**Конспект урока: «Первый закон термодинамики. Адиабатный процесс. Применение первого закона термодинамики».**

1).Если система обменивается теплом с окружающими телами и совершает работу (положительную или отрицательную), то изменяется состояние системы, т. е. изменяются ее макроскопические параметры (температура, давление, объем). Так как [внутренняя энергия](http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/chapter3/section/paragraph8/theory.html#5) *U* однозначно определяется макроскопическими параметрами, характеризующими состояние системы, то отсюда следует, что процессы теплообмена и совершения работы сопровождаются изменением Δ*U* внутренней энергии системы.

***Первый закон термодинамики*** является обобщением закона сохранения и превращения энергии для термодинамической системы. Он формулируется следующим образом:

**Изменение Δ*U* внутренней энергии неизолированной термодинамической системы равно сумме количества теплоты *Q*, переданной системе, и работе *A*, совершенной над системой внешними телами.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | --- | | Δ*U* = *Q* + **A**. | |  |

Соотношение, выражающее первый закон термодинамики, часто записывают в другой форме:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | --- | | *Q* = Δ*U* + **A'** . | |  |

**Количество теплоты, полученное системой, идет на изменение ее внутренней энергии и совершение газом работы над внешними телами.**

Первый закон термодинамики является обобщением опытных фактов. Согласно этому закону, энергия не может быть создана или уничтожена; она передается от одной системы к другой и превращается из одной формы в другую. Важным следствием первого закона термодинамики является утверждение о невозможности создания машины, способной совершать полезную работу без потребления энергии извне и без каких-либо изменений внутри самой машины. Такая гипотетическая машина получила название ***вечного двигателя (perpetuum mobile) первого рода***. Многочисленные попытки создать такую машину неизменно заканчивались провалом. Любая машина может совершать положительную работу *A* над внешними телами только за счет получения некоторого количества теплоты *Q* от окружающих тел или уменьшения Δ*U* своей внутренней энергии.

2). Наряду с изохорным, изобарным и изотермическим процессами в термодинамике часто рассматриваются процессы, протекающие в отсутствие теплообмена с окружающими телами. Сосуды с теплонепроницаемыми стенками называются **адиабатическими оболочками**, а процессы расширения или сжатия газа в таких сосудах называются **адиабатическими**.

В **адиабатическом процессе** *Q* = 0; поэтому первый закон термодинамики принимает вид

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | --- | | **A'** = –Δ*U*, | |  |

т. е. газ совершает работу за счет убыли его внутренней энергии.

На плоскости (*p*, *V*) процесс адиабатического расширения (или сжатия) газа изображается кривой, которая называется **адиабатой**. При адиабатическом расширении газ совершает положительную работу ( > 0); поэтому его внутренняя энергия уменьшается (Δ*U* < 0). Это приводит к понижению температуры газа. Вследствие этого давление газа при адиабатическом расширении убывает быстрее, чем при изотермическом расширении. 

В термодинамике выводится уравнение адиабатического процесса для идеального газа. В координатах (*p*, *V*) это уравнение имеет вид

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | --- | | *pV*γ = const. | |  |

Это соотношение называют ***уравнением Пуассона***. Здесь γ = *C*p / *C*V – показатель адиабаты, *C*p и *C*V – теплоемкости газа в процессах с постоянным давлением и с постоянным объемом . Для одноатомного газа http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218127388-1.gifдля двухатомного http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218127435-2.gifдля многоатомного http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218127497-3.gif

Работа газа в адиабатическом процессе просто выражается через температуры *T*1 и *T*2 начального и конечного состояний:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | --- | | **A'**= -  **ΔU = - RT** | |  |

( если процессы в системе протекают достаточно быстро, то заметного теплообмена не происходит)

Q = 0 ∆U = – **A'**

Примеры: а) накачивание камер б) двигатель Дизеля

г) охлаждение атмосферного воздуха при расширении.

3). Применение первого закона термодинамики к изопроцессам в газах.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Название**  **процесса**. | **Постоянные** | **График** | **Изменение**  **внутренней**  **энергии и количества теплоты,**  **работа газа** | **Запись**  **1-го закона**  **термодинамики** | **Физический**  **смысл** |
| Изотермическое  расширение | **m=const**  **M=const**  **T=const**  **pV=const** | Изотермическое  расширение | **U=const**  **ΔU=0**  **Q0**  **A'** | **Q=A'**  **(A** = RT ln  RT ln ) | Изотермический процесс не может происходить без теплопередачи. Все количество теплоты, переданное системе, расходуется на совершение этой системой механической работы. |
| Изотермическое  сжатие | **m=const**  **M=const**  **T=const**  **pV=const** | Изотермическое  сжатие | **U=const**  **ΔU=0**  **Q**  **A'** | **Q=A'**  **(A** = RT ln  RT ln ) | Изотермический процесс не может происходить без теплопередачи.  Вся работа внешних сил выделяется в виде тепла. |
| Изохорное  нагревание | **m=const**  **M=const**  **V=const**http://www.eduspb.com/public/img/formula/image006_13.gif | Изохорное  нагревание | **p↑**  **T↑**  **U↑**  **ΔU>0**  **Q**  **A'** | **Q= ΔU**  (**RT**  **V(P2-P1) )** | Все количество теплоты, переданное системе, расходуется на увеличение ее внутренней энергии. |
| Изохорное  охлаждение | **m=const**  **M=const**  **V=const**http://www.eduspb.com/public/img/formula/image006_13.gif | Изохорное  нагревание | **p**↓  **T**↓  **U**↓  **ΔU<0**  **Q**  **A'** | **Q= ΔU**  (**RT**  **)** | Система уменьшает свою внутреннюю энергию, отдавая тепло окружающим телам. |
| Изобарное  расширение (нагревание) | **m=const**  **M=const**  **p=const**  Изобарное  расширение (нагревание) | Изобарное  расширение (нагревание) | **V­↑**  **T­↑**  **U­↑**  **ΔU>0**  **Q**  **A'** | **Q=ΔU+A'**  **(Q =RT**  **Q =Р(**V2-V1) ) | Часть количества теплоты, переданного системе, расходуется на совершение работы, а часть – на увеличение внутр. энергии. |
| Изобарное  сжатие (охлаждение) | **m=const**  **M=const**  **p=const**  Изобарное  сжатие (охлаждение) | Изобарное  сжатие (охлаждение) | **V**↓  **T**↓  **U↓**  **ΔU<0**  **Q**  **A'**  **А** | **Q=ΔU+A'**  **(Q =RT**  **Q** =**Р(**V2-V1) ) | Количество теплоты, отдаваемое системой, превышает работу внешних сил. Часть тепла  система отдает за счет уменьшения внутр. энергии. |
| Адиабатное  Расширение | **m=const**  **M=const**  *pV*γ = const. | Адиабатное  сжатие | **U**↓  **T**↓  **ΔU<0**  **Q=0**  **A'** | **0=ΔU+A'**  **A'= - ΔU**  (**RT**  **)**  ) ) | Система совершает механическую работу только за счет уменьшения своей внутренней энергии. |
| Адиабатное  сжатие | **m=const**  **M=const**    *pV*γ = const. | Адиабатное  сжатие | **U­**↑  **T­**↑  **ΔU>0**  **Q=0**  **A'**  **А** | **0=ΔU+A'**  **ΔU= - A'**  **ΔU=А**  (**RT**  **) )** | Внутренняя энергия системы увеличивается за счет работы внешних сил. |

Для изобарного процесса: **Q = mc и Q= ΔU+A'= =RT тогда Cp= - удельная теплоёмкость газа при постоянном давлении.**

**Для изохорного процесса: Q = mc и Q =RT тогда Cv= - удельная теплоёмкость газа при постоянном объёме.**

Теплоёмкость газа равна произведению удельной теплоёмкости на массу газа.

**Задача 1.**

Идеальный газ с показателем адиабатыhttp://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/molek/pract/text/img/image018.gifрасширили по закону *Р = αV*, где α = const. Первоначальный объем газа *V*1. В результате расширения объем увеличился в η раз. Найдите приращение внутренней энергии газа.

*Решение:*

|  |  |
| --- | --- |
| Изменение внутренней энергии идеального газа равно | |
| http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/molek/pract/text/img/image002.gif | (1) |
| Начальное состояние газа подчиняется уравнению | |
| http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/molek/pract/text/img/image019.gif | (2) |
| Конечное состояние - соответственно, уравнению | |
| http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/molek/pract/text/img/image020.gif | (3) |
| Принимая во внимание, что *P*=α*V* и *V*2=η*V*1 , уравнения (2) и (3) можно записать в виде | |
| http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/molek/pract/text/img/image021.gif | (4) |
| http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/molek/pract/text/img/image022.gif | (5) |
| Вычитая из (5) (4), находим | |
| http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/molek/pract/text/img/image023.gif | (6) |
| Подставляя (6) в (1), получаем | |
| http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/molek/pract/text/img/image024.gif | (7) |
| Найдем *CV* черезhttp://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/molek/pract/text/img/image018.gif, используя соотношения | |
| http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/molek/pract/text/img/image025.gif | (8) |
| иhttp://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/molek/pract/text/img/image026.gif | (9) |
| Из (8) и (9) для *CV* находим | |
| http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/molek/pract/text/img/image027.gif | (10) |
| Подставляя (10) в (7), получаем | |
| http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/molek/pract/text/img/image028.gif | (11) |

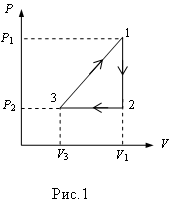
*Ответ:* изменение внутренней энергии равно http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/molek/pract/text/img/image029.gif

Очевидно, что http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/molek/pract/text/img/image030.gif, то есть внутренняя энергия газа в этом процессе увеличивается.

**Задача 2.**

Газ, занимающий объем *V*1 = 2 м3 при давлении *Р*1 = 4·105 Па, совершает круговой процесс, состоящий из нескольких этапов. Сначала газ изохорически охлаждается до температуры, при которой его давление равно *P*2 = 105 Па. Затем он изобарически охлаждается до состояния, из которого возвращается в начальное состояние таким образом, что его давление изменяется с изменением объема по закону *Р = αV* (*α* - постоянная величина). Нарисуйте график данного кругового процесса на *РV*-диаграмме и найдите совершенную газом работу.

*Решение:*

Как следует из условия задачи, состояния газа 1 и 3 изображаются точками, лежащими на прямой *Р = αV*, проходящей через начало координат (рис. 1). Это означает, что

*Р*1 = *αV*1 и *Р*3 = *αV*3

С учетом того, что *P*2 = *P*3, получаем

http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/molek/pract/text/img/image032.gif(м3).

Работа при круговом процессе численно равна площади фигуры, ограниченной графиком этого процесса, в данном случае - площади треугольника 123.

http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/molek/pract/text/img/image033.gif,

подставляя *V*3, получаем

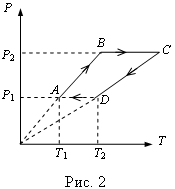
http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/molek/pract/text/img/image034.gif(Дж).

*Ответ:* работа в данном круговом процессе равна 2,25 ·105 Дж.

**Задача 3.**

Найдите работу, совершенную одним молем идеального газа в круговом процессе, изображенном на рис. 2, если *P*2/*P*1 = 2, *T*1 = 280 К, *T*2 = 360 К.

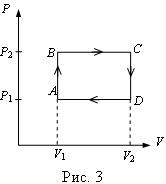
*Решение:*

Прежде всего, изобразим проведенный с газом процесс в координатах *PV* (рис.3).

Работа, совершенная газом, численно равна площади, ограниченной графиком процесса.

http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/molek/pract/text/img/image037.gif.

Пользуясь уравнением состояния идеального газа и замечая, что *P*A = *P*D = *P*1, находим:



http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/molek/pract/text/img/image038.gifhttp://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/molek/pract/text/img/image039.gif,

http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/molek/pract/text/img/image040.gifhttp://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/molek/pract/text/img/image041.gif.

Далее получаем:

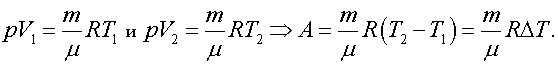
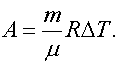
http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/molek/pract/text/img/image042.gif

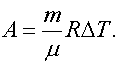
*Ответ:* http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/molek/pract/text/img/image043.gif

Адрес презентации с решёнными графическими задачами : <http://www.myshared.ru/slide/408817/>

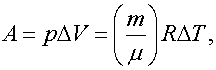
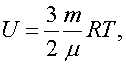
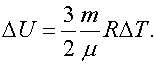
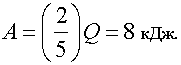
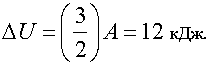
**1)**Идеальный газ, масса которого m и молярная масса μ, расширяется изобарно при некотором давлении. Начальная температура газа Т1, конечная Т2. Определить работу, совершаемую газом.  
**Решение:**

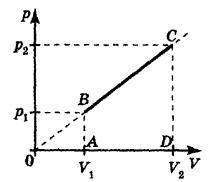
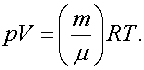
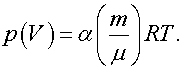
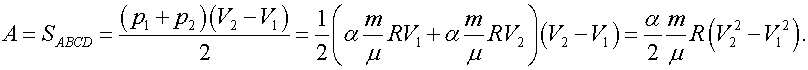
Работа в изобарном процессе

http://www.phys.kemsu.ru/images/articles/tzsr1z1.gif  
Из уравнения Менделеева—Клапейрона  
  
Оказалось, что работу в изобарном процессе можно выразить не только через изменение объема по формуле http://www.phys.kemsu.ru/images/articles/tzsr1z3.gifно и через изменение температуры:  По-

лученный результат следует иметь в виду, так как он часто используется при решении более сложных задач.  
Ответ: http://www.phys.kemsu.ru/images/articles/tzsr1z3.gif

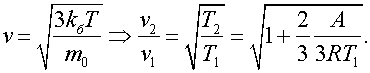
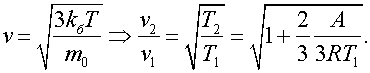
**2)**Гелий (Не) нагревается при постоянном давлении. При этом ему сообщено Q = 20 кДж теплоты. Определить изменение внутренней энергии газа и совершенную им работу.  
**Решение:**

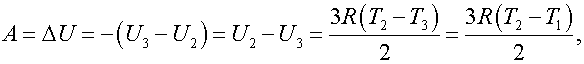
Так как по условию задачи р = const, то совершаемая газом работа  где т — масса газа, μ — его молярная масса, ∆T — изменение температуры.   
Гелий — одноатомный газ, поэтому его внутренняя энергия  а ее изменение  Сравнивая формулы для работы А и изменения внутренней энергии ∆U, получаем, что http://www.phys.kemsu.ru/images/articles/tzsr2z4.gif Запишем первый закон термодинамики для этого процесса: http://www.phys.kemsu.ru/images/articles/tzsr2z5.gif  
Следовательно, работа  Изменение внутренней энергии   
Ответ: http://www.phys.kemsu.ru/images/articles/tzsr2z8.gif

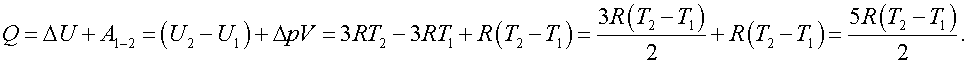
**3)**Температура некоторой массы т идеального газа с молярной массой μ меняется по законуhttp://www.phys.kemsu.ru/images/articles/tzsr3z1.gif где а = const > 0. Найти работу, совершенную газом при увеличении объема от V1до V2. Поглощается или выделяется теплота при таком процессе?  
**Решение:**Процесс http://www.phys.kemsu.ru/images/articles/tzsr3z1.gif не является ни изобарным, ни изохорным, ни тем более изотермическим.Запишем для любого состояния в этом процессе уравнение Менделеева—Клапейрона: Так как http://www.phys.kemsu.ru/images/articles/tzsr3z1.gif то после подстановки получим зависимость давления от объема в виде  График этой зависимости представлен на рисунке.  
Совершенная газом работа   
   
Для ответа на второй вопрос задачи воспользуемся первым законом термодинамики: Так как газ расширяется, то его работа А > 0. Изменение внутренней энергии идеального газа пропорционально изменению температуры: ∆U ~ ∆T. Так как http://www.phys.kemsu.ru/images/articles/tzsr3z1.gif и объем возрастает, то возрастает и температура, поэтому ∆U > 0. Тогда и Q > 0, что соответствует поглощению газом теплоты.

**4)**При адиабатном сжатии 1 моля одноатомного газа внешними силами была совершена работа А. Во сколько раз увеличилась среднеквадратичная скорость молекул этого газа, если начальная температура газа равна Т1?  
**Решение:**

Первый закон термодинамики для адиабатного процесса записывается в виде 0 = ∆U + А', где ∆U — изменение внутренней энергии газа, А' — работа газа в этом процессе. Так как газ сжимают, то А'<0, в то же время внешние силы совершают положительную работу А, причем А'=-А. Следовательно, http://www.phys.kemsu.ru/images/articles/tzsr4z1.gifВнутренняя энергия 1 моля идеального одноатомного газа  поэтому http://www.phys.kemsu.ru/images/articles/tzsr4z2.gif. Отсюда выражаем конечную температуру газа http://www.phys.kemsu.ru/images/articles/tzsr4z3.gif

Средняя кинетическая энергия молекул http://www.phys.kemsu.ru/images/articles/tzsr4z4.gif где Т — температура. Тогда среднеквадратичная скорость   
  
Ответ: 

**5)**Какое количество теплоты получит 1 моль идеального одноатомного газа при изобарном нагревании от некоторой начальной температуры и последующем адиабатном расширении, если при адиабатном расширении газ совершает работу А, а в конечном состоянии температура равна начальной?                                       
**Решение:**Построим график зависимости давления от объема в осях р, V (рисунок): 1—2 — изобарное нагревание, сопровождаемое увеличением объема; 2—3 — адиабатное расширение. Работа в адиабатном процессе   
т.к. http://www.phys.kemsu.ru/images/articles/tzsr5z2.gif  
Следовательно, http://www.phys.kemsu.ru/images/articles/tzsr5z3.gif

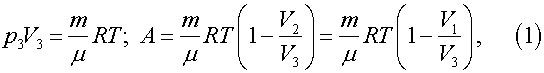
Количество теплоты, полученное газом в изобарном процессе:  
  
Подставляя из формулы (1) разность температур http://www.phys.kemsu.ru/images/articles/tzsr5z5.gifнаходим, что http://www.phys.kemsu.ru/images/articles/tzsr5z6.gif  
Ответ: http://www.phys.kemsu.ru/images/articles/tzsr5z6.gif

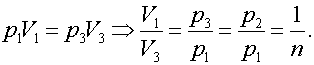
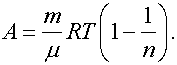
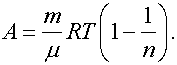
**6)**Масса т идеального газа, находящегося при температуре Т, охлаждается изохорно так, что давление падает в п раз. Затем газ расширяется при постоянном давлении. В конечном состоянии его температура равна первоначальной. Молярная масса газа μ. Определить совершенную газом работу.  
**Решение:**  
График указанного процесса приведен на рисунке. Здесь 1—2 — изохора, 2—3 — изобара. Искомая работа http://www.phys.kemsu.ru/images/articles/tzsr6z1.gif где А1\_2 — работа на участке 1—2, а А2-3 — работа на участке 2—3. На участке 1—2 V — const, поэтому А1-2 = 0. На участке 2—3 р=const и http://www.phys.kemsu.ru/images/articles/tzsr6z2.gif Выражения подобного вида преобразовывают так, чтобы выделить произведение давления на объем в состоянии, в котором задана температура:

http://www.phys.kemsu.ru/images/articles/tzsr6z3.gif

(здесь учтено, что р2 = р3).

Из уравнения Менделеева—Клайперона для состояния 3 находим, что



так как http://www.phys.kemsu.ru/images/articles/tzsr6z5.gif Из состояния 1 в состояние 3 можно переходить по изотерме 1—3 (в этом случае говорят, что точки 1 и 3 расположены на одной изотерме). По закону Бойля—Мариотта    
После постановки в формулу (1) получим   
Ответ: 

Адрес решения задачи С http://fizika-doma.ru/ege/zadachi-s3/c3-aprel-2012.html

Адрес решённых задач по теме: Тепловые явления. Основы термодинамики. <http://alexandr4784.narod.ru/sawne.html>