллика льда вода немедленно начинает замерзать. Какую температуру должна была бы иметь переохлажденная вода, чтобы целиком превратиться в лед? Теплоемкость воды считать не зависящей от температуры.

19. В сосуде находятся в тепловом равновесии лед и вода одной и той же массы. Через сосуд пропускают пар при температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и в том же количестве. Какая установится конечная температура? Потерями тепла пренебречь.

Микроопыт

Поставьте рядом три вместительных сосуда: с горячей водой — слева, с холодной водой — справа и со смесью горячей и холодной воды — в центре. Подержав правую и левую руки в соответствующих емкостях несколько минут, одновременно опустите их в центральный сосуд. Опишите ваши ощущения и постарайтесь их объяснить.

Любопытно, что...

...теплом Платон считал то, что остается от огня в накаливаемых телах, когда пламя потушено; Бэкон полагал теплоту «расширяющимся движением»; по мнению Гассенди, тепло и холод — разные материи, причем холод состоит из «острых» атомов в форме тетраэдра; Галилей же учил, что холод не является «положительным качеством», а есть всего лишь отсутствие тепла.

...эксперимент, описанный в «Микроопыте», был проведен еще в XVII веке английским философом Джоном Локком для доказательства субъективности человеческих ощущений. Но, помимо философского значения, опыт навсегда закрыл возможность использовать наше тело в качестве термометрического прибора и дать с его помощью определение температуры.

...работа Рихмана «Размышление о количестве теплоты, которое должно получаться при смешивании жидкостей, имеющих определенные градусы теплоты», положенная им в 1744 году в Петербургской Академии наук, положила начало точным количественным расчетам в области теплотехники. Хотя сам Рихман не разграничивал понятия «температура» и «теплота», ему удалось вывести формулу для определения температуры смеси однородных жидкостей и экспериментально исследовать влияние на теплообмен температуры, формы и поверхности тел, а также скорости движения охлаждающей среды.

...опыты Рихмана повторил в 1772 году шведский физик Иоганн Вильке, введший затем единицу измерения количества теплоты. Она легла в основу современного опреде-

ления калории, правда это название возникло лишь в 1852 году во Франции. С появлением джоуля калория стала вытесняться из научного употребления, однако она до сих пор в ходу, например, при оценке энергетической ценности продуктов питания.

...несмотря на долгую путаницу в определении тепловых понятий и использование мифической материальной сущности — теплорода, к XIX веку был заложен фундамент термометрии — раздела физики, изучающего способы измерения температуры, и калориметрии — суммы методов измерения различных тепловых эффектов.

...давно известные тепловые явления длительное время представляли областью, совершенно обособленной от явлений механических. Неудивительно поэтому попытки ученых найти связь теплоты с механикой, трактуя, скажем, температуру как аналог давления в сплошной среде. Подобно тому как механическое равновесие в такой среде образуется при выравнивании давлений, тепловое равновесие требует равенства температур.

...понятие теплового равновесия, через которое в физике приходят к понятию температуры, можно характеризовать как динамическое равновесие, когда процессы молекулярного масштаба идут весьма интенсивно, но все макроскопические процессы прекращаются.

...первым примером процесса установления теплового равновесия, когда тепло передается от более хаотической системы к более упорядоченной, было броуновское движение. Маленькие частицы примеси в жидкости образуют систему, схожую с идеальным газом частиц, хотя и не взаимодействующих между собой, но испытывающих действие молекул жидкости, в которой они плавают.

...в нагретой плазме в одном месте могут быть две температуры. Каждая из входящих в состав плазмы систем — электроны и ионы — находится сама по себе в тепловом равновесии. Поток тепла между ионами и электронами тем не менее существует, но он очень слаб, и температуры выравниваются сравнительно медленно.

...опытная проверка первого закона термодинамики не один раз проводилась в специальных калориметрах, где измерялась теплота, выделяемая в процессах жизнедеятельности различными существами — от мыши до человека. Как оказалось, она полностью соответствовала энергии, поглощенной вместе с питательными веществами. Это отрицало идею о том, что организмы могут являться независимыми источниками какого-либо нового вида энергии, а в конечном итоге привело к представлению о живых организмах как об открытых термодинамических системах, далеких от состояния равновесия.

Что читать в «Кванте» о тепловом равновесии

(публикации последних лет)

1. «Костры в поле и русская баня» — 2002, № 1, с. 31;
2. «Тепловые свойства воды» — 2002, № 3, с. 10;
3. «Обратимые и необратимые процессы в термодинамике» — 2003, Приложение № 4, с. 44;
4. «Где найти прошлогдную зиму?» — 2004, Приложение № 4, с. 69;
5. «Теплоемкость равновесных тепловых процессов» — 2005, № 3, с. 44;
6. «Тепло и холод: физика и биология» — 2006, Приложение № 6, с. 100;
7. «Калейдоскоп «Кванта» — 2004, № 3, с. 32; 2007, № 1, с. 32;
8. «Работа газа при переходе из начального состояния в конечное» — 2007, № 3, с. 43;
9. «Температура» — 2007, Приложение №5.

Материал подготовил А.Леонovich

