

ՋԵՐՄԱՅԻՆ ՊՐՈՑԵՍՆԵՐԻ ԱՆՇՐՋԵԼԻՈՒԹՅԱՆ
ՎԻՃԱԿԱԳՐԱԿԱՆ ՄԵԿԱՄԲԱՆՈՒՄԸ

Ջերմային պրոցեսների որակական տարբերությունը մեխանիկական շարժումից առավել ցայտուն դրսևորվում է նրանց զանգվածային բնույթի և անշրջելիության մեջ: Բնության մեջ կատարվող պրոցեսների անշրջելիության տարբեր դրսևորումների մասին ամբողջական պատկերացում է տալիս ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքը, որն առավել ընդհանուր ձևով ձևակերպվում է էնտրոպիայի հասկացության օգնությամբ: Ֆիզիկայի ծրագրով այդ հարցերի դիտարկումը մատչելիության նկատառումներով նախատեսվում է միայն ֆիզմաթ հոսքերում [1]:

Դիտարկվում է էնտրոպիայի հասկացության ներմուծման և ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքի վիճակագրական մեկնաբանման մի տարբերակ, որը, մեր կարծիքով, մատչելի է սովորողների համար և կարող է օգտագործվել «Ջերմադինամիկայի հիմունքները» թեմայի ընդհանրացման ժամանակ:

1. «Էնտրոպիա» հասկացության ներմուծումը: «Ֆիզիկա -9» դասագրքում [2] բերված են Կառնոյի իդեալական ջերմային մեքենայի օգտակար գործողության գործակցի $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ և $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$, արտահայտությունները: Դրանց

հավասարությունից հետևում է, որ $1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ կամ $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$ (1):

Եթե նկատի ունենանք, որ բանոլ մարմնի սառնարանին տված ջերմաքանակը $Q_2 < 0$, ապա (1)-ը կներկայացվի այսպես. $\frac{Q_1}{T_1} + \frac{|Q_2|}{T_2} = 0$ (2):

Կառնոյի մեքենան առանձնահատուկ է այն բանով, որ նրանում կա ընդամենը մեկ ջեռուցիչ և մեկ սառնարան (2) արտահայտությունը ցույց է տալիս, որ իրար հավասար են ոչ թե բանոլ մարմնի ջեռուցիչի վերցրած Q_1 և սառնարանին տված Q_2 ջերմաքանակները, այլ $\frac{Q_1}{T_1}$ և $\frac{|Q_2|}{T_2}$ մեծությունները

(բերված ջերմությունները): Իրոք, քանի որ $T_1 \neq T_2$, ապա $Q_1 \neq |Q_2|$, բացի այդ, քանի որ $T_1 > T_2$, ապա $Q_1 > Q_2$: Այս դատողությունները նորից են հաստատում, որ ջերմաշարժիչը աշխատանքի է փոխակերպում ոչ թե ջեռուցիչի ստացած լրիվ Q_1 ջերմաքանակը, այլ միայն նրա $Q_1 - Q_2$ մասը, ուստի նույնիսկ իդեալական ջերմային մեքենայի ՕԳԳ-ն միշտ փոքր է մեկից ($\eta < 1$):

Ռ.Կլաուզիուսը ուշադրություն է դարձրել, որ (2)-ը արտահայտում է որոշ պահպանման օրենք, որը ճիշտ է ցանկացած շրջելի շրջանային պրոցեսի համար: Դրանում կարելի է համոզվել՝ պրոցեսը մեծ թվով իզոթերմների և ադիաբատների օգնությամբ տարրական Կառնոյի ցիկլերի տրոհելով: Քանի որ յուրաքանչյուր տարրական ցիկլի համար ճիշտ է (2) արտահայտությունը, ապա դրանք գումարելով՝ շրջանային պրոցեսի համար կստանանք $\sum \frac{\Delta Q_i}{T_i} = 0$:

Կարևոր է, որ $\sum \frac{\Delta Q_i}{T_i}$ մեծությունը կախված է միայն ջերմադինամիկական համակարգի վիճակից և անկախ է այն ճանապարհից, որով համակարգն անցել է տվյալ վիճակին: Սովորողներին հայտնի է, որ այդ հատկությամբ օժտված է ներքին էներգիան, որը վիճակի միանշանակ ֆունկցիա է: Հետևապես $\frac{\Delta Q}{T}$

մեծությունը նույնպես վիճակի ֆունկցիա է, որին Կլաուզիուսը տվել է *էնտրոպիա* անվանումը: Եթե էնտրոպիան նշանակենք S տառով, ապա կարող ենք նրա փոփոխության համար գրել $\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$:

Կլաուզիուսը բացահայտել է էնտրոպիայի մի քանի կարևոր հատկություններ:

1. Մի քանի մարմիններից կազմված համակարգի էնտրոպիան հավասար է առանձին մարմինների էնտրոպիաների գումարին ($S = S_1 + S_2 + \dots + S_n$):
2. Մեկուսացված համակարգում կատարվող անշրջելի պրոցեսների դեպքում էնտրոպիան մնում է անփոփոխ ($\Delta S = 0$):
3. Մեկուսացված համակարգում կատարվող անշրջելի պրոցեսների արդյունքում էնտրոպիան միայն աճում է ($\Delta S > 0$), այսինքն համակարգում «արտադրվում է» էնտրոպիա:

Միավորելով վերջին երկու դրույթները՝ կարող ենք ասել, որ մեկուսացված համակարգերում կատարվող պրոցեսներին արդյունքում էնտրոպիան երբեք չի նվազում ($\Delta S \geq 0$):

Դասագրքում բերված բազմաթիվ օրինակներից սովորողները գիտեն, որ բնության մեջ ինքնաբերաբար կատարվող բոլոր պրոցեսներն ունեն որոշակի ուղղվածություն, այսինքն՝ անշրջելի են: Բերված են նաև ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքին համարժեք որակական ձևակերպումները՝ որպես մեծաքանակ փորձնական փաստերի ընդհանրացումներ: Կլաուզիուսի $\Delta S \geq 0$ անհավասարության հիման վրա տրվում է ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքի առավել ընդանուր ձևակերպումը:

Մեկուսացված վերջավոր համակարգերում կատարվող պրոցեսներին արդյունքում էնտրոպիան միայն աճում է: Որպես էնտրոպիայի մեծացման

օրինակ դիտարկենք T_1 և T_2 ($T_1 > T_2$) ջերմաստիճան ունեցող երկու մարմինների միջև ջերմափոխանակությունը: Հայտնի է, որ այդ դեպքում ջերմությունը միշտ անցնում է տաք մարմնից սառը մարմնին: Ջերմադինամիկայի առաջին օրենքի համաձայն՝ տաք մարմինը տալիս է $- \Delta Q$ ջերմաքանակ, իսկ սառը մարմինը ստանում է $+ \Delta Q$ ջերմաքանակ: Հաշվի առնելով, որ համակարգի էնտրոպիայի փոփոխությունը հավասար է երկու մարմինների էնտրոպիաների փոփոխությունների հանրահաշվական գումարին, կգրենք

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = \frac{\Delta Q}{T_1} + \frac{\Delta Q}{T_2} = \Delta Q \left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right)$$

որ $T_1 > T_2$, ապա $\Delta S > 0$: Այսպիսով, թեպետ ջերմափոխանակության պրոցեսում համակարգի էներգիան չի փոխվում (ըստ ջերմադինամիկայի առաջին օրենքի), նրա էնտրոպիան մեծանում է (ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքի համաձայն):

Սովորողները կարող են հաշվել էնտրոպիայի փոփոխությունը որոշ պարզ դեպքերում, որոնք կապված են մարմինների տաքացման, սառեցման, հալման, գոլորշիացման հետ: Օրինակ՝ սառույցի հալման ժամանակ էնտրոպիայի փոփոխությունը որոշվում է λ հալման ջերմության և T հալման ջերմաստիճանի հարաբերությամբ: 1 մոլ (18 գ) սառույցի հալման $\lambda = 6,0242$ մոլ և $T_{\text{հ}} = 273,4$ արժեքներից հետևում է, որ $\Delta S_{\text{հալ}} = 22,2$ մոլ աստ (սառույցի հալումից ստացված մեկ մոլ ջրի էնտրոպիան այդքան մեծ է սառցի էնտրոպիայից):

2. *էնտրոպիայի և ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքի վիճակագրական իմաստը:* էնտրոպիայի ֆիզիկական իմաստը բացահայտելու համար անհրաժեշտ է ներմուծել «մակրովիճակ», «միկրովիճակ» և «համակարգի վիճակի հավանականություն» հասկացությունները: Դիցուք ունենք անոթ, որը մտովի բաժանված է երկու հավասար մասերի: Մեկ մոլեկուլը, շարժվելով անկանոն, կարող է հավասար հավանականություններով հայտնվել անոթի աջ կամ ձախ մասում: Այդ դեպքերից յուրաքանչյուրի հավանականությունը $W' = 1/2$:

Եթե անոթում ունենք որևէ ձևով իրարից տարբերելի (դիցուք, պայմանականորեն ա և բ տառերով նշված) երկու մոլեկուլներ, ապա անոթի երկու կեսերում դրանք կարող են դասավորվել չորս ձևով (աբ/Օ, Օ/աբ, ա/բ, բ/ա):

Այդ դեպքերից յուրաքանչյուրն ունի միևնույն հավանականությունը՝ $W' = 1/4$ (քանի որ դրանով իրագործվում է հնարավոր չորս պատահույթներից մեկը): Երեք մոլեկուլների դեպքում հնարավոր բաշխումների թիվը դառնում է ութ, իսկ առանձին դեպքի հավանականությունը՝ $W' = 1/8$:

Սանրասան դիտարկենք չորս նշանակիր «մոլեկուլների» բաշխումն անոթի $V' = V'' = \frac{V}{2}$ հավասար ծավալներ ունեցող երկու կեսերում: Այդ դեպքում

հնարավոր են 16 բաշխումներ, որոնք ներկայացված են աղյուսակում:

	ձախ	աջ	մակրովիճակի հավանականու- թյունը		ձախ	աջ	մակրովիճակի հավանականու- թյունը	
I	ա բ գ դ	-----	264	IV	ա բ ա գ ա դ բ գ բ դ գ դ	գ դ բ դ բ գ ա դ ա գ ա բ	6	
II	ա բ գ ա բ դ ա գ դ բ գ դ	դ գ բ ա	4					
III	ա բ գ դ	բ գ դ ա գ դ ա բ դ ա բ գ	4		V	----- --		ա բ գ դ

Ներկայացված 16 բաշխումներից յուրաքանչյուրը տալիս է համակարգի մանրամասն նկարագիրը նրա միկրովիճակը: Հասկանալի է, սակայն, որ համասեռ զագի մոլեկուլները միանգամայն նույնական են, և համակարգի հատկությունների որևէ փոփոխություն չի դիտվի, եթե անոթի ձախ և աջ մասերում գտնվող երկու մոլեկուլներ փոխեն իրենց տեղերն անոթում: Այդ տեսանկյունից կարելի է համակարգի՝ որպես ամբողջի, վիճակը բնութագրել միայն անոթի որոշակի մասում գտնվող մասնիկների թվով՝ անտեսելով, թե կոնկրետ որ մասնիկներն են դրանք:

Այդ տեսանկյունով 4 մոլեկուլներից կազմված 16 միկրովիճակներին կհամապատասխանեն ընդամենը 5 մակրովիճակներ ըստ անոթի տվյալ մասում մոլեկուլների 0, 1, 2, 3, 4 թվերի:

Այս դիտարկումից սովորողները համոզվում են, որ համակարգի տարբեր մակրովիճակները կարող են իրագործվել տարբեր թվով հավասարահավա-
նական միկրովիճակներով: Օրինակ, I և V մակրովիճակներից յուրաքանչյուրը կարող է իրագործվել միայն մեկ եղանակով $W_1 = W_5 = 1/16$ հավանականությամբ:

II և III մակրովիճակներից յուրաքանչյուրն իրագործվում է չորս եղանակով, իսկ IV մակրովիճակը, որի դեպքում անոթի երկու մասերում գտնվում են հավասար թվով (երկուական) մոլեկուլներ 6 միկրովիճակներով:

Մակրովիճակի հավանականությունը համեմատական է այն միկրովի-
ճակների թվին, որոնցով իրագործվում է տվյալ մակրովիճակը (միկրովիճա-
կների թիվը կոչվում է նաև մակրովիճակի վիճակագրական կշիռ):

Համակարգի վիճակի հավանականությունը $W \geq 1$ ամբողջ թիվ է այն դեպքում, երբ պատահույթի մաթեմատիկական հավանականությունը միշտ մեկից փոքր թիվ է ($0 \leq W \leq 1$): Վիճակի հավանականությունը որոշվում է նրան համապատասխանող միկրովիճակների թվով՝ առանց այն բաժանելու հնարավոր բոլոր միկրովիճակների ընդհանուր թվին:

Կատարված դիտարկումից սովորողները կարող են հանգել մի քանի եզրակացությունների: Մասնիկների N թվի մեծացման դեպքում շեշտակի

մեծանում է անոթի երկու մասերում նրանց բաշխման եղանակների քանակը: Մեկ մասնիկի դեպքում հնարավոր են երկու բաշխումներ $n=2=2^1$: Երկու մասնիկի դեպքում $n=4=2^2$, երեք մասնիկների դեպքում 8, որը հավասար է 2^3 : Զորս մասնիկների դեպքում $n=16=2^4$:

Այսպիսով N թվով մասնիկները կարող են բաշխվել $n=2^N$ ձևովով:

Բոլոր մակրովիճակներից ամենամեծ հավանականություն ունի այն վիճակը, որի դեպքում անոթի երկու մասերում գտնվում են հավասար թվով մոլեկուլներ: Այսպիսի բաշխումը համապատասխանում է համակարգի հավասարակշիռ վիճակին, որի դեպքում նրա մակրոսկոպիկական պարամետրերը համակարգի բոլոր մասերում ունեն միևնույն միջին արժեքը: Մոլեկուլների քանակի մեծացման դեպքում համակարգի հավասարակշիռ վիճակի հավանականությունը շեշտակի մեծանում է: Ինքն իրեն թողնված համակարգը ինքնակամ անցնում է հենց հավասարակշիռ վիճակի, քանի որ այդ վիճակի հավանականությունն ամենամեծն է: Մնացած վիճակները, թեպետ հնարավոր են, սակայն ունենալով չնչին հավանականություն՝ գործնականում չեն կատարվում:

Համակարգի հավասարակշիռ վիճակը նաև նրա ամենից անկանոն վիճակն է: Անոթի մի կեսում միջնորոնով պահվող զազը միջնորոնը հանելուց հետո ընդարձակվում է և գտնվում անոթի ողջ ծավալը: Գազի վակուումի մեջ ընդարձակվելու այդ պրոցեսն անշրջելի է հենց այն պատճառով, որ այդ դեպքում զազն անցնում է կանոնավոր, փոքր հավանականություն ունեցող վիճակից անկանոն, ուստի մեծ հավանականություն ունեցող վիճակի: Տանկացած անշրջելի պրոցեսի վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ այն պայմանավորված է համակարգի առավել մեծ հավանականությամբ վիճակի անցնելով:

Նույն դատողությանը մենք հանգել ենք էնտրոպիայի հասկացությունը դիտարկելիս՝ ոչ շրջելի պրոցեսներն ուղեկցվում են համակարգի էնտրոպիայի աճով, որն իր առավելագույն արժեքին է հասնում, երբ համակարգն անցնում է հավասարակշիռ վիճակի:

Այսպիսով՝ համակարգի վիճակի հավանականությունը և էնտրոպիան օժտված են միևնույն հատկություններով՝ նրանք մեծանում են անհավասարակշիռ պրոցեսներում: Սովորողներին կարելի է պատրաստի ձևով ներկայացնել համակարգի էնտրոպիայի և վիճակի հավանականության միջև կապը հաստատող L . Բոլցմանի $S = k \ln W$ բանաձևը:

1. Ֆիզիկա հայեցակարգ և ծրագրեր, Երևան, 1966:

2. Ա.Կիրակոսյան. Ա.Սամյան «Ֆիզիկա-9», Երևան, «Լույս», 2002:

3. Свитков Л.П. Термодинамика и молекулярная физика. М., "Просвещение", 1971.

4. Подгорнова И.И. Молекулярная физика в средней школе. М., "Просвещение", 1970.