

GAZLAR ISSIQLIK SIG'IMLARINING NISBATINI KLEMAN-DEZOR USULI BILAN ANIQLASH

Ishning maqsadi: Termodinamikaning birinchi qonunini, ichki energiya va uning formulasini o'rganish, issiqlik sig'implari bilan tanishish.

Kerakli asbob va materiallar: qurilma , U-simon suvli manometr, nasos yoki kompressor.

Asosiy nazariy ma'lumotlar

Tekshirilayotgan jismlar to'plamiga jismlar tizimi yoki soddagina qilib tizim deb ataladi. Juda kichik o'lchamlar va massalarga ega bo'lgan jismlar sifatida qaraluvchi ko'p sonli molekulalardan tuzilgan tizimlarga misol qolib gazlarni olish mumkun.

Molekulalari o'zaro ta'sirlashmaydigan moddiy nuqtalar to'plamiga o'xshash xossalarga ega bo'lgan gazlarga *ideal gazlar* deyiladi.

Har qanday gazning holati, holat parametrlari deb ataluvchi bosim P , harorat T va gaz egallagan hajm V bilan xarakterlanadi.

Barcha holat parametrlari uzoq vaqt davomida o'zgarmay qolgan tizimning holatiga *muvozanatli holat* deyiladi.

Tizimning bir holatdan ikkinchi holatga o'tishiga *jarayon* deyiladi. Muvozanatli holatlarning uzluksiz ketma-ketligidan iborat bo'lgan jarayonga muvozanatli jarayon deb ataladi.

Muvozanatli holat va muvozanatli jarayon tushunchalari termodinamikada katta rol o'ynaydi. Termodinamikaning barcha miqdoriy xulosalarini faqat muvozanatli jarayonlargagina qo'llash mumkun.

Gaz(yoki tizim)ga berilgan issiqlik miqdori, uning holatini o'zgartiradi, natijada biror ish bajaradi. Bunday o'zgarishni energiyaning saqlanish qonunidan iborat bo'lgan, quyidagi termodinamikaning bosh qonuni to'liq izohlab beradi.

Tizimga berilgan issiqlik miqdori (dQ) tizimning ichki energiyasining o'zgarishi (dU)ga va tizimning tashqi kuch ustidan bajargan ishi (dA)ga sarflanadi, ya'ni

$$dQ = dU + dA \quad (1)$$

Agar tizim ideal gazdan iborat bo'lsa, gazning ichki energiyasi molekulalar harakatining o'rtacha kinetik energiyasi $\langle \varepsilon \rangle = \frac{1}{2} kT$ ning yig'indisiga tengdir. Agar berilgan gazda N ta molekula bo'lsa uning ichki energiyasi

$$U = N \langle \varepsilon \rangle = N_A \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} kT = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT \quad (2)$$

bunda $N_A = 6,022 \cdot 10^{26} \frac{1}{\text{kmol}}$ – Avogadro soni;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$ - Boltsman doimiysi;

$R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{J}{(\text{kmol} \cdot K)}$ - universal gaz doimiysi;

T – absolyut harorat, K ;

m – gazning massasi, kg ; μ – gazning molyar massasi;

i - gaz molekulalarining erkinlik darajasi.

Gaz molekulalarining o'rtacha erkinlik darajasi deb, gaz molekulalarining fazodagi harakati holatini aniqlab beruvchi erkin koordinatalar soniga aytiladi. Masalan, bir atomli gaz molekulalari uchun $i = 3$;

ikki atomli gaz molekulari uchun $i = 5$;

uch va ko'p atomli gaz molekulari uchun $i = 6$ ga tengdir.

(2)dan gaz ichki energiyasining o'zgarishi

$$dU = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} R dT \quad (3)$$

Nihoyat, gaz hajmining o'zgarishida bajarilgan ish gaz bosimi P ning hajm o'zgarishi dV ga ko'paytmasiga tengdir:

$$dA = p \cdot dV \quad (4)$$

(3) va (4)larni (1) ga qo'yilsa, termodinamika birinchi qonunining matematik ifodasi quyidagi umumiy ko'rinishga keladi

$$dQ = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R dT + p dV \quad (5)$$

Termodinamikada tizimlarning issiqlik olish xususiyatlarini xarakterlash uchun issiqlik sig'imi tushunchasi kiritilgan.

Termodinamika birinchi bosh qonunining (5) ko'rinishidagi matematik ifodasidan ideal gazning holat tenglamalarini va gaz jarayonlaridagi issiqlik sig'imlarining matematik ifodalarini osongina isbotlash mumkun.

1. Moddaning issiqlik sig'imi (C_m) deb, uning haroratini $1 K$ ga o'zgartirish uchun zarur bo'lgan issiqlikka miqdor jihatidan teng bo'lgan fizik kattalikka aytiladi, ya'ni

$$C_m = \frac{dQ}{dT}, \quad dQ = C_m dT \quad (6)$$

2. Moddaning solishtirma issiqlik sig'imi (c) deb, massasi bir birlikka teng bo'lgan moddani $1 K$ ga isitish uchun zarur bo'lgan issiqlikka miqdor jihatidan teng bo'lgan fizik kattalikka aytiladi, ya'ni

$$C = \frac{dQ}{m dT}, \quad dQ = C m dT \quad (6a)$$

3. Moddaning molyar issiqlik sig'imi (C_μ) deb, 1 mol moddani 1 K ga isitish uchun zarur bo'lgan issiqlikka miqdor jihatdan teng bo'lgan fizik kattalikka aytiladi, ya'ni

$$C_\mu = \frac{dQ}{\frac{m}{\mu} dT}, \quad (7)$$

$$dQ = \frac{m}{\mu} \cdot C_\mu dT \quad (7a)$$

Solishtirma issiqlik sig'imi C bilan molyar issiqlik sig'imi C_μ orasida quyidagi munosabat mavjud

$$C = \frac{1}{\mu} C_\mu \quad (8)$$

$$C_\mu = \mu \cdot C \quad (8a)$$

Gazlarning issiqlik sig'implari, ularning qanday sharoitda isitilishiga bog'liqdir. Agar modda o'zgarmas hajmda, ya'ni $V = const$ ($dV = 0$) sharoitda isitilsa, ***o'zgarmas hajmdagi issiqlik sig'imi*** yoki ***izoxorik issiqlik sig'imi*** deb ataladi va C_V bilan belgilanadi.

Agar moddani isitishda bosim o'zgarmas $P = const$ bo'lsa, ***o'zgarmas bosimdagi issiqlik sig'imi*** yoki ***izobarik issiqlik sig'imi*** deyilib, u C_p bilan belgilanadi.

Biror gazga o'zgarmas hajmda, ya'ni $V = const$ ($dV = 0$) issiqlik berilsa, u faqat gaz ichki energiyasining o'zgarishiga sarf bo'ladi. U vaqtda (5) va (7a) larga asosan quyidagilarni yozish mumkin

$$dQ_V = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} R dT \quad (9)$$

$$dQ_v = \frac{m}{\mu} \cdot C_v dT \quad (9a)$$

(9) va (9a)dan o'zgarmas hajmdagi molyar issiqlik sig'imi C quyidagiga teng bo'ladi

$$C_v = \frac{i}{2} R \quad (10)$$

Agar gazga o'zgarmas bosimda ($P = const$) issiqlik miqdori berilsa, u gaz ichki energiyasining o'zgarishi dU va kengayishidagi bajarilgan ish dA_p ga sarf bo'ladi, ya'ni

$$dA_p = p \cdot dV = \frac{m}{\mu} R dT \quad (11)$$

(11) dan
$$R = \frac{A_p}{\frac{m}{\mu} dT} \quad (11a)$$

Binobarin, universal gaz doimiysi R o'zgarmas bosimda 1mol ideal gazni $1 K$ ga isitishda gazning kengayishidagi bajargan ishiga miqdor jihatdan teng.

U vaqtda dQ_p ning ifodasini (5), (7a) va (11) tenglamalar asosida yozilsa

$$dQ_p = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R dT + \frac{m}{\mu} R dT = \frac{m}{\mu} \left(\frac{i}{2} R + R \right) \quad (12)$$

$$dQ_p = \frac{m}{\mu} C_p dT \quad (12a)$$

Bu (12) va (12a) tenglamalarni o'zaro tenglashtirib, o'zgarmas bosimdagi molyar issiqlik sig'imi C_p ni aniqlash mumkin

$$C_p = \frac{i}{2} R + R \quad (13)$$

$$\text{yoki} \quad C_p = \frac{i+2}{2} R \quad (13a)$$

(13) da $\frac{i}{2} R = C_v$ bo'lganligi uchun

$$C_p = C_v + R \quad (13b)$$

Bu ifodaga Robert-Mayer formulasi deyiladi .

Gazlarning o'zgarmas bosimdagi C_p sig'iminin o'zgarmas hajmdagi C_v issiqlik sig'imiga nisbati $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ adiabatik jarayonlarda tovushning gazlarda tarqalishida, gazlarning naylarda tovush tezligiga yaqin tezliklarda oqishida katta ahamiyatga egadir.

(13) ni (10) ga bo'lib, har bir gaz uchun o'ziga xos bo'lgan C_p ning C_v ga nisbatini topamiz

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{2} \quad (14)$$

(14)dan ko'rinadiki, γ kattalik gaz molekula tuzilishini tavsiflovchi molekulaning erkinlik darajasi bilan aniqlanar ekan.

γ berilgan gaz uchun o'zgarmas bo'lib, Puasson koeffitsienti ham deyiladi.

Gazlarning solishtirma issiqlik sig'implari $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ nisbatini Kleman-

Dezorm usuli bilan topish juda ham sodda ko'rinishga egadir.

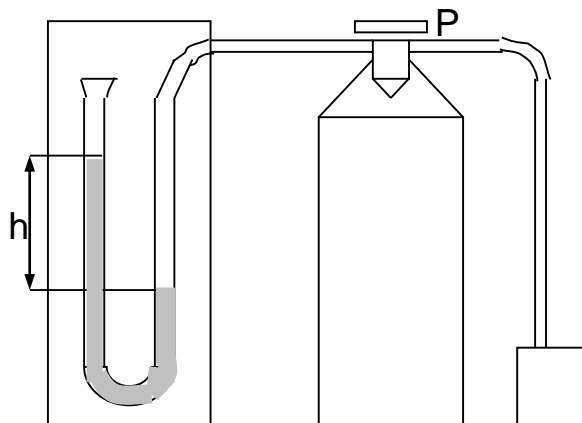
Qurilmaning tuzilishi va o'lchash usuli

Qurilma havo bilan to'ldirilgan 10-20 litr hajmli B shisha balondan iborat (1-rasm). Rezina naylar yordamida balonga ulangan U-simon manometrning tirsaklaridagi gazning hajmini balonning hajmiga nisbatan nazarga olmasa ham bo'ladi. Balonga yana N qo'l nasos yoki kompressor

ulangan bo‘lib, uning yordamida balonga gaz damlanadi. Po‘kak tiqin yoki elektromagnit tiqin balon ichidagi gazni tashqi atmosferadan ajratib turadi. Balonda siqilgan gazning ortiqchasi juda kichik vaqtda tashqariga chiqib ketishga ulgurishi va yuz beradigan kengayish adiabatik jarayondan iborat bo‘lishi uchun tiqin o‘rnatilgan teshik yetarlicha katta bo‘lishi kerak.

Usulning nazariyasi

Balonga nasos yoki kompressor yordamida havo damlab, tiqin tez ochib yopilganda balondagi gaz quyidagi uchta holatlardan o‘tadi.



1 - rasm

1. Agar tiqinni berkitib balonga nasos bilan havo damlansa, idishning issiqlik o‘tkazuvchanligi sababli idishdagi havoning harorati va tashqi havoning harorati

T_1 ga tenglashguncha oshib borishi sababli, idishdagi gazning bosimi ham osha boradi. Nihoyat idishdagi gazning harorati tashqi harorat T_1 ga teng bo‘lgandagina ortiqcha bosimni ifodalovchi manometr sathlarining farqi aniq h_1 qiymatga erishadi. Gazning bu holati T_1 va P_1 parametrlar bilan xarakterlanadi (1-holat: T_1 va P_1).

Agar atmosfera bosimi P_0 bo‘lsa, balondagi gazning bosimi quyidagiga teng bo‘ladi

$$P_1 = P_0 + h_1 \quad (15)$$

2. Agar endi tiqin tez ochilsa, idishdagi havoning bosimi P_1 tashqi P_0 ga tenglashguncha idishdagi gaz adiabatik ravishda kengaya boradi, natijada havo T_2 haroratgacha soviydi. Bu holat gazning ikkinchi holatidir (2 holat: T_2, P_0).

3. Agar tiqin ochilgan zahotiy oq qaytadan berkitilsa, balondagi gaz izoxorik ravishda isiy boshlaydi. Gaz harorati ortishi bilan bosim ham orta boradi va nihoyat gazning harorati tashqi T_1 harorat bilan tenglashganda bosimning oshishi to'xtaydi. Bu holat gazning uchunchi holati bo'ladi. (3-holat: T_1, P_2). Idishdagi havoning shu paytdagi bosimini P_2 bilan, manometrning shu bosimni munosib ko'rsatishini h_2 bilan belgilansa, P_2 quyidagiga teng bo'ladi

$$P_2 = P_0 + h_2 \quad (16)$$

Shunday qilib gazning birinchi holatdan 2-holatga o'tishi adiabatik jarayondan iborat bo'lganligi uchun, Puasson tenglamasini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin

$$\frac{P_1^{\gamma-1}}{T_1^\gamma} = \frac{P_0^{\gamma-1}}{T_2^\gamma} \quad (17)$$

Bu yerda γ gazning o'zgarmas bosimdagi issiqlik sig'imini o'zgarmas hajmdagi issiqlik sig'imiga nisbatiga tengdir, ya'ni

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

Gaz ikkinchi holatdan 3- holatga izoxorik-o'zgarmas hajmda o'tganligi uchun Gey-Lyussak qonuniga binoan quyidagini yozamiz

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_0}{T_2} \quad (18)$$

(17) tenglamaga P_1 ning ifodasini (15) dan qo‘yib hadlarning joyini almashtirish orqali quyidagi tenglamani hosil qilamiz

$$\left(\frac{P_0 + h_1}{P_0}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^\gamma \quad (18a)$$

yoki

$$\left(1 + \frac{h_1}{P_0}\right)^{\gamma-1} = \left(1 + \frac{T_1 - T_2}{T_2}\right)^\gamma \quad (19)$$

Bu tenglamada $\frac{h_1}{P_0}$ va $\frac{T_1 - T_2}{T_2}$ lar birdan juda kichik bo‘lgani uchun, tenglamaning ikki hadini Nyuton binom bo‘yicha yoyib, birinchi tartibli aniqlik bilan olinsa

$$\left(1 + \frac{h_1}{P_0}\right)^{\gamma-1} = 1 \cdot (\gamma - 1) \frac{h_1}{P_0} + \dots \approx 1 + (\gamma - 1) \frac{h_1}{P_0},$$

$$\left(1 + \frac{T_1 - T_2}{T_2}\right)^\gamma = 1 + \gamma \frac{T_1 - T_2}{T_2} + \dots \approx 1 + \gamma \frac{T_1 - T_2}{T_2}.$$

Shunday qilib, (10) tenglamani taxminan quyidagi ko‘rinishda yozish mumkun:

$$1 + (\gamma - 1) \frac{h_1}{P_0} = 1 + \gamma \frac{T_1 - T_2}{T_2} \quad (20)$$

Bundan

$$P_0 \frac{T_1 - T_2}{T_2} = \frac{\gamma - 1}{\gamma} h_1 \quad (20a)$$

Ikkinchi tomondan (16)dan P_2 ning ifodasini (18)ga qo‘yib quyidagini osongina hosil qilish mumkin:

$$h_2 = P_0 \frac{T_1 - T_2}{T_2} \quad (21)$$

Demak,

$$h_2 = h_1 \frac{\gamma - 1}{\gamma} \quad (22)$$

Bu tenglamadan gazning o'zgarmas bosimdagi va o'zgarmas hajmdagi issiqlik sig'imini nisbati γ ni aniqlasak:

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{h_1}{h_1 - h_2} \quad (23)$$

Bu tenglama yordamida γ ni hisoblash uchun gaz bosimning adiabatik kengayishigacha va adiabatik kengayishidan keyingi atmosfera bosimidagi ortiqcha qismlar h_1 va h_2 larni o'lchash kerak.

Ishni bajarish tartibi va o'lchash natijalarini hisoblash

1. O'lchashni boshlashdan oldin qurilmaning ulanish joylari yetarlicha germetik qilib mahkamlanganligiga ishonch hosil qilish kerak. Buning uchun manometrda suv sathlari farqi 15-20 cm ga yetguncha balonga nasos yordamida havo damlanadi. Vaqt o'tishi bilan balondagi gaz bosimining o'zgarishi kuzatib boriladi.

Agar qurilma germetik qilib mahkamlangan bo'lsa, ma'lum vaqtdan keyin termodinamik muvozanat yuz berib, bosimning kamayishi to'xtaydi.

2. Damlangan balon ichidagi gazning bosimi barqarorlashgach, bosimning atmosfera bosimidan ortiqcha qismi h_1 o'lchanadi. U suvli manometrda sathlar ayirmasiga tengdir.

3. So'ngra P tiqin (ventil) juda kichik muddat ichida ochib yopiladi. Termodinamik muvozanat hosil bo'lgandan keyin yana balon ichidagi gaz bosimining atmosfera bosimidan ortiqcha qismi h_2 suvli manometrda sathlar ayirmasidan olinadi.

4. Tajribalar kamida 10 marta takrorlanib, har bir tajriba natijalarini (23) formulaga qo'yib, γ qiymati hisoblanadi. Havo uchun tajribadan

aniqlangan γ ning qiymati $i = 5$ deb, (14) formula bo'yicha hisoblangan γ ning qiymatiga yaqin bo'lishi kerak.

5. Har bir o'lchash uchun γ_i , uning o'rtacha qiymati $\langle \gamma \rangle$, har bir o'lchashning absolyut xatoligi $\Delta \gamma_i$ va o'rtacha absolyut xatolik $\langle \Delta \gamma \rangle$, γ ning haqiqiy qiymati $\gamma = \langle \gamma \rangle \pm \langle \Delta \gamma_i \rangle$ va $\delta(\gamma) = \frac{\langle \Delta \gamma \rangle}{\langle \gamma \rangle}$ nisbiy xatolik hisoblanadi.

Olingan barcha ma'lumotlar quyidagi jadvalga yoziladi.

1-jadval

№	h_1	h_2	γ_i	$\langle \gamma \rangle$	$\Delta \gamma_i$	$\langle \Delta \gamma \rangle$	$\delta(\gamma), \%$
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
9.							
10.							

Nazorat savollari

1. Qanday gazga ideal gaz deyiladi?
2. Ideal gazning ichki energiyasini ta'riflang va ifodasini yozing.
3. Termodinamikaning birinchi bosh qonunini ta'riflang?
4. Moddalar issiqlik sig'imlarining turlarini ta'riflang.

5. Ideal gazning o'zgarmas hajm va o'zgarmas bosimdagi molyar issiqlik sig'irlarining ifodasini yozing.

6. Robert – Mayer tenglamasini yozing.

7. Gaz molekularining erkinlik darajasi deb nimaga aytiladi?

8. Adiabatik jarayonni ta'riflang va uning tenglamasini yozing.

9. Hisoblash formulasini isbotlang.

10. Tajribani bajarish tartibini tushuntiring.