**6-Ma’ruza.**

**Molekulyar kinetik nаzаriya vа stаtistik fizikа аsoslаri. Termodinamika.**

**Reja:**

1. **Fizika hodisalarni tekshirishda dinamik, statistik va termodinamik usullar.**
2. **Makroskopik sistema parametrlari.**
3. **Issiqlik harakati.**
4. **Ideal gazning holat tenglamasi.**
5. **Ideal gaz molekulyar - kinetik nazariyaning asosiy tenglamasi.**
6. **Gaz molekulalarining tezliklari va energiyalari bo‘yicha taqsimlanishiga oid Maksvell qonuni.**
7. **Bolsman taqsimot qonuni.**
8. **Ichki energiya.**
9. **Issiqlik miqdori. Issiqlik sig‘imi.**

### **Termodinamikaning birinchi bosh qonuni va uni gaz izojarayonlariga tadbig‘i.**

1. **Issiqlik sig‘imining klassik nazariyasi va uning chegaralanganligi**.

### **6.1 Fizika hodisalarni tekshirishda dinamik, statistik va termodinamik usullar**

Agar sistema faqat bitta yoki son jihatidan cheklangan jismlardan yoki jism qismlaridan tashkil topgan bo‘lsa, ***dinamik*** qonuniyatlaridan foydalanib sistemadagi fizik hodisalar va jarayonlarni o‘rganish mumkin.

Alohida olingan atom va molekula harakati ham dinamika qonuniyatlariga bo‘ysunadi. Shuning uchun *1 sm3* hajmdagi tartibsiz harakatlanayotgan molekulalar bilan bog‘liq hodisalarni dinamik qonuniyatlar asosida tekshirish mumkin. Buning uchun, avvalo, alohida olingan molekulalarni o‘rganib chiqib, keyin hamma molekulalarning fazodagi o‘rinlarini, tezliklarini, ular orasidagi o‘zaro va idish devoriga ko‘rsatayotgan ta’sir kuchlarining xarakterlarini aniqlash mumkin.

Chunki, bir sekunda bir millionga yaqin amalni bajaradigan elektron hisoblash mashinasida *1 sm3* dagi barcha molekulalarning o‘rinlarini va tezliklarini qayd qilish uchun kamida 6 million yil sarflanishi kerak. Bunday hollarda alohida matematik usulga - ***statistik usulga*** tayanish maqsadga muvofiq bo‘ladi. Statistik usul ehtimollik nazariyasidan foydalanishga asoslangan. ***Statistik usul*** bir-biriga o‘xshagan juda ko‘p, lekin bir-biridan mustaqil bo‘lgan hodisalar to‘plamini tekshirish uchun qo‘llaniladigan usuldir. Juda ko‘p sonli zarrachalardan tashkil topgan sistemaning fizik xususiyatlarini statistik usuldan foydalanib o‘rganuvchi fizikaning bo‘limi - ***statistik fizika*** deb ataladi.

Statistik usul yordamida tabiat hodisalarini yetarlicha chuqur va aniq tekshirish mumkin bo‘lganligi uchun bunga asoslangan statistik fizika hozirgi davrda fizika fanining turli sohalariga muvoffaqiyatli tadbiq etilmoqda. Masalan, molekulyar fizikada issiqlik hodisalarini; elektromagnetizmda jismlarning elektr o‘tkazuvchanlik va magnit xususiyatlarini; optikada issiqlik nurlanish va boshqa hodisalarni statistik fizika asosida o‘rganiladi.

Fizik hodisalar va jarayonlarni o‘rganadigan dinamik va statistik usuldan tashqari ***termodinamik*** usul ham mavjuddir. Statistik usuldan farqli termodinamik usul jismlarni va tabiat hodisalarni makroskopik xossalarini, ularning mikroskopik manzarasiga, ya’ni o‘rganilayotgan sistemaning ichki tuzilishi va sistemani tashkil etuvchi qismlarining harakat holatlariga e’tibor qilmay o‘rganadi. Fizik hodisalarga termodinamik usulni qo‘llash imkoniyati ularda energiyaning bir turdan boshqa turiga aylanish jarayonlari bilan bog‘liqdir.

Jismlarning fizik xususiyatlarini termodinamik usul bilan o‘rganadigan fizikaning bo‘limiga ***termodinamika*** deb ataladi. Termodinamika tajribalaridan aniqlangan juda ko‘p ma’lumotlarni umumlashtirgan ikki fundamental qonunga tayanadi.

Shunday qilib, mikroskopik zarrachalaridan tashkil topgan sistemaga oid tadqiqotlarda har ikkala usul ham statistik va termodinamik usullar keng qo‘llaniladi va ular o‘zaro bir-birini to‘ldiradi.

### **6.2. Makroskopik sistema parametrlari**

Juda ko‘p sonli atom va molekulalardan tashkil topgan sistema - ***makroskopik sistema*** deb ataladi. Makroskopik sistema holatini to‘la ravishda aniqlay oladigan fizik kattaliklar ***makroskopik parametrlar*** deb ataladi. Shu parametrlar va ularning o‘lchov birliklari bilan tanishaylik.

**Hajm**. Tashqi kuchlar ta’siriga qaramay qattiq jism molekulalari orasida o‘zaro ta’sir kuchli bo‘lgani uchun o‘zlarining hajmlari va shaklini, suyuqliklar esa o‘z hajmlarini saqlaydilar. Gazlar esa molekulalar orasida o‘zaro ta’sir kuchsiz bo‘lgani uchun o‘zi solingan idish hajmini egallaydi. Shunday qilib, ***sistema hajmi*** degan fizik kattalik kiritiladi, hajm m3 larda o‘lchanadi.

**Harorat**. Moddaning issiqlik holatini xarakterlash uchun termodinamik kattalik ***harorat*** tushunchasi kiritiladi.

SI da haroratning absolyut termodinamik shkalasi, ya’ni ***Kelvin shkalasi*** asosiy birlik sifatida qabul qilingan. ***Suvning uchlanma nuqtasi, ya’ni qattiq, suyuq va gazsimon fazalarining muvozanatli holatini aniqlovchi nuqta haroratigacha bo‘lgan harorat intervalining 1/273,16 qismi bir kelvin (K) deb qabul qilingan***. Bu birlikdan tashqari, haroratni o‘lchashda ***Celsiy shkalasi*** keng qo‘llaniladi. Normal bosimda muzning erishi va suvning qaynash haroratlari intervalining 1/100 ulushi celsiy shkalasidagi 1*°C* ni beradi. Suvning muzlash, erish va bug‘lanish fazalarining muvozanatli holatiga to‘g‘ri kelgan haroratni *0°C* deb olsak, u vaqtda uchlanma nuqtaning harorati kelvin shkalasida *273,16 K* shu sharoitda suvning qaynash harorati esa *373,16 K* teng bo‘ladi.

Demak, Kelvin va Selsiy shkalalari orasidagi bog‘lanish quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

*T = 273, 16 + t* (6.1)

bunda sistemaning Kelvin shkalasi bo‘yicha o‘lchangan harorat *T* harfi bilan, Selsiy shkalasi bo‘yicha o‘lchangan harorat esa *t* harfi bilan belgilanadi.

**Bosim**. Bosim (*R=F/S*) yuza birligiga normal ta’sir etuvchi kuch bilan o‘lchanuvchi fizik kattalikdir. Bosimning asosiy birligi sifatida ***Paskal (Pa)*** qabul qilingan. Bosimning ***millimetr simob ustuni (mm.sim.ust)*** birligidan ham foydalaniladi. Bu birliklar orasida quyidagicha bog‘lanish bor *1 mm.sim.ust =* *133,322 Pa*

**Modda miqdori**. Modda miqdorini o‘lchash uchun asosiy birlik sifatida mol qabul qilingan. Moddaning bir molining massasiga uning ***molyar massasi*** deyiladi. ***Uglerod - 12 ning 0,012 kg massasidagi atomlar soniga teng strukturaviy element (masalan, atom, molekula) lardan tashkil topgan moddaning miqdori bir mol (μ) deb ataladi.*** Molyar massa *kg/mol* da o‘lchanadi va *μ* harfi bilan belgilanadi. Masalan, kislorod (*O2*) ning molyar massasi *μ=0,032* *kg/mol*, vodorod (*N2*) uchun *μ=0,02* kg/mol, azot (*N2*) uchun *μ=0,026* *kg/mol*, 1 mol moddadagi molekulalar soni moddaning turiga bog‘liq bo‘lmagan o‘zgarmas kattalik bo‘lib ***Avogadro soni*** deb ataladi va odatda, *NA* deb belgilanadi, u *NA* *= 6,0222 . 1023 1/mol* teng bo‘ladi.

Molekulalarining soni *N* ga teng bo‘lgan modda miqdorida necha mol borligini aniqlash uchun quyidagi ifodadan foydalanamiz:

 (6.2)

Bitta gaz molekulaning massasi *mm* kg bo‘lsa, bir mol gazning massasi, ya’ni molyar massasi

 (6.3)

teng bo‘ladi. *N* ta molekulalardan tashkil topgan gazning massasi: *M=mmN*. Bu ikki massaning nisbatidan foydalanib biror *V* hajmdagi molekulalarning sonini aniqlaylik:

 (6.4)

Demak, *N* ta gaz molekulasi egallagan hajm ma’lum bo‘lsa, birlik hajmdagi molekulalar soni, ya’ni ***molekulalar konsentratsiyasini*** aniqlash mumkin.

 (6.5)

Normal sharoitda 1 kilomol gazning egallagan hajmi *Vυ=22,4 m3* ekanligini e’tiborga olib, 1m3 hajmdagi molekulalar soni *n0 = NA/Vm = 2,7.1025m-3*ga teng ekanligi aniqlanadi. Bu esa ***Loshmidt soni*** deb ataladi.

Molekulalar massa *~10-26 kg* juda kichik bo‘lganligi sababli, odatda, atom va molekulalarning massalarini massaning atom birligi (m.a.b.) da ifodalanadi. M.a.b. qiymat jihatdan uglerod - 12 atomi massasining 1/12 ulishiga teng qilib olinadi:

 (6.6)

### 

### **6.3. Issiqlik harakati**

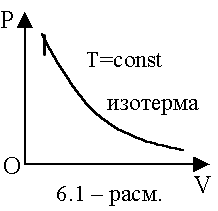
Tabiatdagi barcha moddalar molekulalardan tashkil topgan. Moddaning barcha kimyoviy xossasini o‘zida saqlab qola oladigan eng kichik zarrasiga ***molekula*** deb ataladi. Kimyoviy usul bilan tarkibiy qismlarga ajratib bo‘lmaydigan moddalar ***kimyoviy elementlar*** deb ataladi. Molekulalar orasida o‘zaro ta’sir kuchlari bo‘lib, bu kuchlarning katta-kichikligiga qarab aynan bir moddani o‘zi qattiq, suyuq va gaz holatlarida bo‘lishi mumkin. Molekulalar orasidagi tutinish kuchlari nolga intilayotgan gaz ideal gazga aylana boshlaydi. Moddalarning xususiyatlarini va xossalarini molekulalarning harakati va o‘zaro ta’sir asosida o‘rganuvchi nazariyaga ***molekulyar - kinetik nazariya*** deb ataladi.

Moddaning issiqlik holati uning molekulalarining ***issiqlik*** (xaotik) ***harakati*** intensivligi bilan xarakterlanadi. Issiqlik harakat intensivligi o‘zgarganda jismning ichki energiyasi va issiqlik holati o‘zgaradi.

Issiqlik holatlari har xil bo‘lgan ikki modda olaylik. Birinchi modda molekulalarining issiqlik harakati ikkinchisinikidan intensivroq bo‘lsin. Bu moddalarni bir-biriga tekkizsak, birinchi moddaning molekulalari moddalarning tegishish chegarasida ikkinchi modda molekulalariga urilib, ularning issiqlik harakati intensivligini oshiradi. Natijada, moddalarning issiqlik holatlari o‘zgaradi: birinchi moddaning ichki energiyasi kamayadi, ikkinchisiniki esa ortadi. Aslida, moddaning issiqlik holatini harorat belgilaydi. Harorat o‘z navbatida modda molekulalari issiqlik harakati intensivligini miqdoriy jihatdan xarakterlovchi fizik kattalikdir.

Demak, modda molekulalarining issiqlik harakati qanchalik intensiv bo‘lsa, uning harorati shunchalik yuqori bo‘ladi.

### **6.4. Ideal gazning holat tenglamasi**



6.1-rasm

Gazlar bilan bog‘liq bo‘lgan hodisalarni o‘rganishni soddalashtirish maqsadida ***ideal gaz*** tushunchasi kiritiladi. Quyidagi soddalashtirishlarni kiritaylik:

6.2-rasm

a) gaz molekulalari orasida o‘zaro ta’sirlashish kuchlari mavjud emas.

b) gaz molekulalarining o‘lchamlari hisobga olmaslik darajasida kichik.

v) gaz molekulalarining o‘zaro to‘qnashishlari elastik sharlarning to‘qnashuvidek sodir bo‘ladi.

Siyraklashtirilgan real gazlarning xossalari ideal gazga yaqin bo‘ladi. Masalan, atmosfera bosimida vodorod va geliy gazlari ideal gazga juda yaqin bo‘ladi. Gaz bir holatdan ikkinchi holatga o‘tganda parametrlari o‘zgaradi. O‘zgarmas m massali gaz holatini o‘zgarishida parametrlar (bosim *R*, hajm *V* va harorat *T*) dan bir o‘zgarmasdan saqlanib qolgan ikkitasi o‘zgarishi mumkin.

1. **Izotermik jarayon (*T=sonst*)** da gaz holatining o‘zgarishi Boyl-Mariott qonuni bilan aniqlanadi.

*RV = const* (6.7)

2) **Izobarik jarayon (P=sonst)** Gey-Lyussak qonuniga bo‘y sunadi.

 (6.8)



bundan

 (6.9)

hosil qilamiz (6.2-rasm). Bu yerda *αv* - gazning hajm kengayish termik koeffitsienti,

6.3-rasm



**3) Izoxorik jarayon (V=const)** da amalga oshadi va Sharl qonuni bo‘yicha aniqlanadi (6.3-rasm).

 (6.10)

bundan

 (6.11)

ni hosil qilamiz. Bu yerda ideal gaz uchun *αv = αr. αr* - bosimning termik koeffitsientidir.

Endi ideal gaz parametrining har uchalasi *R1, V1, T1* holatdan o‘zgarib *R2, V2, T2* holatga o‘tsin.

Bu vaqtda (*T1 =const*) da gaz bosimini *R2* gacha o‘zgartiraylik. Natijada gaz hajmi ham o‘zgaradi (*V′*). Izotermik jarayonda



Bunda

 (6.12)

ifodani hosil qilamiz. Ikkinchi jarayonda (*R2 =const*) da haroratni *T2* gacha orttiramiz. Natijada gaz *V2* hajmga izobarik kengayadi. Gey - Lyussak qonuniga asosan quyidagini yozamiz:



Bunda

 (6.13)

ifoda hosil bo‘ladi. (6.12) va (6.13) lardan



tenglikni yozamiz. Demak, o‘zgarmas massali gaz uchun bosim va hajm ko‘paytmasini haroratga nisbati

 (6.14)

o‘zgarmas miqdorga teng bo‘lib, bu tenglamani Klapeyron tenglamasi deb ataladi. Bu yerda V gaz massasi va turiga bog‘liq gaz doimiysidir. (6.14) tenglamani D.I.Mendeleyev normal sharoitda *1 mol* gaz uchun quyidagicha o‘zgartiradi:

 (6.15)

bunda *R* - gazning universal doimiysi deb ataladi.

*R = 6,31 J/mol.K* (6.16)

*VM = 22,41 . 10-3 m3/mol*  *1 mol* ideal gazning hajmidir.

Agar (6.15) tenglamaning har ikki tomoniga *m/μ* ni ko‘paytirib va *(m/μ) VM = V* teng deb olsak

 (6.17)

Klapeyron - Mendeleyev tenglamasini hosil qilamiz. Bu yerda *μ* - molyar massa, *m* - ixtiyoriy olingan gaz massasi.

### **6.5. Ideal gaz molekulyar - kinetik nazariyaning**

### **asosiy tenglamasi**

Molekulalar issiqlik harakati tartibsiz bo‘lib, bu harakat natijasida ular har doim bir-biri bilan va idish devori bilan to‘qnashib turadi. Gaz molekulalari bilan idish devori hosil qilingan o‘zaro ta’sirlaridan foydalanib, gazning devorga bergan ta’sir kuchi - bosimi baholanadi. Birlik vaqt ichida idish devorining birlik yuziga molekulalar tomonidan berilayotgan impulslar yig‘indisi bosimni hosil qiladi. Har bir molekula harakat yo‘nalishiga perpendikulyar yuzaga kelib elastik urilganda uning impulsi



ga o‘zgaradi. Agar qirralarining uzunligi  bo‘lgan kubning birlik hajmidagi molekulalar sonini *n* deb belgilasak, kubning qarama-qarshi devorlari orasida harakatlanayotgan molekulalar soni

 (6.18)

ifoda bilan aniqlanishi mumkin. Kub qirrasining uzunligi  bo‘lganligi uchun molekulalarning u yoki bu devorga urilishlari har *τ = 2/υi* vaqtda takrorlanib turadi. Bularni hisobga olib *i* - molekula tomonidan devorga berilayotgan o‘rtacha ta’sir kuchini aniqlaymiz:

 (6.19)

Devorga ta’sir etuvchi umumiy kuch esa



teng bo‘ladi. Bu ifodaning surat va maxrajini *N* ga ko‘paytirsak

 (6.20)

Bundagi

 (6.21)

kattalikni ***o‘rtacha kvadratik tezlik***  deb yuritiladi.

(6.16) va (6.21) larni e’tiborga olib (6.20) ifodani quyidagicha yozamiz



Bundan

 (6.22)

hosil qilamiz.

Bu tenglama ***ideal gaz molekulyar - kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi*** deb yuritiladi. (6.22) quyidagicha o‘zgartirib yozamiz:

 (6.23)

Demak, ideal gaz bosimi birlik hajmdagi gaz molekulalari o‘rtacha kinetik energiyasining 2/3 qismiga teng. Ikkinchi tomondan teng bo‘lgani uchun (6.23) quyidagicha yozamiz:

 yoki  (6.24)

### 

### **6.6. Gaz molekulalarining tezliklari va energiyalari bo‘yicha taqsimlanishiga oid Maksvell qonuni**

Molekulyar-kinetik nazariya natijalarini eslasak, gaz molekulalari har xil tezliklar bilan tartibsiz harakat qilishlari ayon bo‘ldi. Molekulalarning o‘zaro to‘qnashishlari tufayli ularning tezliklari miqdor va yo‘nalish jihatdan uzluksiz ravishda o‘zgarib turadi. Keyinchalik tekshirishlardan ma’lum bo‘ldiki, normal sharoitda har bir molekula bir sekunda taxminan *1010* marta to‘qnashar ekan. Shu sababli, juda qisqa vaqt ichida ham tezligi aniq qiymatga ega bo‘lgan molekulalarning sonini aniqlash mumkin emas. Lekin ixtiyoriy yo‘nalishda tezligi *ϑ* dan *ϑ+dϑ* gacha intervalda yotgan molekulalar sonini aniqlash mumkin. Tezliklarning butun sohasini tezlikning juda kichik *d ϑ*  ga teng intervallariga ajrataylik. Bunda har bir tezliklar intervaliga *dN* molekulalar soni to‘g‘ri keladi deb olaylik. *dN* sistemadagi barcha molekulalar soni *N* ga va tezlik intervali *dϑ* ga proporsional bo‘ladi.

*dN ~ Ndϑ*  (6.25)

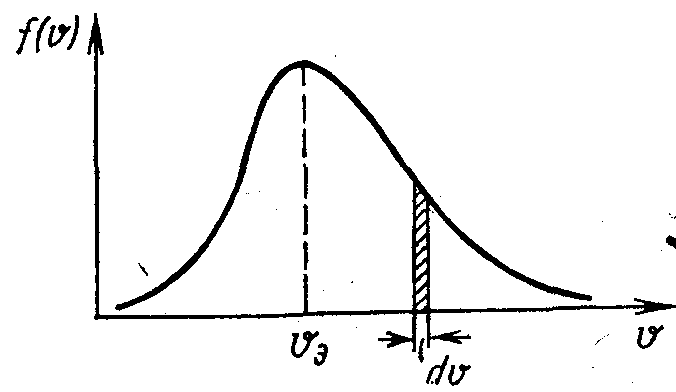
tezlik funksiyasi kattaligini kiritib (6.24) ni quyidagicha yozish mumkin.

*dN = f(ϑ)Ndϑ*

yoki

 (6.26)

(6.25) ifodani molekulalarning tezliklar bo‘yicha taqsimot funksiyasi deyiladi.



**6.4 – rasm.**

*F(ϑ)* - funksiya *dϑ*  tezliklarga ega bo‘lgan, molekulalar qolgan barcha molekulalarning qanday ulushini tashkil etish ehtimolligini ko‘rsatadi.

Bu taqsimot funksiyasini birinchi bo‘lib ingliz fizigi Maksvell nazariy yo‘l bilan - ehtimollar nazariyasi asosida aniqlagan edi. Taqsimot funksiyasi Maksvell tomonidan 6.4-rasmda chizilgan egri chiziq sifatida tasvirlangan. Maksvell *f(ϑ)* funksiyasining analitik ifodasi quyidagi ko‘rinishda keltirib chiqariladi:

 (6.27)

bu yerda *mm* - molekulaning massasi, *T* - gazning absolyut harorati.

Biror hajmdagi gazning ϑ dan ϑ*+dϑ* gacha tezliklar bilan harakatlanayotgan molekulalarning nisbiy soni quyidagi munosabatdan foydalanib topiladi:

 (6.28)

Uning qiymati 6.4-rasmdagi Maksvell egri chizig‘i ostidagi shtrixlangan yuzachaga teng. (6.26) ifoda ***molekulalarning tezliklari bo‘yicha taqsimlanishiga oid Maksvell qonuni deyiladi.***

Maksvell egri chizig‘ining maksimumga to‘g‘ri kelgan tezligini eng katta ***ehtimolli tezlik (ϑe)*** deb ataladi. *ϑe* ning qiymatini topish uchun *f(ϑ)* funksiyadan *ϑ* bo‘yicha olingan hosilani nolga tenglashtiramiz va

 (6.29)

ekanligini topamiz.

Harorat yuqorilashgan sari Maksvell egri chizig‘i pasayib katta tezliklar sohasiga cho‘ziladi.

Ideal gaz molekulalarining energiya bo‘yicha taqsimoti *, w* dan *w+dw* energiya oralig‘ida *w=mϑ2/2* kinetik energiyaga ega bo‘lgan gaz molekulalari umumiy soni *N* ning qanday ulishini tashkil qilishi bilan aniqlanadi:

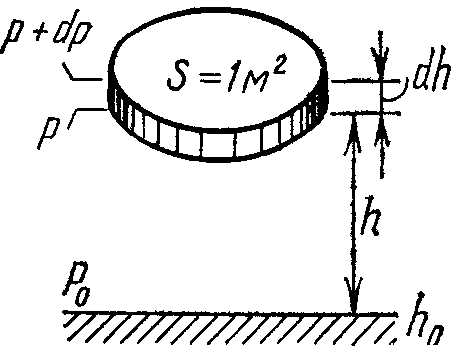
 (6.30)

Bu ifoda gaz molekulalarining issiqlik harakat energiyalari bo‘yicha taqsimlanishiga oid Maksvell qonuni deb ataladi. Maksvell nazariyasining to‘g‘riligi 1920 yilda nemis olimi Shtern tajribasida isbotlangan.

### **6.7. Bolsman taqsimot qonuni**

Ideal gaz molekulyar-kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi va gazning holat tenglamasini keltirib chiqarishda hamda molekulalarning tezliklari bo‘yicha taqsimlanishiga oid Maksvell qonunida gaz molekulalariga tashqi kuchlar ta’sir qilmaydi va shular sababli molekulalar berilgan hajmda bir tekis taqsimlangan deb hisoblandi. Aslida atmosferamiz ostidagi gazning har bir molekulasi birinchidan Yerning tortish kuchi maydonida bo‘lsa, ikkinchidan havo molekulalari doimo issiqlik harakatida bo‘ladi. Havo molekulalarining issiqlik harakati bo‘lmaganda edi, barcha molekulalar Yer sirtida to‘planib 10 metr qalinlikdagi zich qatlamni hosil qilgan bo‘lar edi. Shunday qilib, havo molekulalarining issiqlik harakati va Yer tortish kuchining bir vaqtning o‘zida ta’siri tufayli Yer atrofida bizni doimo o‘rab turgan atmosfera mavjud. Atmosferamizdagi havo molekulalarining balandlik bo‘yicha taqsimlanishi shu ikki ta’sir kuchlarining natijasidir.

Yer sirtida balandlikni *h0*, bosimni *r0* va hajm birligidagi molekulalar sonini *n0* deb olaylik. *h* balandlikda *R* bosim ostida birlik hajmda *n* dona molekula mavjud deb hisoblaylik*. h*-balandlikda qalinligi *dh* va asosining yuzi *S=1 m2* bo‘lgan qatlamni ajrataylik. Gazni bir jinsli deb, uning haroratini esa o‘zgarmas deb olaylik (6.5-rasm). Bu qatlamning quyi va yuqori asoslariga ta’sir etuvchi atmosfera bosimini *R* va *R + d R* deb belgilaylik. Bu elementar hajmdagi molekulalar soni hajm birligidagi molekulalar sonining (*n*), uning hajmiga *dv=Sdh* ko‘paytmasi bilan ifodalanadi. Qatlamning umumiy og‘irligi esa



**6.5 –rasm.**

 (6.31)

teng bo‘ladi va quyidagi bosimni hosil qiladi

 (6.32)

Minus ishorasi *h* orta borishi bilan bosimni kamayotganligini ko‘rsatadi.

Ikkinchi tomondan (6.26) ni eslasak

 (6.33)

(6.32) ni (6.33) ga taqsimlasak



hosil qilamiz, uni *g, T* o‘zgarmas deb hisoblab *h0* dan *h* gacha va *R0* dan *R* gacha integrallaylik





tenglamani hosil qilamiz. Bu ifoda ustida potensialashni bajarsak:



yoki *h0=0* da

 (6.34)

ifodaga erishamiz, , *mm⋅NA­=μ* ekanliklarini e’tiborga olsak (6.33) ni quyidagi ko‘rinishda yozamiz:

 (6.35)

Bu tenglama ***barometrik formula*** deb ataladi. (6.29) dan foydalanib:



deb hisoblab (6.35) ni quyidagicha ifodalaymiz:

 (6.36)

Bu ifodadagi *mmgh=U* potensial energiyani ifodalaydi. U holda (6.36) munosabat

 (6.37)

ko‘rinishda yoziladi. Bu munosabatni ***Bolsman taqsimoti*** deb ataladi.

(6.37) ifoda balandlik ortishi bilan havo zarrachalarining konsentratsiyasi kamayib borishini ko‘rsatadi.

**Savol va topshiriqlar**

1. **Makroskopik sistema va mikroskopik sistema tushumtirib bering?**
2. **Ideal gazning holat tenglamasini asoslab bering?**
3. **Molekulyar kinetik nazariyaning asosiy tenglamasi tenglamasini keltirib chiqorib bering?**
4. **Maksvell qonunini tushuntirib bering?**

**6. Mavzu: Termodinаmikа аsoslаri.**

### **6.1.** **Ichki energiya**

Biror moddaning bir butun energiyasi deganda shu moddaning kinetik energiyasi bilan moddaning tashqi kuchlar maydonidagi potensial energiyasi hamda shu moddani tashkil etgan mikrozarrachalar energiyasi, ya’ni moddaning ichki energiyalarining yig‘indisi tushuniladi.

 (6.1)

*U-* ichki energiya tushunchasi molekulalar issiqlik harakatining kinetik energiyasini, molekulalar orasidagi o‘zaro ta’sir potensial energiyasini va molekulalar ichidagi boshqa energiyalar (atomning molekulalardagi tebranma harakat energiyasi, atom va ionlarning elektron sathlari energiyasi va boshqalar) ni o‘z ichiga oladi.

Ichki energiya sistema holatini belgilaydi. Agar sistema holatining o‘zgarishi holat parametrlari *R, V, T* bilan xarakterlansa, u vaqtda ichki energiya shu holat parametrlarining funksiyasi bo‘ladi, ya’ni *U=f(R, V, T).*

Ichki energiya holatning bir qiymatli funksiyasi hisoblanadi. Bu shu narsani anglatadiki, sistemaning aniq bir tayinli holatiga ichki energiyaning aniq bir qiymati mos keladi. Sistema bir holatdan boshqa holatga o‘tganda uning ichki energiyasining o‘zgarishi ichki energiyaning bu holatlaridagi qiymatlari ayirmasiga teng bo‘lib, bir holatdan boshqa holatga o‘tiladigan yo‘l shakliga bog‘liq emas. Shuning uchun ichki energiyaning hisob boshini tanlash ahamiyatli emas. Ko‘pincha *T=0* da ichki energiya nolga teng deb olinadi.

Ideal gaz ichki energiyasi ta’rifiga binoan ichki energiya faqat molekulalar kinetik energiyalarining yig‘indisiga teng. *V -* hajmdagi gaz molekulalarining soni *N* ga teng bo‘lsa, gazning ichki energiyasi

 (6.2)

Bir mol gaz uchun ushbu ifoda

 (6.3)

Bu ifodada *i* - erkinlik darajalari soni. Bir atomli gaz uchun *i=3* ga ikki atomli gaz uchun *i=5* ga uch yoki ko‘p atomli bo‘lsa, *i=6* ga teng. (6.2) munosabat ***ixtiyoriy m massali ideal gazning ichki energiyasini ifodalaydi.***

Real gazning molekulalari bir-biri bilan o‘zaro ta’sirlashadi, shuning uchun potensial energiyaga ega. Binobarin, real gazning ichki energiyasi molekulalar issiqlik harakatining kinetik energiyasi bilan o‘zaro potensial energiyalarining yig‘indisiga teng:

 (6.4)

Molekulalarning o‘zaro ta’sir potensial energiyasi molekulalar orasidagi masofaga, demak gaz egallagan hajmga bog‘liq bo‘ldi. Shuning uchun real gazlar ichki energiyasi faqat haroratgagina emas, balki gaz egallagan hajmga ham bog‘liq bo‘ladi.

Real gaz molekulalari ilgarilama harakatdan tashqari, aylanma va tebranma harakat qilishi mumkin. Shu harakat tufayli molekulalar shakliga bog‘liq bo‘lgan ma’lum energiya mavjud bo‘ladi. Molekulalar shakli molekula tarkibiga kiruvchi atomlar soniga va ularning joylanishiga ham bog‘liq.

Shunday qilib, real gazning ichki energiyasi uning haroratiga, hajmiga va molekulalar strukturasiga bog‘liq bo‘ladi.

 (6.5)

### **6.2. Issiqlik miqdori. Issiqlik sig‘imi.**

Issiqlikni ichki energiyaning sifat belgilarini anglatuvchi kattalik deyish mumkin, chunki issiqlik orqali berilgan moddaning harorati yuqori yoki past ekanligi to‘g‘risida ma’lumot olamiz. Issiqlikni kontakt yoki nurlanish tufayli uzatish mumkin. Birinchidan, haroratlar har xil bo‘lgan moddalar o‘zaro bir-biriga tekizilsa, ma’lum vaqtdan keyin har ikki moddaning haroratlari sekin-asta bir xil qiymatga o‘zgarishini kuzatish mumkin. Ikkinchidan, Quyosh nurlari ta’sirida atrof-muhit isiydi.

Bir-biriga tekkizish yoki nurlanish orqali bir sistemadan ikkinchi sistemaga berilgan yoki undan olingan energiya ***issiqlik miqdori*** deyiladi.

Issiqlik miqdori ham energiya birliklarida o‘lchanadi. Issiqlik miqdori ***joulda*** o‘lchanadi. Issiqlik miqdori ham, xuddi bajarilgan ish kabi, holat funksiyasidir. U faqat moddaning boshlang‘ich va oxirgi holatlari bilan emas, balki modda holatlarining o‘zgarishi amalga oshgan jarayon bilan ham aniqlanadi.

Moddaning ***issiqlik sig‘imi***, modda haroratini bir kelvinga oshirish uchun unga berilgan issiqlik miqdori bilan xarakterlanadi. Gazlarning issilik sig‘imini o‘rganishda solishtirma issiqlik sig‘im va molyar issiqlik sig‘im tushunchalaridan foydalanamiz.

a) *1 kg* gaz haroratini *1K* ga oshirish uchun kerak bo‘lgan issiqlik miqdori bilan o‘lchanadigan kattalikka ***solishtirma issiqlik sig‘imi*** deb ataladi. Solishtirma issiqlik sig‘imi kichik ***s*** harfi bilan belgilanadi va *J/kg.K* da o‘lchanadi.

b) *1 mol* gaz haroratini *1K* ga oshirish uchun kerak bo‘lgan issiqlik miqdori bilan o‘lchanadigan kattalikka ***molyar issiqlik sig‘im*** deb ataladi. Molyar issiqlik sig‘im katta *S* harfi bilan belgilanadi va *J/mol.K* da o‘lchanadi. Bu ikki issiqlik sig‘imlar orasida quyidagicha bog‘lanish bor. Molyar massa *μ kg/mol* ekanligini eslasak

 yoki  (6.6)

munosabat hosil bo‘ladi. Ixtiyoriy m massali gazning issiqlik sig‘imi esa  ga teng bo‘ladi. ***O‘zgarmas hajmdagi ideal gazning molyar issiqlik sig‘imi*** deganda *1 mol* ideal gaz haroratining *1 K* ga o‘zgarishiga mos keladigan ichki energiya o‘zgarishi tushuniladi. Odatda, o‘zgarmas hajmdagi gazning molyar issiqlik sig‘imi *Sv* bilan belgilanadi

 (6.6)

Gazning o‘zgarmas bosimda molyar issiqlik sig‘imini

 (6.7)

yoki

 (6.8)

shaklda yozish mumkin. *1 mol* gaz uchun yozilgan holat tenglamasi (*RVm = RT*) ga differensiyallash amalini qo‘llab *RdVm=RdT* tenglikni hosil qilamiz. Uni (6.8) ga qo‘ysak

 (6.9)

hosil bo‘ladi.

(6.7) ning (6.8) ga nisbatini olsak va γ bilan belgilasak,

 (6.10)

hosil bo‘ladi. Bir atomli gaz uchun *i=3, γ=5/3=1,66*; ikki atomli gaz uchun *i=5, γ=6/5=1,4;* ko‘p atomli gaz uchun *i=6, γ=8/6=1,33*.

### **6.3. Termodinamikaning birinchi bosh qonuni va uni gaz izojarayonlariga tadbig‘i**

Issiqlik, ish va energiya orasidagi munosabatni issiqlikning mexanik harakatga va ishga aylanish jarayoniga bog‘lab o‘rganadigan fizikaning bo‘limiga ***termodinamika*** deyiladi. Demak, tabiat hodisalariga energiyaning saqlanish va bir turdan ikkinchi turga o‘tish qonuni asosida qarash termodinamikaning mazmunini tashkil qiladi.

Termodinamika o‘zining ikki fundamental qonuniga tayanadi. Termodinamikaning birinchi bosh qonuni issiqlik hodisalariga energiyaning saqlanish va bir turdan ikkinchi turga aylanish qonunining tadbig‘idan iboratdir. Silindrning qo‘zg‘oluvchan porsheni ostida turgan gazni qizdiraylik. Gazga berilgan *Q* issiqlik miqdori uning ichki energiyasini Δ*U* orttirishga va porshenni Δ*h* balandlikka ko‘tarishda (ya’ni Δ*V* hajmga o‘zgarishda) *A* ish bajarishga sarflanadi.

Ish energiyaning bir turidan boshqa turiga aylanish o‘lchovi bo‘lganligi uchun *A* ish sistema porshenning ko‘tarilganligi natijasida olgan mexanik energiyaga teng. Energiyaning saqlanish qonuniga ko‘ra

 (6.11)

Bu bog‘lanish ***termodinamika birinchi bosh qonunining matematik ifodasi bo‘lib*** quyidagicha ta‘riflanadi:

***Sistemaga atrofdagi jismlar bergan issiqlik miqdori sistema ichki energiyasini o‘zgarishiga va sistemaning tashqi jismlar ustida ish bajarishga sarflanadi.***

Agar sistema o‘zining dastlabki holatiga har doim qaytsa, uning ichki energiyasining o‘zgarishi Δ*U=0* bo‘ladi. U holda termodinamikaning birinchi asosiy qonuni quyidagicha yoziladi:



Bundan o‘zi olgan energiyadan ko‘proq ish bajara oladigan davriy harakatlanuvchi sistema (***birinchi tur abadiy dvigatel***) yaratish mumkin emasligi kelib chiqadi. Bu xulosalardan foydalanib, termodinnamikaning birinchi bosh qonunini yana shunday ta’riflash mumkin: ***birinchi tur abadiy dvigatel qurish mumkin emas.***

Termodinamikaning birinchi bosh qonunini differensial ko‘rinishi

 (6.12)

ifodaga ega bo‘ladi.

Endi termodinamika birinchi bosh qonuni ideal gazdagi izojarayonlarga tadbiq qilaylik.

1. **Izoxorik jarayon** (*V=const*) hajm o‘zgarmaganligi uchun izoxorik jarayonda ish bajarilmaydi, ya’ni, *A=0*. Natijada termodinamikaning birinchi bosh qonunining ifodasi izoxorik jarayon uchun



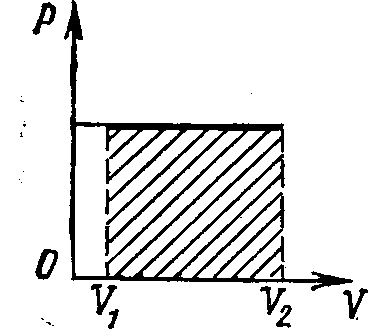
**6.1-rasm**

*Q=ΔU* (6.13)

ko‘rinishda yoziladi.

Izoxorik jarayonning (*R, V*) diagrammadagi grafigi ordinata o‘qiga parallel to‘g‘ri chiziqdan iborat bo‘ladi (6.1-rasm). Izoxorik jarayonda solishtirma issiqlik sig‘im:





**6.2 –rasm.**

bunda va (6.6) ni hisobga olib, quyidagini hosil qilamiz:

 (6.14)

bunda *CV -* izoxorik molyar issiqlik sig‘im.

Demak, gazning ichki energiyasi o‘zgarishi uning harorati o‘zgarishi *dT* ga to‘g‘ri proporsional ekan.

2)  **Izobarik jarayon (*P = sonst*)**

Izobarik jarayonning (*P, V*) diagrammadagi grafigi abssissa o‘qiga parallel to‘g‘ri chiziqdan iborat bo‘ladi (6.2-rasm). Bu jarayonda hajm *V1* dan *V2* gacha izobarik kengayganda bajarilgan ishning qiymati *A = P* (*V2 - V1*) to‘g‘ri to‘rt burchakning yuziga teng bo‘ladi. Elementar hajmlarda bajarilgan ish esa *dA = PdV* shaklida yoziladi.

Bundan foydalanib, *1 mol* gaz uchun termodinamikaning birinchi bosh qonunini quyidagicha yozishimiz mumkin:

*dQ = Cv dT + Pd*v(6.15)

izobarik molyar issiqlik sig‘im (6.8) ni eslasak,

;

hosil qilamiz. Buni (6.15) qo‘yib

*СpdT = CvdT +Rdv* (6.16)

munosabat olinadi.

*1 mol* gaz uchun olingan holat tenglamasidan defferensial olsak *RdV=RdT* hosil bo‘ladi. Buni (6.16) ga qo‘yib quyidagi munosabatni yozamiz.

*CpdT =CVdT +RdT*

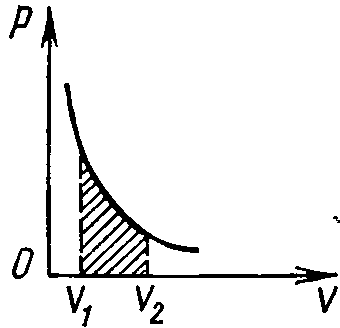
yoki

*Cp=CV+R* (6.16)

Bu ifoda Robert - Mayer tenglamasi deyiladi va *Cp*ning C*v* bilan farqi *R* ga teng ekanligini ko‘rsatadi. Demak, *1 mol* gazni *1K* ga isitganda, bosim o‘zgarmas bo‘lgan holda sarf qilingan issiqlik miqdorining farqi bajarilgan ish *RdV* ga teng bo‘lib, uning qiymati *R* ga teng.

3). **Izotermik jarayon (*T=sonst*).** Ideal gazning ichki energiyasi o‘zgarmaydi. Demak, *dT=0 dU=μCv dT=0* bo‘ladi. U holda termodinamikaning birinchi bosh qonuni

*dA=dQ=RdV* (6.18)



**6.3 – rasm.**

ko‘rinishida yoziladi. Klapeyron-Mendeleyev tenglamasidan foydalanib,



munosabatni hosil qilamiz. Uni ideal gazning hajmi *V1* va *V2* gacha o‘zgarganda bajarilgan ishni hisoblash formulasiga qo‘ysak

 (6.19)

Bu ifodadagi  izotermik jarayon uchun o‘zgarmas kattalikdir. Izotermik jarayonning (*R,V*) diagrammadagi grafigi giperbolik egri chiziqdir (6.3-rasm).

**4. Adiabatik jarayon** (*dQ=0*). Gaz tashqaridan hech qanday issiqlik miqdori olmaydi va uni tashqariga bermaydi.

Gazlarda adiabatik jarayon juda tez o‘tadi, shuning uchun issiqlik almashinuvi deyarli amalga oshmaydi. Termodinamikaning birinchi bosh qonuni quyidagi ko‘rinishda yoziladi:

*dA= - dU* (6.20)

Demak, adiabatik jarayon tashqi jismlar ustida bajarilgan ish ichki energiyaning kamayishi hisobiga bajariladi. Agar *dA>0* bo‘lsa, *dU<0* va aksincha bo‘ladi. (6.15) formulada *dU=CvdT* ekanligini e’tiborga olib (6.20) ni quyidagicha ko‘rinishda yozish mumkin

** (6.21)

Bundan

 (6.22)

munosabatni hosil qilamiz.

Ideal gaz holat tenglamasi (*RVm=RT*) ga differensiallash amalini qo‘llaylik



Bu yerdagi *dT* ni o‘rniga (6.22) dagi qiymatini qo‘ysak



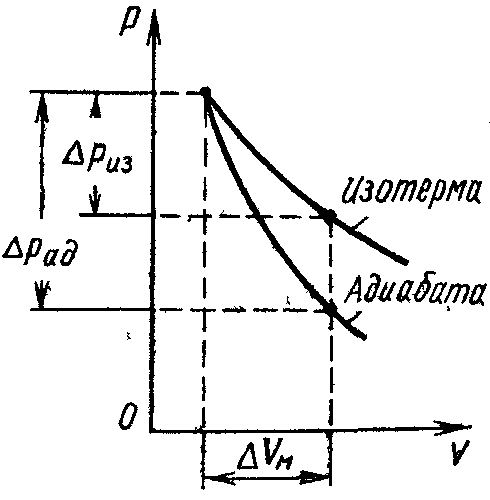
yoki

 (6.23)

ifodani hosil qilamiz. Bundagi



ekanligini ((6.10) qarang) e’tiborga olsak, (6.23) ni quyidagicha yozamiz:



**6.4 – rasm.**

**

Bu ifodani *rdVm* ga hadlab bo‘lsak

**Izoterma**



**Adiabata**

hosil bo‘ladi. Oxirgi munosabat ** funksiyaning differensialidir. Shuning uchun



ko‘rinishda yozishimiz mumkin. Bu tenglikni

 (6.24)

shaklida ham yozish mumkin.

(6.24) tenglama Puasson tenglamasi deb ataladi.

Bunda  adiabata ko‘rsatgichi bo‘lib, adiabatik jarayon uchun *γ>1*, izobarik jarayon uchun esa *γ=1*. (6.24) tenglamani

 (6.25)

ko‘rinishida ham yozish mumkin.

Adiabatik jarayonning (*R, V*) diagrammadagi grafigi 6.4-rasmda tasvirlangan. Grafikdan ko‘rinadiki, adiabata izotermadan tikroq bo‘lar ekan. Gaz adiabatik kengayganda uning harorati *T1* dan *T2* gacha o‘zgarsa, bajargan ishi

*A = Sv(T1 - T2)*  (6.26)

teng bo‘ladi.

### **6.4. Issiqlik sig‘imining klassik nazariyasi va uning chegaralanganligi**

Gaz molekulasining ***erkinlik darajasi*** deganda, shu gaz holatini to‘la aniqlovchi va bir-biriga bog‘liq bo‘lmagan ***koordinatalar soni*** tushuniladi. Agar molekula bir to‘g‘ri chiziq bo‘ylab harakatlanayotgan bo‘lsa, uning vaziyati bitta koordinata bilan aniqlanadi, demak *(i=1)* erkinlik darajalar soni birga teng. Molekula tekislikda harakatlanayotgan bo‘lsa, uning holatini ikkita koordinata bilan aniqlash mumkin, demak *i=2*. Fazoda molekula vaziyati uchta koordinata bilan aniqlanadi, *i=3* ga teng. Gaz ikki atomli bo‘lgan holda molekulaning erkinlik darajasi ortadi *(i=5)*. Molekulalar 3 va undan ortiq atomlardan iborat bo‘lsa, *i=6* bo‘ladi. Umumiy erkinlik darajasi nechaga teng bo‘lishidan qat’iy nazar, uning uchtasi ilgarilama harakatga mos keladi.

Klassik nazariyaga asosan molekulaning to‘la mexanik energiyasi erkinlik darajalari bo‘yicha bir tekis taqsimlanadi va bitta erkinlik darajasiga to‘g‘ri kelgan energiya *kT* ga teng. U holda (6.6) va (6.6) formulalarga asoslanib molekulalari bitta, ikkita va ko‘p atomdan iborat bo‘lgan ideal gazning o‘zgarmas hajmdagi molyar issiqlik sig‘imi (*Sv*) va o‘zgarmas bosimdagi molyar issiqlik sig‘imi (*Sr*) uchun quyidagi hisoblashlarni bajaraylik *i=3* bir atomli gaz molekulasi uchun

8,31 *J/mol.K* = 12,46 *J/mol.K*

8, 31 *J/mol.K* = 20,68 *J/molK* (6.27)

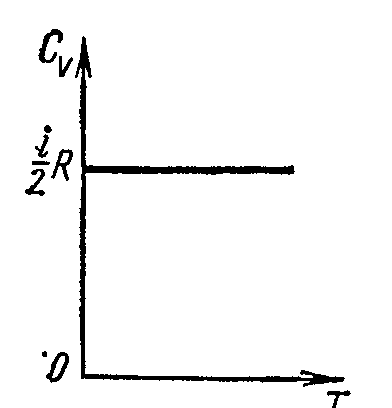
*i=5* ikki atomli gaz molekulasi uchun

20,68 *J/mol.K*;

= 26,06 *J/mol.K* (6.28)

*i=6* uch va undan ortiq atomlardan tashkil topgan molekulalar uchun

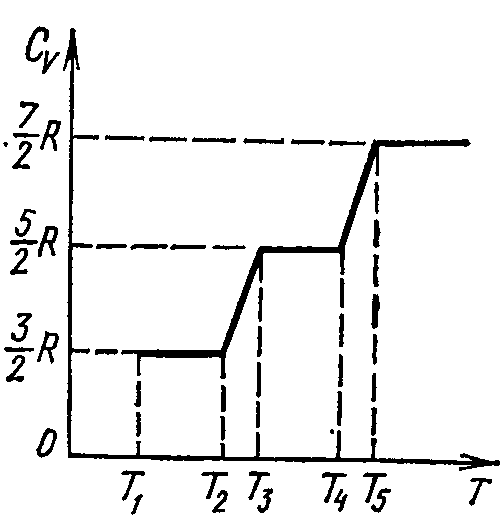
24,64 *J/mol.K*;



**6.5 – rasm.**

= 33,25 *J/mol.K* (6.29)

Bu topilgan natijalarni ba’zi gazlar uchun tajribada topilgan molyar issiqlik sig‘imlari (*Sv* va *Sr*) bilan solishtiraylik. Bir atomli gazlar geliy uchun *Sv =12,48*, *Sr =20,64* va argon uchun *Sv =12,48*, *Sr =21,23* bu tajriba natijalari klassik nazariya asosida hisoblangan (6.26) ifodaga juda yaxshi mos kelganligini ko‘ramiz. Molekulalari ikki atomdan tashkil topgan *N2*, *N2* gazlar uchun [ =*20,36*,  *=28,66*;  *= 20,66*, *Sr* *=28,64*] ham tajriba va nazariya natijalari orasida yetarlicha moslik ((6.26) qarang) mavjudligiga qanoat hosil qilamiz. Lekin molekulalari uch va undan ortiq atomdan tashkil topgan gazlar uchun tajriba natijalari   suv bug‘lari va metan gazlari uchun) nazariy hisoblarga ((6.28) qarang) mos kelmasligini ko‘rib turibmiz.



**6.6 – rasm.**

Endi issiqlik sig‘imining haroratga bog‘liqligini tekshiraylik. Klassik nazariyaga asosan issiqlik sig‘im haroratga bog‘liq emas (6.5-rasm).

Tajriba natijalari esa issiqlik sig‘imning haroratga bog‘liq ekanligini ko‘rsatdi (6.6-rasm). Rasmdagi grafikda molekulalari ikki atomdan iborat bo‘lgan gazlar uchun o‘zgarmas hajmdagi molyar issiqlik sig‘imning haroratga bog‘liqligi tasvirlangan. Grafikdan shu narsa ko‘rinadiki, *Sv* ning qiymati faqat ayrim harorat oraliqlaridagina o‘zgarmaydi va ular *i* ning turli qiymatlariga mos keladi. Past va yuqori haroratlarda amaliy qiymatlarning nazariy qiymatlardan farqi yetarli darajada kattadir. Amalda harorat ko‘tarilsa, *Sv* oshadi, harorat pasaysa *Sv* kamayadi. Bulardan ko‘rinadiki, tajriba yo‘li bilan olingan natijalarni nazariy qiymatlardan farqini klassik nazariya tushuntirishga ojizdir. Klassik nazariya molekula va atomlarning aylanma va tebranma harakat energiyalari harorat o‘zgarishiga mos bo‘lgan *kT* energiyaning ***uzluksiz*** qiymatlarini qabul qiladi deb tushintiradi. Kvant mexanikasida esa atom sistemalar energiyasi ***diskret*** (uzlukli) qiymatlarga ega bo‘la oladi deb, yoki boshqacha aytganda, atom sistemalar energiyasining o‘zgarishi ***sakrashsimon tarzda*** amalga oshadi deb o‘rganadi.

Shunday qilib, gaz issiqlik sig‘imini tushuntirishdagi ba’zi qiyinchiliklar klassik nazariyaning chegaralanganligini ko‘rsatadi. Bu esa molekulalarning harakati kvant mexanikasidagina to‘la tushuntirilish mumkinligini ifodalaydi.

**Savol va topshiriqlar**

1. **Ichki energiya deb nimaga aytiladi?**
2. **Termodinamikaning birinchi qonuni deb nimaga aytiladi?**
3. **Izajarayonlarning termodinamikaning ikkinchi qonuniga tadbiqi qanday bo’ladi?**
4. **Erkinlik darajasi deganda nimani tushunasiz?**