

Рис. 1

ном итоге температура тела всюду станет одной и той же и равной температуре жидкости, окружающей

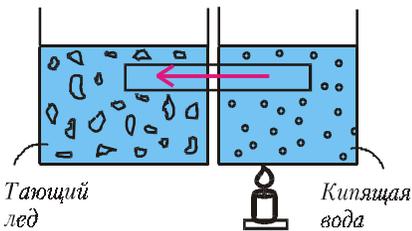


Рис. 2

тело. Во втором случае поток тепла в стержне будет существовать до тех пор, пока будет поддерживаться разность температур между концами стержня.

Как же описать охлаждение или разогрев тел не только на словах, но и количественно? Физики XVII – XVIII веков придумали специальную жидкость – флогистон. Где теплее, там ее больше, где холоднее – меньше. Течение флогистона обеспечивает выравнивание температур и другие тепловые явления. Еще А.Лавуазье (1743 – 1794) показал, что флогистон – фикция. Фикция-то фикция, но породила используемую и сегодня терминологию. Вернитесь к предыдущему абзацу. Ведь если *течет*, то жидкость, наверное? Выяснилось, впрочем, что *течь может не только жидкость*. Понятию «поток тепла» можно придать вполне определенный количественный смысл, не вспоминая о флогистоне.

Рассмотрим элемент объема ΔV в теле, который мал в сравнении с размерами тела, но в нем достаточно много атомов (молекул). Если изменяется температура T этого элемента объема, то изменяется и количество теплоты в нем (т.е. изменяется его внутренняя энергия). Изменение количества теплоты ΔW можно записать в виде $\Delta VC\Delta T$, где C –

теплоемкость единицы объема тела, т.е. величина, имеющая простой физический смысл: она равна изменению теплоты единицы объема тела при изменении температуры на один градус. Пусть в элементе объема ΔV нет источника тепла.¹ Если количество тепла W в элементе объема изменяется, то в отсутствие источника тепла это возможно только за счет того, что оно либо вносится (втекает) в элемент объема, либо выносится (вытекает) из него, а точнее: и вносится (втекает), и выносится (вытекает). Именно этот процесс описывает *плотность потока тепла*. Обозначим ее буквой q . Плотность потока тепла – вектор, поэтому, зная \vec{q} , мы знаем не только какова величина потока, но и куда он направлен. Размерность плотности потока тепла есть Дж/(м²·с). Воспользовавшись выписанной размерностью, нетрудно дать словесное определение плотности потока тепла (сделайте это самостоятельно).

Чтобы поток тепла, описываемый вектором \vec{q} , обеспечивал изменение со временем температуры T элемента объема ΔV , он должен подчиняться определенному соотношению. Для простоты рассмотрим неоднородно нагретый стержень. Изменение количества тепла в слое толщиной $2\Delta x$, середина которого имеет координату x , за время Δt определяется количеством тепла, протекающего через границы слоя:

$$C\Delta T \cdot 2S\Delta x = q_x(x - \Delta x)S\Delta t - q_x(x + \Delta x)S\Delta t$$

(S – сечение стержня). Отсюда полу-

¹ Может показаться, что это излишняя фраза: как внутри тела может быть источник тепла? Легко привести примеры, показывающие, что это возможно. Например, если по металлической проволоке течет электрический ток, плотность которого j , то в каждом единичном элементе объема в единицу времени выделяется тепло, равное ρj^2 , где ρ – удельное сопротивление металла. Другой пример: на стеклянную пластину падает свет, который частично поглощается пластиной. Чем дальше от источника света в глубь пластины, тем интенсивность света меньше. Куда девается энергия световых квантов при этом? В конечном итоге она тратится на разогрев пластины. В каждом элементе объема пластины выделяется тепло. Источник тепла тем мощнее, чем больше коэффициент поглощения и чем интенсивнее световой поток.

чаем искомое соотношение:

$$\frac{\Delta q_x}{\Delta x} = -C \frac{\Delta T}{\Delta t}, \quad (1)$$

где индекс « x » указывает, что поток тепла направлен вдоль оси X . Таким образом, скорость изменения температуры со временем определяется скоростью изменения плотности потока тепла вдоль стержня ($\Delta q_x/\Delta x$ называют *градиентом* q_x вдоль оси X). Если q_x не зависит от x , то $T = \text{const}$ (сколько тепла втекает, столько и вытекает).

Равенство (1) – запись закона сохранения. В данном случае – тепла. Подобные равенства встречаются часто. Пусть, например, частицы какого-то сорта растворены в жидкости или в твердом теле (сейчас неважно). Концентрацию растворенных частиц (их число в единице объема) обозначим n . Тогда, если концентрация неоднородна вдоль оси X , то

$$\frac{\Delta j_x}{\Delta x} = -\frac{\Delta n}{\Delta t}, \quad (1')$$

где j_x – плотность потока частиц вдоль оси X (размерности: $[n] = 1/\text{м}^3$, $[j_x] = 1/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$). Равенства (1) и (1') – еще не уравнения. Надо выяснить, от чего зависят q_x и j_x , тогда, возможно, они превратятся в уравнения. Бывает, что приходится выписывать не одно, а несколько уравнений, чтобы иметь возможность описать перенос тепла и/или вещества.

К выяснению того, как возникает поток тепла и от чего зависит q , подойдем феноменологически, т.е. на этом этапе мы не будем интересоваться *механизмом* переноса тепла.

Если температура однородна (т.е. не зависит от координат), то теплоперенос отсутствует. Естественной мерой неоднородности температуры может служить градиент температуры $\Delta T/\Delta x$. Разумно предположить, что

$$q_x = -\frac{\Delta T}{\Delta x}. \quad (2)$$

Мы феноменологически ввели коэффициент – *коэффициент теплопроводности*, размерность его легко установить сравнением с размерностью q : $[] = \text{Дж}/(\text{К} \cdot \text{м} \cdot \text{с})$. Знак минус в выражении (2) написан для того, чтобы коэффициент теплопроводности был положительным –