

# Количество теплоты. Теплоёмкость.

Количество теплоты  $Q$  - это величина энергии теплового движения молекул, переданной от одного тела к другому.

# Способы теплопередачи



излучение



конвекция



теплопроводность

Теплоемкость тела - это количество теплоты, необходимое для нагревания тела на 1 К.

$$C = \frac{\delta Q}{dT} \left( \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \right)$$

Молярная теплоемкость – это количество теплоты, необходимое для нагревания одного моля вещества на 1 К.

$$C_M = \frac{\delta Q}{\nu dT} \left( \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right)$$

Удельная теплоемкость - это количество теплоты, необходимое для нагревания единицы массы вещества (1 кг) на 1 К.

$$c = \frac{\delta Q}{m dT} \quad \left( \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right)$$

Связь молярной и удельной теплоемкостей

$$C_M = M \cdot c$$

# Первое начало термодинамики

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

Количество теплоты, сообщенное системе, идет на увеличение внутренней энергии системы и на совершение системой работы над внешними телами.

Отражает закон сохранения энергии для термодинамических систем.

В интегральной форме:  $Q = \Delta U + A$

# Расчет молярных теплоемкостей в изопроцессах

## 1. Изотермический процесс.

Так как  $T = const.$ , то внутренняя энергия  
газа не изменяется  $dU = 0$  и

$$\delta Q = \delta A \leftarrow \text{I НТД}$$

Так как  $dT = 0$ ,

то

$$C_T = \frac{\delta Q}{\nu dT} = \pm\infty$$

## 2. Изохорный

процесс.  
В изохорном  
процессе

$$dA = 0.$$

$$\delta Q = dU$$

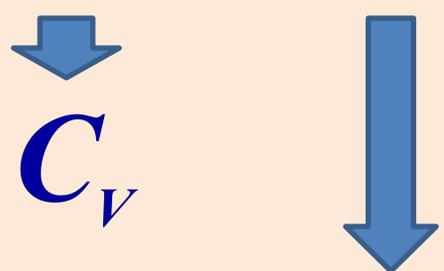
$$C_V = \frac{\delta Q}{\nu dT} = \frac{1}{\nu} \frac{dU}{dT}$$

$$dU = \frac{i}{2} \nu R dT$$

$$C_V = \frac{i}{2} R$$

### 3. Изобарный процесс

$$\delta Q = dU + pdV$$

$$C_p = \frac{\delta Q}{\nu dT} = \frac{dU}{\nu dT} + \frac{pdV}{\nu dT}$$


работа моля газа  
при нагревании на 1  
К

Из уравнения М-  $pdV = \nu RdT$

К:

$$\frac{pdV}{\nu dT} = \frac{\nu RdT}{\nu dT} = R$$

$$C_p = C_v + R$$



Уравнение Майера

$$C_p > C_v$$

**Отношение  
теплоемкостей :**

$$C_V = \frac{i}{2} R$$

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

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

$\gamma$  - коэффициент Пуассона

# Адиабатический процесс

Адиабатический процесс происходит без теплообмена с внешней средой.

$$\delta Q = 0$$

$$dU + \delta A = 0$$

$$\delta A = -dU$$

Газ совершает работу за счет своей внутренней энергии. При адиабатическом расширении он охлаждается, при сжатии – нагревается.

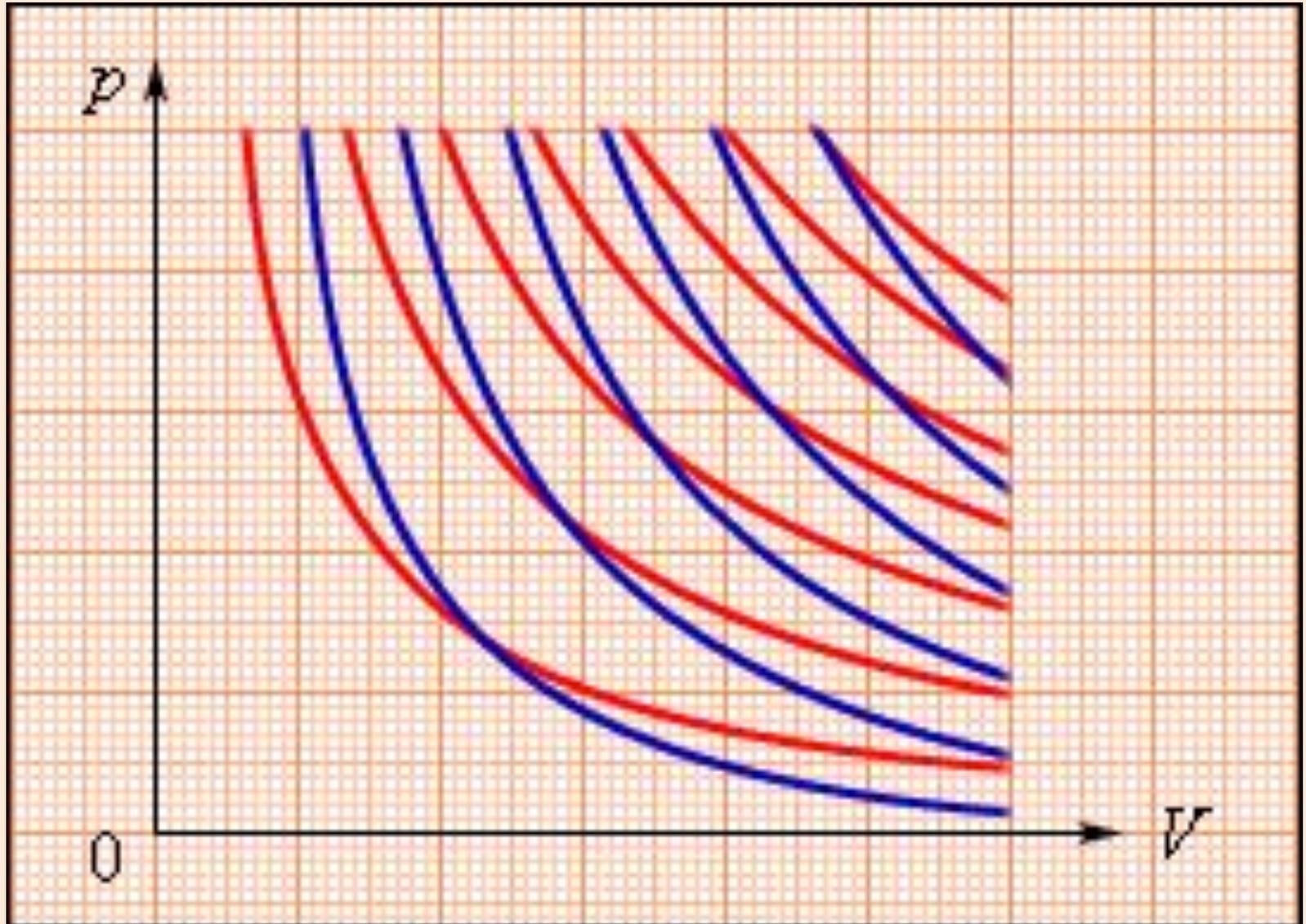
# Уравнение Пуассона для адиабатного процесса

$$PV^\gamma = \text{const.}$$

или

$$T \cdot V^{\gamma-1} = \text{const.}$$

**Семейства изотерм (красные кривые) и адиабат (синие кривые) .**



# Работа в адиабатическом процессе

$$dA = -dU = -\frac{i}{2}\nu R dT$$

$$A = \frac{i}{2}\nu R \int_{T_1}^{T_2} dT = \frac{i}{2}\nu R (T_1 - T_2)$$

$$\gamma = \frac{i+2}{i} = 1 + \frac{2}{i}, \quad \frac{i}{2} = \frac{1}{\gamma-1}$$

$$A = \frac{\nu R}{\gamma-1} (T_1 - T_2)$$

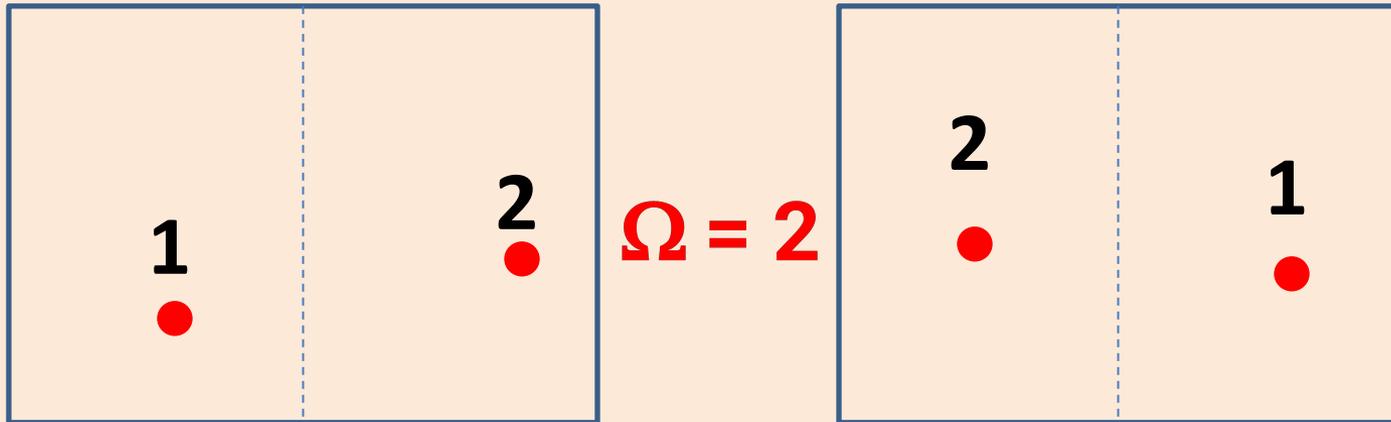
# Макро- и микросостояния

Макросостояние – это состояние, заданное с помощью величин, характеризующих всю систему в целом ( $p, V, T$ ).

Микросостояние – это состояние, заданное с помощью координат и импульсов всех молекул.

Одному макросостоянию может соответствовать множество микросостояний.

# Одно и то же макросостояние



# Разные

## макросостояния

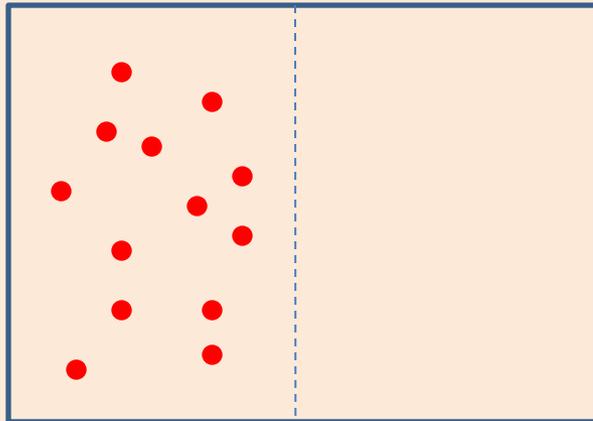
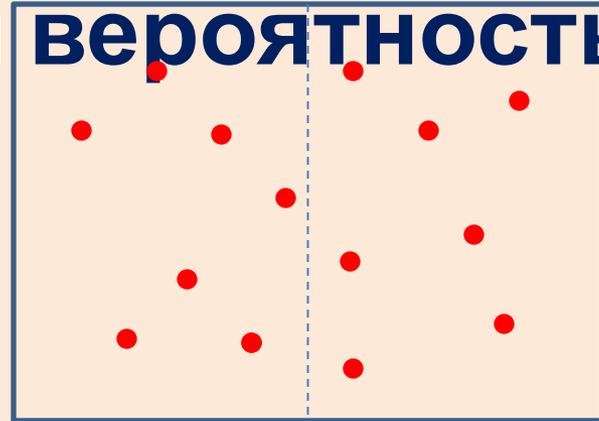


$$\Omega = 1$$

$$\Omega = 1$$

**Число микросостояний ,  
соответствующих данному  
макросостоянию, называют  
термодинамической  
вероятностью или  
статистическим весом этого  
макросостояния.**

Равновесному макросостоянию  
соответствует наибольшая  
термодинамическая вероятность:



Это состояние  
неравновесное

$$\Omega = \Omega_{\min}$$

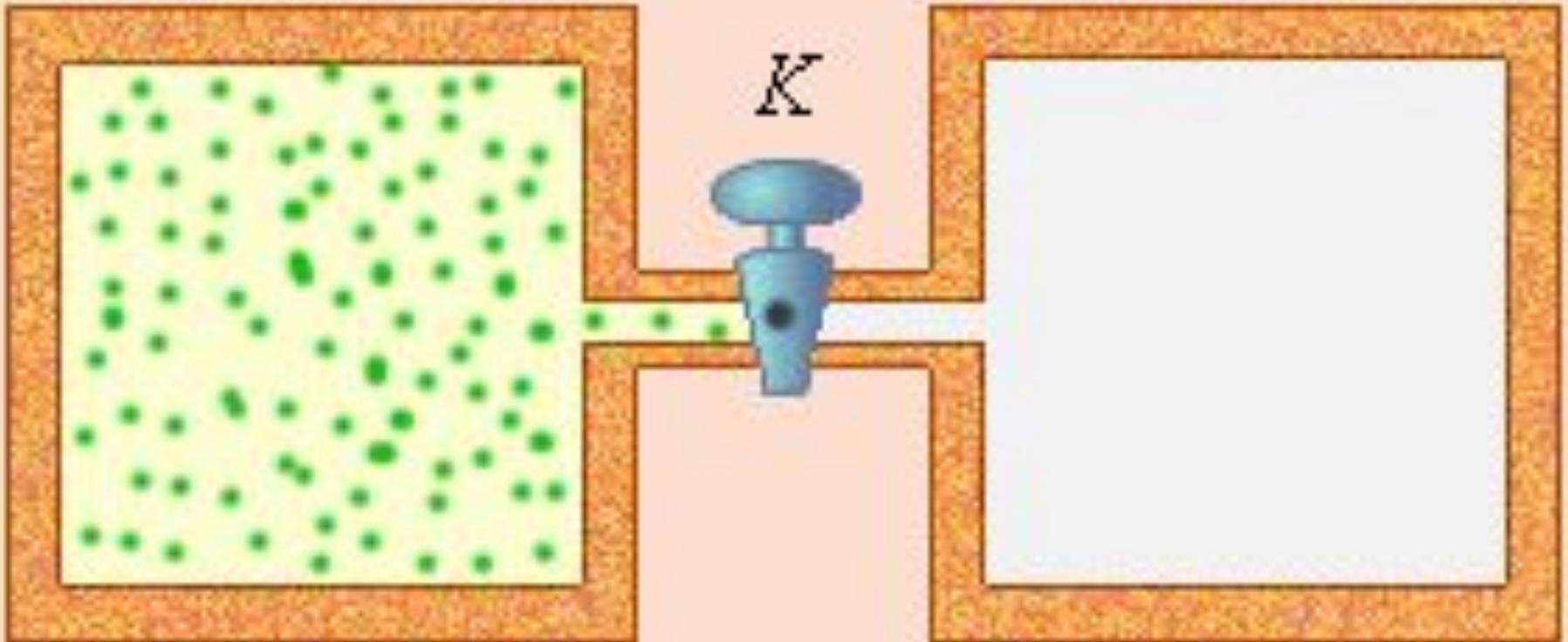
Система может испытывать небольшие отклонения от равновесного состояния. Их называют флуктуациями.



**Обратимый процесс может происходить как в прямом, так и в обратном направлении через те же промежуточные состояния. Если система вернулась в исходное состояние, ни в ней, ни в окружающей среде не возникает никаких изменений. Обратимый процесс протекает через равновероятные состояния.**

**К обратимым процессам  
относятся процессы,  
представляющие собой  
непрерывную  
последовательность  
равновесных состояний,  
например, очень медленно  
протекающие процессы.**

Необратимые процессы протекают только в одном направлении. Обратные им процессы маловероятны. Например,



# Энтропия

Величину  $S = k \ln \Omega$  называют энтропией.

Энтропия характеризует степень молекулярного беспорядка.

Упорядоченные состояния реализуются малым числом способов – энтропия мала. Неупорядоченные состояния реализуются большим числом способов – энтропия велика.

# Второе начало термодинамики

В изолированной системе  
энтропия не убывает.

$$dS \geq 0$$

Она увеличивается при  
необратимом процессе и остается  
неизменной при обратимом  
процессе.

**Вычисление  
энтропии**  
Отношение  $\frac{\delta Q}{T}$  называют  
приведенной теплотой.

В обратимом  
процессе

$$dS = \frac{\delta Q}{T}$$

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{\delta Q}{T}$$

Для адиабатического процесса  $\delta Q = 0$

.

$$S = \text{const.}$$

Это изоэнтропный  
процесс.

$$dS = \frac{\delta Q}{T} = \frac{dU + \delta A}{T}$$

$$dS = \nu C_V \frac{dT}{T} + \frac{pdV}{T}$$

Выразим давление из ур-я МР  $p = \frac{\nu RT}{V}$

К:

$$\Delta S = \nu \int \left( C_V \frac{dT}{T} + R \frac{dV}{V} \right)$$

$$S_2 - S_1 = \nu C_V \ln \frac{T_2}{T_1} + \nu R \ln \frac{V_2}{V_1}$$

# Третье начало термодинамики (теорема Нернста )

$$\lim_{T \rightarrow 0} S = 0$$

**Следствия:**

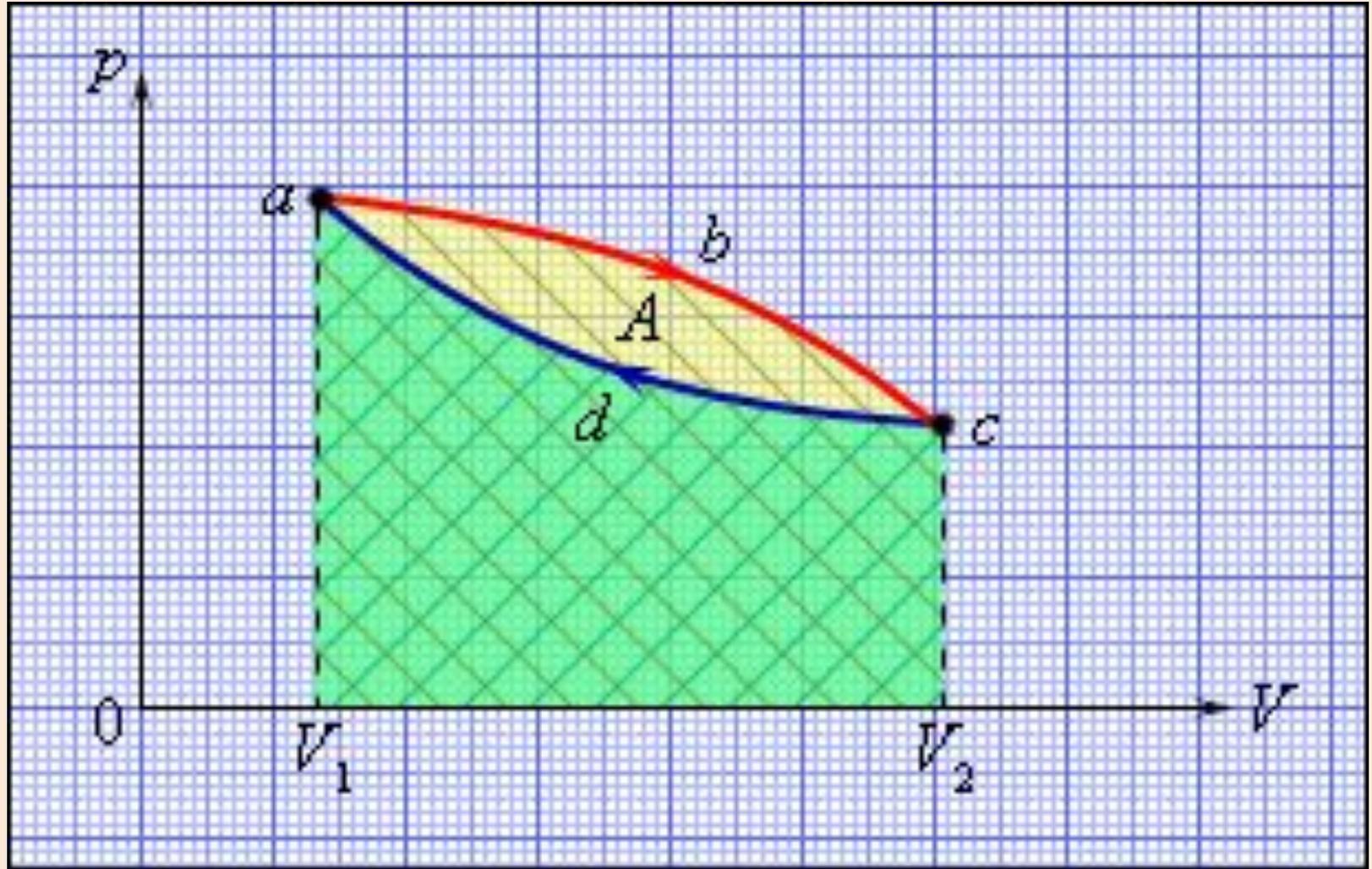
- 1. Любая теплоемкость системы при  $T \rightarrow 0$  стремится к нулю.**
- 2. Абсолютный нуль температуры недостижим.**

# **Круговые процессы (циклы)**

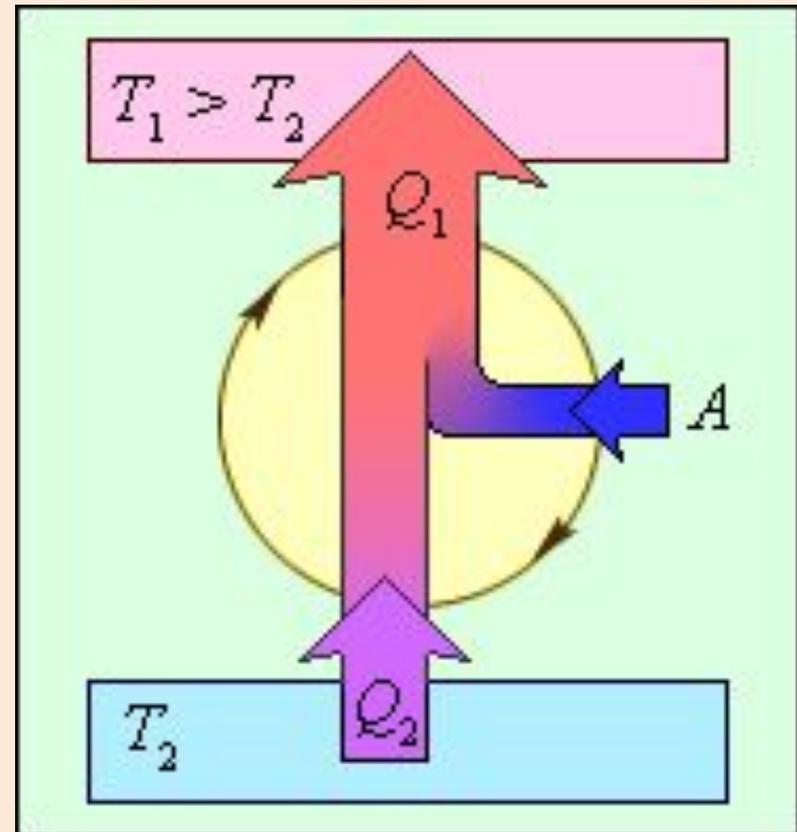
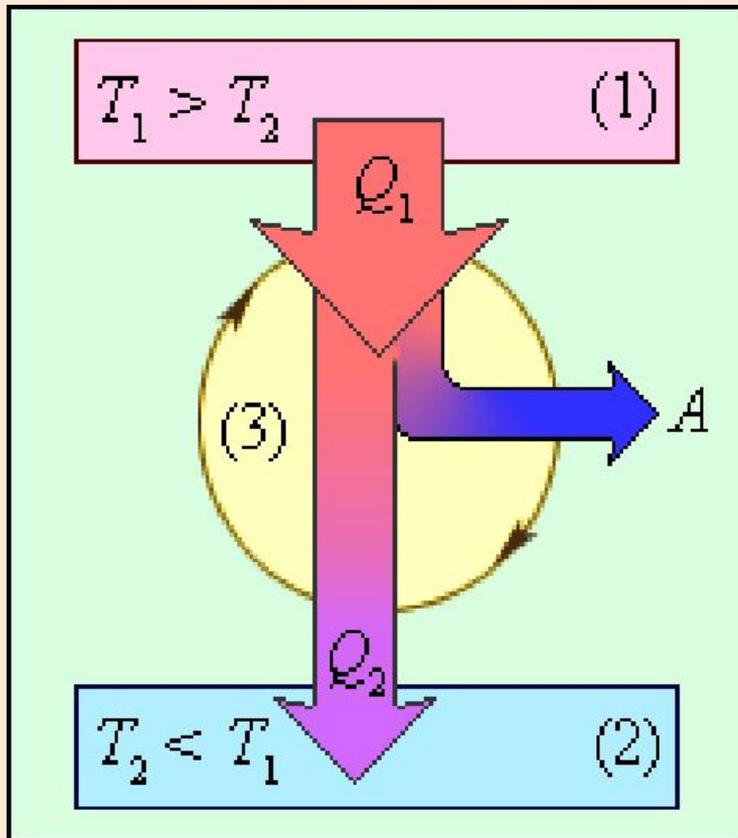
**Круговым процессом или циклом называется такой процесс, по завершении которого система возвращается в исходное состояние.**

**В круговом процессе внутренняя энергия не изменяется.**

# Работа за цикл



# Тепловые и холодильные машины

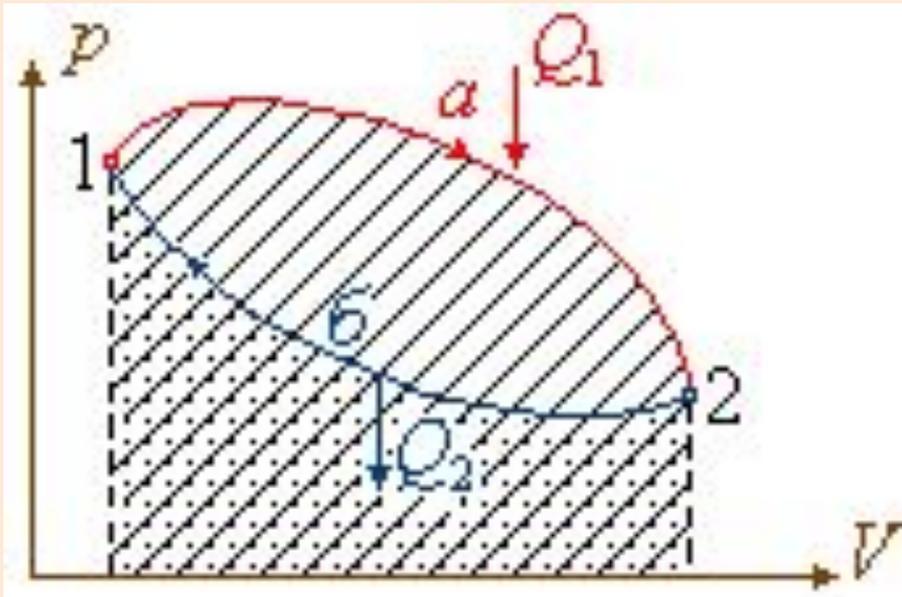


**1 – нагреватель; 2 –  
холодильник; 3 – рабочее**

# КПД тепловой

## машины

прямой цикл



$$Q_1 = (U_2 - U_1) + A_1$$
$$-Q_2 = (U_1 - U_2) - A_2$$

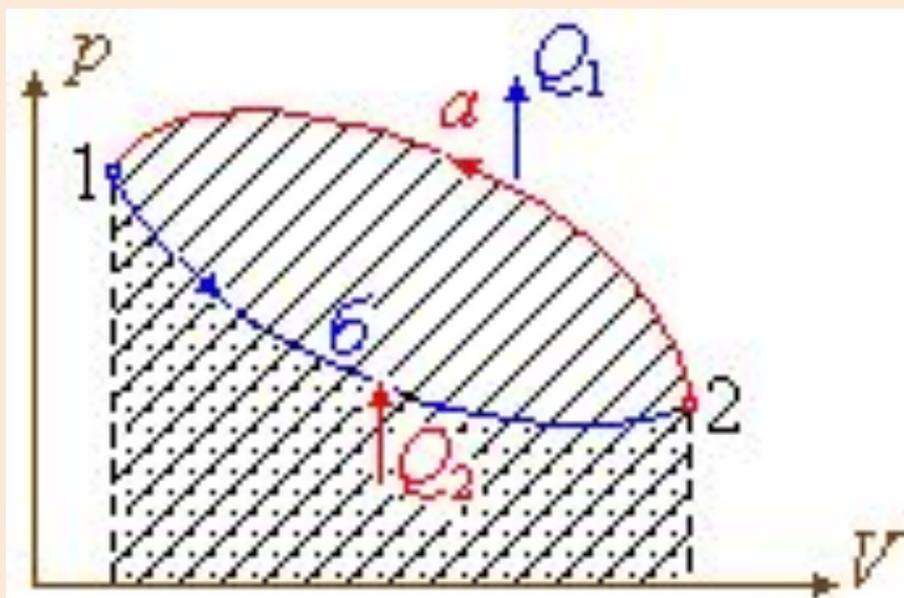
---

$$Q_1 - Q_2 = A_1 - A_2 = A$$

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

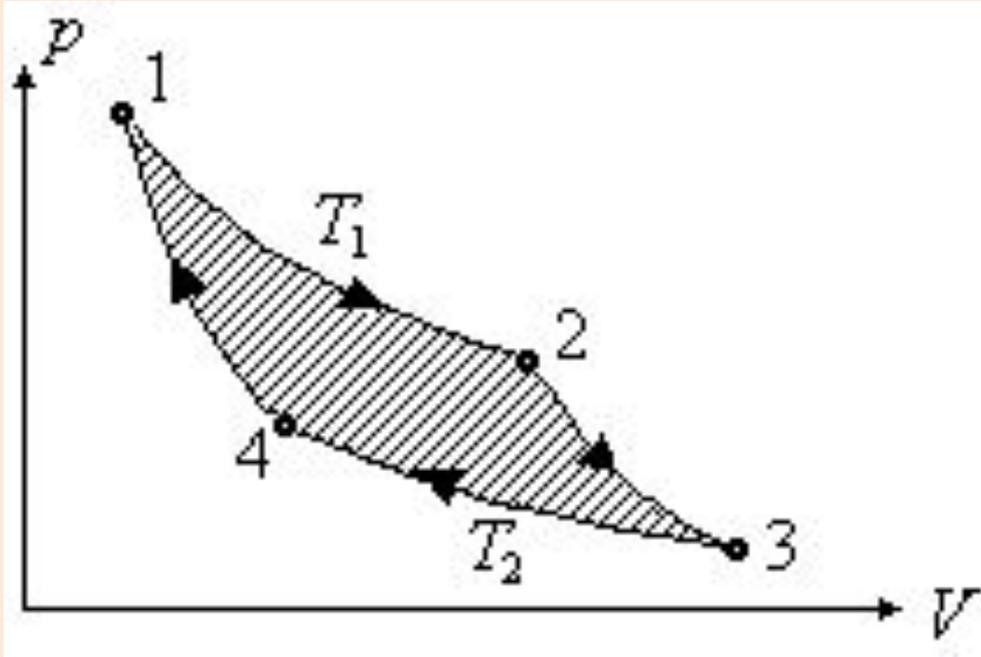
# КПД холодильной машины

обратный цикл



$$\eta = \frac{Q_2}{A^*} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

# Цикл Карно



$$\Delta S = \frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} = 0$$

$$\frac{Q_2}{T_2} = \frac{Q_1}{T_1}$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$