

Մակրոսկոպական մարմինների ուսումնասիրման ջերմադինամիկական և վիճակագրական եղանակները: Մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնական դրույթները: Վիճակի պարամետրեր : Ջերմադինամիկական (ջերմային) հավասարակշռություն : Իդեալական գազ: Մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնական հավասարումը իդեալական գազի ճնշման համար (առանց արտածման): Մոլեկուլների համընթաց շարժման միջին կինետիկ էներգիան :Ջերմաստիճան, դրա մոլեկուլային-կինետիկ և ջերմադինամիկական մեկնաբանությունները :

Ֆիզիկայի այն բաժինը, որն ուսումնասիրում է մակրոսկոպական մարմինների (այսինքն, մեծ քանակությամբ մասնիկներից կազմված ֆիզիկական համակարգի) *հատկությունները 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:

Մոլեկուլային-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: Մակայն բնության մեջ մենք դիտում ենք երևույթներ, որոնք նշում են, որ մեր զգայարանները մեզ մոլորության մեջ են գցում մարմինների կառուցվածքի իրական պատկերի վերաբերյալ: Օրինակ, հայտնի է որ պինդ մարմինները արտաքին դեֆորմացիայի ենթարկվելիս, կամ դրանք 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՝ *ատոմներից և մոլեկուլներից* : Ծավալի փոփոխությունը կարելի է բացատրել այդ մասնիկների միջև հեռավորության փոփոխությամբ: Տվյալ մարմինը կազմող նյութի փոքրագույն մասնիկները, որոնք դեռ կրում են տվյալ նյութի 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 բրոունյան շարժման երևույթները թույլ են տալիս գալ այն եզրահանգման, որ մարմինը կազմող մասնիկները գտնվում են անընդհատ, քառսային շարժման վիճակում: Մոլեկուլների 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 չնչին քանակում շատ մեծ է (10^{23} կարգի): Այսպիսով կարող ենք կատարել եզրակացություն՝

- 1. Նյութը կազմված է փոքրագույն մասնիկներից՝ ատոմներից և մոլեկուլներից:***
- 2. Ատոմները և մոլեկուլները գտնվում են անընդհատ քառսային (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:

Մակրոսկոպական մարմինների ուսումնասիրման ջերմադինամիկական և վիճակագրական եղանակները:

Մոլեկուլային-կինետիկ (վիճակագրական) մեթոդը հիմնված է այն պատկերացման վրա, որ բոլոր նյութերը բաղկացած են քառսային 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 : Մակայն, 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 ջերմադինամիկայում: Սակայն, ի տարբերություն մոլեկուլային-կինետիկ տեսության, ջերմադինամիկայում ուսումնասիրվում են մարմինների և բնության երևույթների մակրոսոպիկ հատկությունները, առանց նրանց միկրոսոպիկ հատկությունները նկատի ունենալու: Ջերմադինամիկայի հիմքում ընկած են մի քանի հիմնական օրենքներ, որոնք սահմանվել են մեծ թվով փորձնական փաստերի ընդհանրացման հիման վրա: Այդ պատճառով ջերմադինամիկայի եզրակացությունները կրում են շատ ընդհանուր բնույթ:

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

Մոլեկուլային ֆիզիկայում **ջերմաստիճանի հասկացությունը** ամենակարևորներից մեկն է: Ջերմաստիճանի քանակական որոշումը հաստատելու համար անհրաժեշտ է ներմուծել ջերմային հավասարակշռության հասկացությունը: Պարզաբանենք ասվածը: Դիտարկենք մի քանի մարմիններ (մարմինների համակարգ)^a տաքացրած երկաթ (A մարմին), սենյակային ջերմաստիճանի ջուր (B մարմին) և սառույց (C մարմին):

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

$$C \rightarrow B \rightarrow A:$$

Սլաքների ուղղությունը ցույց է տալիս, թե ջերմափոխանակության ժամանակ **ոչ** մարմնից որին է փոխանցվում էներգիան: Ջերմափոխանակության դեպքում էներգիան միշտ ավելի բարձր ջերմաստիճան ունեցող մարմնից փոխանցվում է ավելի ցածր ջերմաստիճան ունեցող մարմնին: Ի վերջո, վրա է հասնում մարմինների համակարգի մի վիճակ, որի դեպքում համակարգի մարմինների միջև ջերմափոխանակությունը կրացակայի: Այդպիսի վիճակն անվանում են ջերմային հավասարակշռություն: Ջերմային հավասարակշռության մեջ գտնվող մարմիններն ունեն միևնույն ջերմաստիճանը:

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

Ջերմաստիճանի փոփոխության դեպքում փոփոխվում են մարմինների չափերը, նրանց ծավալները, էլեկտրական 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: Ջերմաստիճանի միարժեք որոշման համար անհրաժեշտ է ջերմաչափական մարմնի և ջերմաստիճանային պարամետրերի ընտրությունը:

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

Ներկայումս կիրառում են միայն ջերմաստիճանային երկու սանդղակ^a ջերմադինամիկական, որն

աստիճանավորված է կելվիններով (Կ) և Միջազգային գործնական^a աստիճանավորված Ցելսիուսի աստիճաններով: Ջերմադինամիկական ջերմաստիճանը (T) և ջերմաստիճանն ըստ Միջազգային գործնական սանդղակի (t) կապված են հետևյալ առնչությամբ^a

$$T=273C^{\circ}+t$$

Ջերմաստիճանի ֆիզիկական իմաստի հասկացությունը կբացահայտվի գազերի մոլեկուլային-կինետիկ տեսության և ջերմադինամիկայի հիմունքների ուսումնասիրությանը զուգընթաց:

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 ճշգրիտ տեսքը կամայական համակարգի համար որոշելը բավականին բարդ խնդիր է: Այն պարզեցնելու համար նպատակահարմար է այն որոշել համեմատաբար պարզ՝ “իդեալական գազ” կոչվող, 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 հիմնադրությունների վրա, բացատրենք, թե ինչպես կարելի է հաշվել ճնշումը գազ պարունակող անոթի պատերի վրա: Գազի մոլեկուլները իրենց քառասյին շարժման ընթացքում հարվածում են անոթի պատերին բացարձակ առանձգականորեն և անդրադառնում: Արդյունքում, տեղի է ունենում մասնիկի իմպուլսի 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՝ անոթի 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՝

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

միջին՝ $\langle \varepsilon \rangle$ է:

Այսպիսով ,
$$p = \frac{2}{3} n \left\langle \frac{m_0 \mathbf{v}^2}{2} \right\rangle = \frac{2}{3} n \langle \varepsilon \rangle$$
 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 $p \sim T$, մյուս կողմից ըստ մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնական հավասարման $p \sim \langle \varepsilon \rangle$: Ուրեմն, $\langle \varepsilon \rangle$ -ի և T -ի միջև որոշակի կապագոյություն ունի՝ Ստացվում է, որ գազի ջերմաստիճանը որոշվում 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՝ $p = nkT$, և քանի որ $n = \frac{N}{V}$, ապա $pV = NkT$: Եթե գազում եղած մոլեկուլների N թիվը բաժանենք մեկ մոլում եղած N_A մոլեկուլների թվին, ապա կստանանք այդ գազում մոլերի ν թիվը: $N_A \cdot k = R$ մեծությունը կոչվում է ունիվերսալ գազային հաստատուն: Հաշվի առնելով, որ $\frac{m}{\mu} = \frac{N}{N_A} = \nu$, վերջնականապես, ստանում ենք՝ $pV = \nu RT = \frac{m}{\mu} RT$: Ստացված հավասարումը իդեալական գազի վիճակի հավասարումն է և կոչվում է *Մենդելեև-Գլաշերյոնի հավասարում*:

Բնութագրական արագություններ: Մոլեկուլների համընթաց շարժման միջին կինետիկ էներգիան:

Մոլեկուլների ագատության աստիճանների թիվ: Էներգիայի հավասարաչափ բաշխման օրենքը դասական ֆիզիկայում ըստ մոլեկուլի ագատության 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 *միջին քառակուսային արագություն*՝ $\mathbf{v}_{\text{գ.ք.}} = \sqrt{\langle \mathbf{v}^2 \rangle} = \sqrt{3kT/m}$ ՝ Նշենք՝ որ 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 գազում եղած բոլոր N մոլեկուլների արագությունների միջինին՝ $\mathbf{v}_{\text{ս.}} = \langle \mathbf{v} \rangle$:

Պարզ է, որ *գազի* միայն միատոմ մոլեկուլներն են, որոնք կարող են միայն համընթաց շարժվել: Երկատոմ և բազմատոմ մոլեկուլները՝ բացի համընթացից՝ 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 հավասարաբաշխման օրենքի: Նախքան այդ օրենքի ձևակերպումը սահմանենք *ազատության աստիճանների թիվը*՝ Մեխանիկական համակարգի ազատության աստիճանների թիվ 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 $3N$ -ի, որոնցից վեցը համընթաց և պտտական 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* $\overline{\epsilon} (kT/2)$ -ին *հավասար*

կինետիկ 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՝ $i = n_1 + n_2 + 2n_3$: Միատոմ իդեալական գազի դեպքում $i = 3$, երկատոմի 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 անիմաստ է: