

## ГЛАВА 7

### ОСНОВЫ УЧЕНИЯ О ТЕПЛОТЕ

Уже в донаучном опыте было известно различие между теплыми и холодными телами и уравнивание, которое наступало при соприкосновении различно нагретых тел. Было известно даже, что если тело  $A$  находится в тепловом равновесии с двумя другими телами,  $B$  и  $C$ , то  $B$  и  $C$  также находятся в равновесии между собой. Это эмпирическое знание еще до появления собственно научного исследования привело к установлению «степеней теплоты» на одномерной шкале, т. е. к созданию качественного понятия температуры, при котором можно было говорить о более высокой или более низкой температуре, не связывая ее с мерой и числом.

С возникновением научного исследования появилась потребность измерять температуру количественно. Галилео Галилей (1564—1642), Евангелиста Торричелли (1608—1674), Отто Герике (1602—1686) и многие их современники стремились построить термометры; в основу они положили тепловое расширение жидкостей и газов, которым в большинстве случаев пользуются и сейчас. Правда, в этих первых термометрах не были устранены многие побочные влияния, например влияние давления воздуха, и поэтому они давали лишь условно применимые результаты. Приходилось также сталкиваться с техническими трудностями согласования показаний термометров одной и той же конструкции. Первым, кто преодолел эти трудности и всякие нарушающие влияния и тем самым стал основате-

У Кутяну же когда много осн. и  
е. . . ?

лем термометрии, был Габриэль Даниэль Фаренгейт (1686—1736), работы которого относятся к 1709 г. Его конструкция применяется и теперь в комнатных термометрах. Это было первым шагом науки о теплоте.

Эти термометры давали возможность установить постоянные метки на температурной шкале, что было чем-то подобным открытию линий Фраунгофера в спектре (гл. 4). Эти метки сопоставлялись с числами, но всегда оставалась одна проблема, имеющая сходство с проблемой измерения времени, несмотря на чисто эмпирический характер понятия температуры. Ведь в обоих случаях — так же, как и в случае спектра — физика стоит перед одномерным континуумом и должна охватить его мерой и числом. И здесь ведущим является стремление приспособить эту систему мер для возможно более простой формулировки законов природы.

Но более старые температурные шкалы были все без исключения произвольными. Произвольным являлось уже то, что именно тепловое расширение использовалось для измерения температуры. Ведь эту роль могли выполнять и другие свойства тел; для высоких или крайне низких температур в настоящее время часто вместо расширения применяют электродвижущую силу термоэлементов или электрическое сопротивление болометрической проволоки. При использовании теплового расширения произвол заключался и в выборе термометрического вещества: ртути, спирта, газа. Произвол отчасти был устранен, когда применили «идеальные газы»; их тепловое расширение происходит одинаково, как показали измерения, опубликованные в 1801 г. Джоном Дальтоном (1766—1844) и в 1802 г. Жозефом Луи Гей-Люссаком (1778—1850). В 1842 г. с повышенной точностью их подтвердил Генрих Густав Магнус (1802—1870) и независимо от него Анри Виктор Реньо (1810—1870). Здесь имеют дело, по крайней мере, со свойством *не одного* тела. Для этой проблемы является второстепенным, принимается ли за нулевую точку шкалы температура определенной охлаждающей

смеси, как это делает Фаренгейт, или точка замерзания воды, как это делают Рене Реомюр (1683—1757) и Андерс Цельсий (1701—1744). Другой фиксированной точкой считается температура кипящей воды: 212, 80 или 100 градусов. Проблема была решена лишь в 1854 г. вторым законом термодинамики, о котором будет речь в главе 9. Он позволил ввести естественную температурную шкалу для измерения количеств теплоты.

---

Второй большой шаг в учении о теплоте сделал вскоре после 1760 г. Джозеф Блэк (1728—1799), который ясно указал на различие между количеством тепла и температурой. Единица количества теплоты — калория — была определена как количество теплоты, которое нагревает один грамм воды на один градус Цельсия. Согласно этому определению она зависит от измерения температуры, но только кажущимся образом. Открытие Майером в 1842 г. эквивалентности теплоты и энергии дало возможность измерять количество теплоты механическими единицами. Таким образом, измерение температуры принципиально было также сведено к механическому измерению. Классическим инструментом для измерения количества теплоты является ледяной калориметр, описанный в 1780 г. Антуаном Лораном Лавуазье (1743—1794) и Пьером Симоном Лапласом (1749—1827). Понятия удельной и скрытой теплоты при таянии и испарении были введены независимо друг от друга Блэком и И. К. Вильке.

---

Остановимся несколько подробнее на определении, которое дает температуре второе начало термодинамики. При этом рассматривают обратимый круговой процесс, в котором тело сначала расширяется изотермически, получая определенное количество тепла, а потом продолжает расширяться без получения или отдачи тепла, затем при отдаче тепла изотермически

сжимается и, наконец, испытывает дальнейшее сжатие без теплового обмена с окружающей средой как раз таким образом, что возвращается в начальное состояние. Согласно определению, температуры обоих изотермических изменений состояния относятся между собой как полученное количество тепла к отданному. Закон устанавливает, что это отношение не зависит от рода тела, которое подвергают круговому процессу. Температура определяется с помощью коэффициента пропорциональности, который выбирают таким образом, чтобы разность температур между точками заморзания и кипения воды равнялась 100 градусам. Так получается абсолютная термодинамическая температурная шкала; для Германии она закреплена в качестве официальной шкалы государственным законом от 7 августа 1924 г. Измерения показывают, что точка заморзания воды по этой шкале соответствует 273 градусам. Для обыденной жизни с этой шкалой достаточно хорошо согласуются данные ртутного и спиртового термометров, имеющих деления по Цельсию.

Оба количества теплоты, посредством которых определяется температура, являются, как показывает опыт, всегда положительными величинами. Не существует никаких отрицательных абсолютных температур; термодинамическая шкала имеет абсолютную нулевую точку. Этого можно было бы избежать, если за меру температуры принять приближенную функцию этой температуры, например ее логарифм, что является вполне возможным, так как не противоречит никакому закону природы. Если так не поступают, то это происходит потому, что в нашем понятии температуры имеется еще конвенциональный элемент, как правильно указал Эрнст Мах (1838—1916). Если бы это сделали, то шкала уходила бы в бесконечность в направлении отрицательной температуры и можно было бы избежать иллюзии, что нельзя дальше охлаждать тело при достижении, скажем,  $1^{\circ}\text{K}$ . Уже теперь достигнуты гораздо более низкие

температуры. Фактически абсолютная нулевая точка недостижима, как это показал в 1906 г. Вальтер Нернст (1864—1941).

Блэк и его современники считали теплоту неразрушимым и несоздаваемым веществом, так как, согласно опыту, при выравнивании температур одно тело получает точно столько же теплоты, сколько другое отдает. Даже в случае созданной Джемсом Уаттом (1736—1819) паровой машины, совершившей в 1770 г. переворот в экономике, сначала никто не признавал, что подведенная к паровому котлу теплота частично превращается в механическую работу и как теплота, таким образом, теряется. Из-за этого заблуждения гениальная интуиция Сади Карно (1796—1832) о том, что работа паровой машины определяется всеобщим законом перехода тепла от более высоких к более низким температурам, сначала не принесла никаких плодов. Лишь после открытия эквивалентности теплоты и энергии Рудольф Клаузиус (1822—1888) смог вывести отсюда второе начало (гл. 9). Уже из этого видно, какой переворот в физике совершил закон сохранения энергии.

Совершенно другим и совсем не простым вопросом является вопрос о практическом применении термодинамической температурной шкалы. Используемый для ее определения круговой процесс есть мысленный опыт, который нельзя выполнить ни в одном случае с полнейшей точностью. Но все же развитие термодинамики дало средства и пути для перехода от других шкал к термодинамической. Мы не будем здесь заниматься этим, но только укажем, что при измерении высоких температур с большим успехом используют тепловое излучение, тем более, что оно связано с температурой источника излучения простыми и теоретически хорошо обоснованными законами (гл. 13). Таким путем приходят также к определению температур звезд, что имеет величайшее значение для астрономии.

Старейшими средствами понижения температуры были охлаждающие смеси и охлаждение быстро испаряющихся жидкостей. Когда такого рода возможности были исчерпаны, их место постепенно заняло открытое в 1852 г. Джемсом Прескотом Джоулем (1818—1889) и Вильямом Томсоном (позднее лорд Кельвин, 1824—1907) и по их имени названное явление. Предварительно достаточно охлажденный газ при выпуске через насадку переходит из области более высокого давления в область более низкого давления и при этом происходит небольшое охлаждение. Отсюда постепенно развилась в XIX столетии холодильная техника, для промышленного развития которой особенно много сделал Карл Линде (1842—1934). Характерной частью холодильной машины является «противоток», в котором уже испытывавшие расширение и охлаждение части газа охлаждают те части газа, которые еще не испытывали расширения. Можно этот процесс продолжать до тех пор, пока будет достигнута критическая температура и газ будет частично превращен в жидкость. Таким способом в 1883 г. Зигмунд Флорентий Вроблевский (1845—1888) и Карл Станислав Ольшевский (1846—1915) достигли ожижения в значительных количествах «постоянных» газов — кислорода и азота; в 1898 г. Джемс Дьюар (1842—1923) произвел ожижение водорода, а в 1908 г. Камерлинг-Оннес (1853—1926) осуществил чреватое большими последствиями ожижение гелия (гл. 5). Тем самым был превращен в жидкость последний «постоянный» газ.

Если заставить кипеть одну из этих жидкостей под сниженным давлением, то можно получить температуры значительно более низкие, чем температуры ожижения. У водорода приходят приблизительно к  $10^{\circ}$ , у гелия к  $0,7^{\circ}$  абсолютной температуры.

---

Используя понятие температуры и представление о неразрушимости количества тепла, Жан Батист Био

(1774—1862) в 1804 г. и в более законченной форме Жан Батист Джозеф Фурье (1768—1830) в 1807 и 1811 гг. основали математическую теорию теплопроводности. Созданные ими для этой цели методы являются классическими вспомогательными средствами математической физики; это относится прежде всего к изображению произвольных функций в виде рядов или интегралов синусоидальных функций. В теории любого волнового процесса, будет ли это звук, волны на поверхности жидкостей или электромагнитные колебания, играет важную роль созданное Фурье разложение на чистые синусоидальные колебания, тем более, что каждый акустический резонатор, каждый оптический спектральный аппарат совершают это разложение автоматически (до известной степени). В дополнение к этому математика создала разложение функций в ряды «ортогональных» функций, которые теперь имеют огромное значение для решения уравнения Шредингера (гл. 14).

Труд Фурье является примером того, как требования физики вызывают фундаментальный математический прогресс.

