

Термодинамика

Урок 1 Внутренняя энергия.
Работа. 1 начало
термодинамики.

Внутренняя энергия идеального газа

Внутренняя энергия идеального газа представляет собой сумму только кинетической энергии всех молекул, а потенциальной энергией взаимодействия можно пренебречь:

$$U = \sum E_{k0} = NE_{k0} = \frac{mN_A}{M} \cdot \frac{ikT}{2} = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{M} RT = \frac{i}{2} \nu RT = \frac{i}{2} pV,$$

где i – степень свободы: $i = 3$ для одноатомного (или идеального) газа, $i = 5$ для двухатомного газа, $i = 6$ для трёхатомного газа и больше.

Числом степеней свободы механической системы называют количество независимых величин, с помощью которых может быть задано положение системы.

Изменение внутренней энергии идеального газа

Основная формула	$\Delta U = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{M} R \Delta T = \frac{i}{2} \nu R \Delta T = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1)$
Изотермический процесс	<i>Запомните:</i> $\Delta U = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1) = 0$
Изобарное расширение	$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{i}{2} (pV_2 - pV_1) = \frac{i}{2} p \Delta V$
Изохорное увеличение давления	$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{i}{2} (p_2V - p_1V) = \frac{i}{2} V \Delta p$
Произвольный процесс	$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (p_2V_2 - p_1V_1)$

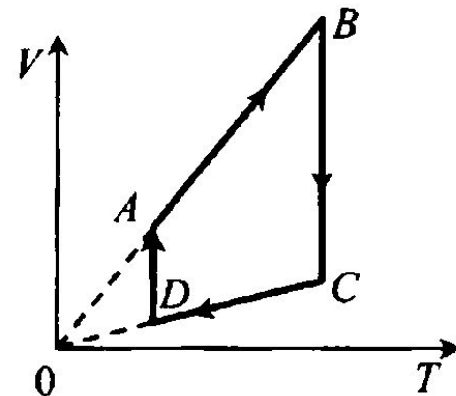
Внутренняя энергия

A15. Как изменяется внутренняя энергия идеального газа при его изотермическом сжатии?

- 1) Увеличивается или уменьшается в зависимости от скорости изменения объёма
- 2) Увеличивается
- 3) Уменьшается
- 4) Не изменяется

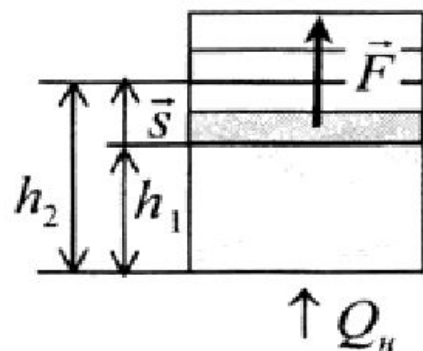
A16. На рисунке показан график циклического процесса, проведённого с идеальным газом. На каком из участков внутренняя энергия газа уменьшалась?

- 1) AB
- 2) DA
- 3) CD
- 4) BC



Работа идеального газа

Работа идеального газа. Если газ, находящийся под поршнем, нагреть, то, расширяясь, он поднимет поршень, т.е. совершит механическую работу.



Изобарное расширение газа

$$A = F s \cos \alpha ; F = p S ;$$

$$s = h_2 - h_1 ; \cos \alpha = 1, \vec{F} \uparrow \uparrow \vec{s}$$

$$A' = p(V_2 - V_1) = p \Delta V > 0$$

Помните: знак работы определяется только знаком $\cos \alpha$.

Изобарное сжатие газа

$$A' = p(V_2 - V_1) = p \Delta V < 0 .$$

Изобарное нагревание газа

$$A' = \nu R \Delta T = \nu R (T_2 - T_1) = \frac{m}{M} R \Delta T$$

Запомните: в изохорном процессе $\Delta V = 0$, $A' = 0$.

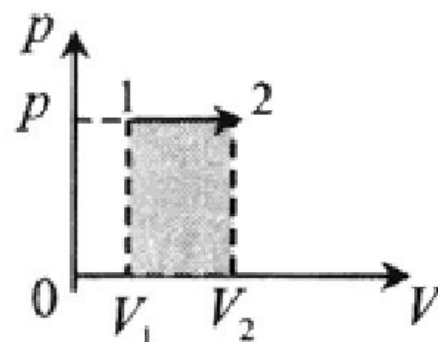
Геометрический смысл работы в термодинамике. В термодинамике для нахождения работы можно вычислить площадь фигуры под графиком в осях (p, V) .

Примеры графических задач

Изобарное расширение:

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

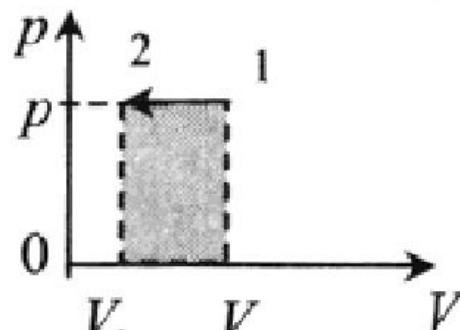
$$A' > 0$$



Изобарное сжатие:

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

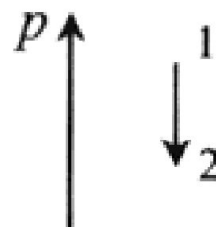
$$A' < 0$$



Изохорное охлаждение:

$$V = \text{const}$$

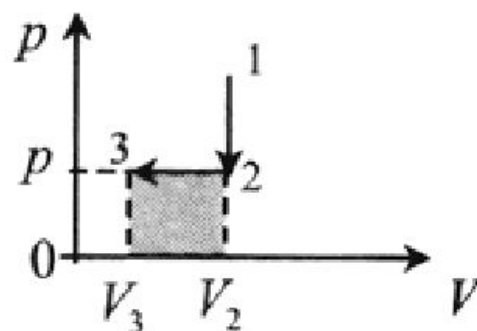
$$A' = 0$$



Изохорное охлаждение и изобарное сжатие:

$$1-2: A' = 0$$

$$2-3: A' = p\Delta V < 0$$



Замкнутый цикл:

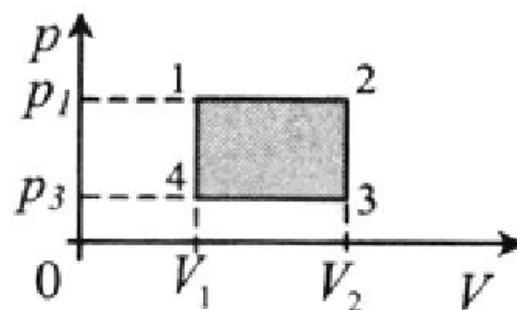
$$1-2: A' > 0;$$

$$2-3: A' = 0$$

$$3-4: A' < 0;$$

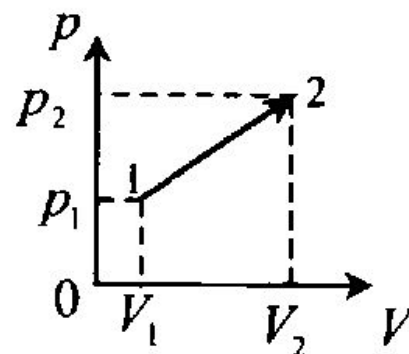
$$4-1: A' = 0$$

$$A' = (p_1 - p_3)(V_2 - V_1)$$



Произвольный процесс:

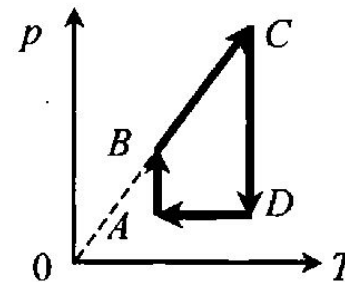
$$A' = \frac{p_1 + p_2}{2} (V_2 - V_1)$$



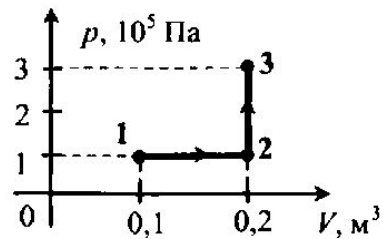
Работа в термодинамике

A18. На графике изображён цикл с идеальным газом неизменной массы. На каком участке графика работа равна нулю?

- 1) AB
- 2) DA
- 3) CD
- 4) BC



A19. Какую работу совершает газ при переходе из состояния 1 в состояние 3?



- | | |
|-----------|-----------|
| 1) 10 кДж | 2) 20 кДж |
| 3) 30 кДж | 4) 40 кДж |

Первое начало термодинамики

Первое начало термодинамики (закон сохранения энергии в тепловых процессах): *внутренняя энергия идеального газа изменяется двумя способами: за счёт теплопередачи или при совершении работы*

$$\pm\Delta U = \pm Q \pm A',$$

где $+\Delta U$ — внутренняя энергия газа увеличивается,
 $-\Delta U$ — внутренняя энергия газа уменьшается,
 $+Q$ — газ нагревают, газу передают количество теплоты,
 $-Q$ — газ охлаждается, газ отдаёт тепло окружающей среде,
 $+A'$ — газ сжимает внешняя сила,
 $-A'$ — газ расширяется, газ совершает работу.

Учтите, что знак перед работой показывает, как процесс совершения работы влияет на изменение внутренней энергии газа.

1 начало термодинамики

1. В некотором процессе внутренняя энергия газа уменьшилась на 300 Дж, а газ совершил работу 500 Дж. Какое количество теплоты было сообщено газу? **(200 Дж)**
2. В некотором процессе газу было сообщено количество теплоты 900 Дж. Газ совершил работу 500 Дж. Как изменилась внутренняя энергия газа? **(Увеличилась на 400 Дж)**

1 начало термодинамики

3. При передаче газу количества теплоты 300 Дж его внутренняя энергия уменьшилась на 100 Дж. Какую работу совершил газ? **(400 Дж)**
4. Идеальный газ отдал количество теплоты 600 Дж, при этом его внутренняя энергия увеличилась на 200 Дж. Чему равна работа, совершенная над газом? **(800 Дж)**
5. Внешние силы совершили над газом работу 500 Дж, при этом внутренняя энергия уменьшилась на 200 Дж. Определите количество теплоты, отданное газом. **(700 Дж)**

**От чего зависят физические величины,
входящие в первое начало термодинамики**

Изменение внутренней энергии — от изменения температуры:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T .$$

Работа газа — от изменения объёма:

$$A' = p \Delta V .$$

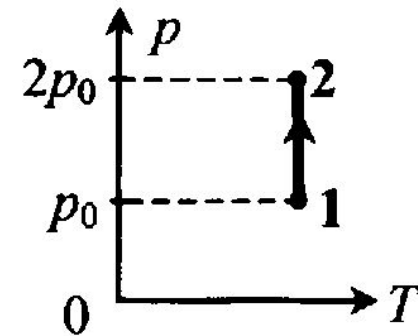
Первое начало термодинамики для изопроцессов

Изотермический ($T = \text{const}$)	$\Delta U = 0, Q = A'$
Изохорный ($V = \text{const}$)	$A' = 0, \Delta U = Q$
Изобарное расширение газа ($p = \text{const}$)	$\Delta U = Q - p \Delta V$ $\Delta U = Q - \nu R \Delta T$
Адиабатный ($Q = 0$) (или теплоизолированная система)	$Q = 0, \Delta U = A'$

1 начало термодинамики

A20. На pT -диаграмме (см. рис.) показан процесс изменения состояния идеального одноатомного газа. Газ отдаёт 50 кДж теплоты. Работа внешних сил равна

- 1) 0 кДж
- 2) 25 кДж
- 3) 50 кДж
- 4) 100 кДж



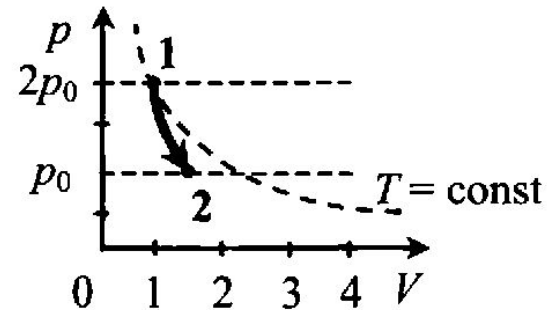
A21. Идеальный одноатомный газ находится в сосуде с жёсткими стенками объёмом $0,6 \text{ м}^3$. При нагревании его внутренняя энергия увеличилась на 18 кДж. На сколько возросло давление газа?

- 1) 10 кПа
- 2) 20 кПа
- 3) 30 кПа
- 4) 40 кПа

1 начало термодинамики

A22. На рисунке представлен график зависимости давления идеального одноатомного газа от объёма при адиабатном расширении. Газ совершает работу, равную 20 кДж. Внутренняя энергия газа при этом

- 1) не изменилась
- 2) увеличилась на 20 кДж
- 3) уменьшилась на 20 кДж
- 4) уменьшилась на 40 кДж



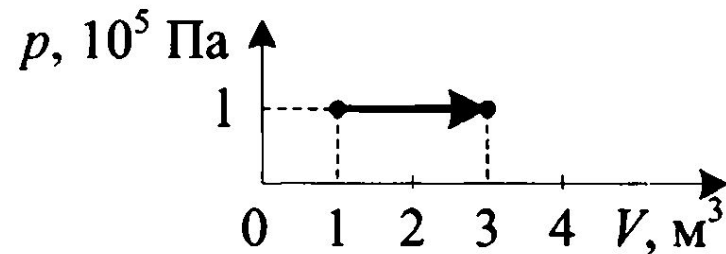
A23. Идеальный одноатомный газ совершает переход из состояния 1 в состояние 2 изобарно. Количество теплоты, подведённое к системе в этом процессе, равно 225 кДж. При этом внутренняя энергия газа

- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| 1) увеличилась на 315 кДж | 2) уменьшилась на 225 кДж |
| 3) увеличилась на 135 кДж | 4) уменьшилась на 90 кДж |

1 начало термодинамики

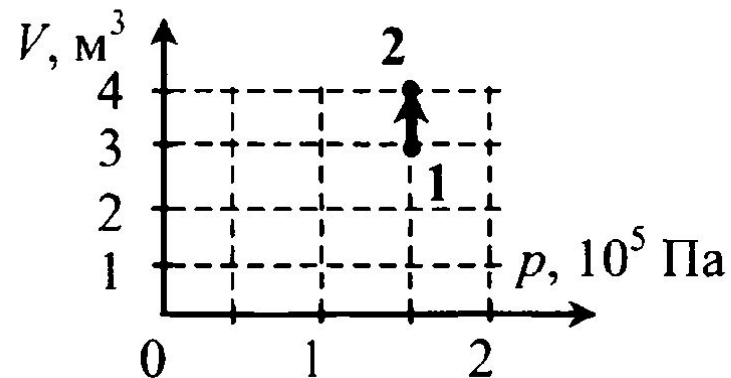
A24. На рисунке приведён график зависимости давления одноатомного идеального газа от его объёма. Газ получил 300 кДж теплоты. Внутренняя энергия газа при этом

- 1) не изменилась
- 2) увеличилась на 100 кДж
- 3) уменьшилась на 200 кДж
- 4) увеличилась на 300 кДж



A25. Идеальный одноатомный газ совершает переход из состояния 1 в состояние 2 (см. рис.). При этом количество теплоты, подведённое к системе, равно

- 1) 150 кДж
- 2) 225 кДж
- 3) 375 кДж
- 4) 525 кДж



В26. Установите соответствие между описанными в первом столбце особенностями применения первого закона термодинамики к различным изопроцессам и названием изопроцесса.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ПЕРВОГО ЗАКОНА
ТЕРМОДИНАМИКИ

НАЗВАНИЕ
ПРОЦЕССА

- А) Всё переданное газу количество теплоты идёт на изменение внутренней энергии газа.
- Б) Изменение внутренней энергии газа происходит только за счёт совершения работы, так как теплообмен с окружающими телами отсутствует.
- В) Всё переданное газу количество теплоты идёт на совершение работы, а внутренняя энергия газа остаётся без изменения

- 1) изотермический
- 2) изобарный
- 3) изохорный
- 4) адиабатный

Тепловые машины

Тепловые машины — устройства, в которых за счёт внутренней энергии топлива совершается механическая работа. Чтобы тепловая машина работала циклически, необходимо, чтобы часть энергии, полученной от нагревателя, она отдавала холодильнику.

Второе начало термодинамики: *в циклически действующем тепловом двигателе невозможно преобразовать всё количество теплоты, полученное от нагревателя, в механическую работу.*

-- --

Цикл Карно происходит с идеальным газом.

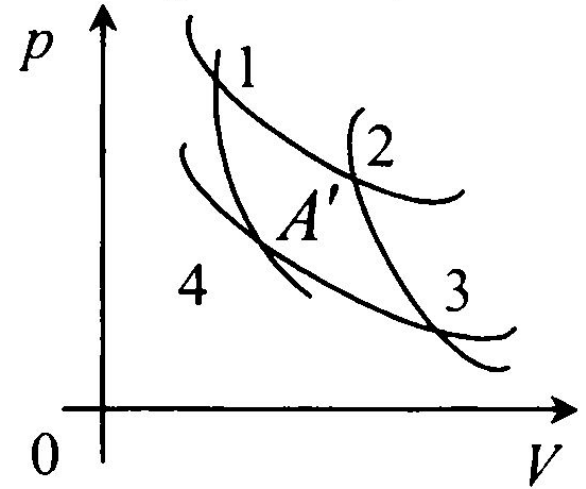
График цикла Карно состоит из двух адиабат и двух изотерм:

1–2 — изотермическое расширение

2–3 — адиабатное расширение

3–4 — изотермическое сжатие

4–1 — адиабатное сжатие



Цикл Карно происходит с идеальным газом.

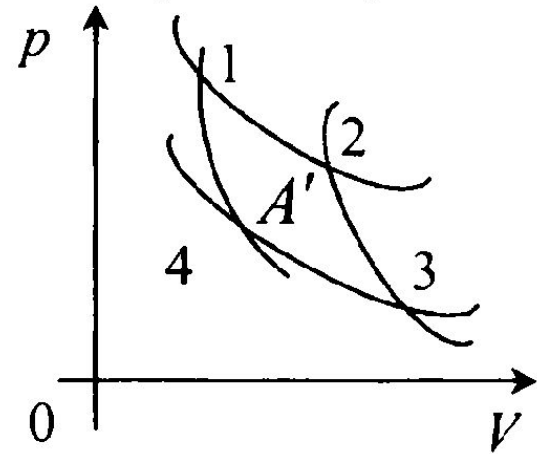
График цикла Карно состоит из двух адиабат и двух изотерм:

1–2 — изотермическое расширение

2–3 — адиабатное расширение

3–4 — изотермическое сжатие

4–1 — адиабатное сжатие



A30. Тепловая машина за цикл работы получает от нагревателя количество теплоты, равное 100 Дж, и отдаёт холодильнику количество теплоты, равное 40 Дж. Чему равен КПД тепловой машины?

1) 40% 2) 60% 3) 29% 4) 43%

A31. Тепловая машина с КПД 60% за цикл работы отдаёт холодильнику количество теплоты, равное 100 Дж. Какое количество теплоты за цикл получает машина от нагревателя?

1) 600 Дж 2) 250 Дж
3) 150 Дж 4) 60 Дж

A32. Тепловая машина за цикл получает от нагревателя 50 Дж и совершает полезную работу, равную 100 Дж. Чему равен КПД тепловой машины?

1) 200% 2) 67%
3) 50% 4) Такая машина невозможна

A33. Тепловая машина за цикл совершает работу 50 Дж, и отдаёт холодильнику количество теплоты, равное 100 Дж. Чему равен КПД тепловой машины?

1) 100%

2) 50%

3) 33%

4) 67%

A34. КПД идеального теплового двигателя 30%. Какова температура нагревателя, если температура холодильника 20 °С? Ответ округлите до целых

1) 419 °С

2) 419 К

3) 29 °С

4) 10 К

A35. Температура струи, выходящей из сопла ракетного двигателя, равна 1000 К. КПД этого двигателя теоретически может достигать значения 70%. Чему равна температура в его камере сгорания?

1) 3300 К

2) 1300 К

3) 1430 К

4) 700 К

A36. Температура нагревателя идеального теплового двигателя Карно 227°C , а температура холодильника 27°C . Рабочее тело двигателя совершает за цикл работу, равную 10 кДж . Какое количество теплоты получает рабочее тело от нагревателя за один цикл?

1) $2,5\text{ Дж}$

2) $11,35\text{ Дж}$

3) $11,35\text{ кДж}$

4) 25 кДж