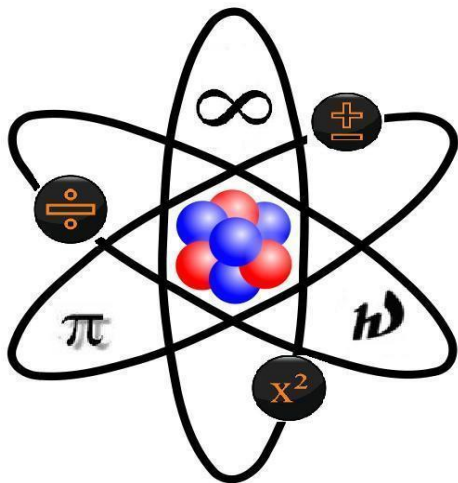


## Физико-технический факультет



# Теория: Молекулярная физика. Термодинамика

*Шимко Елена Анатольевна*

к.п.н., доцент кафедры общей и экспериментальной физики АлтГУ,  
председатель краевой предметной комиссии ЕГЭ по физике

*[eashimko65@gmail.com](mailto:eashimko65@gmail.com)*

**Молекулярная физика** – это раздел физики, который изучает свойства тел в различных агрегатных состояниях в зависимости от их строения, взаимодействия между частицами, из которых состоят тела, и характера движения частиц



**Статистический  
метод**

**Термодинамический  
метод**

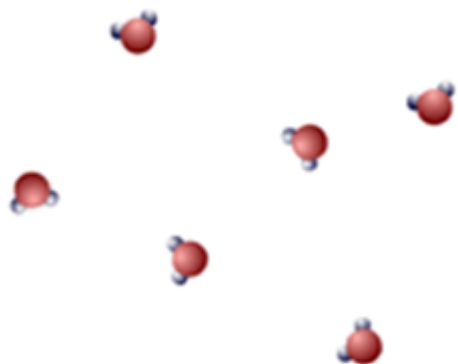


**Термодинамика** – это раздел физики, который изучает общие свойства тел в состоянии термодинамического равновесия, и процессы перехода между этими состояниями

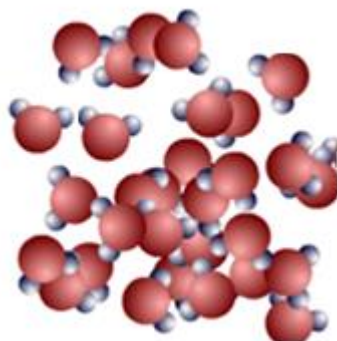
# Основные положения МКТ

1. Все тела состоят из мельчайших частиц, разделенных промежутками.
2. Частицы движутся непрерывно и хаотически.
3. Частицы взаимодействуют между собой посредством сил притяжения и отталкивания.

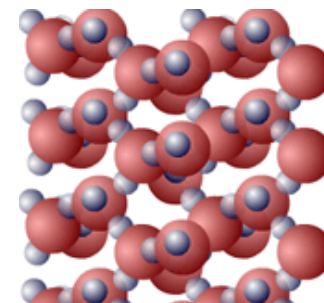
## Агрегатные состояния вещества



**Газообразное**

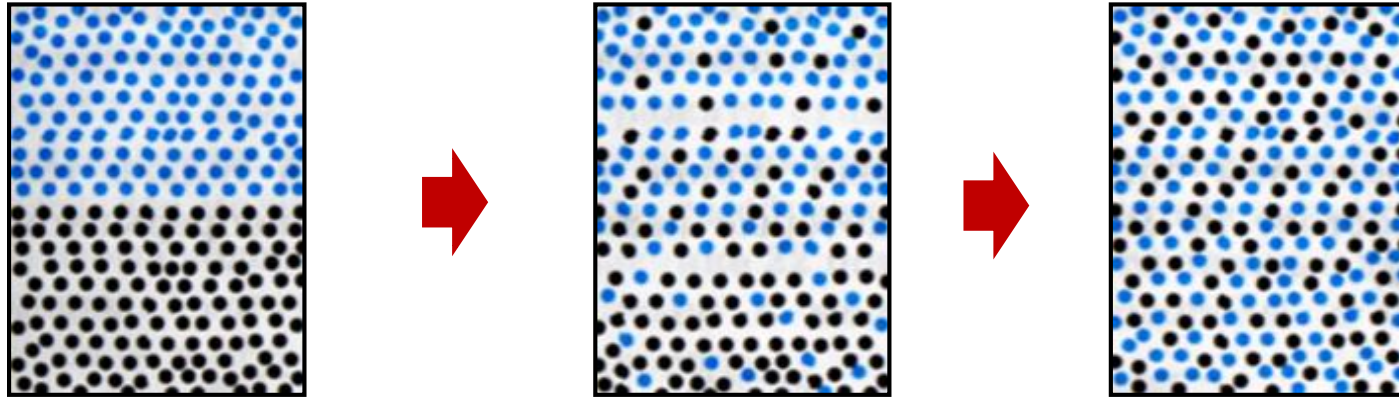


**Жидкое**

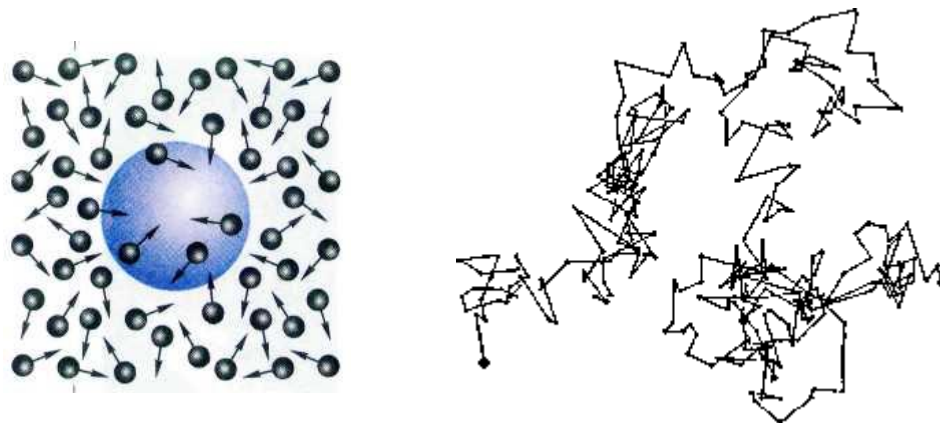


**Твердое**

**Диффузия** – самопроизвольное проникновение одного вещества в другое при их соприкосновении



**Броуновское движение** – беспорядочное движение мельчайших твердых частиц в жидкости или газе



# Идеальный газ

– это модель газа, отвечающая следующим требованиям:

1. Собственный объем молекул газа пренебрежимо мал по сравнению с объемом сосуда (молекулы газа – это материальные точки).
2. Столкновения молекул газа друг с другом и со стенками сосуда абсолютно упругие.
3. Между молекулами газа отсутствуют силы взаимодействия ( $E_p \approx 0$ ).

# Основные понятия МКТ

**Молярная масса** ( $M$ ) – масса одного моля вещества.

**Число Авогадро** ( $N_A$ ) – число частиц в одном моле.

**Концентрация молекул** ( $n$ ) – число частиц в единице объема

**Количество вещества** ( $\nu$ )

**Масса молекулы** ( $m_0$ )

**Масса вещества** ( $m$ )

**Число частиц в веществе** ( $N$ )

$$\nu = \frac{m}{M}$$

$$m_0 = \frac{m}{N} = \frac{M}{N_A}$$

$$N = \nu N_A = \frac{m}{M} N_A$$

$$n = \frac{N}{V}$$

$$N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

# Температура ( $T$ )

- это физическая величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия системы и определяющая направление теплообмена между телами;
- это мера средней кинетической энергии молекул тела.

$$T = t + 273$$

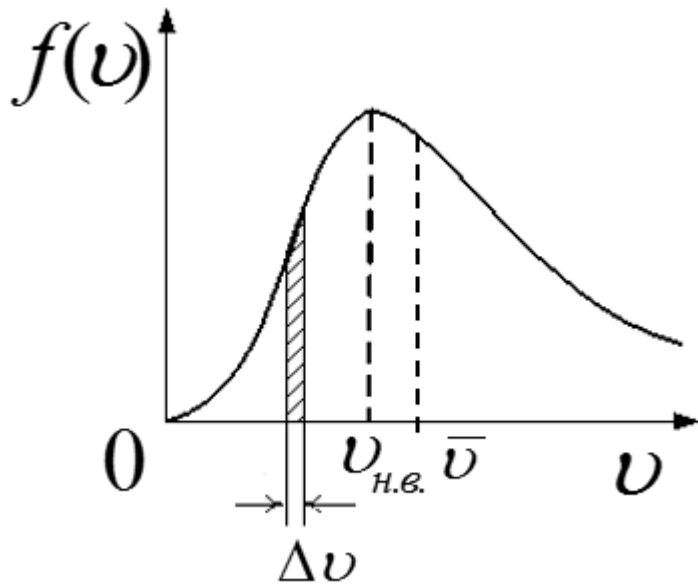
$$\overline{E}_k = \frac{3}{2} kT$$

$$\overline{E}_k = \frac{m_0 \overline{v}^2}{2}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

– постоянная Больцмана

# Распределение молекул идеального газа по скоростям



$f(v)$  – функция распределения молекул газа по скоростям

$v_{н.в.}$  – наиболее вероятная скорость молекул

$\bar{v}$  – средняя квадратичная скорость молекул

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} kT$$

$$\bar{E}_k = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$$

$$\frac{m_0 \bar{v}^2}{2} = \frac{3kT}{2}$$

$$\bar{v} = \sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$



# Основное уравнение МКТ

Давление газа создается ударами молекул о стенки сосуда:

$$p = \frac{F}{S}$$

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{v^2}$$

или

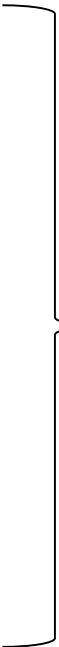
$$p = \frac{2}{3} n \overline{E}_k$$

$$\overline{E}_k = \frac{3}{2} kT$$



$$p = nkT$$

# Уравнение Менделеева-Клайперона

$$p = nkT$$
$$n = \frac{N}{V}$$
$$N = \frac{m}{M} N_A$$

$$pV = \frac{m}{M} RT = \nu RT$$
$$R = kN_A$$

– универсальная  
газовая постоянная

Плотность  
вещества

$$\rho = \frac{m}{V}$$



$$p = \frac{\rho RT}{M}$$

**Закон Авогадро:** моли любых газов при одинаковой температуре и давлении занимают одинаковые объемы

Нормальные условия:  $T = 273\text{K}$ ,  $p = 10^5 \text{ Па}$

$$pV = \nu RT \quad \rightarrow \quad V(1\text{моль}) = 22,41 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$$

**Закон Дальтона:** давление смеси идеальных газов равно сумме парциальных давлений входящих в нее газов:

$$p = p_1 + p_2 + \dots$$

Парциальное давление – это давление, которое производил бы газ в сосуде в отсутствии других газов смеси

# Изопроцессы

Уравнение  
Менделеева-  
Клайперона

$$pV = \nu RT,$$

$$\nu = const$$



$$\frac{pV}{T} = const$$

– уравнение  
Клайперона

Изотермический  
процесс

$$T = const$$

$$pV = const$$

Изобарный  
процесс

$$p = const$$

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

Изохорный  
процесс

$$V = const$$

$$\frac{p}{T} = const$$

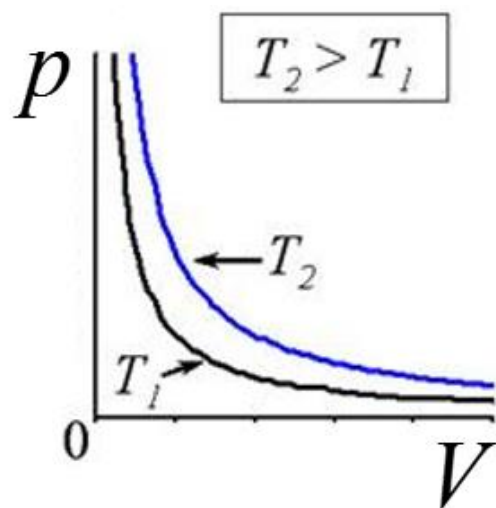
# Графики изопроцессов

Изотермический  
процесс

$$T = const$$

$$pV = const$$

$$p = \frac{const}{V}$$

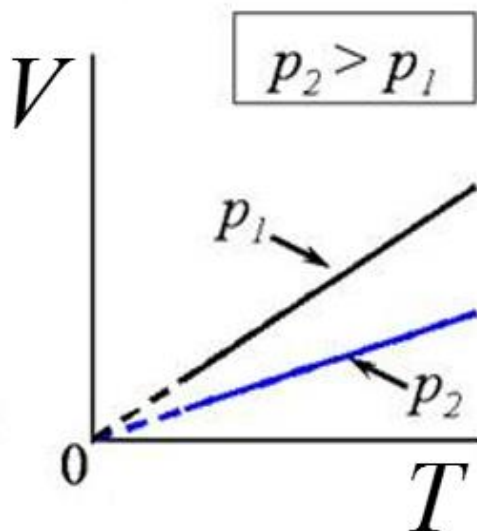


Изобарный  
процесс

$$p = const$$

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

$$V = const \cdot T$$

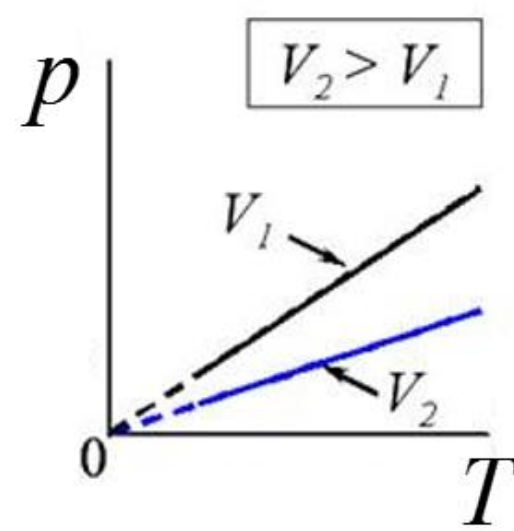


Изохорный  
процесс

$$V = const$$

$$\frac{p}{T} = const$$

$$p = const \cdot T$$



# Внутренняя энергия тела ( $U$ )

– это энергия движения и взаимодействия частиц, из которых состоит тело:

$$U = N(\bar{E}_k + \bar{E}_p)$$

$$U = N\bar{E}_k$$

– внутренняя энергия идеального газа

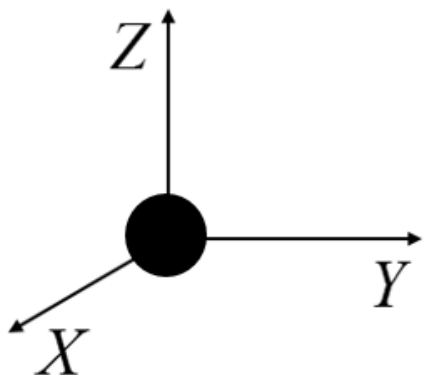
$$N = \nu N_A, \quad \bar{E}_k = \frac{3}{2} kT \quad \rightarrow \quad U = \frac{3}{2} \nu RT$$

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$$

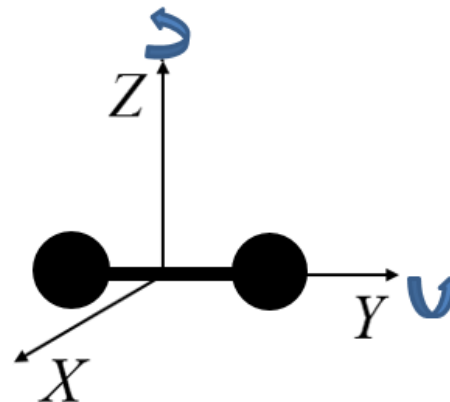
– изменение внутренней энергии идеального одноатомного газа

# Число степеней свободы молекулы ( $i$ )

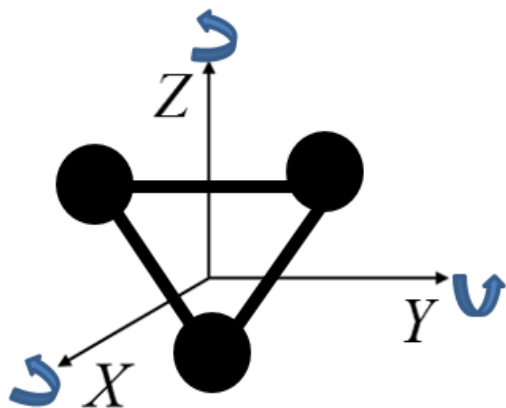
$i = 3$  (одноатомный газ)



$i = 5$  (двухатомный газ)



$i = 6$  (многоатомный газ)



$$U = \frac{i}{2} \nu RT$$

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{i}{2} \nu R \Delta T$$

# Количество теплоты ( $Q$ )

– это энергия, которую тело получает или отдает при теплообмене

$Q > 0$ : *получает*

$Q < 0$ : *отдает*

$Q = 0$ : адиабатный процесс

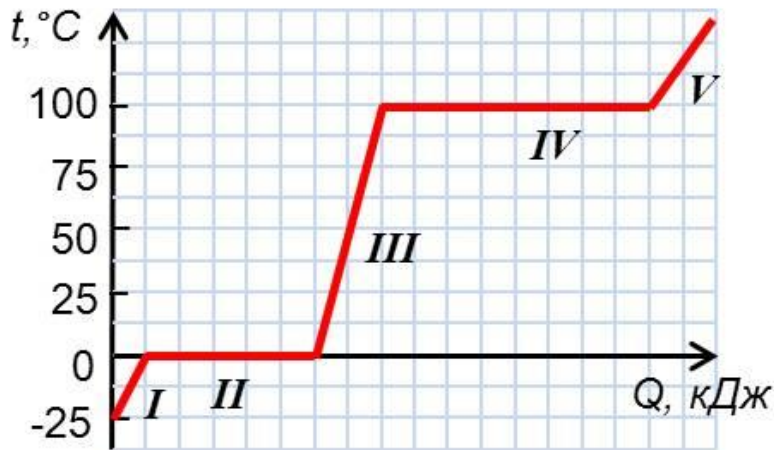
(процесс в теплоизолированной системе)

## Виды теплообмена:

1. Теплопроводность – передача энергии за счет движения и взаимодействия частиц соприкасающихся тел
2. Конвекция – передача энергии струями жидкости или газа
3. Излучение – передача энергии с помощью электромагнитных волн



# Расчет количества теплоты ( $Q$ )



- I** – нагревание льда
- II** – плавление льда
- III** – нагревание воды
- IV** – парообразование
- V** – нагревание пара

$$Q = cm\Delta T$$

– количество теплоты, необходимого для нагревания (выделяющегося при охлаждении)

**$c$  – удельная теплоемкость вещества**

$$Q = \pm \lambda m$$

– количество теплоты, необходимого для плавления (выделяющегося при кристаллизации)

**$\lambda$  – удельная теплота плавления**

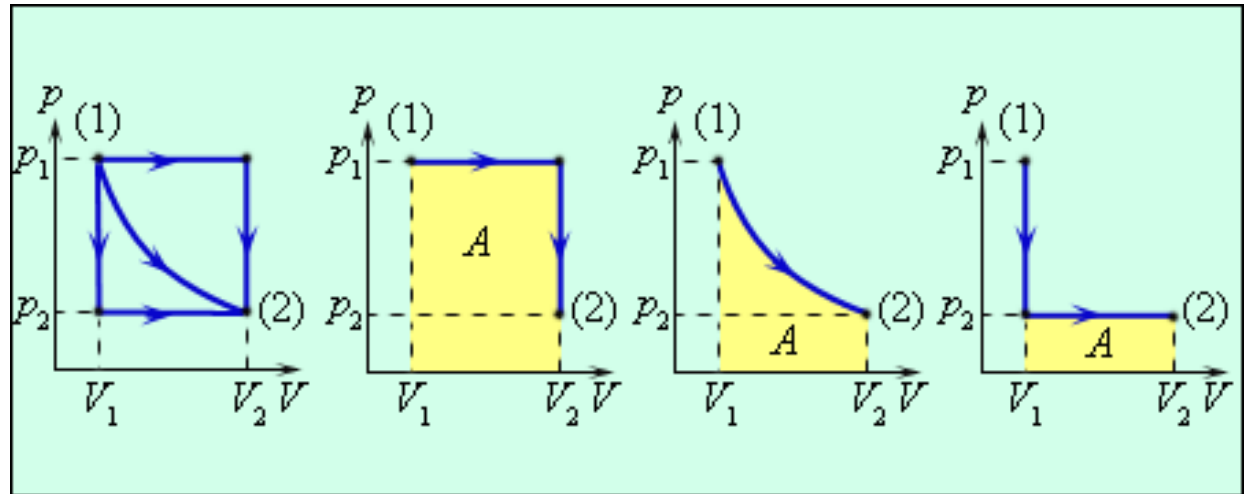
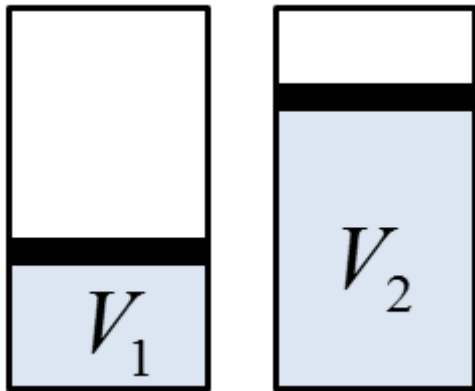
$$Q = \pm Lm$$

– количество теплоты, необходимого для парообразования (выделяющегося при конденсации)

**$L$  – удельная теплота парообразования**

# Работа в термодинамике ( $A$ )

численно равна площади фигуры под линией графика  $p(V)$ :



Изобарный процесс:  $p = const$

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

Изохорный процесс:  $V = const$

$$A = 0$$

Изотермический процесс:

$$T = const$$

$$A = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

# Первый закон термодинамики

Количество теплоты, сообщаемое системе, расходуется на изменение ее внутренней энергии и совершение работы системой:

$$Q = \Delta U + A$$

Закон сохранения и преобразования энергии

Внутреннюю энергию системы можно изменить при теплообмене и совершении работы внешних сил над ней:

$$\Delta U = Q + A'$$

$$A' = -A$$

– работа внешних сил

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

$$Q = \Delta U$$

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

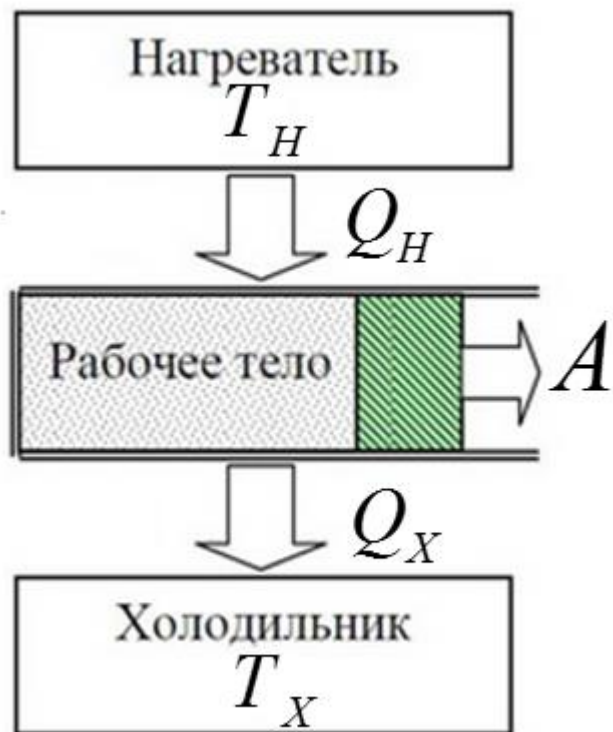
$$Q = A$$

Адиабатный процесс ( $Q = 0$ )

$$\Delta U = -A$$

# Тепловой двигатель

– это устройство, в котором внутренняя энергия топлива преобразуется в механическую энергию



$$Q = qm$$

– количество теплоты, выделяющегося при сгорании

$q$  – удельная теплота сгорания топлива

$m$  – масса топлива

$$\eta = \frac{A}{Q_H} = \frac{Q_H - |Q_X|}{Q_H}$$

– КПД теплового двигателя

$$\eta_{\max} = \frac{T_H - T_X}{T_H}$$

– КПД теплового двигателя, работающего по циклу Карно

# Второй закон термодинамики

(определяет направление протекания термодинамических процессов, указывая, какие процессы в природе возможны, а какие – нет)

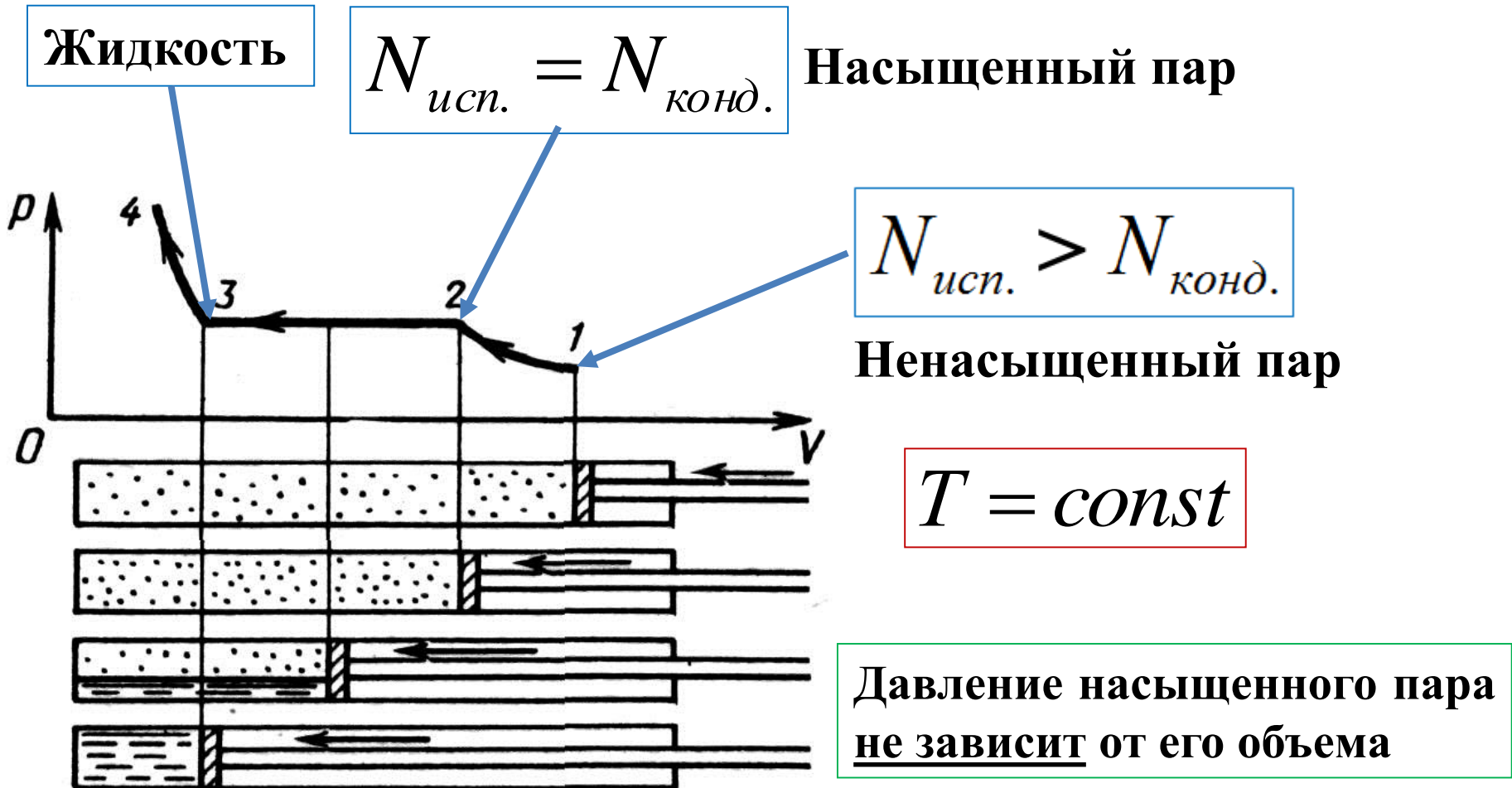
**Клаузиус:** Невозможен процесс, единственным результатом которого является переход энергии от менее нагретого тела к более нагретому (*направленность тепловых процессов*)

**Кельвин:** Невозможен процесс, единственным результатом которого является превращение теплоты в эквивалентную ей работу (*невозможность создания вечного двигателя*)

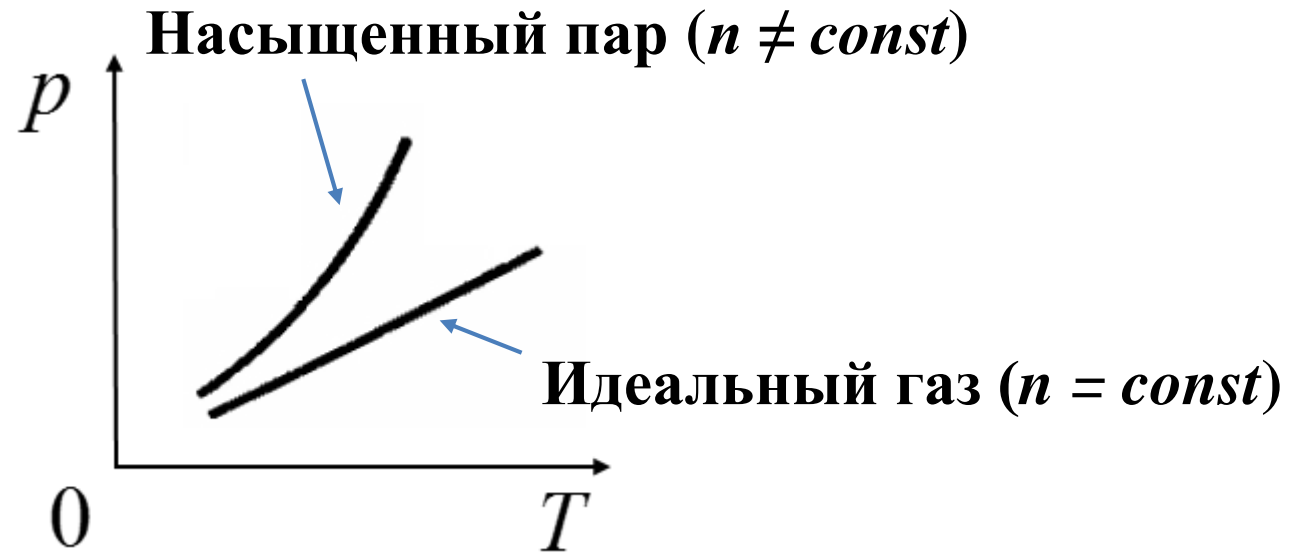
**Реальные процессы** – *необратимые процессы*, поскольку в них всегда происходит потеря энергии (за счет трения, теплопроводности и т.д.)

# Насыщенный пар

– это пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью



# Насыщенный пар



$$V = const$$



$$p = nkT$$

Концентрация насыщенного пара (плотность) увеличивается с ростом температуры

$$n(T)$$

# Влажность воздуха

**Абсолютная влажность** – это масса водяного пара в  $1 \text{ м}^3$  воздуха (плотность водяных паров)

$$pV = \frac{m}{M} RT \quad \rightarrow \quad \rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT}$$

$p$  – парциальное давление водяного пара

**Относительная влажность** – это ф.в., равная отношению парциального давления водяного пара при данной температуре к давлению насыщенного водяного пара при этой же температуре:

$$\varphi = \frac{p}{p_{\text{нас.}}} \cdot 100\%$$

или

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_{\text{нас.}}} \cdot 100\%$$



# Желаем успехов!



**Вебинар: четверг 26.01.2017 15.00-16.30**  
**Тема: Примеры заданий части 1 КИМ**  
**по молекулярной физике и**  
**термодинамике (задания 8-12)**