

ІІТМО

Лекция 11

Первое начало термодинамики

Раздел физики, в котором физические свойства макроскопических систем изучают с помощью термодинамического метода, называется **термодинамикой**.

Мысленно выделенная макроскопическая система, рассматриваемая методами термодинамики, называется термодинамической системой.

Открытой системой называется термодинамическая система, которая может обмениваться веществом с внешней средой, закрытая не может обмениваться веществом с внешней средой.

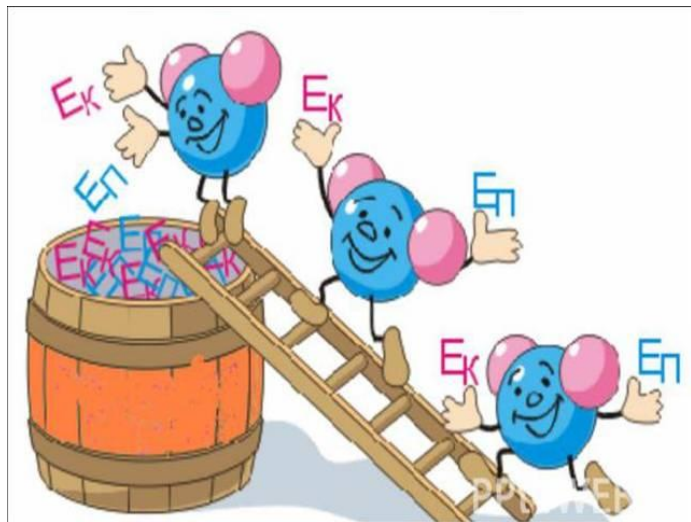
Изолированная система не может обмениваться с внешней средой ни веществом, ни энергией.

Адиабатная система: система, не способная обмениваться энергией с окружающей средой, посредством теплообмена.

Различают интенсивные (T, p, n) и экстенсивные (m, V) параметры. Экстенсивные зависят от количества вещества, а интенсивные – нет.

Под равновесным состоянием понимают состояние термодинамической системы, характеризующееся при постоянных внешних условиях неизменностью параметров во времени и отсутствием потоков (например, энергии или вещества).

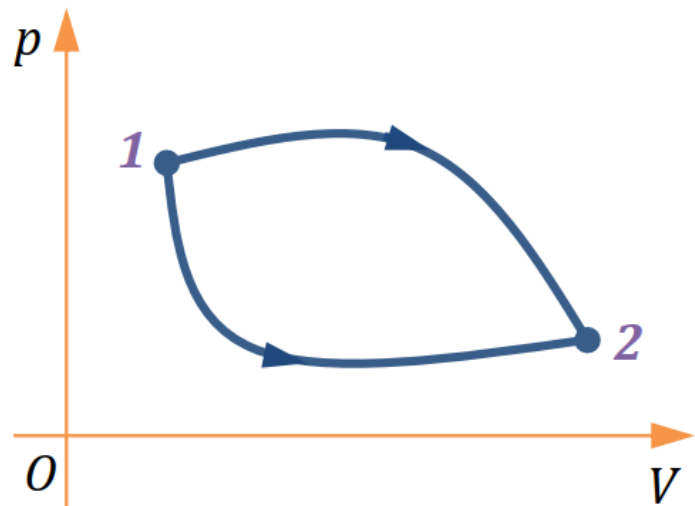
Термодинамический процесс называется равновесным, если в этом процессе система проходит ряд бесконечно близких термодинамически равновесных состояний.



Внутренняя энергия

термодинамической системы — это сумма следующих составляющих:

- 1.** Кинетическая энергия теплового движения молекул (поступательного, вращательного и колебательного)
- 2.** Потенциальная энергия взаимодействия молекул
- 3.** Потенциальная энергия взаимодействия атомов в молекуле
- 4.** Энергия атомных оболочек
- 5.** Внутрядерная энергия



Внутренняя энергия идеального газа — кинетическая энергия поступательного и вращательного движения молекул.

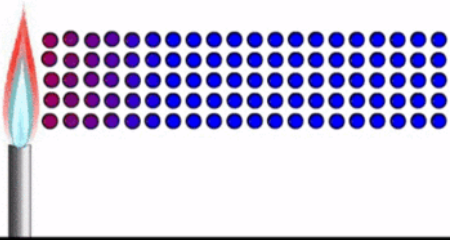
$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT$$

Внутренняя энергия — функция состояния термодинамической системы

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R(T_2 - T_1) = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T$$

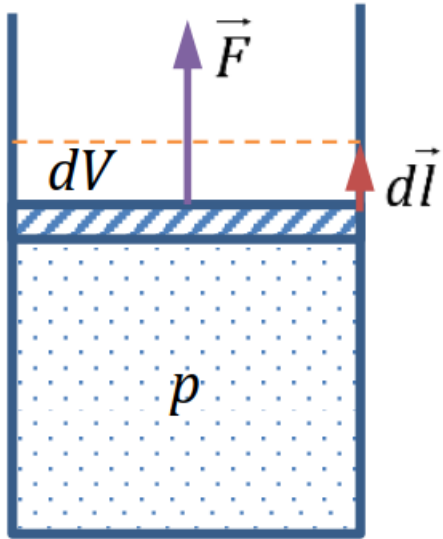
При переходе системы из одного состояния в другое изменение внутренней энергии определяется только разностью значений внутренней энергии этих состояний и не зависит от пути перехода

Conduction of Heat



Изменить внутреннюю энергию системы можно двумя способами:

- совершая над системой работу (например, сжимая газ в цилиндре с помощью поршня);
- сообщая системе теплоту (например, нагревая газ в герметичном сосуде)



газ находится под подвижным поршнем

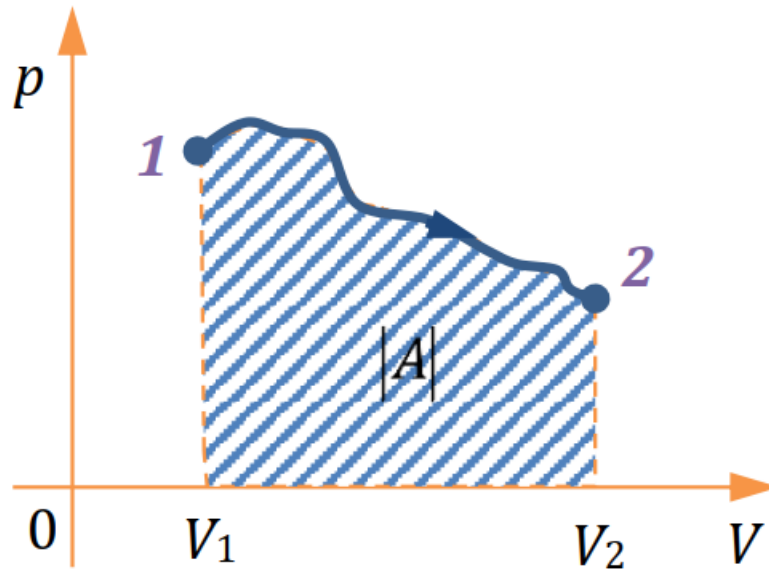
$$\delta A = \vec{F} d\vec{\ell} = F d\ell = p S d\ell = p dV$$

$$\delta A = p dV$$

$$A = \int_1^2 p dV$$

Равновесные процессы – это процессы, состоящие из последовательности равновесных состояний, протекающие так, что изменение термодинамических параметров за конечный промежуток времени бесконечно мало

Графический смысл работы — площадь под графиком $p(V)$

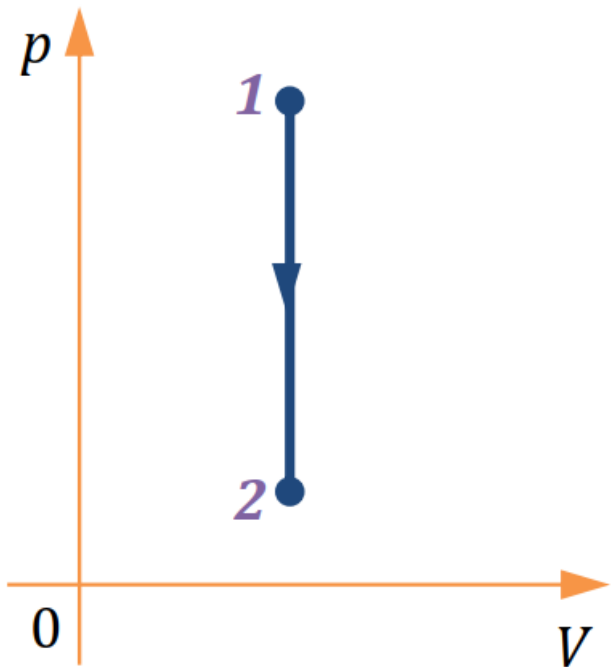


Изопроцессы (вставка)

	$p(V)$	$p(T)$	$V(T)$
изобарный $p = const,$ $\frac{V}{T} = const$			
изохорный $V = const,$ $\frac{p}{T} = const$			
изотермический $T = const,$ $pV = const$			

Работа газа (Изопроцессы)

Изохорный процесс

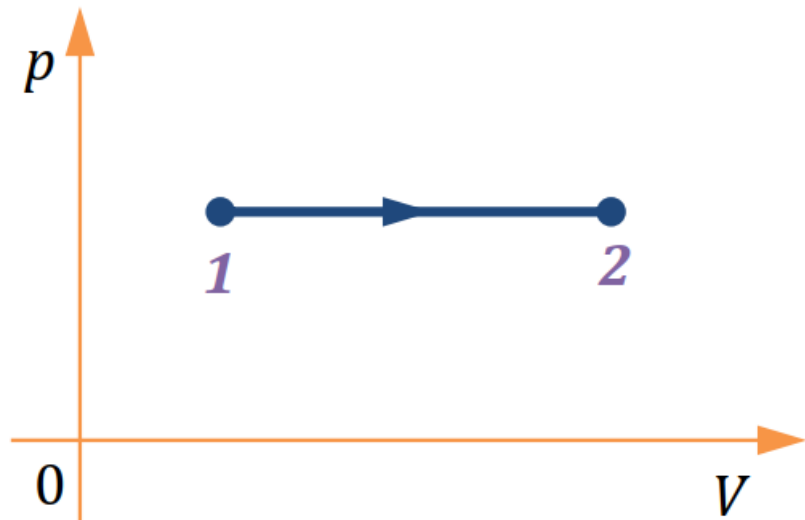


$$\delta A = p dV = 0$$

$$A = \int_1^2 p dV = 0$$

Работа газа (Изопроцессы)

Изобарный процесс

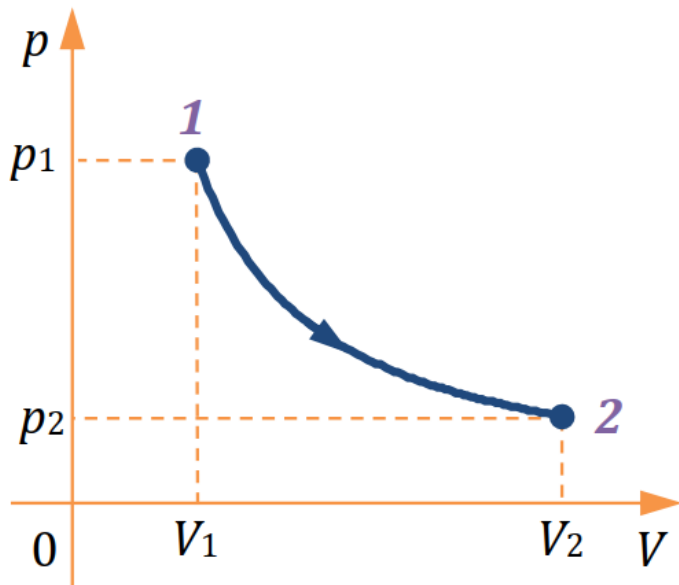


$$\delta A = p dV$$

$$A = \int_1^2 p dV = p \Delta V = p(V_2 - V_1)$$

Работа газа (Изопроцессы)

Изотермический процесс



$$\delta A = p dV$$

$$pV = p_1 V_1 \Rightarrow p = \frac{p_1 V_1}{V}$$

$$A = \int_{V_1}^{V_2} \frac{p_1 V_1}{V} dV = p_1 V_1 \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) = \nu RT \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

Количество теплоты — характеристика термодинамического процесса — энергия, передаваемая термодинамической системе без совершения работы.

Теплоёмкость системы (тела) — характеристика термодинамической системы и совершаемого ею процесса, равная количеству теплоты, которое необходимо передать системе для нагревания её на один градус

$$c = \frac{\delta Q}{dT}; \quad [c] = \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

Удельная теплоёмкость вещества — теплоёмкость вещества единичной массы

$$c = \frac{\delta Q}{m dT}; \quad [c] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Молярная теплоёмкость вещества — теплоёмкость одного моля вещества

$$C_M = \frac{\delta Q}{\nu dT}; \quad [C_M] = \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

I начало термодинамики — закон сохранения энергии в применении к термодинамическим процессам.

I начало термодинамики: количество теплоты, переданное термодинамической системе, равно сумме изменения внутренней энергии системы и работы, совершённой системой

$$Q = \Delta U + A$$

$$\delta Q = dU + \delta A$$

Изотермический процесс ($T = \text{const}$)

$$\Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T = 0 \qquad A = \nu R T \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

$$Q = A$$

$$c_T = \frac{\delta Q}{dT} \rightarrow \infty, \qquad c_T = \frac{\delta Q}{m dT} \rightarrow \infty, \qquad c_{MT} = \frac{\delta Q}{\nu dT} \rightarrow \infty$$

Изохорный процесс ($V = \text{const}$)

$$\Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T \quad A = 0$$

$$Q = \Delta U \Rightarrow \delta Q = dU = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R dT$$

$$C_V = \frac{\delta Q}{dT} = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \frac{dT}{dT} = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R, \quad c_V = \frac{\delta Q}{m dT} = \frac{i}{2} \frac{R}{M}, \quad C_{MV} = \frac{\delta Q}{\nu dT} = \frac{i}{2} R$$

Изобарный процесс ($p = \text{const}$)

$$\Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T \qquad A = p \Delta V = \frac{m}{M} R \Delta T$$

$$Q = \Delta U + A \Rightarrow \delta Q = dU + \delta A = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R dT + \frac{m}{M} R dT$$

$$C_p = \frac{\delta Q}{dT} = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \frac{dT}{dT} + \frac{m}{M} R \frac{dT}{dT} = C_V + \frac{m}{M} R, \qquad c_p = \frac{\delta Q}{m dT} = c_V + \frac{R}{M},$$

$$C_{Mp} = \frac{\delta Q}{\nu dT} = C_{MV} + R = \frac{i}{2} R + R = \frac{i+2}{2} R$$



формула Майера
(для молярных теплоемкостей)

$$C_p - C_V = R$$

$$\frac{C_p}{C_V} = \frac{i + 2}{i}$$

Адиабатный процесс ($Q = 0$)

Адиабатный процесс — процесс в теплоизолированной системе

$$0 = \Delta U + A \Rightarrow A = -\Delta U$$
$$C_{\text{ад}} = \frac{\delta Q}{dT} = 0, \quad c_{\text{ад}} = 0, \quad C_{\text{Мад}} = \frac{\delta Q}{\nu dT} = 0$$

Адиабатный процесс

Адиабатный процесс ($Q = 0$)

$$\delta A = p dV = \frac{\nu R T}{V} dV, \quad \delta A = -dU, \quad dU = \frac{i}{2} \nu R dT \quad \Rightarrow \quad \frac{\nu R T}{V} dV = -\frac{i}{2} \nu R dT$$

$$\frac{dV}{V} = -\frac{i}{2} \frac{dT}{T} \quad \Rightarrow \quad \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = -\frac{i}{2} \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T}$$

$$\ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) = -\frac{i}{2} \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) \quad \Rightarrow \quad \frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{-\frac{i}{2}} \quad \Rightarrow \quad V_1 T_1^{\frac{i}{2}} = V_2 T_2^{\frac{i}{2}}$$

Адиабатный процесс

Адиабатный процесс ($Q = 0$)

$$V_1 T_1^{\frac{i}{2}} = V_2 T_2^{\frac{i}{2}} \Rightarrow VT^{\frac{i}{2}} = \text{const}$$

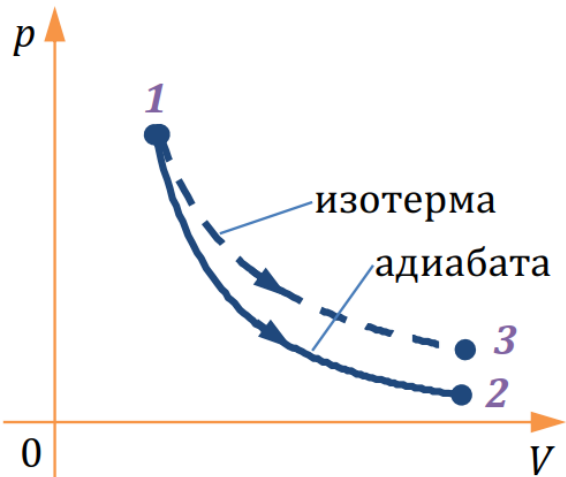
$$T = \frac{pV}{\nu R} \Rightarrow V \left(\frac{pV}{\nu R} \right)^{\frac{i}{2}} = p^{i/2} V^{(i+2)/2} (\nu R)^{-i/2} = \text{const}$$

уравнение адиабаты (уравнение Пуассона)

$$pV^\gamma = \text{const}$$

показатель адиабаты (коэффициент Пуассона)

$$\gamma = \frac{i + 2}{i}$$



Политропный процесс

Политропный процесс — термодинамический процесс, при котором теплоёмкость системы остаётся неизменной

$$C = \frac{\delta Q}{dT} = \text{const}$$

$$\delta A = pdV = \frac{\nu RT}{V} dV, \quad \delta Q = \delta A + dU, \quad dU = \frac{i}{2} \nu R dT \quad \Rightarrow \quad \delta Q = \frac{\nu RT}{V} dV + \frac{i}{2} \nu R dT$$

$$C = \frac{\delta Q}{dT} = \frac{i}{2} \nu R + \frac{\nu RT}{V} \frac{dV}{dT}$$

$$C - \frac{i}{2}\nu R = \nu R \frac{T}{dV} \frac{dV}{V} \Rightarrow \left(C - \frac{i}{2}\nu R\right) \frac{dT}{T} = \nu R \frac{dV}{V}$$

$$\int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \left(\frac{C}{\nu R} - \frac{i}{2}\right) \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T}$$

$$\ln \frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{C}{\nu R} - \frac{i}{2}\right) \ln \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\left(\frac{C}{\nu R} - \frac{i}{2}\right)}$$

$$V_1 T_1^{\frac{i}{2} - \frac{C}{\nu R}} = V_2 T_2^{\frac{i}{2} - \frac{C}{\nu R}} \Rightarrow VT^{\frac{i}{2} - \frac{C}{\nu R}} = const$$

$$VT^{\frac{i}{2}-\frac{C}{\nu R}} = const$$

$$T = \frac{pV}{\nu R} \Rightarrow V \left(\frac{pV}{\nu R} \right)^{\frac{i}{2}-\frac{C}{\nu R}} = p^{\frac{i}{2}-\frac{C}{\nu R}} V^{\frac{i+2}{2}-\frac{C}{\nu R}} \left(\frac{1}{\nu R} \right)^{\frac{i}{2}-\frac{C}{\nu R}} = const$$

$$pV^{(\frac{i+2}{2}-\frac{C}{\nu R})/(\frac{i}{2}-\frac{C}{\nu R})} = pV^n = const$$

Политропный процесс

уравнение политропы

$$pV^n = \text{const}$$

показатель политропы

$$n = \frac{\left(\frac{i+2}{2} - \frac{C}{\nu R}\right)}{\left(\frac{i}{2} - \frac{C}{\nu R}\right)} \Rightarrow \frac{i}{2}n - \frac{C}{\nu R}n = \frac{i+2}{2} - \frac{C}{\nu R}$$

$$\frac{C}{\nu}(1-n) = \frac{i+2-in}{2}R \Rightarrow \frac{C}{\nu} = C_M = \frac{i}{2} \frac{1-n}{1-n} R + \frac{R}{1-n} = C_{MV} + \frac{R}{1-n}$$

$$C_M = C_{MV} - \frac{R}{n-1}$$

Политропный процесс



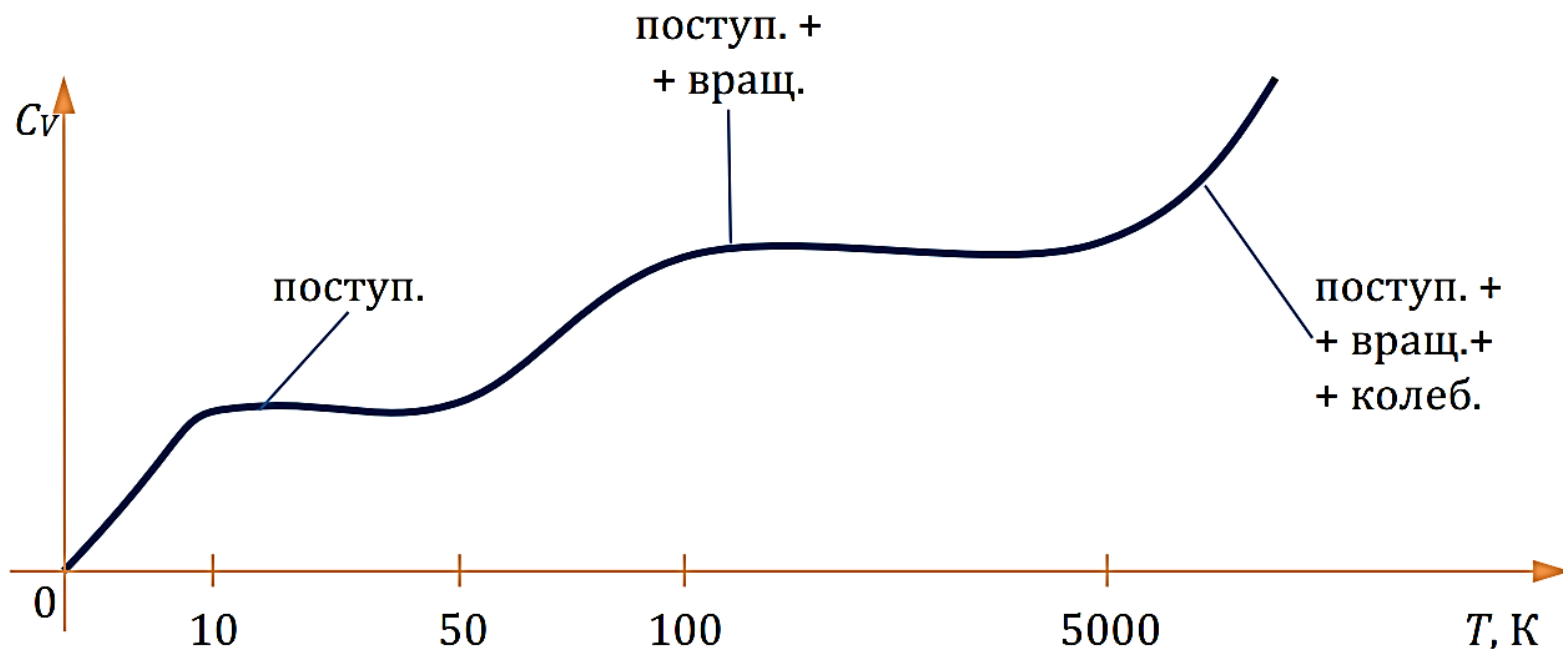
Теоретическая зависимость

для двухатомного газа

$$C_{MV} = \frac{5}{2}R$$

Политропный процесс

Экспериментальная зависимость



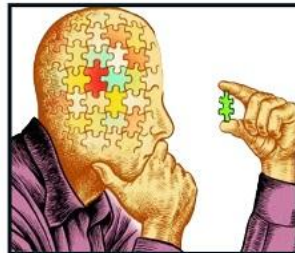
Шизопроцессы

Позитивные симптомы шизофрении

Галлюцинации



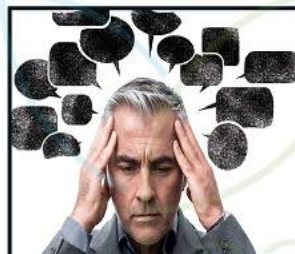
Расстройства
мышления
и речи



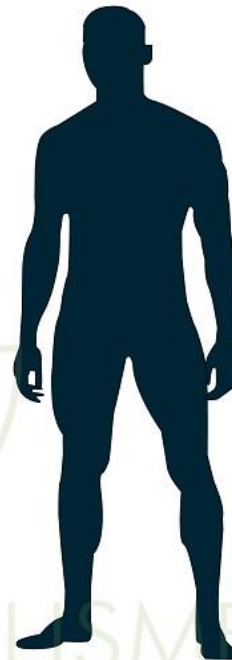
Бред



Навязчивые
идеи



Расстройства
двигательной
сферы



Спасибо
за внимание!

it's **MO** *re than a*
UNIVERSITY

nnkhvastunov@itmo.ru