

Оқу пәнінің тақырыбы бойынша дәріс тезистері және дәріс курсын оқу бойынша әдістемелік нұсқаулықтар

Дәріс №1 Кіріспе

- Дәріс жоспары:** 1) Классикалық статистикалық физика негіздері.
2) Макроскопиялық жүйелердің сыртқы және ішкі параметрлері.
3) Термодинамикалық тепе-теңділік

Статистикалық физика пәні макроскопиялық жүйелерді, яғни көптеген жеке бөлшектерден – атомдардан, молекулалардан тұратын жүйелердің қасиеттері мен олар бағынатын заңдылықтарды зерттейді. Статистикалық физика макроскопиялық жүйелердің әртүрлі ортадағы қасиеттерін оларды құрайтын бөлшектердің қасиеттері мен қозғалыс заңдылықтарын негізге ала отырып анықтайды. Микроскопиялық бөлшектердің қозғалыс заңдылықтары кванттық механика заңдылықтарына бағынатыны белгілі. Сондықтан макроскопиялық дене қасиеттері кванттық механикадағы бөлшектің қозғалыс заңдылығынан келіп шығады. Тек бұл жағдайда макродененің қозғалыс заңдылықтарының анықталуы кванттық механиканың классикалық механикадан ерекшелігіне сәйкес күтілуі керек. Бірақ микробөлшектердің қозғалысы классикалық жағдайда қарастырылатын жүйелер де бар. Олардың қозғалысы классикалық механика заңдылықтарына бағынады. Микробөлшектердің қозғалысын сипаттауда классикалық немесе кванттық механика заңдылықтарының қолданылуына байланысты статистикалық физиканың классикалық және кванттық түрі ажыратылады.

Классикалық статистикалық физика негіздері Макроскопиялық жүйелердің сыртқы және ішкі параметрлері. Термодинамикалық тепе-теңділік

Жүйелерді макроскопиялық сипаттауда, яғни олардың макроскопиялық құрылымы ескерілмейтін кезде, жүйенің күйін белгібір макроскопиялық параметрлер жиынтығы арқылы көрсетеміз. Бұл параметрлер сипатына қарай ішкі және сыртқы болып екі топқа бөлінеді. Қарастырылатын жүйе тек сыртқы денелермен әсерлеседі. Қарастырылатын жүйе күйі макроскопиялық сыртқы дене қасиеттеріне тәуелді болса, онда бұндай параметрлер сыртқы параметрлер деп аталады. Оларға мысалы, дененің орналасуын көрсететін өріс координатасы (электрлік, магниттік, гравитациялық). Көбінесе осындай параметр ретінде дене координатасының функциясы болып табылатын өріс кернеулігі қарастырылады. Белгілі бір ыдыстағы газ үшін ыдыс қабырғаларын газ молекулаларын сол берілген ыдыс көлемінен шығып кетпеуін қамтамасыз ететін күштік өріс ретінде сипаттауға болады. Берілген жағдайда газға әсер етуші күш параметрі ретінде ыдыс көлемі алынады. Сонымен қатар сыртқы денелер жүйеге спецификалық молекулярлы да әсер етеді. Қарастырылып отырған жүйеге термодинамикада температурамен сипатталатын молекулярлық қозғалыс қарқындылығы да әсер етеді. Сондықтан қоршаған дене температурасы T сыртқы параметр болып табылады. Егер жүйеге бұндай әсер ету болмаса немесе ескермеуге болатын болса, онда жүйенің адиабаталық изоляциясы (жүйе адиабаттық қабықшамен қоршалған) жайында айтуға болады. Бұл кезде жүйенің күйі оны қоршаған денелер температурасына тәуелді емес. Жүйенің өз қасиеттерін сипаттайтын макроскопиялық шамаларды ішкі параметрлер деп атаймыз. Мысалы, қысым p , диэлектриктің поляризациялануы P , магнетиктің магниттелуі M , тағы с.с. Макроскопиялық тұрғыдан ішкі параметрлер жүйені құрайтын координаттар функциясы мен бөлшектер импульсы арасындағы орташа мәні ретінде анықталуы мүмкін. Ендігіден әрі біз осы әдісті қарастырамыз. Жүйедегі молекулалық қозғалыс дәрежесі температураға

да байланысты. Сол себепті жүйе температурасын ішкі параметр ретінде қарастыруға болады. Тәжірбие көрсеткендей тұйық жүйе немесе белгілі сыртқы жағдайларда орналасқан жүйе, уақыт өтуіне қарай енді өзгермейтін қандайда бір тұрақты күйге келеді. Егер бұндай күйде жүйе мен жүйе арасында, қоршаған денелер арасында және жүйенің өз жеке бөлшектері арасында байқалатын энергия алмасу байқалмаса, онда жүйе күйі тепе-теңдік күйі (немесе термодинамикалық тепе-теңдік күйі) деп аталады. Тепе-теңдік күйде ішкі параметрлер сыртқы параметрлердің функциясы болып табылады. Жүйені сипаттайтын физикалық шамалар экстенсивті (жүйедегі бөлшектер санына пропорционал, мысалы ішкі энергия E , көлем V , масса және т.б.) және интенсивті (тепе-теңдік күйде жүйенің барлық бөлшектері үшін бірдей мәнге ие болатын: температура T , қысым p , химиялық потенциал μ (сыртқы өріс жоқ болған жағдайда)).

Тепе-теңдік күй әдісі ретінде өте баяу жүретін, әр берілген мезетте жүйе тепе-теңдік күйде тұр деп есептелетін және уақыттың белгілі мезетінде сыртқы шарттармен анықталатын квазистационарлық процесстерді қарастыруға болады. Онда барлық процесстер тепе-теңдік күйлердің реттілігі ретінде көрсетіледі. Егер сыртқы параметрлерді кері реттілікпен сол бір ғана мәнді қабылдауға итермелесек, онда квазистатистикалық процесте қарастырылып отырған жүйе тепе-теңдік күйдегі реттілігін кері бағытта өтеді. Сол себепті квазистатикалық процесс қайтымды процесс болып табылады. Келтірілген сыртқы шарттарда жүйенің тепе-теңдік емес күйден тепе-теңдік күйге ауысу уақытын τ релаксация уақыты деп атайды.

Статистикалық физика – көптеген бөлшектерден тұратын макроскопиялық жүйелердің қасиеттерін зерттейтін физиканың бөлімі. Макроскопиялық денелер атомдардан, молекулалардан және басқа да микробөлшектерден тұрады. Бұл бөлшектер үнемі қозғалыста болады және өзара әсерлеседі.

Макроскопиялық жүйедегі бөлшектер саны өте үлкен. Мысалы, бір моль заттың құрамындағы бөлшектер саны Авогадро тұрақтысымен анықталады:

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

Мұндағы: N_A - Авогадро тұрақтысы; $6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ – бір моль заттағы бөлшектер санына сәйкес келетін тұрақты шама.

Бөлшектер санының өте көп болуы жүйені жеке бөлшектердің қозғалысы арқылы толық сипаттауды қиындатады. Сондықтан статистикалық физикада жеке бөлшектердің қозғалысынан гөрі олардың орташа статистикалық қасиеттері қарастырылады.

Статистикалық физиканың негізгі мақсаты – микроскопиялық бөлшектердің қозғалысы мен макроскопиялық шамалар арасындағы байланысты анықтау. Мысалы, газдың қысымы молекулалардың ыдыс қабырғасына соқтығысуынан пайда болады. Температура молекулалардың жылулық қозғалысымен байланысты. Ал жүйенің ішкі энергиясы оның бөлшектерінің қозғалысымен және олардың өзара әсерлесуімен анықталады.

Макроскопиялық және микроскопиялық сипаттама. Жүйенің күйін екі түрлі жолмен сипаттауға болады: микроскопиялық және макроскопиялық сипаттама арқылы. Микроскопиялық сипаттама кезінде жүйенің әрбір бөлшегінің координаталары мен импульстері қарастырылады. Ал макроскопиялық сипаттамада бүкіл жүйеге ортақ физикалық шамалар пайдаланылады. Мысалы, газды сипаттау үшін оның қысымын, көлемін және температурасын білу жеткілікті болуы мүмкін.

Негізгі макроскопиялық параметрлер:

p – қысым;

V – көлем;

T – абсолют температура;

U – ішкі энергия;

S – энтропия.

Осы шамалар жүйенің макроскопиялық күйін сипаттайды.

Идеал газдың күй теңдеуі. Макроскопиялық параметрлер бір-бірімен белгілі бір байланыста болады. Идеал газ үшін бұл байланыс мына теңдеумен өрнектеледі: **$pV = NkBT$** .

Мұндағы: **p** – газ қысымы, Па;

V – газ көлемі, м³;

N – газ молекулаларының саны;

kB – Больцман тұрақтысы;

T – абсолют температура, К.

Больцман тұрақтысының мәні: **$kB = 1,380649 \cdot 10^{-23}$ Дж/К**. Егер газдың мөлшері мольмен берілсе, идеал газдың күй теңдеуі мына түрде жазылады: **$pV = nRT$** . Мұндағы:

n – зат мөлшері, моль;

R – универсал газ тұрақтысы;

T – абсолют температура.

Универсал газ тұрақтысының мәні: **$R = 8,314$ Дж/(моль·К)**. Бұл теңдеу газдың қысымы, көлемі және температурасы арасындағы байланысты көрсетеді.

Сыртқы параметрлер. Сыртқы параметрлер деп жүйенің қоршаған ортамен өзара әрекеттесу жағдайларын сипаттайтын шамаларды айтамыз. Мысалы, цилиндр ішіндегі газды қарастырайық. Газдың көлемі қозғалмалы поршеньнің орналасуына байланысты болады. Поршеньді жылжыту арқылы газ көлемін өзгертуге болады. Бұл жағдайда газдың көлемі жүйеге сырттан берілген параметр ретінде қарастырылады. Сыртқы параметрлерге жүйенің көлемі, сыртқы электр және магнит өрістерінің сипаттамалары, механикалық әсерлер және басқа да сыртқы жағдайлар жатады.

Ішкі параметрлер. Ішкі параметрлер жүйенің ішкі күйін сипаттайды. Оларға қысым, температура, тығыздық, ішкі энергия, энтропия және химиялық потенциал жатады. Газдың қысымының молекулалардың қозғалысымен байланысын молекулалық-кинетикалық теория арқылы көрсетуге болады:

$$p = (1/3) \cdot (N/V) \cdot m \cdot \langle v^2 \rangle.$$

Мұндағы:

p – газ қысымы;

N – молекулалар саны;

V – газ көлемі;

m – бір молекуланың массасы;

$\langle v^2 \rangle$ – молекулалардың жылдамдықтарының квадраттарының орташа мәні. Бұл формуладан газ қысымының молекулалардың қозғалысымен тікелей байланысты екенін көреміз.

Термодинамикалық шамаларды жүйенің мөлшеріне тәуелділігіне қарай экстенсивті және интенсивті шамаларға бөледі. Экстенсивті шамалар жүйенің мөлшеріне тәуелді болады. Оларға көлем, ішкі энергия, энтропия және бөлшектер саны жатады. Мысалы, жүйе екі бөлікке бөлінсе, оның толық көлемі: **$V = V_1 + V_2$** болады. Мұндағы:

V – жүйенің толық көлемі;

V₁ – бірінші бөліктің көлемі;

V₂ – екінші бөліктің көлемі.

Сол сияқты жүйенің ішкі энергиясы:

U = U₁ + U₂ түрінде жазылады.

Мұндағы **U** – толық ішкі энергия, ал **U₁** және **U₂** – жүйенің жеке бөліктерінің ішкі энергиялары. Интенсивті шамалар жүйенің мөлшеріне тәуелді емес. Оларға температура,

қысым және тығыздық жатады.

Термодинамикалық тепе-теңдік. Егер жүйенің макроскопиялық параметрлері уақыт бойынша өзгермейтін болса және жүйеде макроскопиялық бағытталған процестер жүрмесе, онда жүйе термодинамикалық тепе-теңдік күйінде болады. Мысалы, температуралары әртүрлі екі денені бір-бірімен жанастырғанда, олардың арасында жылу алмасу жүреді. Жылу температурасы жоғары денеден температурасы төмен денеге беріледі. Біраз уақыттан кейін олардың температуралары теңеседі. Екі дене үшін жылулық тепе-теңдіктің шарты: $T_1 = T_2$. Мұндағы: T_1 – бірінші дененің температурасы; T_2 – екінші дененің температурасы.

Температуралар теңескеннен кейін жүйе жылулық тепе-теңдік күйіне келеді.

Механикалық тепе-теңдік. Механикалық тепе-теңдік жүйенің әртүрлі бөліктеріндегі қысымдардың теңесуіне байланысты. Қарапайым жағдайда механикалық тепе-теңдік шарты: $p_1 = p_2$. Мұндағы: p_1 – жүйенің бірінші бөлігіндегі қысым; p_2 – жүйенің екінші бөлігіндегі қысым. Егер қысымдар тең болмаса, жүйеде қозғалыс пайда болады. Мысалы, қозғалмалы поршеньнің екі жағындағы қысымдар әртүрлі болса, поршень қысымы жоғары жақтан қысымы төмен жаққа қарай қозғалады.

Химиялық тепе-теңдік. Химиялық реакциялар жүретін жүйелерде химиялық тепе-теңдік ұғымы қолданылады. Тепе-теңдік кезінде жүйенің тиісті компоненттерінің химиялық потенциалдары белгілі бір тепе-теңдік шартын қанағаттандырады. Екі фаза арасындағы қарапайым жағдайда: $\mu_1 = \mu_2$. Мұндағы: μ_1 – бірінші фазаның химиялық потенциалы; μ_2 – екінші фазаның химиялық потенциалы.

Тепе-теңдік күйінің статистикалық сипаты. Термодинамикалық тепе-теңдік кезінде жүйенің макроскопиялық параметрлері тұрақты болғанымен, оның құрамындағы бөлшектер қозғалысын тоқтатпайды. Мысалы, белгілі бір температурадағы газдың молекулалары әртүрлі жылдамдықтармен әртүрлі бағытта қозғалады. Молекулалар бір-бірімен және ыдыс қабырғаларымен соқтығысады. Бірақ өте көп бөлшектердің қозғалысын орташа есептегенде газдың қысымы мен температурасы тұрақты болып қалады. Демек, термодинамикалық тепе-теңдік – бөлшектер қозғалысы тоқтаған жағдай емес. Бұл – микроскопиялық қозғалыстардың статистикалық нәтижесінде макроскопиялық параметрлер тұрақты болатын күй. Жүйенің макроскопиялық күйіне көптеген микроскопиялық күйлер сәйкес келуі мүмкін. Осы микрокүйлердің саны мен энтропия арасындағы байланысты Больцман формуласы көрсетеді:

$$S = k_B \ln W.$$

Мұндағы: S – жүйенің энтропиясы, Дж/К;

k_B – Больцман тұрақтысы;

W – берілген макроскопиялық күйге сәйкес келетін микроскопиялық күйлер саны;

$\ln$ – натурал логарифм. Бұл формула энтропияның статистикалық мағынасын көрсетеді. Берілген макроскопиялық күйге сәйкес келетін микрокүйлер саны көп болған сайын, оның энтропиясы да жоғары болады.

Сонымен, классикалық статистикалық физика көптеген бөлшектерден тұратын жүйелердің қасиеттерін олардың микроскопиялық құрылымы негізінде түсіндіреді. Макроскопиялық жүйені сипаттау үшін қысым, көлем, температура, ішкі энергия және энтропия сияқты шамалар қолданылады. Сыртқы параметрлер жүйенің сыртқы ортамен байланысын сипаттайды, ал ішкі параметрлер жүйенің ішкі физикалық күйін көрсетеді. Термодинамикалық тепе-теңдік кезінде жүйенің макроскопиялық параметрлері тұрақты болады. Бұл кезде бөлшектердің ретсіз қозғалысы тоқтамайды. Тепе-теңдік – көптеген микроскопиялық процестердің статистикалық нәтижесінде қалыптасатын макроскопиялық тұрақты күй. Статистикалық физиканың негізгі мақсаты – микроскопиялық заңдылықтардан макроскопиялық қасиеттерді түсіндіру. Осыған байланысты ол молекулалық физика мен термодинамиканың теориялық негіздерінің бірі болып табылады.

Бақылау сұрақтары:

1. Макроскопиялық жүйе дегеніміз не?
2. Макроскопиялық жүйенің сыртқы және ішкі параметрлерін анықтаңыз.
3. Сыртқы параметрлерге қандай физикалық шамалар жатады?
4. Ішкі параметрлерге қандай физикалық шамалар жатады?
5. Микроскопиялық және макроскопиялық сипаттау әдістерінің айырмашылығы неде?
6. Микроскопиялық бөлшектердің қозғалысын физиканың қай саласы зерттейді?
7. Статистикалық физиканың негізгі зерттеу объектісі қандай?
8. Идеал газдың күй теңдеуін жазыңыз және ондағы шамалардың физикалық мағынасын түсіндіріңіз.
9. $pV = Nk_B T$ формуласындағы шамаларды түсіндіріңіз.
10. Макроскопиялық жүйенің күйін сипаттайтын негізгі термодинамикалық параметрлерді атаңыз.
11. Экстенсивті және интенсивті физикалық шамалар дегеніміз не?
12. Экстенсивті шамаларға қандай физикалық шамалар жатады?
13. Интенсивті шамаларға қандай физикалық шамалар жатады?
14. Идеал газдың қысымы молекулалардың қозғалысымен қалай байланысты?
15. Идеал газ қысымының молекулалық-кинетикалық теориядағы өрнегін жазыңыз және шамалардың мағынасын түсіндіріңіз.
16. Термодинамикалық тепе-теңдік дегеніміз не?
17. Жүйенің қандай күйін тепе-тең күй деп атайды?
18. Термиялық тепе-теңдік дегеніміз не және оның негізгі шарты қандай?
19. Механикалық және химиялық тепе-теңдіктің негізгі шарттарын түсіндіріңіз.
20. Термодинамикалық тепе-теңдік кезінде жүйедегі микроскопиялық қозғалыстар тоқтай ма? Жауабыңызды түсіндіріңіз.

Пайдаланған әдебиеттер: негізгі әдебиет – [1-7], қосымша әдебиет [1-3]