

Число возможных Т. ш., различающихся по термометрич. свойству и виду зависимости  $t(x)$ , может быть неограниченно велико.

При введении зависимости  $t(x)$  обычно задают значения темп-р  $t_1$  и  $t_2$  для двух фиксированных (реперных) точек, в к-рых термометрич. свойство принимает значения  $x_1$  и  $x_2$ . В Т. ш. Цельсия, Реомюра и Фаренгейта для  $t_1$  принята темп-ра плавления льда со значениями соответственно  $0^\circ\text{C}$ ,  $0^\circ\text{R}$  и  $32^\circ\text{F}$ , для  $t_2$  — темп-ра кипения воды при атм. давлении со значениями  $100^\circ\text{C}$ ,  $80^\circ\text{R}$  и  $212^\circ\text{F}$  соответственно. Разность  $t_2 - t_1$  наз. основным интервалом Т. ш., к-рый определяет величину единицы темп-ры по данной Т. ш. Соотношение для пересчёта значений темп-ры из одной из приведённых шкал в другую имеет вид

$$t^\circ\text{C} = 1,25 t^\circ\text{R} = (5/9)(t^\circ\text{F} - 32^\circ\text{F}).$$

Осн. требование, к-рое, как правило, предъявляется к Т. ш., — измеренные по ней темп-ры должны совпадать с темп-рами, входящими в ф-лы термодинамики и статистич. физики, служащие основой для теплофиз. расчётов. Такая Т. ш. наз. термодинамической. Она обычно вводится посредством цикла Карно, в к-ром рабочее тело идеальной тепловой машины получает от нагревателя кол-во теплоты  $Q_1$  и отдаёт холодильнику кол-во теплоты  $Q_2$ ; отношение  $Q_1/Q_2$  и КПД машины  $\eta = (Q_1 - Q_2)/Q_2$  оказываются ф-циями только темп-р нагревателя и холодильника, не зависящими ни от природы рабочего тела (*Карно теорема*), ни от Т. ш., по к-рой эти темп-ры измерены. Поэтому при использовании кол-ва теплоты в качестве термометрич. свойства  $x$  для получения определ. Т. ш. необходимо задать дополнит. условия как на вид ф-ции  $T(x)$ , так и на числовые значения термодинамич. темп-ры.

Созданию термодинамич. Т. ш. предшествовало применение газового термометра, градуированного по шкале Цельсия, термометрич. свойством в нём служило давление  $p_1$ . При темп-рах  $t_1$  и  $t_2$  термометрич. свойства  $x_1 = p_1$  и  $x_2 = p_2$ , по совр. данным, отношение  $p_2/p_1 = 1,3661$  и  $p = 0$  при  $t = -273,15^\circ\text{C}$ . При построении термодинамич. Т. ш. У. Томсон (лорд Кельвин, 1850) сохранил размер единицы темп-ры таким же, как по Т. ш. Цельсия, положив, что разность темп-р кипения воды при атм. давлении и плавления льда также равна 100. Второе допущение, определившее зависимость темп-ры от термометрич. свойства, состояло в том, что отношение кол-ва теплот и темп-р в цикле Карно равно отношению темп-р:  $Q_2/Q_1 = T_2/T_1$ . В определённой термодинамич. Т. ш. Кельвина наименьшая возможная темп-ра, соответствующая  $\eta = 1$  в цикле Карно, имеет значение  $T_1 = 0$  (абс. нуль), а в газовом термометре, заполненном идеальным газом,  $p = 0$  при  $T_1 = 0$ . Второй реперной точкой термодинамич. Т. ш., темп-ра по к-рой измеряется в кельвинах (К), служит точка плавления льда при атм. давлении:  $T_2 = 273,15$  К. Связь значений темп-ры по термодинамич. Т. ш.  $T(\text{К})$  и по газовому термометру, градуированному по шкале Цельсия,  $t^\circ\text{C}$  описывается ф-лой

$$T(\text{К}) = t^\circ\text{C} + 273,15 \text{ К}.$$

В США часто пользуются термодинамич. Т. ш. Ранкина, в к-рой размер единицы темп-ры выбран таким же, как по Т. ш. Фаренгейта; значения темп-р по шкале Кельвина и по шкале Ранкина  $T(\text{R})$  связаны соотношением  $T(\text{К}) = 5/9 T(\text{R})$ . Термодинамич. шкала может быть также введена согласно *второму началу термодинамики*; можно строго доказать, что темп-ра  $T$ , определяемая в этом случае как производная от энергии  $\mathcal{E}$  по энтропии  $S$ :  $T = d\mathcal{E}/dS$ , совпадает с темп-рой, введённой посредством цикла Карно.

При измерении темп-ры по термодинамич. Т. ш. на практике применяют, как правило, не цикл Карно, а одно из строгих следствий второго начала термодинамики, связывающих удобно измеряемое термометрич. свойство с термодинамич. темп-рой: законы идеального газа, законы излучения *абсолютно чёрного тела*, *Кюри закон* для идеального парамагнетика, *Найквиста формулу* для тепло-

вых флуктуаций напряжения на электрич. сопротивлении и т. д. Термометры, для к-рых  $T(x)$  получена из этих соотношений, часто наз. первичными. В интервале темп-р 3—400 К наиб. высокую точность измерения обеспечивает газовый термометр, а в интервале 400—1330 К — радиационный термометр. Первичные термометры высокой точности представляют собой, как правило, громоздкие устройства, непригодные для практич. измерений. Их назначение — передать термодинамич. Т. ш. удобным чувствительным и стабильным вторичным термометрам. Поскольку для термометрич. свойства вторичного термометра, напр. электрич. сопротивления металла, нельзя заранее найти точную зависимость  $T(x)$ , его градуируют по термодинамич. Т. ш. в числе точек, достаточном для получения всей градуировочной кривой. Такая процедура очень трудоёмка, когда число градуируемых вторичных термометров велико. Если, однако, температурные зависимости однотипных вторичных термометров слабо отличаются друг от друга, что имеет место при использовании в термометрах сопротивления платины высокой чистоты, то процедура сильно упрощается. В этом случае измеряется и рассчитывается предельно точная стандартная зависимость электрич. сопротивления одного термометра от  $T$ , а малые поправки для градуировочных кривых остальных термометров вычисляют по результатам измерений их сопротивлений в небольшом числе реперных точек, темп-ры к-рых по термодинамич. Т. ш. определены заранее.

Описанный способ градуировки термометров лежит в основе международной Т. ш., к-рая воспроизводит темп-ры по термодинамич. Т. ш. с мин. отклонениями от последней. Важное преимущество междунар. Т. ш. — её независимость от конкретного термометра — носителя шкалы.

В 1990 Международный комитет по мерам и весам принял новую международную температурную шкалу МТШ-90, основанную на наиб. точных измерениях термодинамич. темп-р. Темп-ры осн. реперных точек МТШ-90 приведены в табл. В диапазоне от своего ниж. предела,

Температуры основных реперных точек МТШ-90

Температура, К	Вещество	Тип точки
от 0,65 до 5	He-3, He-4	$p_s(T)$
13,8033	H <sub>2</sub>	т. т.
17	H <sub>2</sub> или He	$p_g(T)$ или г. т.
20,3	H <sub>2</sub> или He	$p_s(T)$ или г. т.
24,5561	Ne	т. т.
54,3584	O <sub>2</sub>	т. т.
83,8058	Ar	т. т.
234,3156	Hg	т. т.
273,16	H <sub>2</sub> O	т. т.
302,9146	Ca	т. пл.
429,7485	In	т. т.
505,078	Sn	т. т.
692,677	Zn	т. т.
933,473	Al	т. т.
1234,93	Ag	т. т.

$p_s, T$  — температура и давление насыщенных паров; т. т. — тройная точка; г. т. — газовый термометр; т. пл. — точка плавления; т. з. — точка затвердевания.

равного 0,65 К, и до 5 К МТШ-90 воспроизводится по давлению насыщенных паров гелия. В интервале 3—13,8 К используется газовый термометр, а в интервале 13,8—24,5 К допускается применение как газового термометра, так и платинового термометра сопротивления. Выше 24,5 К и вплоть до 1235 К МТШ-90 воспроизводится платиновым термометром, а при более высоких темп-рах — радиационным *пирометром*, измеряющим отношение спектральных плотностей светового потока абсолютно чёрных тел согласно *Планка закону излучения*.

В области темп-р ниже 0,65 К чаще других применяют Т. ш., основанные на законе Кюри для магн. восприимчивости электронных и ядерных парамагнетиков, флуктуациях напряжений на электрич. сопротивлении, а также на