

# ГЛАВА II. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

## §8. Реальный газ. Фазовые переходы

**О. И. Лубенченко**  
**НИУ МЭИ**

**Кафедра физики им. В. А. Фабриканта**  
**2020**

## I. Модель реального газа Ван-дер-Ваальса. Уравнение Ван-дер-Ваальса

**Модель реального газа** (в отличие от идеального газа):

1. Молекулы имеют конечный объём.
2. Молекулы притягиваются на небольших расстояниях друг от друга ( $r < r_1$ ).

$r_1$  — **радиус молекулярного действия**

Сфера радиуса  $r_1$  — **сфера молекулярного действия**

Уравнение состояния идеального газа:

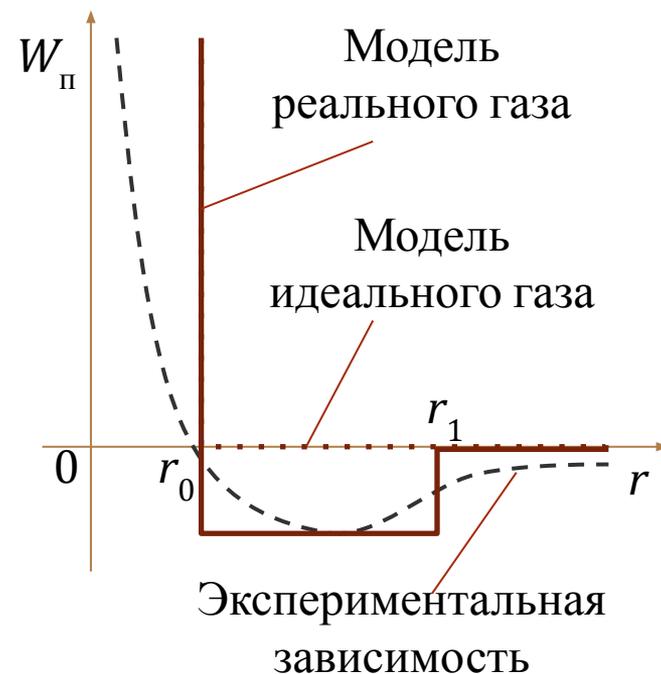
$$pV_\mu = RT$$

$V_\mu$  — **молярный объём**

$$1. \quad V_\mu \rightarrow V_\mu - b$$

$b$  — объём, занимаемый молекулами 1 моля газа

$$[b] = \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$$



$$2. F' \sim N^2 \sim n^2 \sim \frac{1}{V_\mu^2}$$

$n$  — концентрация молекул

$$p \rightarrow p + \frac{a}{V_\mu^2}$$

$$[a] = \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^6}{\text{моль}^2}$$

**Уравнение Ван-дер-Ваальса**  
(уравнение состояния реального газа):

$$\left( p + \frac{a}{V_\mu^2} \right) (V_\mu - b) = RT$$

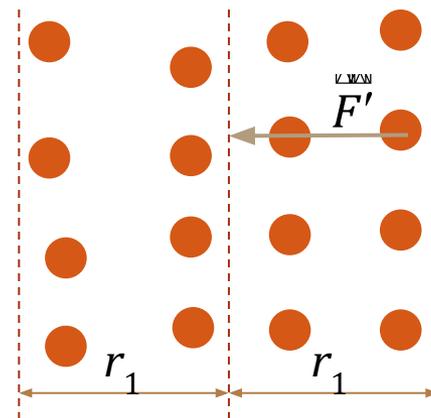
$a$  и  $b$  — **постоянные Ван-дер-Ваальса** — характеристики газа

Уравнение Ван-дер-Ваальса для  $\nu$  молей газа:

$$\left( p + \frac{a \nu^2}{V^2} \right) (V - b) = RT$$

**Внутренняя энергия реального газа**

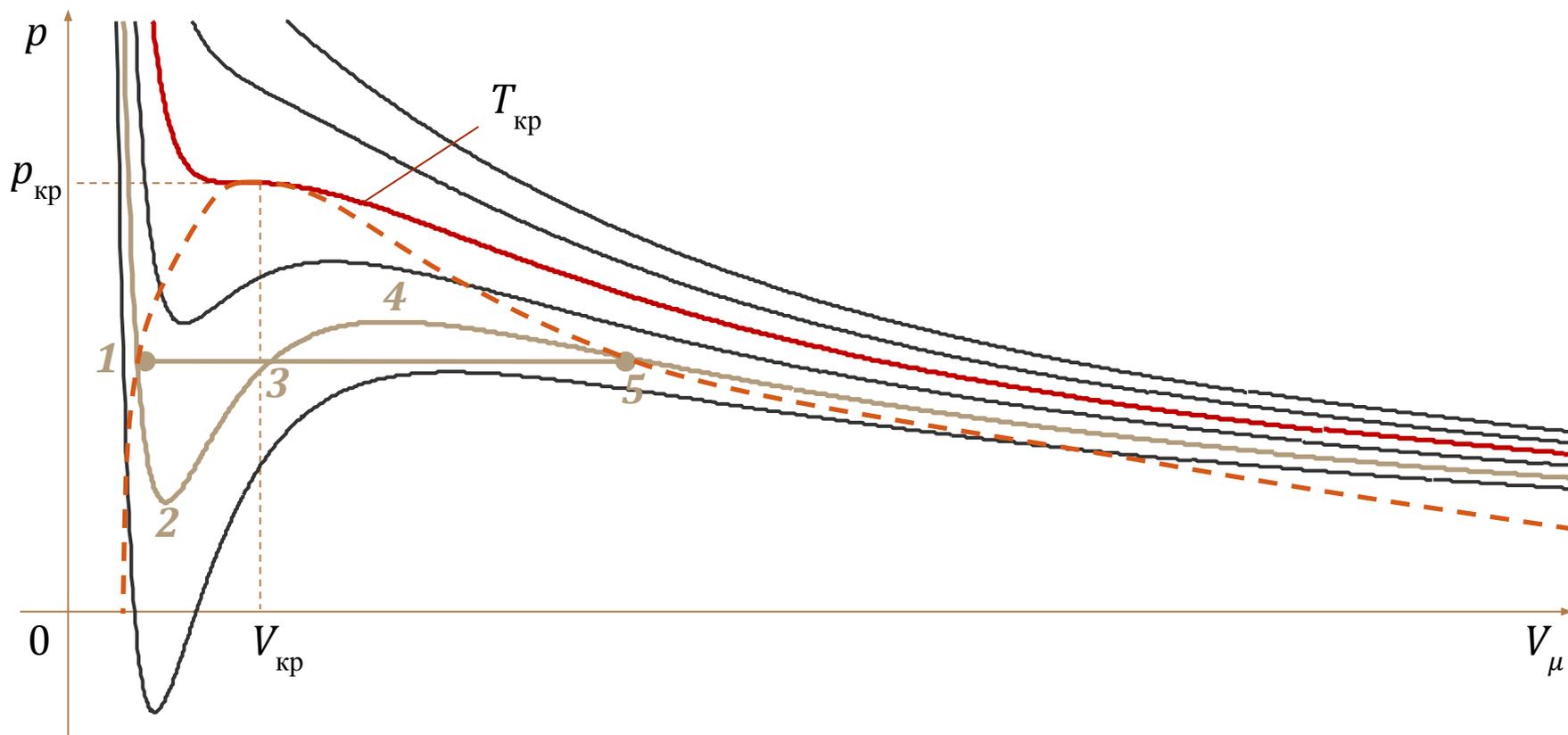
$$\nu RT \frac{V}{2} - \frac{a}{V}$$



## II. Изотермы реального газа

**Фаза** в термодинамике — совокупность однородных, одинаковых по всем своим свойствам частей термодинамической системы.

$$p = \frac{RT}{V_{\mu} - b} - \frac{a}{V_{\mu}^2}$$



*Критическая изотерма* имеет горизонтальный перегиб.

$$\begin{cases} \frac{dp}{dV_\mu} = 0 \\ \frac{d^2p}{dV_\mu^2} = 0 \end{cases} \longrightarrow \boxed{V_{\text{кр}} = 3b} \quad \boxed{T_{\text{кр}} = \frac{8a}{27Rb}} \quad \boxed{p_{\text{кр}} = \frac{a}{27b^2}}$$

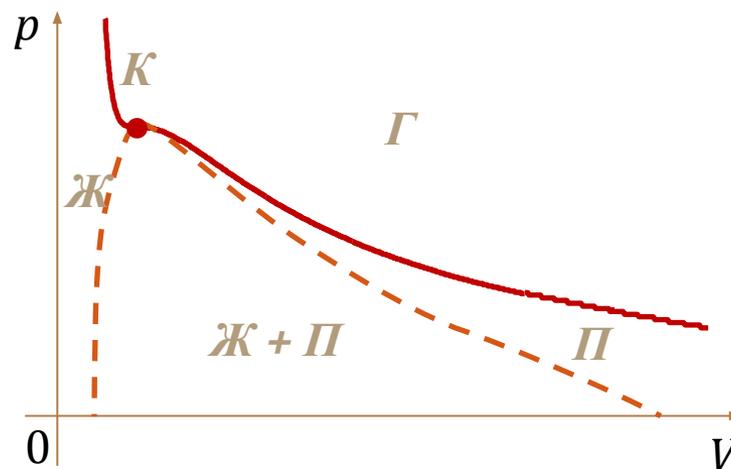
**1-5** — *насыщенный пар* — газ, находящийся в термодинамическом равновесии со своей жидкостью, и *жидкость*

**1-2** — *перегретая жидкость*

**4-5** — *пересыщенный пар*

**Критическая температура** — это температура, при которой стирается различие между жидкостью и газом.

*Для воды:*  $t_{\text{кр}} = 374^\circ\text{C}$ .

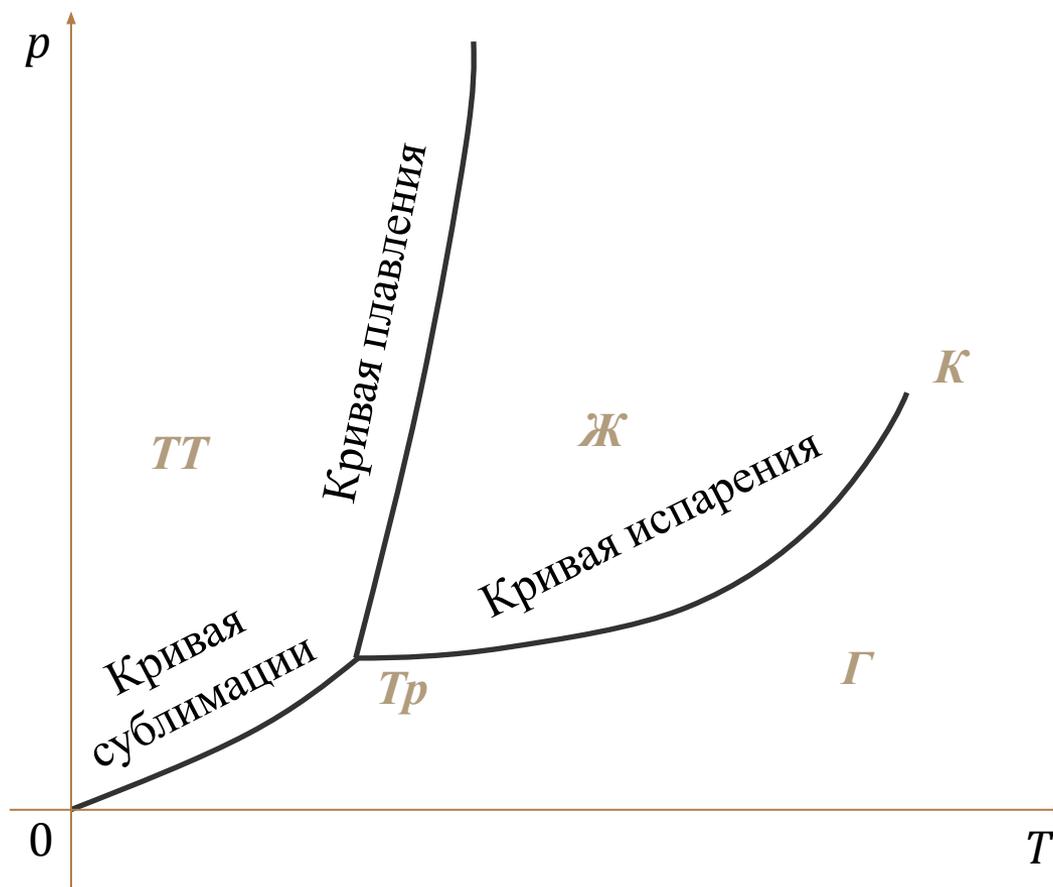


## III. Диаграммы состояния вещества

Совокупность равновесных состояний двух и более фаз изображается на диаграммах  $(p, T)$  — *диаграммах состояния вещества*.

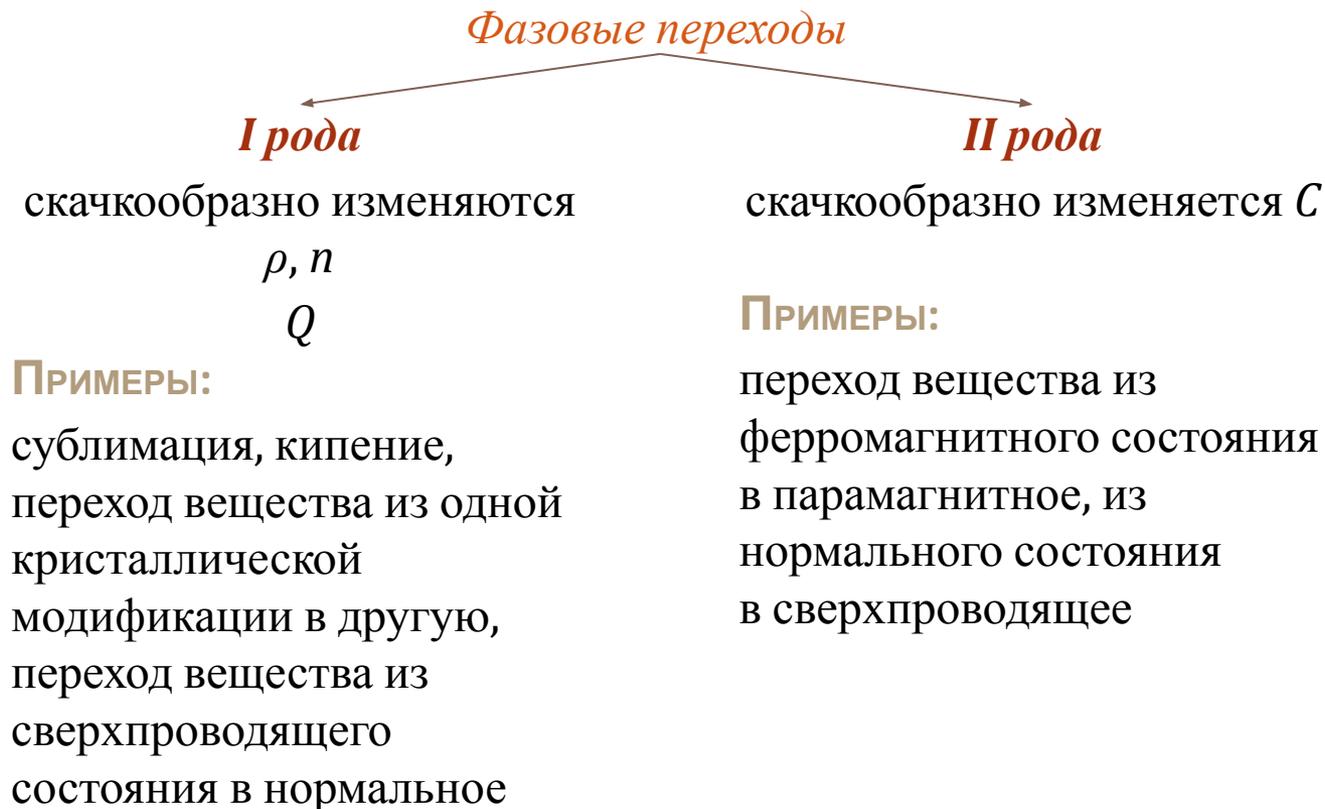
**Тройная точка** — единственная точка на фазовой диаграмме, в которой три фазы вещества находятся в термодинамическом равновесии.

*Для воды:*  $p_{\text{тр}} = 6,4 \cdot 10^2 \text{ Па} = 5 \text{ мм рт. ст.}; T_{\text{тр}} = 273,15 \text{ К}$



## IV. Фазовые переходы

**Фазовой переход** — ФЯ — переход вещества от одной фазы к другой.



**Теплота фазового перехода**  $Q$  (характеризует переходы I рода) — ФВ — количество теплоты, выделяемое (поглощаемое) веществом при фазовом переходе.

**Удельная теплота фазового перехода** — ФВ — теплота фазового перехода, приходящаяся на вещество единичной массы:

$$\lambda = \frac{Q}{m}$$

$$[\lambda] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$