

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

- Термодинамический процесс
это совокупность изменений
параметров газа.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

Совокупность физических величин, характеризующих свойства термодинамической системы.

V - объём

P - давление

T - температура

U - внутренняя энергия

ТЕРМОДИНАМИКА ИЗОПРОЦЕССОВ.

Процессы, происходящие при постоянном значении одного из параметров состояния (**T**, **V** или **P**) с данной массой газа называются изопроцессами.

ИЗОТЕРМИЧЕСКИЙ

ИЗОХОРНЫЙ

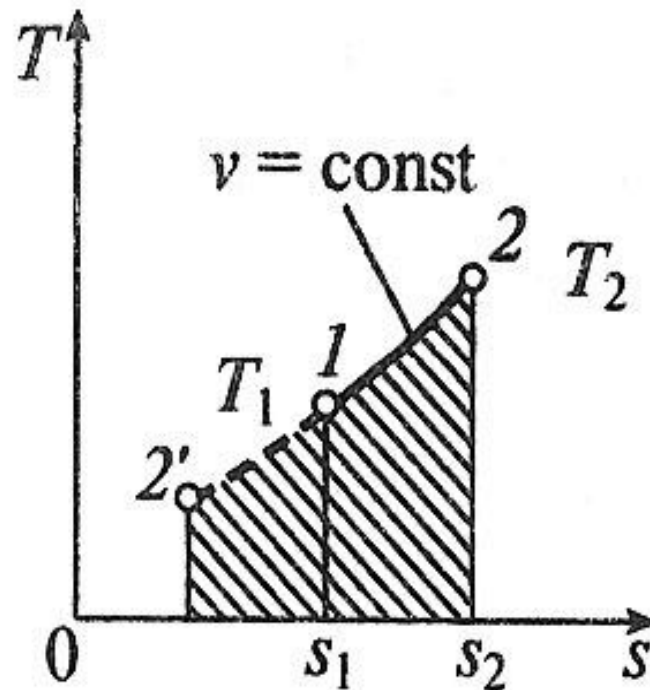
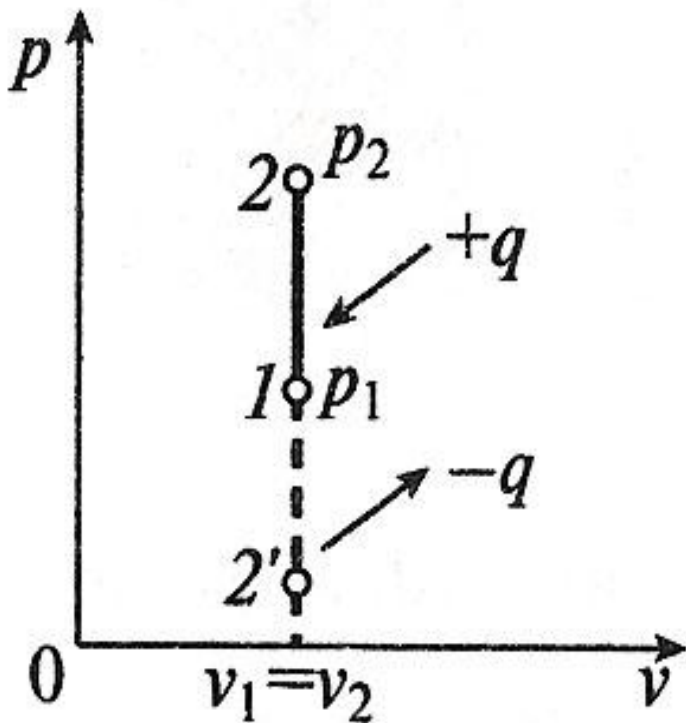
ИЗОБАРНЫЙ

АДИАБАТНЫЙ

ИЗОХОРНЫЙ ПРОЦЕСС

- Изохорным называется процесс, протекающий при постоянном объеме газа.

- $v = \text{const.}$



- ПРИ ИЗОХОРНОМ ПРОЦЕССЕ ДЕЙСТВИТЕЛЕН ЗАКОН ШАРЛЯ :

$$p_2/p_1 = T_2/T_1.$$

изменение давления газа прямо пропорционально изменению температуры.

Работа расширения в изохорном процессе равна нулю

$$l = 0,$$

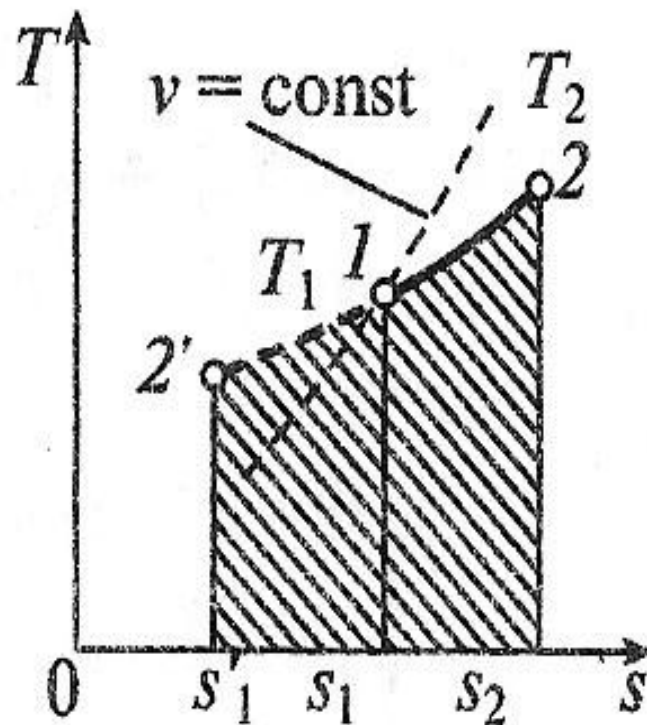
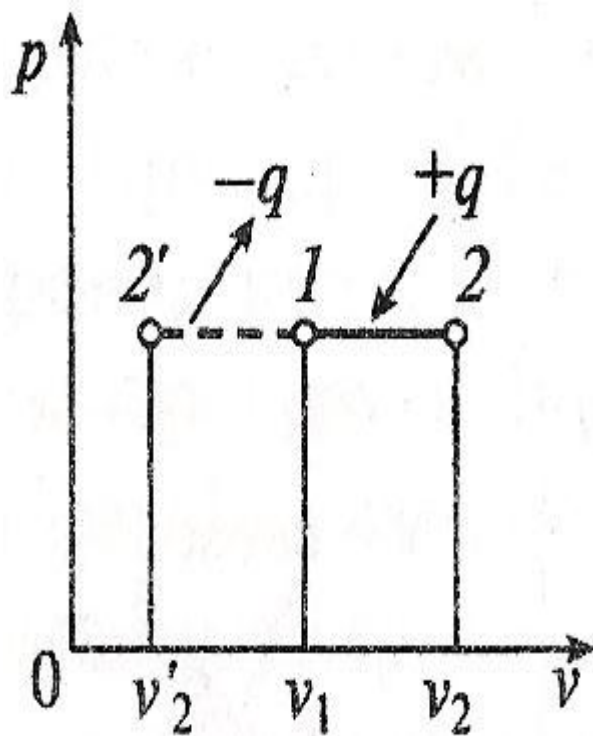
так как объем рабочего тела не меняется ($\Delta v = \text{const}$). Количество теплоты, подведенной к рабочему телу в процессе 1-2 при $c_v = \text{const}$ определяется по формуле:

$$q = c_v(T_2 - T_1).$$

ИЗОБАРНЫЙ ПРОЦЕСС

Изобарным называется термодинамический процесс, протекающий при постоянном давлении

$$p = \text{const.}$$



Из уравнения состояния идеального газа следует

$$v/T = R/p = \text{const}$$

или

$$v_2/v_1 = T_2/T_1,$$

т.е. для изобарного процесса действителен закон **Гей-Люссака:**

изменение объема газа прямо пропорционально изменению температуры.

Работа будет равна: $l = p(v_2 - v_1)$. Тк. $pv_1 = RT_1$ и $pv_2 = RT_2$, то

$$l = R(T_2 - T_1).$$

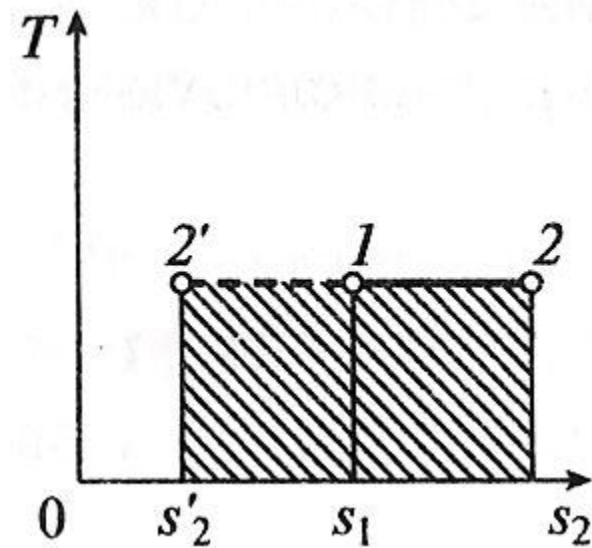
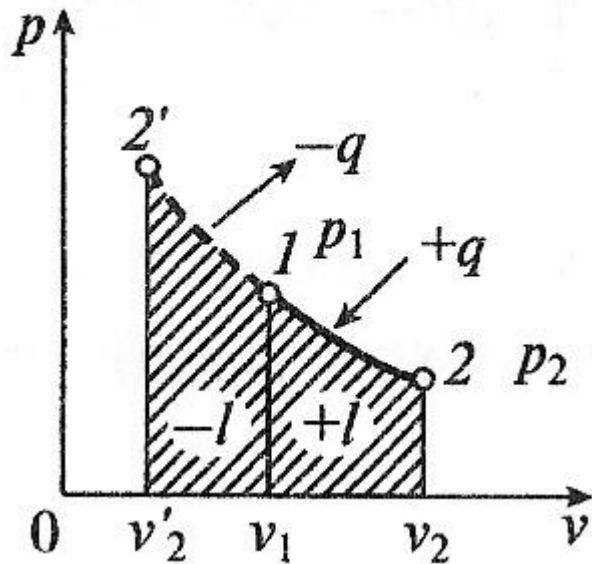
Количество теплоты при $c_p = \text{const}$ определяется по формуле:

$$q = c_p(T_2 - T_1).$$

ИЗОТЕРМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Изотермическим называется процесс, протекающий при постоянной температуре.

$$T = \text{const},$$



Для изотермического процесса действителен закон Бойля-Мариотта:

$$p_2/p_1 = v_1/v_2, \text{ т.е.}$$

изменение давления газа обратно пропорционально изменению объема.

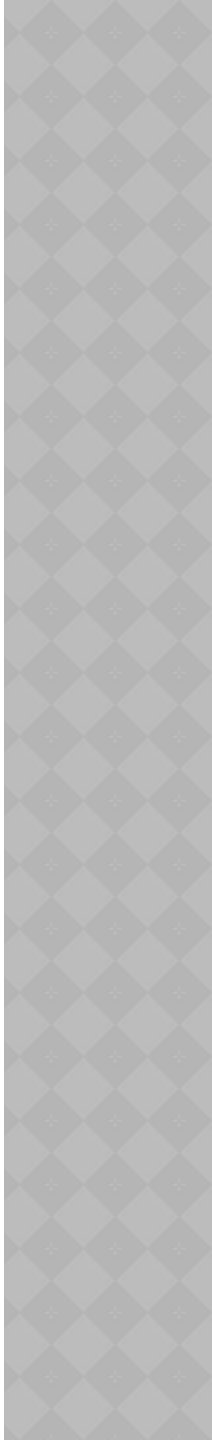
- Работа процесса будет равна:

$$l = RT \ln (v_2 - v_1) = RT \ln (p_1 - p_2).$$

- Так как температура остается неизменной, то и внутренняя энергия идеального газа в изотермическом процессе остается постоянной ($\Delta u = 0$) и вся подводимая к рабочему телу теплота полностью превращается в работу расширения:

$$q = l.$$

Название процесса	изотермический	изобарный	изохорный
Определение			
Уравнение процесса			
График процесса			
1. Соотношение параметров, 2. Название закона. 3. Определение.			

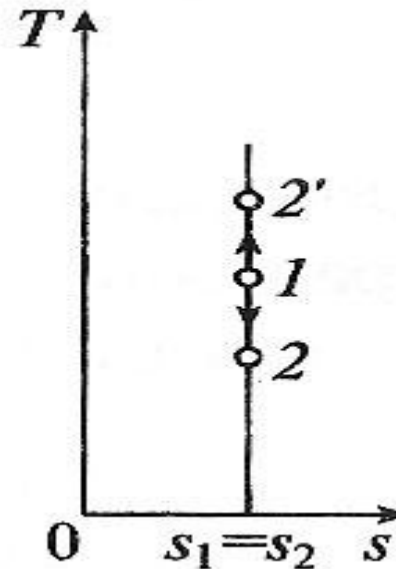
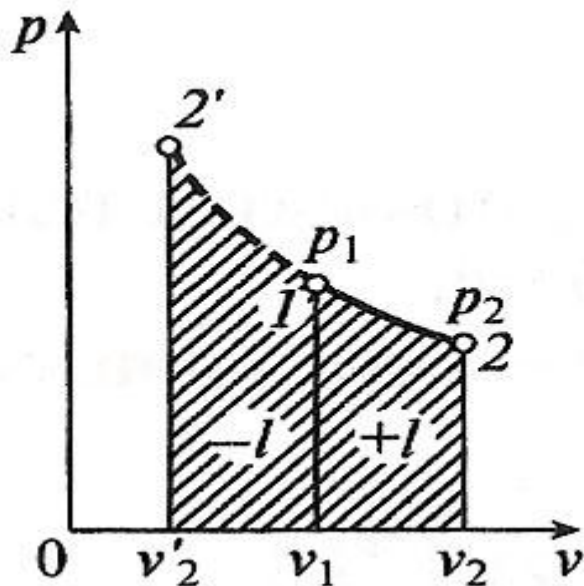


АДИАБАТНЫЙ ПРОЦЕСС

Адиабатным называется процесс изменения состояния газа, который происходит без теплообмена с окружающей средой.

$$pv^k = \text{const.}$$

k носит название **показателя адиабаты** (коэффициент Пуассона).



Значения показателя
адиабаты k для некоторых
газов:

$$k_{\text{воздуха}} = 1,4$$

$$k_{\text{перегретого пара}} = 1,3$$

$$k_{\text{выхлопных газов ДВС}} = 1,33$$

$$k_{\text{насыщенного влажного пара}} = 1,135$$

Так как $dq = 0$, то уравнение первого закона термодинамики для адиабатного процесса будет иметь

вид:

$$\Delta u + l = 0,$$

следовательно

$$\Delta u = -l.$$

В адиабатном процессе работа расширения совершается только за счет расходования внутренней энергии газа, а при сжатии, происходящем за счет действия внешних сил, вся совершаемая ими работа идет на увеличение внутренней энергии газа.

Теплота процесса:

$$dq = c_{ад} dT = 0.$$

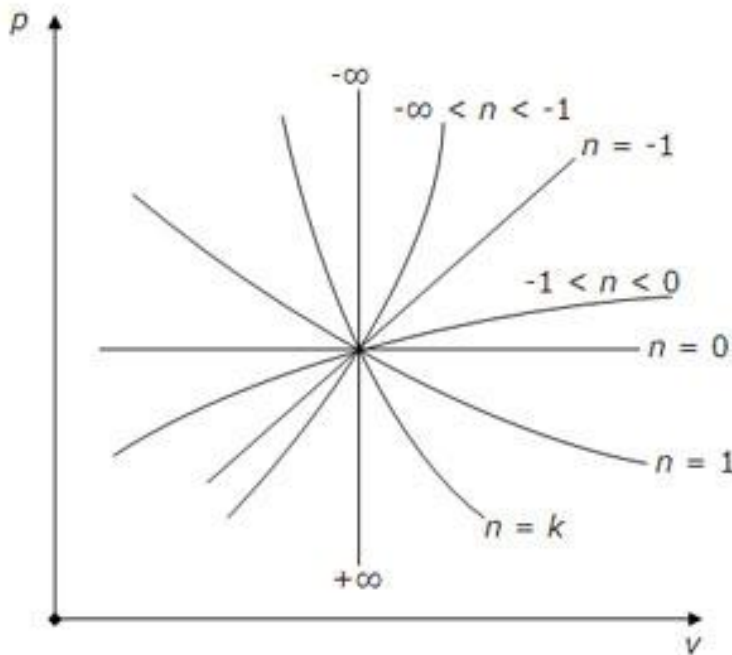
Это условие говорит о том, что теплоемкость в адиабатном процессе равна нулю ($c_{ад} = 0$).

ПОЛИТРОПНЫЙ ПРОЦЕСС

- Политропным называется процесс, который описывается уравнением:

$$p v^n = \text{const.}$$

- График политропы в зависимости от показателя n .



$p v^0 = \text{const}$ ($n = 0$) - изобара;

$p v = \text{const}$ ($n = 1$) - изотерма;

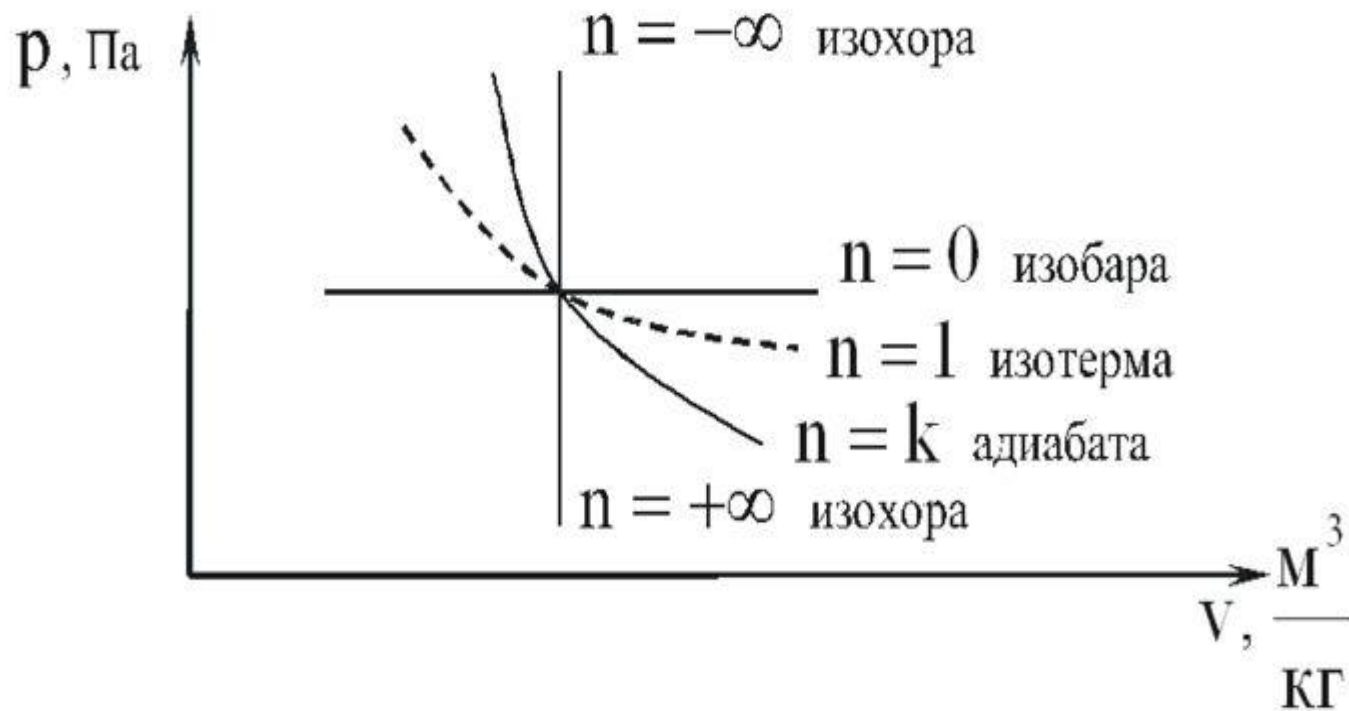
$p^0 v = \text{const}$, $p^{1/\infty} v = \text{const}$, $p v^\infty = \text{const}$ - изохора;

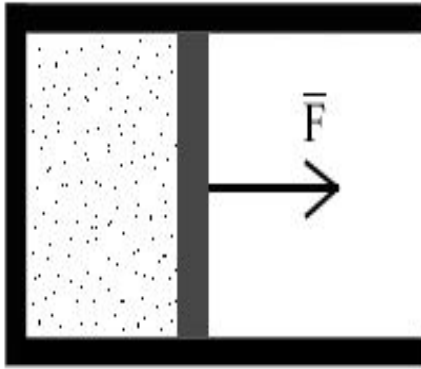
$p v^k = \text{const}$ ($n = k$) - адиабата.

$n > 0$ - гиперболические кривые,

$n < 0$ - параболы.

Графическое изображение частных случаев
политропного процесса :



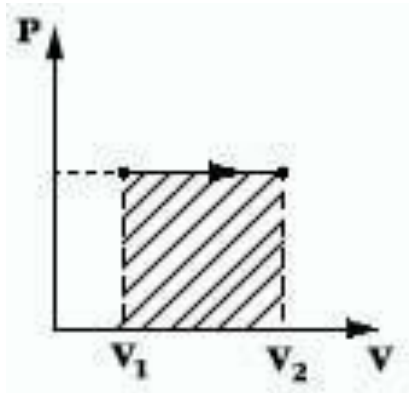


Газ оказывает давление на любую стенку сосуда. Если стенка подвижна (например, поршень на рис. 1), то сила давления \bar{F} совершит работу A , переместив поршень на

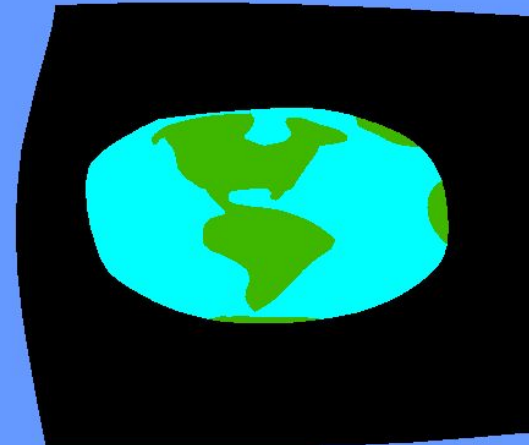
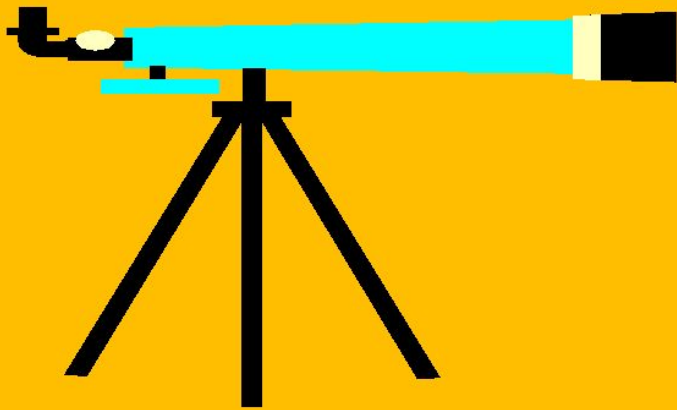
$$A = P \cdot (V_2 - V_1)$$

В изобарном процессе расширения газа $P = \text{const}$. Следовательно, при любом увеличении объема сила давления газа на поршень будет постоянной, и формула работы сохранит свой вид

$$A = P \cdot (V_2 - V_1).$$



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой процесс называется изохорным и какие параметры газа изменяются при изохорном процессе?
2. Какой процесс называется изобарным и как определить работу газа в изобарном процессе.
3. Какой процесс называется изотермическим и какова зависимость между изменяющимися параметрами газа при изотермическом процессе?
4. Какой процесс называется адиабатным и как его графически изображают в Pv -диаграмме?
5. Какой процесс называют политропным?

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Вариант 1.

2. Идеальному газу передается количество теплоты таким образом, что в любой момент времени переданное количество теплоты равно работе, совершенной газом. Какой процесс осуществлен?

- А) Адиабатный
- Б) Изобарный
- В) Изохорный
- Г) Изотермический
- Д) Это мог быть любой процесс
- Е) Никакого

процесса
было

не

Вариант 2.

2. Идеальный газ передал окружающим телам кол-во теплоты таким образом, что в любой момент времени переданное количество теплоты равно изменению внутренней энергии тела. Какой процесс был осуществлен?

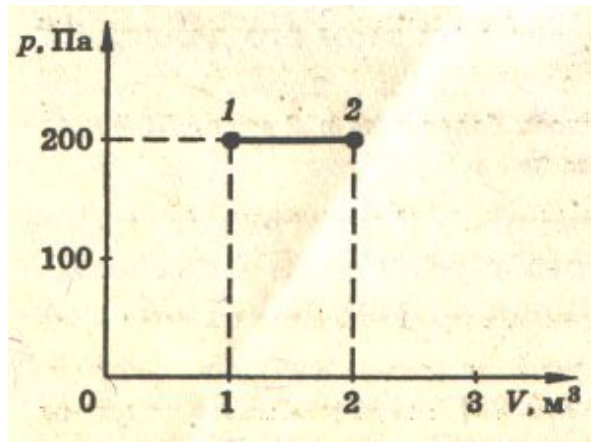
- А) Изотермический
- Б) Изохорный
- В) Изобарный
- Г) Адиабатный
- Д) Это мог быть любой процесс
- Е) Никакого процесса

не

было

Вариант 1.

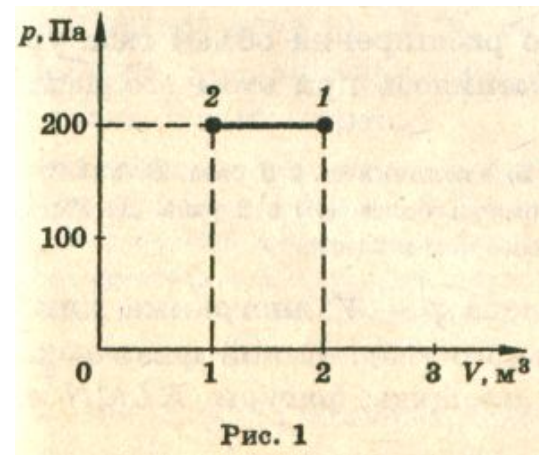
3. Идеальный газ переходит из состояния 1 в состояние 2 в процессе, представленном на диаграмме $p - V$ рисунка 1. Какая работа совершена в этом процессе?



- А) Газ совершил работу 200 Дж.
Б) Внешние силы совершили работу над газом 200 Дж.
В) Газ совершил работу 400 Дж.
Г) Внешние силы совершили работу над газом 400 Дж.
Д) Работа равна нулю.

Вариант 2.

3. Идеальный газ переходит из состояния 1 в состояние 2 в процессе, представленном на диаграмме $p - V$ рисунка 1. Какая работа совершена в этом процессе?



- А) Газ совершил работу 200 Дж.
Б) Внешние силы совершили работу над газом 200 Дж.
В) Газ совершил работу 400 Дж.
Г) Внешние силы совершили работу над газом 400 Дж.
Д) Работа равна нулю.

ЗАДАЧА №1

Воздух, нагнетаемый первой ступенью двухступенчатого компрессора, производительностью $0.1 \text{ м}^3/\text{с}$ перед поступлением во вторую ступень сжатия охлаждается от $t=160^\circ\text{C}$ до $t=40^\circ\text{C}$ при постоянном давлении. Определить количество отводимой теплоты и работу уменьшения объема в результате охлаждения при $t = 20^\circ\text{C}$

Решение. Массовая производительность компрессора

$$m = \frac{pV}{R\Gamma} = \frac{1 \cdot 10^5 \cdot 0,17}{287 \cdot 293} = 0,119 \text{ кг/с.}$$

Отводимая теплота

$$Q = mc_p \Delta T = 0,119 \cdot 1,012 \cdot 120 = 14,4 \text{ кДж/с,}$$

Работа уменьшения объема

$$L = mR\Delta T = 0,119 \cdot 287 \cdot 10^{-3} \cdot 120 = 4,1 \text{ кДж/с.}$$

ЗАДАЧА №2

КАКОЕ КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ НЕОБХОДИМО ПОДВЕСТИ К
1 КГ ВОЗДУХА С ТЕМПЕРАТУРОЙ 20С, ЧТОБЫ ЕГО ОБЪЕМ ПРИ
ПОСТОЯННОМ ДАВЛЕНИИ УВЕЛИЧИЛСЯ В 2 РАЗА?
ОПРЕДЕЛИТЬ ТЕМПЕРАТУРУ ВОЗДУХА В КОНЦЕ ПРОЦЕССА.
ТЕПЛОЕМКОСТЬ ВОЗДУХА СЧИТАТЬ ПОСТОЯННОЙ.

Решение. Определяем температуру воздуха в конце процесса

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{T_2}{T_1} = 2; T_2 = 2T_1 = 293 \cdot 2 = 586 \text{ К} = 313^\circ\text{С}.$$

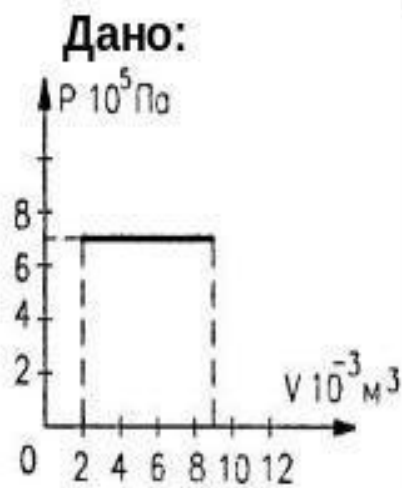
Изменение температуры при подводе теплоты

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 313 - 20 = 293^\circ\text{С}.$$

Подводимая теплота

$$q = c_p \Delta t = 1,012 \cdot 293 = 296,5 \text{ кДж/кг}.$$

Задача 4. На рисунке приведён график зависимости давления газа от объёма. Найдите работу газа при расширении.



Решение.

Газ расширяется изобарно, поэтому работа газа:

$$A' = p\Delta V = p(V_2 - V_1).$$

Значения p , V_1 и V_2 найдём из графика:

$$p = 7 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$V_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$V_2 = 9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Тогда:

$$\begin{aligned} A' &= 7 \cdot 10^5 \text{ Па} (9 - 2) 10^{-3} \text{ м}^3 = \\ &= 49 \cdot 10^2 \text{ Дж} = 4,9 \text{ кДж}. \end{aligned}$$

Ответ: $A' = 4,9 \text{ кДж}$

Домашнее задание:

1. Знать основные термодинамические процессы.
2. Уметь дать определение каждому процессу и его характеристику.
3. Знать соотношение параметров в каждом процессе и основные газовые законы.
4. Решить задачу.

ЗАДАЧА №3

КАКУЮ МОЩНОСТЬ ДОЛЖЕН ИМЕТЬ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КАЛОРИФЕР, ЧТОБЫ
НАГРЕВАТЬ ПРИ ПОСТОЯННОМ ДАВЛЕНИИ
 $P=750$ мм.рт.ст. ПОТОК ВОЗДУХА ОТ $t=-20^{\circ}\text{C}$ ДО
 $t=20^{\circ}\text{C}$, ЕСЛИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ
ВЕНТИЛЯТОРА $V=0.5$ м³/с. ЗАВИСИМОСТЬ
ТЕПЛОЕМКОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ НЕ
УЧИТЫВАТЬ.

Решение. Массовая производительность вентилятора

$$m = \frac{pV}{RT} = \frac{1 \cdot 10^5 \cdot 0,5}{287 \cdot 253} = 0,688 \text{ кг/с.}$$

Мощность калорифера

$$Q = mc_p \Delta t = 0,688 \cdot 1,012 \cdot 40 = 27,9 \text{ кВт.}$$