

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	$\text{Запомните: } \Delta U = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1) = 0$
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	$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{i}{2} (p_2 V - p_1 V) = \frac{i}{2} V \Delta p$
Произвольный процесс	$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1)$

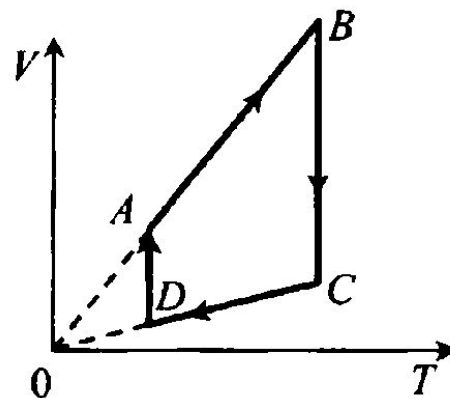
Внутренняя энергия

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

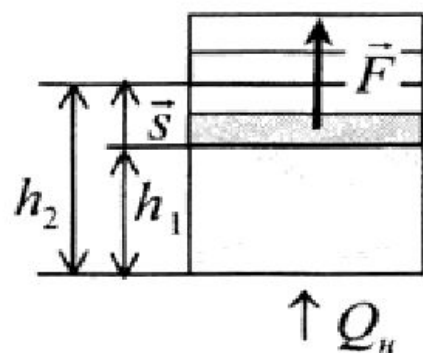
A16. На рисунке показан график циклического процесса, проведённого с идеальным газом. На каком из участков внутренняя энергия газа уменьшалась?

- 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 $\Delta V = 0$, $A' = 0$.

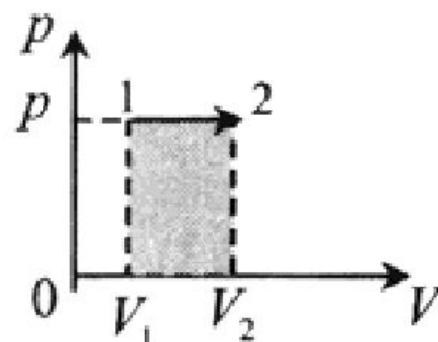
Геометрический смысл работы в термодинамике. В термодинамике для нахождения работы можно вычислить площадь фигуры под графиком в осях (p, V) .

Примеры графических задач

Изобарное расширение:

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

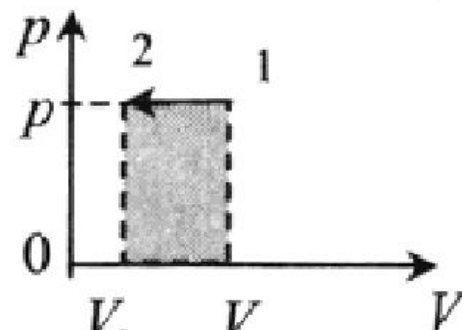
$$A' > 0$$



Изобарное сжатие:

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

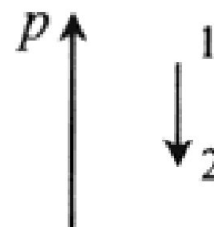
$$A' < 0$$



Изохорное охлаждение:

$$V = \text{const}$$

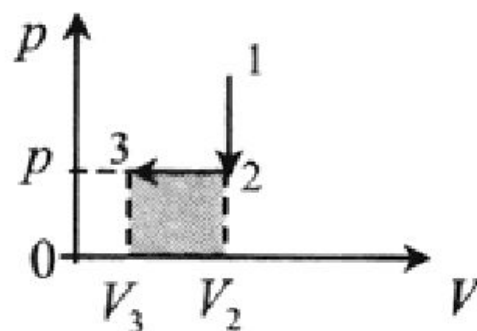
$$A' = 0$$



Изохорное охлаждение и изобарное сжатие:

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

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



Замкнутый цикл:

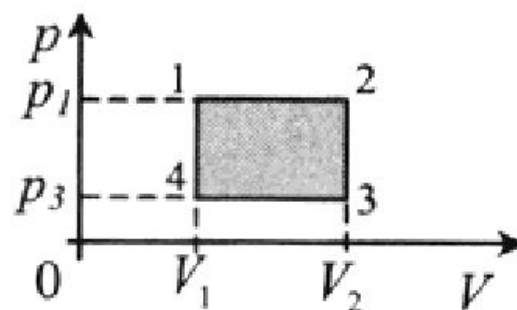
$$1-2: A' > 0;$$

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

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

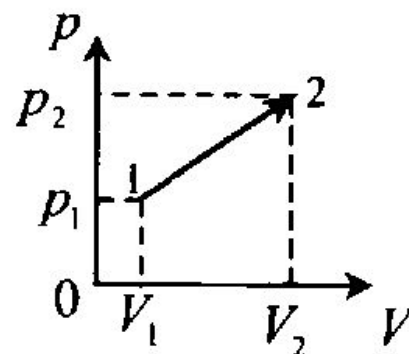
$$4-1: A' = 0$$

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



Произвольный процесс:

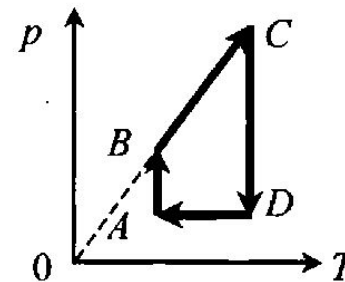
$$A' = \frac{p_1 + p_2}{2} (V_2 - V_1)$$



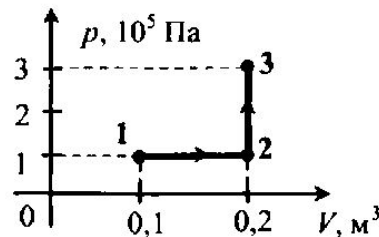
Работа в термодинамике

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:

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

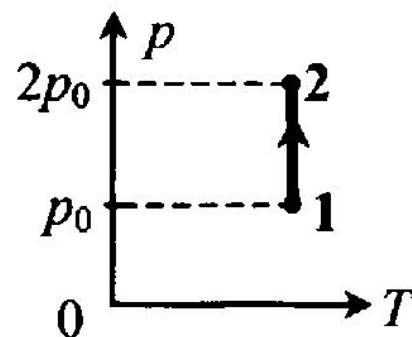
Первое начало термодинамики для изопроцессов

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



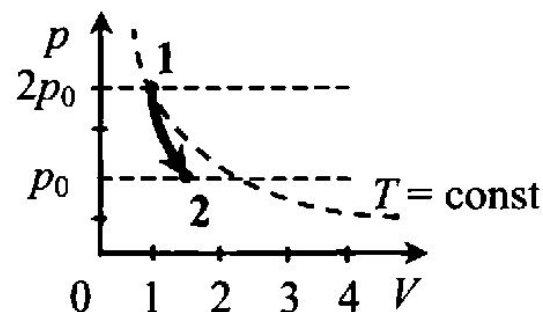
A21. Идеальный одноатомный газ находится в сосуде с жёсткими стенками объёмом $0,6 \text{ м}^3$. При нагревании его внутренняя энергия увеличилась на 18 кДж. На сколько возросло давление газа?

- 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



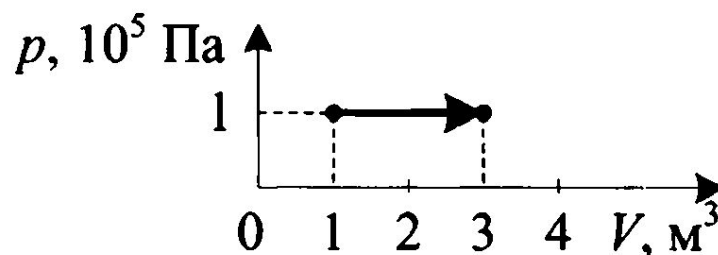
A23. Идеальный одноатомный газ совершает переход из состояния 1 в состояние 2 изобарно. Количество теплоты, подведённое к системе в этом процессе, равно 225 кДж. При этом внутренняя энергия газа

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

1 начало термодинамики

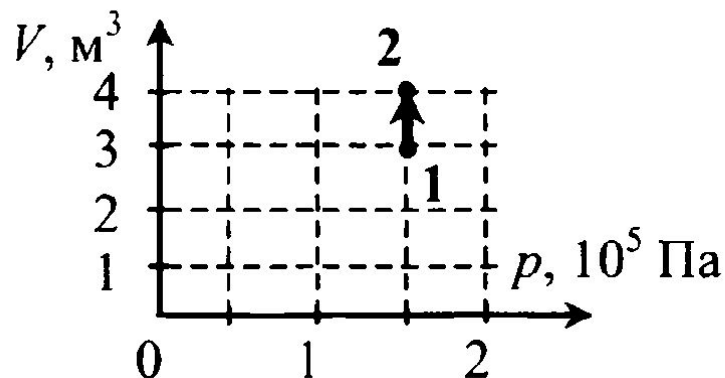
A24. На рисунке приведён график зависимости давления одноатомного идеального газа от его объёма. Газ получил 300 кДж теплоты. Внутренняя энергия газа при этом

- 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.

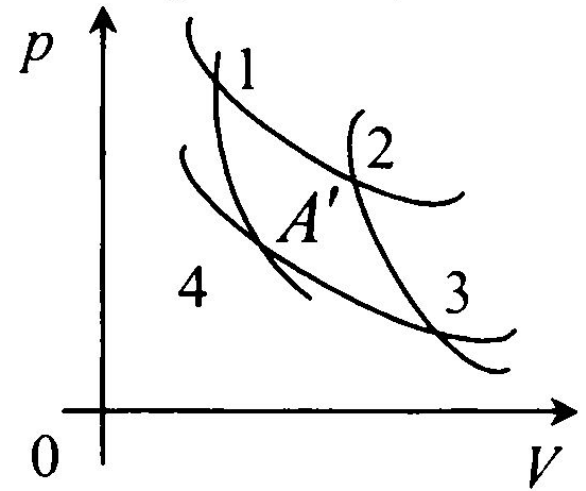
График цикла Карно состоит из двух адиабат и двух изотерм:

1–2 — изотермическое расширение

2–3 — адиабатное расширение

3–4 — изотермическое сжатие

4–1 — адиабатное сжатие



Цикл Карно происходит с идеальным газом.

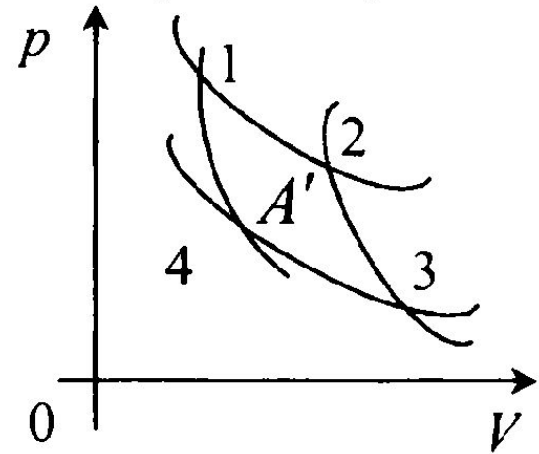
График цикла Карно состоит из двух адиабат и двух изотерм:

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