

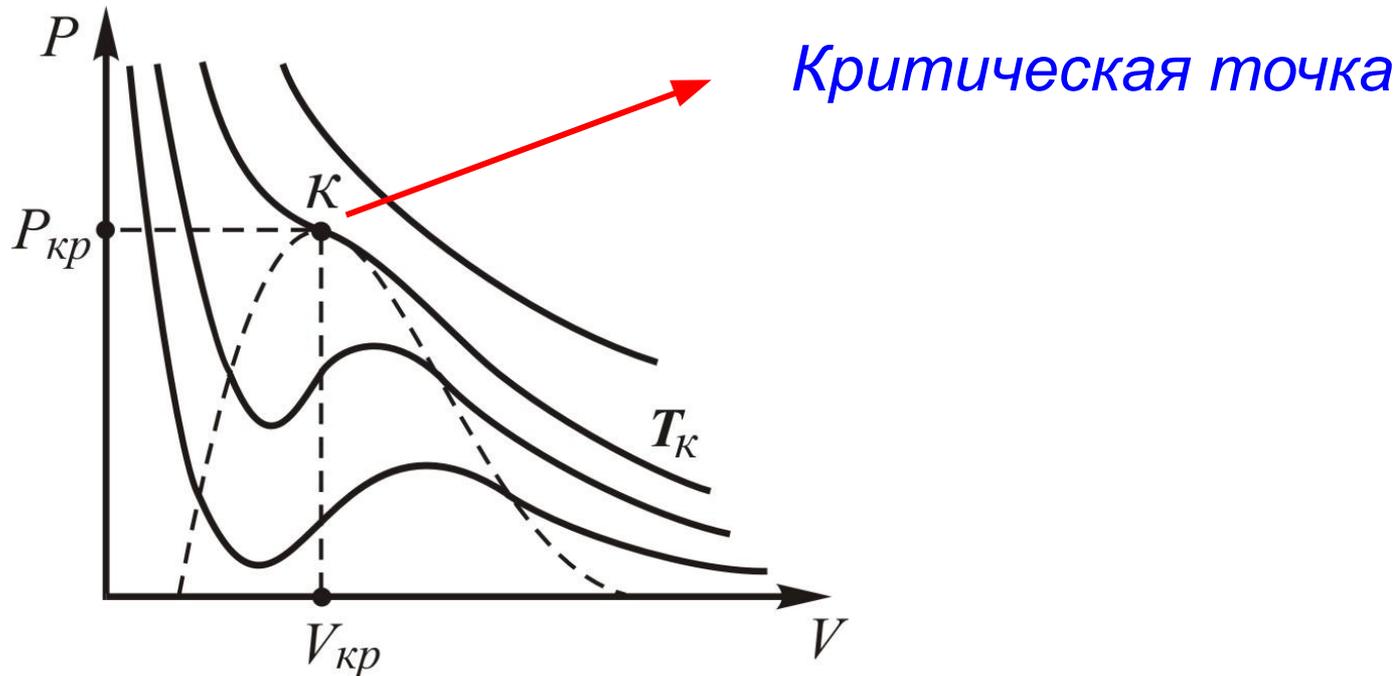
# Реальные газы

1873 г. Ван-дер-Ваальс:

$$\left( P + \frac{av^2}{V^2} \right) (V - bv) = vRT$$

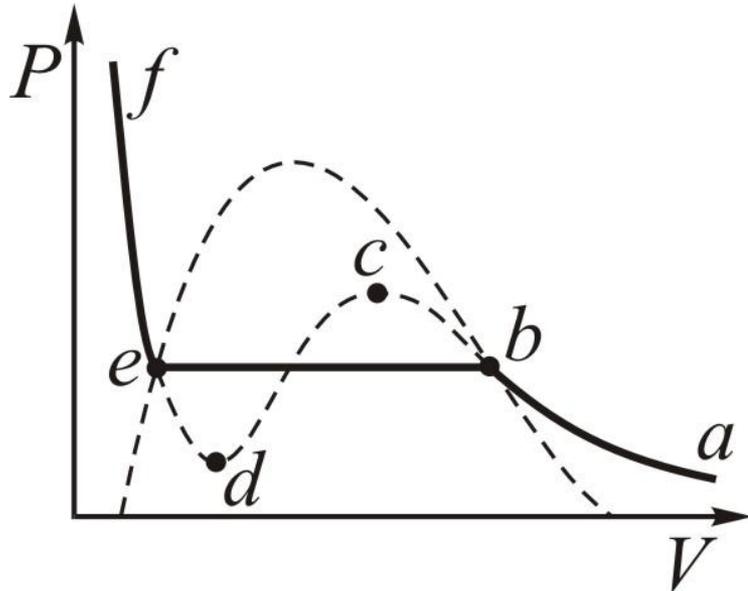
[1] -уравнение состояния  
реального газа  
(газ Ван-дер-ваальса)

Изотермы газа Ван-дер-ваальса:



# Реальные газы

Экспериментальная изотерма реального газа:



$ab$  – газообразное состояние

$be$  – газ + насыщенный пар

$ef$  – жидкость

$bc$  – пересыщенный пар

$de$  – перегретая жидкость

**метастабильные состояния**

При температурах выше критической вещество может существовать только в газообразном состоянии и никаким повышением давления его невозможно перевести в жидкость.

# Явления переноса

Неравновесное состояние → неравновесный процесс → термодинамические **ПОТОКИ** (вещества, энергии, импульса)

## Основные явления переноса:

**Диффузия** – это явление переноса частиц, приводящее к самопроизвольному выравниванию концентраций веществ в смесях.

**Теплопроводность** – это явление переноса тепла, приводящее к самопроизвольному выравниванию температуры в различных точках среды.

**Явление вязкости** или **внутреннего трения** – это явление переноса импульса, приводящее к самопроизвольному выравниванию скоростей различных слоев жидкости (газа) при их относительном движении.

# Диффузия в газах

Рассмотрим сосуд с двумя газами, молекулы которых близки по размерам:

$$d_1 = d_2$$

Длина свободного пробега молекул:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}n\pi d^2}$$

[1]

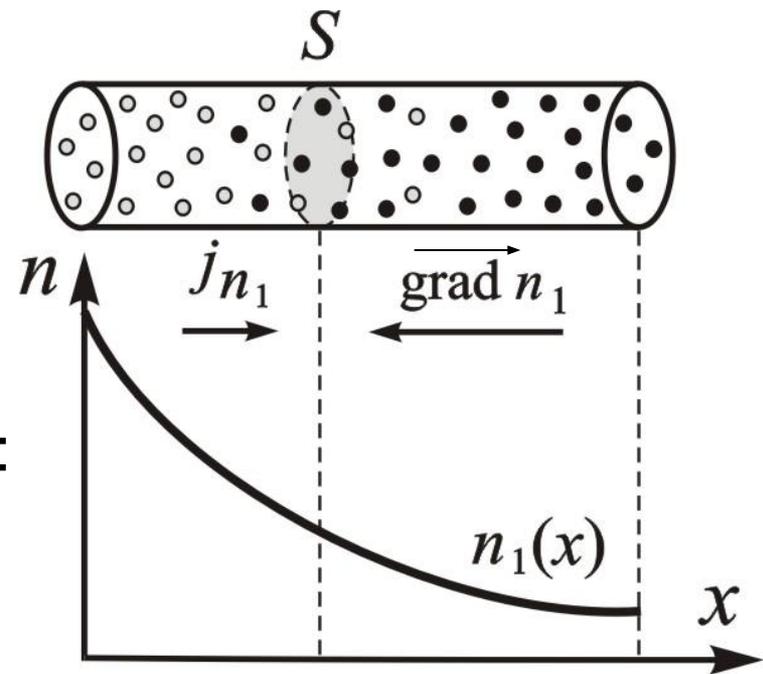
$$\lambda_1 = \lambda_2$$

$n_1(x)$  - концентрация молекул первого сорта

$$j_{n_1} = -D \frac{dn_1}{dx} S$$

[2] - уравнение Фика

$D$  – коэффициент диффузии [ $\text{м}^2/\text{с}$ ]



# Диффузия в газах

Коэффициент диффузии идеального газа:

$$D = \frac{1}{3} \tilde{\lambda} \tilde{v} \quad [3]$$

$$\left. \begin{aligned} \tilde{v} &= \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} \\ \lambda &= \frac{1}{\sqrt{2}n\pi d^2} \\ P &= nkT \end{aligned} \right\} \rightarrow D \propto \frac{\sqrt{T}}{\sqrt{\mu}} \frac{T}{P}$$

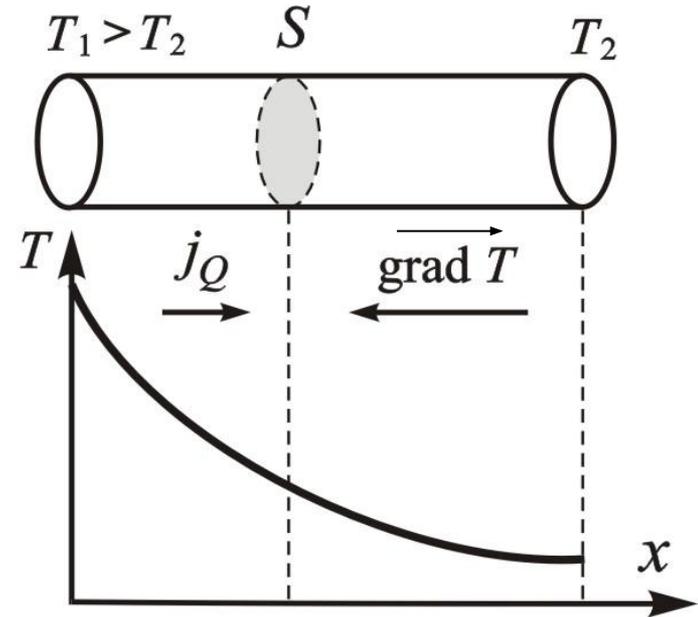
# Теплопроводность в газах

$T = f(x) \longrightarrow$  возникает поток тепла

**Уравнение Фурье:**

$$j_Q = -\chi \frac{dT}{dx} S \quad [4]$$

$\chi$  - коэффициент теплопроводности  
[Вт/м·К]



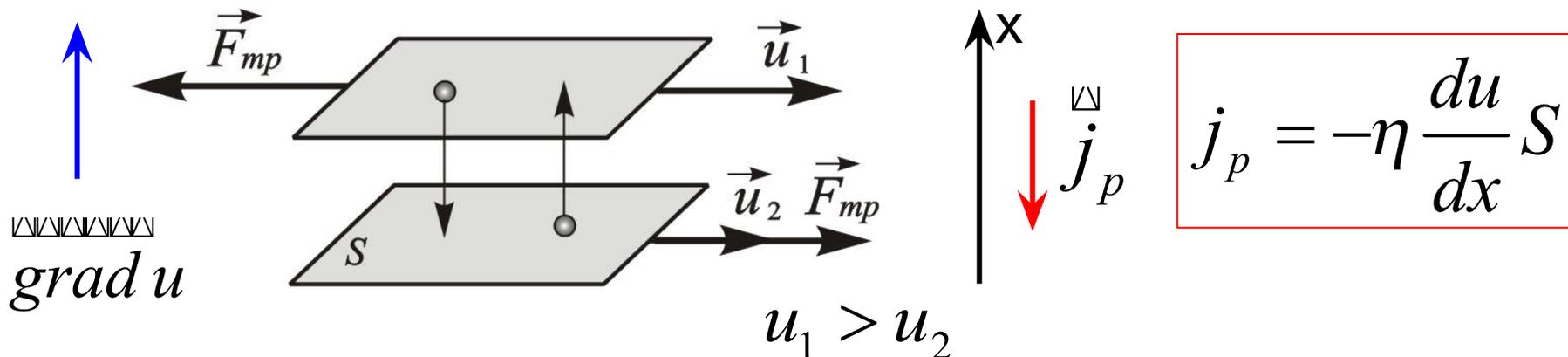
Коэффициент теплопроводности идеального газа:

$$[5] \quad \chi = \frac{1}{3} \tilde{\lambda} \tilde{\nu} \rho C_V^{уд} \longrightarrow \left[ \begin{array}{l} \tilde{\nu} \propto \sqrt{T} \\ \lambda \propto \frac{1}{n} \\ \rho \propto n \end{array} \right] \longrightarrow D \propto \sqrt{T}$$

$D$  не зависит от  $P$

# Внутреннее трение в газах

Рассмотрим *ламинарное* течение газа:  $u = u(x)$



$$j_p = -\eta \frac{du}{dx} S$$

$\eta$  - коэффициент вязкости [Па · с]

Для идеальных газов:

$$\eta = \frac{1}{3} \bar{v} \lambda \rho$$

$$D \propto \sqrt{T}$$

D не зависит от P

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = j_p \longrightarrow$$

$$F_{mp} = \eta \left| \frac{du}{dx} \right| S$$

- формула Ньютона