

по перемещению столбика жидкости в трубке, соединенной с шариком.

3. С помощью термоскопа можно установить ряд постоянных *температурных точек*, т. е. неизменных, хорошо воспроизводимых температур. Они используются при построении *температурных шкал*. Отметим наиболее важные из таких точек.

Если твердое тело и жидкость, состоящие из одного и того же вещества, находятся в контакте, то, в зависимости от температуры, твердое тело будет плавиться или, наоборот, жидкость затвердевать. При этом предполагается, что давление в системе поддерживается постоянным. Лишь при вполне определенной температуре, как показывает опыт, оба процесса — плавление и затвердевание — взаимно компенсируют друг друга. В этом случае массы жидкой и твердой фаз остаются неизменными. Тогда говорят, что жидкость и твердое тело находятся или сосуществуют в *фазовом равновесии*. Температура, при которой твердая и жидкая фазы одного и того же вещества сосуществуют в фазовом равновесии при нормальном атмосферном давлении (101325 Н/м^2), называется *нормальной точкой плавления* рассматриваемого вещества (сокращенно НТП).

Аналогичные определения вводятся для процессов *кипения* и *возгонки* (возгонкой называется превращение твердой фазы непосредственно в газообразную, минуя промежуточную — жидкую — фазу). Температура, при которой жидкость сосуществует в фазовом равновесии со своим паром при нормальном атмосферном давлении, называется *нормальной точкой кипения* (сокращенно НТК). Аналогично определяется *нормальная точка возгонки* (сокращенно НТВ). Примером вещества, которое при нормальном давлении не плавится, а возгоняется, может служить твердая углекислота (см. § 104, пункт 4).

Наконец, могут сосуществовать в фазовом равновесии три фазы одного и того же вещества — твердая, жидкая и газообразная. Однако для этого требуется не только вполне определенная температура, но и вполне определенное давление. Для воды, например, давление должно составлять 4,58 мм рт. ст. Температура, при которой сосуществуют в фазовом равновесии твердая, жидкая и газообразная фазы одного и того же вещества, называется *тройной точкой* этого вещества (сокращенно ТТ).

§ 3. Эмпирические температурные шкалы

1. Мы описали лишь способ, позволяющий убедиться в равенстве или различии температур двух тел. Но мы еще не определили температуру *количественно*. Решение этого вопроса сводится к установлению *температурной шкалы*, т. е. к принятию системы правил, с помощью которых каждая температура может быть охарактеризована определенным числом. Пока мы не располагаем коли-

чественным определением температуры, в выборе этих правил имеется широкий произвол. Необходимо только, чтобы соответствие между температурами и числами было взаимно однозначным.

Температурная шкала может быть установлена с помощью любого термоскопа. Проградуированный по определенному правилу термоскоп превращается в *термометр*, т. е. прибор, предназначенный для измерения температур. Важными требованиями, предъявляемыми к термометру, являются его *чувствительность*, *точность измерений* и их *воспроизводимость*. Другим полезным свойством термометра является *быстрота перехода* его в состояние теплового равновесия с телом, температура которого подлежит измерению.

Основной частью большинства термометров является *термометрическое тело*, приводимое в тепловой контакт с телом, температуру которого надо измерить. Физическая величина, служащая индикатором температуры, называется *термометрической величиной*. Так, в жидкостных термометрах термометрическим телом служит жидкость (например, ртуть) в резервуаре термометра, а термометрической величиной — ее объем. В термометрах сопротивления термометрическими телами являются металлические проволоки или полупроводники, термометрическими величинами — их электрические сопротивления. В термопарных термометрах термометрическим телом является термопара, термометрической величиной — электродвижущая сила, возникающая при наличии разности температур между спаями термопары.

2. Возьмем произвольный термометр и обозначим буквой a термометрическую величину (объем жидкости, электрическое сопротивление, электродвижущую силу и т. п.). При нагревании величина a должна меняться *монотонно*. Иначе между a и температурой T не будет взаимно однозначного соответствия. Так, объем определенной массы воды не годится в качестве термометрической величины, так как при нагревании он проходит через минимум (около 4°C). По самому смыслу величины a между ней и температурой T имеется функциональная связь:

$$T = f(a).$$

Однако вид функции $f(a)$ определить нельзя, пока не выбрана та или иная температурная шкала. Более того, само введение температурной шкалы принципиально сводится к выбору определенной функции $f(a)$. Надо условиться в качестве $f(a)$ взять какую-либо произвольную *монотонную функцию* величины a . Таким образом, с помощью одного и того же термометра можно построить бесконечное множество температурных шкал, отличающихся друг от друга выбором функции $f(a)$. Нет никаких принципиальных соображений, за исключением требований простоты, которые заставили бы предпочесть какую-либо одну из этих шкал перед другими. Про-

стейший способ состоит в том, чтобы в качестве $f(a)$ взять *линейную однородную функцию*, т. е. положить

$$T = Aa. \quad (3.1)$$

Постоянную A можно выбрать произвольно. Выбором этой постоянной однозначно определяется и единица температуры — *градус*. Однако в действительности поступают иначе. A именно, постоянную A вычисляют, приписывая какой-либо температурной точке определенную температуру или двум температурным точкам — определенную разность температур. Такие температурные точки называются *реперными*. До 1954 г. температурная шкала строилась по *двум реперным точкам* — нормальной точке кипения воды $T_{\text{к}}$ и нормальной точке плавления льда $T_{\text{пл}}$. (Под последней понимают равновесную температуру чистого льда и насыщенного воздухом воды.) Принималось, по определению, что разность температур этих точек $T_{\text{к}} - T_{\text{пл}}$ равна 100° . После этого постоянная A вычислялась по очевидной формуле

$$A = \frac{T_{\text{к}} - T_{\text{пл}}}{a_{\text{к}} - a_{\text{пл}}} = \frac{100}{a_{\text{к}} - a_{\text{пл}}}, \quad (3.2)$$

где $a_{\text{к}}$ и $a_{\text{пл}}$ — значения термометрической величины a в соответствующих реперных точках.

Экспериментальные исследования показали, однако, что тройная точка воды ($T_{\text{тр}}$) обладает лучшей воспроизводимостью, чем нормальные точки плавления льда и кипения воды. Поэтому было принято международное соглашение строить температурную шкалу по *одной реперной точке* — тройной точке воды. В так называемой *абсолютной термодинамической шкале температур* или *шкале Кельвина* принимается по определению, что температура этой точки равна точно 273,16 градусов. Постоянная A при таком построении температурной шкалы должна вычисляться по формуле

$$A = \frac{T_{\text{тр}}}{a_{\text{тр}}} = \frac{273,16}{a_{\text{тр}}}. \quad (3.3)$$

Такой выбор численного значения температуры тройной точки воды сделан для того, чтобы промежутки между нормальными точками плавления льда и кипения воды с максималенно возможной точностью составлял 100 градусов, если пользоваться газовым термометром с идеальным газом. Тем самым устанавливается преемственность шкалы Кельвина с ранее применявшейся шкалой с двумя реперными точками. Измерения показали, что температуры нормальных точек плавления льда и кипения воды в описанной шкале равны приблизительно 273,15 и 373,15 градусов соответственно.

3. Описанный способ построения температурной шкалы, равно как и значения температуры T , зависят от того, какая величина a принята в качестве индикатора температуры. Температура T ,

отсчитываемая по какому-либо термометру, называется *эмпирической температурой*, а соответствующая шкала температур — *эмпирической температурной шкалой*. Таким образом, в зависимости от выбора термометрической величины a , можно осуществить бесконечное множество эмпирических температурных шкал. Они будут совпадать между собой, вообще говоря, только в основных реперных точках, принятых при построении температурной шкалы (т. е. в тройной точке воды, когда шкала строится по одной реперной точке, или в нормальных точках плавления льда и кипения воды, если шкала строится по двум реперным точкам). Во всех остальных точках, как правило, шкалы совпадать не будут. Это означает, что различные термометры, например ртутный и спиртовый или термометры сопротивления с железной и медной проволокой, при измерении температуры одного и того же тела будут давать, как правило, разные показания. Для устранения возникшей неоднозначности можно было бы условно принять какой-либо определенный термометр за основной и по нему градуировать все остальные термометры. Но какой термометр следует принять за основной?

§ 4. Идеально-газовая шкала температур

1. При предварительном решении поставленного вопроса можно воспользоваться тем обстоятельством, что достаточно разреженные, так называемые *идеальные газы* с большой точностью подчиняются закону Бойля — Мариотта: *произведение объема V данной массы газа на его давление P зависит только от температуры*. Это произведение можно принять за термометрическую величину a , а самый газ — за термометрическое тело. Таким путем приходят к *идеально-газовой шкале температур*. Идеально-газовая температура — это температура, отсчитываемая по газовому термометру, наполненному сильно разреженным газом. Температуру по идеально-газовой шкале будем обозначать большой буквой T . При этом формула (3.1) переходит в

$$PV = CT, \quad (4.1)$$

где C — постоянная, зависящая только от массы и химической природы газа.

Преимущество идеально-газовой шкалы температур перед всеми прочими эмпирическими температурными шкалами состоит в том, что, как показывает опыт, температура T , определенная по формуле (4.1), очень слабо зависит от химической природы газа, который наполнен резервуар газового термометра. Показания различных газовых термометров при измерении температуры одного и того же тела очень мало отличаются друг от друга. Поэтому, впрямь до более совершенного определения (см. § 31), мы будем понимать под температурой T величину, измеряемую с помощью идеально-газового термометра.