

# Қарағанды техникалық университеті

*Дәріс барлық мамандыққа  
арналған*

## Дәріс тақырыбы: Молекулалық физика негіздері



**Физика кафедрасының аға оқытушысы,  
физика магистрі: Копбалина Қ.Б.**

# Дәріс жоспары

1. Молекулалық физика тәсілдері
2. Молекула-кинетикалық теориясының негізгі қағидалары
3. Зат мөлшері. Заттың мольдік массасы
4. Менделеев – Клапейрон теңдеуі
5. Газ заңдары. Дальтон заңы
6. Идеал газдың молекула-кинетикалық теориясының негізгі теңдеуі
7. Молекуланың ілгерлемелі қозғалысының орташа кинетикалық энергиясы
8. Барометрлік формула
9. Диффузия теңдеуі (Фик заңы)
10. Жылу өткізгіштіктің теңдеуі (Фурье заңы)
11. Жылусыйымдылықтар, Больцман таралуы
12. Идеал газ молекуласының еркіндік дәрежесі
13. Газдың жұмысы

- **Молекулалық физика және термодинамика** – денелерді құрайтын саны өте көп атомдар және молекулалармен байланысты макроскопиялық процестерді зерттейтін физиканың бөлімдері.
- **Молекулалық физика** – барлық денелер үздіксіз бейберекет қозғалыста болатын молекулалардан тұрады деген молекула-кинетикалық көзқарастарға негізделген, заттың құрылымын және қасиеттерін зерттейтін физиканың бөлімі.
- **Термодинамика** – термодинамикалық тепе-теңдік күйлерін және осы күйлердің арасындағы ауысу процестерін, макроскопиялық жүйелердің жалпы қасиеттерін зерттейтін физиканың бөлімі.

**Статистикалық әдіс (молекулалық физиканың негізі) – бөлшектердің барлық жиынтықтылығын сипаттайтын, статистикалық заңдылықтарға және физикалық шамалардың орташа мәндеріне (мысалы, молекулалардың жылулық қозғалысының орташа жылдамдық мәндеріне және олардың энергияларына) негізделген саны өте көп бөлшектер жүйесін зерттеу әдісі.**

**Термодинамикалық әдіс (термодинамика негізі)** – жүйенің микроқұрылымын және онда орын алатын микроүрдістерді қарастырмай, жүйені толығымен сипаттайтын энергияның айналу заңы негізіндегі шамаларға (мысалы, қысым, көлем, температура) негізделген көптеген бөлшектердің санымен байланысты жүйені зерттеу әдісі. Осынысымен термодинамикалық әдіс статистикалық әдістен өзгешеленеді.

**Термодинамикалық жүйе** – бір-бірімен және басқа да денелермен (сыртқы ортамен) өзара әсерлесетін және энергияларымен алмасатын макроскопиялық денелердің жиынтығы. Сыртқы ортамен не энергиясымен, не зат мөлшерімен алмаспайтын термодинамикалық жүйелерді *тұйық жүйелер* деп атайды.

**Температура** - макроскопиялық жүйенің термодинамикалық тепе-теңдік күйін сипаттайтын және денелердің арасындағы жылу алмасу бағытын анықтайтын физикалық шама.

**Халықаралық практикалық шкала** – Цельсий градусы (°C) бойынша градуирленеді.

$1,013 \cdot 10^5$  Па қысымдағы судың қату және қайнау температуралары сәйкесінше 0 және 100 °C (реперлік нүктелер) тең.

**Термодинамикалық температуралық шкала** – кельвин (K) бойынша градуирленеді.

# Идеал газ (идеалдандырылған үлгі)

Бұл үлгіге сәйкес:

- газ молекуласының меншікті көлемі ыдыс көлемімен салыстырғанда ескерусіз аз;
- газ молекулаларының арасында өзара әсерлесу күштері жоқ;
- газ молекулаларының бір-бірімен және ыдыс қабырғасымен соқтығысулары абсолют серпімді.

• **Авогадро заңы:** бірдей температурада және қысымда кез келген газдың бір молі бірдей көлемді алады. Қалыпты жағдайда бұл көлем

$$V_m = 22,41 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}.$$

• **Зат мөлшері** ( $\nu$  – заттың құрамына енетін молекулалар, атомдар немесе иондар тәрізді құрылымдық элементтердің санымен анықталатын физикалық шама.

*Өлшем бірлігі – моль.*



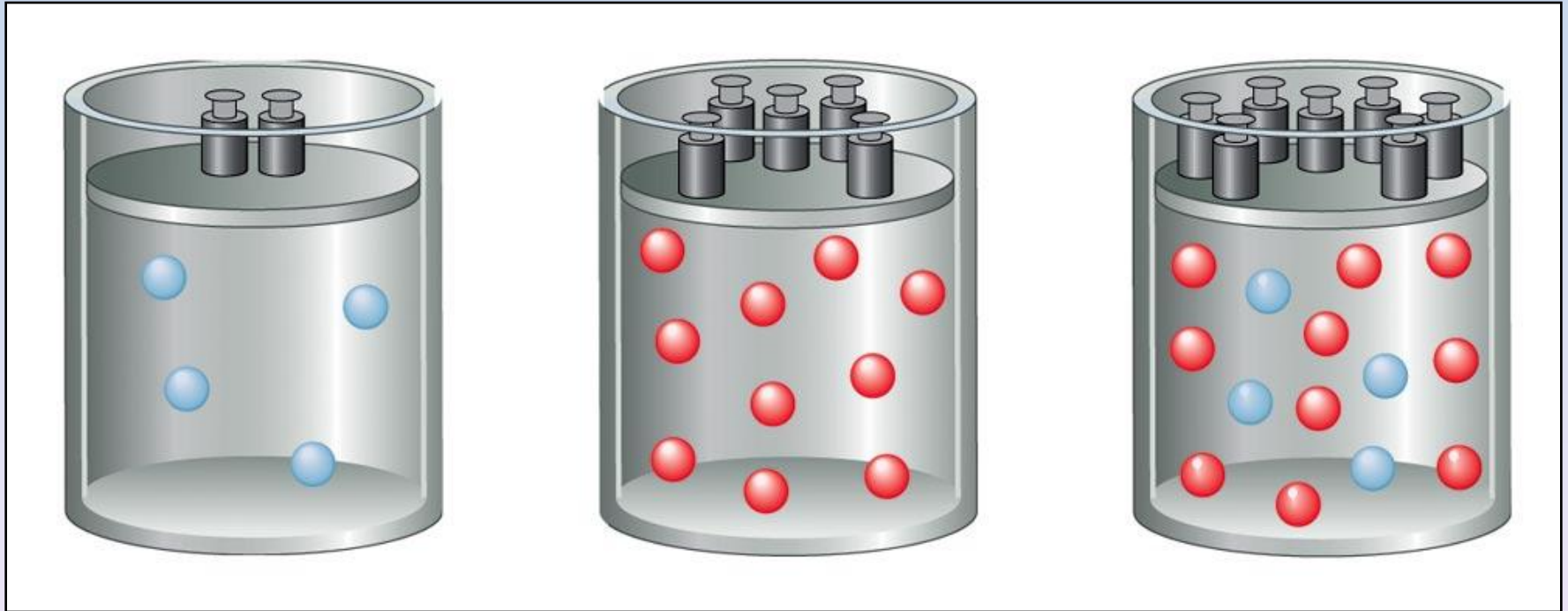
**Авогадро тұрақтысы:** әртүрлі заттардың бір молінде молекулалардың саны бірдей болады, оны *Авогадро тұрақтысы* деп атайды:

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

**Дальтон заңы:** идеал газдардың қоспасының қысымы оның құрамына кіретін газдардың парциалдық қысымдарының қосындысына тең:

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n.$$

**Парциал қысым:** бұл газ қоспасының құрамына кіретін газдың бір өзі сол температурада қоспаның көлеміне тең көлемді алатын қысым



$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n$$

Зат мөлшері (моль саны)  $\nu = \frac{N}{N_A}$

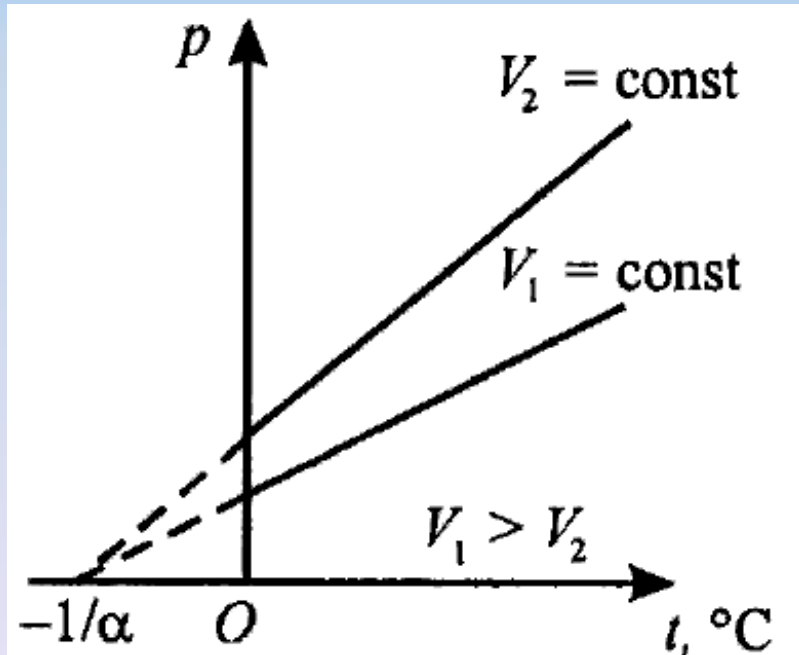
мұндағы  $N$ -молекулалар (атом,ион т,б),

$N_A$  – саны Авогадро тұрақтысы

Заттың мольдік массасы  $M = \frac{m}{\nu}$ ,

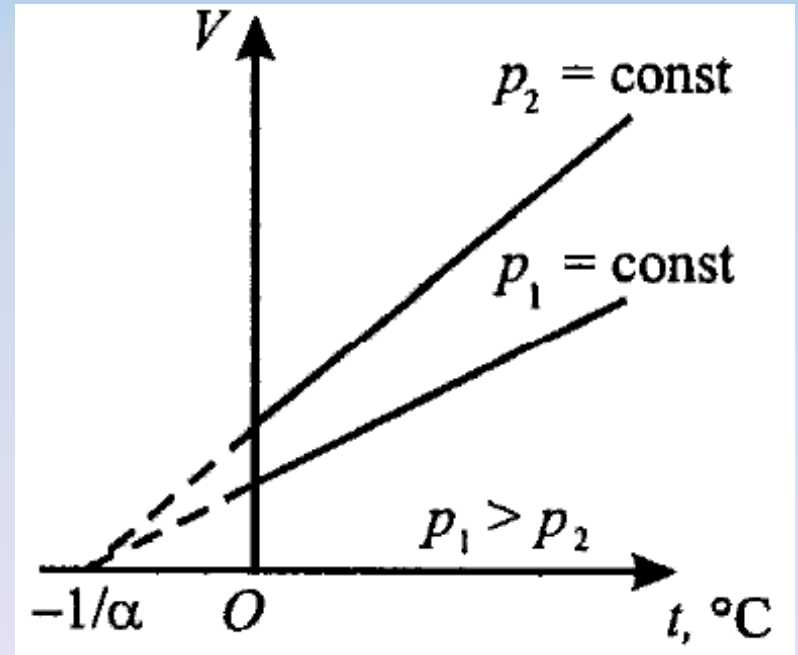
мұндағы  $m$ - біртектес заттың массасы.

# Газ заңдары



Шарль заңы

$$\frac{p}{T} = \text{const}; \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2};$$



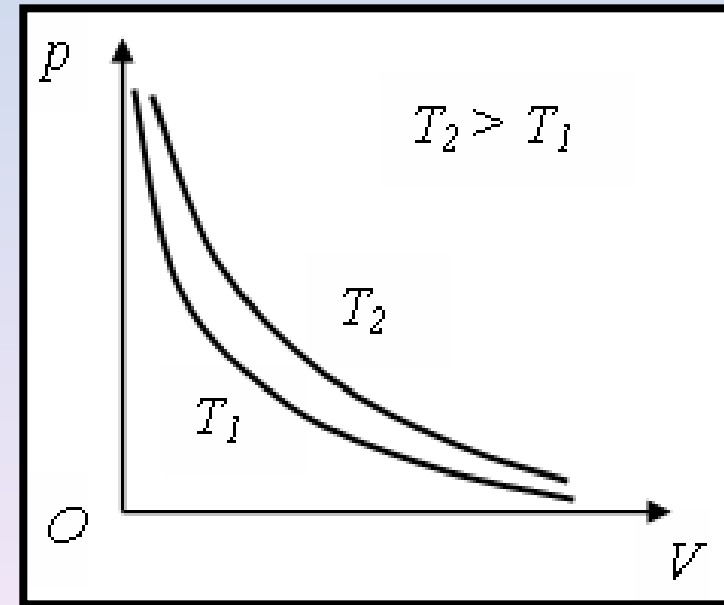
Гей-Люссак заңы

$$\frac{V}{T} = \text{const}; \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2};$$

**Бойль-Мариотт заңы:** берілген газ массасы үшін тұрақты температура кезінде газ қысымының оның көлеміне көбейтіндісі тұрақты шама:

$$T = \text{const}, \quad m = \text{const} \text{ болғанда } PV = \text{const}.$$

Тұрақты температура кезінде және шамаларының арасындағы тәуелділікті бейнелейтін қисықты **изотерма** деп атайды. Неғұрлым процестің өту температурасы жоғары болған сайын, соғұрлым изотермалар – графикте көрсетілген гиперболалар да жоғары болады.



**Клапейрон теңдеуі.** Клапейрон Бойль-Мариотт және Гей-Люссак заңдарын біріктіре отырып, идеал газ күйінің теңдеуін қорытып шығарды.

Изотермиялық және изохоралық процестер үшін жазылған заңдарға сәйкес,  $P_1 V_1 = P_1' V_2$ ,  $\frac{P_1'}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$

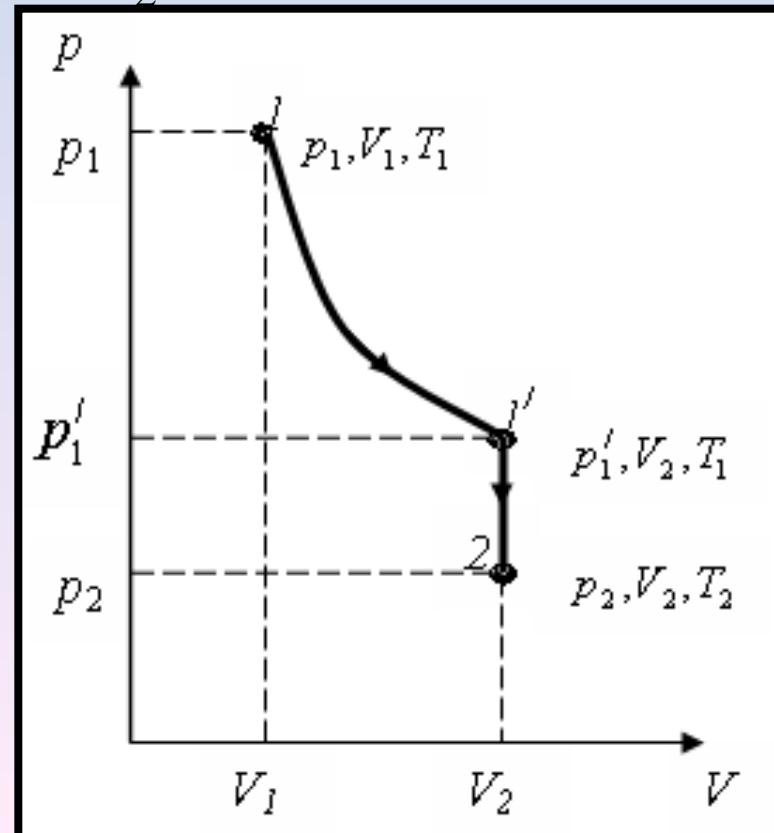
Екі теңдіктен  $P_1'$  алсақ,

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

аламыз. 1 және 2 күйлері өз еркімізбен алынғандықтан,

$$\frac{PV}{T} = B = \text{const.}$$

мұндағы  $B$  - әртүрлі газдар үшін әр мәнді тұрақты.



## Менделеев-Клапейрон теңдеуі

Менделеев теңдеуді 1 моль газ үшін жазып,  $V_m$  молярлық көлемін қолданып, Клапейрон теңдеуін Авогадро заңымен біріктірді. Авогадро заңына сәйкес, бірдей  $P$  және  $T$  кезінде барлық газдардың бір молі бірдей молярлық көлемді  $V_m$  алады және тұрақты барлық газдар үшін бірдей болады:

$$PV_m = RT.$$

$R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$  - мольдік газ тұрақтысы.

$m$  массалы газ үшін Менделеев – Клапейрон теңдеуі:

$$PV = \frac{m}{M} RT = \nu RT$$

мұндағы  $\nu = m/M$  - зат мөлшері,  $M$  – мольдік масса (бір моль заттың массасы).  $V = (m/M) V_m$  екендігі ескерілген.

$R$  деп 1 моль газды тұрақты қысымда  $P = \text{const}$ ,  $\Delta T = \Delta t$  - 1 градусқа қыздырған кездегі атқарылатын жұмысқа тең шаманы айтамыз.

$$P V_{\mu} = R$$



## Күй теңдеуі

$$P = nkT.$$

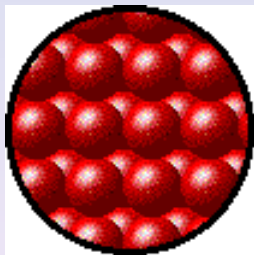
Больцман тұрақтысын енгізіп, теңдеуге келесі түрді беруге болады:

$$k = \frac{R}{N_A} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}.$$

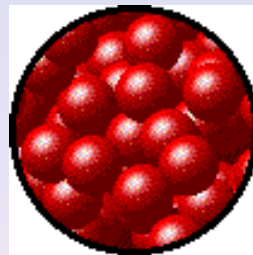
$N_A/V_m = n$  - молекулалар концентрациясы немесе шоғыры.

# Молекула-кинетикалық теорисының негізгі қағидалары

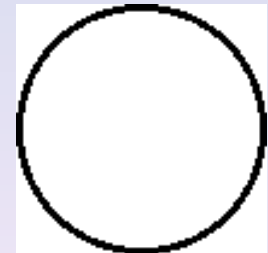
- Зат құрлысы дискретті, яғни ол бөлшектерден тұрады.
- бөлшектер үздіксіз, ретсіз жылулық қозғалыста болады.
- бөлшектер арасында өзара әсер күші болады.



*Қатты денелер*



*Сұйықтар*



*Газдар*

Идеал газдың молекула-кинетикалық теориясының негізгі теңдеуі

$$P = \frac{1}{3} n m_0 \langle v_{кв} \rangle^2 = \frac{2}{3} n \langle E_M \rangle,$$

$\langle E_M \rangle$  - молекуланың ілгерлемелі қозғалысының орташа кинетикалық энергиясы.

Газ массасы  $m = N m_0$  болғандықтан,

$$PV = \frac{1}{3} m \langle v_{кв} \rangle^2$$

Бір моль газ үшін  $m = M$  ( $M$  – мольдік масса), сондықтан

$$PV_m = \frac{1}{3} M \langle v_{кв} \rangle^2$$

Молекуланың ілгерлемелі қозғалысының орташа кинетикалық энергиясы

$$\langle E_M \rangle = \frac{3}{2} kT$$

мұндағы  $k$  -Больцман тұрақтысы.

Молекуланың орташа толық кинетикалық энергиясы

$$\langle E_i \rangle = \frac{i}{2} kT$$

мұндағы  $i$ -молекуланың еркіндік дәрежесінің саны.

**Молекулалардың орташа квадраттық жылдамдығы:**  $V$  көлемінде жылдамдықтарымен

$U_1, U_2, \dots, U_N$  қозғалатын  $N$  молекула бар деп есептеледі,

$$\langle v_{кв} \rangle = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2}$$

Менделеев – Клапейрон теңдеуіне  $PV_m = RT$  сәйкес. Олай болса,

$$RT = \frac{1}{3} M \langle v_{кв} \rangle^2$$

# Молекулалардың жылдамдықтары:

$$v_e = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$$

$$v_a = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}}$$

$$v_{KB} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

Ең үлкен ықтималдылық

$$\frac{df(v)}{dv} = 0$$

Орташа арифметикалық

$$v_a = \int_0^{\infty} v \cdot f(v)$$

Орташа квадраттық

$$v_{KB} = \int_0^{\infty} v^2 \cdot f(v)$$

# Максвеллдің идеал газ молекулаларының жылдамдықтар бойынша таралу заңы

## Максвеллдің болжамдары:

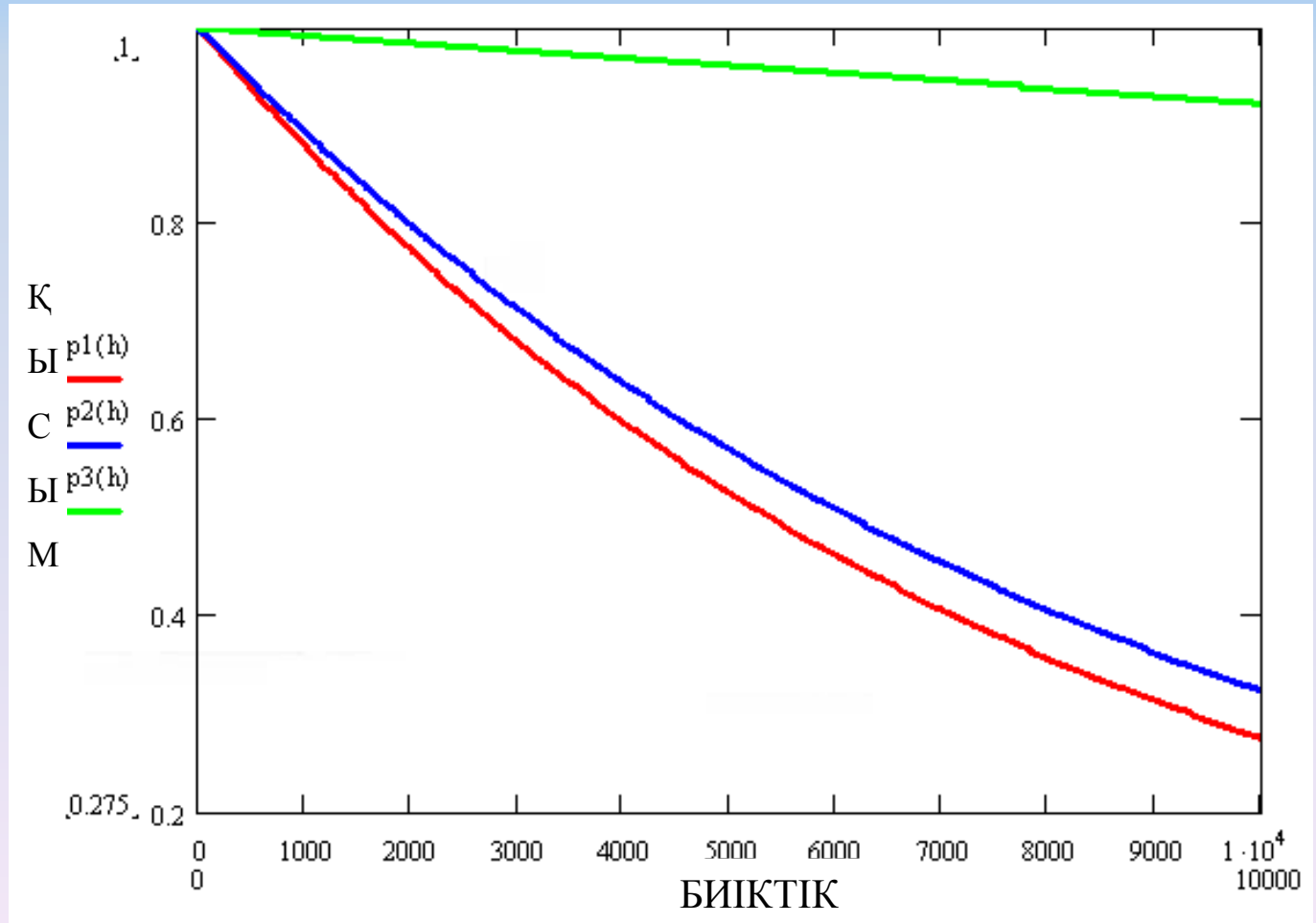
- Газ саны  $N$  өте көп бірдей молекулалардан тұрады.
- Газдың температурасы тұрақты.
- Газ молекулалары жылулық бейберекет қозғалыс жасайды.
- Газға күш өрістері әсер етпейді.

# Қысымның биіктікке тәуелділігі

оттегі

азот

сутегі



Әрбір газдың парциал қысымы әр түрлі өзгереді.



# Барометрлік формула

Барометрлік формула (біртекті ауырлық өрісіндегі қысымның таралуы)

$$p = p_0 e^{-mgh/(\kappa T)}, \quad p = p_0 e^{-Mgh/(RT)},$$

мұндағы  $p$ -газ қысымы;  $m$ -бөлшектің массасы;  $M$ -мольдік масса;  $h$ -қысымы анықталатын нүктенің нөльдік деңгейімен салыстырғандағы биіктігі,  $P_0$  -нөльдік деңгейдегі (Жер бетіндегі) қысым  $g$ -еркін түсу үдеуі;  $R$ -әмбебап газ тұрақтысы.

Газдың бір молекуласының бірлік уақыт ішінде кезігетін соқтығысуларының орташа саны

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

мұндағы  $d$ -молекуланың эффективтік диаметрі;  $n$ -молекуланың шоғырлануы;

$\langle v \rangle$ -молекулалардың орташа арифметикалық жылдамдығы.

**Тасымалдау құбылыстары** - энергияның, массаның, импульстің кеңістікті тасымалдануы жүзеге асатын термодинамикалық тең салмақсыз жүйелерде қайтымсыз процестер.

**Жылуөткізгіштік** - энергияның тасымалдануына негізделген. Жылу түрінде энергияның тасымалдануы *Фурье заңына* бағынады.

Жылу өткізгіштіктің теңдеуі (Фурье заңы)

$$\Delta Q = -\chi \frac{dT}{dx} \Delta S \Delta t$$

мұндағы  $\Delta Q$  – жылу өтудің нәтижесінде  $\Delta t$  уақытында  $\Delta S$  ауданы арқылы тасымалданған жылу мөлшері;

$\frac{dT}{dx} - \Delta S$  ауданына перпендикуляр бағытталған температура градиенті,  $\chi$  – жылуөткізгіштік коэффициенті.

Жылуөткізгіштік коэффициенті

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

Газ молекулаларының еркін жолының орташа ұзындығы

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

**Диффузия** - массаның тасымалдануына негізделген. Химиялық біртекті газ үшін диффузия құбылысы **Фик заңына** бағынады:

$$\text{Диффузия теңдеуі (Фик заңы)} \quad \Delta m = -D \frac{d\rho}{dx} \Delta S \Delta t,$$

мұндағы  $\Delta m$  — диффузия кезіндегі  $\Delta S$  аудан арқылы тасымалданған зат массасы,

$\frac{d\rho}{dx} - \Delta S$  ауданына перпендикуляр бағытталған тығыздық

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

$D$ -диффузия коэффициенті



**Ішкі үйкеліс (тұтқырлық)** - әртүрлі жылдамдықпен параллель қозғалатын газ немесе сұйық қабаттарының арасындағы ішкі үйкеліс механизмінің пайда болуы, бұл жылулық ретсіз қозғалыстың әсерінен қабаттардың арасында молекулалардың алмасуы жүзеге асады, соның нәтижесінде жылдам қозғалатын қабаттың импульсі азаяды, ал баяу қозғалатын қабаттың импульсі артады. Ішкі үйкелісті бейнелейтін *Ньютон заңы*:

$$j_p = -\eta \frac{dv}{dx}$$

мұндағы  $j_p$ - импульс ағынының тығыздығы,  $\frac{dv}{dx}$  - жылдамдық градиенті. *Минус* таңбасы импульстің жылдамдықтың кему бағыты бойынша тасымалданатындығын көрсетеді.

Динамикалық тұтқырлық

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \langle v \rangle \langle l \rangle$$

Жылуөткізгіштік, диффузия және ішкі үйкеліс коэффициенттері үшін формулалар тасымалдау құбылыстарының коэффициенттерін және молекулалардың жылулық қозғалысының сипаттамаларын байланыстырады. Осы формулалардан  $\lambda$ ,  $D$  және  $\eta$  араларындағы келесі қарапайым тәуелділіктер шығады:

$$\eta = \rho D, \quad \frac{\lambda}{\eta c_V} = 1.$$

# Бақылау сұрақтары

- 1. МКТ-нің негізгі ережелері.
- 2. Идеал газ молекуласының орташа кинетикалық энергиясы.
- 3. Температураның молекула- кинетикалық мағынасы.
- 4. МКТ-нің негізгі теңдеуі. Идеал газдың үлгісі.
- 5. Авогадро заңы. Дальтон заңы.
- 6. Менделеев- Клапейрон теңдеуі.
- 7. - 73 С температурадағыдан екі есе көп болатын температураны анықта.
- 8. Идеал газ молекуларының орташа арифметикалық жылдамдығы.
- 9. Идеал газ молекуларының орташа квадраттық жылдамдығы.
- 10. Барометрлік теңдеу.



# Негізгі әдебиеттер

- 1. Савельев И.В. Жалпы физика курсы. 1 том. Алматы, 2010– 505 б.
- 2 Савельев И.В. Жалпы физика курсы. 2 том. Алматы. 2010, 429 б.
- 3. Трофимова Т.И. Физика курсы: ЖОО-лар үшін оқу құралы, 15 басылымы., М: ”Академия” баспа орталығы , 2011. – 482 бет.
- 4. Волькенштейн В.С. Жалпы физика курсының есептер жинағы. М: “Мектеп” баспа орталығы. 2009 ж. 486 бет.
- 5. Савельев И.В. Курс физики в 3-х томах. – М.: Наука, 2010. – 1 т, 2 т.
- 6. Койшибаев Н. Механика, 1 том, Алматы 2005 ж, 494 бет
- 7. Бижігітов Т. Жалпы физика курсы, Алматы 2013, 889 б.
- 8. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики для вузов. – М.: Оникс 21 век, 2007 – 384 с.
- 9. Савельев И.В. Жалпы физика курсы 3 том, Карағанды -2012, 324 б
- 10. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: АСADEMIА, 2007. – 558 с.

**Назар  
аударғандарыңызға  
рахмет!**