

Лекция 1

Тақырыбы: Молекулалық физика мен термодинамиканың негізгі анықтамалары мен түсініктері. Қысым. Молекула-кинетикалық теорияның негізгі теңдеуі. Температура және молекулалардың жылулық қозғалысының орташа кинетикалық энергиясы.

Мақсаты: Студенттердің білімін жетілдіру. Толық қанды мағлұмат беру.

Лекция бойынша тезис:

Молекулалық физика пәні – дененің құрылымының осы денені құрайтын бөлшектердің қозғалысына тәуелділігін зерттейтін физиканың бөлімі.

Макроскопиялық жүйелердің жиынтығын термодинамикалық жүйе деп атаймыз.

Жүйенің күйін сипаттайтын негізгі параметрлерді күй параметрлері деп атаймыз (P-қысым, T-температура, V-көлем және тб.).

Негізгі параметрлер арасындағы байланыс арнайы жеке дене үшін күй теңдеуі деп аталады.

Жүйенің күй функциясы деп – кез-келген параметрдің нақты тепе-теңдік жағдайдағы мәні.

Тепе-теңдік жүйе деп – күй параметрлері жүйенің кез-келген нүктесінде уақытқа байланысты өзгермейтін жүйені айтамыз.

Процесс – бір тепе-теңдік күйден екінші тепе-теңдік күйге өтуін айтамыз.

Релаксация – жүйенің тепе-теңдік күйге оралуын айтамыз.

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2} \quad (10)$$

Молекула-кинетикалық теорияның негізгі теңдеуі деп аталады.

(10)-өрнектің оң жағын екіге көбейтіп және бөліп, былай жазамыз:

$$p = \frac{2}{3} n \left(\frac{m_0 \overline{v^2}}{2} \right) \quad (11)$$

бір молекуланың
орташаланған
кинетикалық
энергиясы

$$p = \frac{2}{3} n \overline{E_0} \quad \text{Бернулли теңдеуі} \quad (12)$$

Өзін-өзі тексеруге арналған сұрақтар:

1. Газ молекулаларының ыдыс қабырғасына беретін импульсін сипаттаңыз.
2. Молекула-кинетикалық теорияның негізгі теңдеуі қорытыңыз
3. Көлемдік, салыстырмалы мольдік, салыстырмалы массалық концентрация дегеніміз не?
4. Қоспаны құрайтын компоненттердің қысымы және оның қоспадағы мольдік үлесімен байланысын сипаттаңыз.
5. Дальтон заңы.
6. Газ молекулаларының ыдыс қабырғасына беретін импульсін анықтаңыз.
7. Молекула-кинетикалық теорияның негізгі теңдеуін қорытыңыз.

Негізгі әдебиеттер

- 1.Аскарова А.С., Молдабекова М.С. Молекулалық физика: Оқулық.- Алматы: Қазақ университеті, 2006.- 246 б.
- 2.Матвеев А.Н. Молекулярная физика: Учебник для физич. спец. вузов.-2-е изд., перераб. и доп.-М: Высш. шк., 1987.-360 с.
- 3.Кикоин А.К. Кикоин И.К. Молекулярная физика.-М.: Наука,1976.-480с.
- 4.Савельев И.В. Жалпы физика курсы. Том 1 Механика. Молекулярная физика.Алматы, 2004.-508 б.
- 5.Сивухин Д.В. Общий курс физики, том 2- Термодинамика и молекулярная физика.-М.: Наука, 2002.-552с.

Лекция 2

Тақырыбы: Идеал газ заңдары. Идеал газ күйінің теңдеуі

Мақсаты: Студенттердің білімін жетілдіру. Толық қанды мағлұмат беру.

Лекция бойынша тезис:

Бойль-Мариотт заңы. Бұл заң газдағы *изотермдік* процесті сипаттайды.

Бойль-Мариотт заңы бойынша, тұрақты температурада ($T = \text{const}$) газдың белгілі массасының көлемі оның қысымына кері пропорционал өзгереді

Гей-Люссак заңы. Бұл заңды 1802 ж. ашқан Ж.Л.Гей-Люссак және 1801ж. оған тәуелсіз Дж. Дальтон ұсынған. Гей-Люссак заңы тұрақты қысымда идеал газдың көлемі температура бойынша сызықты өзгереді дейді:

$$V = V_0(1 + \alpha t)$$

Изохоралық процесс. Көлемі тұрақты жүйеде өтетін процесс изохоралық процесс. Идеал газда изохоралық процесс кезінде қысымның температураға тәуелдігін *Шарль заңы* деп атайды.

Газдың күйін анықтайтын негізгі параметрлерге газдың p қысымы, T температурасы және V көлемі жатады. Бұл параметрлердің байланысын анықтайтын теңдеуді газ күйінің теңдеуі деп атайды. Оның жалпы анықталмаған түрі былай жазылады:

$$f(p, V, T) = 0 \quad (1)$$

немесе $p = f(V, T)$, $T = f(p, V)$, немесе $V = f(p, T)$ деп те жазамыз.

Қысымды анықтайтын молекула-кинетикалық теорияның теңдеуін $p = f(V, T)$ және температураның анықтамасын $T = f(p, V)$ қолданып, мына формуланы аламыз:

$$p = \frac{2}{3} n \frac{m \overline{v^2}}{2} = \frac{2}{3} n \frac{3}{2} kT = nkT \quad (2)$$

Егер газдың массасы өзгермесе, n тұрақты болады, онда p қысым T температураға пропорционал.

Өзін-өзі тексеруге арналған сұрақтар:

1. Идеал газ күйінің теңдеуі, оның жалпы анықталмаған түрін қорытыңыз.
2. Қысымның газдың сандық тығыздығымен байланысын анықтаңыз.
3. Менделеев-Клапейрон теңдеуін молекула-кинетикалық теорияның негізгі теңдеуінен қорытыңыз.
4. Идеал газдың кез келген m массасы үшін жазылған күй теңдеуін табыңыз.
5. Бойль-Мариотт заңы. $p = f(V)$ графигі. Изотермдік сығылғыштық коэффициентін түсіндіріңіз.
6. Гей-Люссак заңы. $V - T$ — диаграммасында $V = f(T)$ көлемнің температураға тәуелділік графигі. Идеал газдың көлемдік ұлғаю коэффициенті түсіндіріңіз.
7. Шарль заңы. $p - T$ диаграммасында $p = f(T)$ тәуелділік графигі. Қысымның термдік коэффициенті түсіндіріңіз.

Негізгі әдебиеттер

- 1.Аскарова А.С., Молдабекова М.С. Молекулалық физика: Оқулық.- Алматы: Қазақ университеті, 2006.- 246 б.
- 2.Матвеев А.Н. Молекулярная физика: Учебник для физич. спец. вузов.-2-е изд., перераб. и доп.-М: Высш. шк., 1987.-360 с.
- 3.Кикоин А.К. Кикоин И.К. Молекулярная физика.-М.: Наука,1976.-480с.
- 4.Савельев И.В. Жалпы физика курсы. Том 1 Механика. Молекулярная физика.Алматы, 2004.-508 б.
- 5.Сивухин Д.В. Общий курс физики, том 2- Термодинамика и молекулярная физика.-М.: Наука, 2002.-552с.

Лекция 3

Тақырыбы: Молекулалық жүйедегі кездейсоқ оқиғалар мен кездейсоқ шамалар. Броундық қозғалыс. Ықтималдық және флуктуация. Ықтималдық тығыздығы, нормалау шарты.

Мақсаты: Студенттердің білімін жетілдіру. Толық қанды мағлұмат беру.

Лекция бойынша тезис:

Молекулалық физиканың көзқарасы бойынша әрбір зат орасан сан кішкентай бөлшектерден тұрады. Олар үздіксіз қозғалады және осы қозғалыс кезінде бір-біріне әсер етеді.

жеке молекулалардың қозғалысына назар аудармай, тек бөлшектердің орасан зор жиынтығының қозғалысын және әрекеттесуін сипаттайтын заңдылықтарын ғана пайдаланады. Осы айтылған заңдылықтардың өзіне тән ерекшеліктері бар және олар жеке қозғалыстардың қарапайым қосындысымен анықталмайды.

Осыдан шығатын қорытынды көптеген бөлшектерден тұратын жүйеде статистикалық немесе ықтималдық заңдылықтар пайда болады.

Бөлшектер саны аз жүйеде мұндай заңдылықтар болмайды. Сондықтан, көпсанды бөлшектердің әрекеттесуі себепші болатын құбылыстарды зерттегенде, жеке молекуланың қасиеттерін ескерудің қажеті болмайды.

Көпшілікке қатысты кездейсоқ оқиғалардың заңдылықтары ықтималдық теорияның ұғымдарымен негізделеді.

Сондықтан, статистикалық әдіс заттың макроскоптық массасында өтетін құбылыстарының заңдарын жеке бөлшектерінің қозғалысын басқаратын заңдары арқылы тағайындайды. Демек, статистикалық әдіс заттағы байқалатын құбылыстардың заңдарын, оның атомдық-молекулалық құрылымына сүйеніп зерттейді.

Ықтималдық теорияның негізгі ұғымының бірі кездейсоқ шама.

Мысалы, газдың молекуласының жылдамдығы тұрақты болмайды, молекуланың жылдамдығының өзгерісі кездейсоқ сипатқа ие, демек кездейсоқ шамаға жатады. Әр жеке молекула қандай жылдамдықпен қозғалады және тап осы кезде қай жерде болатынын алдын ала болжау мүмкін емес, өйткені олар кездейсоқ шамалар.

Мысалы, су буға айналады (бұны А оқиға десек), оны атмосфералық қысымда 100°C температурада қыздырсақ (қыздыру А оқиғаның болу шарты). Демек, әр G шарттар комплексі (жиынтығы) іске асырылса, А оқиға болады.

Әр G комплекс шарттары жүзеге асырылғанда сөзсіз болатын оқиғаны ақиқатты деп атайды.

Оқиға мүмкін емес, егер оның болмайтынын біле тұра G-комплекс шарттары жүзеге асырылса.

А оқиға *кездейсоқ* деп аталады, егер G комплекс шарттары жүзеге асырылғанда, оның болуы да, болмауы да мүмкін.

Ықтималдықтар теориясында өзіне тән ерекше анықтамалар қолданылады.

Кездейсоқ оқиғалардың ықтималдықтары үшін келесі қарапайым қатынастар орын табады. Мейлі, G шарттарға қатысты A және B оқиғалар өтті делік. G шарттар жүзеге асырылатын болса, онда Ω сөзсіз болатын ақиқатты оқиға, ал A немесе B оқиға байқалады деген, $A \cup B$ арқылы белгіленеді, демек A және B оқиғалар бірлестігінің белгісі U . A және B оқиғалар бірдей байқалмаса, оларды *сыйыспайтын* оқиғалар дейді.

$P(A)$ ықтималдықты A оқиғаның функциясы ретінде S –оқиғалар өрісінде қарастыруға болады. Бұл функцияның мынадай қасиеттері бар.

1) S өрістің әр A оқиғасы үшін $P(A) \geq 0$;

2) Ақиқатты Ω оқиға үшін $P(\Omega) \geq 1$;

4) $0 \leq P(A) \leq 1$. 3) Мүмкін емес болмайтын V оқиғаның ықтималдығы нөлге тең

Молекулалардың қозғалысының дәлелінің бірі броундық қозғалыс.

Бұл құбылысты ағылшын ботанигі Броун 1827 жылы ашты.

Өзін-өзі тексеруге арналған сұрақтар:

1. Ықтималдық теориясы сипаттаңыз.
2. Молекулалық жүйедегі кездейсоқ оқиғалар мен кездейсоқ шамалар дегеніміз не?
3. Броундық қозғалыс және оны молекулалық физикада байқалатын кездейсоқ шамалар мысалы ретінде қарастырыңыз.
4. Ықтималдық. A оқиғаның $P(A)$ ықтималдығы және оның қасиеттерін түсіндіріңіз.
5. Ықтималдық тығыздығы, нормалау шартын сипаттаңыз.
6. Флуктуация. m шаманың флуктуациясының жүйенің бөлшектер санына тәуелділігі.
7. Салыстырмалы флуктуация және оның жүйенің бөлшектер санына тәуелділігі.

Негізгі әдебиеттер

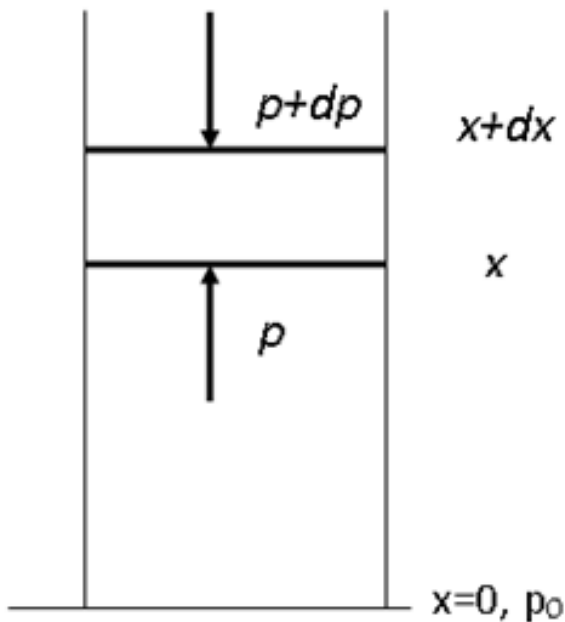
- 1.Аскарова А.С., Молдабекова М.С. Молекулалық физика: Оқулық.- Алматы: Қазақ университеті, 2006.- 246 б.
- 2.Матвеев А.Н. Молекулярная физика: Учебник для физич. спец. вузов.–2-е изд., перераб. и доп.–М: Высш. шк., 1987.-360 с.
- 3.Кикоин А.К. Кикоин И.К. Молекулярная физика.-М.: Наука,1976.-480с.
- 4.Савельев И.В. Жалпы физика курсы. Том 1 Механика. Молекулярная физика.Алматы, 2004.-508 б.
- 5.Сивухин Д.В. Общий курс физики, том 2- Термодинамика и молекулярная физика.-М.: Наука, 2002.-552с.

Лекция 4

Тақырыбы: Барометрлік формула. Сыртқы потенциалдық өрістегі бөлшектер үшін Больцман үлестірілуі (таралуы). Больцман заңы. Перрен тәжірибелері. Авогадро тұрақтысын анықтау.

Мақсаты: Студенттердің білімін жетілдіру. Толық қанды мағлұмат беру.

Лекция бойынша тезис:



$x = 0$ болғанда қысым P_0
 x Биіктіктегі қысым P тең
 Биіктік dx өзгергенде, қысым dp -ға өзгереді.

Ауаның кез келген биіктіктегі қысымы $p + dp$

осы ауаның вертикал бағанасының бірлік ауданға түсірген салмағына тең болады.

$$(p+dp)S + mg = pS$$

Онда кез келген биіктіктегі dp қысым $Sdp + mg = Sdp + \rho Vg = 0$ немесе өзгерісі былай табылады:

$$dp = -\rho g dx$$

V – ауаның dx вертикал бағанасының көлемі $V = Sdx$,
 бірлік көлемдегі бөлшектер саны

$$n = \frac{p}{kT} \quad (2)$$

Онда ауаның тығыздығы $\rho = \frac{m_0 p}{kT} \quad (3)$

(3)-ші өрнекті ескеріп, (1)-ші өрнекті былай жазамыз:

$$dp = -\frac{m_0 g}{kT} p dx \quad , \text{ осыдан } \frac{dp}{p} = -\frac{m_0 g}{kT} dx \quad (4)$$

Егер барлық биіктік бойынша ($T = const$) болса, онда (4)-ті интегралдап, қысымды x биіктіктің функциясы түрінде анықтаймыз:

$$\ln p = -\frac{m_0 g}{kT} x + \ln C$$

немесе

$$p = C e^{-\frac{m_0 g}{kT} x} \quad (5)$$

интегралдау тұрақтысы

C тұрақтыны бастапқы шарт бойынша анықтаймыз

$x = 0$ кезінде, $p = p_0$



$$p_0 = C$$

Изотермдік жағдайда ауаның қысымының биіктікке тәуелділігі

$$p = p_0 e^{-\frac{m_0 g}{kT} x} \quad (6)$$

Егер молекуланың массасын $m_0 = \frac{M}{N_A}$ деп анықтасақ, онда

$$p = p_0 e^{-\frac{M g}{RT} x} \quad (7)$$

Осы (6) және (7) өрнектер барометрлік формула деп аталады.

$$n = n_0 e^{-\frac{m_0 g}{kT} x} \quad (8)$$

n – бірлік көлемдегі x – биіктіктегі молекулалар саны, n_0 – нольге тең болған биіктіктегі бірлік көлемдегі молекулалар саны.

Мольдік массасы арқылы жазсақ

$$n = n_0 e^{-\frac{Mg}{RT} x} \quad (9)$$

БОЛЬЦМАН ЗАҢЫ

Жоғарыдағы (9)-шы барометрлік формула ауырлық күші өрісінде орналасқан газ үшін тағайындалған. Бұл өрнектің экспонентасындағы $m_0 g x$ шама молекуланың x биіктіктегі потенциалдық энергиясы. Жалпы жағдайда x биіктікті r деп белгілейміз. Олай болса, (9)-шы өрнек потенциалдық энергиясы $\varphi(r) = m_0 g r$ -ге тең n молекулалар санын анықтайды. $x = 0$ биіктіктегі бірлік көлемдегі молекулалар санын n_0 деп белгілейміз. Газдың қасиеттері ауырлық күшінен басқа өрістерде болса да, оның молекулалары $\varphi(r)$ потенциалдық энергияға ие, және молекулалар саны былай анықталады:

$$n = n_0 e^{-\frac{\varphi(r)}{kT}}.$$

Өзін-өзі тексеруге арналған сұрақтар:

1. Изотермдік жағдайда ауаның қысымының Жердің бетінен биіктікке тәуелділігін анықтаңыз.
2. Барометрлік формуланы қорытыңыз.
3. Больцман үлестірілуін (заңын) талдаңыз.

Негізгі әдебиеттер

1. Аскарова А.С., Молдабекова М.С. Молекулалық физика: Оқулық.- Алматы: Қазақ университеті, 2006.- 246 б.
2. Матвеев А.Н. Молекулярная физика: Учебник для физич. спец. вузов.-2-е изд., перераб. и доп.-М: Высш. шк., 1987.-360 с.
3. Кикоин А.К. Кикоин И.К. Молекулярная физика.-М.: Наука, 1976.-480с.
4. Савельев И.В. Жалпы физика курсы. Том 1 Механика. Молекулярная физика. Алматы, 2004.-508 б.
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики, том 2- Термодинамика и молекулярная физика.-М.: Наука, 2002.-552с.

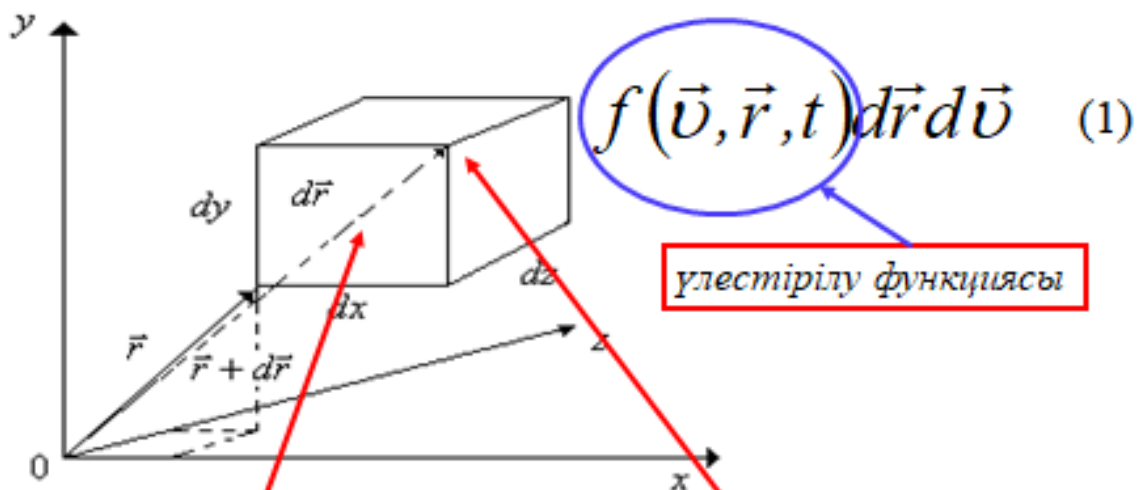
Лекция 5

Тақырыбы: Молекулалардың жылдамдықтар бойынша максвеллдік үлестірілуі. Үлестірілу функциясы туралы түсінік. Максвеллдің үлестірілуі (таралуы). Молекулалық жылдамдыққа тәуелді функциялардың орташа мәндері Молекулалардың жылдамдықтар модулі бойынша үлестірілуі

Мақсаты: Студенттердің білімін жетілдіру. Толық қанды мағлұмат беру.

Лекция бойынша тезис:

Молекулалардың жылдамдықтар бойынша үлестірілуін анықтау белгілі жылдамдықпен қозғалатын молекула санын табу. Осы мәселені шешуде Максвелл ықтималдықтар теориясын қолданды. Жылдамдықтың x – компонентінің мәні v_x -қа тең ықтималдығы, басқа екі v_y, v_z жылдамдық компоненттері мәндеріне байланысты болмайды. Онда молекуланың x осі бойында v_x пен $v_x + dv_x$ аралығында жататын жылдамдық компонентіне ие болатын ықтималдығын $f(v_x)dv_x$ деп белгілеуге болады.



Молекулалар жылдамдығы соқтығысу нәтижесінде үздіксіз өзгереді. Нәтижесінде көлемнен біразы шығып, кейбіреуі сырттан көлемге түседі.

$d\vec{r}$ көлем элементінде жылдамдықтары $\vec{v}, \vec{v} + d\vec{v}$

аралығында жататын молекулалардың ықтималдық саны

$f(\vec{v}, \vec{r}, t) d\vec{r} d\vec{v}$ -ға тең

Үлестірілу функцияны үш соқтығысу инварианттары (m_0 – молекулалық масса, $m_0 \vec{v}$ – молекулалық импульс және $\frac{1}{2} m_0 v^2$ – молекуланың кинетикалық энергиясы) арқылы табады:

$$f(v_x, v_y, v_z) = \beta e^{-\alpha \frac{1}{2} m_0 v^2}, \quad (1)$$

мұндағы β, α – тұрақтылар, оларды газдың сандық тығыздығы $n = \int f d\bar{v}$, орташа жылдамдығы $n\bar{v} = \int v f d\bar{v}$ және температурасының анықтамаларын қолданып анықтайды:

$$\frac{3}{2} kT = \frac{1}{2} m_0 \overline{v^2}$$

(1)-ші теңдеудегі α тұрақтысы мынаған тең $\alpha = 1/kT$, Сонымен (11)-дегі үлестірілу функциясының анық түрін Максвелл мына түрде ұсынған:

$$f(v) = n \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}}, \quad (2)$$

Осы формула молекулалар жылдамдықтарының үлестірілуі үшін анықталған *Максвелл функциясының* әдеттегі түрі.

Өзін-өзі тексеруге арналған сұрақтар:

1. Үлестірілу функциясы туралы түсінік беріңіз.
2. Үлестірілу функциясының таңбасы қандай, қандай жағдайда ол нолге ұмтылатындығын түсіндіріңіз.
3. Максвеллдің үлестірілуінің (таралуы) әдеттегі түрі (формуласы) талдау жасаңыз. $\frac{dn(v)}{n}$ - шама жылдамдықтары v мен $v + dv$ интервалында жататын газдың несін анықтайды?
4. $\varphi(v)$ молекуланың жылдамдығына тәуелді функцияның (скалярлық, векторлық немесе тензорлық) орташа мәнін $f(v)$ үлестірілу функциясы арқылы анықтау. Мысал келтіріңіз.
5. Максвеллдің үлестірілу функциясының жылдамдықтың x –компоненті үшін түрі, демек $f(v_x) = ? \int_{-\infty}^{+\infty} dn(v_x) dv_x = ?$ $f(v_x)$ -тің v_x -қа тәуелділігін сипаттайтын графикті сызып, талдаңыз.

Негізгі әдебиеттер

1. Аскарова А.С., Молдабекова М.С. Молекулалық физика: Оқулық.- Алматы: Қазақ университеті, 2006.- 246 б.
2. Матвеев А.Н. Молекулярная физика: Учебник для физич. спец. вузов.—2-е изд., перераб. и доп.—М: Высш. шк., 1987.—360 с.
3. Кикоин А.К. Кикоин И.К. Молекулярная физика.-М.: Наука, 1976.-480с.
4. Савельев И.В. Жалпы физика курсы. Том 1 Механика. Молекулярная физика. Алматы, 2004.-508 б.
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики, том 2- Термодинамика и молекулярная физика.-М.: Наука, 2002.-552с.

Лекция 6

Тақырыбы: Молекулалардың орташа жылдамдықтары: орташа арифметикалық жылдамдығы; ең ықтимал жылдамдық. Максвеллдің формуласының өлшемсіз түрі.

Мақсаты: Студенттердің білімін жетілдіру. Толық қанды мағлұмат беру.

Лекция бойынша тезис:

Молекулалардың орташа жылдамдықтары. Орташа арифметикалық жылдамдық

$$\langle v \rangle = \frac{1}{n} \int_0^{\infty} v f(|\vec{v}|) dv = \frac{4n}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m_0}{2kT} \right)^{3/2} \int_0^{\infty} v^3 e^{-m_0 v^2 / 2kT} dv$$

орташа арифметикалық жылдамдық

$$\frac{m_0}{2kT} = \alpha \quad v = x \quad \text{деп белгілесек, онда}$$

$$\int_0^{\infty} v^3 e^{-m_0 v^2 / 2kT} dv = \int_0^{\infty} x^3 e^{-\alpha^2 x^2} dx \quad (1)$$

(1) интегралдардың мәнін келесі есептеу ережелерін қолданып, табамыз:

а) егер r - жұп сан болса, онда

$$\int_0^{\infty} x^r e^{-\alpha^2 x^2} dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{2} \cdots \frac{r-1}{2} \alpha^{-\left(\frac{r+1}{2}\right)} \quad (2)$$

б) егер r - тақ сан болса, онда

$$\int_0^{\infty} x^r e^{-\alpha^2 x^2} dx = \frac{1}{2} \alpha^{-\left(\frac{r+1}{2}\right)} \cdot \left(\frac{r-1}{2} \right) \quad (3)$$

$$(3) \text{ бойынша } \int_0^{\infty} v^3 e^{-m_0 v^2 / 2kT} dv = \frac{1}{2} \left(\frac{m_0}{2kT} \right)^{-2} \quad (4)$$

Егер (3)-ге (4)-тегі интегралдың өрнегін қоссақ:

$$\begin{aligned} \langle v \rangle &= \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m_0}{2kT} \right)^{3/2} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{m_0}{2kT} \right)^{-2} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m_0}{2kT} \right)^{3/2} \frac{1}{2} \left(\frac{2kT}{m_0} \right)^2 = \\ &= \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} \end{aligned}$$

$$\text{демек } \langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} \quad \text{немес } \langle v \rangle = \sqrt{\frac{8N_A kT}{\pi N_A m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \quad (5)$$

орташа арифметикалық жылдамдық

Өзін-өзі тексеруге арналған сұрақтар:

1. Молекулалардың жылдамдықтар модулі бойынша үлестірілуі (формуласы). Максвелл заңы. $f(|\vec{v}|)$ -ның v -қа тәуелділігін сипаттайтын графикті сызып, талдаңыз. Графиктегі $f(|\vec{v}|)$ қисығымен қамтитын аудан көлем бірлігіндегі жалпы молекулалар санын анықтайтынын түсіндіріңіз.
2. Әр түрлі температурада молекулалардың жылдамдықтар бойынша үлестірілу функциясының $f(v)$ -ның v жылдамдыққа тәуелділігін сипаттайтын графикті сызып, талдаңыз.
3. Молекулалардың орташа арифметикалық жылдамдығын максвеллдің үлестірілу функциясын қолданып, табыңыз.
4. Молекулалардың орташа квадраттық жылдамдығын максвеллдің үлестірілу функциясын қолданып, табыңыз.
5. Молекулалардың орташа кинетикалық энергиясын максвеллдің үлестірілу функциясын қолданып, табыңыз.
6. Ең ықтимал жылдамдық. Ең ықтимал жылдамдыққа сәйкес келетін молекуланың кинетикалық энергиясын анықтаңыз.

Негізгі әдебиеттер

1. Аскарова А.С., Молдабекова М.С. Молекулалық физика: Оқулық.- Алматы: Қазақ университеті, 2006.- 246 б.

2. Матвеев А.Н. Молекулярная физика: Учебник для физич. спец. вузов.—2-е изд., перераб. и доп.—М: Высш. шк., 1987.—360 с.
3. Кикоин А.К. Кикоин И.К. Молекулярная физика.—М.: Наука, 1976.—480 с.
4. Савельев И.В. Жалпы физика курсы. Том 1 Механика. Молекулярная физика. Алматы, 2004.—508 б.
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики, том 2- Термодинамика и молекулярная физика.—М.: Наука, 2002.—552 с.

Лекция 7

Тақырыбы: Термодинамиканың бірінші бастамасы. Термодинамиканың негізгі заңдары (бастамалары) — энергия түрленуімен өтетін құбылыстарды тәжірибелік қорытындылау нәтижесі. Қайтымды және қайтымсыз жылулық процестер. Термодинамиканың нөлдік бастамасы. Термодинамиканың бірінші бастамасы және оның физикалық мағынасы. Термодинамиканың бірінші бастамасының бірінші текті мәңгілік қозғалтқыш жасауға тиым салуы.

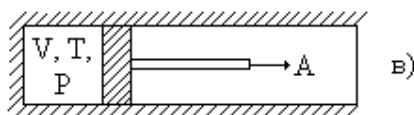
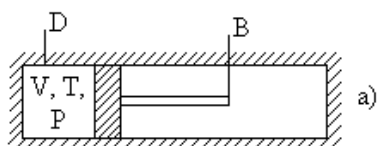
Мақсаты: Студенттердің білімін жетілдіру. Толық қанды мағлұмат беру.

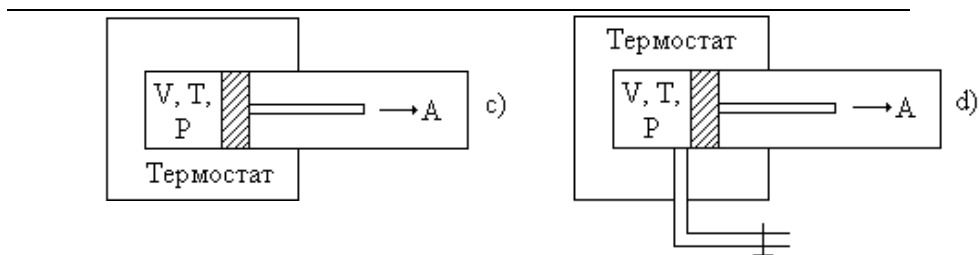
Лекция бойынша тезис:

Термодинамикалық жүйенің мысалы ретінде біз қозғалмайтын D цилиндр мен ішіндегі B жылжымалы поршень (тығырығы) бар жүйені аламыз (1-сурет). Поршень ν мольді газды сығады, бірақ поршень арқылы газ жылуының ешқандай кемуі болмайды. Осы термодинамикалық жүйені BD деп белгілеп, оның мүмкін болатын төрт түрлі күйлерін қарастырамыз.

Поршень B құрамы біртекті газды D цилиндрдің ішінде V көлемде p қысымда және T температурада ұстайды. Қоршаған ортаға қатысты BD жүйе зат және энергиямен (жылу және жұмыс түрінде) үш түрлі тәсілмен алмасуы мүмкін:

- a) *жүйе оқшауланған*, ешқандай зат және энергия алмасуы болмайды (1a-сурет);
- b) *оқшауланған жүйедегі адиабаттық процесс*, зат және энергиямен алмасусыз өтеді (1b-сурет);
- c) *жабық жүйе*, затпен алмасусыз өтеді, бірақ энергия алмасып отырады (1c-сурет);
- d) *ашық жүйе*, зат және энергиямен алмасады (1d-сурет).





1-сурет

Тепе-теңдік жүйенің күйін сипаттайтын, ерекше күй функциясы – температураны кіргізетін ереже, термодинамиканың *нолдік заңы (бастамасы)* деп аталады. «Энергия деген не?» – сұраққа жауап беру оңай емес. Біз энергияның тек өзара ауысуы кезіндегі білінуін сеземіз. Сондықтан, біз тек энергияның айырымын өлшей аламыз және осы энергияның айыры-мының физикалық мағынасы бар. Макроскоптық көзқарас бойынша әр дене белгілі энергия мөлшерімен байланысты болады. Бұл энергия үш түрге бөлінеді: *потенциалдық энергия, кинетикалық энергия және ішкі энергия*. Олай болса, жүйенің толық энергиясы былай анықталады:

$$\Delta E = \Delta E_{\text{кин}} + \Delta E_{\text{пот}} + \Delta U .$$

Алдыңғы екі энергия түрлерімен механика бөлімінде таныстық. Әдетте, термодинамикалық жүйелерді зерттегенде потенциалдық энергияның өзгерісі толық энергияға әсер етпейтін және кинетикалық энергия өзгерісі нөлге жуық жағдайлар қарастырылады. Бұл жағдайларда жүйенің ΔE толық энергиясының өзгерісі ΔU ішкі энергиясының өзгерісіне тең болады, демек $\Delta E = \Delta U$.

Тәжірибелік нәтижелерін Майер (1842 ж.) және Гельмгольц (1847 ж.) жалпылап, былай тұжырымдады: барлық макроскоптық жүйелер тұрақты энергия мөлшеріне ие болады және энергияның бір түрден екінші түрге өтуі мүмкін. Жүйенің энергиясының мөлшері тек оның сыртқы ортаға берілу немесе одан алыну нәтижесінде өзгереді. Осы тұжырым термодинамикада оның бірінші заңының негізгі мағынасын белгілейді. Энергияның сақталу заңы бойынша жүйенің істейтін *жұмысы*, оған *берілген жылу мөлшері* мен *ішкі энергиясының өзгеруінің айырымына* тең болады:

$$dA = dQ - dU$$

немесе

$$dQ = dU + dA$$

Механикалық және жылулық энергияларына қатысты *энергияның сақталу заңы* осы өрнекпен анықталады. Бұл теңдеу табиғаттың ең маңызды заңын тұжырымдайды. Осы сақталу заңы *термодинами-каның бірінші заңы* немесе *бастамасы* деп аталады.

Осы сақталу заңы *термодинамиканың бірінші заңы* немесе *бастамасы* деп аталады. Басқа ортада (сыртқы ортада) өзгеріссіз үздіксіз жұмысты өндіретін немесе сырттан энергияны пайдаланусыз шексіз уақыт жұмыс істейтін машинаны жасау мүмкін емес. Бұндай сырттан энергияны пайдаланусыз шексіз уақыт жұмыс істейтін машинаны бірінші текті мәңгілік қозғалтқыш (латынның *perpetuum mobile* – мәңгілік қозғалыс) дейді.

Өзін-өзі тексеруге арналған сұрақтар:

1. Термодинамиканың нөлдік бастамасы. Температура.
2. Термодинамиканың бірінші бастамасы және оның физикалық мәні.
3. Термодинамиканың бірінші бастамасының бірінші мәңгілік қозғалтқыш жасауға тиым салуын түсіндіріңіз.
4. Ішкі энергия – күй функциясы дегенді түсіндіріңіз.
5. Термодинамикадағы жұмыс және жылу - ішкі энергияның өзгеру түрлері және процесс функциясы дегенді түсіндіріңіз.
6. Қайтымды, қайтымсыз процестер.
7. Қандай жүйе оқшауланған?
8. Қандай оқшауланған жүйеде адиабаттық процесс өтеді?
9. Қандай жүйе жабық деп аталады?
10. Қандай жүйе ашық жүйе деп аталады?

Негізгі әдебиеттер

1. Аскарова А.С., Молдабекова М.С. Молекулалық физика: Оқулық.- Алматы: Қазақ университеті, 2006.- 246 б.
2. Матвеев А.Н. Молекулярная физика: Учебник для физич. спец. вузов.—2-е изд., перераб. и доп.—М: Высш. шк., 1987.-360 с.
3. Кикоин А.К. Кикоин И.К. Молекулярная физика.-М.: Наука, 1976.-480с.
4. Савельев И.В. Жалпы физика курсы. Том 1 Механика. Молекулярная физика. Алматы, 2004.-508 б.
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики, том 2- Термодинамика и молекулярная физика.-М.: Наука, 2002.-552с.

Лекция 8

Тақырыбы: Идеал газдың ішкі энергиясы. Жылу мөлшері. Газдың көлемі өзгергендегі жұмыс. Идеал газдың жылусыйымдылығы. Изопроцестер. Еркіндік дәрежелер саны. Газдардың жылусыйымдылығы арасындағы қатынастар және оларды молекулалардың еркіндік дәрежелер саны арқылы бейнелеу. Энергияның тең үлестірілу заңы. Идеал газдың жылусыйымдылығының молекула-кинетикалық теориясы және оның шектелуі.

Мақсаты: Студенттердің білімін жетілдіру. Толық қанды мағлұмат беру.

Лекция бойынша тезис:

Дененің немесе денелер жүйесінің *ішкі энергиясы* заттың құрамындағы барлық қозғалыстағы молекулаларының кинетикалық энергиясы, молекуланың атомдарының қозғалысының кинетикалық энергиясы (молекула көпатомды болса) мен ондағы молекулалардың өзара әрекеттесуінің потенциалдық энергиясы және атомның құрамы-на кіретін микробөлшектердің кинетикалық және потенциалдық энергиясы да ескерілуі мүмкін. Бірақ, бұған газдың тұтас дене ретіндегі қозғалысының кинетикалық энергиясы және сыртқы күштер өрісінде орналасқандағы потенциалдық энергиясы қосылмайды. Келесі өрнекпен анықталатын энергияны идеал газдың (бір молі үшін) *ішкі энергиясы* деп атайды.

$$U = \frac{3}{2} N_A kT = \frac{3}{2} RT ,$$

мұндағы $N_A k = R$ — универсал газ тұрақтысы, N_A — Авогадро саны.

Дененің температурасы өзгерсе (қызса немесе суыса) басқа денемен түйіскенде немесе сәулелену арқылы, онда денеге қандай-да жылу мөлшері *берілді* немесе *алынды* деп айтады. Бұл жағдайда энергияның өзгеруі жұмыс істелуімен байланысты болмайды. Шынында, жылу алмасу кезінде жұмыс істеледі, бірақ бұл жұмыс-ты ретті қозғалыстағы макроскоптық денелер істемейді, олардың құрамындағы хаосты қозғалыстағы микробөлшектер істейді. dQ және dA *толық дифференциал бола алмайды*, себебі олар шексіз аз берілген (алынған) жылу мөлшері мен жүйенің істеген жұмысы, өтетін процестерге тәуелді.

Газ ұлғайғанда, демек газдың көлемі dV -ға өскенде, газ тарапынан сыртқы күштерге қарсы $+pdV$ -ға тең жұмыс істелінеді:

$$dA = pSdx = -pdV .$$

Газдың көлемі өзгергенде істелетін dA жұмыс қысым мен көлемнің өзгерісінің көбейтіндісіне тең болады. Бұл теңдеу барлық денелер (жүйелер) үшін орындалады.

Дененің температурасын бір кельвинге (1 К) өзгерту үшін, оған берілетін немесе одан алынатын жылу мөлшерін — *жылусыйымдылық* деп атайды. Анықтамасы бойынша жылусыйымдылық мына қатынасқа тең болады:

$$C_x = \left(\frac{dQ}{dT} \right)_x$$

мұндағы dQ – денеге берілген (алынған) жылу мөлшері, dT – температураның өзгерісі, x – көрсеткіш (индекс) өтетін процестің белгісі. Заттың бірлік массасына қатысты жылуsыйымдылықты – *меншікті жылуsыйымдылық* деп атайды. Заттың бір мольне қатысты жылуsыйымдылықты – *мольдік жылуsыйымдылық* дейді. Егер молекулалық жүйе жылулық тепе-теңдікте T температурада болса, онда молекулалардың орташа кинетикалық энергиясы барлық еркіндік дәрежелері бойынша бірқалыпты таралған және молекуланың әр еркіндік дәрежесіне лайықты $kT/2$ -ге энергия тең келеді. Осы теорема еркіндік дәрежелері бойынша кинетикалық энергия-ның тең үлестірілу заңы немесе энергиялық бірқалыпты үлестірілу заңы деп аталады.

Өзін-өзі тексеруге арналған сұрақтар:

1. Ішкі энергия – күй функциясы.
2. Термодинамикадағы жұмыс және жылу - ішкі энергияның өзгеру түрлері және процесс функциясы.
3. Қайтымды, қайтымсыз процестер.
4. Жылуsыйымдылық: мольдік және меншікті, өлшем бірліктері; жылуsыйымдылық күй немесе процестің функциясы ма?
5. Жылуsыйымдылықтың кванттық теориясы жөніндегі түсінік.
6. Термодинамиканың бірінші заңын және идеал газ күй теңдеуін изохоралық процесті сипаттау үшін қолдану:
 - процестегі газ күйінің теңдеуі;
 - идеал газдың көлемінің өзгеруіндегі жұмыс,
 - $p=f(V)$ диаграммада жұмыстың графиктік бейнеленуі;
 - процесс үшін термодинамиканың бірінші заңы;
 - процестегі жылуsыйымдылық;
 - идеал газдың қысымының термдік коэффициенті.
7. Термодинамиканың бірінші заңын және идеал газ күй теңдеуін изобарлық процесті сипаттау үшін қолдану:
 - процестегі газ күйінің теңдеуі;
 - идеал газдың көлемінің өзгеруіндегі жұмыс,
 - $p=f(V)$ диаграммада жұмыстың графиктік бейнеленуі;
 - процесс үшін термодинамиканың бірінші заңы;
 - процестегі жылуsыйымдылық;
 - идеал газдың көлемдік ұлғаю коэффициенті.

Негізгі әдебиеттер

1. Аскарова А.С., Молдабекова М.С. Молекулалық физика: Оқулық.- Алматы: Қазақ университеті, 2006.- 246 б.

- 2.Матвеев А.Н. Молекулярная физика: Учебник для физич. спец. вузов.—2-е изд., перераб. и доп.—М: Высш. шк., 1987.-360 с.
- 3.Кикоин А.К. Кикоин И.К. Молекулярная физика.-М.: Наука,1976.-480с.
- 4.Савельев И.В. Жалпы физика курсы. Том 1 Механика. Молекулярная физика.Алматы, 2004.-508 б.
- 5.Сивухин Д.В. Общий курс физики, том 2- Термодинамика и молекулярная физика.-М.: Наука, 2002.-552с.

Лекция 9

Тақырыбы: Термодинамиканың бірінші бастамасы мен идеал газ күйінің теңдеуін изопараметрлік процестерді сипаттау үшін қолдану. Изотермдік процесс. Адиабаттық процесс. Политроптық процесс.

Мақсаты: Студенттердің білімін жетілдіру. Толық қанды мағлұмат беру.

Лекция бойынша тезис:

Изотермдік процесте газдың ішкі энергиясы өзгермейді демек $dU = 0$, немесе $\Delta U = U_2 - U_1 = 0$, себебі $T = const$. Онда термодинамиканың бірінші заңы бұл процесс үшін былай жазылады:

$$Q = A,$$

демек газға берілген (немесе алынған) жылу мөлшері толығымен жұмыс істеуге жұмсалады.

Адиабаттық процесте газ қоршаған денелерге жылу бермейді және сырттан жылу алмайды. Сондықтан, адиабаттық процесс қоршаған ортамен жылу алмасусыз өтеді,

$$dA = -dU.$$

$pV^\gamma = const$ - теңдеу адиабаттық процесс кезінде идеал газдың көлемі өзгергенде қысымымен көлемінің арасындағы тәуелділікті тағайын-дайды. Бұл өрнек Пуассон теңдеуі немесе адиабаттық процестегі идеал газ күйінің теңдеуі деп аталады, мұндағы $\gamma = C_p / C_v$ – адиабаттық көрсеткіш деп аталады. Газ күйінің жалпы өзгеру процесін политроптық деп атайды.

$pV^n = const$ идеал газдың қысымы мен көлемін байланыстыратын формула политроптық процестегі газ күйінің теңдеуі немесе политроп теңдеуі деп аталады. Мұндағы n политроп көрсеткіші $(-\infty)$ –тен $(+\infty)$ -ке дейінгі мәндерді қабылдай алады.

Өзін-өзі тексеруге арналған сұрақтар:

1. Термодинамиканың бірінші заңы және идеал газ күй теңдеуін изотермдік процесті сипаттау үшін қолдану:
 - процестегі газ күйінің теңдеуі;
 - идеал газдың көлемінің өзгеруіндегі жұмыс,
 - $p=f(V)$ диаграммада жұмыстың графиктік бейнеленуі;
 - процестегі жылу сыйымдылық;
 - изотермдік сығылғыштық коэффициенті.
2. Термодинамиканың бірінші заңын және идеал газ күй теңдеуін адиабаттық процесті сипаттау үшін қолдану:
 - процестегі газ күйінің теңдеуі;
 - идеал газдың көлемінің өзгеруіндегі жұмыс,
 - $p=f(V)$ диаграммада жұмыстың графиктік бейнеленуі;
 - процесс үшін термодинамиканың бірінші заңы;
 - процестегі жылу сыйымдылық;
 - идеал газдың адиабаттық сығылғыштық коэффициенті.
3. Политроптық процесс:
 - процестегі газ күйінің теңдеуі;
 - политроп көрсеткіші n ;
 - n -нің мәні мен оған сәйкес изопроцестерді келтіріңіз.
4. Жылу сыйымдылықтың политроп көрсеткішіне қатысты тәуелділігі.
5. Майер теңдеуі. Универсал газ тұрақтысының физикалық мәні.
6. Классикалық теориядағы газдың жылу сыйымдылығын есептеу.
7. Газдың мольдік жылу сыйымдылығын молекуласының еркіндік дәрежелері арқылы есептеу.
8. Классикалық теориядағы қиындықтар.

Негізгі әдебиеттер

1. Аскарова А.С., Молдабекова М.С. Молекулалық физика: Оқулық.- Алматы: Қазақ университеті, 2006.- 246 б.
2. Матвеев А.Н. Молекулярная физика: Учебник для физич. спец. вузов.—2-е изд., перераб. и доп.—М: Высш. шк., 1987.—360 с.
3. Кикоин А.К. Кикоин И.К. Молекулярная физика.-М.: Наука, 1976.-480с.
4. Савельев И.В. Жалпы физика курсы. Том 1 Механика. Молекулярная физика. Алматы, 2004.-508 б.
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики, том 2- Термодинамика и молекулярная физика.-М.: Наука, 2002.-552с.

Лекция 10

Тақырыбы: Термодинамиканың екінші бастамасы. Циклдік процестер. Карно циклі. Карно циклінің пайдалы әсер коэффициенті. Карно теоремалары. Келтірілген жылу. Энтропия. Энтропия - күй функциясы.

Клаузиус теңсіздігі. Энтропияның қасиеттері. Энтропияның өсу заңы. Қайтымсыз процестердегі энтропияның өсу заңын дәлелдейтін мысалдар. Термодинамиканың екінші бастамасының статистикалық сипаты, күй ықтималдығымен байланысы.

Мақсаты: Студенттердің білімін жетілдіру. Толық қанды мағлұмат беру.

Лекция бойынша тезис:

Кельвин принципі: “Басқа денеде немесе денелерде қандай да бір өзгерістер болмай, жалғыз-ақ нәтижесі кез келген денеден алынған жылуды толығынан механикалық жұмысқа айналдыратын циклдік процесті жүзеге асыру мүмкін емес”. Егер тек жұмыстық дене мен жылу қоры ғана бойынша жылу машинасы істейтін болса, онда жұмыс орындалу үшін шексіз жылу қоры ретінде теңіздердің суларын, атмосфераны пайдалануға болар еді. Қоршаған ортада қандай да бір өзгеріссіз, жалғыз-ақ нәтижесі осындай жылу қорынан алынған жылу мөлшерін толығынан механикалық жұмысқа айналдырып, жұмыс істейтін машина *екінші текті мәңгілік қозғалтқышы* (двигателі) деп аталады. Бұл машинаның жұмыс істеуі энергияның сақталу заңына қайшы болмайды, себебі жылудың есебінен жұмыс істеледі. Бірақ, тәжірибеден белгілі, мұндай машинаны жасау мүмкін емес. Карно циклінің пайдалы әсер коэффициенті (п.э.к) жұмыстық дененің тегіне тәуелді емес, ол тек қана қыздырғыш пен тоңазытқыштың температураларына тәуелді. Қыздырғыш және тоңазытқыштың белгілі температуралар мәндерінде жұмыс істейтін жылулық машинаның пайдалы әсер коэффициенті (п.э.к.-ті), сондай жағдайларда істейтін қайтымды Карно циклі бойынша машинаның п.э.к.-нен әрқашан кіші болады, бірден кіші ($\eta < 1$) және қыздырғыш пен тоңазытқыштың температураларының қатынасына тәуелді.

Карно цикліндегі процестерді талдау негізінде қыздырғыштан алынған жылуды толығымен механикалық жұмысқа айналдыра алмай-тыны дәлелденеді. Бұл жылу бөлігі міндетті түрде тоңазытқышқа берілуі қажет, демек қыздырғыштан температурасы төмен денеге.

Егер қыздырғыштан жұмыстық дененің алған жылуы Q_0 , ал жұмысқа осы жылудың $Q_0 - Q_1$ бөлігі айналса, онда

$$\eta = \frac{Q_0 - Q_1}{Q_0}$$

қатынас циклдік процестің немесе осы процесс бойынша жұмыс істей-тін машинаның *пайдалы әсер коэффициенті* болады. Карно циклінің пайдалы әсер коэффициенті алдыңғы формуланы ескерсек, былай анықталады:

$$\eta = \frac{Q_0 - Q_1}{Q_0} = 1 - \frac{Q_1}{Q_0} = 1 - \frac{T_0}{T_1} .$$

Осыдан пайдалы әсер коэффициенті (п.э.к) әрқашан бірден кіші ($\eta < 1$) және қыздырғыш пен тоңазытқыштың температураларының қатынасына

тәуелді. Карно циклінің пайдалы әсер коэффициенті (п.ә.к) жұмыстық дененің тегіне тәуелді емес, ол тек қана қыздырғыш пен тоңазытқыштың температураларына тәуелді. Бұл тұжырымды С.Карно 1824 ж. дәлелдеген. Осы айтылған-ды кейбірде Карноның бірінші теоремасы дейді. Қыздырғыш және тоңазытқыштың белгілі температуралар мәндерінде жұмыс істейтін жылулық машинаның пайдалы әсер коэффициенті (п.ә.к.-ті), сондай жағдайларда істейтін қайтымды Карно циклі бойынша машинаның п.ә.к.-нен әрқашан кіші болады. Бұны да Карноның теоремасы деп атайды.

Кез келген қайтымды дөңгелек емес процесте $\int \frac{dQ}{T}$ интегралдың мәні процестің өту жолына тәуелді болмайды. Онда процесті сипаттайтын күй функциясы болатын бір шама бар екен, оны S әрпімен белгілейік. Жүйе A күйден B күйге қайтымды өткенде, осы күй функциясының өзгерісі былай анықталады:

$$S_B - S_A = \int_A^B \frac{dQ}{T}.$$

Осы теңдеу бойынша тек бұл функцияның өзгерісін бір күйден екіншіге өткенде ғана анықтауға болады. Абсолюттік мәні анықталмайды. Сондықтан, осы айтылғанды ескере отырып, формула бойынша анықталатын интегралға S функция тең дейміз, демек

$$S = \int \frac{dQ}{T}.$$

Осылай анықталған S шаманы *энтропия* деп атайды.

Практикада S шаманың өзін анықтамайды, тек жүйенің күйі өзгергенде энтропияның өзгерісін есептейді. Бірақ бір күйді белгілеп, ондағы S функциясының мәнін нолге тең деп, сонымен жүйенің басқа күйлерін салыстыруға болады. Оқшауланған жүйенің *энтропиясы* мен *ықтималдығының* қасиеті бірдей: олар не арта (өсе) алады, не өзгеріссіз қала береді өтетін процестерге байланысты. энтропияның физикалық мағынасы термодинамикалық ықтималдықтың логарифмінің байланысы арқылы анықталады. Себебі термодинамикалық ықтималдықпен энтропия тікелей байланысты: екеуіде тепе-теңдік күйде максимал мәндеріне жетеді және кез келген нақты жүйенің тепе-теңдікке өтуі энтропияның да және термодинамикалық ықтималдықтың өсуіне әкеледі, демек процестің өту бағытына сәйкес. Оқшауланған жүйелер үшін

$$dS \geq \frac{dQ}{T}$$

термодинамиканың екінші заңының белгілі түрі. Энтропияның максимал мәні жүйенің тепе-теңдік күйіне сәйкес келеді, демек $S = S_{max}$ энтропия жүйенің ретсіздігінің өлшеуіші болады. Қайтымсыз процесте энтропияның

өсуі жүйенің энергиясының механикалық жұмысқа айналуының қолайсыздау жақтарын белгілейді. Тепе-теңдік күйдегі жүйенің энергиясы, энтропия максимал мәніне жеткенде, тіпті жұмысқа айналдырылмайды

Өзін-өзі тексеруге арналған сұрақтар:

1. Жылу және тоңазытқыш машиналар.
2. Циклдік процестер. Цикл жұмысы.
3. Кельвин принципі.
4. Карно принципі.
5. Карно циклі. Цикл бойынша істелетін жұмыс (қорыту қажет).
6. Келтірілген жылу.
7. Карно циклінің пайдалы әсер коэффициенті.
8. Карно теоремалары.
9. Энтропия. Энтропия күй функциясы? Интегралдаушы көбейтінді.
- 10.Клаузиус теңсіздігі.
- 11.Термодинамикалық теңбе-теңдік.
- 12.Термодинамиканың екінші заңы. Тұжырымдары.
- 13.Қайтымсыз процестер өтетін оқшауланған жүйенің энтропиясы. Энтропияның өсу заңы.
- 14.Қайтымды процестер өтетін адиабатты оқшауланған жүйенің энтропиясы.
- 15.Егер $S(V,T)$ болса, энтропияның толық дифференциалы неге тең болады?
- 16.Жылу берілісіндегі энтропияның өсуі
- 17.Термодинамиканың екінші заңының статистикалық сипаты. Энтропия мен ықтималдық. Энтропия жүйенің ретсіздігінің өлшеуіші.

Негізгі әдебиеттер

- 1.Аскарова А.С., Молдабекова М.С. Молекулалық физика: Оқулық.- Алматы: Қазақ университеті, 2006.- 246 б.
- 2.Матвеев А.Н. Молекулярная физика: Учебник для физич. спец. вузов.—2-е изд., перераб. и доп.—М: Высш. шк., 1987.-360 с.
- 3.Кикоин А.К. Кикоин И.К. Молекулярная физика.-М.: Наука,1976.-480с.
- 4.Савельев И.В. Жалпы физика курсы. Том 1 Механика. Молекулярная физика.Алматы, 2004.-508 б.
- 5.Сивухин Д.В. Общий курс физики, том 2- Термодинамика и молекулярная физика.-М.: Наука, 2002.-552с.

Лекция 11

Тақырыбы: Эндрюстің эксперименттік изотермдері. Нақты газдар изотермдерін талдау. Молекулааралық өзара әрекеттесу күштері мен потенциалдары. Молекулааралық өзара әрекеттесуінің эмпирикалық потенциалдары: қатты сфералар; жұмсақ сфералар (тебудің нүктелік центрі); Леннард-Джонс потенциалы.

Мақсаты: Студенттердің білімін жетілдіру. Толық қанды мағлұмат беру.

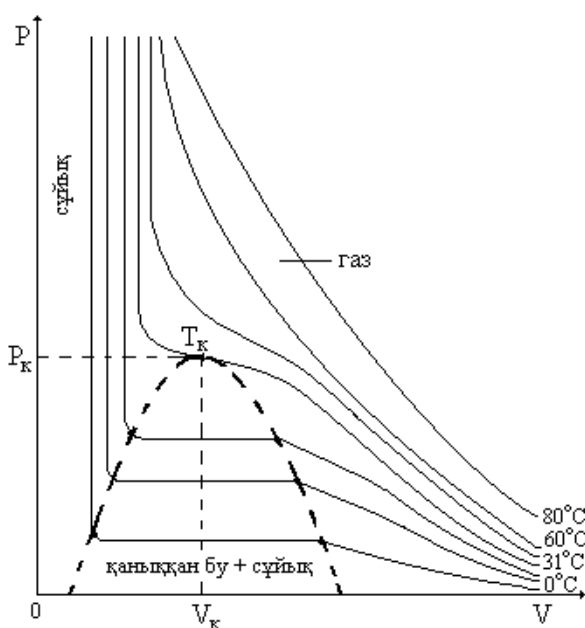
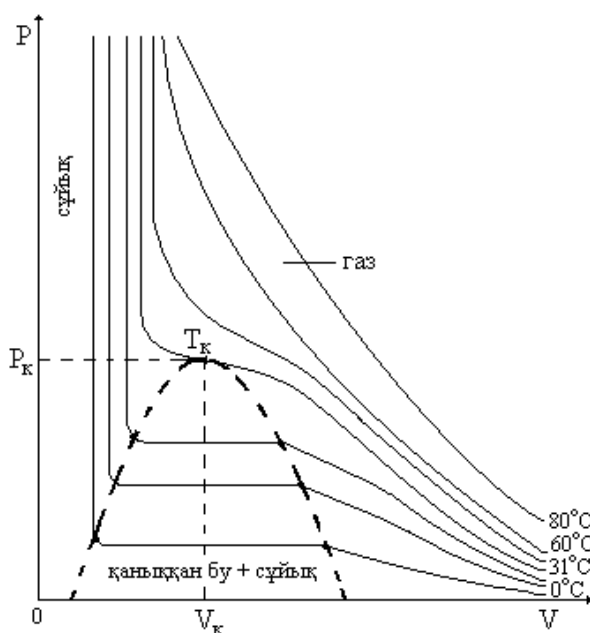
Лекция бойынша тезис:

Нақты газдар қарапайым идеал газ заңдарына бағынбайды, бірақ өте төменгі тығыздықтарда және химиялық реакциялар жоқ кезінде олардың қасиеттері идеал газдыкіне жуық болады. Нақты газдардағы молекулаларды материялық нүктелер деп қарастыруға болмайды. Оның молекулаларының

арасында өзара әрекет тебіліс және тартылыс күштері бар, сондықтан мұндай нақты газдың күйі идеал газ күйінің $pV = RT$ теңдеуінен ауытқиды. Газдың қасиеттерінің идеалдықтан ауытқуын Z сығылғыштық коэффициенті арқылы көрсетуге болады:

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

мұндағы v – мольдік көлем, T – температура, p – қысым, R – универсал



газ тұрақтысы.

Сұйықтар мен газдардың қасиеттерін және олардың өзара байланысын XIX ғ. экспериментте алғашқы зерт-теген ағылшын ғалымы Т.Эндрюс (1813-1885 ж.ж.). Эндрюстің эксперименттік зерттеулерін талдап, теория-лық жалпылауын берген Ван-дер-Ваальс.

Эндрюс CO_2 көмірқышқыл газының қасиеттері қысым ұлғайып, температура төмендегенде сұйықтарға жуықтайтынын тәжірибеден байқаған. 1-суретте темпе-ратураның бірнеше мәндеріне арналған Эндрюстің CO_2 көмірқышқыл газының изотермдері

келтірілген. Температура артқан сайын Эндрюс изотермдердің горизонталь

бөлімдері қысқара береді және бір белгілі температурада нүктеге айналады, горизонталь бөлімінің ұзындығы нөлге тең болады. Осыған сәйкес сұйық пен қаныққан бу тығыздықтарының айырмашылығы мүлдем жойылып кетеді, демек сұйық пен будың арасында айырмашылық жойылады. Осы изотермді *критикалық* немесе *сындық изотерм* деп атайды, ал оған сәйкес температураны, қысымды және көлемді – *критикалық температура* T_K , *критикалық қысым* p_K , *критикалық көлем* V_K немесе *критикалық параметрлер* дейді.

Критикалық температурадан жоғарғы температураларға сәйкес изотермдердің ортасында түзусыздықты бөлім болмайды, олар бірсарынды гиперболаға ұқсас қисықтар түзеді.

Нақты газдардың сұйыққа айналуы үлкен қашықта молекулалар арасында тартылыс күштері болатыны туралы болжау жасатады. Сұйықтардың сығылуға қатты қарсылығы, қашықтық бойынша күрт өзгереді, жақыннан әсер ететін тебу күштері болатынын білдіреді. Екі сфералық молекула арасындағы *өзара әрекеттесу* F *күші* молекулааралық қашықтықтың r функциясы болады. Молекулааралық әрекеттесуді зерттегенде $\phi(r)$ *өзара әрекеттесуінің потенциалдық энергиясын* немесе *потенциалын* қолдану қолайлы. Осы екі $F(r)$ және $\phi(r)$ функциялары өзара қарапайым қатынаста болады:

$$F(r) = -\frac{d\phi}{dr}, \quad \phi(r) = \int_r^{\infty} F(r) dr.$$

Молекулааралық өзара әрекеттесуінің эмпирикалық потенциалдары: қатты сфералар; жұмсақ сфералар (тебудің нүктелік центрі); Леннард-Джонс потенциалы.

Өзін-өзі тексеруге арналған сұрақтар:

1. Идеал газдар қасиеттерінің нақты газдар қасиеттерінен ауытқуы. Z сығылғыштық коэффициенті. $PV=f(P)$ –графикі.
2. Эндрюстің эксперименттік изотермдері. Нақты газдар изотермдерін талдау.
3. Молекулааралық өзара әрекеттесу күштері және өзара әрекеттесуінің потенциалдық энергиясымен байланысы.
4. Молекулааралық өзара әрекеттесуінің эмпирикалық потенциалы: қатты сфералар, графикалық түрі, математикалық кескіні.
5. Молекулааралық өзара әрекеттесуінің эмпирикалық потенциалы: жұмсақ сфералар немесе тебудің нүктелік центрі, графикалық түрі, математикалық кескіні.
6. Молекулааралық өзара әрекеттесуінің эмпирикалық потенциалы: жұмсақ сфералар немесе тебудің нүктелік центрі, графикалық түрі, математикалық кескіні.
7. Молекулааралық өзара әрекеттесуінің эмпирикалық потенциалы: тік бұрышты потенциалдық шұңқыр, графикалық түрі, математикалық кескіні.

8. Молекулааралық өзара әрекеттесуінің эмпирикалық потенциалы: Сюзерленд потенциалы, графикалық түрі, математикалық кескіні.
9. Молекулааралық өзара әрекеттесуінің эмпирикалық потенциалы: Леннард-Джонс потенциалы, графикалық түрі, математикалық кескіні.

Негізгі әдебиеттер

1. Аскарлова А.С., Молдабекова М.С. Молекулалық физика: Оқулық.- Алматы: Қазақ университеті, 2006.- 246 б.
2. Матвеев А.Н. Молекулярная физика: Учебник для физич. спец. вузов.-2-е изд., перераб. и доп.-М: Высш. шк., 1987.-360 с.
3. Кикоин А.К. Кикоин И.К. Молекулярная физика.-М.: Наука, 1976.-480с.
4. Савельев И.В. Жалпы физика курсы. Том 1 Механика. Молекулярная физика. Алматы, 2004.-508 б.
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики, том 2- Термодинамика и молекулярная физика.-М.: Наука, 2002.-552с.

Лекция 12

Тақырыбы: Ван-дер-Ваальс теңдеуі. Ван-дер-Ваальс изотермдері. Заттың критикалық күйі. Критикалық (сындық) температура. Сәйкестік күйлер заңы. Ван-дер-Ваальстің келтірілген теңдеуі.

Мақсаты: Студенттердің білімін жетілдіру. Толық қанды мағлұмат беру.

Лекция бойынша тезис:

Ван-дер-Ваальс теңдеуі нақты газдың қысымын, көлемін және температурасын байланыстырады, сондықтан *нақты газ күйінің теңдеуі* деп аталады. ондағы a және b тұрақты коэффициенттер *Ван-дер-Ваальс тұрақтылары* делінеді. Ван-дер-Ваальс теңдеуінде тартылыс күштері ($\frac{a}{V^2}$ – түзетуші мүше) және тебу күштері (b – түзеткіш) ескерілген. Осы теңдеуде молекула-кинетикалық көзқарастарына сүйеніп, нақты газдың негізгі қасиеттері ескеріліп, алғашқы рет тұжырымдалған. Ван-дер-Ваальс изотермдерінің түрі идеал газдыкіндей гипербола болмайтыны осы графиктен айқын көрінеді. Температура өскен сайын суреттегі теориялық изотермдердің ерекше толқын тәріздес иіліс бөлімі кішірейіп, $T=T_k$ деп белгіленген изотермнің нүктесінде жойылады. Осы T_k температурасы *критикалық температура* деп аталады. Критикалық нүктеде екіфазалық тепе-теңдік сызығы (оны *бинодаль* дейді) және термодинамикалық орнықтылығының шекарасын белгілейтін сызығы, оны *стинодаль* деп атайды, бір-бірімен түйіседі. Сондықтан, критикалық нүкте $\left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_T = 0$, $\left(\frac{\partial^2 p}{\partial V^2}\right)_T = 0$. шарттарға саяды. Бинодальдің ішінде зат екі агрегаттық күйде болады: сұйық және өзінің қаныққан буымен тепе-теңдікті күйде.

Жан-жақты (универсалды) заттың табиғатына тәуелсіз нақты газдың күй теңдеуін Ван-дер Ваальстің теңдеуі бойынша табуға болады. Ол үшін p, V, T күй параметрлерінің сәйкес критикалық p_K, V_K, T_K шамаларға қатысын қолданады, демек:

$$\pi = \frac{p}{p_K}, \quad \varphi = \frac{V}{V_K}, \quad \tau = \frac{T}{T_K},$$

мұндағы π, φ, τ – келтірілген параметрлер деп аталады. Бұл өлшемсіз шамалар сәйкес критикалық параметрлерінің үлесі ретінде анықталған нақты газ параметрлерінің мәндері.

p, V, T -ның орнына $\pi p_K, \varphi V_K, \tau T_K$ -ны қойып және a мен b тұрақтыларын (5.30)-шы формула бойынша p_K, V_K, T_K көмегімен түрлендіріп, келесі теңдеуді аламыз:

$$\left(\pi + \frac{3}{\varphi^2} \right) (3\varphi - 1) = 8\tau \quad \text{немесе} \quad \left(\pi + \frac{3}{\varphi^2} \right) \left(\varphi - \frac{1}{3} \right) = \frac{8}{3} \tau.$$

Бұл формула кез келген заттың келтірілген параметрлерін байланыстырады, жеке заттың қасиеттерін сипаттайтын тұрақтылар кірмейді, сондықтан теңдеу универсалды, барлық заттарға бірдей. Осы теңдеу Ван-дер-Ваальстің *келтірілген күй теңдеуі* деп аталады. π, φ, τ шамалардың әр түрлі заттарға бірдей мәндерінің жиынтығы *сәйкестік күйлерін* анықтайды. Егер үш келтірілген параметрлердің *екеуі* әр түрлі заттарда бірдей болса, онда үшінші параметріде осы заттарда бірдей. Осы заң *сәйкестік күйлер заңы* деп аталады.

Өзін-өзі тексеруге арналған сұрақтар:

1. Ван-дер-Ваальс теңдеуі. Молекулалар арасындағы тебу және тартылыс күштерін ескеру.
2. Ван-дер-Ваальс изотермдері және олардың талдауы. Критикалық температура. Орнықсыз (стабильді емес), метастабильді күйлер. Аса қаныққан бу, асыра қыздырылған сұйық.
3. Заттың критикалық күйі. Критикалық күйін белгілейтін нүктені анықтайтын шарттар. Бинодаль және спинодаль.
4. Заттың критикалық параметрлерін (температурасы, қысымы және a және b Ван-дер-Ваальс тұрақтылары арқылы анықтау.
5. Критикалық нүктедегі заттың сығылғыштығы.
6. Ван-дер-Ваальстің келтірілген теңдеуі. Сәйкестік күйлер заңы.

Негізгі әдебиеттер

1. Аскарова А.С., Молдабекова М.С. Молекулалық физика: Оқулық.- Алматы: Қазақ университеті, 2006.- 246 б.

- 2.Матвеев А.Н. Молекулярная физика: Учебник для физич. спец. вузов.—2-е изд., перераб. и доп.—М: Высш. шк., 1987.-360 с.
- 3.Кикоин А.К. Кикоин И.К. Молекулярная физика.-М.: Наука,1976.-480с.
- 4.Савельев И.В. Жалпы физика курсы. Том 1 Механика. Молекулярная физика.Алматы, 2004.-508 б.
- 5.Сивухин Д.В. Общий курс физики, том 2- Термодинамика и молекулярная физика.-М.: Наука, 2002.-552с.

Лекция 13

Тақырыбы: Молекулалардың соқтығысуының орташа саны және еркін жүру жолының орташа ұзындығы. Релаксация уақыты. Жылуөткізгіштік, тұтқырлық (ішкі үйкеліс), диффузия - тасымалдау құбылыстарының молекула-кинетикалық теориясы. Тасымалдау коэффициенттері.

Мақсаты: Студенттердің білімін жетілдіру. Толық қанды мағлұмат беру.

Лекция бойынша тезис:

Диффузия, тұтқырлық және жылуөткізгіштік құбылыстары бір-бірімен ұқсас, себебі газ немесе сұйық арқылы бұндай процестер кезінде кейбір физикалық шамалардың тасымалдауы байқалады. *Концентрация градиенті* бар болуы себебінен жүйенің бір бөлігінен екіншісіне *массаның* тасымалдауы *диффузия* деп аталады; *ағын жылдамдықтарының градиенті* бар болуы себебінен газ немесе сұйық арқылы жүйенің бір бөлігінен екіншісіне *импульстің* тасымалдауы *тұтқырлық* деп аталады; *температура градиенті* болу нәтижесінде жылулық *энергияның* жүйенің бір бөлігінен екіншісіне тасымалдауы *жылуөткізгіштік* деп аталады. Жалпы осы үш процесті *тасымалдау процестері* дейді. Бірлік уақытта молекуланың соқтығысуының орташа саны *соқтығысу жиілігі* деп аталады. Молекула өзінің ізінше екі соқтығысуы аралығында ұзындығы әр түрлі жол жүреді. Еркін жүру жолының орташа ұзындығы λ (лямбда) бірлік уақыттағы жолға тең. Диффузия коэффициенті сан жағынан 1с уақытта бірлік аудан арқылы градиенті бірге тең болғанда Ұтетін диффузия ағынына тең. *Тұтқырлық коэффициентінің* сандық мені жылдамдық градиенті бірге тең болғанда, бірлік ауданға әсер ететін күшке тең. Осы қарастырған үш тасымалдау құбылыстарды сипаттайтын D, η, χ (жылуөткізгіштік) коэффициенттерін салыстырсақ, арасында байланыстар бар екендігін көреміз:

$$D = \frac{1}{3} \langle v \rangle \lambda = \frac{\chi m_0}{\rho c_v},$$

$$\eta = \frac{1}{3} n m_0 \langle v \rangle \lambda = \rho D,$$

$$\chi = \frac{1}{3} n m_0 \langle v \rangle c_v \lambda = \frac{c_v \eta}{m_0},$$

мұндағы $\rho = m_0 n = \frac{p m_0}{kT}$ – газдың тығыздығы.

Осы қарастырған үш тасымалдау құбылыстарды сипаттайтын D, η, χ коэффициенттері салыстырсақ, арасында байланыстар бар екендігін кҰреміз:

$$D = \frac{1}{3} \langle v \rangle \lambda = \frac{\chi m_0}{\rho c_v},$$

$$\eta = \frac{1}{3} n m_0 \langle v \rangle \lambda = \rho D,$$

$$\chi = \frac{1}{3} n m_0 \langle v \rangle c_v \lambda = \frac{c_v \eta}{m_0},$$

мұндағы $\rho = m_0 n = \frac{p m_0}{kT}$ – газдың тығыздығы.

Өзін-өзі тексеруге арналған сұрақтар:

1. Тасымалдау процестерінің түрлері:
 - тұтқырлық,
 - жылуөткізгіштік,
 - диффузия,
 - термодиффузия.
2. Ньютонның үйкеліс заңы.
3. Фурье заңы.
4. Фик заңы.
5. Тасымалдау коэффициенттері.
6. Молекуланың еркін жүру жолының орташа ұзындығы мен орташа уақыты.
7. Тасымалдаудың жалпы теңдеуі.
8. Айқас құбылыстар.
9. Молекулааралық өзара әрекеттесуін сипаттайтын шамалар арқылы тасымалдау коэффициенттерінің өрнектері.
10. Сиретілген газдағы физикалық құбылыстар.

Негізгі әдебиеттер

1. Аскарова А.С., Молдабекова М.С. Молекулалық физика: Оқулық.- Алматы: Қазақ университеті, 2006.- 246 б.
2. Матвеев А.Н. Молекулярная физика: Учебник для физич. спец. вузов.–2-е изд., перераб. и доп.–М: Высш. шк., 1987.-360 с.
3. Кикоин А.К. Кикоин И.К. Молекулярная физика.-М.: Наука, 1976.-480с.

4.Савельев И.В. Жалпы физика курсы. Том 1 Механика. Молекулярная физика.Алматы, 2004.-508 б.

5.Сивухин Д.В. Общий курс физики, том 2- Термодинамика и молекулярная физика.-М.: Наука, 2002.-552с.

Лекция 14

Тақырыбы: Бірінші және екінші текті фазалық ауысулар. Клапейрон-Клаузиус теңдеуі. Үштік нүкте. Екінші текті фазалық ауысу. Метастабильді күйлер

Мақсаты: Студенттердің білімін жетілдіру. Толық қанды мағлұмат беру.

Лекция бойынша тезис:

Фаза (гректің *phasis* – көріну) – физикалық қасиеттері бойынша сол заттың мүмкін басқа болатын тепе-теңдік күйлерінен айырмашылығы бар, заттың термодинамикалық тепе-теңдік күйі. Фаза біртекті емес (гетерогенді) жүйенің (заттың) біртекті бөлігі, онда барлық бағыттарда физикалық және химиялық қасиеттері бірдей, мысалы ыдыстағы таза су – біртекті немесе гомогенді жүйе, бірақ сол су мұзымен – екіфазалық қоспа немесе гетерогенді жүйе, оның әрбір гомогенді бөліктері (сұйық - су, қатты – мұз) - фазалары. Энергияның немесе т.б. энергиямен байланысты шамалардың, мысалы тығыздық, секіrmелі өзгерісімен қосақталып жүретін фазалық ауысуларды - бірінші текті фазалық ауысулар деп атайды. Бірінші текті фазалық ауысулар кезінде заттардың қасиеттері өте кіші температура интервалында секіrmелі түрде өтеді. Сондықтан, белгілі фазалық ауысу температурасы болады немесе ауысу нүктесі: қайнау нүктесі, қатаю нүктесі және т.б. Бірінші текті фазалық ауысуларға бу-сұйық, сұйық-қатты-дене, бу-қатты дене, қайнау және балқу, магнит өрісіндегі асқын өткізгіштік ауысу және т.б. жатады. Фазалық ауысу температурасы сыртқы параметр p қысымға тәуелді, фазалар тепе-теңдігі берілген температурада белгілі қысымда байқалады. Фазалық тепе-теңдік сызығы Клапейрон-Клаузиус теңдеуі арқылы сипатталады: $dp/dT=L/T(V_2- V_1)$, мұндағы L – ауысудың мольдік жылуы, V_2, V_1 – фазалардың мольдік көлемдері. Клапейрон-Клаузиус теңдеуі температура бойынша тепе-теңдік қысымнан алынған туындыны жылуға ауысуымен, теңбе-теңдіктегі фазалардың температурасы және меншікті көлемдерінің айырымымен байланыстырады. Бірінші текті фазалық ауысулар кезінде жаңа фаза барлық көлемде бірден пайда болмайды. Алдымен жаңа фазаның ұрықтары пайда болып, барлық көлемге жайылады.

Егер жаңа қасиет бірден барлық көлемде байқалатын болса, ол беттік энергиямен байланысты емес, сондықтан қызу немесе аса суу болмайды, мұндай ауысулар - екінші текті фазалық ауысу деп аталады. Мысалы, кристалл торындағы ауысулар, онда белгілі температурада атомдардың ығысуы тордың симметриясын өзгертеді. Бұл кезде қорытпадағы компоненттердің атомдарының ретті орналасуы бұзылып, ретсіздікке әкеледі, демек алыс реттілік жойылады және тордың симметриясы өзгереді, мысалы

ферро- немесе антиферромагнетиктердегі құбылыстар; Кюри нүктесі Бұл ауысулар кезінде жылулық эффектін байқалмайды. Екінші текті фазалық ауысу - ауысу нүктелерінде бірінші туындылары мен фазалар потенциалдары бірдей, ал екінші туындылары ақырлы шамаларға айырылады.

Заттың үш фазасының: қатты, сұйық және газ тәрізді – үшеуі бірдей тепе-теңдікте бола алатын шарттарды анықтайтын нүктені үштік нүкте деп атайды. Үштік нүктеге сәйкес тепе-теңдік қысым және температураның жалғыз мәні анықталады. Үштік нүктеде қатты және сұйық, сұйық және газ, қатты және газ күйлерінің тепе-теңдігін анықтайтын үш қисық бір нүктеде қиылысады.

Өзін-өзі тексеруге арналған сұрақтар:

1. Қандай ауысулар бірінші текті фазалық ауысулар делінеді?
2. Қандай ауысулар екінші текті фазалық ауысулар деп аталады?
3. Клапейрон-Клаузиус теңдеуі қандай шамаларды байланыстырады?
4. Булану процесін түсіндіріңіз.
5. Конденсация процесін түсіндіріңіз.
6. Балқу процесін түсіндіріңіз..
7. Кристалдану дегеніміз не?
8. Сублимация қандай жағдайда байқалады:?
9. Заттың үштік нүктесі деген не?.

Негізгі әдебиеттер

1. Аскарова А.С., Молдабекова М.С. Молекулалық физика: Оқулық.- Алматы: Қазақ университеті, 2006.- 246 б.
2. Матвеев А.Н. Молекулярная физика: Учебник для физич. спец. вузов.—2-е изд., перераб. и доп.—М: Высш. шк., 1987.-360 с.
3. Кикоин А.К. Кикоин И.К. Молекулярная физика.-М.: Наука, 1976.-480с.
4. Савельев И.В. Жалпы физика курсы. Том 1 Механика. Молекулярная физика. Алматы, 2004.-508 б.
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики, том 2- Термодинамика и молекулярная физика.-М.: Наука, 2002.-552с.

Лекция 15

Тақырыбы: Қатты дене. Физиканың қазіргі жағдайы және даму болашағы. Ашық жүйелер физикасы.

Мақсаты: Студенттердің білімін жетілдіру. Толық қанды мағлұмат беру.

Лекция бойынша тезис:

Физиканың әр бір саласында шешілмеген мәселелері қазіргі заманда өте көп. Кванттық метрология кванттық құбылыстар негізінде дамитын өлшеулер туралы ғылым. Негізгі мәселелері физикалық шамалардың өлшем бірліктерін іргелі тұрақтылар арқылы тағайындау № Басты зерттеу бағыттары кванттық эталондарды дайындау және жүзеге асыру. СИ жүйесіндегі физикалық шамалардың кванттық эталондарын табу. Уақыттың өлшемі (секунда) жиіліктің кванттық цезий эталоны көмегімен тағайындалады. Өте жоғары дәлдікпен өлшеу әдістері кванттық интерферометрлерді қажет етеді.

Негізгі әдебиеттер

1. Аскарова А.С., Молдабекова М.С. Молекулалық физика: Оқулық.- Алматы: Қазақ университеті, 2006.- 246 б.
2. Матвеев А.Н. Молекулярная физика: Учебник для физич. спец. вузов.—2-е изд., перераб. и доп.—М: Высш. шк., 1987.-360 с.
3. Кикоин А.К. Кикоин И.К. Молекулярная физика.-М.: Наука, 1976.-480с.
4. Савельев И.В. Жалпы физика курсы. Том 1 Механика. Молекулярная физика. Алматы, 2004.-508 б.
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики, том 2- Термодинамика и молекулярная физика.-М.: Наука, 2002.-552с.