

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Тепловое равновесие

Про тело, у которого все свойства остаются неизменными, мы говорим: состояние тела не меняется. Напротив, при изменении какого-либо свойства тела меняется его состояние. Состояние тела можно изменить, совершая над ним работу. Однако возможно достигнуть таких же результатов и немеханическим путем. Вода нагреется как после интенсивного перемешивания, так и после поднесения к ней газовой горелки.

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Тепловое равновесие

Если внешняя среда или окружающие тела воздействуют на рассматриваемое тело или систему тел и меняют состояние этого тела или системы тел немеханическим путем, то говорят о теплообмене.

Если теплообмен между телами отсутствует, то тела находятся в тепловом равновесии, имеют одинаковую температуру. Если тела соприкасаются друг с другом, то наличие теплового равновесия обнаруживается

непосредственно: состояния тел длительно оста

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Тепловое равновесие

Теплообмен возможен и в случае далеких друг от друга тел. Обнаружить тепловое равновесие в этом случае можно при помощи третьего тела, которое играет роль термометра. Если термометр находится в равновесии с обоими телами, то температура этих тел одинакова. Это значит, что и при непосредственном соприкосновении они находились бы в состоянии теплового равновесия.

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Тепловое равновесие

При помощи «третьего тела», термометра, всегда можно сказать, обладают ли тела разными или одинаковыми температурами.

При помощи термометра можно не только устанавливать наличие или отсутствие теплового равновесия, но можно и судить о степени отклонения от равновесия.

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Тепловое равновесие

Чтобы термометр мог служить этой цели, нужно условиться о веществе термометра (ртуть, спирт, вода, газ) и о свойстве (признаке), по которому мы будем судить о достижении или отклонении от теплового равновесия предмета с термометром. Как и всегда в физике, важно условиться, какие приборы, в данном случае термометры, должны быть положены за основу. Далее всегда можно проградировать любой термометр по эталонному.

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Тепловое равновесие

Чтобы термометр мог служить этой цели, нужно условиться о веществе термометра (ртуть, спирт, вода, газ) и о свойстве (признаке), по которому мы будем судить о достижении или отклонении от теплового равновесия предмета с термометром. Как и всегда в физике, важно условиться, какие приборы, в данном случае термометры, должны быть положены за основу. Далее всегда можно проградировать любой термометр по эталонному.

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

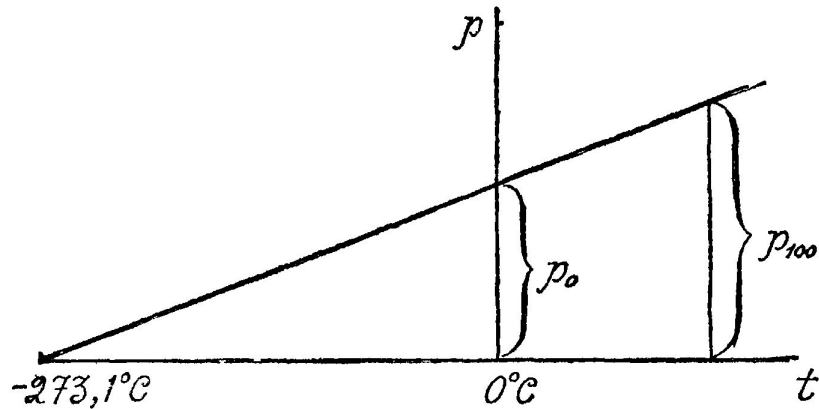
## Тепловое равновесие

В качестве эталонного вещества для термометра берется газообразный водород. Признаком, по которому судят о температуре, - это давление газа  $p$ . Температура тела принимается пропорциональной давлению водорода в газовом термометре при постоянстве объема, занимаемого водородом.



# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Тепловое равновесие



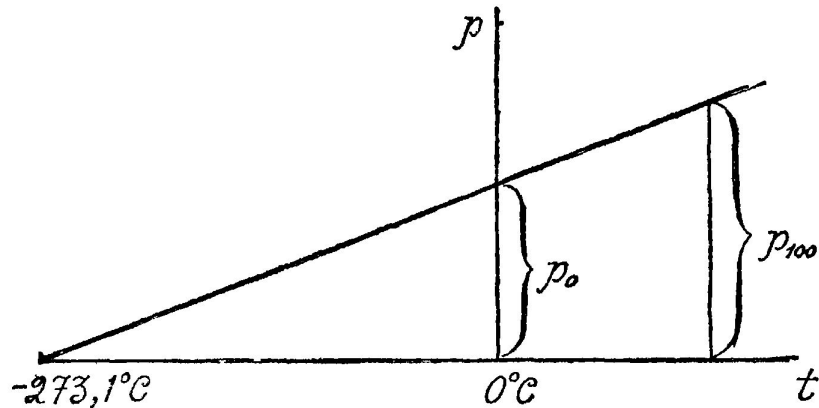
Выбор шкалы температур производится следующим образом. Температура тающего

льда называется  $0^\circ$ , температура кипящей воды  $100^\circ$  (при давлении 760 мм ртутного столба).

Измеряя давление водорода  $p_0$  и  $p_{100}$  в этих двух точках, откладывая эти точки на графике и проводя через них прямую линию, получим шкалу температур Цельсия.

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Тепловое равновесие



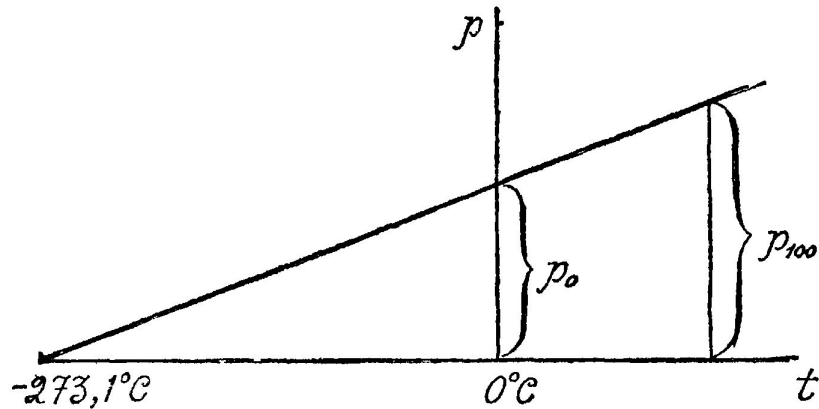
Уравнение этой прямой, приведенной на рисунке, имеет вид

$$t = \frac{p - p_0}{p_{100} - p_0} \cdot 100$$

Прямая линия пересекает ось  $t$  при температуре  $-273,15^\circ\text{C}$ . Это абсолютный нуль. По определению понятия более низкие температуры невозможны. В физике большей частью пользуются температурой, отсчитываемой от абсолютного нуля,  $T = t + 273,15^\circ$ .

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Тепловое равновесие



В этом случае говорят об абсолютной температуре, или температуре в градусах Кельвина (К).

Градуирование рабочих термометров по эталонному водородному может производиться в ограниченном интервале температур.

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Тепловое равновесие

При высоких температурах может начаться диффузия водорода через стенки сосуда. При низких температурах водород может превратиться в жидкость. Тем не менее принятое определение температуры имеет совершенно общий смысл.

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Внутренняя энергия

Основные черты поведения тел при механическом и тепловом взаимодействии превосходно отражает так называемая молекулярно-кинетическая модель. Состоящее из молекул тело рассматривается как система движущихся и взаимодействующих частиц, подчиняющаяся законам механики. Такая система молекул должна обладать энергией, складывающейся из потенциальной энергии взаимодействия частиц и кинетической энергии их движения.

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Внутренняя энергия

Эту энергию и называют *внутренней энергией* тела.

Определенному состоянию тела соответствует определенная внутренняя энергия. Изменения взаимного расположения или характера движения частиц связаны с изменением внутренней энергии. Каким бы способом ни менялась внутренняя энергия тела, окружающие тела должны передать энергию молекулам рассматриваемого тела.

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Внутренняя энергия

Если тело подвергается механическому воздействию, то передача энергии происходит упорядоченным образом; при тепловом обмене энергия передается со стороны среды путем случайных импульсов, передаваемых то одной, то другой молекуле.

Количество энергии, переданной телу механическим путем, измеряется величиной произведенной над телом работы. Количество энергии, переданной при теплообмене, измеряется количеством тепла.

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Внутренняя энергия

Так как строгий подсчет внутренней энергии тела затруднителен, а большей частью и невозможен, и так как само представление о внутренней энергии как о чисто механической величине является лишь приближением, то надо ввести строгое определение этой величины. Это удастся сделать, изучая процессы, происходящие без теплообмена с окружающей средой. Такие явления называются адиабатическими.



# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Внутренняя энергия

Производя опыт внутри теплоизолирующей оболочки и ограничивая измерения краткими сроками (пока тепло не успело «уйти» из изучаемого объема), удастся вполне точно осуществить адиабатические условия.

Многочисленные опыты, приведшие в свое время к установлению закона сохранения энергии, показывают; что каким бы путем ни изменялось в таком процессе состояние тела, на это потребуется одна и та же работа.

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Внутренняя энергия

Величина этой работы  $A$  равна по определению приросту внутренней энергии тела  $U$ :

$$A = U_2 - U_1.$$

Абсолютное значение внутренней энергии, разумеется, не может быть найдено из опыта.

Если бы механическая модель тела была вполне точна, то утверждение, записанное выше, являлось бы простым следствием закона сохранения механической энергии.

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Внутренняя энергия

Однако молекулярно-кинетическая модель есть только модель, и поэтому тот факт, что каждому состоянию тела можно сопоставить определенную энергию, так что разность энергий двух состояний равна адиабатической работе перехода, является важнейшим законом природы, приводящим к закону сохранения энергии.

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Внутренняя энергия

Теплообмен и механическое воздействие могут приводить в ряде случаев к одинаковому изменению состояния, т. е. к одинаковым изменениям внутренней энергии тела. Это дает нам возможность сравнивать тепло и работу и измерять количество тепла в тех же единицах, что работу и энергию.

Для представления о величинах внутренней энергии приведем следующие цифры.

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Внутренняя энергия

При нагревании воды на  $1^\circ$  энергия 1 г воды возрастает на

$$1 \text{ кал} = 0,427 \text{ кгс} \cdot \text{м} = 4,18 \cdot 10^7 \text{ эрг} = 4,18 \text{ Дж} = 2,61 \cdot 10^{19} \text{ эВ}.$$

При этом одна молекула воды увеличивает в среднем свою энергию на

$$3 \cdot 10^{-23} \text{ кал} = 1,28 \cdot 10^{-23} \text{ кгс} \cdot \text{м} = 1,25 \cdot 10^{-15} \text{ эрг} = 12,5 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} = 7,8 \cdot 10^{-4} \text{ эВ}.$$

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Внутренняя энергия

При сгорании 1 г угля вещество отдает внутреннюю энергию в количестве

$$7000 \text{ кал} = 2990 \text{ кгс} \cdot \text{м} = 2,93 \cdot 10^{11} \text{ эрг} = 2,93 \cdot 10^4 \text{ Дж} = 18,3 \cdot 10^{22} \text{ эВ}.$$

В расчете на один атом углерода эти цифры примут вид

$$1,4 \cdot 10^{-19} \text{ кал} = 5,98 \cdot 10^{-20} \text{ кгс} \cdot \text{м} = 5,86 \cdot 10^{-12} \text{ эрг} = 5,86 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 3,66 \text{ эВ}$$

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Внутренняя энергия

При ядерном делении 1 г урана-235 выделяется энергия

$$2,03 \cdot 10^{10} \text{ кал} = 8,65 \cdot 10^9 \text{ кгс} \cdot \text{м} = 8,49 \cdot 10^{17} \text{ эрг} = 8,49 \cdot 10^{10} \text{ Дж} = 5,29 \cdot 10^{29} \text{ эВ}.$$

Одно атомное ядро отдает при этом внутреннюю энергию в количестве

$$7,9 \cdot 10^{-12} \text{ кал} = 3,38 \cdot 10^{-12} \text{ кгс} \cdot \text{м} = 3,3 \cdot 10^{-4} \text{ эрг} = 3,3 \cdot 10^{-11} \text{ Дж} = 206 \cdot 10^6 \text{ эВ} \approx 200 \text{ МэВ},$$

что более чем в 50 миллионов раз превышает энергию химических реакций ( $1 \text{ МэВ} = 10^6 \text{ эВ}$ ).

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Первое начало термодинамики

В самом общем случае, обмениваясь энергией со средой или окружающими телами, рассматриваемая система может получать или отдавать количество тепла  $Q$ , может производить работу или над ней может быть произведена работа. Тепло и работа - это две формы, в которых энергия тела может передаваться среде или, наоборот, энергия среды может передаваться телу. Закон сохранения энергии исключает возможность каких-либо потерь при энергетическом обмене.



# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Первое начало термодинамики

Разность энергий системы в двух состояниях должна равняться сумме теплоты и работы, полученных системой от окружающих тел.

Это утверждение нельзя было бы подвергнуть опытной проверке, если бы мы не добавили, что прирост энергии при переходе системы от одного состояния к другому всегда один и тот же вне зависимости от характера или способа перехода от начального состояния к конечному.

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Первое начало термодинамики

Принцип сохранения энергии заключен именно в последнем утверждении. Его-то мы, несомненно, можем подвергнуть .всесторонней экспериментальной проверке, измеряя сообщенные системе теплоту и работу в различных переходах от одного и того же начального к одному и тому же конечному состоянию. Прирост энергии во всех случаях должен быть одним и тем же.

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Первое начало термодинамики

Закон сохранения энергии, выраженный в приведенной конкретной форме, носит название *первого начала термодинамики*. Этот важнейший закон природы был установлен работами ряда ученых в середине прошлого столетия. Роль Роберта Майера, Джоуля и прежде всего Гельмгольца следует оценить особенно высоко.

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Первое начало термодинамики

Для записи первого начала термодинамики в виде формулы надо условиться о выборе знака для теплоты и работы. Мы примем, что теплота положительна тогда, когда она сообщается системе, а работу будем считать положительной тогда, когда тело совершает ее против действия внешних сил. Тогда первое начало термодинамики запишется в виде

$$\Delta Q = dU + \Delta A.$$

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Первое начало термодинамики

Иначе говоря, подведенное к телу тепло идет на изменение внутренней энергии и на произведенную телом работу. Разумеется, мыслимы любые превращения, при которых каждая из входящих в равенство величин может быть положительной и отрицательной.

Не случайно в записи первого начала знак дифференциала использован только для энергии. Работа и тепло не являются полными дифференциалами.

# ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОТА

## Первое начало термодинамики

При переходе тела из одного состояния в другое величины работы и тепла, полученные или отданные телом, будут зависеть от «пути» перехода, и лишь прирост энергии, как это имеет место для полного дифференциала какой-либо функции, не зависит от способа перехода:

2

1

Применение закона сохранения энергии и, в частности, первого