

# ***ОБЩАЯ ФИЗИКА***

## ***ЛЕКЦИИ №20-22***

***Агрегатные состояния и  
фазовые переходы  
Газ Ван-дер-Ваальса.  
Явления переноса***

# Молекулярные силы

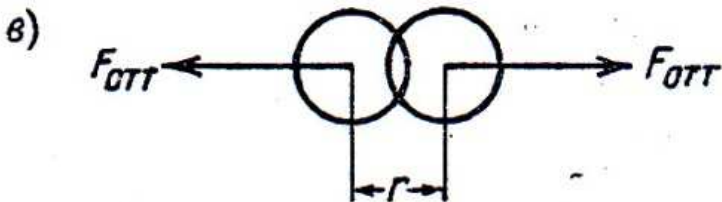
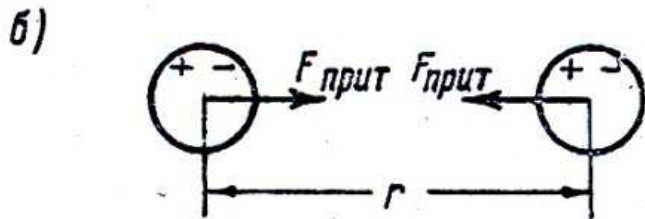
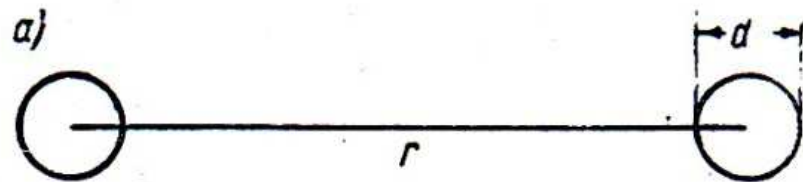
В нейтральной молекуле при сближении на расстояние, равное двум – трем диаметрам в результате взаимодействия зарядов возникает дипольный момент, обусловленный поляризацией молекулы. Между диполями возникают силы притяжения, которые растут по мере сближения молекул, пропорциональные четвертой степени расстояния между ними. Эти силы часто называют ван-дер-ваальсовыми силами.

$kT \ll |U_{\min}|$  - твёрдое тело

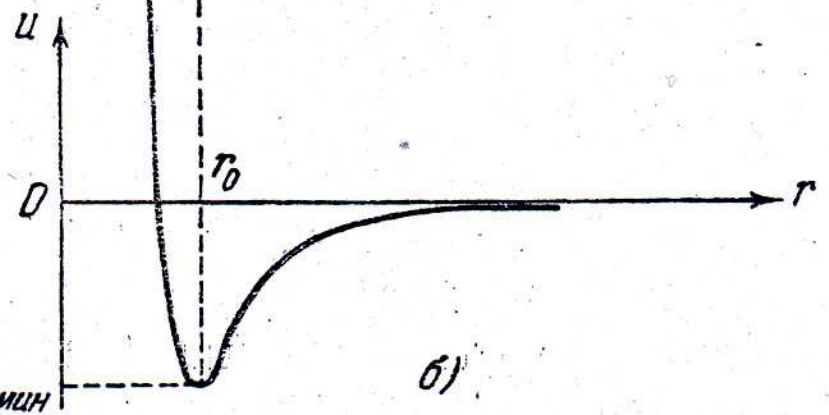
$kT \gg |U_{\min}|$  - газ

$kT \approx |U_{\min}|$  - жидкость

# Молекулярные силы



a)



б)

# Уравнение Ван-дер-Ваальса.

Для реальных газов наблюдаются как качественные, так и количественные отклонения от законов идеального газа.

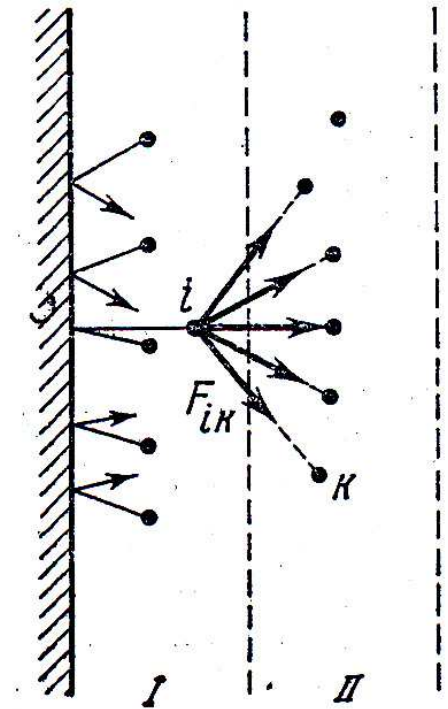
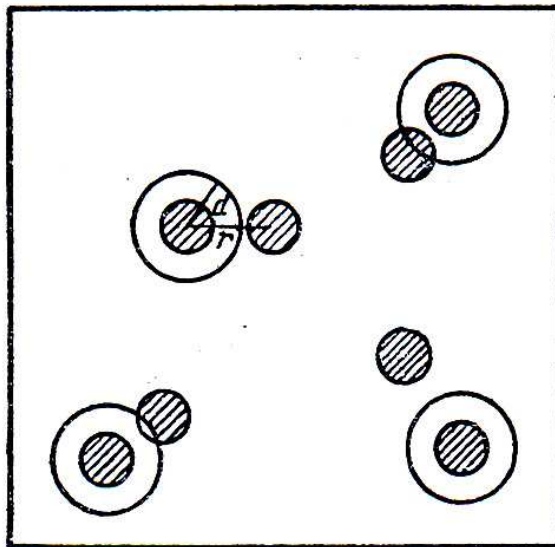
Причины:

1. Собственный объем молекул. Недоступный объем равен учетверенному объему всех молекул.  $p(V_0 - b) = RT$ .
2. Учет сил взаимодействия молекул ведет к поправке на «внутреннее давление».  $(p + \frac{a}{V_0^2})(V_0 - b) = RT$ .

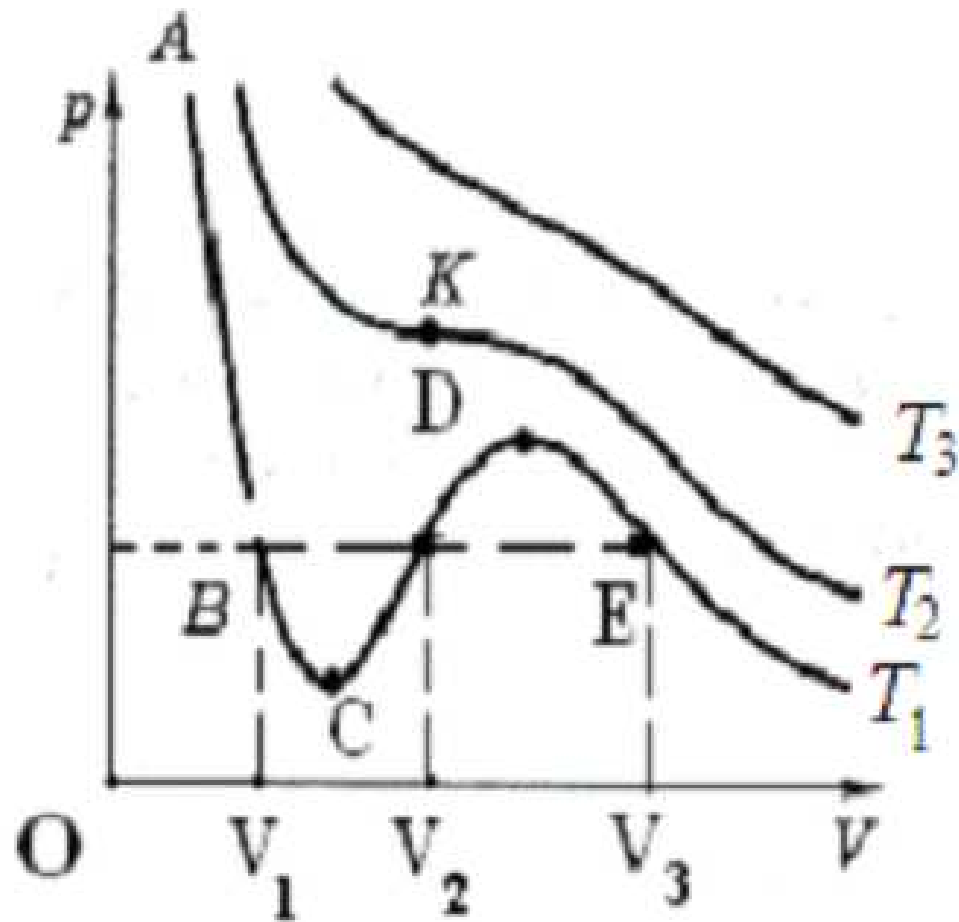
Для произвольной массы газа, которой соответствует  $\nu$  молей

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

# Пояснения к уравнению Ван-дер-Ваальса



# Теоретические изотермы Ван-дер-Ваальса



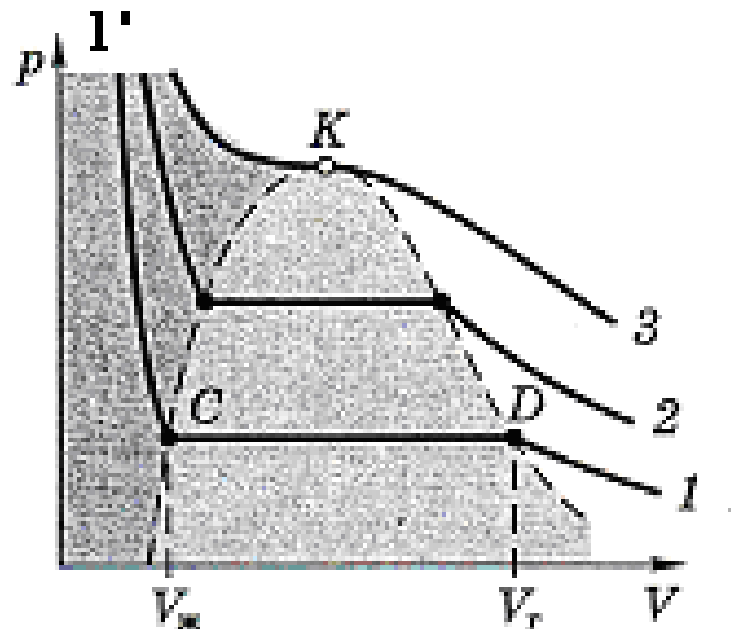
$$T_3 > T_2 > T_1$$

# Изотермы

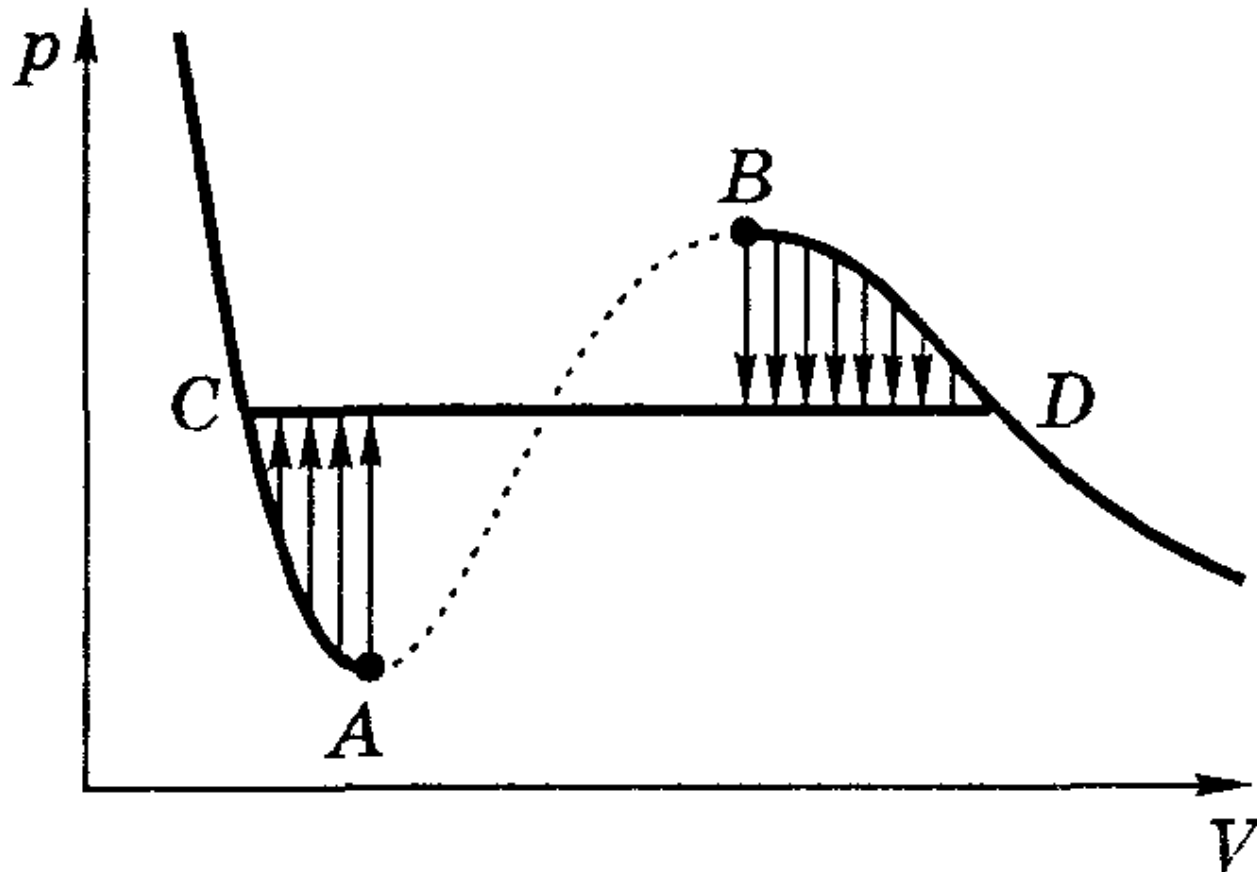
# Эндрюса

участок  $1'C$  – вещество находится в жидком состоянии;  
участок  $CD$  – вещество находится в двухфазном состоянии;  
участок  $D1$  – вещество находится в газообразном состоянии;

точка  $C$  – точка начала конденсации паров;  
точка  $D$  – точка начала кипения жидкости.



# Метастабильные состояния



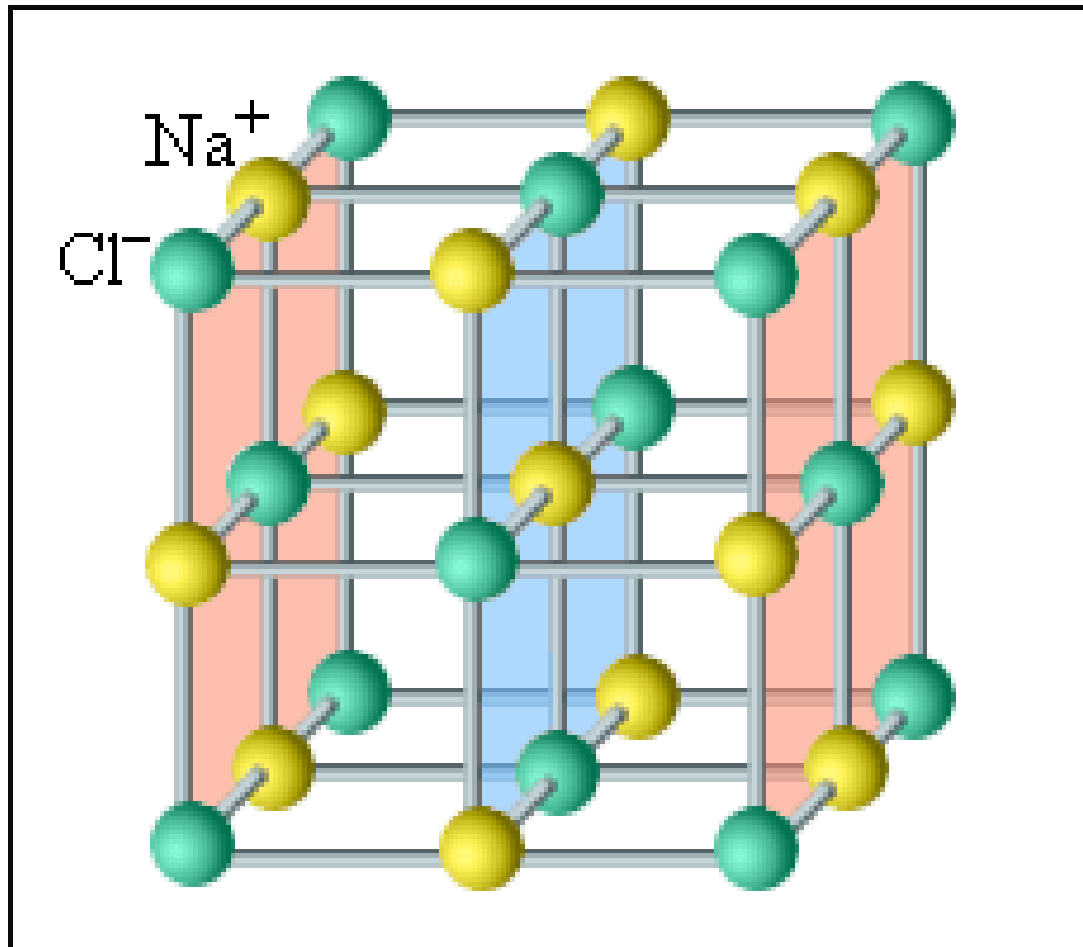
*BD*- пересыщенный пар;  
*CA* –перегретая жидкость



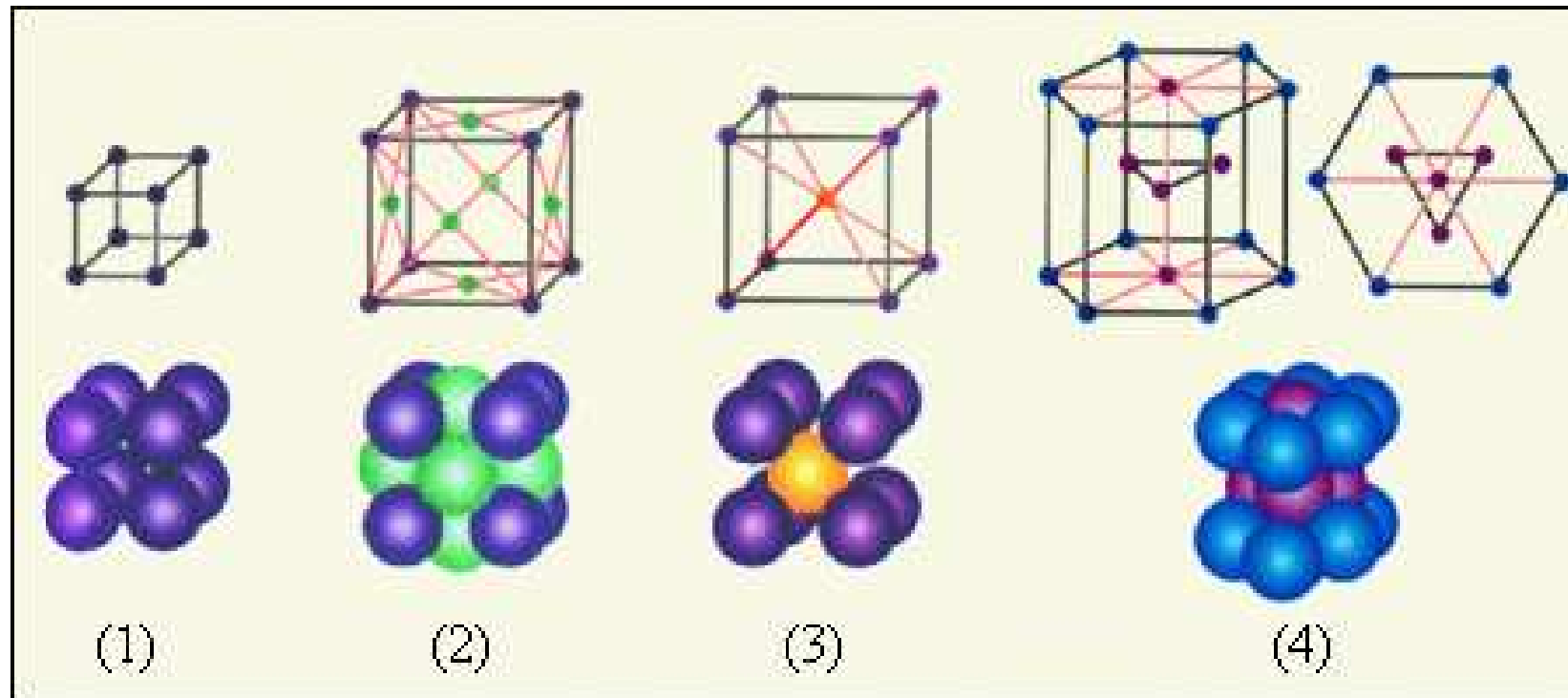
# Кристаллы поваренной соли



# Решетка NaCl

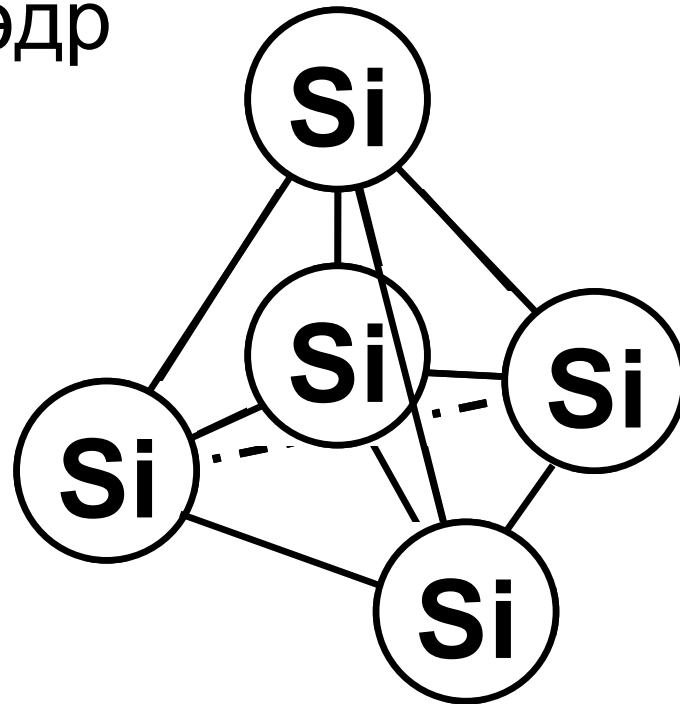


# Типы кристаллических решеток



# Твердое тело. Кристалл кремния

- Тетраэдр



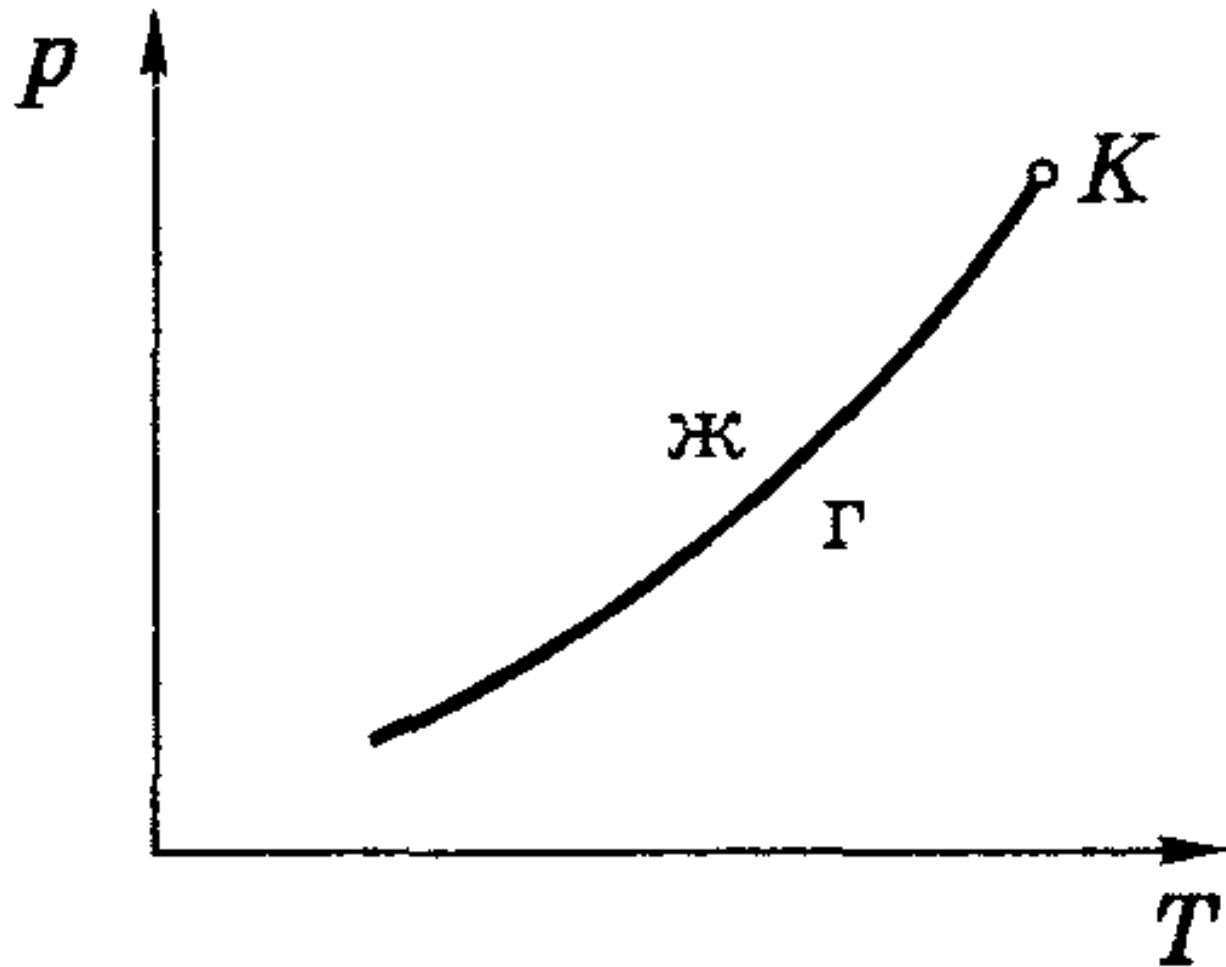
# Фазовые переходы первого рода

*Фаза – физически однородная часть вещества, отделенная от других частей системы границей раздела.*

Фазовые переходы первого рода (плавление, кристаллизация, испарение, конденсация, сублимация) сопровождаются теплотой перехода. Теплота перехода – количество теплоты, которое необходимо сообщить веществу, чтобы изотермически – изобарически перевести его из одной фазы в другую. Этот процесс характеризуется

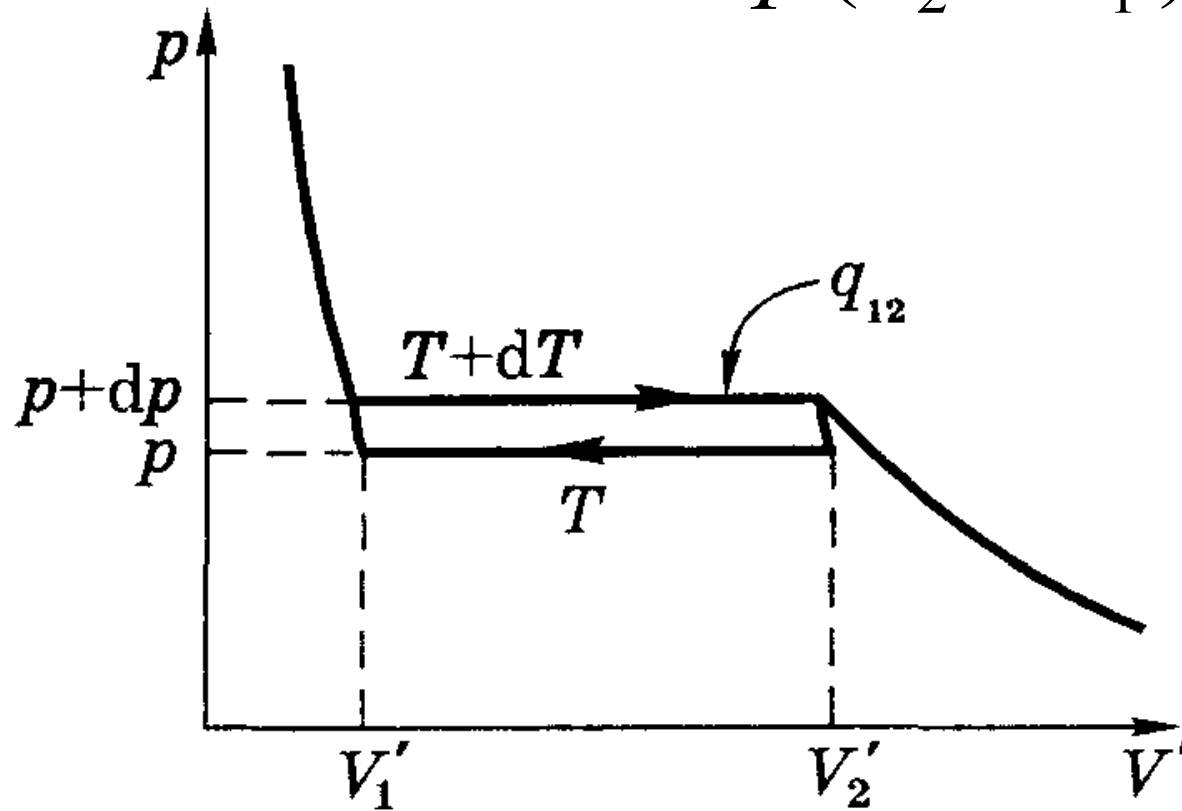
- 1) удельной теплотой испарения (конденсации)
- 2) теплотой плавления (кристаллизации) Теплоту испарения твердого тела называют теплотой сублимации

# Зависимость $p(T)$ для испарения (конденсации)



# Уравнение Клапейрона-Клаузиуса

$$dp(V_2' - V_1') = dT(S_2' - S_1')$$

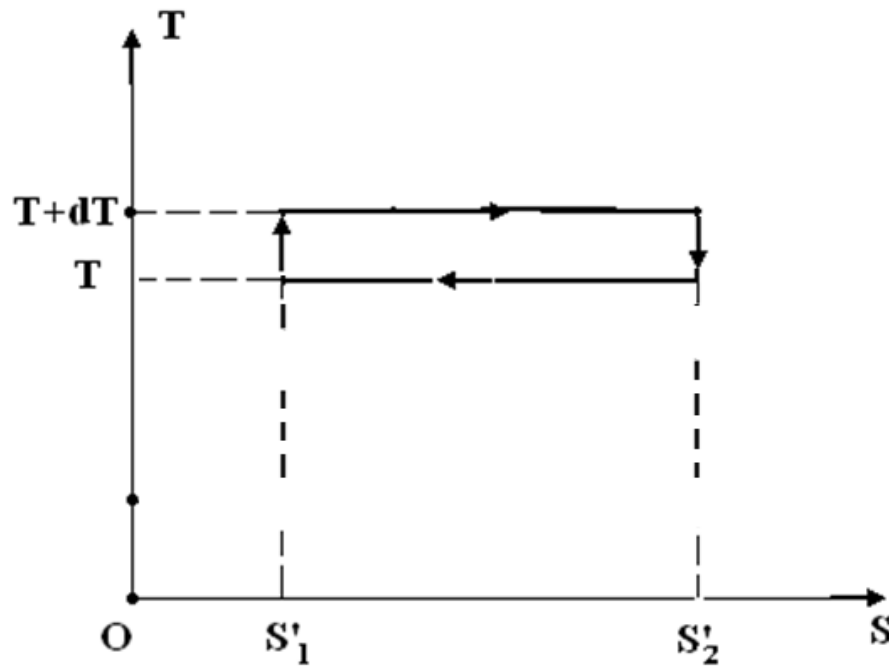


$$S_2' - S_1' = \frac{q_{12}}{T}$$

# Уравнение Клапейрона-Клаузиса

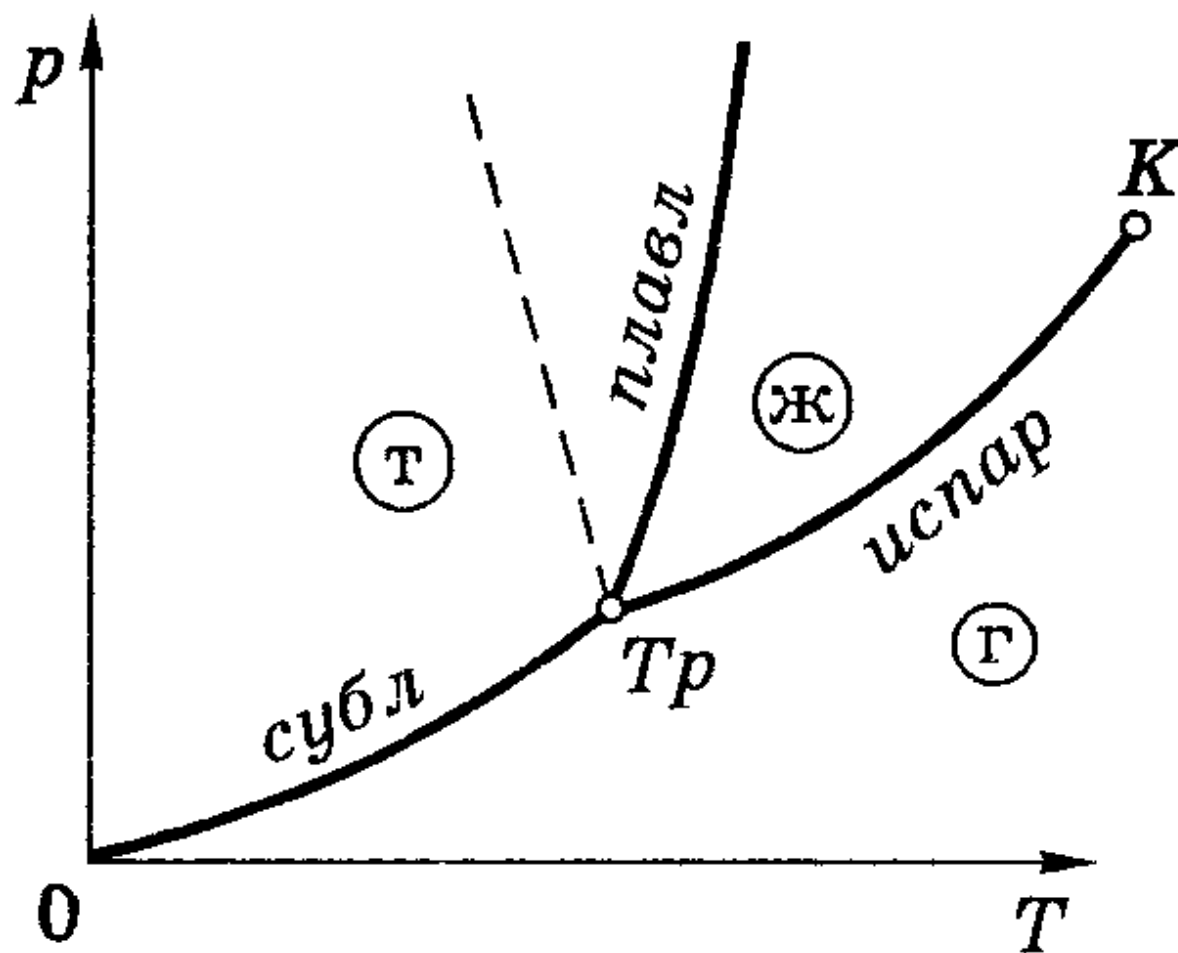
- Цикл Карно

$$\frac{dp}{dT} = \frac{q_{12}}{T(V_2' - V_1')}$$





# Диаграмма состояний



Явления переноса.  
Длина свободного пробега  
молекул

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

# Уравнения явлений переноса

Закон Фика. Диффузия.

$$J = -D \frac{dn}{dx}$$

Уравнение Ньютона.

Внутреннее трение

$$f_{\text{тр}} = -\eta \frac{dv}{dx}$$

Уравнение Фурье. Теплопроводность

$$q = -\gamma \frac{dT}{dx}$$

# Коэффициенты уравнений переноса

$$D = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda}$$

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

$$\chi = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda} n \frac{i}{2} k = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda} \rho c_V = D \rho c_V = \eta c_V$$

Иродов И.Е. Физика макросистем