

Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті

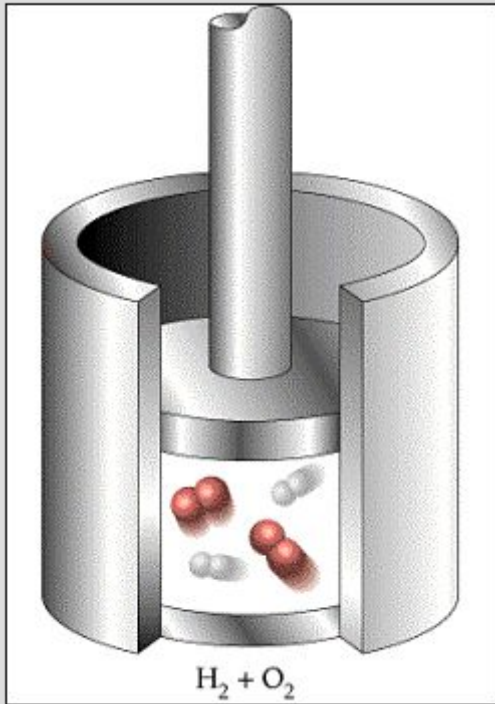
*Физика кафедрасы*

**ТЕРМОДИНАМИКА  
НЕГІЗДЕРІ**

# Дәріс жоспары

1. Идеал газдың ішкі энергиясы Газдың ұлғаю жұмысы
2. Термодинамиканың бірінші заңы
3. Жылусыйымдылық теориясы
4. Карно циклы және оның ПӘК
5. Энтропия. Энтропииның ықтималды салыстырмалы күйімен байланысы Термодинамиканың екінші заңы және оның физикалық мәні

# Идеал газдың ішкі энергиясы



Идеал газдың ішкі энергиясы оның молекулаларының кинетикалық энергиясынан тұрады

$$U_M = \frac{i}{2} RT$$

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RT$$

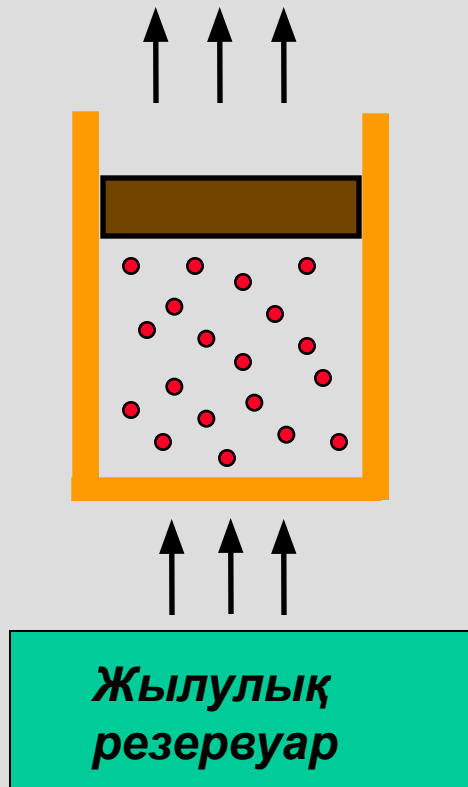
# Ішкі энергияның өзгерісі

Ішкі энергия функцияның күйі  
болып табылады

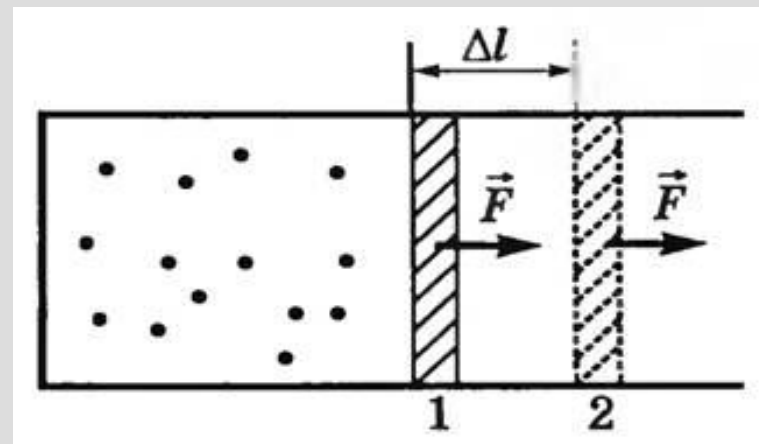
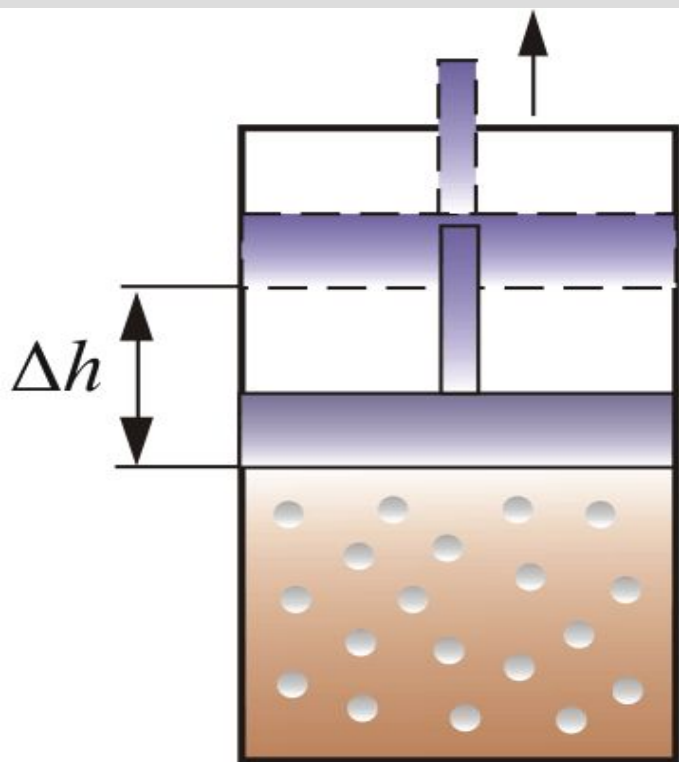
Ішкі энергияның  
өзгеруінің екі жолы бар :

Жүйенің немесе сыртқы  
күштердің жасайтын ЖҰМЫСЫ;

Қоршаған ортадан жүйеге  
берілетін ЖЫЛУЛЫҚ.



# Газ ұлғаюының жұмысы



$$\Delta A = F d\boxtimes = pS\Delta\boxtimes = p\Delta V$$

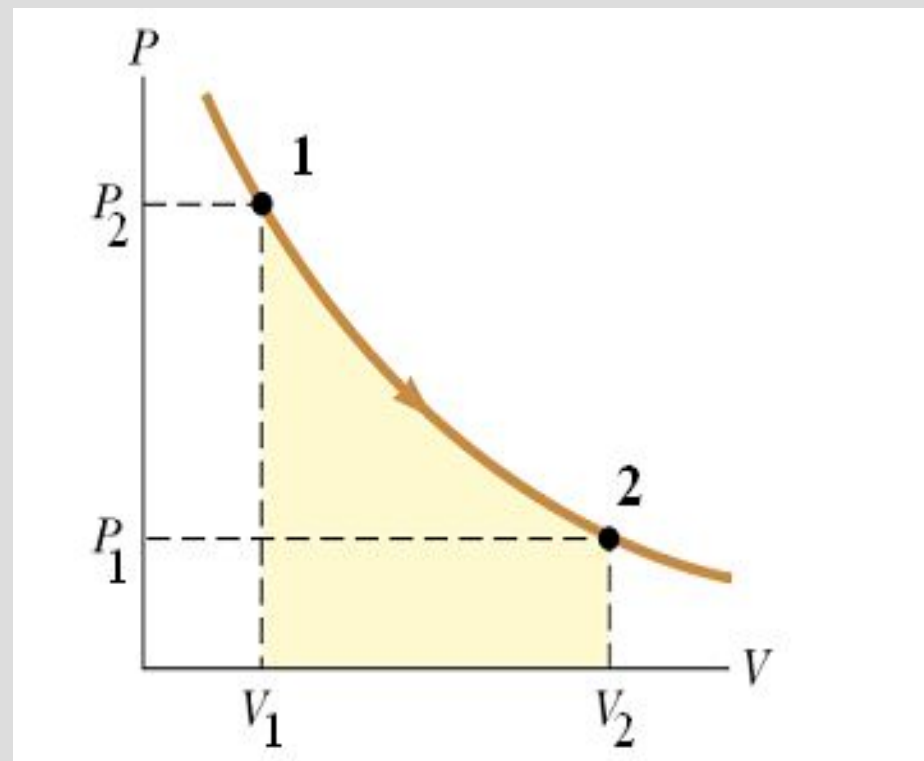
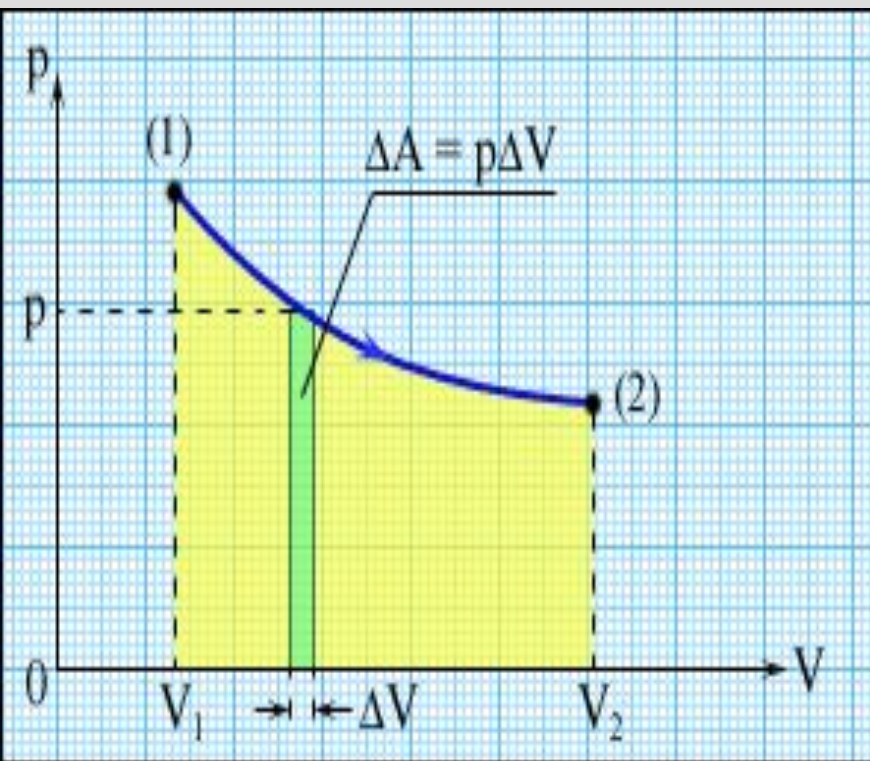
$$A = p\Delta V$$

$$A = \int_1^2 p dV$$

$A > 0$  Жұмысты газ атқарады

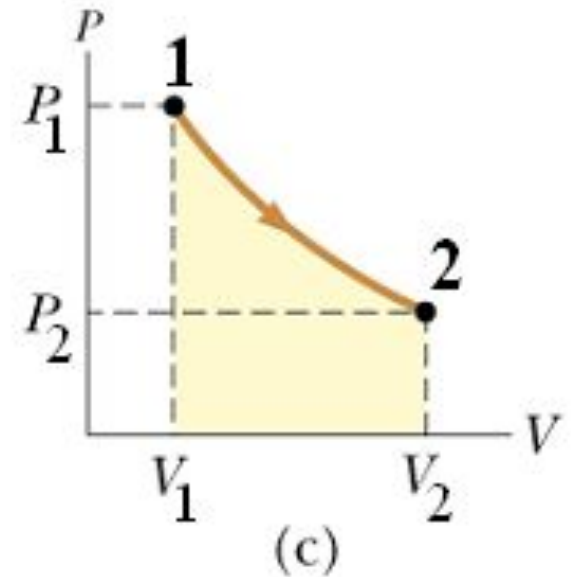
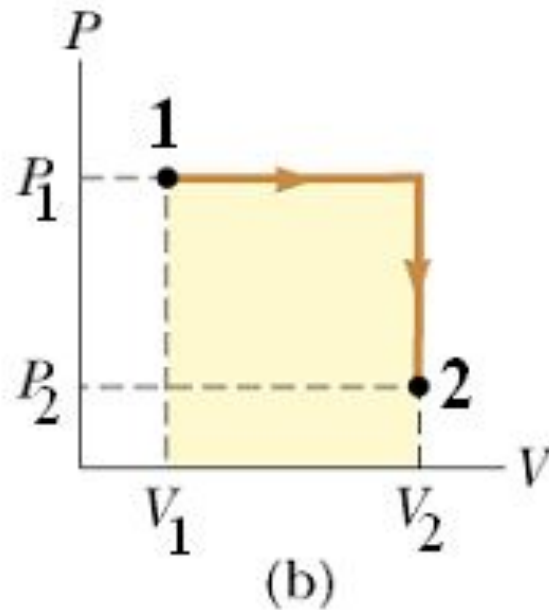
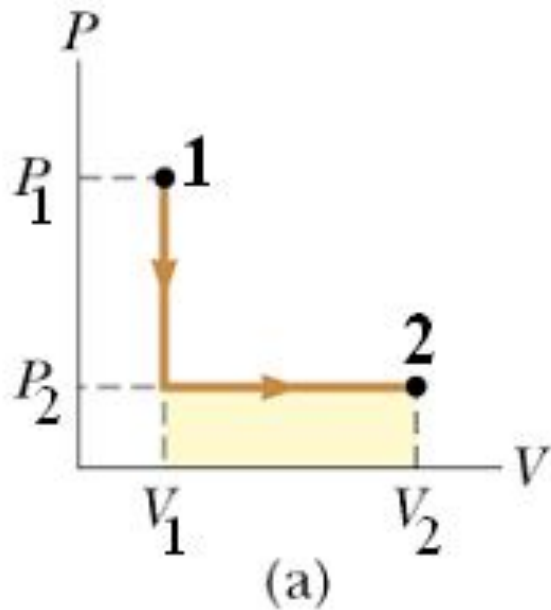
$A < 0$  Жұмыс сыртқы күштер тарапынан болады

# Жұмыстың графикалық анықталуы



**Жұмыс ауданға тең**

# Газ жұмысы



Бір күйден екінші күйге өту әр түрлі процесстер тарапынан болады және ол кездегі атқарылатын жұмыста әр түрлі. Жұмыс функцияның процессі болып табылады

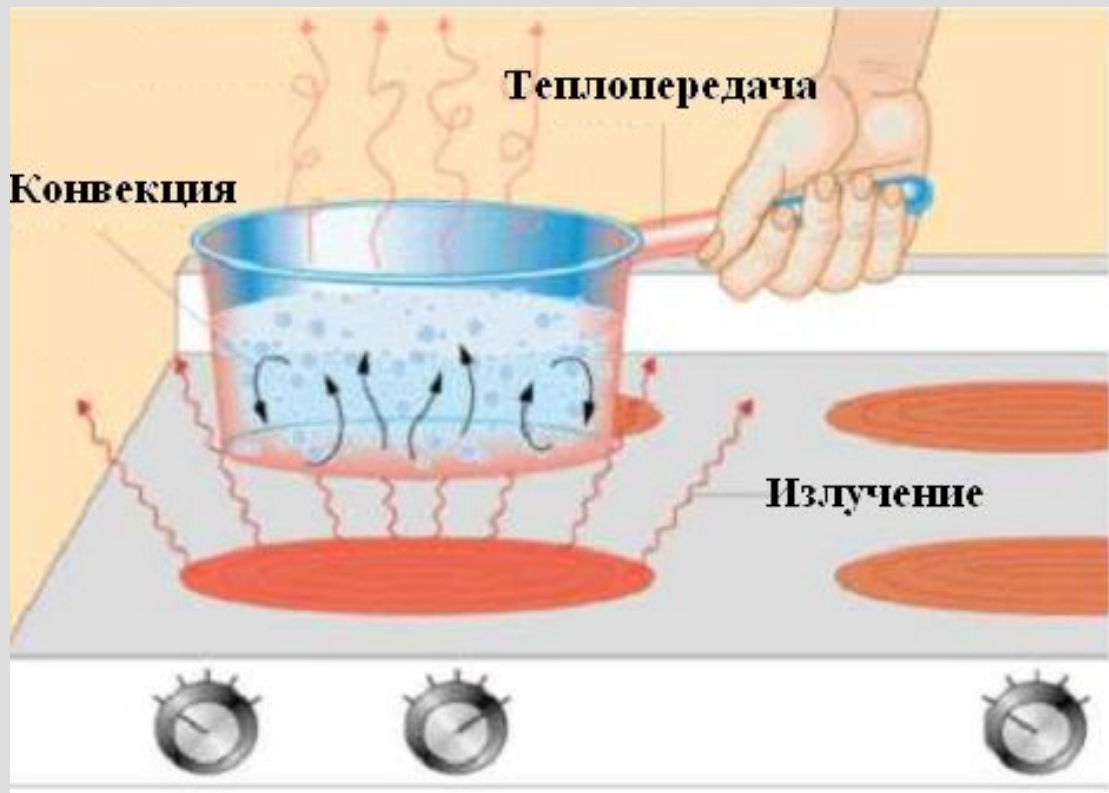
# Жылудың берілу түрлері



1 Жылу алмасу

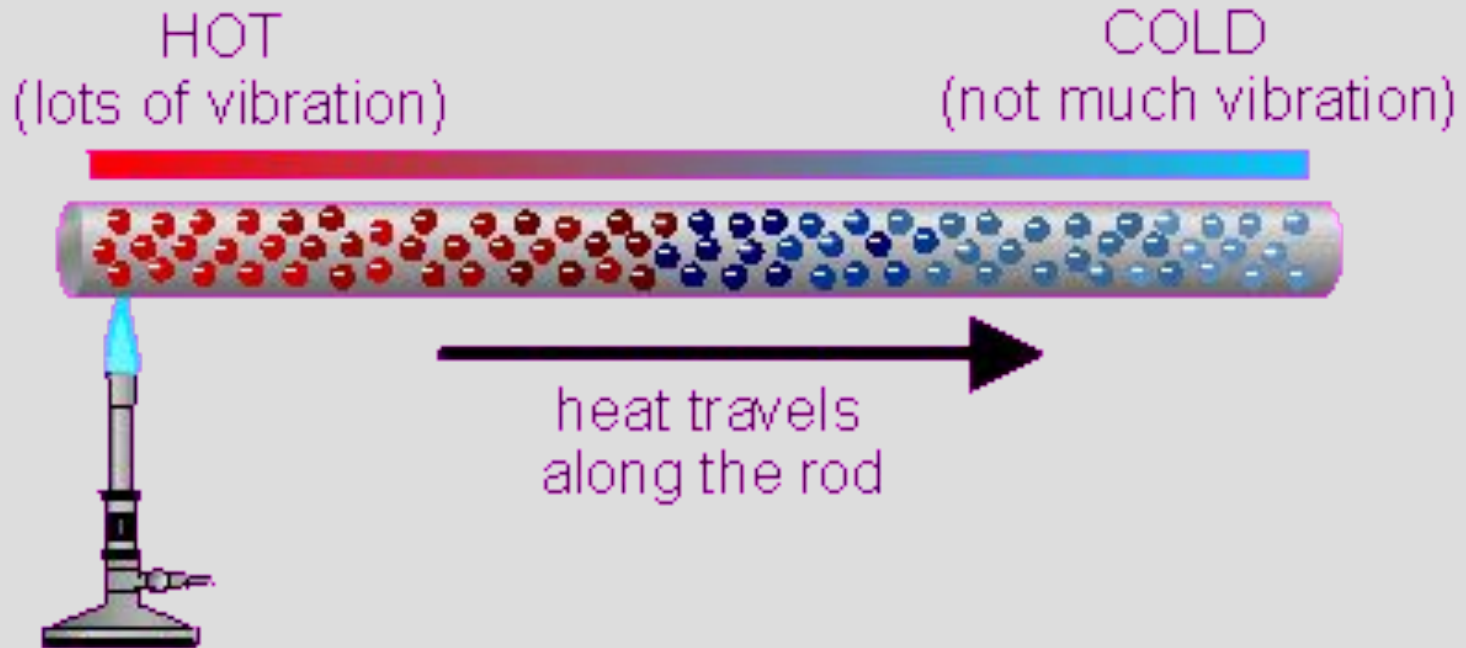
2 конвекция

3 сәуле шығару

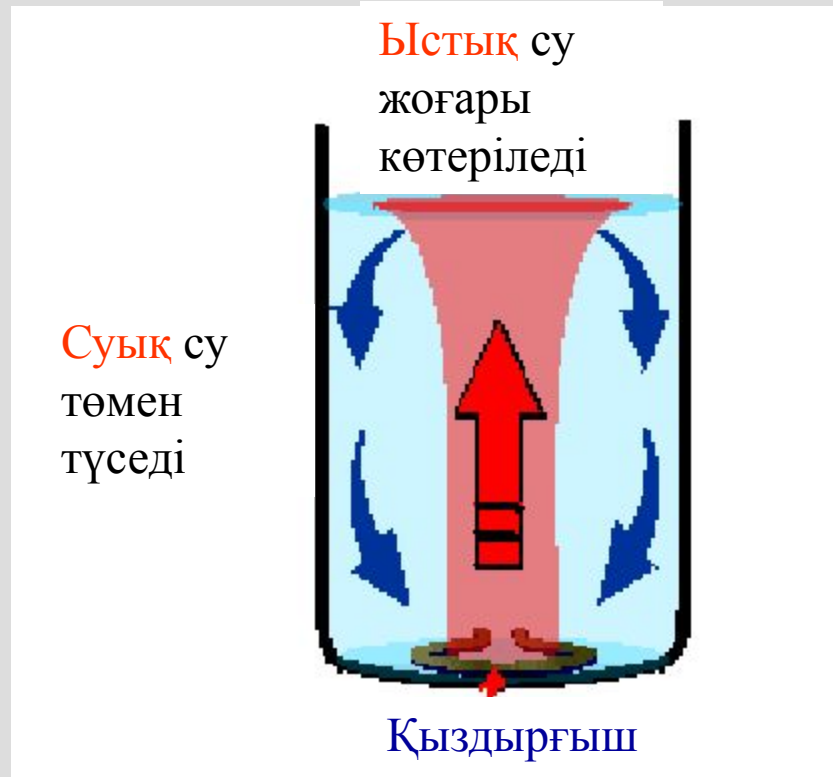




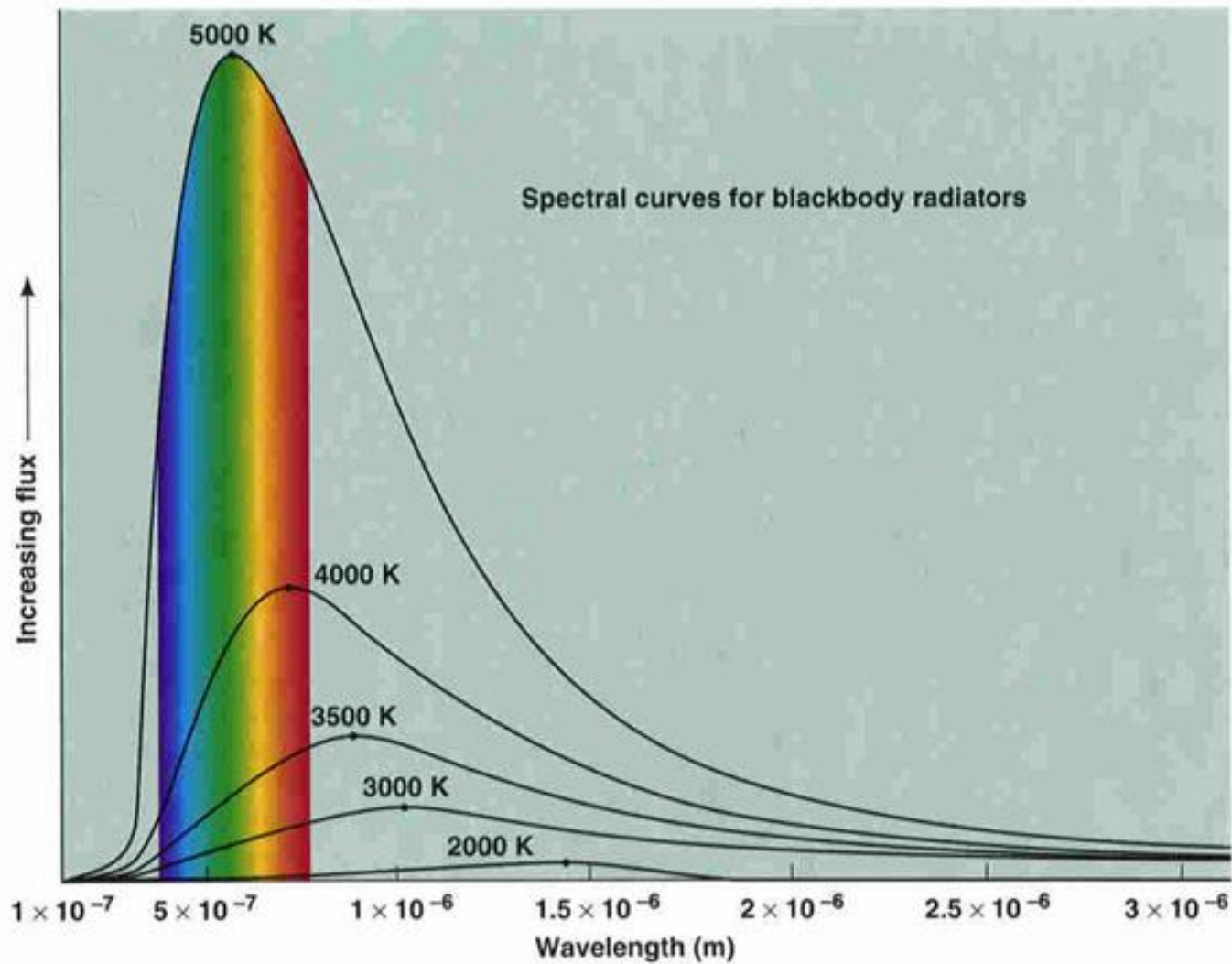
# Жылу алмасу

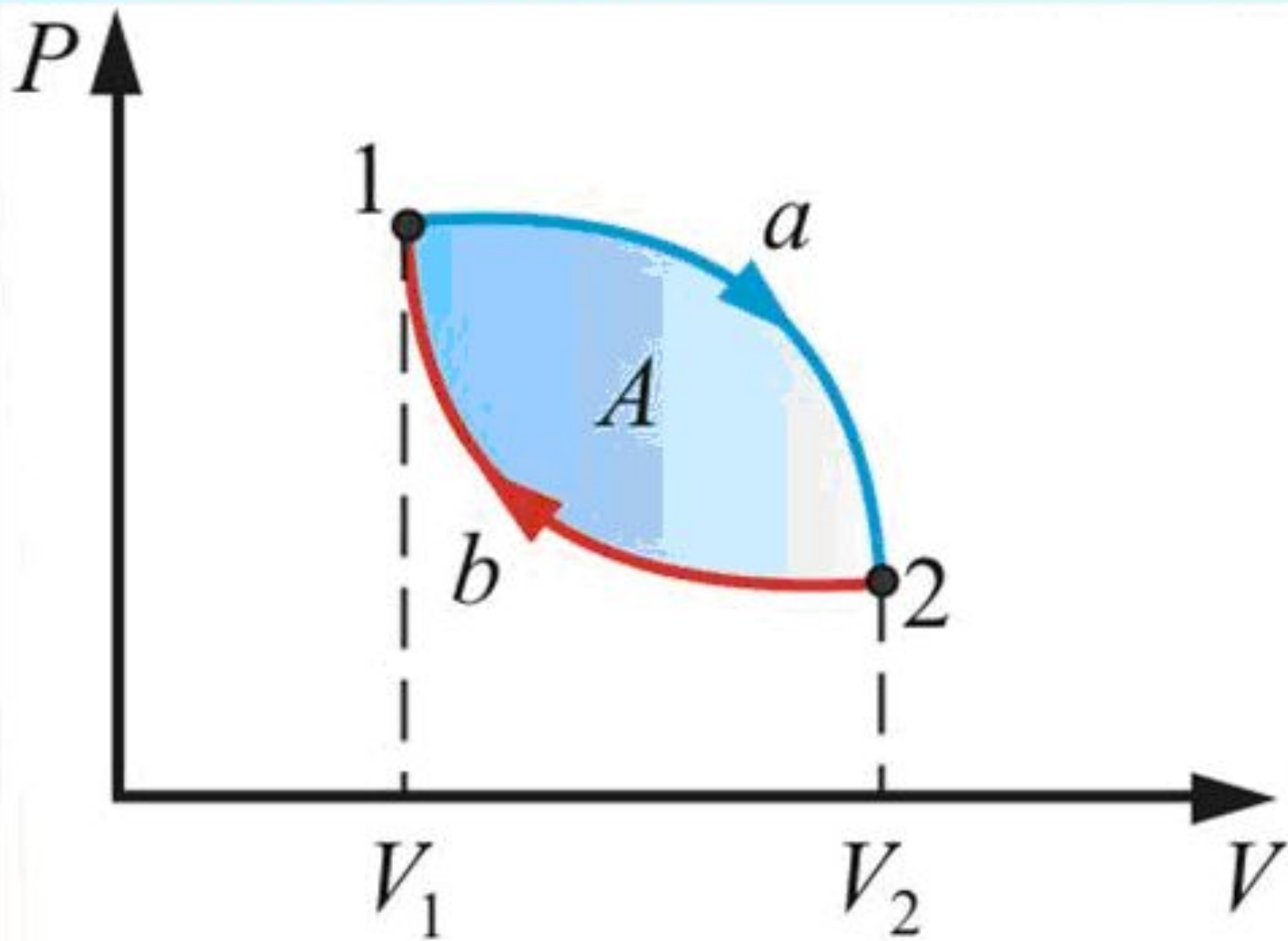


# Конвекция



# Сәуле шығару





# Термодинамиканың бірінші заңы

$$\Delta U = Q - A \qquad Q = \Delta U + A$$

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

$$\int_1^2 dU = U_2 - U_1 \qquad \int_1^2 dA = A_{12} \qquad \int_1^2 dQ = Q_{12}$$

# Жылуыйымдылык

Меншікті  
жылуыйымдылык

$$C = \frac{\delta Q}{dT}$$

$$c = \frac{\delta Q}{m dT}$$

$$[C] = \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

Мольлық жылуыйымдылык

$$C = \frac{\delta Q}{\nu dT} = \frac{\delta Q}{\frac{m}{\mu} dT}$$

$$V = \text{const} \quad C_V$$

$$P = \text{const} \quad C_P$$

$$V = \text{const} \quad A = P\Delta V = 0$$

$$\delta Q_V = dU$$

$$C_V dT = dU \quad C_V = \frac{dU_M}{dT}$$

$$dU_M = C_V dT \quad c_v = \frac{iR}{2}$$

$$U = \frac{m}{M} C_V T$$

$$P = \text{const} \quad \delta A = PdV_M$$

$$\delta Q = dU_M + PdV_M$$

$$\frac{\delta Q}{dT} = \frac{dU_M}{dT} + P \frac{dV_M}{dT}$$



$$PV_M = RT$$

$$R = \frac{PV_M}{T}$$

$$C_P = \frac{dU_M}{dT} + P \frac{dV_M}{dT}$$

$$C_P = C_V + R$$

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

# Жылу сыйымдылық процесс түріне байланысты

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

Тұрақты көлемдегі  
мольдық  
жылу сыйымдылық

$$C_P = C_V + R$$

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

$$C_P = \frac{dU}{dT} + \frac{\delta A}{dT} = \frac{i+2}{2}R$$

Тұрақты қысымдығы мольдық  
жылу сыйымдылық

Мольдық  
жылу сыйымдылық  
арасындағы байланыс  
(Майер теңдеуі)

Пуассона коэффициенті  
(адиабата көрсеткіші)

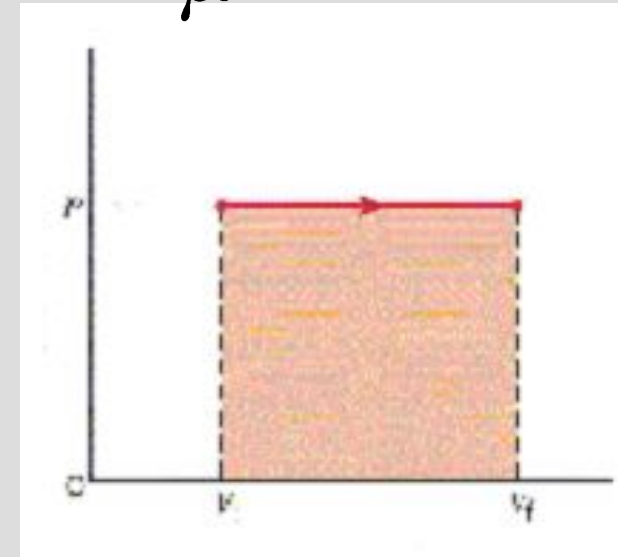
# Изобаралық процесс



$$A = p\Delta V = \frac{m}{\mu} R\Delta T$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R\Delta T = \frac{m}{\mu} C_V \Delta T$$

$$Q = \Delta U + A = \frac{m}{\mu} C_P \Delta T$$



# Изохоралық процесс

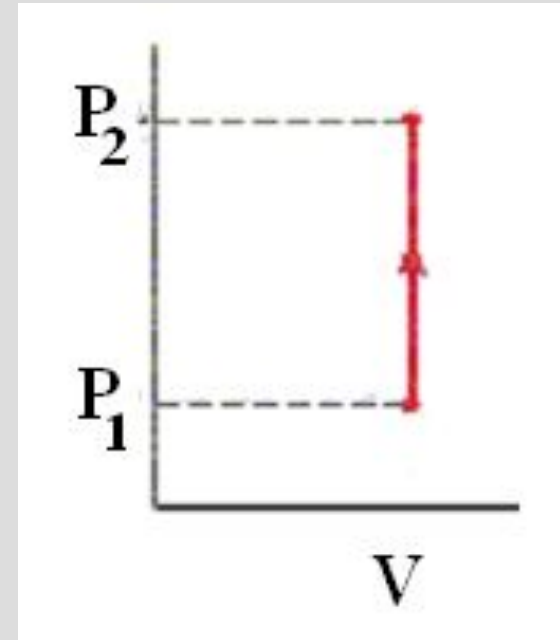


$$A = 0$$

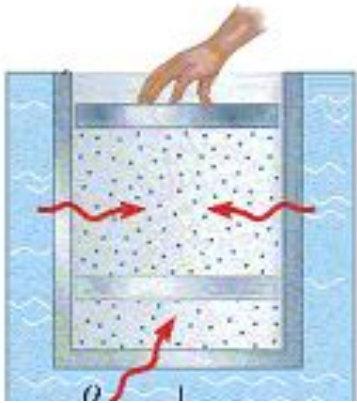
$$\delta Q = dU$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R \Delta T = \frac{m}{\mu} C_V \Delta T$$

$$Q = \Delta U = \frac{m}{\mu} C_V \Delta T$$



# Изотермиялық процесс

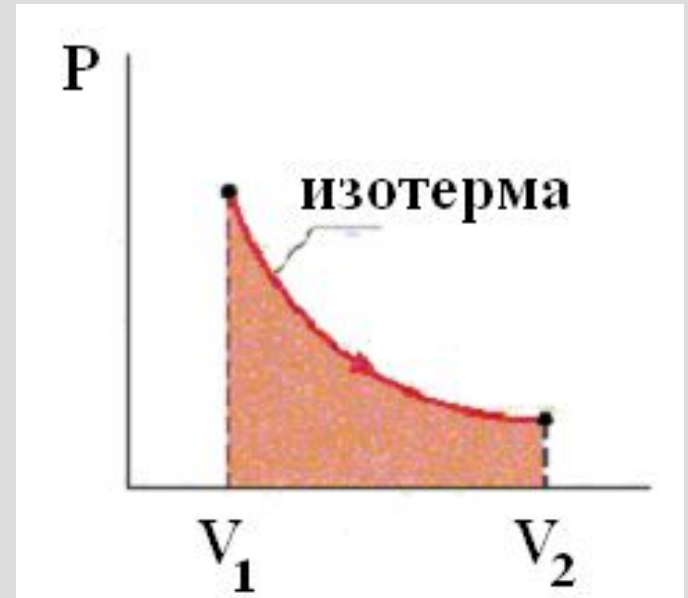


Температурасындағы  
ыстық су

$$A = \int_1^2 p dV = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta U = 0$$

$$Q = A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$



# Адиабаталық процесс

Адиабаталық процесс кезінде қысымның ұлғаюы көлемнің кішіреуі мен температураның жоғарылауына тәуелді.

Процесстің теңдеуі:

$$pV^\gamma = \text{const}$$

$$TV^{\gamma-1} = \text{const}$$

$$T^\gamma p^{1-\gamma} = \text{const}$$

$$\delta Q = 0$$

$$\delta A = -dU$$

$$A = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right]$$

# Энтропия

$\delta Q / T$  келтірілген жылу мөлшері

$\oint \frac{\delta Q}{T} = 0$  қайтымды процесс үшін

**Клаузиус өлшем енгізді, оны энтропия деп атады:**

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

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} = \int_1^2 \frac{dU + \delta A}{T}$$

$$dU = \frac{m}{M} C_v dT \qquad \delta A = PdV = \frac{m}{\mu} RT \frac{dV}{V}$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \frac{m}{M} C_v \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} + \frac{m}{M} R \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V}$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \frac{m}{M} \left( C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1} \right)$$



# Энтропия

Больцман энтропияны термодинамикалық ықтималдығымен байланыстырды :

$$S = k \ln w$$

Энтропия жүйенің біркелкілік емес шамасы;  
үлкен энтропия үлкен хаосқа соқтырады

# Термодинамиканың екінші бастамасы

Суық денеден ыстық денеге жылу берілу мүмкін емес

Бір рет қана берілген жылудың көмегімен сыртқы ортаның қасиетін өзгертпей мәңгі қозғалтқыш алу мүмкін емес

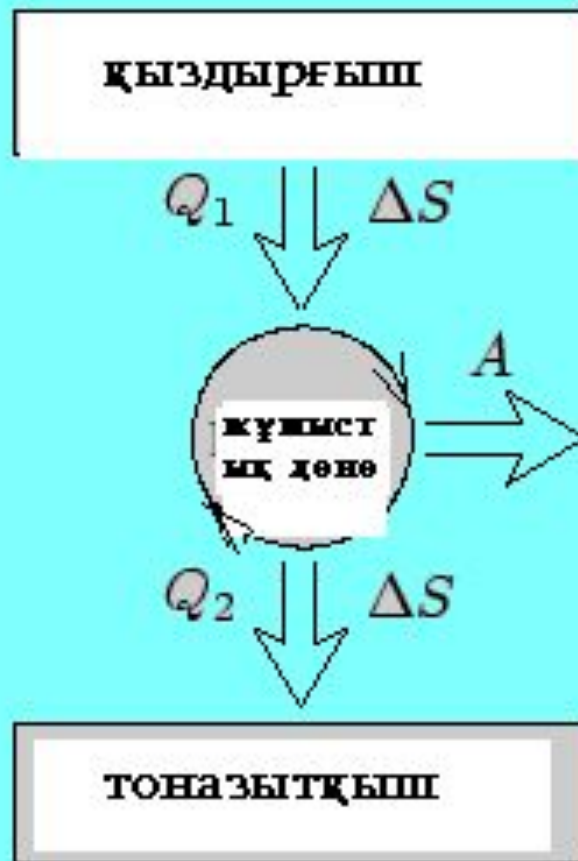
Оқшауланған жүйедегі энтропия ондағы барлық процесстерде кеміді

$$\Delta S \geq 0$$

$\Delta S = 0$  Қайтымды процесстер үшін

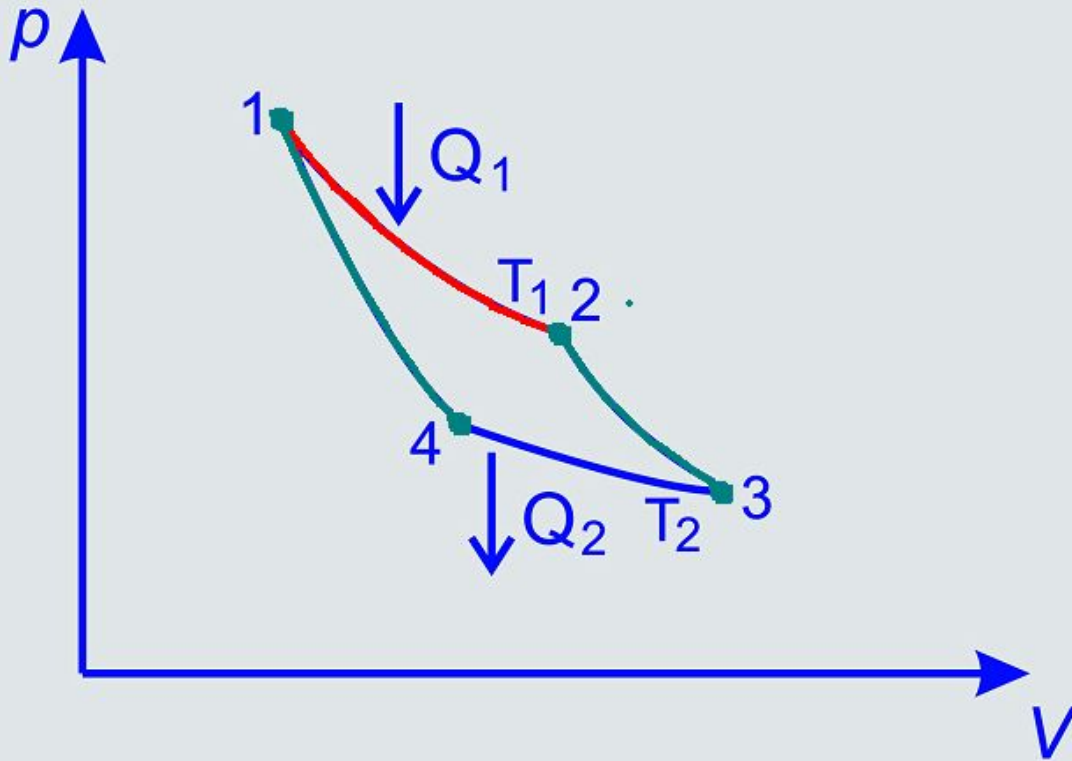
$$\Delta S > 0$$

Қайтымсыз процесстер үшін



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

# Карно циклы



*1-2 изотерма*

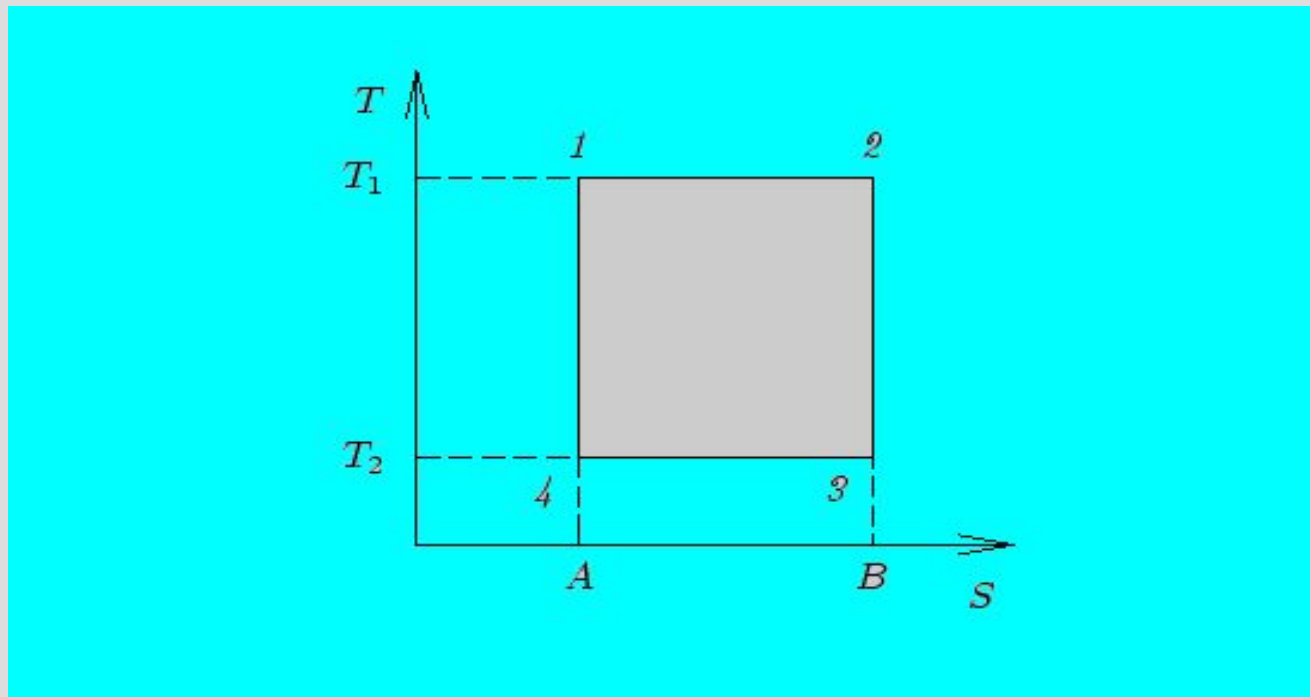
*2-3 адиабата*

*3-4 изотерма*

*4-1 адиабата*

$$\eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

# Карно циклы



$$\partial Q = TdS$$

$$\delta A = PdV$$

$$Q_{12} = \int_1^2 T dS \quad T = \text{const}$$

$$Q_{12} = T(S_2 - S_1)$$

$$\partial Q = dU + \partial A$$

$$TdS = dU + PdV$$

$$dS = \frac{dU + PdV}{T}$$

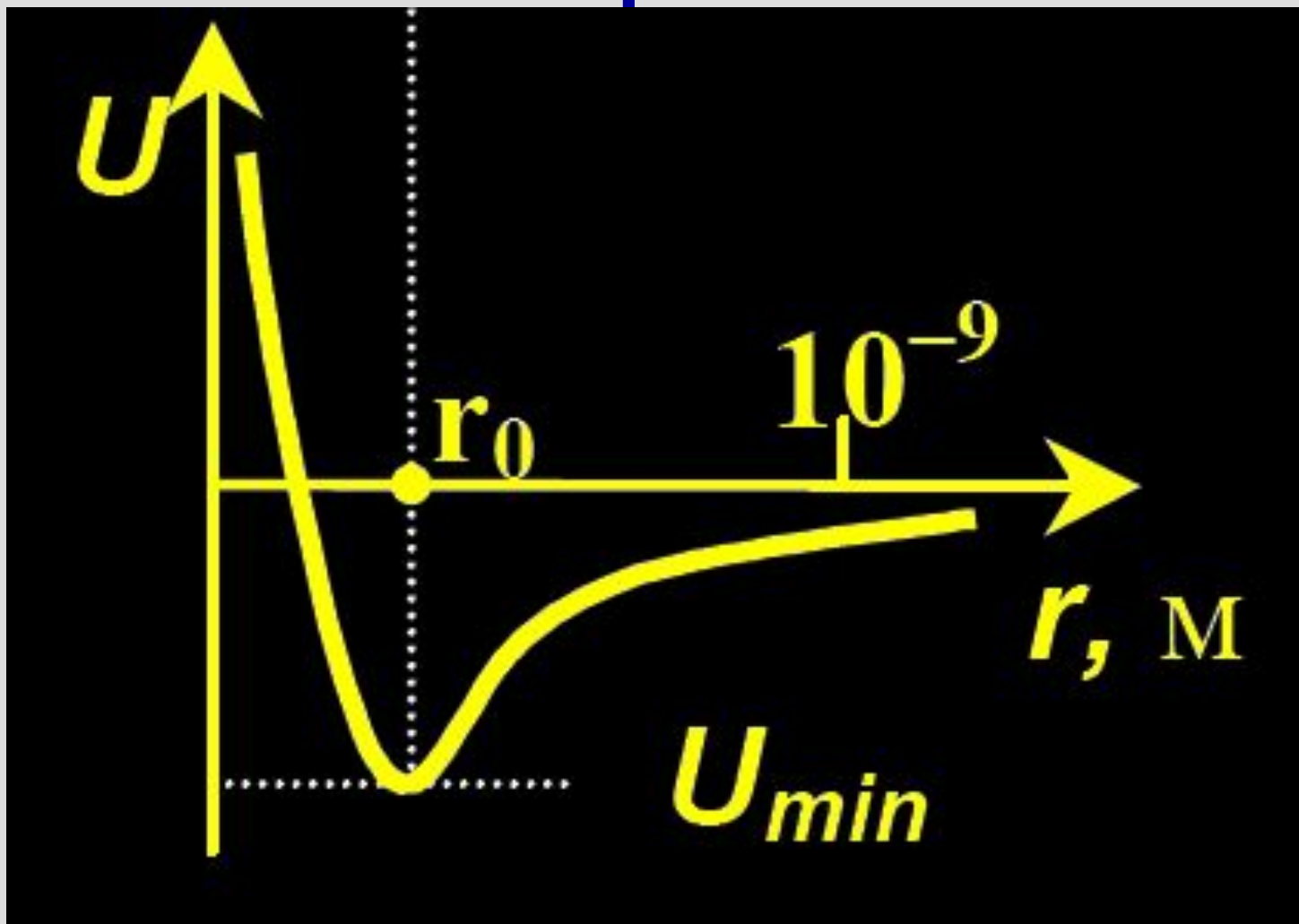
**ТАСЫМАЛДАУ ҚҰБЫЛЫСЫ.  
НАҚТЫ ГАЗДАР**

# Дәріс жоспары

- Эффе́ктивтік диаметр
- Тасымалдау құбылысы
- Молекулалардың өзара әсерлесуі
- Ван-дер-Ваальс теңдеуі
- Ван-дер-Ваальс изотермасы
- Фазалық ауысу
- Күй диаграммасы

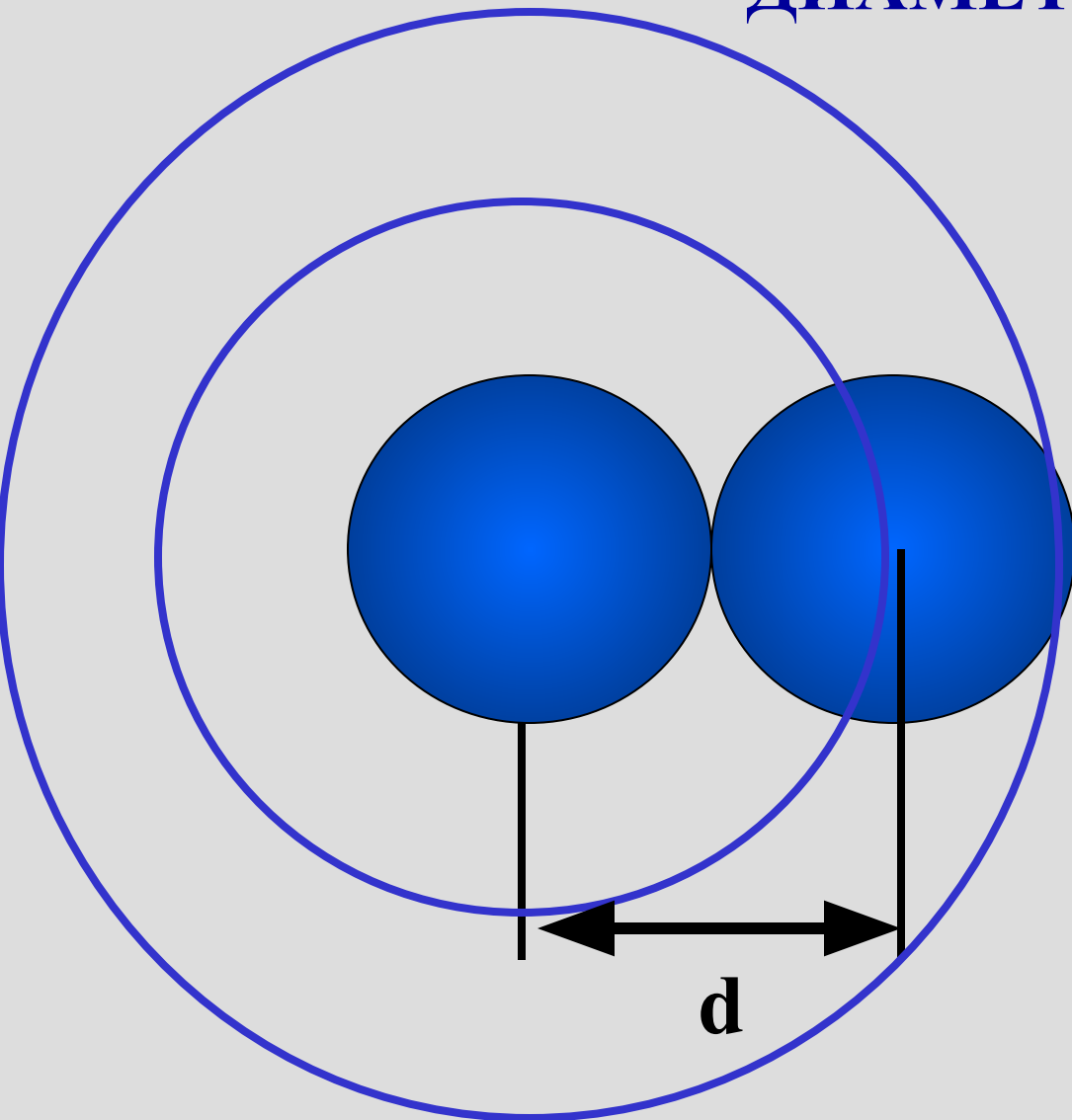


# Молекулалардың өзара әсерлесу энергиясы



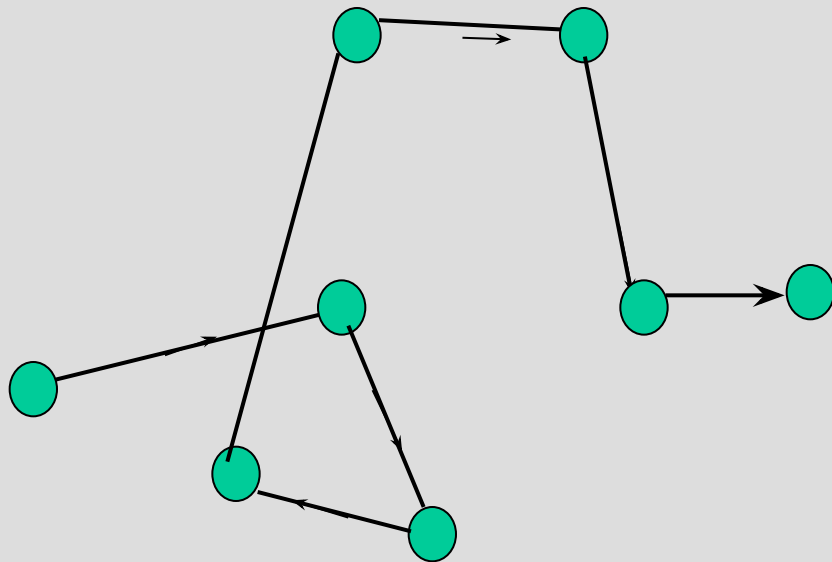
# МОЛЕКУЛАНЫҢ ЭФФЕКТИВТІК ДИАМЕТРІ

*Молекуланың  
эффективтік диаметрі –  
молекулалардың жақындай  
алатын минимал  
қашықтығы*



*d* - Эффективтік  
диаметр

$\sigma = \pi d^2$  - молекуланың эффективті қимасы



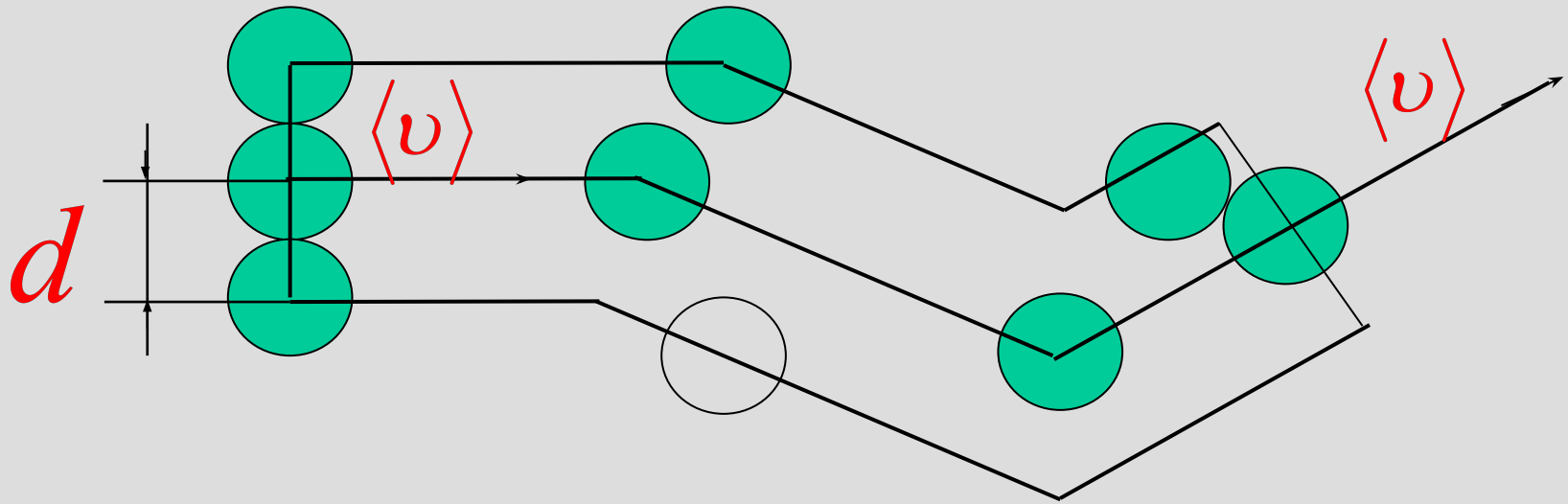
$\lambda$

$Z$

$$\langle z \rangle = \frac{\langle v \rangle}{\langle \lambda \rangle}$$

$$\lambda = \frac{\langle v \rangle}{Z}$$

- орташа еркін жүру жолының ұзындығы



$$\langle z \rangle = nV;$$

$$V = \pi d^2 \langle v \rangle$$

$$\langle z \rangle = n\pi d^2 \langle v \rangle$$

$$\langle z \rangle = \sqrt{2}\pi d^2 n \langle v \rangle$$

$$\lambda = \frac{\langle v \rangle}{Z}$$

$$\lambda = \frac{\langle v \rangle}{Z} = \frac{\langle v \rangle}{\sqrt{2\pi d^2 \langle v \rangle n}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi d^2 n}}$$

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

$$\langle \lambda \rangle = \frac{1}{\sqrt{2\sigma n}}$$

# Орташа еркін жол ұзындығы

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

$$T = \text{const} \quad \frac{\langle \lambda_1 \rangle}{\langle \lambda_2 \rangle} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{p_2}{p_1}$$

$$\lambda \sim \frac{1}{n}$$

$$\lambda \sim \frac{1}{P}$$

# Тасымалдау кұбылысы

## Диффузия



$$dN_i = -D \frac{dn_i}{dz} \Delta S,$$

$$dM_i = -D \frac{d\rho_i}{dz} \Delta S,$$

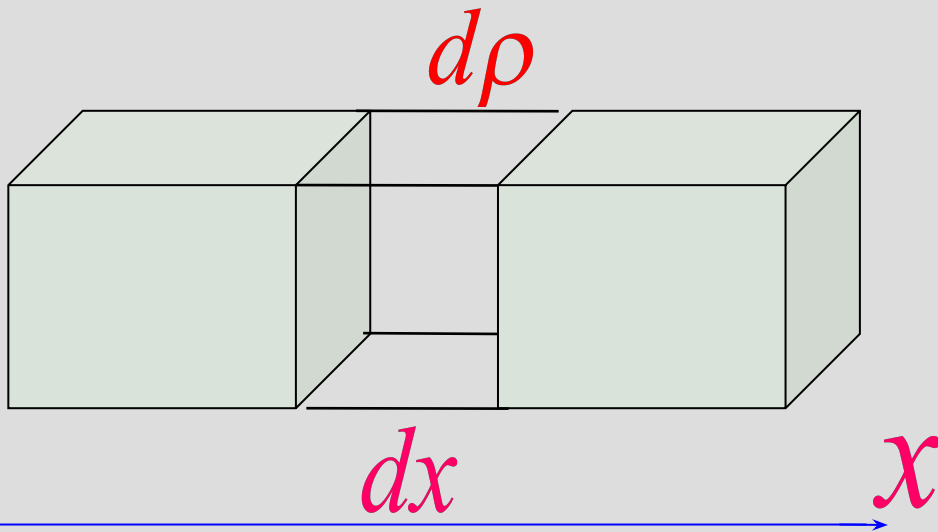
Фик заңы

$$\rho = nm$$

$$[M - kg / c]$$

$$D = \frac{1}{3} \langle v \rangle \lambda$$

-диффузия коефициенті



$$D - 1m^2 / c$$

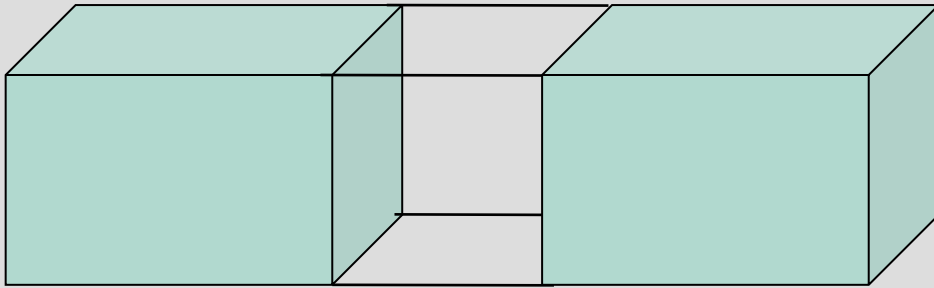
$$\rho_1 > \rho_2$$



# Жылу өткізгіштік

$$T_1 > T_2$$

$dT$



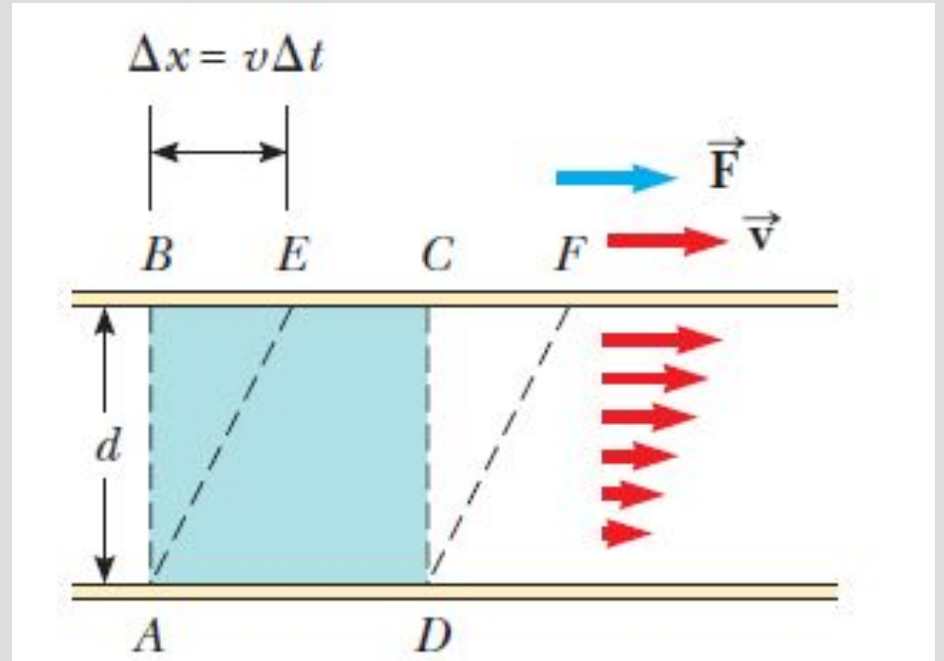
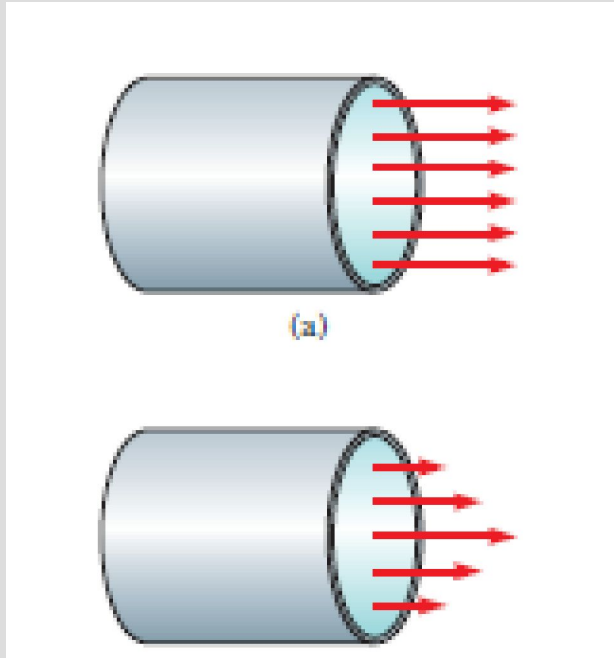
$$q = -\chi \frac{dT}{dx} dS$$

$$\chi = \frac{1}{3} \langle v \rangle \lambda \rho c_v$$

$q$  - Дж/с

$\chi$  - Вт/м К

# Тұтқырлық



$$F = -\eta \frac{dv}{dx} \Delta S$$

$$K = -\eta \frac{dv}{dx} S$$

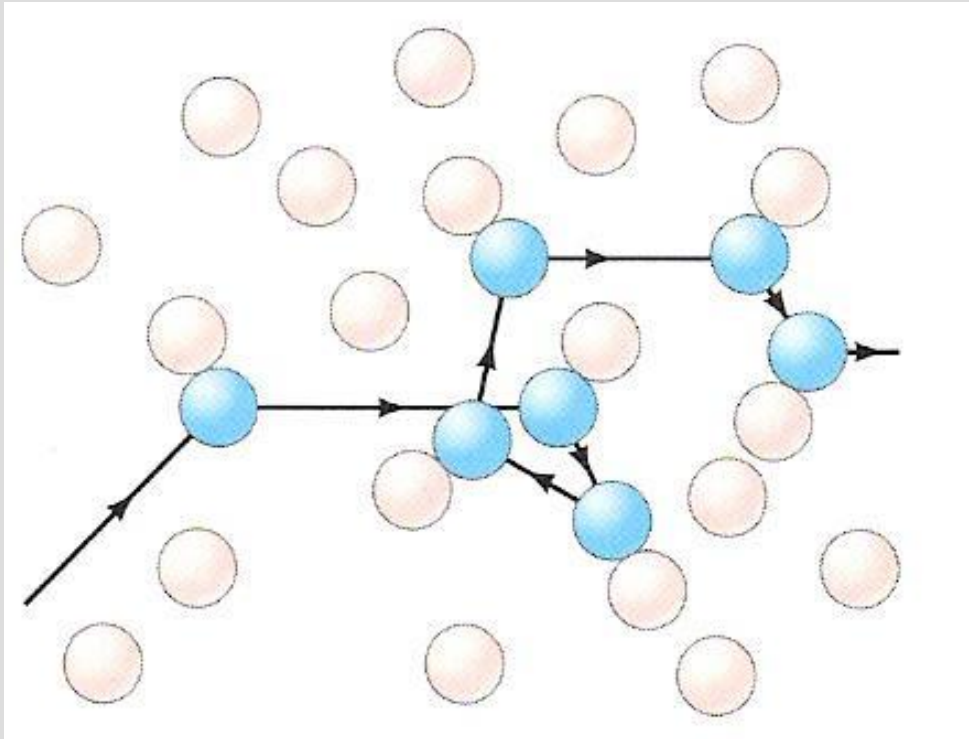
$$\eta = \frac{1}{3} \rho \nu \lambda$$

$$\eta = \rho D$$

$$\chi = c_v \eta = D \rho c_v$$

# Нақты газдар

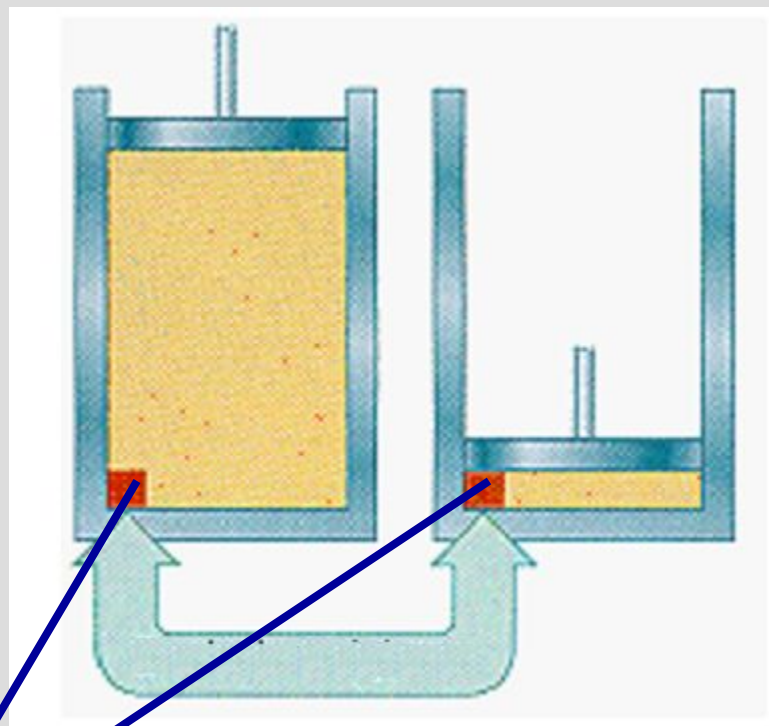
Дәлдіктің жеткілікті дәрежесіндегі сиретілген нақты газдар идеал газдар заңына бағынады. Бұл дегеніміз - молекулалардың арасындағы өзара әсерлесу күштері олардық ара қашықтығына байланысты



Тәжірибелер көрсеткендей, 1нм аса қашықтықтағы молекулааралық әсерлесуді ескермеуге болады

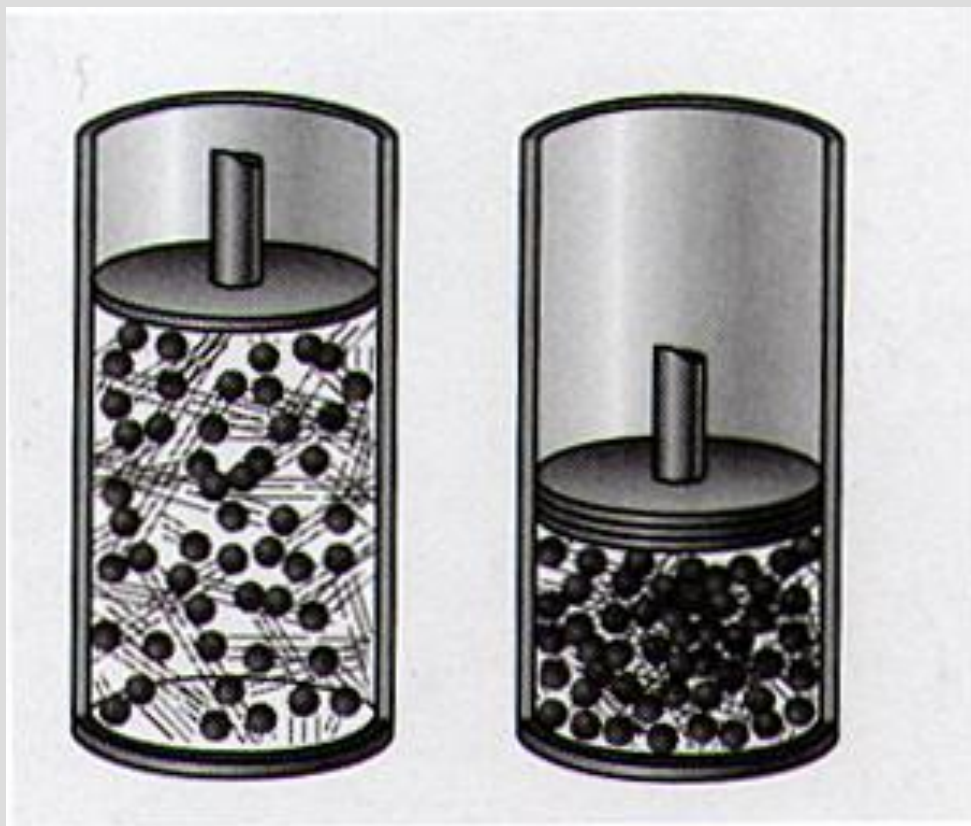
# Нақты газдар

Идеал газ – моделіндегі молекулалар арасында әсерлесу күштері болмайтын материалдық нүктелер. Дегенмен 100 атм қысымда молекулалардың өзіндік көлемі барлық қысымның 50% құрайды, және олардың арасындағы әсерлесу күші бірден өседі



Молекулалардың өзіндік көлемі

**Қысым ұлғайғанда сығылған газ көлемі  
молекулалардың өздері алатын көлемге  
теңеседі**



Идеал газ күйінің теңдеуі төмен қысымда және жоғары температурадағы газдар әрекетін сипаттауға пайдалы.

Идеал газдың берілген күйден ауытқуы сығылу коэффициентімен  $Z$  сипатталады

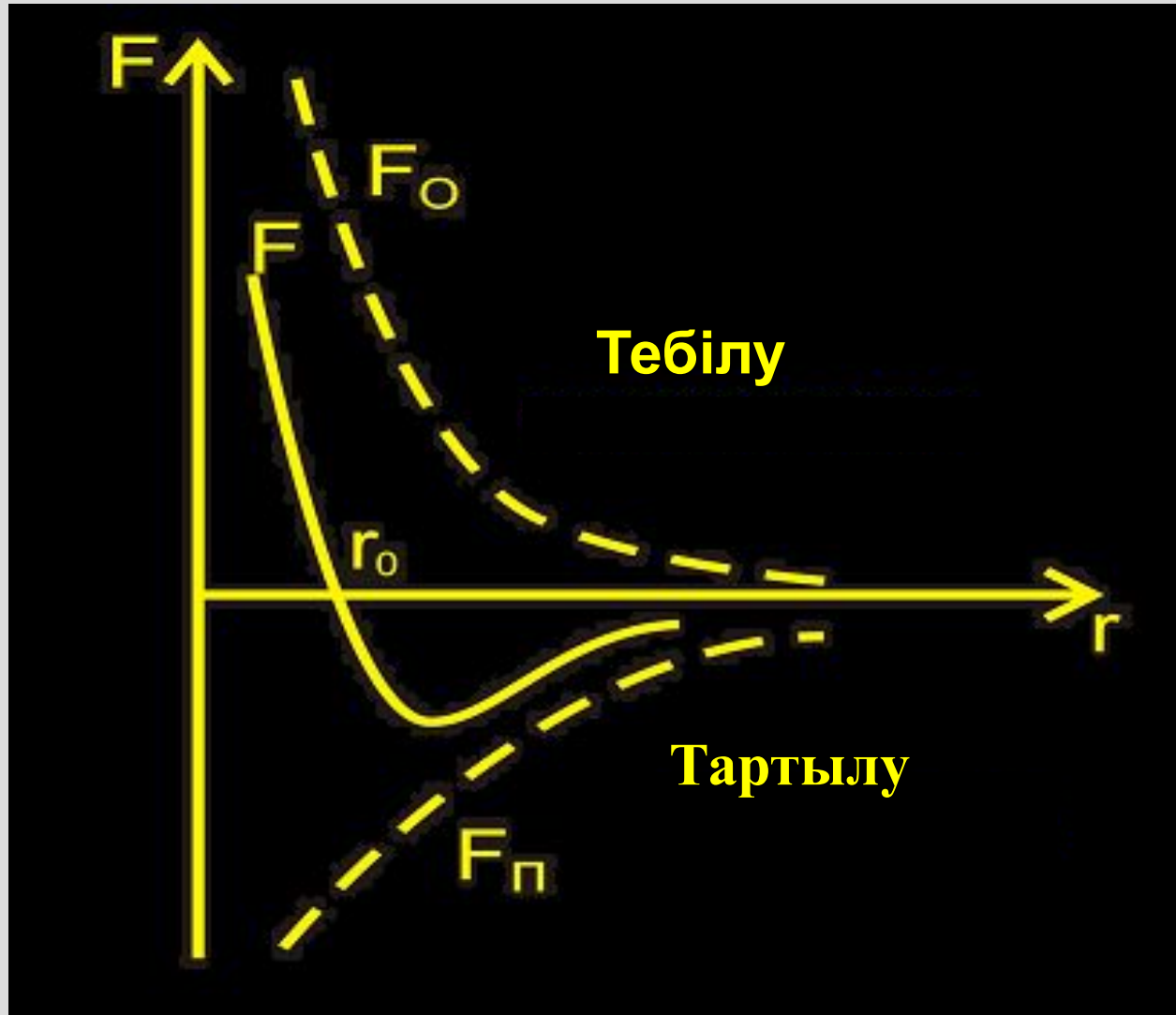
$$\frac{pV}{\nu RT} = Z$$

Егер  $Z = 1$  болса, идеал газ қасиетіне жақын болады

Сығылу коэффициенті  $Z$  1-ден өзгеше болса, солғұрлым идеал газдан ауытқуы күштірек болады

# Нақты газдар

Молекулалар арасында тартылыс және тебіліс күштері болады





**Молекулалардың потенциалдық және кинетикалық энергиялары арасындағы арақатынас агрегаттық күйлерге бөлу үшін сындық болып табылады**

**Нақты газ күйінің теңдеуі –Ван-дер-Ваальс теңдеуі**

**Нақты газдарда келесі ескерілу керек:**

**□Бөлшектерде өз көлемі болады**

**□Молекулалар арасында тартылыс және тебіліс күштері бар**

$$pV = \nu RT$$

**Идеал газ күйінің теңдеуі**

**молекулалардың өз көлемі мен олардың әсерлесуі ескерілетіндей түрлендірілуі қажет**

# ВАН-ДЕР-ВААЛЬС ТЕНДЕУІ

Газдың 1 молі үшін

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

Молекулалардың  
өзара әсерлесуін  
ескеру

Молекуланың өз  
көлеміне түзетілім

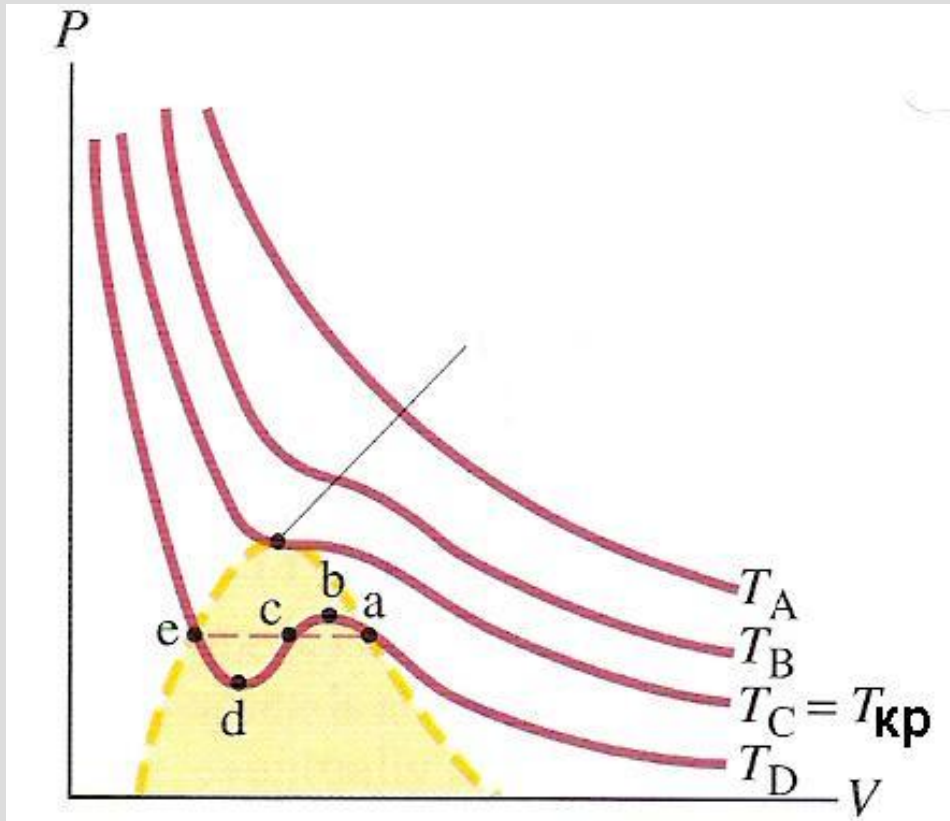
$$\left( p + \frac{\nu^2 a}{V^2} \right) (V - \nu b) = \nu RT$$

Газдың туынды массасы үшін

**B-тұрақтысы** молекула өлшеміне  
байланысты: үлкен молекула үшін оның  
мәні де үлкен

**a**-молекулалар арасындағы тартылыс  
күшінің шамасы

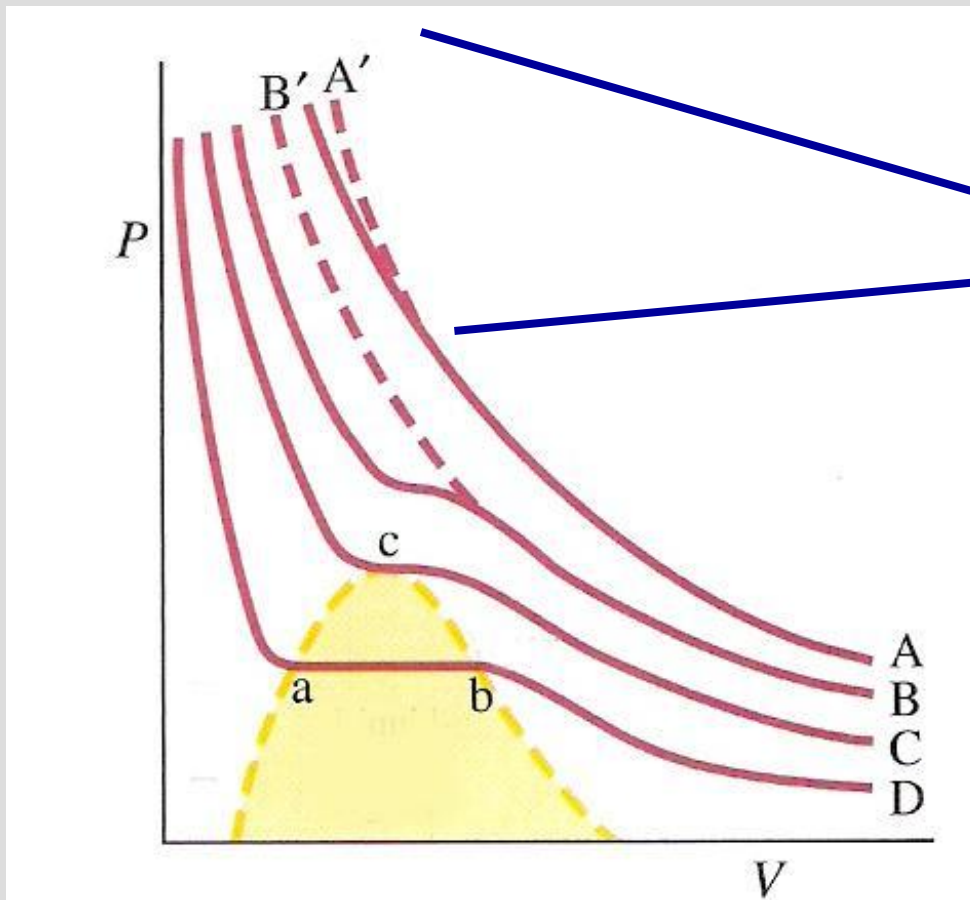
# ВАН-ДЕР-ВААЛЬС ИЗОТЕРМАЛАРЫ



Ван-дер-Ваальса теңдеуі – 3-дәрежеде  $V$  қатысты, сондықтан 3 заттық түбірі болуы мүмкін

$db$  жеріндегі ұлғаю қысым ұлғаюымен жүреді, оның физикалық мағынасы жоқ, сол себепті бірден  $ea$  секірісі болады

# ВАН-ДЕР-ВААЛЬС ИЗОТЕРМАЛАРЫ



Жоғары  
температураларда  
идеал газ  
изотермаларынан  
ауытқу кішірек  
көрсетілген

# Нақты газдың ішкі энергиясы

Нақты газдың ішкі энергиясы молекулалардың кинетикалық, сондай – ақ потенциалдық энергияларынан құралады

Газдың 1молі үшін:

$$U = C_V T - \frac{a}{V}$$

Молекулалардың кинетикалық энергиясының қосындысы

Молекулалардың потенциалдық энергиясының қосындысы

## Ван-дер-Ваальс теңдеуіне бағынатын газ үшін күйлердің сындық шамаларының мәндері

$$\left\{ \begin{array}{l} p_k = \frac{1}{27} \cdot \frac{a}{b^2} \\ V_k = 3b \\ T_k = \frac{8}{27} \cdot \frac{a}{bR} \end{array} \right.$$



# Фазалық ауысулар

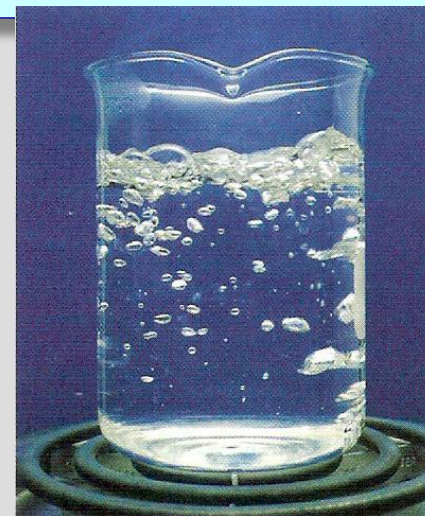
**Фаза** – химиялық құрамы бірдей және 1 термодинамикалық күйдегі жүйенің барлық бөліктерінің байланысы

1 реттік фазалық ауысу мысалдары:

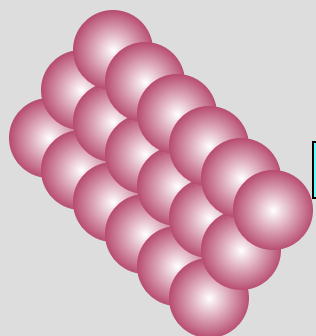
- балқу – қату
- булану – конденсация
- Сублимация

2 реттік фазалық ауысу мысалдары:

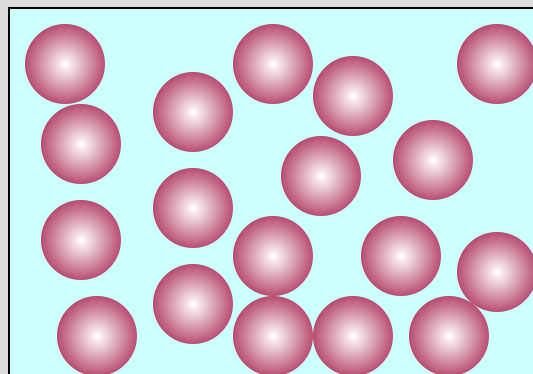
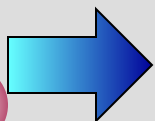
- ферромагнетиктің парамагнетикке ауысуы және керісінше. Металдың жоғары өтімді күйге ауысуы
- Сұйық гелийдің аққыштығы жоғары күйге айналуы



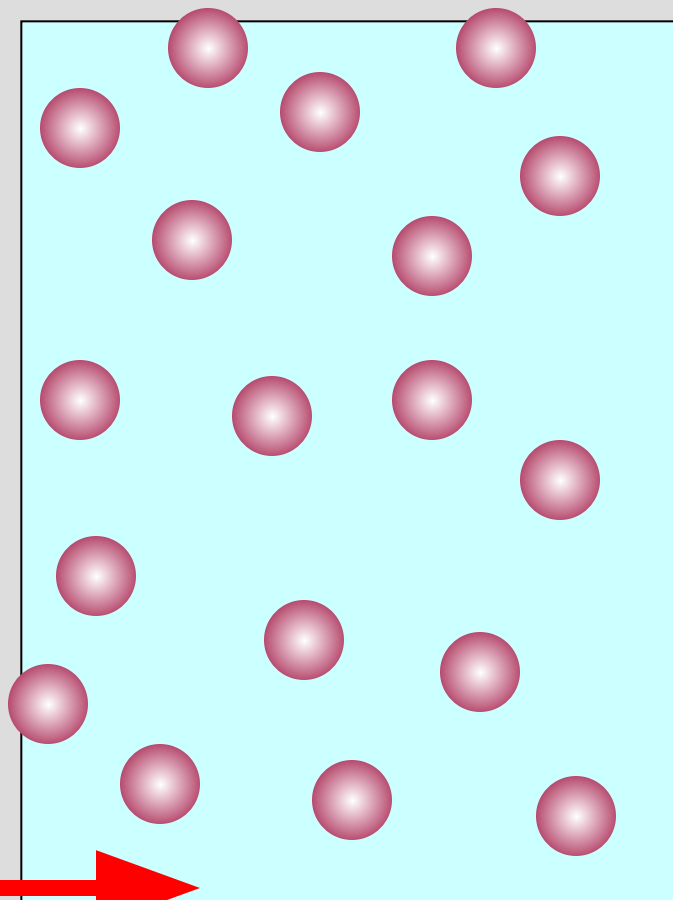
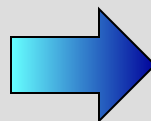
# Біртекті қоспа үшін фаза ұғымы агрегаттық күймен сәйкес келеді



*Қатты  
күй*



*сұйықтық*



*газ*

**температура**

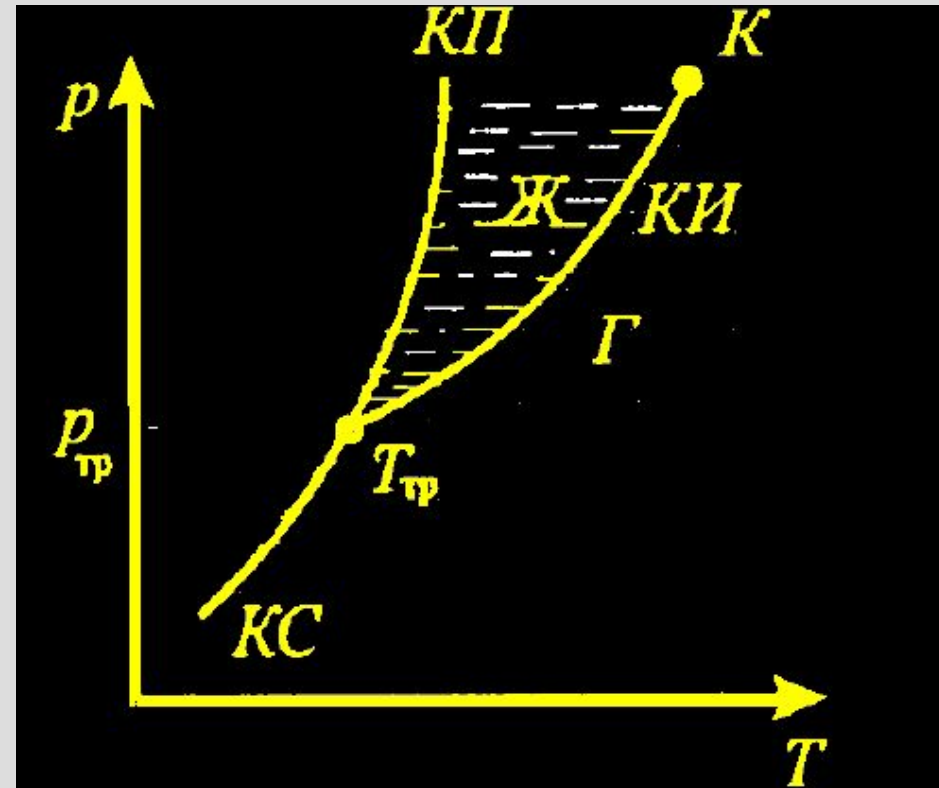
**Молекулярлық қозғалыс**

**Молекулалардың өзара  
әсерлесуі**

# Күй диаграммасы

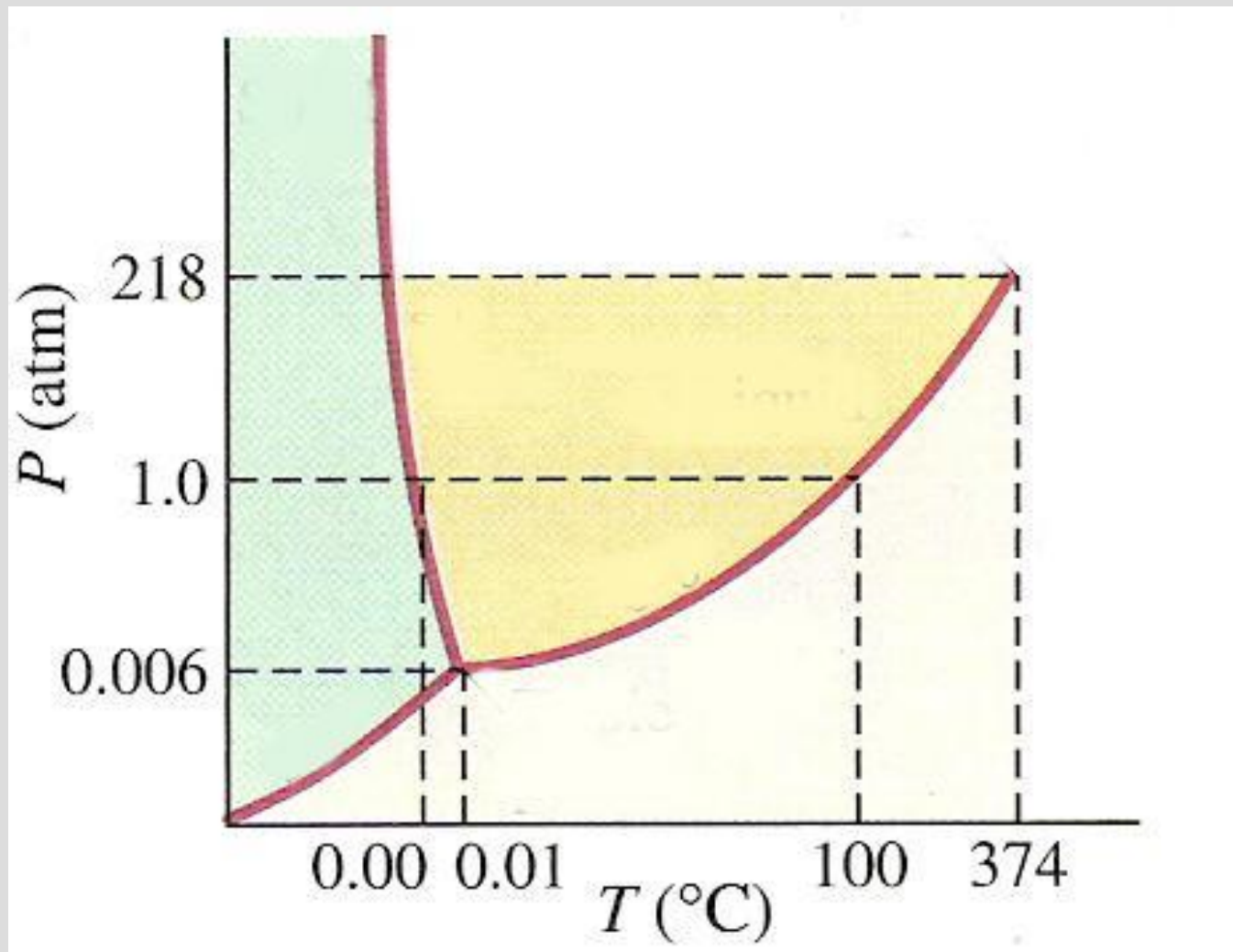
Егер жүйе біртекті болса, онда фаза ұғымы агрегаттық күймен сәйкес келеді

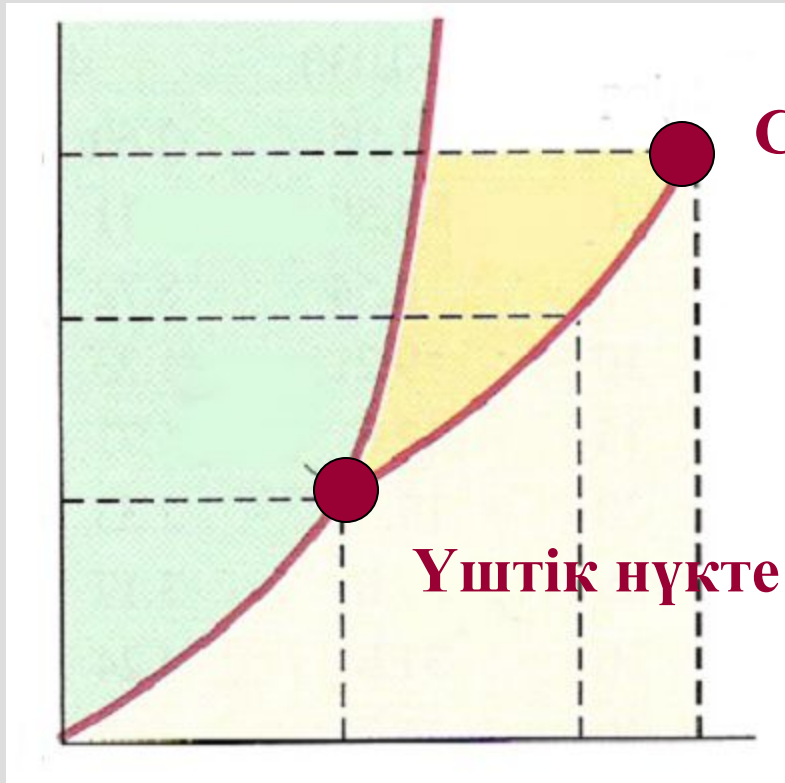
Күй диаграммасы – фазалық ауысудың температурасы мен қысымы арасындағы тәуелділік диаграмманы 3-ке бөлетін қатты, сұйық, газ шарттарына сай булану, балқу, сублимация қисықтары түріндегі графикте бейнеленген



# Күй диаграммасы

*Су үшін*





**Сындық нүкте**

**Үштік нүкте**

**Сындық нүкте: сындықтан жоғары температурада ешқандай қысым ұлғаюымен газды сұйыққа айналдыруға болмайды**

**Үштік нүкте: заттың 3 фазасының бірдей болуының шарты**

**Назар  
аударғандарыңызға  
рахмет!**