

Применение первого закона термодинамики к различным процессам

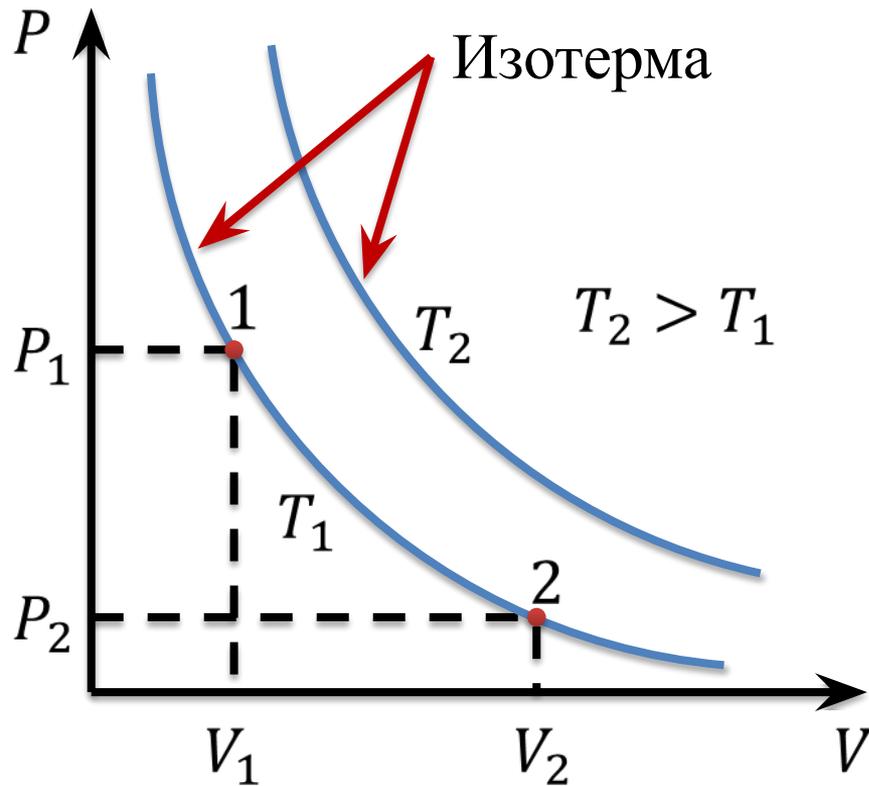
Изотермический процесс

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

$$PV = \text{const}$$

$$P = \frac{V}{\text{const}}$$

$$P_1V_1 = P_2V_2 = \dots = P_nV_n$$



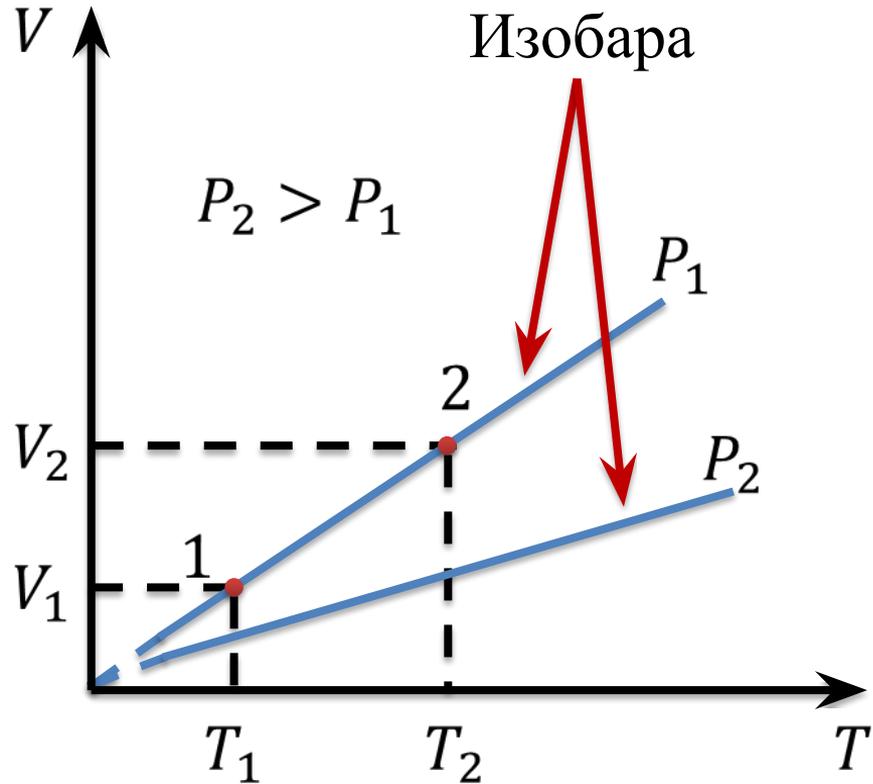
Изобарный процесс

$$m = \text{const}, P = \text{const}$$

$$\frac{V}{T} = \text{const}$$

$$V = T \times \text{const}$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \dots = \frac{V_n}{T_n}$$



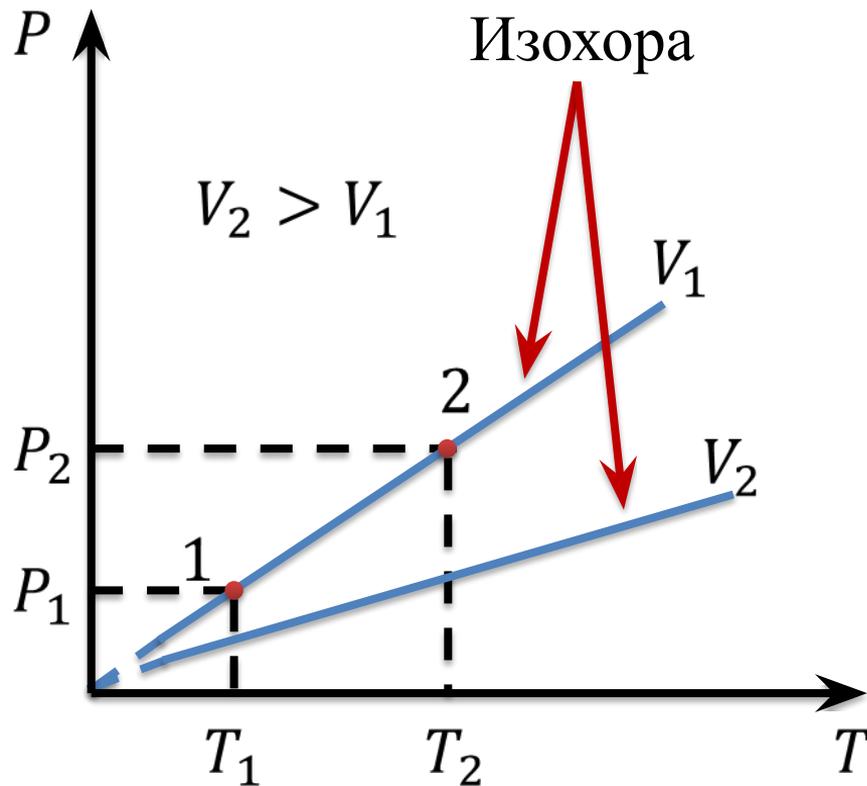
Изохорный процесс

$$m = \text{const}, V = \text{const}$$

$$\frac{P}{T} = \text{const}$$

$$P = T \times \text{const}$$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \dots = \frac{P_n}{T_n}$$



Изотермический процесс

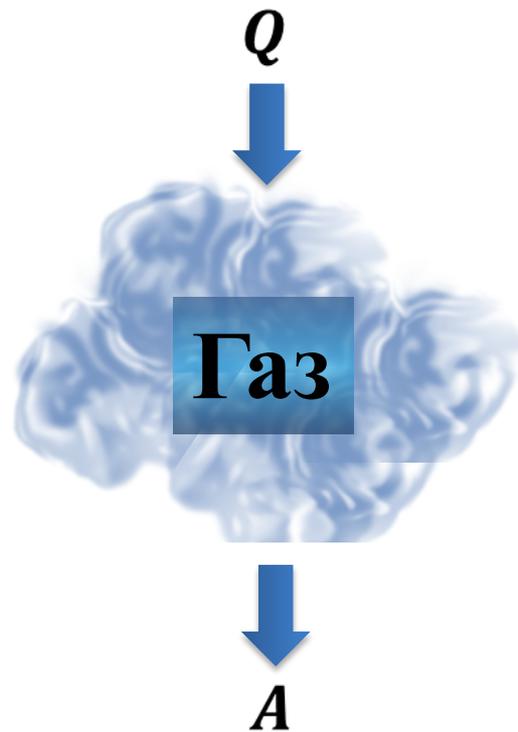
$$Q = \Delta U + A$$

$$T = \text{const} \Rightarrow U = \text{const}$$

$$\Delta U = 0 \Rightarrow Q = A$$

$$Q > 0 \Rightarrow A > 0$$

$$Q < 0 \Rightarrow A < 0$$



Изохорный процесс

$$Q = \Delta U + A$$

$$V = \text{const} \Rightarrow A = 0$$

$$A = 0 \Rightarrow Q = \Delta U$$

$$\Delta U > 0 \Rightarrow Q > 0$$

$$\Delta U < 0 \Rightarrow Q < 0$$



$$\Delta U < 0$$



$$\Delta U > 0$$

Изобарный процесс

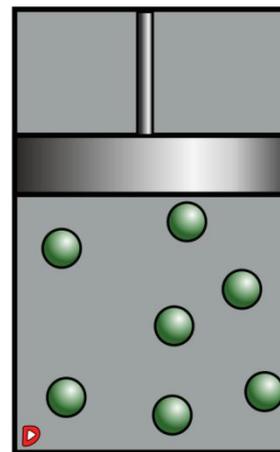
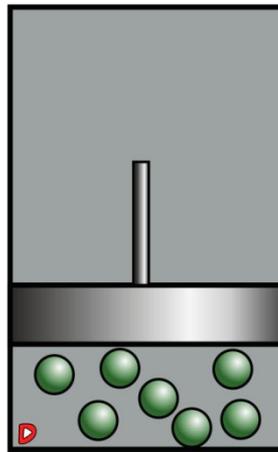
$$Q = \Delta U + A$$

$$P = \text{const}$$

$$A = P\Delta V$$

$$Q = \Delta U + P\Delta V$$

$$P = \text{const}$$



$$Q = \Delta U + P\Delta V$$

Адиабатный процесс

Адиабатный процесс — процесс, происходящий при отсутствии теплообмена.

$$Q = \Delta U + A$$

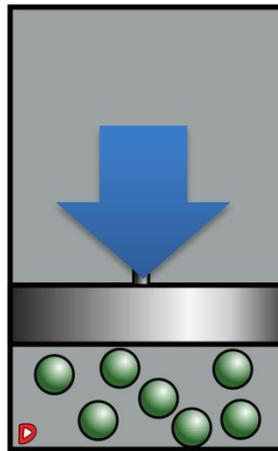
$$Q = 0 \Rightarrow \Delta U + A = 0$$

$$\Delta U = -A$$

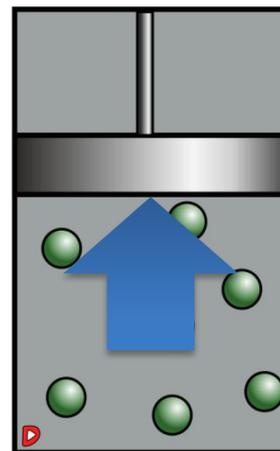
$$A > 0 \Rightarrow \Delta U < 0$$

$$A_{\text{ВН}} > 0 \Rightarrow \Delta U > 0$$

$$Q = 0$$



$$\Delta U > 0$$



$$\Delta U < 0$$

Изолированная система

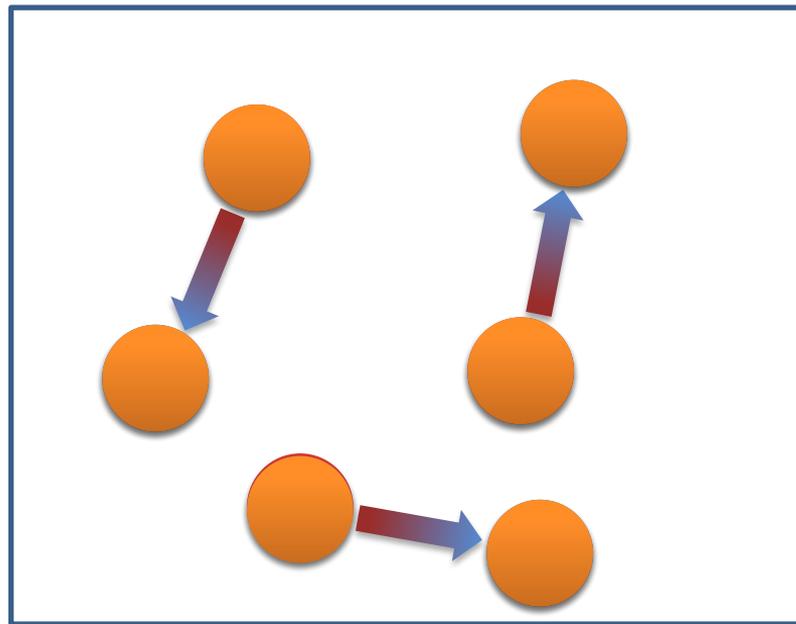
Изолированная система:

$$A = 0, \Delta U = 0$$

$$Q = 0$$

Уравнение теплового баланса:

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = 0$$



Процесс	Величина, характеризующая вещество	Расчетная формула для количества теплоты
Парообразование		
Конденсация		
Плавление		
Кристаллизация		
Нагревание или охлаждение		
Сгорания топлива		

Адиабатно расширяясь, водяной пар совершил работу, равную 11 кДж. Масса пара составляет 0,5 кг. Если начальная температура пара 390 К, то какова его конечная температура?

Дано:

$$Q = 0$$

$$A = 11 \text{ кДж}$$

$$m = 0,5 \text{ кг}$$

H_2O

$$T_0 = 390 \text{ К}$$

$T = ?$

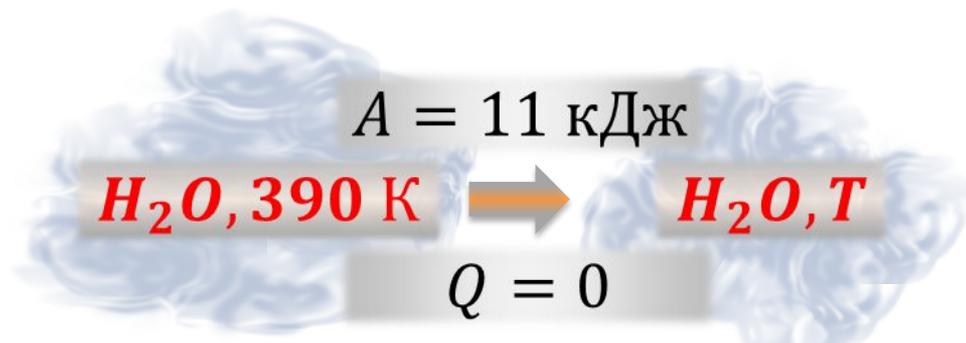
$$Q = \Delta U + A$$

$$\Delta U = -A$$

$$\Delta U = \frac{i m}{2 M} R \Delta T$$

$$T = T_0 - \frac{2 A M}{i m R} + T_0$$

$$T = -\frac{2 \times 11000 \times 0,018}{6 \times 0,5 \times 8,31} + 390 = 374 \text{ К}$$



$$M(\text{H}_2\text{O}) = 0,018 \text{ КГ}$$

МОЛЬ

Изначально газ, находящийся при нормальном давлении, занимает объём равный **40 л**. После того, как газ изотермически сжимают, его объём уменьшается до **15 л**. Если при этом процессе газ потерял **50 кДж** теплоты, то какова работа внешних сил? Каково конечное давление газа? Постройте график, соответствующий данному процессу.

Дано:

СИ

$$P_1 = 10^5 \text{ Па}$$

$$V_1 = 40 \text{ л}$$

$$V_2 = 15 \text{ л}$$

$$Q = -50 \text{ кДж}$$

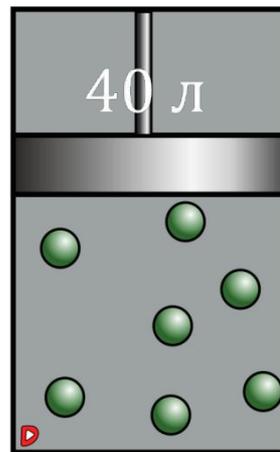
$$T = \text{const}$$

$$4 \times 10^{-2} \text{ м}^3$$

$$1,5 \times 10^{-2} \text{ м}^3$$

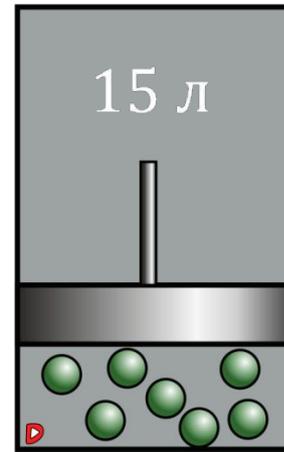
$$-5 \times 10^4 \text{ Дж}$$

$$P_2 - ? \quad A_{\text{вн}} - ?$$



-50 кДж

 $T = \text{const}$



Изначально газ, находящийся при нормальном давлении, занимает объём равный 40 л. После того, как газ изотермически сжимают, его объём уменьшается до 15 л. Если при этом процессе газ потерял 50 кДж теплоты, то какова работа внешних сил? Каково конечное давление газа? Постройте график, соответствующий данному процессу.

Дано:

$$P_1 = 10^5 \text{ Па}$$

$$V_1 = 4 \times 10^{-2} \text{ м}^3$$

$$V_2 = 1,5 \times 10^{-2} \text{ м}^3$$

$$Q = -5 \times 10^4 \text{ Дж}$$

$$T = \text{const}$$

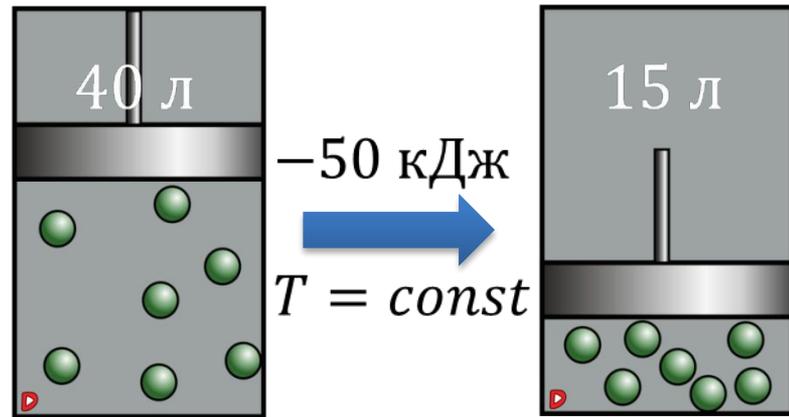
$$P_2 - ? \quad A_{\text{вн}} - ?$$

$$\Delta U = Q + A_{\text{вн}}$$

$$0 = Q + A_{\text{вн}}$$

$$A_{\text{вн}} = -Q$$

$$A_{\text{вн}} = 50 \text{ кДж}$$



Изначально газ, находящийся при нормальном давлении, занимает объём равный 40 л. После того, как газ изотермически сжимают, его объём уменьшается до 15 л. Если при этом процессе газ потерял 50 кДж теплоты, то какова работа внешних сил? Каково конечное давление газа? Постройте график, соответствующий данному процессу.

Дано:

$$P_1 = 10^5 \text{ Па}$$

$$V_1 = 4 \times 10^{-2} \text{ м}^3$$

$$V_2 = 1,5 \times 10^{-2} \text{ м}^3$$

$$Q = -5 \times 10^4 \text{ Дж}$$

$$T = \text{const}$$

$$P_2 - ? \quad A_{\text{вн}} - ?$$

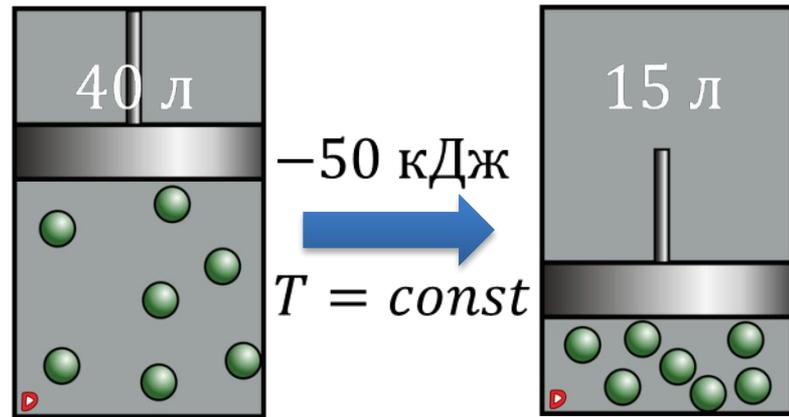
$$PV = \text{const},$$

при $T = \text{const}$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$P_2 = P_1 \frac{V_1}{V_2}$$

$$P_2 = 10^5 \times \frac{4 \times 10^{-2}}{1,5 \times 10^{-2}} \approx 267 \text{ кПа}$$



Изначально газ, находящийся при нормальном давлении, занимает объём равный 40 л. После того, как газ изотермически сжимают, его объём уменьшается до 15 л. Если при этом процессе газ потерял 50 кДж теплоты, то какова работа внешних сил? Каково конечное давление газа? Постройте график, соответствующий данному процессу.

Дано:

$$P_1 = 10^5 \text{ Па}$$

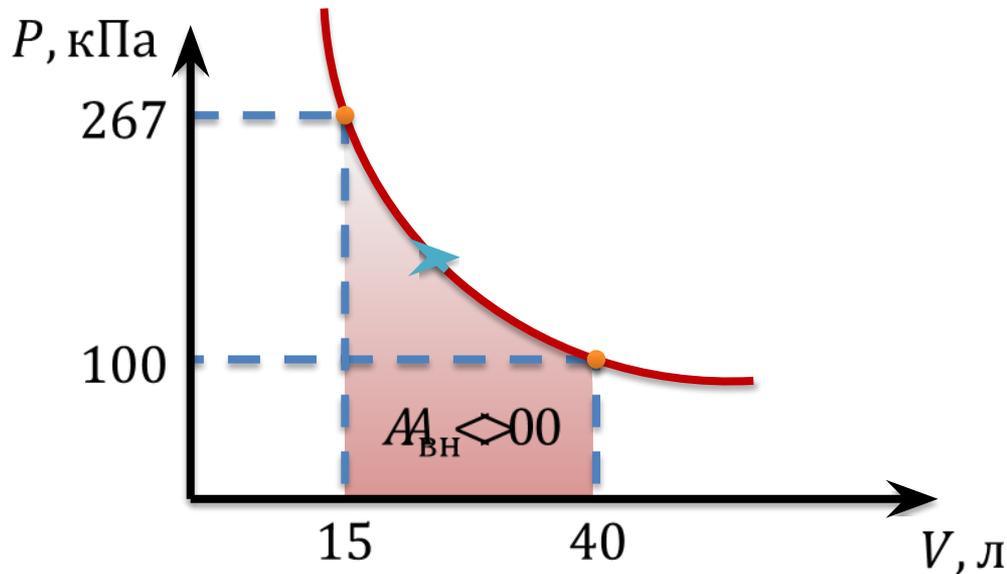
$$V_1 = 4 \times 10^{-2} \text{ м}^3$$

$$V_2 = 1,5 \times 10^{-2} \text{ м}^3$$

$$Q = -5 \times 10^4 \text{ Дж}$$

$$T = \text{const}$$

$$P_2 - ? \quad A_{\text{вн}} - ?$$



На графике показан процесс перевода 3 кг водорода из состояния 1 в состояние 3. Определите суммарное изменение внутренней энергии, совершенную водородом работу и количество теплоты, переданное водороду.

Дано:

$$m = 3 \text{ кг}$$

H_2

$$M = 0,002 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$A, \Delta U, Q - ?$

$\Delta T - ?$

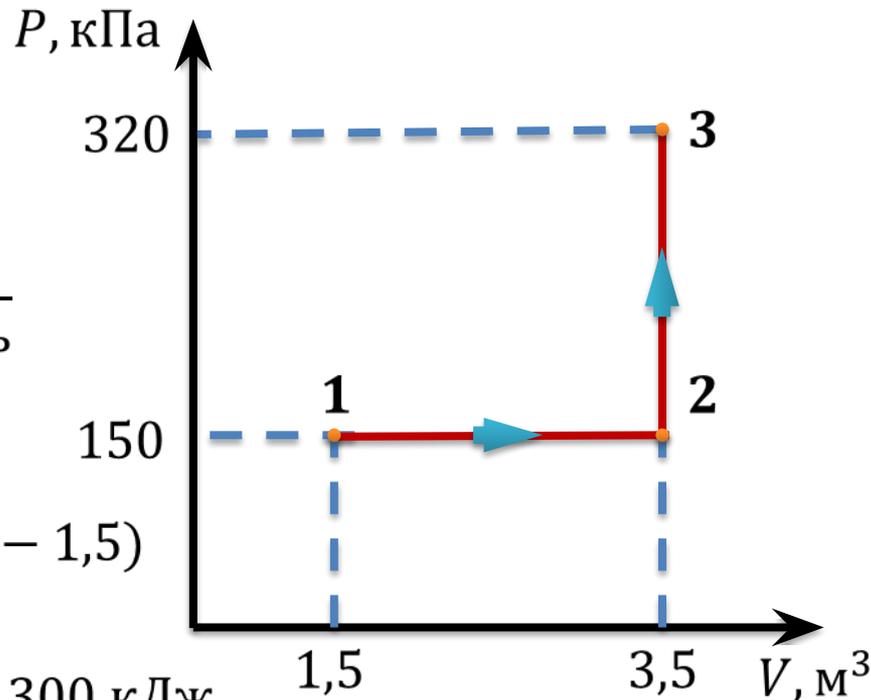
Процесс 1-2:
 $P = \text{const}$
 Hydrogenium
 Водород

$$A_1 = P \Delta V = 0,002 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$A_1 = P_1 (V_2 - V_1)$$

$$A_1 = 1,5 \times 10^5 (3,5 - 1,5)$$

$$A_1 = 3 \times 10^5 \text{ Дж} = 300 \text{ кДж}$$



На графике показан процесс перевода 3 кг водорода из состояния 1 в состояние 3. Определите суммарное изменение внутренней энергии, совершенную водородом работу и количество теплоты, переданное водороду.

Дано:

$$m = 3 \text{ кг}$$

H_2

$$M = 0,002 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$A, \Delta U, Q - ?$

$\Delta T - ?$

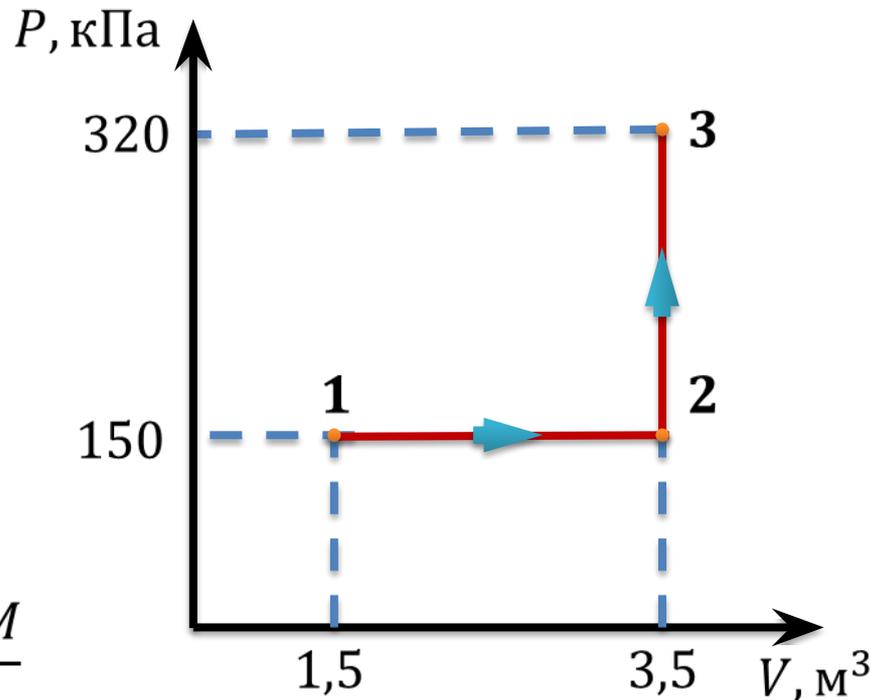
Процесс 1-2:

$$P = \text{const}$$

$$\Delta U_1 = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T_1$$

$$PV = \frac{m}{M} RT$$

$$\Delta T_1 = \frac{P_1(V_2 - V_1) M}{mR}$$



На графике показан процесс перевода 3 кг водорода из состояния 1 в состояние 3. Определите суммарное изменение внутренней энергии, совершенную водородом работу и количество теплоты, переданное водороду.

Дано:

$$m = 3 \text{ кг}$$

H_2

$$M = 0,002 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$A, \Delta U, Q - ?$

$\Delta T - ?$

Процесс 1-2:

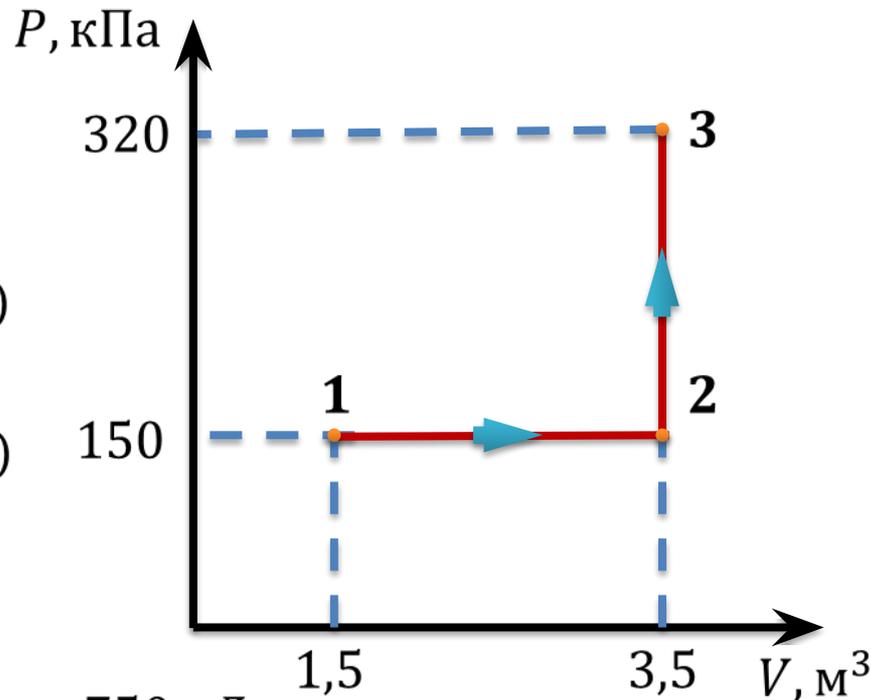
$$P = \text{const}$$

$$\Delta U_1 = \frac{i}{2} P_1 (V_2 - V_1)$$

$$\Delta U_1 = \frac{5}{2} P_1 (V_2 - V_1)$$

$$\Delta U_1 = \frac{5}{2} \times 3 \times 10^5$$

$$\Delta U_1 = 7,5 \times 10^5 \text{ Дж} = 750 \text{ кДж}$$



На графике показан процесс перевода 3 кг водорода из состояния 1 в состояние 3. Определите суммарное изменение внутренней энергии, совершенную водородом работу и количество теплоты, переданное водороду.

Дано:

$$m = 3 \text{ кг}$$

H_2

$$M = 0,002 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$A, \Delta U, Q - ?$$

$$\Delta T - ?$$

Процесс 1-2:

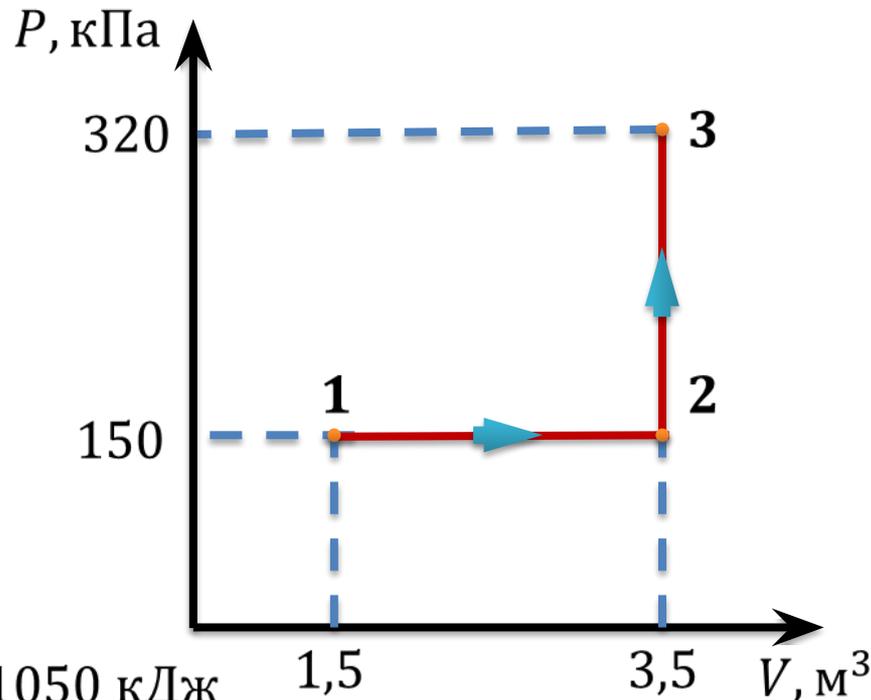
$$P = \text{const}$$

$$A_1 = 300 \text{ кДж}$$

$$\Delta U_1 = 750 \text{ кДж}$$

$$Q_1 = \Delta U_1 + A_1$$

$$Q_1 = 750 + 300 = 1050 \text{ кДж}$$



На графике показан процесс перевода 3 кг водорода из состояния 1 в состояние 3. Определите суммарное изменение внутренней энергии, совершенную водородом работу и количество теплоты, переданное водороду.

Дано:

$$m = 3 \text{ кг}$$

H_2

$$M = 0,002 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$A, \Delta U, Q - ?$$

$$\Delta T - ?$$

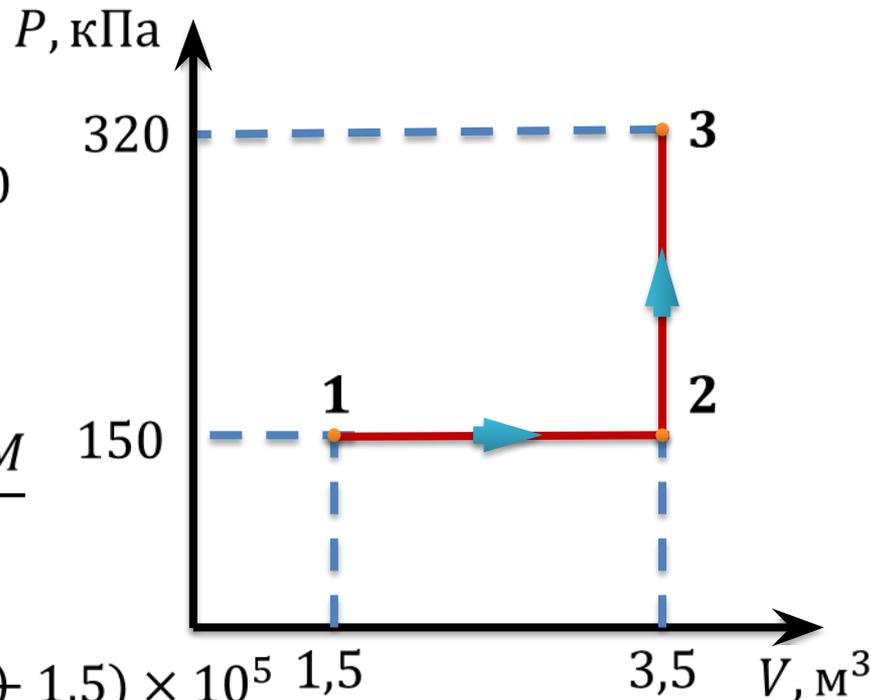
Процесс 2-3:

$$V = \text{const} \Rightarrow A_2 = 0$$

$$\Delta U_2 = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T_2$$

$$\Delta T_2 = \frac{V_2 (P_3 - P_2) M}{m R}$$

$$\Delta U_2 = \frac{5}{2} \cdot \frac{3}{0,002} (3,5 - 1,5) \times 10^5$$



На графике показан процесс перевода 3 кг водорода из состояния 1 в состояние 3. Определите суммарное изменение внутренней энергии, совершенную водородом работу и количество теплоты, переданное водороду.

Дано:

$$m = 3 \text{ кг}$$

H_2

$$M = 0,002 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$A, \Delta U, Q - ?$$

$$\Delta T - ?$$

Процесс 2-3:

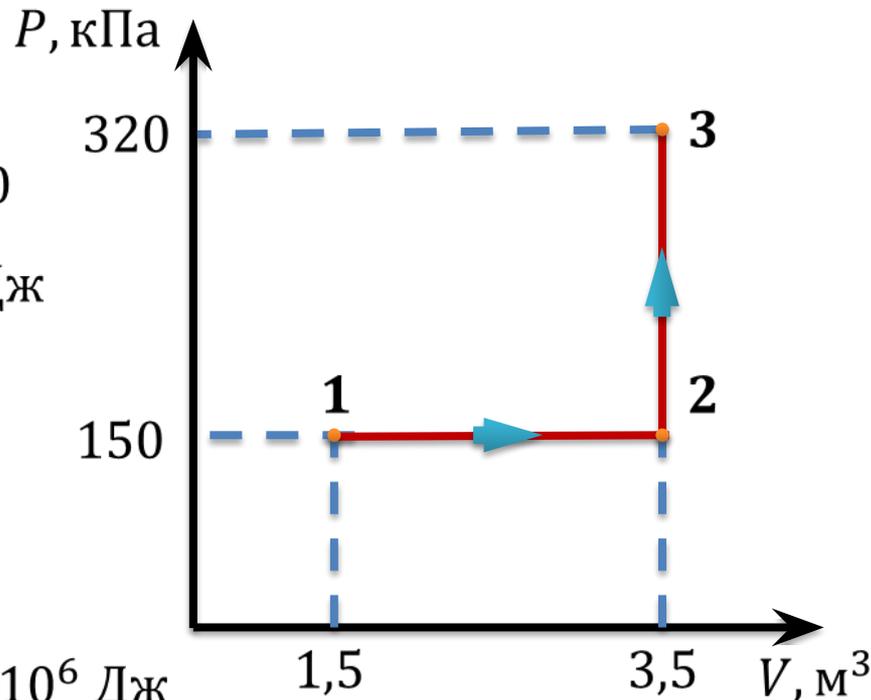
$$V = \text{const} \Rightarrow A_2 = 0$$

$$\Delta U_2 = 1,49 \times 10^6 \text{ Дж}$$

$$Q_2 = \Delta U_2 + A_2$$

$$Q_2 = \Delta U_2$$

$$Q_2 = \Delta U_2 = 1,49 \times 10^6 \text{ Дж}$$



На графике показан процесс перевода 3 кг водорода из состояния 1 в состояние 3. Определите суммарное изменение внутренней энергии, совершенную водородом работу и количество теплоты, переданное водороду.

Дано:

$$m = 3 \text{ кг}$$

H_2

$$M = 0,002 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$A, \Delta U, Q - ?$

$\Delta T - ?$

Процесс 1-3:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

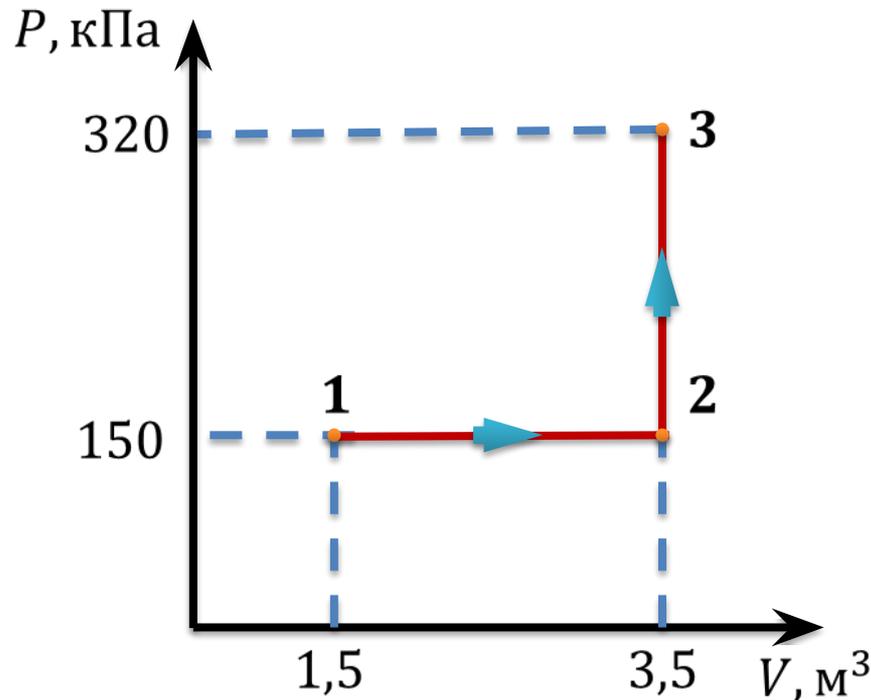
$$\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2$$

$$A = A_1 + A_2$$

$$Q = 2,54 \text{ МДж}$$

$$\Delta U = 2,24 \text{ МДж}$$

$$A = 300 \text{ кДж}$$



На графике показан процесс перевода 3 кг водорода из состояния 1 в состояние 3. Определите суммарное изменение внутренней энергии, совершенную водородом работу и количество теплоты, переданное водороду.

Дано:

$$m = 3 \text{ кг}$$

H_2

$$M = 0,002 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$A, \Delta U, Q - ?$

$\Delta T - ?$

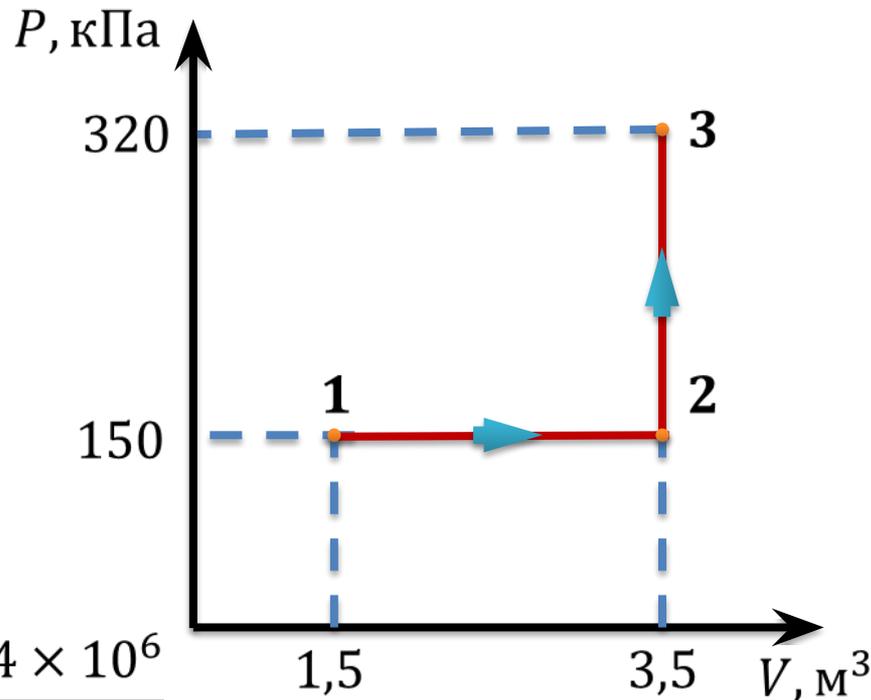
Процесс 1-3:

$$\Delta U = 2,24 \text{ МДж}$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{2 M \Delta U}{i m R}$$

$$\Delta T = \frac{2 \cdot 0,002 \cdot 2,24 \cdot 10^6}{5 \cdot 3 \cdot 8,31} \text{ К}$$



ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

➤ **Первый закон термодинамики:**

$$Q = \Delta U + A$$

➤ **Адиабатный процесс** — процесс, происходящий при отсутствии теплообмена:

$$Q = 0$$

Основные выводы

Название процесса	Постоянный параметр	Следствие постоянства параметра	Запись первого закона термодинамики
Изохорный	Объём, V		
Изотермический	Температура, T		
Изобарный	Давление, P		
Адиабатный	Количество теплоты, Q		