

**Тема: Термодинамическая система. Внутренняя энергия идеального одноатомного газа. Работа в термодинамике. Количество теплоты. Решение задач.**

**Термодинамика** – это наука о тепловых явлениях.

**Раздел физики, который изучает тепловые явления без учета молекулярного строения вещества называется термодинамикой.**

В противоположность молекулярно-кинетической теории, которая делает выводы на основе представлений о молекулярном строении вещества, термодинамика исходит из наиболее общих закономерностей тепловых процессов и свойств макроскопических систем. Выводы термодинамики опираются на совокупность опытных фактов и не зависят от наших знаний о внутреннем устройстве вещества, хотя в целом ряде случаев термодинамика использует молекулярно-кинетические модели для иллюстрации своих выводов.

Термодинамика рассматривает изолированные системы тел, находящиеся в состоянии термодинамического равновесия. Это означает, что в таких системах прекратились все наблюдаемые макроскопические процессы. Важным свойством термодинамически равновесной системы является выравнивание температуры всех ее частей.

Если термодинамическая система была подвержена внешнему воздействию, то в конечном итоге она перейдет в другое равновесное состояние. Такой переход называется термодинамическим процессом. Если процесс протекает достаточно медленно (в пределе бесконечно медленно), то система в каждый момент времени оказывается близкой к равновесному состоянию. Процессы, состоящие из последовательности равновесных состояний, называются квазистатическими.

Одним из важнейших понятий термодинамики является внутренняя энергия тела. Все макроскопические тела обладают энергией, заключенной внутри самих тел. С точки зрения молекулярно-кинетической теории внутренняя энергия вещества складывается из кинетической энергии всех атомов и молекул и потенциальной энергии их взаимодействия друг с другом. В частности, внутренняя энергия идеального газа равна сумме кинетических энергий всех частиц газа, находящихся в непрерывном и беспорядочном тепловом движении. Отсюда вытекает закон Джоуля, подтверждаемый многочисленными экспериментами.

**Внутренняя энергия идеального газа зависит только от его температуры и не зависит от объема**

**Внутренней энергией тела называется сумма кинетической энергии хаотического движения молекул относительно центра масс тела и потенциальной энергии взаимодействия молекул друг с другом но не с молекулами других тел.**

Для идеального газа внутренняя энергия  $U$

$$U = \sum_{i=1}^N E_k$$

Для этого нужно рассчитать КЭ каждой молекулы в ид. газе, причем они постоянно меняются, поэтому так внутреннюю энергию мы подсчитать не сможем.

Воспользуемся средним значением!

$$U = NE_{\kappa}$$

$$E_{\kappa} = \frac{i}{2} kT$$

Рассчитаем число молекул в веществе.

$$N = \frac{m}{M} N_A$$

Подставляем

$$U = \frac{m}{M} N_A \frac{i}{2} kT$$

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT$$

$$U = \frac{i}{2} \nu RT$$

*Внутренняя энергия  
идеального газа*

i-число степеней свободы. ( только ли поступательное или ещё вращательное движение молекул)

Для идеального газа внутренняя энергия зависит только от температуры.

$$U=U(T)$$

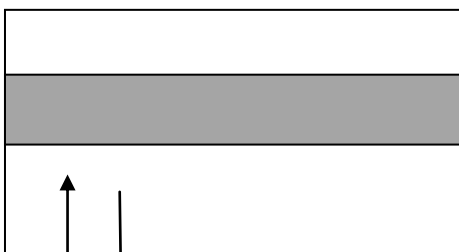
Для остальных систем внутренняя энергия зависит от объёма и от температуры.

$$U=U(T,V)$$

ТД появилась, когда люди захотели используя внутреннюю энергию тела совершать работу.

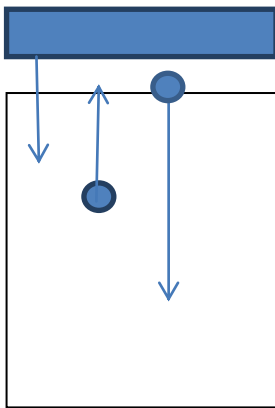
***Как можно изменять внутреннюю энергию тела?***

Будем говорить об идеальном газе.



$$\vartheta = \vartheta'$$

Пусть газ находится в цилиндре закрытом поршнем, поршень неподвижен. Молекулы газа ударяются о стенки цилиндра и отскакивают от него. Рассмотрим какую-то молекулу, которая подлетает со скоростью  $\vartheta$  к цилиндру. Поскольку поршень неподвижен скорость обратного полета будет такая же, единственное отличие – это направление скорости.



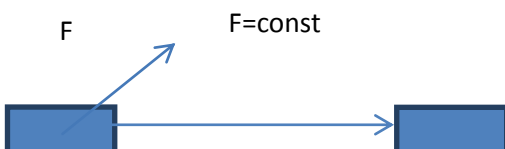
$$\vartheta' = U + 2U \quad \vartheta' > \vartheta$$

Рассмотрим систему в которой поршень движется, пусть он опускается вниз со скоростью  $U$ , а молекула подлетает к нему со скоростью  $\vartheta$ , а значит отлетать она будет с большей скоростью.

1. Совершить над системой работу.
2. Теплопередача

## ***РАБОТА В ТЕРМОДИНАМИКЕ***

Вспомним как вычисляется работа в механике



$$A = FS \cos \alpha$$

Так рассчитывается работа в механике. Наша задача научиться вычислять работу в термодинамике.

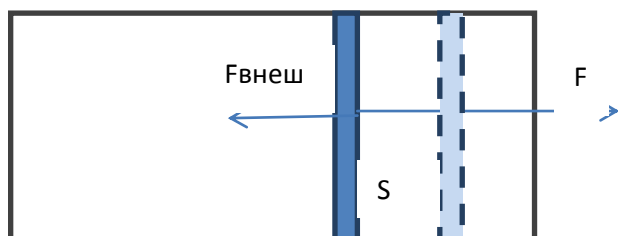
Но если в механике движется тело, то в ТД движутся отдельные части системы. Мы рассматриваем систему, состоящую из цилиндра с поршнем и находящимся там веществом (газ, жидкость).

**Введем некоторые обозначения**

$A^I$  – работа самой системы над внешними телами

$A$  – работа внешних сил над системой

Эти две работы связаны между собой следующим образом.

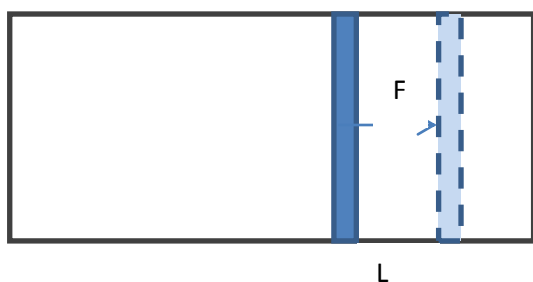


Рассмотрим цилиндр с подвижным поршнем, внутри цилиндра находится газ под давлением которого поршень перемещается на расстояние  $S$ . Но если кроме этой силы на этот поршень не будет действовать никакая другая сила, то он просто вылетит отсюда, поэтому на поршень должна действовать внешняя сила  $F$  внеш. Если поршень покоится, то равнодействующая этих сил равна нулю.

Рассчитаем работу силы  $F$   $A^I = FS \cos \alpha = FS$

$$A = F_{\text{внеш}} S \cos \alpha = -FS = -A^I$$

$$A = -A^I$$



$$A^I = Fl$$

Если нам известно давление газа, то силу можно рассчитать:

$$F = p * S$$

Если сила постоянная, то давление тоже постоянно. Следовательно имеем изобарный процесс.

$$A' = pSl$$

Где произведение площади на объём это объём на который расширился газ

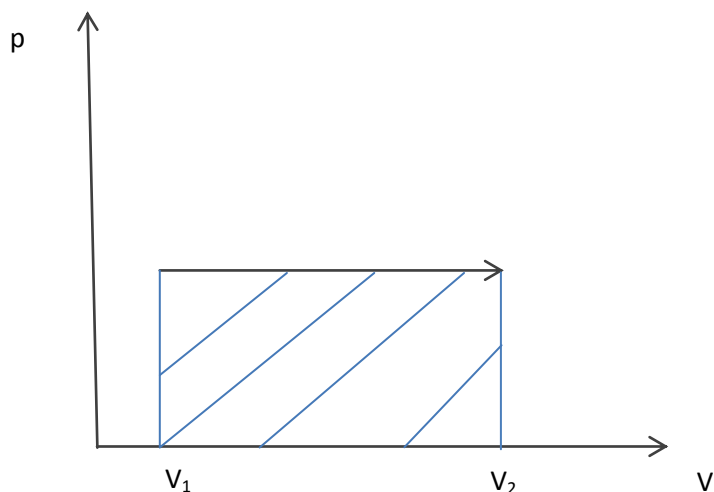
Обозначим первоначальный объём  $V_1$ , конечный –  $V_2$  тогда изменение равно

$$V_2 - V_1$$

$$A' = p(V_2 - V_1)$$

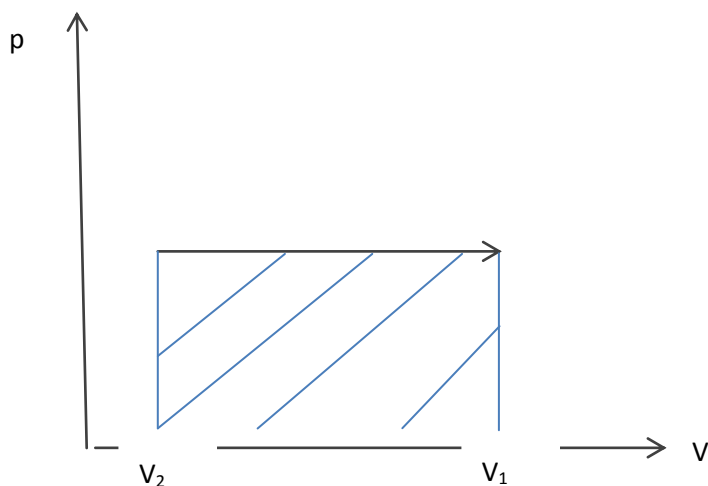
Работа в изобарном процессе. Для  
любого газа или жидкости

Изобразим график изобарного процесса в осях  $pV$ . Допустим объём увеличивается.



$A'$  равно площади прямоугольника в осях  $pV$ .

А теперь рассмотрим сжатие газа



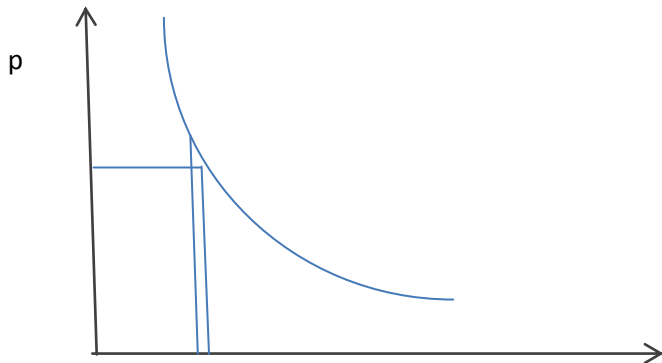
Работа равна минус площади под графиком.

До сих пор мы с вами говорили только об изобарном процессе, но ведь есть еще и другие процессы, например изохорный процесс.

Как посчитать работу в изохорном процессе?  
 $A' = 0$

Но если процесс другого характера, то весь процесс необходимо разбить на маленькие участки где можно пренебречь изменением давления.

$\Delta A' = p \Delta V$  – элементарная работа.



Работа будет равна площади трапеции под графиком.

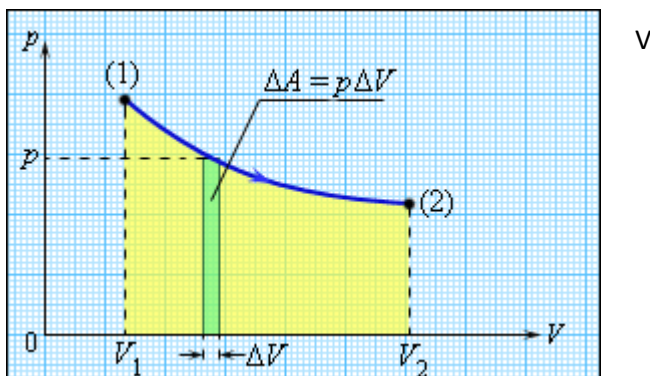


Рисунок 1.

### Работа газа при расширении

Работа численно равна площади под графиком процесса на диаграмме (p, V). Величина работы зависит от того, каким путем совершался переход из начального состояния в конечное. На рис. 2 изображены три различных процесса, переводящих газ из состояния (1) в состояние (2). Во всех трех случаях газ совершает различную работу.

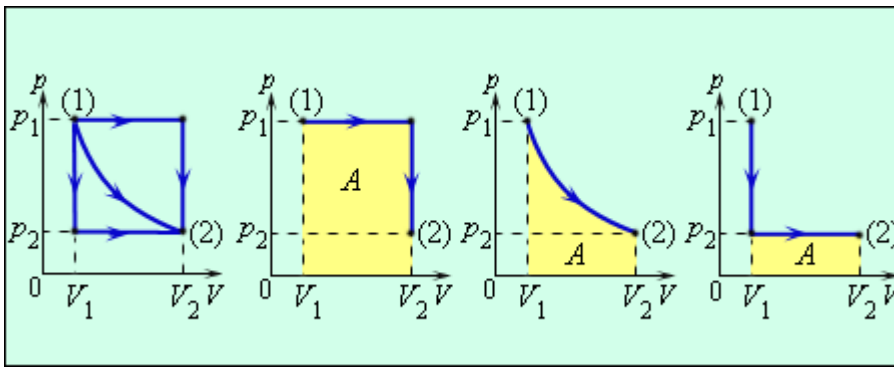


Рисунок 2.

Три различных пути перехода из состояния (1) в состояние (2). Во всех трех случаях газ совершает разную работу, равную площади под графиком процесса

Процессы, изображенные на рис. 2, можно провести и в обратном направлении; тогда работа  $A$  просто изменит знак на противоположный. Процессы такого рода, которые можно проводить в обоих направлениях, называются обратимыми.

В отличие от газа, жидкости и твердые тела мало изменяют свой объем, так что во многих случаях работой, совершаемой при расширении или сжатии, можно пренебречь. Однако, внутренняя энергия жидких и твердых тел также может изменяться в результате совершения работы. При механической обработке деталей (например, при сверлении) они нагреваются. Это означает, что изменяется их внутренняя энергия. Другим примером может служить опыт Джоуля (1843 г.) по определению механического эквивалента теплоты (рис. 3). При вращении вертушки, погруженной в жидкость, внешние силы совершают положительную работу ( $A' > 0$ ); при этом жидкость из-за наличия сил внутреннего трения нагревается, т. е. увеличивается ее внутренняя энергия. В этих двух примерах процессы не могут быть проведены в противоположном направлении. Такие процессы называются необратимыми.

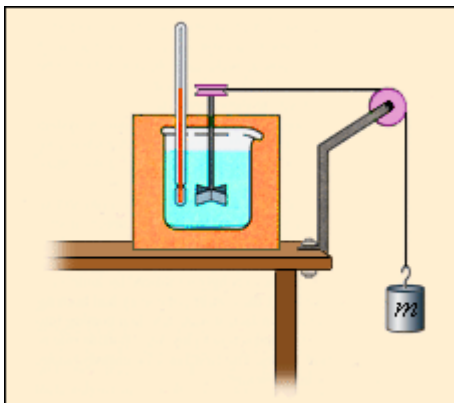
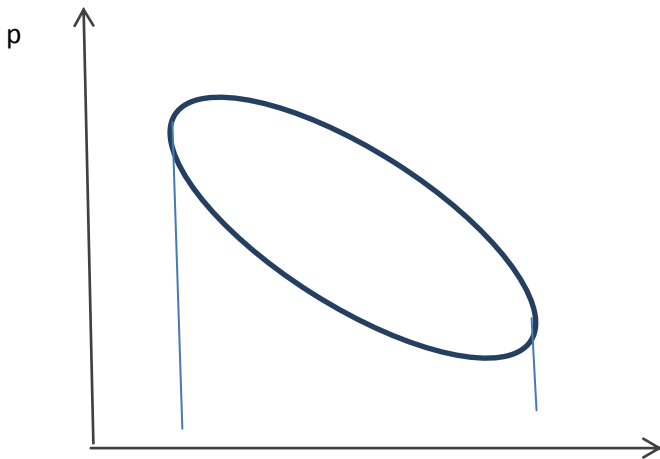


Рисунок 3.

Упрощенная схема опыта Джоуля по определению механического эквивалента теплоты

***Процессы, в которых начальное и конечное состояние системы совпадают называются циклическими.***

**РАБОТА в цикле.**



Работа равна площади фигуры, ограниченной самим циклом. В зависимости от направления цикла работа имеет знак + или -. По часовой стрелке - +. Против часовой стрелки - -.

### **Количество теплоты**

Ещё одним способом изменения внутренней энергии системы. Передача ей некоторого количества теплоты.

Существует 3 способа теплопередачи:

1. Теплопроводность (нагревание одного края металлического стержня при нагреве другого края)- без переноса вещества
2. Конвекция – потоки жидкости или газа в объёме. – с переносом вещества
3. Излучение – передаётся даже в пустоте.

**Количество теплоты  $Q=[Дж]$**  – это энергия, сообщаемая телу в процессе теплопередачи.

Вспомним, что внутренняя энергия системы зависит от температуры ( в случае идеального газа) и от температуры и объёма ( в случае реальной системы). Если сообщаем какое-то количество теплоты, то температура системы может изменяться, но это не обязательно (таяние льда, кипение воды). Мы будем рассматривать ситуации в которых агрегатное состояние вещества не изменяется.

Если агрегатное состояние вещества не изменяется, то изменение внутренней энергии тела прямо пропорционально количеству теплоты переданной ему.

$$Q \sim \Delta T$$



Коэффициент пропорциональности зависит от самого тела.

$$Q = C * \Delta T$$

$C$  – теплоёмкость тела.

$$C = \frac{Q}{\Delta T} = \left[ \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \right]$$

**Теплоёмкость** - это физическая величина, численно равная количеству теплоты, которое необходимо сообщить телу для увеличения его температуры на 1 К.

От чего зависит теплоёмкость тела?

1.  $Q \sim m$
2. Зависит от вещества из которого изготовлено тело.

$$C = c * m$$

$c$ - свойство вещества (удельная теплоёмкость вещества)

$$Q = C \Delta T = cm \Delta T$$

Выразим отсюда удельную теплоёмкость

$$c = \frac{Q}{m \Delta T} = \left[ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} * \text{К}} \right]$$

**Удельной теплоёмкостью вещества**- называется физическая величина, численно равная количеству теплоты, которое необходимо сообщить одному килограмму вещества для увеличения его температуры на 1К.

**Молярная теплоёмкость**

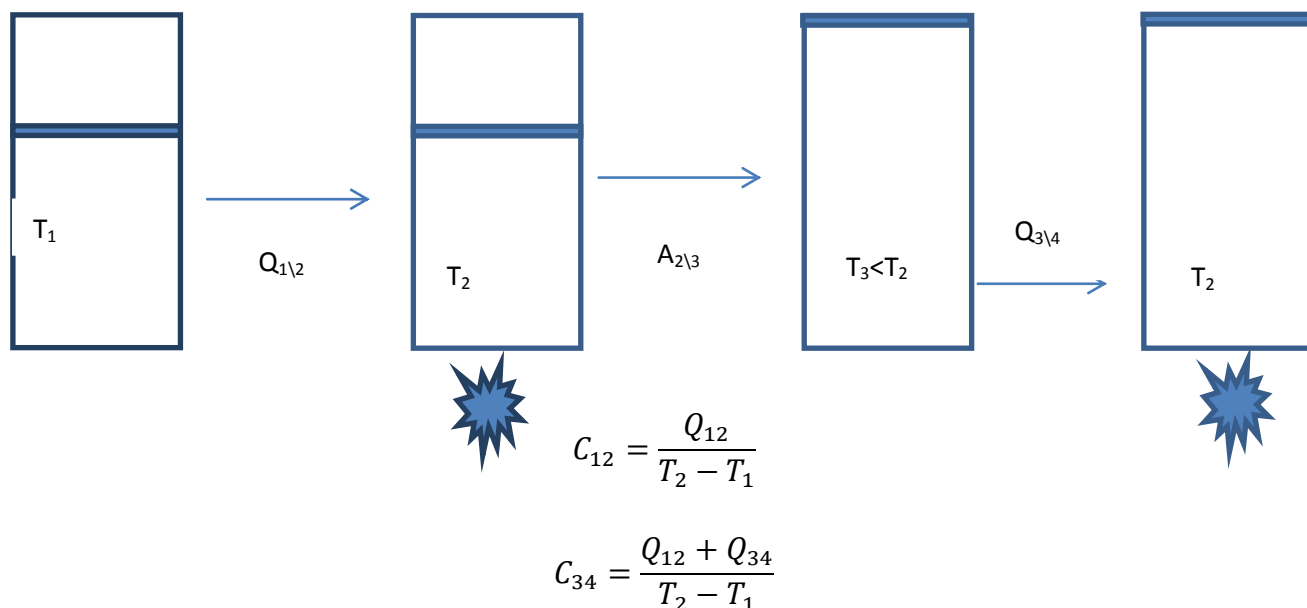
**Молярная теплоёмкость  $C_v$** - называется физическая величина, численно равная количеству теплоты, которое необходимо сообщить одному молю вещества для увеличения его температуры на 1К.

$$C_v = \frac{Q}{\nu \Delta T} = \left[ \frac{\text{Дж}}{\text{моль} * \text{К}} \right]$$

$$Q = C_v \nu \Delta T$$

$$Q = cm \Delta T$$

Теплоёмкость газов зависит не только от вещества, но еще и от процесса передачи ей теплоты, а именно какой процесс с этим газом производится.



Отсюда видно, что теплоёмкости разные.

$$C_{23} = 0$$

$$C_{24} \rightarrow \infty$$

$$-\infty < C < +\infty$$

Внутренняя энергия тела может изменяться не только в результате совершаемой работы, но и вследствие **теплообмена**. При тепловом контакте тел внутренняя энергия одного из них может увеличиваться, а другого – уменьшаться. В этом случае говорят о тепловом потоке от одного тела к другому. **Количеством теплоты**  $Q$ , полученным телом, называют изменение внутренней энергии тела в результате теплообмена.

Передача энергии от одного тела другому в форме тепла может происходить только при наличии разности температур между ними.

**Теплопередачей** называется способ изменения внутренней энергии тела без совершения работы.

### Пример 1

Чему равна внутренняя энергия в ДЖ при нормальных условиях одного кг воздуха.

$$T=273\text{K}$$

$$P=10^5 \text{ Па}$$

$$m=1\text{ кг}$$

$$M=29\cdot 10^{-3}\text{ кг/моль}$$

$U$ -?

Решение:

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT$$

Воздух в основном состоит из двухатомных молекул, а следовательно  $i=5$  ( три поступательных и 2 вращательных)

$$U=200\text{ кДж}$$

Эта энергия которую нужно потратить на то чтобы запустить гирию массой 1кг на 20 км вверх.

Тепловой поток всегда направлен от горячего тела к холодному.

Количество теплоты  $Q$  является энергетической величиной. В СИ количество теплоты измеряется в единицах механической работы – джоулях (Дж).

Условия задач

1. Какова внутренняя энергия 10 моль одноатомного газа при температуре  $27^{\circ}\text{C}$ ?
2. На сколько изменится внутренняя энергия гелия массой 200 г при увеличении температуры на  $20^{\circ}\text{C}$ ?
3. Сравнить внутренние энергии аргона и гелия при одинаковой температуре. Массы газов одинаковы.
4. Как изменяется внутренняя энергия одноатомного газа при изобарном нагревании? При изохорном охлаждении? При изотермическом сжатии?
5. Какова внутренняя энергия гелия, заполняющего аэростат объёмом  $60\text{ м}^3$  при давлении 100 кПа.
6. При уменьшении объёма одноатомного газа в 3,6 раза его давление увеличилось на 20%. Во сколько раз изменилась внутренняя энергия?
7. Идеальный газ в количестве 4 моль изобарно нагревают при давлении  $3p$  так, что его объём увеличивается в 3 раза. Затем газ изохорно охлаждают до давления  $p$ , после чего изобарно сжимают до первоначального объёма и изохорно нагревают до начальной температуры  $T=250\text{ К}$ . Изобразить циклический процесс в координатах  $pV$  и определить работу газа в этом процессе.
8. Какую работу совершил воздух массой 200 г при его изобарном нагревании на  $20\text{ К}$ ?