

Մարմուկոպական մարմինների ուսումնասիրման ջերմադինամիկական և վիճակագրական եղանակները:
Սոլեկտուային-կինետիկ տեսության հիմնական դրույթները: Վիճակի պարամետրեր : Ջերմադինամիկական (ջերմային) հավասարակշռություն : Իդեալական գազ: Սոլեկտուային-կինետիկ տեսության հիմնական հավասարումը իդեալական գազի ճնշման համար (առանց արտածման): Սոլեկտուների համբութաց շարժման միջին կինետիկ էներգիան : Ջերմաստիճան, որս մոլեկուլային-կինետիկ և ջերմադինամիկական մեկնաբանությունները :

Ֆիզիկայի այն բաժինը, որն ուսումնասիրում է մարմուկոպական մարմինների (այսինքն, մեծ քանակությամբ մասնիկներից կազմված ֆիզիկական համակարգի) հաստկությունները և նրանցում ընթացող պրոցեսները, հիմնվելով այդ մարմինների միկրոսկոպական կառուցվածքի վրա, կոչվում է **մոլեկուլային ֆիզիկա** : Գոյություն ունի այդպիսի ուսումնասիրություններ իրականացնելու երկու եղանակ՝ ստատիստիկ (վիճակագրական կամ մոլեկուլային-կինետիկ) և ջերմադինամիկական : Նախքան այդ մեթոդների մասին խոսելը, ծանոթանանք մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնական դրույթների հետ:

Սոլեկտուային-կինետիկ տեսության հիմնական դրույթները: Մեզ շրջապատող մարմինները մենք ստորաբաժանում ենք երեք հիմնական դասի՝ գազային, հեղուկ և պինդ մարմիններ: Այդ մարմինները (գոնե հեղուկ և պինդ) մեզ թվում են հոծ: Սակայն բնության մեջ մենք դիտում ենք երևույթներ, որոնք նշում են, որ մեր գգայարանները մեզ մոլորության մեջ են գցում մարմինների կառուցվածքի իրական պատկերի վերաբերյալ: Օրինակ, հայտնի է որ պինդ մարմինները արտաքին դեֆորմացիայի ենթարկվելիս, կամ որանք տաքացնելիս կամ սառեցնելիս, փոխում են իրենց ծավալը: Այդ երևույթները բացատրել և հասկանալ դժվար է, եթե մարմինները դիտարկենք հոծ, և ընդհակառակը, շատ հեշտ է բացատրվում, եթե համարենք մարմինները կազմված շատ մեծ թվով շատ փոքր մասնիկներից՝ **ասումներից և մոլեկուլներից**: Ծավալի փոփոխությունը կարելի է բացատրել այդ մասնիկների միջև հեռավորության փոփոխությամբ: Տվյալ մարմինը կազմող նյութի փոքրագույն մասնիկները, որոնք դեռ կրում են տվյալ նույթի հատկությունները անվանում են **մոլեկուլներ**:

Պարզ է, որ նյութը կազմող մոլեկուլները և ատոմները փոխազդում են, և այդ փոխազդեցությունները ձգողության և վանողության ուժերի բնույթի են:

Դիֆուզիայի և բրունյան շարժման երևույթները թույլ են տալիս գալ այն եզրահանգման, որ մարմինը կազմող մասնիկները գտնվում են անընդհատ, քառային շարժման վիճակում: Սոլեկտուլերի այդպիսի շարժումը ընդունված է անվանել **ջերմային**: Համապատասխան փորձերը ցույց են տալիս, որ ատոմների և մոլեկուլների չափերը շատ փոքր են (10^{-10} մ-ի կարգի), և, հետևաբար, նրանց թիվը նյութի անգամ չնշն քանակում շատ մեծ է (10^{23} կարգի): Այսպիսով կարող ենք կատարել եզրակացություն՝

1. Նյութը կազմված է փոքրագույն մասնիկներից՝ ասումներից և մոլեկուլներից:

2. Ասումները և մոլեկուլները գտնվում են անընդհատ քառային (ջերմային) շարժման մեջ:

3. Նյութը կազմող մասնիկները փոխազդում են միմյանց հետ:

Այս պնդումները հայտնի են **մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնադրույթներ** անվան տակ և կազմում են նյութի կառուցվածքի մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմքը:

Մարմուկոպական մարմինների ուսումնասիրման ջերմադինամիկական և վիճակագրական եղանակները:

Սոլեկտուային-կինետիկ (վիճակագրական) մեթոդը հիմնված է այն պատկերացման վրա, որ բոլոր նյութերը բաղկացած են քառային շարժման մեջ գտնվող մոլեկուլներից: Առաջին հայացքից թվում է, թե գրելով մեխանիկա բաժնից հայտնի դինամիկայի հիմնական հավասարումը բոլոր մասնիկների համար և նրանց համատեղ լուծելով, կարող ենք պատկերացում կազմել մարմնի վարքի վերաբերյալ: Սակայն, բացի

տեխնիկական դժվարությունից (պետք է համատեղ լուծել շատ մեծ քանակությամբ հավասարումներից բաղկացած համակարգ) այստեղ ի հայտ է գալիս նաև սկզբունքային դժվարություն : Մեծ քանակությամբ մասնիկներից կազմված համակարգը ձեռք է բերում նոր որակներ, որոնք կրում են վիճակագրական բնույթ : Հետևաբար, չափազանց մեծ թվով մոլեկուլներից կազմված ամբողջական նյութի համար կարելի է գտնել որոշակի օրինաչափություններ կիրառելով միմիայն վիճակագրության օրենքները :

Մարմինների տարբեր հատկությունները և նյութի վիճակի փոփոխություններն ուսումնասիրվում են նաև ջերմադիմամիկայում: Սակայն, ի տարբերություն մոլեկուլային-կինետիկ տեսության, ջերմադիմամիկայում ուսումնասիրվում են մարմինների և բնության երևույթների մակրոստացիկ հատկությունները, առանց նրանց միկրոսկոպացիկ հատկությունները նկատի ունենալու: Զերմադիմամիկայի հիմքում ընկած են մի քանի հիմնական օրենքներ, որոնք սահմանվել են մեծ թվով փորձնական փաստերի ընդհանրացման հիման վրա: Այդ պատճառով ջերմադիմամիկայի եզրակացությունները կրում են շատ ընդհանուր բնույթ:

Ուսումնասիրելով նյութի վիճակի փոփոխությունները տարբեր տեսանկյուններից, ջերմադիմամիկան և մոլեկուլային-կինետիկ տեսությունը լրացնում են միմյանց՝ ըստ էության կազմելով մի ամբողջություն:

Մոլեկուլային ֆիզիկայում **ջերմաստիճանի հասկացությունը** ամենակարևորներից մեկն է: Զերմաստիճանի քանակական որոշումը հաստատելու համար անհրաժեշտ է ներմուծել ջերմադիմաստիճան հավասարակշռության հասկացությունը: Պարզաբանենք ասվածը: Դիտարկենք մի քանի մարմիններ (մարմինների համակարգ)^a տաքացրած երկաթ (Ա մարմին), սենյակային ջերմաստիճանի ջուր (Բ մարմին) և սառույց (Ը մարմին):

Կատարենք պայմանական գրանցում, որը ցույց կտա, թե այդ մարմինների միջև ջերմափոխանակության դեպքում ինչպես է կատարվում մարմինների էներգիայի փոփոխությունը.

C→B→A:

Ալաքների ուղղությունը ցույց է տալիս, թե ջերմափոխանակության ժամանակ ո՞ք մարմինից որին է փոխանցվում էներգիան: Զերմափոխանակության դեպքում էներգիան միշտ ավելի բարձր ջերմաստիճան ունեցող մարմինից փոխանցվում է ավելի ցածր ջերմաստիճան ունեցող մարմինին: Ի վերջո, վրա է հասնում մարմինների համակարգի մի վիճակ, որի դեպքում համակարգի մարմինների միջև ջերմափոխանակությունը կբացակայի: Այդպիսի վիճակն անվանում են ջերմային հավասարակշռություն: Զերմային հավասարակշռության մեջ գտնվող մարմիններն ունեն միևնույն ջերմաստիճանը:

Եթե մարմինների համակարգը գտնվում է ջերմային հավասարակշռության մեջ, ապա նրա մասերի ծավալը, ջերմաստիճանն ու վիճակի այլ բնութագրիները ժամանակի ընթացքում չեն փոփոխվում: Մարմինների միջև ջերմափոխանակության ուղղությունը որոշելու ջերմաստիճանի հատկությունը ջերմադիմամիկայում ամենակարևորն է:

Զերմաստիճանի փոփոխության դեպքում փոփոխվում են մարմինների չափերը, նրանց ծավալները, կեկտրական դիմադրությունը և այլ հատկություններ: Ընդհանրապես, բոլոր ֆիզիկական և քիմիական երևույթների մեծ մասի մեջ դիտվում է կախում ջերմաստիճանից: Այդպիսով «ջերմաստիճանը կարելի է որոշել տվյալ նյութի չափման համար հարմար որևէ ֆիզիկական հատկության փոփոխության միջոցով»: Զերմաստիճանի միարժեք որոշման համար անհրաժեշտ է ջերմաչափական մարմնի և ջերմաստիճանային պարամետրերի ընտրությունը:

Զերմաստիճանային որոշակի միջակայքերի համար որպես ջերմաչափական մարմին կարելի է ընտրել զարգացած (օրինակ ջրածնին) կամ հեղուկ (սնդիկ, սպիրտ): Դրանց ջերմաստիճանային պարամետրը ծավալն է: Զերմաստիճանային պարամետրեր կարող են լինել մի քանի կիսահաղորդիչների և հաղորդիչների դիմադրությունները, ճառագայթման ինտենսիվությունը և այլն: Զերմաստիճանային պարամետրը պետք է ջերմաստիճանի փոփոխման հետ փոփոխվի անընդհատ և մոնուոն, այսինքն^a այն տարբեր ջերմաստիճաններում չպետք է ունենա միևնույն արժեքները:

Ներկայումս կիրառում են միայն ջերմաստիճանային երկու սանդղակ՝ ջերմադիմամիկական, որն

աստիճանավորված է կելվիններով (Կ) և Միջազգային գործնական^թ աստիճանավորված Ցելսիուսի աստիճաններով: Զերմադինամիկական ջերմաստիճանը (Տ) և ջերմաստիճանն ըստ Միջազգային գործնական սանդղակի (Ը) կապված են հետևյալ առնչությամբ^թ

$$T=273C^0+t$$

Զերմաստիճանի ֆիզիկական իմաստի հասկցությունը կրացահայտվի զագերի մոլեկուլային-կինետիկ տեսության և ջերմադինամիկայի հիմունքների ուսումնասիրությանը գուգընթաց:

Վիճակի հավասարում: Իդեալական գազ: Մոլեկուլային-կինետիկ տեսություն հիմնական հավասարումը:

Մարմինների ցանկացած ֆիզիկական համակարգ կարող է գտնվել տարբեր վիճակներում: Համակարգի վիճակի քանակական բնութագրման համար կարող են օգտագործվել մեր համակարգի այս կամ այն հատկությունը բնութագրող ֆիզիկական մեծություններ, որոնք կոչվում են համակարգի պարամետրեր: Այդպիսի պարամետրեր են՝ գազի p ճնշումը, T ջերմաստիճանը, V ծավալը, ρ խտությունը և այլն:

Պարզվում է, որ մակրոսկոպական պարամետրերը միմյանցից անկախ չեն: Օրինակ, եթե փոխենք գազի ճնշումը, ապա համապատասխանորեն կփոխվեն նաև նրա ծավալն ու ջերմաստիճանը: Ուրեմն պարամետրերի միջև կա փոխադարձ կապ, որը ընդհանուր դեպքում կարելի է գրել հետևյալ տեսքով՝ $F(p, V, T) = 0$:

Այսպիսի հավասարումը անվանում են համակարգի վիճակի հավասարում: Ընդհանուր դեպքում այս հավասարման ձգրիտ տեսքը կամայական համակարգի համար որոշելի բավականին բարդ խնդիր է: Այն պարզեցնելու համար նպատակահարմար է այն որոշել համեմատաբար պարզ՝ “իդեալական գազ” կոչող, մոդելային համակարգի համար: Իդեալական են անվանում այն գազը, որը կազմված է հեռավորության վրա չփոխազդող նյութական կետեր համարվող մասնիկներից՝ մոլեկուլներից, որոնց միջև բախումները համարվում են բացարձակ առաձգական:

Այժմ, մինչև իդեալական գազի վիճակի հավասարումը ստանալը, հիմնվելով մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնադրույթների վրա, բացատրենք, թե ինչպես կարելի է հաշվել ճնշումը գազ պարունակող անոթի պատերի վրա: Գազի մոլեկուլները իրենց քառսային շարժման ընթացքում հարվածում են անոթի պատերին բացարձակ առանձգականորեն և անդրադարձում: Արդյունքում, տեղի է ունենում մասնիկի խմբությի փոփոխություն, որի պատճառը պատի կողմից մասնիկի վրա ազդող հակազդեցության ուժն է: (Համաձայն Նյուտոնի III-րդ օրենքի, ինչ ուժով մասնիկն ազդում է պատի վրա, նույն ուժով պատն է ազդում մասնիկի վրա): Գումարելով բոլոր մասնիկների ազդեցությունները և հարաբերելով դա ազդման մակերեսին (այսինքն՝ անոյի պատերի ընդհանուր մակերեսին), ստանում ենք գազի կողմից գործադրած p ճնշումը անոթի պատերին: Համապատասխան դատողությունների և հաշվարկների հիման վրա ստանում ենք՝ $p = \frac{1}{3} n m_0 \langle \mathbf{V}^2 \rangle$, որտեղ m_0 -ը գազի մեկ մոլեկուլի զանգվածն է, n -ը մոլեկուլների կոնցենտրացիան է (միավոր ծավալում եղած մոլեկուլների քանակը), $\langle \mathbf{V}^2 \rangle$ -ը մոլեկուլի համընթաց շարժման արագության քառակուսու միջինն է (արագության քառակուսու միջինը հավասար չէ միջին արագության քառակուսուն): Կատարելով ձևափոխություն, p -ի համար արտահայտությունը կարող ենք բերել հետևյալ տեսքի՝

$$p = \frac{2}{3} n \frac{m_0}{2} \langle \mathbf{V}^2 \rangle = \frac{2}{3} n \left\langle \frac{m_0 \mathbf{V}^2}{2} \right\rangle = \frac{2}{3} n \langle \varepsilon \rangle, \text{ որտեղ } \langle \varepsilon \rangle = \left\langle \frac{m_0 \mathbf{V}^2}{2} \right\rangle, \varepsilon - \text{ը մոլեկուլի համընթաց շարժման միջինմական է:}$$

$$\text{Այսպիսով, } \boxed{p = \frac{2}{3}n \left\langle \frac{m_0 \mathbf{V}^2}{2} \right\rangle = \frac{2}{3}n \langle \varepsilon \rangle} \text{ մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնական հավասարումն է,}$$

ըստ որի՝ **ճնշումը հավասար է միավոր ծավալում գտնվող մոլեկուլների համընթաց շարժման միջին էներգիայի երկու երրորդին:**

Իդեալական գազի վիճակի հավասարման ստացումը մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնական հավասարումից:

Անփոփոխ ծավալում գտնվող գազի n կոնցենտրացիան, ինչպիսի փոփոխություններ էլ որ կատարվեն գազի հետ, մնում է նույնը ($n = \frac{N}{V}$): Մինչդեռ հայտնի է, որ հաստատուն ծավալում կարելի է փոխել գազի ճնշումը՝ նրան տաքացնելով կամ սառեցնելով, այլ կերպ ասած՝ փոխելով գազի T ջերմաստիճանը: Սա նշանակում է, որ մի կողմից $\boxed{p \sim T}$, մյուս կողմից ըստ մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնական հավասարման $\boxed{p \sim \langle \varepsilon \rangle}$: Ուրեմն, $\langle \varepsilon \rangle$ -ի և T -ի միջև որոշակի կապը գոյություն ունի՛ Ստացվում է, որ գազի ջերմաստիճանը որորշվում է մոլեկուլների համընթաց շարժման միջին էներգիայով: Այս պնդումն իդեալական գազի համար կիրառելիս հարմար է գրել $\langle \varepsilon \rangle = \frac{3}{2}kT$ տեսքով: k համեմատականության գործակիցը անվանում են *Բոլցմանի հաստատուն*: Տեղադրելով $\langle \varepsilon \rangle$ -ի այսպիսի արտահայտությունը ճնշման բանաձևի մեջ, ստանում ենք՝ $\boxed{p = nkT}$, և քանի որ $n = \frac{N}{V}$, ապա $\boxed{pV = NkT}$: Եթե գազում եղած մոլեկուլների N թիվը բաժանենք մեկ մոլում եղած N_A մոլեկուլների թվին, ապա կստանանք այդ գազում մոլերի V թիվը: $\boxed{N_A \cdot k = R}$ մեծությունը կոչվում է ունիվերսալ գազային հաստատուն: Հաշվի առնելով, որ $\frac{m}{\mu} = \frac{N}{N_A} = \nu$, վերջնականապես, ստանում ենք՝ $\boxed{pV = \nu RT = \frac{m}{\mu} RT}$: Ստացված հավասարումը իդեալական գազի վիճակի հավասարումն է և կոչվում է *Սենդելէել-Կլապեյրոնի հավասարում*:

Բնութագրական արագություններ: Մոլեկուլների համընթաց շարժման միջին կինետիկ էներգիան:
Մոլեկուլների ազատության աստիճանների թիվ: Էներգիայի հավասարաչափ բաշխման օրենքը
դասական ֆիզիկայում ըստ մոլեկուլի ազատության աստիճանների:

Ինչպես տեսնում ենք, մոլեկուլների համընթաց շարժման միջին էներգիան որոշվում է $\langle \varepsilon \rangle = \frac{3}{2}kT$ բանաձևով, որից հետևում է, որ ջերմաստիճանը ֆիզիկական մեծություն է, որը համեմատական է մոլեկուլների համընթաց շարժման միջին էներգիային: Համաձայն մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնական հավասարման՝ մոլեկուլների ջերմային շարժման միջին էներգիան որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝ $\langle \varepsilon \rangle = \langle m\mathbf{V}^2/2 \rangle = (m/2)\langle \mathbf{V}^2 \rangle$, որտեղից՝ $\langle \mathbf{V}^2 \rangle = 3kT/m$: Քառակուսի արմատը $\langle \mathbf{V}^2 \rangle$ մեծությունից կոչվում է սիցին քառակուսային արագություն՝ $\mathbf{V}_{\text{ս.ք.}} = \sqrt{\langle \mathbf{V}^2 \rangle} = \sqrt{3kT/m}$ Առաջենք առ արագության քառակուսու միջինը հավասար չէ միջին արագության քառակուսուն՝ $\langle \mathbf{V}^2 \rangle \neq \langle \mathbf{V} \rangle^2$: Միջին

քառակուսային արագության հետ մեկտեղ հաճախ օգտագործվում է նաև մոլեկուլների $\langle \mathbf{v} \rangle$ միջին արագությունը, որը հավասար է զազում եղած բոլոր N մոլեկուլների արագությունների միջինին՝ $\mathbf{v}_{\text{մ}} = \langle \mathbf{v} \rangle$:

Պարզ է, որ $q_{\text{ազ}}$ միայն միատում մոլեկուլներն են, որոնք կարող են միայն համընթաց շարժվել: Երկատում և բազմատում մոլեկուլները բացի համընթացիցը կարող են մասնակցել նաև պտտական և տատանողական շարժումների: Շարժումների այս տեսակները կապված են էներգիայի որոշակի պաշարի հետ, որոնց արժեքները հաշվում են դասական ստատիստիկական ֆիզիկայում հաստատված էներգիայի՝ ըստ ազատության աստիճանների հավասարաբշխման օրենքի: Նախքան այդ օրենքի ձևակերպումը սահմանենք **ազատության աստիճանների թիվը** Մեխանիկական համակարգի ազատության ստիճանների թիվը կոչվում է այն անկախ մեծությունների քանակը, որոնց միջոցով կարելի տալ համակարգի դիրքը տարածության մեջ: Նյութական կետի դիրքը տրվում է նրա երեք կոորդինատներով, օրինակ՝ դեկարտյան x, y, z , կամ սֆերիկ r, θ, φ կոորդինատներով: Այդ պատճառով ասում ենք, որ նյութական կետը ունի երեք ազատության աստիճան: Բացարձակ պինդ մարմնի դիրքը կարելի է որոշել նրա զանքվածի կենտրոնի x, y, z կոորդինատների և տարածության մեջ նրա կողմնորոշումը ցույց տվող θ, φ, ψ անկյունների միջոցով: Հետևաբար պինդ մարմնի ազատության աստիճանների թիվը վեցն է: Մարմնի համընթաց շարժման դեպքում փոխվում են միայն զանքվածի կենտրոնի x, y, z կոորդինատները, իսկ θ, φ, ψ անկյունները մնում են անփոփոխ: Այդ պատճառով համապատասխան ազատության աստիճանների թիվը կոչվում են **համընթաց**: Պտտույտը պայմանավորված է θ, φ, ψ անկյունների փոփոխմամբ և համապատասխան ազատության աստիճանների թիվը կոչվում է **պտտական**: N մարմիններից կազմված համակարգի ազատության աստիճանների թիվը հավասար է $3N - 1$, որոնցից վեցը համընթաց և պտտականն են, իսկ մնացած $(3N - 6)$ -ը պայմանավորված են համակարգի մարմինների մեկը մյուսի նկատմամբ տատանումներով, և կոչվում են **տատանողական** ազատության աստիճանների թիվ:

Հավասարաբաշխման օրենքի համաձայն **յուրաքանչյուր ազատության աստիճանին** (համընթաց, պտտական, տատանողական) **միջին հաշվով բաժին** է ընկնում **միատեսակ Շ'($kT/2$)-ին հավասար լինետիկ էներգիա**: Այս օրենքից հետևում է, որ մեկ մոլեկուլի էներգիան որոշվում է $\langle \epsilon \rangle = \frac{i}{2}kT$ բանաձևով, որտեղ i –ն հավասար է n_1 համընթաց, n_2 պտտական և կրկնակի n_3 տատանողական ազատության աստիճանների թվերի գումարին՝ $i = n_1 + n_2 + 2n_3$: Միատում իդեալական գազի դեպքում $i = 3$, երկատումի դեպքում՝ 5 (3 համընթաց և 2 պտտական), երեք և ավելի ատոմներից բաղկացած մոլեկուլի համար՝ 6 (3 համընթաց և 3 պտտական): Հարկ է նշել, որ իդեալական գազի համար տատանողական շարժման ազատության աստիճանների մասին խոսելն անհիմաստ է: