

ÓZBEKSTAN RESPUBLIKASI
JOQARI HÁM ORTA ARNAWLÍ BILIMLENDIRIW MINISTRILIGI

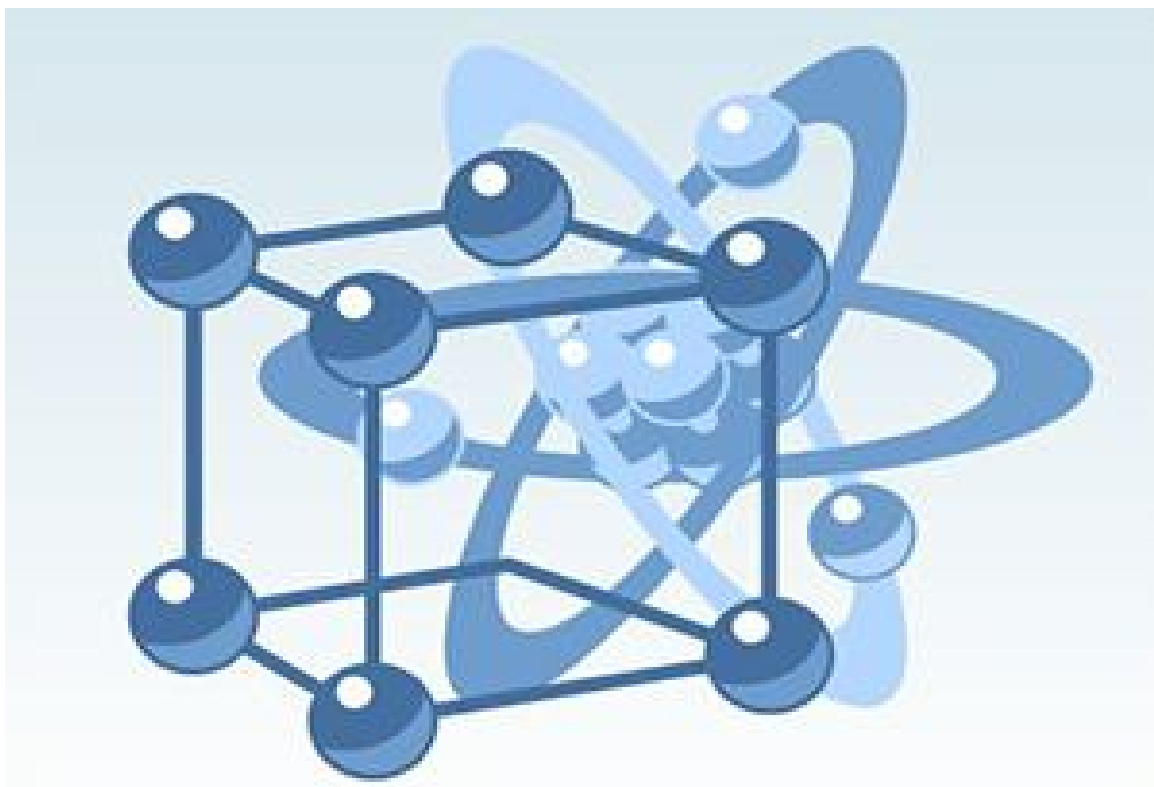
ÁJINIYAZ ATINDAĞÍ NÓKIS MÁMLEKETLIK
PEDAGOGIKALÍQ INSTITUTI

FIZIKA OQÍTÍW METODIRKASI KAFEDRASI

B.Atashov, K.Turdanov, M.Nsanbaev

MOLEKULAR FIZIKA

(Oqıw metodikalıq qollanba 5110200 – fizika hám astronomiya bakalavr tálim
bağdarınıń talabaları ushın mólsherlengen)



Nókis- 2019

Avtorlar: B.Atashov

K.Turdanov

M.Nsanbaev

Oqıw metodikalıq qollanba molekulyar fizikanıń fundamental temalarınıń mazmunın analizlewge baǵıshlangan.

Pedagogikalıq institutlardıń “Fizika hám astronomiya oqıtıw metodikası” bakalavr tálim baǵdarınıń talabalarına arnalǵan.

Juwaplı redactor:

B.Yavidov – Ájiniyaz atındaǵı Nókis mámleketlik pedagogikalıq institutı “Fizikanı oqıtıw metodikası” kafedrası docenti, fizika-matematika ilimleriniń doktorı

Pikir bildiriwshiler:

A.Kamalov - Ájiniyaz atındaǵı Nókis mámleketlik pedagogikalıq institutı “Fizikanı oqıtıw metodikası” kafedrası docenti, fizika-matematika ilimleriniń doktorı

B.Dawletmuratov - Ájiniyaz atındaǵı Nókis mámleketlik pedagogikalıq institutı “Miynet tálimi” kafedrası docenti, fizika-matematika ilimleriniń doktorı

NMPI Oqıw-metodikalıq seminarı

Keńesinde tastıyqlanǵan

Protokol № _____ 2019 j

Algı sóz

Ózbekstan Respublikası Joqarı hám orta arnawlı bilimlendiriw ministrligi tárepinen BD – 5110200 – 3.04 sanlı 09.01.2016 da dizimge alınğan hám 22.01.2016 da tastıyqlanğan 5110200 – fizika hám astronomiya oqıtıw metodikası tálım baǵdarınıń Ulıwma fizika pán baǵdarlamasınıń molekulyar fizika bólimi menen bir qatar avtorlar tárepinen tayarlanğan sabaqlıq hám qollanbalardan paydalanıw menen birge, avtorlardıń kóp jıllıq oqıǵan lekciyaları tiykar etip alındı.

Temalardıń mazmunı studentler tárepinen ózlerstiriwge qolaylı hám túsiniqli bolıwına itibar berilgen. Qollanbada temalardı sáwlelendiriwde fizikalıq qubılıslardıń maǵanasın múmkin bolǵanınsha ápiwayıraq etip, bayan etiwge háreket etilgen. Studentlerdiń bilimlerin bekkemlew maqsetinde tákirarlaw ushın sorawlar keltirilgen.

Bul oqıw metodikalıq qollanbanı dúziwde tómendegi avtorlardıń A.K.Kikoin, I.K.Kikoin, S.E.Frış, A.V.Timoreva, D.V.Sivuxin, E.M.Gershenson, N.N.Malov, A.N.Mansurov, P.A.Rımkeevich, F.Reyf, A.O.Stepuxovich, V.A.Ulitskiy, O.Axmadjonov, U.K.Nazarov, X.Z.Ikromov, K.A.Tursunmetov, A.S.Nómonxujaevlardıń ádebiyatlarında berilgen maǵlıwmatlardan paydalanıldı. Bunıń ushın bul ádebiyatlardıń avtorlarına úlken minnetdarshılıq bildiremiz.

Soday-aq qollanbanı oqıp, óziniń bahalı másláhatlerin bergen Ájiniyaz atındaǵı Nókis mámleketlik pedagogikalıq institutı “Fizika oqıtıw metodikası” kafedrası docentleri B.Yavidov, A.Kamalov hám “Miynet tálimi” kafedrası docenti B.Dawletmuratovqa avtorlar óz minnetdarshılıǵın bildiredi.

Bul qaraqalpaq tilindegi dáslepki oqıw metodikalıq qollanba bolǵanı ushın kemshilikler bolıwı múmkin. Sonıń ushın avtorlarǵa kitap haqqında óz pikir hám kórsetpelerin bildirgen kásipleslerimizge óz algıslarımızdı málim etemiz.

I BAP. IDEAL GAZLARDIŇ MOLEKULA-KINETIKALIQ TEORIYASI

§ 1.1 Zatlardıń dúzilisi haqqındaǵı molekulyar-kinetikalıq kóz qaraslardıń rawajlanıwı. Molekulanıń xarakteristikaları. Molekula o'lsheми.

Barlıq zatlardıń eń mayda bóleksheler-atomlardan ibarat ekenligi haqqındaǵı dáslepki kóz-qaraslar áyyemgi zamanlardan-aq payda bolıp, biziń eramızǵa shekemgi V ásirde grek filosofi Demokrit tárepinen anıq pikirler bildirilgen. Keyin ala bunday atomistlik kóz-qaraslar umıtılıp jiberilgen hám XVII ásirde ekinshi yarımına kelip R.Boyl tárepinen, XVIII-XIX ásirlerde M.V.Lomonosov, D.Dalton, Avogadro, A.K.Krenig, L.Bolcman, D.K.Maksvell hám t.b ilimpazlardıń qosqan úlesleri menen molekulyar kinetikalıq teoriyanıń tiykarǵı nızamları házirgi kóriniske kelgen. O'tkerilgen ko'plep ta'jiriybeler ha'm teoriyalıq na'tiyjeler barlıq zatlar júdá mayda jeke bóleksheler-molekulalardan turatuǵınlıǵın dáliyilledi.

Bir zattı qurawshı molekulalar birdey, hár qıylı zatlar túrli molekulalardan turadı. Bir neshshe atom birigip molekulanı payda etedi. Molekulanıń o'lsheмиleri ju'da' kishi bolg'anı ushın olardı a'piwayı ko'z benen ko'riw mu'mkin emes. En' u'lken molekulalar elektron mikroskop ja'rdeminde su'wretke aling'an. En' na'zik ta'jiriybelerdin' ko'rsetiwinshe, eki atomlı kislorod molekulasının' sıziqlı o'lsheми $4 \cdot 10^{-10}$ m a'tirapında. Ulıwma molekulalardın' sıziqlı o'lsheмиleri $10^{-8} \div 10^{-10}$ m boladı. O'z aldına molekulalardın' massaları ju'da' kishi bolıp, arnawlı a'sbap - massa-spektrometrler ja'rdeminde anıqlanadı. Ma'selen, suw molekulasının' massası $3 \cdot 10^{-26}$ kg a'tirapında.

Sonın' ushın da fizikada, molekulalar massalarının' absolyut ma'nisleri menen emes, o'lsheмсiz salıstırmalı o'lsheми menen jumıs ko'riledi, sebebi bul esaplawlardı bir qansha an'satlastıradı. Xalıq aralıq kelisimlerge tiykarlanıp etalon, yag'nıy birlik atom massası m_0 sıpatında uglerod ^{12}C izotopı (atomar) massasının' $1/12$ u'lesi qabıl etilgen:

$$m_0 = \frac{1}{12} m_{0C} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Qa'legen molekulanın' salıstırmalı massası M_0 dı anıqlaw ushın molekula massasının' absolyut ma'nisi m_{mol} dı birlik atom massası m_0 ge bo'liw kerek:

$$M_0 = \frac{m_{mol}}{m_0}$$

Sonday-aq, salıstırmalı atom massası A_0 dı anıqlaw ushın bolsa, atom massasının' absolyut ma'nisi m_{at} dı birlik atom massasına bo'liw kerek:

$$A_0 = \frac{m_{at}}{m_0}$$

Zatlar u'lken mug'dardag'ı molekulalardan qurag'anlıg'ı ha'm o'z gezeginde tu'rli zatlar molekulaları massalarının' ten' emesligi olardı salıstırıwda u'lken qıyınshılıqlar tuwdıradı. Tap sol qıyınshılıqtı jen'iw maqsetinde quramında birdey N_A molekula bolg'an zat mug'darı tu'sinigi kiritiledi. Zat mug'darı - zattag'ı molekulalar sanının' 0,012 kg uglerodtag'ı molekulalar sanı N_A g'a qatnası menen anıqlanatug'ın shama. Zat mug'darı v ha'ribi menen belgilenedi. Onın' Sİ dag'ı birligi - mol. 1 mol - 0,012 kg uglerodta qansha molekulalar bolsa, sonsha molekulaları bolg'an zat mug'darı bolıp tabıladı.

Joqarıda anıqlang'anınday, qa'legen zattın' 1 molında birdey sandag'ı molekulalar bar. Bul san Avogadro turaqlısı delinedi. Endi Avogadro turaqlısı nege ten'ligin anıqlayıq. Onın' ushın zat mug'darı tu'siniginen paydalanamız, yag'nıy 0,012 kg uglerodta N_A molekula bar:

$$N_A = \frac{0,012 \text{ kg}}{m_{0C}} \text{ /mol}$$

bul jerde m_{0C} uglerod molekulasının' massası. Birlik atom massasının' ta'rtibine tiykarlanıp

$$m_{0C} = 12 \cdot m_0$$

Solay etip,

$$N_A = \frac{0,012 \text{ kg}}{12m_0} \text{ /mol} = \frac{0,012 \text{ kg}}{12 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot \text{mol}} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol}$$

yag'nıy qa'legen zattın' bir molinde $6,02 \cdot 10^{23}$ 1/mol molekula bar.

Gazda qattı dene hám suyuqlıqlar siyaqlı óz massasına iye. Ko'binese gaz nızamların úyreniwde molyarlıq massa túsiniginen paydalanıw qolaylı esaplanadı.

Molyarlıq massa bir mol zattın' massası sıyaqlı bolıp, molekula massasının' Avogadro sanına ko'beymesi menen anıqlanadı.

$$M = m_{mol} \cdot N_A$$

Xalıq aralıq birlikler sistemasında molyarlıq massanın' birliği - kg/mol. Sáykes túrde N molekuladan quralğan gazdıń massası

$$m = m_{mol} \cdot N$$

Joqarıdagı teńliklerden V kólemdegi molekulalardıń sanın anıqlaymız.

$$N = \frac{m}{M} N_A$$

Demek, qandayda kólemdegi molekulalardıń sanın anıqlawda gaz massasın hám onıń molyarlıq massasın biliw jetkilikli esaplanadı.

Bir qatar baqlawlar hám nátiyjeler bizge hár qanday zatta úziliksiz ishki hárekettiń bar ekenligi haqqında isenim payda etedi. Bul ishki háreket usı zattı qurawshı molekulalardıń háreketinen ibarat.

Molekulalardıń bul háreketi tártipsiz hám hesh qashan toxtamaydı, bul háreket tek zattıń temperaturasına baylanıslı.

Molekulalardıń tártipsiz háreket etiwiniń sebebiniń ayqın dálili sıpatında Broun qozǵalısn keltirip ótsek boladı. Bul qubılıs suyıqlıq ishinde teń salmaqlıq halında júrgen mayda (tek ǵana mikroskopta kórinetuǵın) bóleksheler toqtawsız tártipsiz hareket etip turadı, bul háreket sırtqı sebeplerge baylanıslı bolmay, zattıń ishindegi hareketiń yaǵnıy molekulalardıń hareketi menen túsindiriledi. Broun bóleksheleri molekulalardıń tártipsiz túrtkileriniń tásiрі nátiyjesinde háreketke keledi. Broun bóleksheleriniń massaları ayırım molekulalardıń massasınan bir neshe millyard ese úlken, olardıń tezlikleri molekulalardıń tezliklerinen júdá kishi. Sonıń ushın da Broun bóleksheleriniń háreketin mikroskopta kóriw múmkin.

Demek, zatlar tek dana-dana dúzilislerge, yaǵnıy bir-birinen ajiralğan ayırım bólekshelerden ibarat bolıp ǵana qoymay, olar úziliksiz túrde háreket etip turatuǵın bólekshelerden quralğan. Sonıń ushın da zatlardıń dúzilisi haqqındaǵı teoriya molekula-kinetikalıq teoriya dep ataladı.

Molekula-kinetikalıq teoriyanıń maqseti denelerdiń tikkeley tájiriybelerde baqlanatuǵın qásiyetlerin (basım, temperatura hám taǵıda basqa) molekulalar tásiriniń ulıwma nátiyjesi sıpatında analiz etiwden ibarat. Bunda bul teoriya ayırım molekulalardıń háreketi menen emes, al bólekshelerdiń júdá úlken toparınıń háreketin xarakterleytuǵın tek ǵana ortasha muǵdarlar menen ǵana jumıs alıp barıp, statistikalıq metodtan paydalanadı. Sonıń ushın molekula-kinetikalıq teoriya statistikalıq fizika dep te júritiledi.

Denelerdiń hár qıylı qásiyetleri hám zat halatınıń ózgerislerin termodinamika úyrenedi. Biraq molekula-kinetikalıq teoriyadan ayırmashılıǵı sonda, termodinamika denelerdiń hám tabiyat qubılıslarınıń makroskopiyalıq qásiyetlerin olardıń mikroskopiyalıq kartinasına itibar bermey úyrenedi. Termodinamika molekula hám atom túsiniyelerinen paydalanbay hám processlerdi mikroskopiyalıq kóz-qarastan teksermey turıp, bul processlerdiń barısı tuwrısında qatar juwmaqlar shıǵarıwǵa imkan beredi. Termodinamikaǵa júdá kóp tájiriybelerden alınǵan faktlerdi ulıwmalastırıw arqalı tabılǵan bir neshe tiykarǵı nızamlar (termodinamika tiykarları dep atalıwshı nızamlar)tiykar etip alınǵan. Sonıń ushın da termodinamika juwmaqları júdá ulıwmalıq xarakterge iye.

Termodinamika menen molekula-kinetikalıq teoriya zattıń halatınıń ózgerislerin tekseriwge hár qıylı kóz-qaraslardan jantasıp bir-birin tolıqtıradı hám sońınan birlesip ketedi.

§ 1.2 Temperatura hám termodinamikalıq teńsalmaqlıq

Temperatura deneniń molekulalarınıń qozǵalıwınıń energiyasını xarakterleydi. Temperaturanıń joqarılawı menen barlıq zatlarda diffuziya tezligi artadı. Bizge málim, deneniń kinetikalıq energiyası joqarı bolsa, sáykes ráwishte tezligi artadı. Bunnan temperaturanıń joqarılawı nátiyjesinde molekulalardıń tártipsiz qozǵalıwınıń ortasha kinetikalıq energiyası artatuǵınlıǵı kelip shıǵadı.

Kelvin teoriyalıq jaqtan deneni- 273°C (anıǵıraq etip aytqanda $-273,15^{\circ}\text{C}$) tan tómén suwıtıw múmkin emesligin kórsetti. Bul temperatura absolyut nol temperatura

dep ataldı. Absolyut nol temperaturada denedegi barlıq molekulalardıń jıllılıq qozǵalıstadaǵı kinetikalıq energiyası nolge teń boladı.

Solay etip, jıllılıq (termodinamika) haqqındaǵı ilimniń tiykarında mexanika nızamları jatadı. Deneniń kóplegen fizikalıq qásiyetleri temperaturaǵa baylanıslı boladı. Atap aytqanda:

- deneniń kólemi temperaturanıń joqarılawı menen artadı;
- temperaturanıń joqarılawı nátiyjesinde zat qattı haldan suyıq hám sońınan gaz halına ótedi;
- metallarda temperaturanıń artıwı menen salıstırmalı elektr qarsılıǵı joqarılaydı, al yarımótkizgishlerde kerisinshe tómenleydi;
- qattı denege túsirilgen spektr jıllılıq nurlanıwları temperaturanıń joqarılawı menen biraz qısqa tolqın shegaralarına aralasadı;
- termoelementtiń elektr kernewliligi temperaturanıń joqarılawı menen artadı;
- kóplegen konstantalar (sestiń tezligi, salıstırmalı jıllılıq sıyımlılıǵı, jıllılıq keńeyiw koefficienti h.t.b) da temperaturaǵa baylanıslı boladı.

Temperatura deneniń halın onıń massasına hám ximiyalıq quramınan ğarezsiz túrde xarakterleydi. Sonıń ushın temperatura zattıń halın xarakterlewshi parametr delinedi.

Xalıq aralıq ólshem birlikler sistemasında temperatura tiykarǵı fizikalıq shamalardıń biri. Bul sistemada temperaturanıń ólshem birliǵı $[T]=\text{Kelvin}(K)$. Usınıń menen birge temperatura xalıqaralıq júz graduslı shkalada Celsiya ($^{\circ}C$) gradusta ólshenedi. Ullıbritaniya hám Arqa Amerikada temperaturanı ólshewde Farengeyt gradus paydalanıladı.

Kelvin shkalasınıń nollik noqatı absolyut nol temperaturaǵa, al Celsiya shkalasınıń nollik noqatı suwdıń qatıw noqatına sáykes keledi. Bir Kelvin shaması boyınsha bir gradus Celsyǵa teń.

Eger T-temperatura Kelvinde (K), bul absolyut temperatura, al t-temperatura gradus, Celsiyda ($^{\circ}C$) da, $T_0=273,15\text{ K}$ Celsiy shkalasınıń nollik noqatı bolsa, Kelvin hám Celsiy arasındadıǵı baylanıs tómendegishe:

$$T=T_0 \quad (t=T-273), \quad T=t+T_0 \quad (T=t+273)$$

Temperatura paydalanılatuǵın birligine baylanıslı eki túrli (T yamasa t) belgileniwge iye jalǵız fizikalıq shama. Egerde bir teńlemede temperatura eki túrli belgilewlerde ushırasatuǵın bolsa, olardı qısqartıwǵa bolmaydı. Eger Kelvin hám gradus Celsiya temperaturalar ayırması (ΔT hám Δt) kórinisinde qollanılǵan bolsa qısqartıwǵa boladı. Deneniń temperaturasını ólshew ushın xızmet etetuǵın ásbap termometr delinedi. Termometrler barlıq waqıtta menshikli temperaturanı kórsetedi. Málim bir waqıttan keyin bul temperatura qorshaǵan ortalıqtıń temperaturasına teńlesedi. Temperaturanı anıqlawda suyıqlıqlı hám metall termometrler paydalanıladı.

§ 1.3. Ideal gaz. Molekulyar – kinetikalıq teoriyanıń tiykargı teńlemesi

1. Molekulyar sistemalardı teoriyalıq úyreniw kóplegen qıyınshılıqlar menen baylanıslı ekenligi túsiniqli, sonın ushın hár bir molekulaǵa basqa barlıq molekulalar tárepinen tásir etiwshi barlıq kúshlerdi itibargá alıw kerek boladı. Eger molekulalardıń qozǵalıstı mexanika nızamlarına boysınadı dep esaplanasa, bul jaǵdayda hár qanday molekulyar sistemanı tolıq táriplew ushın, barlıq molekulalardıń berilgen kúshler tásirindegi qozǵalıslar haqqındaǵı másele sheshiw kerek, yaǵnıy, sanı usı berilgen sistemadaǵı molekulalar sanına teń bolǵan qozǵalıstı teńlemelerin jazıw hám sheshiw kerek boladı. Eger 1 sm^3 gazda ádettegi sharayatta $2,7 \cdot 10^{19}$ molekula bolatuǵını esapqa alınsa, onda bul jaǵdayda usınday úlken sandaǵı teńlemelerdi sheshiw bılay tursın, hátteki jazıwdıń ózi de múmkin emesligi rawshan bolıp qaladı, bólekshelerdiń sanı bunshelli kóp bolǵanda olardıń qozǵalıstı háreketin xarakterlewshi shamalardıń ortasha mánislerin ǵana, máselen olardıń ortasha tezligi, ortasha energiyası hám usı sıyaqlı maǵlıwmatlardı biliw menen shekleńiw múmkin eken. Molekulyar sistemalardı úyreniwde biz usı usıldan paydalanamız. Hár qanday zattıń úsh agregat halınan eń ápiwayısı gaz tárizli halatı bolıp esaplanadı. Sebebi bul halda molekulalar arasındǵı tásir etiwshi kúshler júdá kishi bolıp, olardı itibarga almaw da múmkin. Sonıń ushın biz molekulalıq fızikanı bayan etiwdegi gazlardıń qásiyetlerin úyreniwden baslaymız. Bunıń ushın dáslep biz: a) molekulalardıń óz-ara tásir kúshin derlik joq dep esaplaymız; b) ápiwayı bolıwı ushın molekulalardıń

ólshemlerin itibargá almaymız; v) óz-ara tásirlespeytuǵın materiallıq noqatlar kópłigi sıyaqlı qásiyetlerge iye dep alamız.

2. Molekullardıń óz-ara soqlıǵısıwlar sanı olardıń ıdıs diywallarına urılıw sanına qaraǵanda itibargá almay dep dárejede kishi. Bul shártlerdi qanaatlandıratuǵın gaz ideal gaz dep ataladı. Solay etip, molekulalarǵa bir-biri menen molekulalar aralıq tartısıw kúshleri menen baylanıspaǵan serpimli materiallıq noqatlar sıyaqlı dep (sáwlelendiretuǵın) túsiniletuǵın gaz ideal gaz delinedi. Málim bolıwınsha, normal sharayatqa jaqın sharayatlarda, sonday-aq, tómén basım hám joqarı temperaturalarda real gaz óz qásiyetleri jaǵınan ideal gazǵa jaqın boladı eken.

Gaz molekulaları gaz toltırılǵan ıdıstıń diywalları menen hám bir-biri menen soqlıǵısıwın úyrenbegen halda gaz molekulalarınıń háreket shegarasın tolıq túsindire almaymız. Haqıyatında da gaz molekulaları tártipsiz qozǵalıp, waqtı-waqtı menen ıdıs diywallarına jaqınlasadı. Sonday-aq, gaz molekulaları bir-biri menen jaqınlasıwı hám soqlıǵısıwı múmkin. Bunday paytlarda gaz molekulaları arasındaǵı aralıqtıń artıwı menen soqlıǵısıwlarıń sanı kemeyedi. Bul kúshler tásirinde gaz molekulaları óziniń qozǵalıw baǵıtın ózgertedi. Bunday process soqlıǵısıw dep ataladı, molekulalardıń óz-ara soqlıǵısıwı gazdıń tábiyatına baylanıslı boladı. Gaz toltırılǵan ıdıda gaz molekulalarınıń óz-ara yaki ıdıs diywalınıń beti menen soqlıǵısıwın itibargá alıw áhmiyetli esaplanadı. Gaz molekulalarınıń ıdıs diywallarına hám kerisinshe qarama-qarsı baǵıtta ıdıs diywalı molekulalarınıń tásirin qarayıq. 1738-jılı Peterburglik akademik Daniil Bernulli gazdıń ıdıs diywallarına beretuǵın basımı dara molekulalardıń urılıwınan kelip shıǵadı dep boljadı.

1744 – 1748-jıllarda ullı rus ilimpazı M.V.Lomonosov zattıń dúzilisiniń atom-molekulyar teoriyasın keń islep shıqtı hám birinshi bolıp, jıllılıqtıń molekulyar-kinetikalıq teoriyasınıń tuwrı ekenligin dálilledi. Gazlardıń molekulyar-kinetikalıq teoriyası tek ǵana XIX ásirde ekinshi yarımında bir qatar fizikler, sonıń ishinde Klayzius, Bolcman hám Maksvell tárepinen rawajlandırıldı.

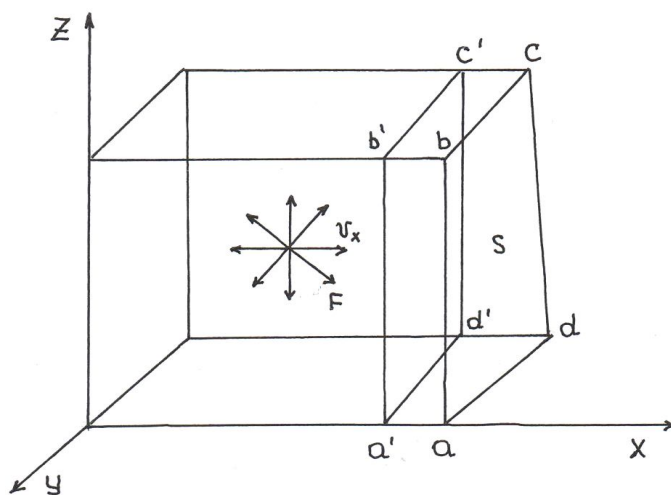
Diywal betiniń maydanı qansha úlken bolsa, gaz tárepinen diywalǵa tásir etiwshi kúshtiń sonsha úlken bolatuǵını anıq. Gaz molekulaları beti S bolǵan ıdıs

diywalına F kúsh penen tásir etetuǵın bolsa, onda ıdıs diywalına gaz molekulalarınıń beretuǵın basım kúshi P tómendegishe ańlatıladı

$$P = \frac{F}{S} \quad (1.3.1)$$

Bul basımınıń shaması gazdın tiykarǵı xarakteristikalarından biri bolıp tabıladı. Gazdın ıdıs diywallarına basımı XVIII ásirde D.Bernulli tárepinen táriplengen. Gaz molekulalarınıń ıdıs diywallarına beretuǵın basımın anıqlaw ushın parallelepiped formasındaǵı ıdıs alıp, gaz benen toltıramız. Gaz molekulaları ıdıda teń salmalılıq halında bolsın dep alayıq. ıdıstın bazı bir ıqtıyarlı baǵıtında qozǵalıp atırǵan molekulalar sanı, ortasha alǵanda tezlikleri qarama-qarsı tárepke baǵıtlanǵan molekulalar sanına teń. Gazdın ıdıs diywallarından birine M – absd oń qaptalı diywalına basımın esaplayıq (1-súwret). X – koordinata kósherin parallelepipedtin z qırın boylap $abcd$ diywalǵa perpendikulyar etip baǵıtlaymız. Molekulardıń tezligi v qanday baǵıtta bolsa da, biz dáslep x kósheri baǵıtındaǵı v_x tı qaraymız. Gaz molekulaları ıdıs diywalına $abcd$ ǵa urılǵanǵa shekem Δx aralıqtı ótedi hám urıladı. Diywaldın betine F kush penen tásir etedi. Óz nábwetinde ıdıs diywalı tárepinen deformaciyalanǵan F serpimlilik gaz molekulalarına keri tásir etedi.

Demek, Nyutonnnıń ekinshi nızamına tiykarlanıp $F\Delta t$ kúsh impulsı payda boladı. Sonday-aq, $abcd$ diywal betine urılıp qaytqan gaz molekulaları Δt waqıttan keyin Δx aralıqqa jılıjıwı hám $a'b'c'd'$ shegaraǵa (betke) keledi.



1 – súwret

Bunda molekullar $v_x \Delta t$ aralıqqa jılıydı. Eger ıdıs diywalı betin S dep alsaq, onda molekulları háreketlenetuǵın ıdıs kólemi $S v_x \Delta t$ boladı. Eger ıdıstıń birlik kóleminde n sandaǵı molekula bar bolsa, kórsetilgen kólemde $n S v_x \Delta t$ molekula boladı. Biraq olardıń yarımı shepten ońǵa qarap háreketlenedi hám qatlamǵa túsedi. Ekinshi yarımı bolsa, qatlamnan kerı tárepke háreket etedi hám qatlamǵa túspeydi. Demek, Δt waqıt ishinde qatlamǵa shepten ońǵa $\frac{1}{2} n m S v_x \Delta t$ molekullar kelip kiredi. Olardıń hár biri $m v_x$ impulske iye (m – molekuyar massa) hám olardıń qatlamǵa alıp kirip atırǵan ulıwma impulsı:

$$\frac{1}{2} n m S v_x^2 \Delta t$$

Usı paytda qatlamnan ońnan shepke qarata háreketlenetuǵın molekullar impulse kerı belgige iye bolıp, lekin teń boladı. Ulıwma impulstıń ózgeriwi

$$\frac{1}{2} n m S v_x^2 \Delta t - (-\frac{1}{2} n m S v_x^2 \Delta t) = n m S v_x^2 \Delta t \quad (1.3.2)$$

Qatlam impulsiniń ózgeriwin $F \Delta t$ dep alsaq, onda

$$F \Delta t = n m S v_x^2 \Delta t \quad (1.3.3)$$

Ańlatpanıń hár eki jaǵın $S \Delta t$ ǵa bólip, tómendedige iye bolamız:

$$P = \frac{F}{S} = n m v_x^2 \quad (1.3.4)$$

$$P = n m v_x^2 \quad (1.3.5)$$

teńlik kelip shıǵadı.

Bul formula gazdıń basımın esaplaw formulası delinedi.

Gaz basımı ushın (1.3.5) formuladan hár bir molekulanıń v tezliginiń kvadratı baǵıtlar boyınsha tezlikler kvadratlarınıń qosındısına teń boladı.

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2 \quad (1.3.6)$$

kórinisinde ańlatıw múmkin. Molekullar háreketi toqtawsız tártipsiz bolǵanlıǵı sebepli úsh koordinata kósheri boyınsha tezlikler kvadratlarınıń ortasha mánisleri bir-birine teń dep qaraw múmkin, yaǵnıy

$$v_x^2 = v_y^2 = v_z^2 \quad (1.3.7)$$

Onda (1.3.7) teńlikten $v_x^2 = \frac{g^2}{3}$ dep jazıw mumkin hám bunı (1.3.5)

formulağa qoysaq

$$P = \frac{1}{3} mnv^2 \quad (1.3.8)$$

ańlatpası hasıl boladı. Bul teńliktiń oń jaǵın 2 ge kóbeytip, bólemiz

$$P = \frac{2}{3} n \frac{m g^2}{2} = \frac{2}{3} n \bar{E}_k \quad (1.3.9)$$

$$\frac{2}{3} \frac{m g^2}{2} = \theta, \quad \frac{2}{3} \frac{m g^2}{2} = KT \quad (1.3.10)$$

bunda, $K = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Dj/K Bolcman turaqlısı.

Bul formuladaǵı $\bar{E}_k = \frac{m g^2}{2}$ gaz molekulalarınń ortasha kinetikalıq energiyasın

ańlatadı. (1.3.9) formula ideal gazlardıń kinetikalıq teoriyasınıń tiykarǵı teńlemesi dep ataladı. Bunnan, gaz basımı birlik kólemdegi molekulardıń ilgerilemeli qozǵalıstınıń ortasha kinetikalıq energiyasına tuwrı proporcional ekenligin kórsetedi.

Ideal gaz kinetikalıq teoriyasınıń tiykarǵı teńlemesi

$$P = \frac{2}{3} n \frac{m g^2}{2} \quad (1.3.11)$$

Ideal gaz basımı birlik kólemdegi gaz molekulalarınń ortasha kinetikalıq energiyasınıń $\frac{2}{3}$ bólegine teń. (1.3.11) formuladaǵı n gaz molekulalarınń tıǵızlıǵı

yaǵnıy kólem birligindegi gaz molekulalarınń sanı. $n = \frac{N}{V}$, bunda N – ıdistaǵı gaz

molekulalarınń sanı hám $\frac{m g^2}{2}$ - gaz molekulalarınń ilgerilemeli qozǵalıstınıń kinetikalıq energiyası.

Bunnan, ideal gaz basımınıń birlik kólemdegi gaz molekulalarınń ortasha kinetikalıq energiyasınıń $\frac{2}{3}$ bólegine teń ekenligi kórinedi. Tájiriybeden sol belgili, gazdıń kólemi V turaqlı bolsa, onda basımın tek bir ǵana usıl menen , yaǵnıy qızdırıw yaki suwıtıw jolı menen ózgeriw múmkin. Gaz qızdırılǵanda onıń basımı artadı, al suwıtılǵanda bolsa basımı kemeyedi. Barlıq deneler sıyaqlı qızdırılǵanda yaki suwıtılǵanda gaz da óz temperaturası menen xarakterlenedi. Temperatura jıllılıq

teńsalmaqlılıǵı halatın xarakterlewshi shama ekenligin kórsetedi. Jıllılıq teń salmaqlılıǵında bolǵan denelerdiń temperaturası birdey boladı hám kerisinshe birdey tempereturalı deneler bir-biri menen jıllılıq teńsalmaqlılıqta boladı. Eger eki dene qanday da bir úshinshi dene menen jıllılıq teńsalmaqlılıǵında bolsa, hár eki dene de jıllılıq teńsalmaqlılıǵında boladı. Temperaturanı ólshew múmkinligi de mine usı nızamǵa tiykarlanadı. Sol belgili, jıllılıq teńsalmaqlılıǵı ornawı procesinde jıllılıq bir deneden ekinshi denegе beriledi. Eksperimental kóz-qarastan qaraǵanda dene basqa temperaturaǵa iye bolǵan denegе jıllılıq beredi me yaki onnan aladı ma, áne usını anıqlawshı shamalar temperaturanı ólshew ushın zárúrli bolǵan zatlardıń qásiyetleri úyrenilgen. Zatlardıń qásiyetlerin xarakterlewshi tárepleri: kólemlik keńeyiwі, tıǵızlıǵı, salıstırmalı salmaǵı sıyaqlı tárepleri úyrenilip, bunday zatlar tańlap alınǵan. Olardan sınap, spirt hám basqalardı atap ótiwge boladı. Dáslep sınaplı termometrde sınap baǵanası biyikliginiń (sınap kólemi) temperaturaǵa sızıqlı baylanısı anıqlanǵan hám gradus shaması da ıqtıyarlı tańlanılǵan. Bunıń ushın atmosfera basımında tiykarǵı tómengi noqat etip suwdıń qaynaw noqatı tańlanǵan hám arasında aralıq teńdey shkalalarǵa bólingen. Usı tiykarda temperatura shkalası tańlanǵan. Házirgi zaman termometr esabı gaz termometri járdeminde anıqlanatuǵın ideal gaz shkalasına tiykarlanǵan. Muzdıń eriw noqatındaǵı gaz temperaturasındaǵı basımın P_0 dep belgileymiz:

$$\frac{P_k}{P_0} = \frac{T_k}{T_0} \quad (1.3.12)$$

Bul qatnastı tájiriybede ańsat anıqlaw múmkin hám onıń mánisi: $\frac{P_k}{P_0} - 1,3661$, sonday-aq, temperaturalar qatnasınıń mánisi de $\frac{T_k}{T_0} - 1,3661$ ge teń $T_k - T_0 = 100$ bólimge bólingen. Keyin ala bul ayırmalar $T_k - T_0 = -373,15 - 273,15$ shkala dep belgilenedi. Biraq deneniń temperaturasını ólshew ushın gaz termometrin usı denegе tiygiziw menen teńsalmaqlılıq temperaturası

$$T = \frac{275,15}{P_0} P \quad (1.3.13)$$

formuladan tabıladı. Ámelde gaz termometrlerinen kem paydalanıladı. Biraq basqa termometrler gaz termometri járdeminde dárejelenedi. Eger temperatura shkalasınıń nolinde termometrlık shama nolge aylansa, bunday shkala absolyut shkala yaķi absolyut temperatura delinedi. Absolyut temperaturadan baslangan Kelvin temperaturası Kelvinde ólshenip "K" menen belgilenedi. Dáslepki shkala celsiy shkalası delinedi hám "C°" menen belgilenedi. Olar arasında $t = T - 273,15$ baylanısı bar. Juwmaqlap aytqanda, jıllılıq hám temperatura arasında júdá áhmiyetli baylanıslar bar bolıp, temperaturanı anıqlaw metodları jaratılǵannan keyin jıllılıq haqqındaǵı uǵımlar tolıǵıraq úyrenildi. Ideal gaz ushın temperatura molekularardıń ortasha kinetikalıq enehgiyasınıń $\frac{2}{3}$ bólegine teń dep esaplaw qolaylı. Sebebi, bul gaz basımı ushın (1.3.13) formulanıń kórinisin ápiwayılaştıradı. Yaǵnıy, eger de (1.3.13) formuladan $\frac{2}{3} \frac{m\vartheta^2}{2} = \theta$ dep belgilsek, ol tómendegi kóriniske iye boladı.

$$P = n\theta \quad (1.3.14)$$

Biraq bunday kóriniste temperaturanı energiya birliginde ólshew qolaysızlıq payda etedi. Máselen, muzdıń eriw temperaturası $5,65 \cdot 10^{-14} - 5,65 \cdot 10^{-21}$ Dj ǵa teń bolar edi.

Sonıń ushın temperaturanı graduslar boyınsha anıqlawda Bolcman turaqlısı koefficienti kirgiziledi:

$$\frac{2}{3} \frac{m\vartheta^2}{2} = kT$$

yaki

$$\frac{m\vartheta^2}{2} = \frac{2}{3} kT \quad (1.3.15)$$

dep belgilep alamız.

Bul formulada $\frac{m\vartheta^2}{2} = E_k$ molekularardıń ilgerilemeli qozǵalıasınıń ortasha kinetikalıq energiyası. Gaz molekularınıń qozǵalıсын úsh qurawshıǵa jikleniwin aytqan edik. Hár bir qurawshıǵa $\frac{1}{2} kT$ energiya sáykes keledi. Bul jerde K Bolcman turaqlısı bolıp,

$$K = \frac{R}{N} = \frac{8,31 \cdot 10^3 \text{ Dj} / \text{kmol} \cdot \text{grad}}{6,02 \cdot 10^{26} \text{ kmol}^{-1}} = 1,38 \cdot 10^{23} \text{ Dj/grad},$$

bunda, N – Avagadro sanı, R – universal gaz turaqlısı delinedi.

Demek, temperatura gaz molekularınıń qozǵalıstınıń ortasha kinetikalıq energiyası menen anıqlanǵanlıǵı ushın ol basım sıyaqlı statistikalıq shama. Normal sharayatta gaz parametrleri $T = 273\text{K}$, $P_0 = 101325 \text{ Pa}$, $V = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ – bir mol gaz kólemi.

$$\bar{E} = \frac{m\bar{g}^2}{2} = \frac{2}{3} \frac{R}{N} T \quad (1.3.16)$$

Bunnan molekular tezligi kvadratınıń ortasha mánisi ushın tómendegi formulanı alamız:

$$\bar{g}^2 = \frac{3RT}{mN} \quad (1.3.17)$$

Bunda m – bir molekulanıń massası bolǵanı ushın mN molyar salmaq μ boladı. Nátiyjede molekulardıń ilgerilemeli qozǵalıstınıń ortasha kvadratlıq tezligi ushın tómendegi ańlatpanı alamız;

$$\sqrt{\bar{g}^2} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \quad (1.3.18)$$

Yaǵnıy gaz mólekuları ilgerilemeli qozǵalıstınıń ortasha kvadrat tezligi gazdıń absolyut temperaturasınıń kvadrat korenine tuwrı proporcional hám gaz molekularınıń awırlıǵınıń kvadrat korenine keri proporcional. (1.3.12) formulaǵa tuykarlanıp kólem birligindegi molekular sanı

$$n_0 = \frac{2}{3} \frac{P}{E_n} \quad (1.3.19)$$

Bul teńlikti (1.3.16) formuladan paydalanıp, tómendegishe jazamız:

$$n_0 = \frac{P}{kT} \quad (1.3.20)$$

Bul formuladan birdey basım hám birdey temperaturada hám gazlardıń kólem birligindegi molekulalardıń sanı birdey bolatuǵını kelip shıǵadı. Normal jaǵdayda 1 m^3 gazdaǵı molekular Loshmidt sanı menen anıqlanadı. Belgili, 1 mol gazda N_A molekula bar ha'm 1 mol gaz normal jaǵdayda V_0 kólemdi iyeleydi. Onda normal jaǵdayda qálegen gazdıń 1 m^3 da

$$N = \frac{N_A}{V_0} = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}}{22,4 \cdot 10^{-3} \text{ mol}^{-1} \text{ m}^3} = 2,7 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$$

§ 1.4. Ideal gazdın hal teńlemesi. Ideal gaz nızamları

Bizge sol belgili, gaz molekulları Broun (1826 – jıl) oylap tapqan nızamǵa tiykarlanıp, úzliksiz hám tártipsiz jıllılıq qozǵalıısında boladı. Sonın ushın da zattın dúzilisi haqqındaǵı teoriya júzege keldi. Birinshi márte bul teoriyanı M.V.Lomonosov zattın túrli agregat hallarındaǵı qásiyetlerin túsindiriw maqsetinde rawajlandırǵan edi.

Keyin ala molekulyar-kinetikalıq teoriya tiykarınan zattın eń ápiwayı agregat halındaǵı, yaǵnıy gaz tárizli halatındaǵı qásiyetlerin túsindiriwde qollanıldı. Biraq molekulyar-kinetikalıq teoriyanın tiykarların bayan eriwden aldın, gazlar boysınatuǵın empirikalıq nızamlılıqlardı kórip shıǵayıq.

Gazlar ózi salınǵan ıdıstın diywallarına basım túsiriw qásiyetine iye. Basım P san jaǵınan maydan birligine normal baǵıtta tásir etiwshi kúshke teń bolǵan fizikalıq shama. Demek, eger S maydangá normal baǵıtta tásir etiwshi kúsh F_n bolsa

$$P = \frac{F_n}{S} \quad (1.4.1)$$

SGS sistemasında basım P menen, yaǵnıy 1 cm^2 maydangá perpendikulyar baǵıtta tásir etiwshi bir ǵana kúshtin beretuǵın basımına teń birlik penen ólshenedi. Xalıqaralıq birlikler sistemasında basımın birligi ushın 1 Nyuton kúshtin ózine perpendikulyar bettegi 1 m^2 maydangá túsiretuǵın basımı qabıl etilgen. Bul birlik N/m^2 penen belgilenedi. $1 \text{ N/m}^2 = 10^7 \text{ bar}$ ekenligi belgili. Bulardan basqa basımdı ólshew ushın tómendegi birlikler qollanıladı:

1. 1 texnikalıq atmosfera, 1 kg kúshtin 1 cm^2 maydanga túsiretuǵın basımına teń.
2. Fizikalıq atmosfera – $1,033 \text{ kg/cm}^2$ basımǵa teń.
3. Millimetr sınaq baǵanası, biyikligi 1m, ultanının maydanı 1 m^2 bolǵan cilindr kólemindegi sınaqtın tınısh halatındaǵı awırlıǵı saldarınan payda bolatuǵın P

basımı. Bul birliklerdiń birinen ekinshisine ótiw ushın tómendegilerden paydalanıw múmkin:

$$1 \text{ fiz atm} = 1,003 \text{ tex atm} = 1003 \text{ g/cm}^2 = 760 \text{ mm.sın.bağ} = 1033.981 \text{ bar} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ bar}.$$

Millimetr sınap baǵanası hám Paskal arasında tómendegi qatnas bar: $1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$ hám ultanınıń maydanı 1 m^2 (yaǵnıy kólemi $10^{-3} \text{ m} \cdot 1 \text{ m}^2 = 10^{-3} \text{ m}^3$) bolǵan cilindr ishindegi sınaptıń awırlıǵı: $p_g V = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 133,3 \text{ N}$, yaǵnıy $1 \text{ mm. sın. bağ} = 133,3 \text{ N/m}^2$ ǵa teń. Fizikalıq atmosfera (qısqasha atm.) biyikligi 760 mm bolǵan vertikal sınap baǵanasınıń basımı, yaǵnıy $1 \text{ atm} = 760 \text{ mm sın. bağ.} = 101325 \text{ Pa}$.

Bazı bir gaz muǵdarı tiykarınan tórt shama menen xarakterlenedi:

1. m-massası.
2. V – iyelep turǵan kólemi.
3. P – basımı.
4. T-temperaturası

Bul shamalardıń hámmesi bir-birine baylanıslı, olardıń biri ózgerse, qalǵanları da ózgeredi. Bul shamalardıń tórtewinińde arasındaqı nızamlı baylanıslardı ańlatıwshı formulaǵa hal teńlemesi delinedi. Gaz halınıń ulıwma teńlemesin beriwden aldın joqarıda keltirilgen tórt shamadan ekewi ózgermeytuǵın hallarǵa tiyisli ápiwayıraq empirikalıq nızamlardı kórip shıǵamız.

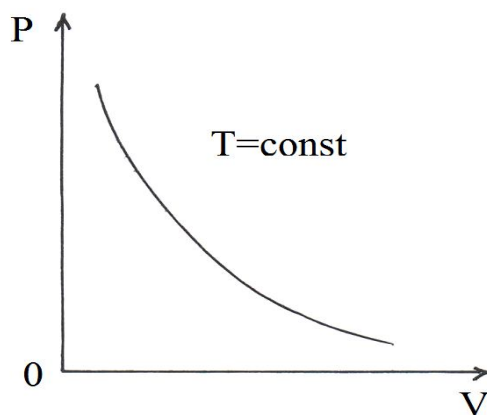
Boyl-Mariott nızamı

Temperatura turaqlı bolǵan ($T = \text{const}$) izoterimikalıq gaz proceslerin úyrenip, inglis alımı Boyle (1662-jıl) hám francuz alımı Mariott (1663-jıl) biir-birinen gárezsiz halda keyin ala olardıń atları menen atalıwshı nızamdı jarattı.

Gazdıń massası hám temperaturası turaqlı bolǵanda (m hám T turaqlı) onıń basımı kólemine keri proporcional ráwishte ózgeredi. Basqasha aytqanda, gazdıń basımı P nıń kólem V ǵa kóbeymesi turaqlı shama:

$$PV = \text{const} \quad (1.4.2)$$

bul ańlatpa Boyi-Mariot nızamınıń matematikalıq ańlatılıwı bolıp esaplanadı. Gaz massası m hám temperatura T ózgermegende, P menen V arasındaǵı baylanıs grafigikalıq usılda teń qaptalı giperbola menen súwretlenedi (2-súwret)



2-súwret

Boyl-Mariott nızamın sáwlelendiretuǵın iymek sıızıq turaqlı temperaturaǵa tiyisli bolǵanlıǵı ushın bul iymek sıızıq dep júrgiziledi. Biraq Boyl-Mariott nızamı juwıq nızam bolıp tabıladı. Sebebi real gazlar Boyl-Mariott nızamı beretuǵın nátiyjege qaraǵanda kemirek qısıladı. Biraq úy temperaturasına jaqın temeraturalarda hám atmosfera basımınan kóp ayırmashılıqqa iye bolmaǵan basımlarda kópshilik gazlar Boyl-Mariott nızamına jetkilikli dárejedegi anıqlıq penen boysınadı.

Gey-Lyussak nızamı

Izobaralıq ($P = \text{const}$) hám izoxoralıq ($V = \text{const}$) gaz proceslerin úyrenip, frnacuz fizigi Gey-Lyussak 1802-jılı óziniń atı menen atalatuǵın tómendegi eki nızamdı anıqladı.

Berilgen massalı gaz ushın turaqlı basımda ($p = \text{const}$) gazdıń kólemi tempereturanıń ózgeriwi menen sıızıqlı ózgeredi

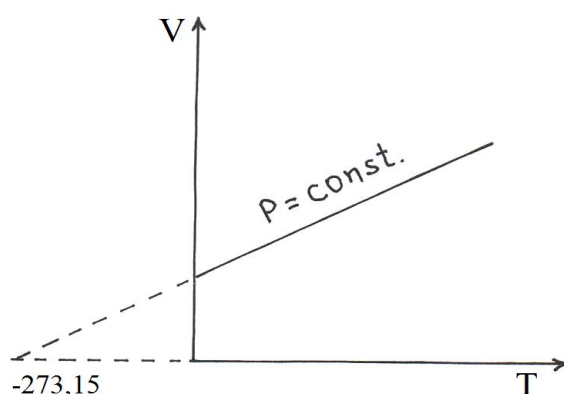
$$V = V_0 (1 + \alpha T) \quad (1.4.3)$$

Bunda V_0 – gazdıń 273 K deǵı kólemi, V – gazdıń T temperaturadaǵı kólemi, α – kólemge keńeyiw koefficienti. Berilgen massalı gaz ushın turaqlı kólemde ($V = \text{const}$) gazdıń basımı temperaturanıń ózgeriwi menen sıızıqlı ózgeredi

$$P = P_0(1 + \gamma T) \quad (1.4.4)$$

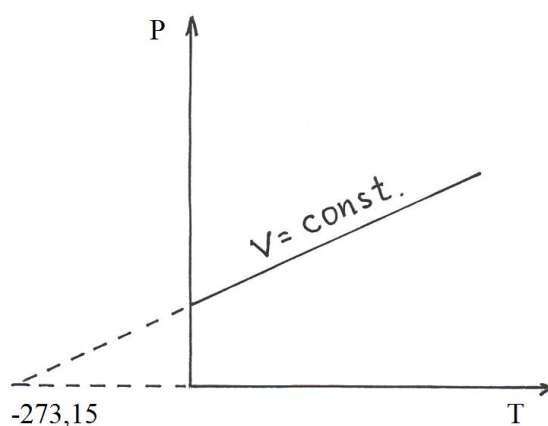
Bunda P_0 – gazdın 273 K degi basımı, P – gazdın T temperaturadağı basımı, γ – gaz basımınıń termikalıq koefficienti, barlıq gazler ushın

$$\alpha = \gamma = \frac{1}{273,15} = \frac{1}{273} \text{ grad}^{-1}.$$



3- súwret

(1.3.3) hám (1.3.4) formulalarǵa muwapıq, izobaralıq hám izoxoralıq processler grafiklerde temperaturalar kóshetine qıya bolǵan hám onı $T = 273\text{K}$ noqatlarda kesip ótetuǵın tuwrı sızıqlar (izobaralıq hám izoxoralar) menen ańlatıladı. (2-súwret hám 3-súwret). $T = 273\text{K}$ noqattı termodinamikalıq shkala dep atalıwshı jańa temperaturalar shkalasınıń sanaq bası dep qabıl etiw múmkin. Bul shkala termodinamikalıq shkala (Kelvin shkalası) dep ataladı.



4 – súwret

Termodinamikalıq temperatura (bul temperatura dáslep absolyut temperatura dep júrgizilgen) Celsiy shkalası boyınsha ólshengen t temperatura menen tómendegishe baylanısta boladı:

$$T = t + 273,15K \approx t + 273^\circ K \quad (1.4.5)$$

ge teń.

(1.4.3) formuladan absolyut nolge teń bolǵan temperaturada

$$V = V_0 \left(1 + \frac{-273}{273}\right) = 0$$

Yaǵnıy, absolyut nolde barlıq zatlar óziniń fizikalıq, ximiyalıq, termodinamikalıq qásiyetlerin joǵaltadı. Bul juwmaq tómén temperaturada eksperimental gaz nızamların qollanıw múmkin emes degen pikirdi jáne bir márte tastıyıqlaydı. Haqıyqatında da, tómén temperaturalarda zat gaz tárizli halatta bolıwı múmkin emes, ol suyıq halǵa, hátteki qattı halǵa ótedi.

Termodinamikalıq temperatura járdeminde (1.4.3) formulanı jáne ápiwayı kóriniske keltiriw múmkin:

$$V = V_0 (1 + \gamma T) = \left(1 + \frac{1}{273} T\right) = V_0 \frac{T}{T_0},$$

Yamasa,

$$\frac{V}{V_0} = \frac{T}{T_0} \quad (1.4.6)$$

Yaǵnıy turaqlı basımda gazdıń kólemi termodinamikalıq temperaturaǵa proporcional. Usınday jol menen (1.4.4) formulanı ózgerтип tómedegi qatnastı alamız:

$$\frac{P}{P_0} = \frac{T}{T_0} \quad (1.4.7)$$

Bul temperatura dáslep absolyut temperatura dep júrgizilgen, yaǵnıy turaqlı kólemde gazdıń basımı abcolyut temperaturaǵa proporcional (1.4.6) hám (1.4.7) formulalar Boyle-Mariott hám Gey-Lyussak nızamlarınıń matematikalıq ańlatılıwı.

Dalton nızamı

Meyli bazı bir kólemge iye ıdısta basımı P bolǵan gazlar aralaspası (máselen, kislorod, azot, vodorod, neon, argon hám t.b) bar bolsın. Bul ıdıstaǵı, máselen azottan basqa barlıq gazlerdi shıǵarıp jiberemiz. Onda bul gaz, yaǵnıy azot aralaspa iyelep turǵan kólemdi tolıq iyeleydi hám onıń basımı P boladı. Bul basım usı gazdıń parsial basımı delinedi. Gaz aralaspası quramındaǵı bazı-bir gazdıń parcial basımı dep, mine usı kólemdegi gazdan basqa gazlardı shıǵarıp jibergendege basımǵa aytıladı. ıdıstı jáne gaz aralaspası menen toltıramız, sońınan ıdıstan ekinshi gazdan (máselen, kislorodtan) basqa barlıq gazlardı shıǵarıp jiberemz. Bul jaǵdayda ekinshi gaz (kislorod) pútkil ıdıstıń kólemin iyelep, onıń basımı P_2 boladı, bul ekinshi gazdıń parcial basımı boladı. Gaz aralaspasındaǵı basqa gazlar ushın da usınday processti qollanıp, úshinshi gaz ushın P_3 , tórtinshi gaz ushın P_4 hám t.b. parcial basımlardı anıqlaw múmkin.

1801-jılı inglis fizigi hám ximigi Dalton gaz aralaspası basımı menen usı aralaspaǵa kiriwshi gazlardıń parcial basımları arasındaǵı baylanıstı anıqladı, bul baylanıs Dalton nızamı dep ataladı: gaz aralaspasınıń basımı usı aralaspaǵa kiriwshi gazlardıń parcial basımlarınıń qosındısına teń:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n \quad (1.4.8)$$

Avagardo nızamı.

Hár túrli gazlar menen alıp barılǵan tájiriybeler tiykarında 1811-jılı italiyalı alım Avagadro onıń atı menen atalıwshı tómendegi nızamdı anıqladı: birdey temperaturada hám basımda hár qanday gazdıń kilomoli birdey kólemdi iyeleydi. Normal sharayatta bul kólem $22,42 \text{ m}^3/\text{kmol}$ ($22,42 \cdot 10^3 \text{ l/kmol}$) di quraydı.

§ 1.5. Ideal gaz halının teńlemesi

Gaz proceslerinde gaz halının parametrlerinden birewi ózgermey qalıp, qalğan ekewiniń ózgeriwi kóp baqlanadı. Bir waqıtta gazdın kólemi de, basımı da, temperaturası da ózgeretuǵın eń ulıwmalıq processlerdi kórip óteyik. Bunday processlerdi sáwlelendiriwshi nızamdı Boyl-Mariott hám Gey-Lyussak nızamların birlestiriw jolı menen 1834-jılı francuz fizigi (Sankt-Peterburg temir jollar institutında islegen jıllarında) Klapeyron anıqladı. Bazı bir m massalı gazdın halı V_1 , P_1 hám T_1 parametrleri menen xarakterlensin. Onı V_2 , P_2 hám T_2 parametrleri menen xarakterlewshi basqa halǵa ótkeremiz. Bul procesti tómendegi eki basqış penen orınlaymız:

1. Dáslep izotermiyalıq ráwishte temperatura ($T = \text{const}$) bolǵanda gazdın kólemin V_2 mánisine shekem ózgertemiz, bunda onın basımı P_1^1 ge teń boladı.

2. Sońınan izoxoralıq (kólem $V_2 = \text{const}$) bolǵanda gazdın temperaturasını sonday T_2 mánisine shekem ózgertemiz, bunda onın basımı P_2 bolıp qalsın. Processtın birinshi basqışı Boyl-Mariott nızamı menen táriplenedi hám sonın ushın

$$P_1 V_1 = P_1^1 V_2 \quad (1.4.9)$$

Bunnan

$$P_1^1 = \frac{P_1 V_1}{V_2} \quad (1.4.10)$$

Procestin ekinshi basqışı Gey-Lyussak nızamı (1.4.7) menen ańlatıladı hám demek,

$$\frac{P_1^1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (1.4.11)$$

Bul formulaǵa P_1^1 tiń (1.4.10) formuladaǵı mánisin qoyıp, tómendegi qatnastı alamız

$$\begin{aligned} \frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} &= \frac{T_1}{T_2}, \text{ bunnan} \\ \frac{P_1 V_1}{T_1} &= \frac{P_2 V_2}{T_2} \end{aligned} \quad (1.4.12)$$

Solay etip, gazdın berilgen massası ushın $\frac{PV}{T}$ shaması ózgermey qaladı eken

$$\frac{PV}{T} = B = \text{const}$$

Bul ańlatpa Klapayron teńlemesi (nızamı) dep ataladı. Klapayron teńlemesiniń kemshiligi sonnan ibarat, B turaqlı shama hár túrli gazlar ushın ushın hár túrli boladı.

Bul kemshilikti saplastırıw ushın 1875 – jılı Mendeleev-Klapayron nızamınıń kórinisin Avagadro nızamı menen birlestirip, biraz ózgertildi.

Bunıń ushın 1 kilomol gazdi kórip shıǵayıq hám onıń kólemin V_μ menen belgileyik. Bul jaǵdayda Klapayron teńlemesi tómendegi kóriniske keledi:

$$\frac{PV_\mu}{T} = B \quad (1.4.14)$$

Avagadro nızamına tiykarlanıp P hám T nıń birdey mánislerinde barlıq gazlardıń 1 kilomoli bidey V_μ kólemde iyeleydi. Demek, B turaqlı barlıq gazlar ushın birdey boladı. B nıń bul mánisin R menen belgilesek, onda (1.4.14) formula tómendegi kóriniske iye boladı:

$$\frac{PV_\mu}{T} = R \quad (1.4.15)$$

Bunda, R – universal gaz turaqlısı delinedi (1.4.15) formuladan:

$$PV_\mu = RT \quad (1.4.16)$$

teńligi kelip shıǵadı. Bul ańlatpa kilomol gaz ushın Medeleev-Klapayron teńlemesi (nızamı) dep ataladı. SI sistemasında R di esaplaymız:

$$R = \frac{PV_\mu}{T} = \frac{101325 \cdot 0,0224}{273} \text{ N/m}^2 \text{ m}^3/\text{mol 1/K} = 8,31 \text{ Dj/ (mol.K)} \quad (1.4.17)$$

(1.4.16) formulanı qálegen mániste alıńǵán m massalı gaz ushın jazatuǵın bolsaq, onda

$$PV_\mu = \frac{m}{\mu} R T \quad (1.4.18)$$

kelip shıǵadı.

(1.4.18) formula eksperimental gaz nızamlarınıń ulıwmalastırılǵanı ushın onı ulıwmalıq formula, yaǵnıy ideal gazdın hal teńlemesi delinedi.

(1.4.18) formulani gazdın tıgızlıđı ρ arqalı ańlatayıq. Onıń ushın (1.4.18) teńlemenı

$$P = \frac{m}{V\mu} RT \quad (1.4.19)$$

kórinisinde jazamız. Bunda $\rho = \frac{m}{V}$ ekenligin itibarğa alsaq, (1.4.19) formula tómendegi kóriniske iye boladı.

$$P = \frac{\rho}{\mu} RT$$

Bunnan gazdın tıgızlığı:

$$\rho = \frac{P\mu}{RT} \quad (1.4.20)$$

formulası menen ańlatıladı.

İdeal gazdın temperaturası menen basqa parametrleri arasındagı baylanıstın ápiyayılıđı bul gazdı termometrlık zat sıpatında isletiw tarawında keń jolğa qoyıwğa múmkinshilik jaratadı. Kólemniń turaqlı qalıwın támiyinlep, temperaturanıń belgisi sıpatında gazdın basımınan paydalanılğanda temperaturanıń shkalası ideal túrde sızıqlı bolğan termometr payda etiw múmkin. Bunnan keyin biz bul shkalanı temperaturalardıń ideal gaz shkalası dep ataymız. Xalıq aralıq kelisimlerge tiykarlanıp, ámelde termometrlık dene sıpatında vodorod alınadı. (1.4.18) teńlemeden paydalanıp hám termometrlık dene sıpatında vodorod alınatuğın bolsa, bunday dúzilgen shkala temperaturalardıń emperikalıq shkalası dep ataladı.

Tayanış túsinikler:

Molekula-kinetikalıq teoriya. Barlıq zatlar elementar bólekshelerden dúzildenligi. İdeal gaz. İdeal gaz basımı. Jıllılıq hám temperatura. Absolyut temperatura, termodinamikalıq temperatura. İdeal gazdın hal teńlemesi. Boyle-Mariott nızamı. Gey-Lyussak nızamı. İzopreocesler. İzotermalar. Sharl nızamı. Parcial basım. Adiabata. Dalton nızamı. Avagardo nızamı.

Temağa baylanışlı sorawlar:

- 1. Zatlardıń dúzilisi haqqındaǵı kóz qaraslardıń rawajlanıwı tuwrısında túsinipler berin.*
- 2. Molekula-kinetikalıq teoriyanıń mazmunın túsindirip berin.*
- 2. Jıllılıq hám temperaturanı táripleń.*
- 2. Absolyut temperaturanı anıqlaw usılların aytın.*
- 3. Gazdıń basımı hám onıń ólshem birliǵin aytıp berin.*
- 4. Molekulyar kinetikalıq teoriyanıń tiykargı teńlemesin túsindirin.*
- 5. Ideal gaz dep nege ayıladı?*
- 6. Ideal gazdıń hal teńlemesin keltirip shıǵarın.*
- 7. Boyle-Mariott nızamın táriyipleń hám túsindirin.*
- 8. Gey-Lyussak nızamın táriyipleń hám túsindirin.*
- 9. Sharl nızamın táriyipleń hám túsindirin.*
- 10. Dalton nızamın táriyipleń.*
- 11. Avagadro nızamın aytıp berin.*

II BAP. TERMODINAMIKA ELEMENTLERI

§ 2.1. Termodinamika tiykarları. Zatlardıń molekulyar-kinetikalıq teoriyası

Zatlardıń molekulyar –kinetikalıq teoriyasınıń aldına qoyatuǵın wazıypası – denelerdiń makroskopiyalıq qásiyetlerine tiykar bolıp esaplanatuǵın molekulalıq processlerdi tereń úyreniw arqalı denelerdiń sol qásiyetlerine túsiniq beriw. Sonda makroskopiyalıq fizikalıq shamalarǵa tiyisli molekulalıq yamasa atomlıq processti xarakterleytuǵın shamalardıń ortasha mánisler maǵanasında qarastıradı. Mısalı gazdıń ıdıs diywallarına túsiretuǵın basımı sol diywalǵa urılıwlarınan payda boladı. Belgili bir jaǵdaylarda bul basımınıń turaqlı bolatuǵınlıǵı basımdı ólshegenimizde jeke molekulalardıń urılıwı waqtında kóplegen molekulalardıń urılıwınıń ortasha tasirin baqlaytuǵınlıǵımızdıń nátiyjesi boladı.

Gazlar diffuziyası qubılısın qaraǵanıımızda, biz bul qubılıstı da molekulalardıń tártipsiz qozǵalıswınıń nátiyjesinde payda bolatuǵın qanday da bir ortasha tásir átirapında qarastırıw kerek ekenligin baqladıq. Gazlardıń ishki súykelisleri hám jıllılıq ótkizgishlik qubılısları haqqında da usılay aytıwǵa boladı.

Molekulalardıń tártipsiz qozǵalıswı ulıwma alǵanda belgili bir nızamlardıń bar ekenligin kórsetedi. Maksveldiń tezliklerdiń tarqalıwı haqqındaǵı formulası sol hár túrli tezliklerdiń arasındaqı eń itimal tezliktiń bolatuǵınlıǵın, yaǵnıy onnan ádewir ayırmashılıǵı bar tezlikler siyrek ushırasatuǵınıń kórsetedi. Zat qanday da bir teńsalmaqlılıq halında bolǵan jaǵdayda, onıń jeke molekuları qozǵalıswınıń kinetikalıq enegiyasınıń mánisi hár túrli bolıp esaplanadı, al hár bir erkinlik dárejesine tiyisli ortasha enegiyasınıń tolıq anıqlanǵan mánisi sáykes keledi. Energiyanıń usı ortasha mánisi deneniń temperaturasını anıqlaydı.

Tártipsiz qozǵalıp atırǵan molekularardıń potencial jáne kinetikalıq enegiyalarınıń qosındısı zattıń ishki enegiyasınıń (qorınıń) qosındısı bolıp esaplanadı.

Solay etip, makroskopiyalıq shamalar sanı júdá kóplegen jeke elementar processlerdiń ortasha mánisi bolıp tabıladı, sonlıqtan olardıń belgili bir mánisi boladı. Baqlanatuǵın molekular sanı kóp bolmasta qubılıslardı kishi masshtabta

baqlağanda, sol anıqlanğan ortasha mánislerden awıtqıwların ushırasıwı sózsiz boladı.

Fluktuaciya dep atalatuğın bunday awıtqıwlar haqıyqatında da baqlanadı, oğan mısıl retinde Broun qozğalısn alıwğa boladı.

Denelerdiń makroskopiyalıq qásiyetlerin olardıń molekullıq dúzilmes kóz-qarasınan túsiniw ushın qullanılatuğın metod shınında statistikalıq metod bolıp tabıladı. Házirgi waqıtta bul metod keń túrde qullanıladı, teoriyalıq fizikanıń bul metodtı qullanılıp atırğan tarawı óz aldına statistikalıq fizika dep ataladı.

Ádette qubılıslardı basqasha usıllar menen de xarakterlewi múmkin. Onıń ushın energiya haqqında, onıń ózgeriwi jáne beriliw usılları haqqında túsiniqler engiziw kerek hámde energiyası bir túrden ekinshisine aynalğanda bolatuğın tiykarǵı nızamlardı tayarlaw kerek.

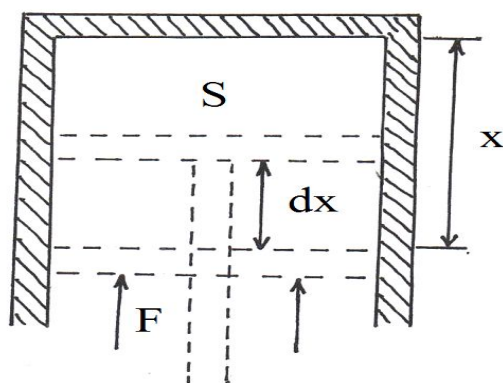
Fizikalıq proceslerdi usı energetikalıq kóz-qarastan úyrenetuğın tarawı termodinamika dep ataladı. Termodinamika proceslerdi tereń túsindirip makroskopiyalıq tárepten qarastırılmaстан-aq, ol proceslerdiń ulıwma túrde qalay ótetuğınlıǵı haqqında kóplegen juwmaqlar shıǵarıwǵa múmkinshilik beredi, al termodinamikanıń ózine tiykar bolıp atırğan tiykarǵı nızamlar qanday isenimli, jıynaqlı bolsa, bul juwmaqlarda sonday jıynaqlı boladı.

Processlerdi energetikalıq jaqtan qarastırıp túsindirgende termodinamikalıq metodtıń principlik ayırıqsha áhmiyetli bolıwı menen qatar, onıń praktikalıq jaqtanda da áhmiyeti bar. Energiyanı bir formadan ekinshi formaǵa aylandırıw menen hám onıń esabınan jumıs orınlaw menen baylanıslı bolatuğın kóplegen texnikalıq mashqalalardı termodinamikalıq kóz-qarastan qarastırıwǵa boladı.

Termodinamikaǵa tiykar bolğan nızamlar termodinamika baslamaları dep ataladı. Olar eksperimentler nátiyjesinde tabılğan maǵlıwmatlardı ulıwmalastırıw arqalı tayarlanğan bul baslamalardıń isenimli ekenligi, olardan kelip shıǵatuğın júdá kóp juwmaqlardıń tiyisli tájirybeler nátiyjeleri menen dál keletuğınlıǵı menen de xarakterlenedi.

§ 2.2. Termodinamika nızamları

Hár qanday dene yamasa sistemanıń halınıń ózgeriwı (usı sistemanıń jumıs atqarıwı yamasa sırtqı kúshlerdiń usı sistema ústinde jumıs atqarıwı menen belgilenedi. Bizge sol belgili, deneler (gaz) dıń halı P, V, T parametrleri menen xarakterlenedi. Bul parametrlerdiń birewi ıqtıyariy ózgergende sırtqı jumıs orınlanıwı kerek. Máselen gazdıń temperaturasınıń ózgeriwı, yagnıy qızdırılıwı yamasa sıwıtılıwı sırttan atqarılğan jumıs esabınan ámelge asırılıwı múmkin. Gaz cilindrde porshenniń ústinde bolsın. Mexanikalıq jumıs esabınan gaz qısılsa qızadı yamasa kólemi keńeyse, gaz suwıydı. Biraq gaz kólemin onıń temperaturasınıń ózgeretpegende de ózgertiw múmkin (5-súwret).



5-súwret

Eger gazge yamasa denegе bazı bir dQ jıllılıq muǵdarı berilse, dáslep onıń dU ishki energiyası ózgeredi hám dA jumıs atqarıladı. Sistemanıń atqarǵan jumısı sistemaga berilgen jıllılıq muǵdarı menen ishki energiyasınıń ózgeriwı arasındagı ayırmaǵ teń:

$$dA = dQ - dU \quad (2.2.1)$$

Yaki

$$dQ = dU + dA \quad (2.2.2)$$

Bul ańlatpalar termodinamikanıń birinshi nızamınıń matematikalıq ańlatılıwı boladı. Demek, denegе berilgen jıllılıq muǵdarı usı deneniń ishki enehgiyasınıń ózgeriwine hám jumıs atqarılıwına jumsaladı eken.

Qoyılǵan F sırtqı kúsh tásir etwishı P (S ke teń kúsh bolıp), teń salmalılıqqa kelgenshe qısıladı.

Porshen dx aralıqqa jılıssa, gazdı qıسادı, bul jaǵdayda atqarılǵan jumıs $dA = Fdx = PSdx$ qa ten boladı. Bunda $Sdx = dV$ teńligin itibarǵa alsaq, onda

$$dA = -PdV \quad (2.2.3)$$

teńligi kelip shıǵadı.

Kerisinshe gaz keńeygende onıń kólemi dV ǵa artqanda, sırtqı kúshlerge qarsı PdV oń jumıs atqaradı:

$$dA = -PdV \quad (2.2.4)$$

(2.2.4) tin (2.2.2) ge qoyamız, onda

$$dQ = dU + PdV \quad (2.2.5)$$

teńligi payda boladı. PV koordinatasında bul processti grafikalıq kórinisinde ańlatamız (6-súwret).

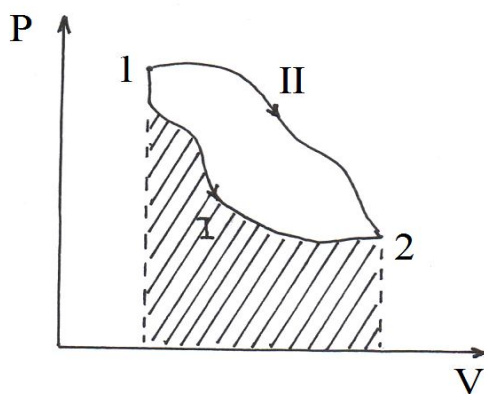
$dA = -PdV$ ańlatpanı 1,2 boyınsha integrallaymız:

$$A = \int_1^2 dA = \int_1^2 PdV \quad (2.2.6)$$

Demek, deneniń kólemi ózgergende, atqarılǵan sırtqı jumıs deneniń baslanǵısh halınan sońǵı halına ótiwinde basıp ótken hallarınıń tártibine baylanıslı boladı, joldıń formasına baylanıslı bolmaydı

$$\int_1^2 dQ = U_1 - U_2 + \int_1^2 PdV \quad (2.2.7)$$

Bunda U_1 , U_2 deneniń ishki energiyasınıń sáykes túrde 1 hám 2 hallarındaǵı mánisleri. Eger, $U_1 = U_2$ bolsa, onda deneniń halınıń ózgeriw procesi aylanbalı yaki cikllik halı delinedi.



6 – súwret

Bul jaǵdayda atqarılǵan jumıs

$$A = \int PdV \quad (2.2.8)$$

oń bolsa, yaǵnıy deneniń ózi sırtqı kúshlerge qarsı jumıs atqarǵan bolsa, onda bul dene sırttan Q jıllılıq alǵanın bildiredi.

Eger bir ciklde atqarılǵan jumıs A teris bolsa, yaǵnıy sırtqı kúshler dene ústinde jumıs atqarǵan bolsa, onda bul jumısqa teń bolǵan Q jıllılıq muǵdarı ajıraladı. $Q=A$ boladı. Eger sistema sırtqı ortalıqtan ajıralǵan bolsa, aylanbalı ciklde jumıs atqara almaydı. Sonın ushın $\oint dU = 0$ bolıp, termodinamikanıń birinshi nızamı

$$\oint dA = \oint dQ \quad (2.2.9)$$

kóriniske iye boladı, yaǵnıy $A = Q$, aylanbalı ciklde atqarılǵan jumıs sırttan berilgen ekvivalent jıllılıq muǵdarına baylanıslı boladı.

Bunnan ózi alǵan energiyadan artıq jumıs atqara alatuǵın dáwirli háreketleniwshi mexanizm jaratıw múmkin emesligi kelip shıǵadı. Ózi alǵan energiyasınan artıq jumıs atqara alatuǵın (qıyalıy) mexanizm máńgi dvigatel dep ataladı. Sonıń ushın termodinamikanıń birinshi tiykarǵı nızamın jáne tómendegishe ańlatıw múmkin: máńgi dvigatel qurıw múmkin emes. Usı ayılǵanlarǵa tiykarlanıp termodinamikanıń birinshi tiykarǵı nızamınıń oylap tabılıwı máńgi dvigatel qurıw haqqındaǵı kóplegen orınsız urınıwlarǵa shek qoydı.

Termodinamikanıń birinshi nızamı ádette energiyanıń saqlanıw nızamı bolıp ashılıwı tariyxıy jaqtan bazı bir kórinistegi energiyanı jumsamastan turıp sırttan jıllılıq almastan jumıs atqara alatuǵın mashinanı oylap tabıw jolındaǵı urınıwlardıń aqıbetsez bolıp shıǵıwı menen baylanıslı edi. Bunday mashina termodinamikanıń birinshi túri «perpetuum mobile» dep ataladı. Termodinamikanıń birinshi bas nızamı usıǵan tiykarlanıp tómendegishe táriplenedi. Birinshi túrdegi perpetuum mobile di yaǵnıy bir dáwir dawamında sırttan alınǵan energiya muǵdarına qaraǵanda kóbirek muǵdarda jumıs atqaratuǵın dáwirli háreketlenetuǵın mashinanı jaratıp bolmaydı. Uzatılǵan jıllılıq penen jumıs arasındaǵı ekvivalentliliktiń principial hám teoriyalıq áhmiyeti Robert Mayer (1814 – 1878), V.Tomson (1824 – 1907), Klawzius (1822 – 1888) hám basqa da fizikler tárepinen anıqlanǵan.

Energiyanıń saqlanıw nızamı ázelden shama qılınar edi. M.V.Lomonosov 1748–jılı zattıń saqlanıw nızamın bayan etiw menen birge tábiyatta hárekettiń saqlanıwı haqqındaǵı nızamın tómendegishe táriyiplegen edi. Ol «Tábiyatta ushırasatuǵın barlıq ózgerisler sonday júzege keledi, bunda qanday da bir deneden qansha muǵdarda ne dur alınsa, basqa denegge de sonsha muǵdarda qosıladı». Energiyanıń saqlanıw nızamınıń muǵdarı jaǵınan táriyipleniwi 100 jıl ótkennen keyin hár túrli kórinistegi energiyalardıń bir-birine aylanıwı menen baylanıslı bolǵan júdá kóp processlerdiń ashılıwı nátiyjesinde Robert Mayer hám Gelmgolc (1821 – 1894) tárepinen orındandı.

§ 2.3. Jıllılıqtıń mexanikalıq jumısqa aylanıwı. Ciklik processler hám cikl jumısı. Termodinamikanın ekinshi bas nızamı.

Bizge mexanikalıq energiyanıń jıllılıq energiyasına aylanıw procesi júdá ápiwayı halda júzege keletuǵını belgili. Mexanikalıq energiyanıń hámмесinde tolıq jıllılıq energiyasına (máсelen súykeliw nátiyjesinde) aylanıwı múmkin. Eger ΔW_k – kinetikalıq energiyanıń kemeyip barıwı, ΔW_p – potencial energiyanıń kemeyip barıwı hám Q - bólinip shıǵıp atırǵan jıllılıq muǵdarı bolsa, onda

$$Q = \Delta W_k + \Delta W_p$$

Jıllılıq hám mexanikalıq energiyalar xalıq aralıq (SI) ólshem birlikler sistemsında birdey ólshem birlik – Djoullda ólshenedi. Sonıń ushın ertede paydalanılǵan jıllılıqtıń mexanikalıq ekvivalentine zárúrlík bolmaǵan:

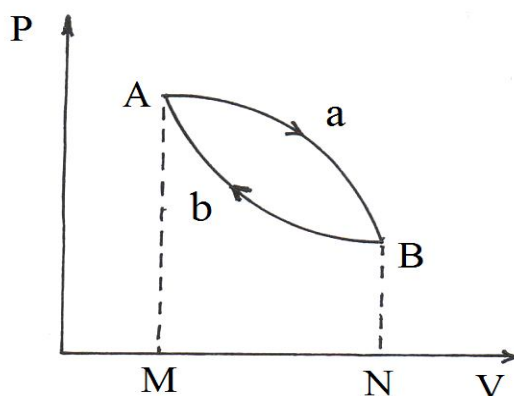
$$1 \text{ kal} = 4,1868 \text{ Dj} = 0,42693 \text{ kgc.m.}$$

Jıllılıq energiyasın jumısqa aylandırıwshı qurılmalar: puw mashinaları, ishten janıw dvigatelleri h.t.b. bul mashinalar ciklli (aylanbalı) ráwishte isleydi. Yaǵnıy, olarda jıllılıq uzatıw hám jumısqa aylandırıw processleri dáwirli tákirarlanıp turadı. Bunıń ushın jumıs atqarıp atırǵan dene derekten jıllılıq algannan soń jáne sonday processti qaytadan baslaw ushın óziniń dáslepki halına qaytıwı kerek. Bunday process cikl delinedi. Eger deneniń halı onın basımı hám kólemi arqalı xarakterlense, onda onıń halı grafikalıq túrde P-V diagrammadaǵı AB noqatlar menen ańlatıladı. Bul diagrammada ciklli process tuyıq iymek sızıq penen súwretlenedi. Hallardıń

óžgerisi (7-súwret) A hám B sızıq penen ańlatıladı. Aylanbalı process (cikl) tuyıq iymek sızıq Ab hám Ba menen kórsetiledi.

Cikl dawamında atqarılǵan jumıs tuyıq iymek sızıq penen shegaralanǵan maydańǵa teń boladı. 1854 – jılı Tomson (Kelvin) bazı bir deneden alınǵan jıllılıq basqa bir qanday da dene yamasa denelerde óžgeristi payda etpeydi, tek ǵana mexanikalıq jumısqa aylandırıp beriwshi cikllik procesti ámelge asırıwı múmkin emes degen edi. Bul princip jıllılıq mashinalarınıń islewine tiyisli kóp sanlı tájiriibeler tiykarında dálillengen.

Birinshiden, jumıs atqarıwshı dene, ekinshiden, jıllılıq deregi, yaǵnıy qızdırgısh, úshinshiden jıllılıq beretuǵın tóménirek temperaturalı dene – suwıtqısh bul procestiń tiykarın quraydı.



7-súwret

Cikllik mashinada jumıs atqarıw ushın hár qıylı temperaturalı eki dene qatnasıwı shárt degen tastıyıqlaw Karno principini delinedi. Bul principke muwapıq jıllılıq mashinası tek ǵana jıllılıq deregi hám jumıslıq dene menen qanaatlanıp qalmaydı. Eger tek ǵana jumıslıq dene hám jıllılıq deregi menen qanaatlanıp qalıwı múmkin bolǵan da edi, onda jumıs atqarıw ushın teńiz hám okeanlardıń suwları jer qabattı, jer atmosferası sıyaqlı ámelde sheksiz jıllılıq muǵdarın alıw múmkin bolǵan “derekler”den paydalanıw múmkin bolar edi. Bunday dereklerdiń jıllılıǵı esabınan isleytuǵın hám hesh qanday janılǵı talap etpeytuǵın mashina, máńgi dvigatel sıyaqlı áhmiyetke iye bolar edi. Bunday mashina ekinshi túr máńgi dvigatel dep atalar edi. Biraq bunday mashinanı energiyanıń saqlanıw nızamı tastıyıqlaydı. Bunda jumıs jıllılıq esabınan atqarıladı. Biraq tájiriye bunday mashinanıń jasalıwı múmkin

emesligin kórsetedi. Ciklik jıllılıq mashinasınıń islewi ushın suwıtqısh temperaturası jıllılıq dereginiń temperaturasınan tómén bolǵan dene kerek boladı. Ádette atmosferanıń ózi suwıtqısh wazıypasın atqaradı.

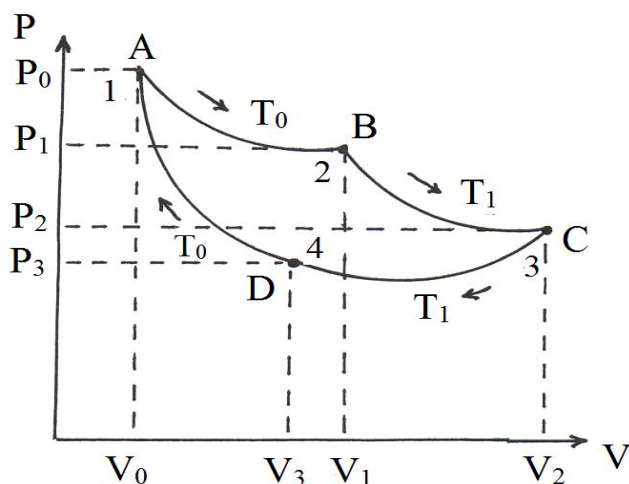
Ciklik process ushın jıllılıq alatuǵın jıllılıq deregi (qızdırgısh), jıllılıq beretuǵın suwıǵıraq dene (suwıtqısh) hám jıllılıqtın beriliwi hám jumıstıń orınlanıwında qatnas quralı bolǵan jumıshı dene bolıwı kerek.

Jumısshı denede ámelge asıratuǵın aylanbalı processti bul deneniń bazı bir basımǵa shekem qısılıp, qızdırgısh penen kontaktte bolǵan paytınan, yaǵnıy onıń T_0 ge teń temperaturaǵa iye bolǵan paytınan baslayıq (8-súwret A). Temperaturalardıń ayırması bolmaǵanı ushın bunda jıllılıq ótkizgishlik processı bolmaydı. Jumıs atqarılmastan jıllılıq beriw processı de bolmaydı. Biziń maqsetimiz maksimal jumıs alıw bolǵanlıǵı ushın ciklde bunday processler bolıwına jol qoymawımız kerek. Endi jumısshı denegé qızdırgısh penen konatkttı úzbegen halda keńeyiw hám bazı bir deneni, máselen, porshendi jıljıtıw ushın múmkinshilik beremiz. Demek, keńeyiwi izomermiyalıq keńeyiw boladı (8-súwrettegi AB iymek sızıq). Bunda jumıs atqarıladı. Bul jumıs qızdırgıshtan alınǵan jıllılıq esabınan orınlanadı. Biraq qızdırgıshtıń jıllılıq sıyımlılıǵı úlken bolǵanlıqtan, ol óziniń temperaturasın ózertpeydi.

Jumısshı dene alǵań jıllılıqtı suwıtqıshqa beriwi kerek. Suwıtqıshqa bul jıllılıqtı jumısshı dene tikkeley suwıtqıshqa tiygizip ámelge asırıp bolmaydı. Sebebi izotermiyalıq keńeygen jumısshı denesiniń temperaturası suwıtqısh temperaturasınan joqarı boladı hám kontaktte jıllılıq berilgende paydalı jumıs atqarılmaydı. Sonıń ushın dáslep jumısshı deneni suwıtqısh temperaturasına shekem suwıtıw hám sońınan oǵan tiygiziw kerek. Jumısshı deneni suwıtıw ushın bolsa, ol qızdırgıshtan izolyatciyalanıwı hám sońınan suwıtqısh temperaturasına teńleskenge shekem adibatalıq keńeyiwine (8-súwrette CD iymek sızıq) imkan beriwi kerek.

Adiabatalıq keńeyiwde deneler suwıydı. Bul ekinshi basqısha dene keńeyip, máselen porshendi jıljıtıp qosımsha mexanikalıq jıumıs atqaradı. Usınday jol menen jumısshı dene suwıtılǵannan keyin ol suwıtqıshqa tiygiziledi. Usınıń menen cikildiń

birinshi yarımı tamam boladı, bunda dene qızdırğıshtan alıńǵan jıllılıq esabınan paydalı jumıs atqaradı.



8-súwret

Endi jumısshı deneni dáslepki halına qaytarıw, yaǵnıy dáslepki basım hám temperaturanı tiklew gerek. Demek jumısshı dene qısılıwı hám qaytadan qızdırǵısh penen kontaktte bolıwı gerek. Bul jaǵdayda da dáslepki basqıshqa qaytarıw processı eki basqıshqa orınlanadı. Dáslep izotermiyalıq qısıladı – CD iymek sıızıq, sońınan adiyabatalıq qısıladı AD – iymek sıızıq hám cikl tamamlanadı.

Demek, aylanbalı process eki izotermiyalıq hám eki adiyabatalıq keńeyiwden hám qısılıwdan ibarat boladı. Keńeyiwlerde jumıs denesi paydalı jumıs atqaradı. Al qısılıwlar bolsa, kerisinshe, sırtqı kúshler dene ústinen atqarılǵan jumıs esabınan boladı. Bul jaǵdayda pútin cikl qaytıwshańlıq jolı menen ámelge asırıladı (yaǵnıy, process júdá áste kvazistatikalıq boladı) bunday jumısshı dene ústinde orınlangan jumıstı 1824-jılı francuz alımı Sadi Karno birinshi bolıp bayan etedi. Sonıń ushın onıń húrmetine Karno cikli delinedi. Bunda jumısshı dene sıpatında ideal gaz alıńǵan. Karno cikli tórt basqıshlı izbe-iz orınlanatuǵın termodinamikalıq procesten ibarat:

I basqısh: Izotermiyalıq keńeyiw (1 – 2)

Bunda AB izotermiyalıq keńeyiwinde atqarılǵan jumıs:

$$A_1 = RT_0 \ln \frac{V_1}{V} = Q_0 \quad (2.3.1)$$

boladı. Bunda Q_0 – gazdıń qızdırǵıshtan alǵan jıllılıq muǵdarı

II basqısh: Adiyabatalıq keńeyiw (2 – 3).

Bunda BC – adiabatlıq keñeyiwde $T_0 = T_1$ process toqtasa da, gaz keñeygende

$$T_0 V_1^{\gamma-1} = T_1 V_2^{\gamma-1} \quad (2.3.2)$$

teńlik orınlı boladı. Sonday-aq,

$$\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1} = \frac{T_0}{T_1} \quad (2.3.3)$$

Bul teńlikten paydalanıp gazdıń atqarǵan jumısı A_2 ni tabıw múmkin. II-basqısha

$$A_2 = \frac{RT_0}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}\right] = \frac{R(T_0 - T_1)}{\gamma-1} \quad (2.3.4)$$

boladı.

III basqısh. Izotermiyalıq qısılıw (3 – 4).

Bunda CD – izotermiyalıq qısılıwda, gazdıń kólemi V_2 den V_3 ke shekem izotermiyalıq qısıladı. Gazdıń atqarǵan jumısı tómendegishe boladı:

$$A_3 = RT_1 \ln \frac{V_3}{V_2} = -RT_1 \ln \frac{V_2}{V_3} = -Q_1. \quad (2.3.5)$$

Demek, Q_1 jıllılıq muǵdarı ajırılıp shıǵadı.

IV basqısh. Adiabatlıq qısılıw (4 – 1).

Demek, Q_1 -jıllılıq ajırılıp shıǵadı. Bunda DA – gaz adiabatlıq qısılıwda dáslepki $P_0 V_0$ halǵa qaytadı:

$$\left(\frac{V_3}{V_0}\right)^{\gamma-1} = \frac{T_0}{T_1}$$

teńliginen

$$T_1 V_3^{\gamma-1} = T_0 V_0^{\gamma-1}$$

Cikldiń sońında IV basqısh ta adiabatlıq qısılıwda atqarılǵan jumıs

$$A_4 = \frac{R(T_1 - T_0)}{\gamma-1} = -\frac{R(T_0 - T_1)}{\gamma-1} \quad (2.3.7)$$

ge teń boladı. Gazdıń izotermiyalıq hám adibatalıq keñeyiwlerinde jáne qısılıwlarında orınlangan ulıwma jumıs:

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 \quad (2.3.8)$$

boladı. Bul ańlatpanıń (2.3.1), (2.3.4), (2.3.5) hám (2.3.7) teńliklerinen paydalanıp, tómendegige iye bolamız:

$$A = RT_0 \ln \frac{V_1}{V_0} + \frac{R(T_0 - T_1)}{\gamma - 1} - RT_1 \ln \frac{V_2}{V_3} - \frac{R(T_0 - T_1)}{\gamma - 1} = RT_0 \ln \frac{V_1}{V_0} - RT_1 \ln \frac{V_2}{V_3} \quad (2.3.9)$$

(2.3.3) hám (2.3.6) teńliklerdiń oń jaqları teń, sonın ushın $\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_0}$, bunnan

$\frac{V_1}{V_0} = \frac{V_2}{V_3}$ ekenligi kelip shıǵadı.

Bul qatnaslardı r arqalı belgileymiz. Onda,

$$\ln \frac{V_1}{V_0} = \ln \frac{V_2}{V_3} = \ln r \quad (2.3.10)$$

$V_1 > V_0$, $V_2 > V_3$ bolǵanı ushın ulıwma jumıs

$$A = R(T_0 - T_1) \ln r \quad (2.3.11)$$

boladı. $T_0 > T_1$ bolǵanı ushın $A > 0$. Demek, jumısshı deneniń qızdırıǵıstın alǵan Q_0 jıllılıq muǵdarına teń emes. Qızdırǵısh bergen

$$Q_0 = RT_0 \ln \frac{V_1}{V_0} \quad (2.3.12)$$

jıllılıq muǵdarınan

$$Q_1 = RT_1 \ln r \quad (2.3.13)$$

ge teń bolǵan jıllılıq muǵdarı gazdıń bir bólegin V_2 kóleminen V_3 kólemge shekem izotermiyalıq qısıwda suwıqtıshqa berilgen edi. Solay etip, alınǵan jıllılıqtıń

$$Q_0 - Q_1 = R(T_0 - T_1) \ln r = A \quad (2.3.14)$$

ǵa teń bolǵan bólegin ǵana paydalı jumısqa aylanıwına erisiledi. Demek,

$$\frac{Q_0}{T_0} = R \ln \frac{V_1}{V_0}$$

teńlemeden

$$\frac{Q_0}{T_0} - \frac{Q_1}{T_1} = 0, \quad \frac{Q_0}{T_0} = \frac{Q_1}{T_1} \quad (2.3.15)$$

teńlik orınlı boladı.

Bunnan $\frac{Q_0}{Q_1} = \frac{T_0}{T_1}$ teńlikke tiykarlanıp,

$$\eta = \frac{A}{Q_0} = \frac{Q_0 - Q_1}{Q_0} \quad (2.3.16)$$

Jıllılıq mashinalarınıń PJK in anıqlawǵa erisemiz. Hámme waqt $\eta < 1$ boladı.

Francuz fizigi Sadi Karno 1824 – jılı óziniń «Jalınńıń háreketlendiriwshi kúshi haqqında pikirler» degen shıǵarmasında qanday sharayatta jıllılıq dvigateliniń paydalı jumıs koefficientiniń maksimal bolatuǵınıń anıqlaydı maqset etip qoydı. Ol bul shıǵarmasında ideal gaz ústinen atqarılǵan jumıs hám gaz koleminiń adiabatlıq hám izotermiyalıq ózgeriwlerinen ibarat bolǵan ayırma processte (eger suwıtqıstıń temperaturası absolyut nolden joqarı bolsa) jıllıqtıń qızdırgıshtan suwıtqıshqa berilmesligi múmkin emes, degen juwmaqqa keldi.

Klauzius hám V.Tomson keyin ala S.Karnonıń juwmaqların tómendegishe ulıwmalastıradı: bazı bir derekten bir márte alıńǵan jıllılıq esabınan dáwirli islew múmkin emes degen jıllılıq mashinası haqqındaǵı prinsipke (birden-bir nátiyjesi) dereklerdiń birewinen alıńǵan jıllılıq esabınan jumıs payda etiwden ibarat bolǵan dáwirli processti payda etip bolmaydı. Bul princip termodinamikanıń II-bas nızamı degen at penen belgili. Termodinamikanıń II-bas nızamın pútkil álemge hám sheksiz uzaq waqıt aralıǵına ulıwmalastırıw qáte bolıp tabıladı.

§ 2.4. Karnonıń ideal jıllılıq mashinası. Karno cikliniń paydalı jumıs koefficienti

Termodinamikanın ekinshi nızamınıń ideyası francuz injeneri yaǵnıy S.Karnonıń atı menen baylanıslı bolıp, ol 1824 – jılı Karno ciklin yaǵnıy jıllılıq mashinasındaǵı aylanbalı procesti jarattı.

Jıllılıq mashinalarında júzege keletuǵın proceslerde beriletuǵın Q jıllılıq muǵdarı esabınan A jumıs atqarıladı hám bunda energiyanıń saqlanıw nızamı orınlanadı. Sırttan alıńǵan hám sırtqa qaytıp berilgen jıllılıq muǵdarınıń mánisleri arasındaǵı $Q_0 - Q_1$ ayırma payda bolǵan A jumısqa teń.

Qızdırgıshtan alıńǵan Q_0 jıllılıq muǵdarınıń qansha bólegi A jumısqa aylanǵanlıǵın biliw úlken áhmiyetke iye. Sebebi suwıtqısqı berilgen Q_2 jıllılıq muǵdarınıń ámeliy áhmiyeti joq. Sonıń ushın paydalı jumıs koefficienti (PJK) túsiniǵi kiritiledi:

$$\eta = \frac{A}{Q_0} = \frac{Q_0 - Q_1}{Q_0} \quad (2.4.1)$$

PJK in esaplawda ótken temadaǵı ekinshi súwrettegi cikldıń orınlanıwında jumıslardı esaplaǵan edik. Tórt basqıshtan ibarat bolǵan bul ciklda islewshi zat bazı bir derekten alınǵan Q_0 jıllılıq muǵdarı esabınan A jumıs atqaradı. Sonday-aq, bul processte Q jıllılıq muǵdarı suwıtqıshqa beriletuǵınıń kórdik. Bul process quramalı xarakterge iye. Demek, bul processte suwıtqıshqa beriletuǵın Q_1 anıqlanadı.

$$Q_1 = Q_0 - A \quad (2.4.2)$$

Bunda A jumıs qızdırgıshtan alınǵan Q_0 jıllılıq muǵdarınıń qanday bólegin quraytuǵının anıqlaw áhmiyetli. (2.4.1) formuladan η qanshelli birge jaqın bolsa, yaǵnıy A jumıs alınǵan jıllılıq muǵdarınıń qanshelli úlken bólimin quraytuǵın bolsa, mashina sonshelli kóberek ónimdarlı boladı.

Biz ótken temada Karno ciklin kórip, process eki izoterma hám eki adiabatadan ibarat bolǵan aylanbalı tákirarlanıwshı process ekenligin bilgen edik.

Sistemanın birinshi halı V_0 kólem, P_0 basım hám T_0 temperatura menen xarakterlenedi. 1 mol ideal gazdı jumıs denesi sıpatında alıp, Karno ciklin úyrenemiz. Gaz 2-halǵa ótkenshe kólemin V_1 , basımın P_1 menen izotermiyalıq ($T = \text{const}$) keńeyiwine májbúr etemiz. Gaz isotermikalıq keńeyiw waqtında qızdırgıshtan Q_0 jıllılıq muǵdarın aladı hám $A_1 = Q_0$ jumıs atqarıladı.

Gaz 2-halattan baslap, kólemi V_2 , basımı P_2 ge teń bolǵan adiabatlıq keńeyiw imkaniyatın júzege keltiremiz hám 3-halǵa jetip keledi. Bunda gazdıń temperaturası T_1 ge shekem páseyedi.

Gaz 3-haldan baslap kólemi V_2 , basımı P_2 menen xarakterlenip, turaqlı T_1 temperatura menen qısıladı. Bul izotermikalıq qısılıw bolıp, gazdıń kólemi V_3 hám basımı P_3 ke teń bolǵan 4-halǵa ótedi. Bul qısılıwda gaz suwıtqıshqa Q_1 jıllılıqtı beredi hám $A = -Q$ jumıs atqaradı. Gazdı 4-haldan baslap, adibatlıq ráwishte qısıw nátiyjesinde onın kólemi baslangısh kólemi V_0 , basımı P_0 dı iyelewge hám onıń temperaturası baslangısh temperaturaǵa shekem kóterilsin. Bunday janıw cikli Karno cikli bolıp, onıń PJK ti (2.4.1) formula arqalı ańlatıladı. Bunda A – tolıq cikl dawamında atqarılǵan jumıs, Q_0 – qızdırgıshtan alınǵan jıllılıq muǵdarı, Q_1 – suwıtqıshqa berilgen jıllılıq muǵdarı.

Eger bul processte gazdın izotermiyalıq keńeyiwindegi temperatura T_0 , al gazdın izotermiyalıq qısılıwındaǵı temperaturasını T_1 dep alsaq, onda izotermiyalıq keńeyiwde gaz qızdırgısıhtan Q_2 jıllılıq muǵdarın aladı. Demek, qızdırgısıhtın temperaturasını T_0 suwıtqısıhtın temperaturasını T_1 desek, Karno ciklinin PJK ti tómendegishe boladı:

$$\eta = \frac{T_0 - T_1}{T_0} \quad (2.4.3)$$

Bul Karnonın ideal jıllılıq mashinasının PJK ti.

Bunda cikldın bolıp ótiwi nátiyjesinde gaz tómendegi jumıstı atqaradı:

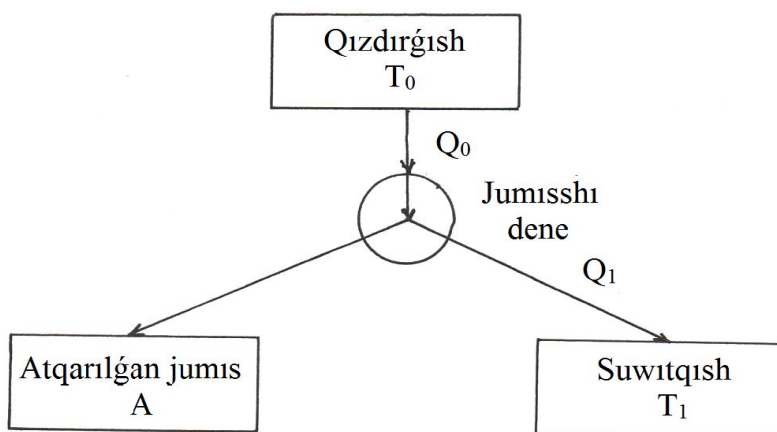
$$A = Q_0 - Q_1 = \eta Q_0 \quad (2.4.4)$$

Demek, qızdırgısıhtan Q_0 jıllılıq muǵdarı alınǵan hám suwıtqıshqa tómendegi jıllılıq muǵdarı berilgen boladı:

$$Q_1 = Q_0 - A = (1 - \eta)Q_0 \quad (2.4.5)$$

Qızdırgısıhtın temperaturası T_0 qanshelli joqarı bolsa hám suwıtqısıhtın temperaturası T_1 qanshelli tómén bolsa, PJK sonshelli joqarı boladı. Qızdırgasıhtan alınǵan Q_0 jıllılıq muǵdarının kóbirek bólegi jumısqa aylanadı hám kemirek bólegi Q_1 jıllılıq muǵdarı suwıtqıshqa beriledi.

Eger suwıtqısıhtın temperaturası $T_1 = 0$ bolsa, $\eta = 1$ bolıwı múmkin. Biraq absolyut noldi alıp bolmaydı. Sonın ushın $\eta < 1$ boladı. Karnonın ideal jıllılıq mashinasının jumıs sxeması tómendegishe:



9-súwret

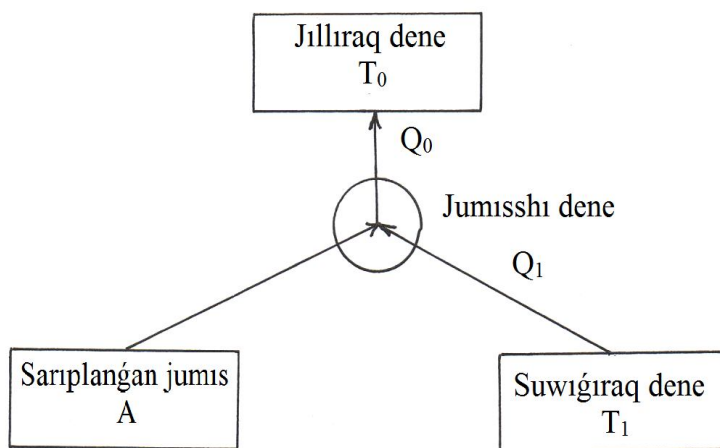
Karno cikliniń qaytımlılıǵına salıstırǵanda keri baǵıtta ámelge asırılıwı Karnonıń ideal suwıǵıraq mashinası boladı. Onıń sxemalıq kórinisi 10 –súwrette berilgen.

$$\eta = \frac{1-\eta}{\eta} A \quad (2.4.6)$$

Qızdırǵıshqa beretuǵın jıllılıq muǵdarı:

$$Q_0 = \frac{A}{\eta} \quad (2.4.7)$$

Karnonıń keri cikliniń (ideal suwıǵıraq mashinası) islew principi 10-súwrette kórsetilgen.



10-súwret

Joqarıdaǵı bayan etilgen barlıq juwmaqlardı shıǵarıwda biz Karno cikli ideal gaz ústinde atqarıladı dep esapladıq. Biraq termodinamikanıń 2-bas nızamınan paydalanıp, ıqtıyarlı islewshi zat ústinde orınlanǵan qaytımlı Karno cikliniń paydalı koefficienti ideal gaz ústinde orınlanǵan Karno cikliniń PJK ne teńligin kórsetiw múmkin.

§ 2.5. Klauzius teńsizligi. Entropiya. Entropiya hám itimallıq. Entropiya hám tártipsizlik

Bizge málim, qaytımlı Karno ciklin tekseriw $Q_0 - Q_1$ jıllılıq muǵdarınıń jumısqa aylanıwı ushın temperaturası T_0 bolǵan qızdıırǵıstın temperaturası T_1 bolǵan suwıtqıshqa uzatılıwı zárúr bolǵan Q_1 jıllılıq muǵdarın anıqlaw imkanın beredi.

Klauzius teńlemesin keltirip shıǵarıw ushın aldınǵı teńlemeden málim bolǵan

$$\frac{Q_0}{Q_1} = \frac{T_0}{T_1} \quad (2.5.1)$$

formuladan paydalanamız.

Bunda Q_0 – jumıs atqarılıwı denegge beriletuǵın jıllılıq muǵdarı. Q_1 – suwıtqıshqa berilgen yáki suwıtqıstın jumıs atqarıwshı denegge berilgen jıllılıq muǵdarı dep belgilegen edik. Endi jumıs atqarıwshı denegge qızdıırǵısh tamanınanda siwıtqısh tamanınan da berilgen jıllılıq muǵdarın Q menen belgileymiz. Eger Q_1 suwıtqısh tamanınan jumıs atqarıwshı denegge berilgen jıllılıq muǵdarın bildirse, tómendegi teńsizlik payda boladı: $Q_1 < 0$. Onda (2.5.1) teńlikti tómendegishe jazıw múmkin.

$$-\frac{Q_0}{Q_1} = \frac{T_0}{T_1} \quad (2.5.2)$$

bunnan

$$\frac{Q_0}{T_0} + \frac{Q_1}{T_1} = 0 \quad (2.5.3)$$

boladı.

Bunnan $\frac{Q}{T}$ qatnası keltirilgen jıllılıq muǵdarı delinedi hám (2.5.2) formula tómendegishe táripleniwı múmkin. Karno ciklinde keltiirlgen jıllılıq muǵdarınıń qosındısı nolge teń boladı. Íqtıyarlı Karno cikliniń PJK ti ushın tómendegi teńsizlik orınlı boladı:

$$\eta = \frac{Q_0 - Q_1}{Q_0} \leq \frac{T_0 - T_1}{T_0} \quad (2.5.4)$$

Sonday-aq, bul ańlatpanı ıqtıyarlı Karno cikli ushın tómendegi kóriniste jazıwǵa boladı:

$$\frac{Q_0}{T_0} + \frac{Q_1}{T_1} \leq 0 \quad (2.5.5)$$

Demek, Karno cikli ushın keltirilgen jıllılıq muǵdarınıń qosındısı nolden úlken bola almaydı. Bul teńsizlik Klauzius teńsizligi delinedi.

Hár qanday aylanbalı processte keltirilgen jıllılıq muǵdarınıń qosındısı nolden úlken bola almaydı. Qaytımlı process ushın bul qosındı nolge teń. Process qaytımlı bolǵanda jabıq konturda $\sum \frac{\Delta Q}{T} \leq 0$ qosındı teńsizlik tómendegi tuyıq integralǵa aylanadı.

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0 \quad (2.5.6)$$

Yaǵnıy (2.5.6) formula tolıq qaytımlı procesti ańlatadı.

Qaytımsız process ushın $\sum \frac{\Delta Q}{T} \leq 0$ qosındını tuyıq integral menen almasııp bolmaydı. Sebebi, integrallawdıń P hám T ózgeriwshileri processtıń qaytımsız bólimleri anıq mánislerge iye bolmaydı.

Qaytımlı proceste denegе berilgen keltirilgen jıllılıq muǵdarınıń qosındısı processtıń qaysı joldan barıwına baylanıslı bolmaǵanlıǵın kóremiz.

Aldıńǵı temadaǵı grafikten A haldan B halǵa qaytımlı ráwishte ótiwdegi keltirilgen jıllılıq muǵdarınıń qosındısını ańlatıwshı $\int_A^B \frac{dQ}{T}$ integral deneniń dáslepki hám sońǵı halları menen ǵana anıqlanıp, processtıń ótiw jolına baylanıslı emes. A dan ótilgen jol S_A , B dan ótilgen jol S_B . Usıǵan baylanıslı juwmaqlawshı jol tómendegi teńlik penen ańlatıladı:

$$S_B - S_A = \int_A^B \frac{dQ}{T} \quad (2.5.7)$$

Bunda $S_B - S_A$ ayırma hal funkciyası bolǵan bazı bir S fizikalıq shamanıń ayırması. Bul fizikalıq shama entropiya delinedi.

S entropiya B hám A eki hal entropiyalarınıń $S_B - S_A$ ayırmasın ǵana anıqlaw múmkin. Jabıq sistemada procesler entropiyası ósip baratuǵın baǵıtta júzege keledi. Sistemada júzege keletuǵın proceslerdiń barlıǵı qaytımlı bolǵan menshikli halda entropiya ózgermey qaladı.

Qaytımsız proceslerdiń ótiw baǵıtın kórsetetuǵın entropiya itimallıq penen baylanıslı. Sonıń ushın Bolcmannıń kórsetiwinshe, S entropiya halı itimallıqtıń logarifmine proporcional esaplanadı.

$$S = kmW \quad (2.5.8)$$

Bunda W – beretuǵın haldıń itimallıǵı, $K = 1,38 \cdot 10^{23}$ Dj/K Bolcman turaqlısı

$$kmW = Rm \frac{V}{V_1}, \text{ gaz izotermiyalı keńeyse } V' = V_1, V' = V_2 \text{ bolıp, } A = RTm \frac{V_2}{V_1};$$

$$\text{Jumıs formulasına teń boladı. } |\Delta S| = |S_2 - S_1| = km \frac{W_1}{W_2} = km \frac{V_1}{V_2};$$

$$\Delta S = \frac{A}{T}; A = \Delta Q \text{ bolǵanda } dQ = dU + dA \text{ formulası menen anıqlanadı.}$$

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \quad (2.5.9)$$

$$(2.5.9) \text{ teńlikten } dS = \frac{dQ}{T} \text{ bolıp, } dQ = TdS \text{ yamasa } TdS = dU = dA$$

Bunnan tómendegini keltirip shıǵaramız:

$$dU = TdS - dA \quad (2.5.10)$$

Bunnan

$$dA = d(U - TS) \quad (2.5.11)$$

$T = \text{const}$ bolǵanı ushın $SdT = 0$ hám (2.5.11) teńlikten

$$F = U - TS \quad (2.5.12)$$

dep belgilesek, bunda erkin energiya, yaǵnıy mexanikalıq jumıs atqarıwı mımkin bolǵan energiyanı anıqlaw formulası payda boladı.

Tayanış túsinipler:

Jumıs hám jıllılıq muǵdarı. Termodinamikalıq parametrler. Gaz koleminiń ózgeriwinde orınlangan jumıs. Termodinamikanın birinshi nızamı. Jıllılıq. Mexanikalıq jumıs, jıllılıqtıń mexanikalıq jumısqa aylanıwı. Ciklik process hám cikl jumısı. Termodinamikanın II-bas nızamı. Jıllılıq mashinaları. Paydalı jumıs koefficienti. Karno cikli. Kauzius teńsizligi. Qaytımlı procesler. Entropiyanıń fizikalıq maǵanası. Qaytımlı hám qaytımasız proceslerde entropiya. Entropiya sistemasınıń halat itimallıǵına baylanıslılıǵı.

Temağa baylanış sorawlar

- 1. Termodinamikalıq parametrlerdı túsindirıń.*
- 2. Termodinamikanıń birinshi nızamınıń matematikalıq ańlatpasın túsindirip berıń.*
- 3. Gaz kóleminiń ózgeriwinde qanday jumıs atqarıladı?*
- 4. Jıllılıqtıń mexanikalıq jumısqa aylanıwın túsindirıń.*
- 5. Ciklik process hám cikl jumısı degende neni túsinesiz?*
- 6. Termodinamikanıń II-bas nızamın aytıp berıń.*
- 7. Jıllılıq mashinaları haqqında aytıp berıń.*
- 8. Karno ciklin túsindirıń.*
- 9. Paydalı jumıs koefficientiniń matematikalıq ańlatpasın túsindirip berıń.*
- 10. Klauzius teńsizliginiń maǵanasın túsindirıń.*
- 11. Qaytımsız processti aytıp berıń.*
- 12. Entropiyanıń fizikalıq maǵanasın túsindirıń.*
- 13. Qaytımlı hám qaytımsız proceslerdegi entropiyanı aytıp berıń.*
- 14. Entropiya sistemasınıń halat itimallıǵına baylanısı qanday?*

III BAP. BÓLISTIRIW FUNKCIYALARI

§ 3.1 Termodinamikalıq funkciyalar

a) Ishki energiya – sistemanıń hal funkciyası

1) Gaz izoxoralı qızdırılǵanda jıllılıq almasıw bolıp ótedi;

2) Gaz qısılıp qızdırılǵanda, jıllılıq almasıw bolmaǵanda, demek, ishki energiyanıń ózgeriwi, jıllılıq almasıwı Q hám jumıs A atqarıw jolı menen bolıp ótedi. Eger $A = 0$ bolsa, onda $E_2 - E_1 = Q$, al $Q = 0$ bolsa, onda $E_2 - E_1 = A$ (mısalı, gazdıń qısılıwındaǵı adiabatalıq process).

Biz makrosistemanıń qásiyetlerin molekuliyar-kinetikalıq teoriya kóz qarasınan kórip ótkenimizde makrosistemanıń ishki energiyası túsiniǵı molekulalardıń óz-ara tásirlesiwinin kinetikalıq energiyası hám potencial energiyasınıń qosındısınan ibarat ekenligine isenim payda ettik, yaǵnıy sistemanıń ishki energiyası degende onıń tolıq energiyası túsiniydi. Ideal gazdıń ishki enerhiyası sistemaǵa kırıwshi molekulalardıń tek ǵana kinetikalıq energiyasınıń qosındısı menen anıqlanadı. Ertede kirgizilgen terminologiyalıq túsiniqlerden paydalanıp, ishki energiyanı sistemanıń ishki parametri dep aytıwǵa boladı. Demek, ishki parametler dep sanalǵan basım yamasa temperaturalar menen birge ishki energiyanıń ishki parametrlerdin qatarına kirgiziwge boladı.

Sistemanıń ishki energiyası, onıń hal funkciyası bolıp, sistemanıń halın xarakterlewshi parametrlar basım, kólem hám temperatura menen baylanıslı.

Makrosistemanıń ishki hám sırtqı parametrleriniń arasındǵı baylanıstı ornatiwda, makrosistemanıń teńsalmaqlılıq halı máselesin úyrengenimizde, biz makrosistemanıń ishki parametrlarına temperatura hám ishki energiyanı kirgiziwimiz kerek. Eger α_i menen sırtqı, al β_i menen kiritilmegen T , E ishki parametrlardi belgilesek, ulıwma túrde bunday baylanıs ayırım funkcionál ǵárezlilik penen anıqlanadı:

$$f(\alpha_i, \beta_i, T, E) = 0 \quad (3.1.1)$$

Ápiwayılıq ushın sırtqı parametr β_i jámi birew, al ishki parametr α_i di ekew dep alayıq. Bunday jaǵdayda ideal gaz ushın sırtqı parametr kólem, al ishki parametr

sıpatında basım hám gaz massası esaplanadı. Onda (3.1.1) ańlatpa tómendegi kóriniske iye boladı:

$$f(V, P, T, E, m) = 0 \quad (3.1.2)$$

Jumıs hám energiyanı anıq ajıratıp biliw kerek. Energiya sistema halın xarakterlewshi shama bolsa, jumıs sistemaniń energiya almasıwındaǵı processti xarakterleytuǵın shama. Eger sistemaniń halı ózgermese jumıs nolge teń. Jumıs sistemaniń energiyasınıń qanshaǵa ózgergenligin kórsetedi. Demek, jumıs energiya ózgerisiniń ólshemi. Sistemaniń halı tek ǵana deneniń óz-ara jaylasıwı hám onıń tezligi menen anıqlanbastan, jáne ishki halı (ishki energiyası)na da baylanıslı. Berilgen gaz massasınıń ishki energiyasınıń ózgeriwi eki usıl menen ámelge asırılıwı múmkin.

Eger sistema tuyıq bolsa, onda gaz massası turaqlı shama bolıp, kólem V ǵa baylanıslı, yaǵnıy makrosistemaniń $m = \text{const}$ bolǵandaǵı tórt parametr arasındaǵı funktsional baylanıs tómendegishe boladı:

$$f_m(V, P, T, E) = 0 \quad (3.1.3)$$

Bul makroteńleme sistemaniń hal teńlemesi dep ataladı. (3.1.3) teńlemeden hal teńlemesine 3 ishki hám bir sırtqı parametr kiretuǵını kórinedi. Eger sońǵısın berilgen dep esaplasaq, onda ishki hám sırtqı parametrlar arasındaǵı baylanıstı ornatawda jáne eki teńlemege iye bolıwımız kerek. Bunday teńlemeler baylanısı tómendegishe bolıwı múmkin:

$$P = P(V, T) \quad (3.1.4)$$

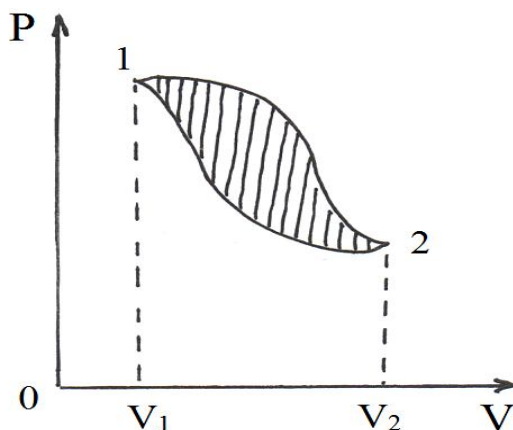
$$E = E(V, T) \quad (3.1.5)$$

(3.1.4) túrindegi teńleme termikalıq teńleme, al (3.1.5) túrindegi teńleme kaloriyalıq hal teńlemesi delinedi.

Ulıwma jaǵdayda termikalıq hám kaloriyalıq teńlemelerdiń sanı, makrosistemaniń jaǵdayın anıqlawshı ishki parametrlar diń sanı menen beriledi. Termodinamika sheńberinde kaloriyalıq hám termikalıq teńleme kelip shıqpaydı. Olar tájiriyybede anıqlanadı yamasa makrosistemaniń ishki strukturası haqqında kelip shıqqan kórsetpelerinen alınadı. Tájiriyybelardiń nátiyjelerine muwapıq ideal gazdıń

ishiki energiyası tek ǵana temperaturanıń funkciyası: $E = c_v T$, onda hal teńlemesi berilgen gaz massası ushın úsh termodinamikalıq parametrdi baylanıstıradı.

Sistemanıń bunday halın tuwrı múyeshli koordinatar sistemasında grafikalıq sáwlelendiriw qolaylı, onda ózgeriwshiler P, V ; P, T yamasa V, T kósherlerge jaylastırıladı. Ayırım sistemanıń halı koordinatar da (p, V) yamasa basqaları noqat kórinisinde sáwlelendiriledi.



11-súwret

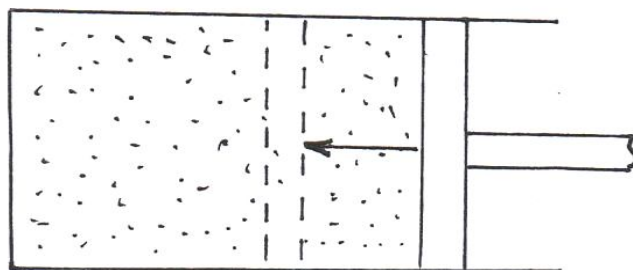
Makrosistemadaǵı termodinamikalıq process noqatlar kópligi kórinisinde ańlatılıp, hal diagramması delinedi. Usı diagrammanı (11-súwret) kórip ótemiz. Onda sistemadaǵı 1-noqattan 2-noqatqa $1 \rightarrow 2$ sıızıq boylap hám sońınan keri sıızıq penen $2 \rightarrow 1$ process ótiwleri kórsetilgen. Bunday process cikl delinedi. Diagrammadan málim, ciklli proceslerden keyin sistema parametrleri ózgermeydi. Ishki enehgiyasınıń ózgeriwi $1 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ ótiwler nátiyjesinde nolge teń bolatuǵını belgili. Matematikalıq kóz-qarastan bul dE ishki energiya E ushın toliq differencial, qarap shıqqanıımızday termodinamikalıq parametrlardıń funkciyası ekenligin bildiredi. Eger process ciklli bolmasa, onda dE niń ózgeriwi noldan ózgeshe boladı. Bul ózgeris tek ǵana sistema qorshagan ortalıq penen óz-ara tásiri esabınan kelip shıǵadı. Joqarıda aytıp ótilgendey óz-ara tásir mikrosistema qorshǵan ortalıq penen energiya almasıwı jumıs hám jıllılıq muǵdarı menen xarakterlenedi.

b) Jumıs procestiń finkciyası sıpartında

Meyli gaz cilindrde porshenniń astında bolsın. Onıń P, V, T, m parametrleri menen teńsalmaqlılıq halatında bolǵan dep esaplayıq. Bul tájiriyybede kólem V sırtqı

parametr, al basım P – ishki parametr bolıp esaplanadı. Eger adiabatlıq kólemdi kishi dV shamaǵa arttırsaq, onda gazdıń jumısı (sırtqı kúshlerge qarsı) keńeyiwine teń:

$$dA = PdV \quad (3.1.6)$$

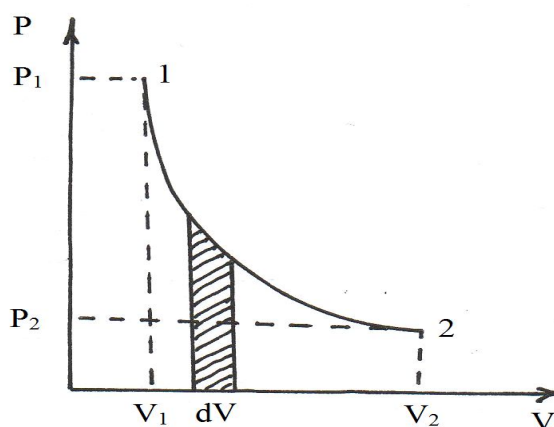


12-súwret

Gaz keńeygende atqarılǵan jumıs oń dep qabıllanadı. Bul jaǵdayda jumıs gazdıń ishki energiyasınıń esabınan orınlanadı. Demek, gazdıń ishki energiyası kishi shamaǵa kemiydi:

$$dE = -dA < 0 \quad (3.1.7)$$

Álbette, gaz bul jaǵdayda suwınadı. Kerisinshe, eger gaz adiabatlı sırtqı kúshler tásirinde qısılsa, onda jumıs teris, al ishki energiyasınıń ózgeriwi oń, gazdıń qızıwı júzege keledi. Koordinataları (P, V) bolǵan diagramma arqalı termodinamikalıq óz-ara tásir processindegi sistemanıń halın sáwlelendiremiz (13-súwret).



13-súwret

Elementar jumıs shtrixlangan maydan bólimi menen anıqlanadı. Qosındı jumıs 1-2 iymekligin shegaralawshı abscissa kósherindegi (V_1 , V_2) hám ordinata kósherindegi (P_1 , P_2) úzik sızıqlar maydanına teń.

Aylanbalı process jaǵdayında jumıs tuyıq iymekliginiń ishki bólimi figurasınıń maydanı menen anıqlanadı (13-súwretke qarań). Eger háreket konturda saat tili boyınsha júretuǵın bolsa, bul jumıs oń shama boladı. Sistema 1 halınan 2 halına ótse hám kerisinshe bolsa, onda sistemanıń energiyasınıń ózgeriwi ΔE nolge teń, biraq jumıs nolden ózgeshe boladı. Ol kontur menen shegaralangán figuranıń maydanın xarakterleydi hám processtiń ótiw usılına baylanıslı. Atap aytqanda, sistemadaǵı jumıs process xarakteristikası, ol termodinamikalıq shama yamasa sistema halınıń funkciyası bola almaydı. Sonlıqtan dA tolıq differncial dep atalmaydı. Demek, bul jaǵdayda elementar jumıs δA belgilenetuǵınıń aytıp ótiw orınlı boladı.

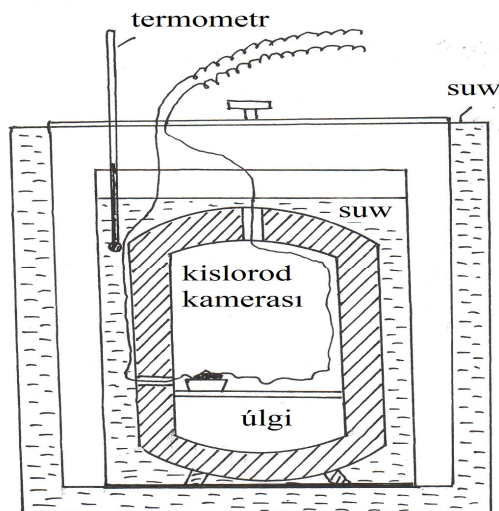
v) Jıllılıq muǵdarı processtiń finkciyası sıpatında

Joqarıda aytıp ótilgenindey, makrosistemada sırtqı parametrleriniń ózgeriwisiz energiya almasıwı jıllılıq muǵdarı delinedi. Molekulyar-kinetikalıq teoriya kóz-qarasınan jıllılıq muǵdarı óz-ara tásir energiyanıń arnawlı forması bolıp, molekulalar arasındadıǵı energiyanıń almasıwına baylanıslı shama. Jıllılıq muǵdarı denedegi ayırım gipotetikalıq ortalıqtaǵı jıllılıq deregi menen baylanıslı bolıp, tıyanaqlı bolmaydı. Biraq termoinamikadaǵı kóplegen terminler usı kórsetkishlerge baylanıslı. Hár qıylı usıllarda sistemaǵa berilgen process ótiwlerdegi birdey jıllılıq muǵdarın qorshaǵan ortalıqtı ózgeretpeytuǵınına tájiriybeler arqalı isenim payda etiw múmkin. Mısal ushın berilgen massadaǵı qızdırılǵán kómir belgili bir energiya bólip shıǵaradı. Bul energiyani kalorimetr járdeminde tájiriybede anıqlawǵa boladı. Ápiwayı kalorimetrdiń sxeması 14-súwrette keltirilgen.

Kalorimetr nıǵız jıllılıq ótkeretmeytuǵın ıdıs, ishinde basqa suwı bar hám málim basımdaǵı taza kislorod atmosferasındaǵı úlgi jaylasqan kameradan ibarat ıdıs.

Úlgi kameradaǵı elektrodlardıń arasında payda bolǵan elektr jalını járdeminde qızdırıladı. Kameradaǵı jıllılıq procesi turaqlı kólemde bolıp, jıllılıq muǵdarı suwǵa jıllılıq almasıw procesi arqalı berilip, makrosistemanıń ishki energiyasınıń ózgeriwi

kameranın qızdırılıwına baylanıslı boladı. Belgili massadağı suwdıń temperaturasınıń ózgeriwi sistemaǵa berilgen jıllılıq muǵdarı menen anıqlanadı.



14-súwret. Kalorimetr

Eger málm jıllılıq muǵdarı belgili basımdaǵı porshenniń ústinde jaylasqan gazga berilse, onda oǵan baylanıslı porshen bekitilgen yamasa joqpa, buǵan qaramastan gazdıń halı ózgermeydi. Solay etip, jıllılıq muǵdarı jumıs sıyaqlı makrosistemanıń halı emes, al process funkciyası boladı.

§ 3.2. Entropiya, entalpiya, erkin energiya

Jıllılıq mashinaların úyrengenimizde ishki energiyanıń qásiyetleri, makroskopiyalıq sistemanıń mexanikalıq energiyasınan ózgeshe bolatuǵını menen tanısqań edik. Mexanikalıq (kinetikalıq hám potentsiallıq) energiya tolıq jumıs orınlanıwında paydalanılıwı múmkin. Ideallasqań konservativ sistemada orınlangan jumıs jumshalǵan mexanikalıq energiyaga teń: $\Delta A = -\Delta E$.

Súykeliske iye dissipativ sistemada bul teńlik teńsizlikke aylanadı $\Delta A < -\Delta E$. Jıllılıq processlerinde de ishki energiyanıń esabınan mexanikalıq jumıs orınlanıwı múmkin. Mısalı, adiabatalıq process jaǵdayında ideal gazdıń jumısı tómendegishe qatnasta bolatuǵını joqarıda kórsetilgen edi:

$$\Delta A = -\Delta E = c_v (T_2 - T_1) \quad (3.2.1)$$

Bunda, T_2 hám T_1 sáykes ráwishte baslangısh hám keyingi temperaturalar. Basqa processlerde gaz sistemaǵa kırıwshi qorshaǵan deneler menen jıllılıq almasadı

hám sonıń menen birge jumıs atqaradı. Eger process izometriyalıq bolsa, onda jıllılıq biraz tolıq paydalanıladı hám jumıs kólem V_1 den kólem V_2 ge shekem keńeyiwinde payda boladı:

$$A = RT \ln \frac{V_2}{V_1} = Q \quad (3.2.2)$$

Gazdan alınğan jıllılıq muǵdarı Q tolıq jumısqa aylanadı, al gazdın ishki energiyası ózgermeydi, $E = \text{const}$.

Termodinamikada energiyanı xarakterlewshi erkin energiya F túsınıǵı kirgizilip onıń esabınan izotermiyalıq processte sistemanıń baslanǵısh halınan berilgen halına ózgeriwinde jumıs orınlanadı.

Birgelikte termodinamikanıń birinshi baslamasın jazamız:

$$dQ = dE + dA = TdS \quad (3.2.3)$$

Bunda, dS – entropiyanıń ózgeriwi. Bunnan tómendegini tabamız:

$$dA = -dE + TdS$$

Eger process izotermiyalıq bolsa ($T = \text{const}$), onda

$$dA = -d(E - TS) = -dF$$

Funkciyanıń halı

$$F = E - TS \quad (3.2.4)$$

erkin energiya dep ataladı. Bul ańlatpadan izotermikalıq processte erkin energiya, adiabatalıq processtege ishki energiyanıń rolin atqaratıǵını kórinedi.

Solay etip, energiyadan basqa úsh funkciya halın kórsettik:

$$1) \text{ entropiya } \Delta S = \frac{dQ}{T}$$

Adiabatalıq procesti ańlatadı;

2) entalpiya $H = E + PV$ izobaralıq proceste ($dH = dQ$) júzege keletuǵın jıllılıq muǵdarınıń ósgeriwine teń;

3) erkin energiya $F = E - TS$ energiyanı xarakterlewshi qaytımlı izotermiyalıq proceste jumıstın orınlanbawınan júzege keledi.

Belgili ayırım kombinacijalardaǵı jana hal funkciyaların kirgiziw sistemanı táriyiplewshi ulıwma sandaǵı ózgeriwshilerdi derlik ózgertpeydi.

§ 3.3. Maksvell bólistriliwi

Ideal gaz molekularınıń tártipsiz qozǵalıǵı sebepli onıń bóleksheleri ıdístıń kólemın boylap bir qalıpte bólistiriledi hám hár bir kólem birliginde ortasha derlik birdey sandaǵı bóleksheler boladı. Sonday-aq, sırtqı kúshler tásir etpegende teńsalmaqlılıq halında gazdıń basımı hám temperaturası pútkil kólemi boyınsha birdey boladı. Eger sırtqı kúshler tásir etse, onda ıdistaǵı gaz molekularınıń tábiyatı ózgeredi.

Gazlardıń kinetikalıq teoriyasına muwapıq gaz molekuları toqtawsız tártipsiz (xaotik) jıllılıq háreketinde bolıp óz-ara soqlıǵısıp turadı. Kóplegen soqlıǵısıwlardan keyin teńsalmaqlılıq halı júzege keledi. Biraq makroskopiyalıq teńsalmaqlılıq halında da mikroskopiyalıq processler, yaǵnıy gaz molekularınıń soqlıǵısıwları dawam ete beredi. Bunday soqlıǵısıwlar sebebinen olardıń tezlikleri ózgerip turadı. Biraq olardıń tezlikleriniń ózgeriwi belgili bir tezlik intervalında júzege keledi hám ulıwmalıq nızamlarǵa tiykarlanadı.

Gaz molekularınıń qozǵalıǵı tezlikleriniń bul nızamları inglis fizigi D.Maksvell tárepinen ashılǵanlıǵı ushın onıń atı menen Maksvell bólistiriliwi dep júrgiziledi. Maksvell bólistiriliwin qarap ótemiz.

Belgili bir V kólemdegi ıdista N sandaǵı molekular bolsa, kólem birligindegi molekular sanı $n = \frac{N}{V}$ ǵa teń boladı. Mine usı n molekular sanına dn bólegi $v, v + dv$ tezlikler intevalında háreket etse, onda payda bolǵan $f(v) = \frac{dn}{ndv}$ funkciyaǵa molekularınıń tezlikleri $v, v + dv$ tezlikler intervalında jatıwshı gaz molekularınıń tezlikleri boyınsha bólistiriliw funkciyası delinedi.

Bul teńlemelerden bólstiriw funkciyası $f(v)$ kólem birligindegi n sandaǵı molekulardıń qansha bólegi $(dn)v, v + dv$ tezlik intrvalında háreketleniw itimallıǵı menen anıqlanadı. Bul funkciyanın normallastırıw shárti tómendegishe ańlatıladı:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(v_x) dx = c \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{\alpha v_x^2}{2}} dv_x = 1 \quad (3.3.1)$$

Yaǵnıy pútkil tezlikler intervalında háreket etip atırǵan molekulardıń qosındısı kólem birligindegi molekular sanın beredi.

(3.3.1) formulanı x, y, z koordianatalr sistemasında qaraytuğın bolsaq, bólistiriliw finkciyası tómendegige teń bolatuğınına isenim payda etiw múmkin:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(v_x) dv_x = c \int_{-\infty}^{\infty} e^{\frac{\alpha v_x^2}{2}} dv_x = 1 \quad (3.3.2)$$

ge teń bolatuğınına isenim payda etemiz.

Bunda $\int_{-\infty}^{\infty} e^{\frac{\alpha v_x^2}{2}} dv_x$ integralınıń mánisin keste integralı sıpatında esaplaw múmkin.

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{\frac{\alpha v_x^2}{2}} dv_x = \sqrt{\frac{2\pi}{\alpha}} \quad (3.3.3)$$

Bul jağdayda c turaqlı, $c = \sqrt{\frac{\alpha}{2\pi}}$ ge teń boladı. Bólistiriw finkciyasın x, y, z kósherlerine qarata proekciyaları ushın tómendegi ańlatpanı alamız:

$$\begin{aligned} f(v_x) &= \sqrt{\frac{\alpha}{2\pi}} e^{\frac{\alpha v_x^2}{2}} \\ f(v_y) &= \sqrt{\frac{\alpha}{2\pi}} e^{\frac{\alpha v_y^2}{2}} \\ f(v_z) &= \sqrt{\frac{\alpha}{2\pi}} e^{\frac{\alpha v_z^2}{2}} \end{aligned} \quad (3.3.4)$$

bul formulalarğa ózgertiwler kiritip tómendegilerge iye bolamız:

$$\frac{dn}{n} = \left(\frac{\alpha}{\pi}\right)^{\frac{3}{2}} e^{\frac{\alpha}{2}(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)} dv_x dv_y dv_z \quad (3.3.5)$$

Yamasa

$$\frac{dn}{n} = \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} e^{\frac{m}{2kT}(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)} dv_x dv_y dv_z \quad (3.3.6)$$

Eger gaz molekulaları sferalıq qatlamğa toplanadı hám málim waqıttan keyin tarqaladı dep alsaq: $4\pi r^2 dr = 4\pi (v_i)^2 d(v_i)$ payda boladı. Bul jerde gaz molekulaların sferalıq qatlamğa toplanǵanlıǵın esapqa alıp sferalıq qatlamdı kólemi $4\pi r^2 dr$ ǵa teń $dv_x dv_y dv_z = 4\pi v^2 dv$ dep alındı. Kólemdegi gaz molekulaları ushın (3.3.6) formulanı tomendegishe jazıw múmkin:

$$\frac{dn}{n} = \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{m}{2kT}} 4\pi g^2 dg = 4\sqrt{\pi} \left(\frac{m}{2kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{m g^2}{2kT}} g^2 dg \quad (3.3.7)$$

Bul formulağa Maksvell bólistiriliwi delinedi.

Maksvell bólistiriliwi funkciya kórinisinde tómendegishe ańlatıladı:

$$f(g) = 4\sqrt{\pi} \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{m g^2}{2kT}} g^2 \quad (3.3.8)$$

Gazlar ushın Maksvell bólistiriliwi funkciyasınıń mánislerin keltirip shıǵarǵanda, gaz salınǵan ıdıstıń barlıq noqatlarında temperatura birdey, yaǵnıy gaz teńsalmaqlılıq halında dep esaplanadı. Eger gaz sırtqı bazı bir potencial maydan tásirinde bolsa, bul maydannın tásirinde gaz molekulaları qosımsha potencial energiyaǵa iye boladı hám bunday gazdıń tolıq energiyası kinetikalıq hám potencial energiyalardıń qosındısınan ibarat boladı. Sırtqı potencial maydan gaz molekulaların ń tezlikleri bólistiriliwine tásir etpesten, tek ǵana gaz molekulaların ń koncentraciyalıq bólistiriliwine tásir kórsetedi.

§ 3.4. Klapeyron-Klauzius teńlemesi. Toyınǵan suw puwı basımınıń temperaturaǵa baylanısı

Puwlanıw suyıqlıqlarda da gazlardaǵıday temperaturaǵa baylanıslı molekulaların ń úlken yamasa kishi shamadaǵı energiyalarǵa iye bolıwı menen túsindiriledi. Suyıqlıqtıń betlik qatlamına belgili temperatura berile baslaǵanda onıń betindegi molekulalarınday qońsı molekulalardıń tartıw kúshin jeńe alatuǵın tez háreket etiwshi molekulalar payda boladı. Suyıqlıq berilgen temperatura qansha joqarı bolsa, tez háreketleniwshi molekulalar sanı sonshelli kóp boladı. Demek, puwlanıw processı de sonshelli tez ámelge asadı.

Puwlanıw waqtında tez háreket etip, suyıqlıqtan ushıp shıǵıp atırǵan molekulalar óziniń energiyaların ń bir bólegin, bul molekulalardı suyıqlıqtıń ishinde uslap turıwshı qońsı molekulalardıń tartıw kúshine qarsı jumıs atqarıw ushın jumsaydı. Bul óz gezeginde suyıqlıqta qalatuǵın molekulalardıń ortasha energiyasınıń kemeyiwine, yaǵnıy suyıqlıqtıń suwınıwına alıp keledi.

Puwlanıp atırǵan suyıqlıqtıń temperaturasın turaqlı saqlap turıw ushın oǵan sırttan jıllılıq berilip turılıwı kerek. Bul jıllılıq puwlanıw jıllılıǵı delinedi. Puwlanıw jıllılıǵınıń shaması suyıqlıqtıń temperaturasın kóteriwge emes, al puwlanıwdı atqaratuǵın jumısqa jumsaladı.

Puwlanıwdıń salıstırmalı jıllılıǵı λ dep, T temperaturadaǵı suyıqlıqtıń birlik massasın sol tempereturadaǵı puwǵa aylandırıw ushın beriletuǵın jıllılıq muǵdarına aytıladı.

Ádette, puwlanıw salıstırmalı jıllılıǵı suyıqlıqtıń bir gramına yaki bir kilogramına qarata belgilenedi. Puwlanıw jıllılıǵı suyıqlıqtıń temperaturasına baylanıslı boladı. Eger temperatura T_k ǵa umtılsa, puwlanıw jıllılıǵı nolge umtıladı.

Eger puwlanıp atırǵan suyıqlıqqa sırttan jıllılıq berilip turılmasa, ol suwınadı. Temperaturanı páseńletiw usılı mine usı faktke tiyakarlangan jıllılıq ótkizbeytuǵın diywalı bar ıdistaǵı suyıqlıqtı tez puwlanıwǵa májbúr etip, onıń biraz suwınıwı múmkin. Puw kondensaciyalanıw suyıqlıqqa aylanıp atırǵan da onıń molekulaları óz-ara tartıladı. Nátiyjede olardıń tezligi, yaǵnıy kinetikalıq energiyası artadı. Bul óz gezeginde payda bolıp atırǵan suyıqlıqtı jılıtadı. Puwlanıwda sarplangán jıllılıq puw kondensaciyalanganda qayıtıp beriledi.

Suyıqlıqtıń toyınǵan puwınıń serpimliligi sırtqı basımǵa teń bolatuǵın temperaturaǵa shekem qızdırsaq, tek beti ǵana puwlanıwdan basqa onıń ishindegi puw kóbiksheleri payda bolıp, pútkil kólemde puwlanıw baslanadı. Kólem boyınsha bunday júzege kelgen puwlanıw qaynaw dep ataladı. Demek, qaynaw tempereturası suyıqlıqtıń qanday sırtqı basımǵa iye ekenligine baylanıslı bolıp tabıladı. Atmosfıra basımındaǵı (760 mm Hg) suw 100°C da qaynaydı: Sonday-aq, joqarıraq basımda tómenirek temperaturada hám tómenirek basımda joqarıraq temperaturada qaynaydı.

Suyıqlıq qaynaǵanda payda bolatuǵın puw kóbiksheleri dáslep suyıqlıq ishinde, sońınan ıdıs diywallarında da hawa kóbiksheleri payda boladı. Hawa kóbiksheleri qaynaw baslanatuǵın orayda payda boladı. Hawası bolmaǵan suyıqlıqtı asa qızdırıw, yaǵnıy qaynaǵan halda qaynaw temperaturasınan joqarı temperaturaǵa shekem qızdırıw múmkin. Eger usınday asa qızdırılǵan suyıqlıq betine hawa jabısqan qanday da bir qattı bókesheler kirgizilse, suyıqlıq qaynap, onıń temperaturası

qaynaw temperaturasına shekem páseńleydi. Asa qızdırılǵan suyıqlıqtıń qaynawı tezlik penen júzege kelgenligi sebepli bul qubılıstıń aldın alıwǵa umtıladı. Bunıń ushın , máselen, suw qızdırılatuǵın ıdıs ishinen kappiliyar tútikshe túsirilgen boladı (kapilliyat tútikshe ishinde hawa kóbiksheleri jaqsı saqlanadı).

Puwlanıw jıllılıǵı λ - molekulalar suyıqlıqtıń betki qatlamınan ótip atırǵanda atqaratuǵın A jumısqa hám zat suyıq haldan gaz tárizli halına ótip atırǵanda onın V_0 salıstırmalı kólemınıń atrıwı menen baylanıslı bolǵan A' jumısına jumısaladı:

$$\lambda = A + A' \quad (3.4.1)$$

Bul molekulanıń suyıqlıqtan shıǵıwında atqarılǵan jumıs $\Delta A = \bar{f} \cdot r$ teńlemesi menen anıqlanadı. Bunda $\bar{f}$ - molekulǵa tásir etiwshi ortasha kúsh. r – molekulanıń tásir radiusınıń uzınlıǵı.

Suyıqlıqtıń birlik massadaǵı barlıq molekulalarınıń atqaratuǵın jumısı

$$A = n \cdot \Delta A = n \cdot \bar{f} \cdot r,$$

bunda n – birlik massadaǵı molekulalar sanı. A' jumısı bolsa tómendegishe anıqlanadı:

$$A' = P(V_0' - V_0)$$

Bunda V_0' – puwdıń menshikli kólemi, V_0 – suyıqlıqtıń menshikli kólemi hám P – puwlanıw júzege kelgen payttaǵı basım. A hám A' – mánislerin(3.4.1) teńlemege qoysaq, tómendegi ańlatpaǵa iye bolamız:

$$\lambda = n \cdot \bar{f} \cdot r + P(V_0' - V_0) \quad (3.4.2)$$

$\bar{f}$ hám r belgili bolǵanlıǵı ushın puwlanıw jıllılıǵınıń mánisin esaplaw imkanı bolmaydı. Biraq onıń bet kerimin tásir etiwshi molekulalardıń óz-ara tásir kúshi $\bar{f}$ shamasına baylanıslı ekenligin kórsetedi. Temperaturanıń kóteriliwi menen $\bar{f}$ kúsh te, puw hám sıyıqlıqtıń V_0' hám V_0 menshikli kólemleri ayırması kemeygenlikten λ mánisi de kemeyedi. Temperaturanıń mánisi T_k ǵa jaqınlasqanda molekulalardıń tartısıw kúshi f' nolge umtıladı. Sonıń menen birge puw hám sıyıqlıqtıń V_0' hám V_0 menshikli kólemleri arasındǵı ayırma da joǵaladı. (3.4.2) ge tiykarlanıp $T - T_k$ bolǵanda puwlanıw jıllılıǵı $\lambda \rightarrow 0$.

Termodinamikanıń ekinshi bas nızamınan paydalanıp, toyınǵan puwdıń serpimliligi, temperaturası, puwlanıw jıllılıǵı hám suyıq haldan gaz tárizli halǵa ótiwindegi salıstırmalı kóleminiń ósgerisi arasındadıǵı baylanıs bar ekenligin kórsetiw múmkin. Bunıń ushın cilindrdegi porshen astında suyıqlıq hám suyıqlıqtıń ústinde toyınǵan suyıqlıqtıń puwı bar dep bilip, usı aralaspa menen Karno ciklin ámelge asırayıq. Dáslepki temperatura T hám toyınǵan puwdıń sol temperaturadaǵı serpimliligi P bolsın. Dáslep aralaspanı izotermikalıq tárizde keńeytemiz. Bul jaǵdayda suyıqlıqtıń bazı bir m massası usı P basımǵa iye toyınǵan puw halına ótedi. Demek, bul keńeyiw izobaralıq boladı. Grafikte (15-súwret) ol AB izobaralıq bolıwı ushın aralaspaǵa puwlanıw jıllılıǵın beriw kerek boladı:

$$Q_1 = m\lambda \quad (3.4.3)$$

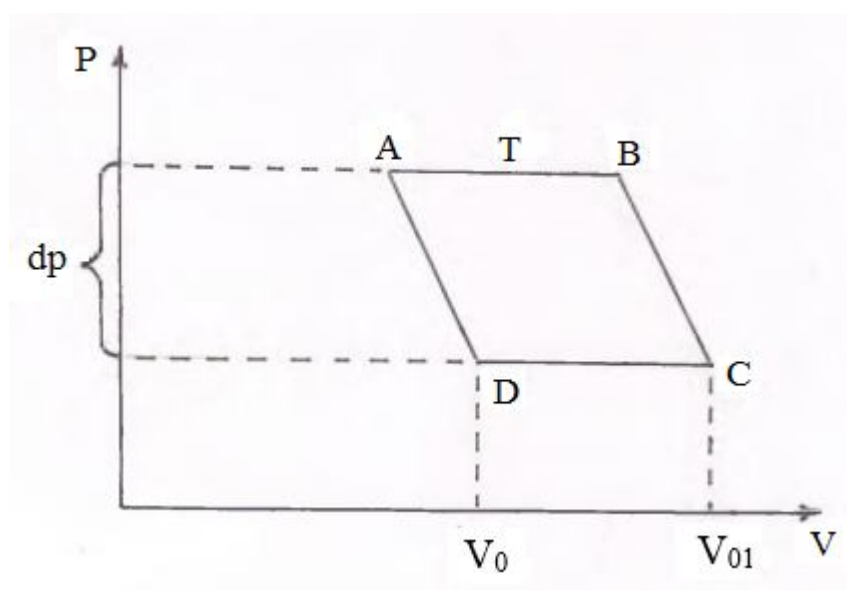
Kólemniń ΔV ózgeriwi boladı:

$$\Delta V = m(V_0' - V_0)$$

bunda, V_0' - puwlanıwdın salıstırmalı kólemi; V_0 – suyıqlıqtıń salıstırmalı kólemine usı izobaralıq keńeyiwde atqarılǵan jumıs:

$$A_1 = P \cdot \Delta V = Pm(V_0' - V_0) \quad (3.4.4)$$

Eger kólemdi adiabatılıq ráwishte sheksiz kishi shamaǵa arttırsaq (BC tárepi), bunda temperatura dT shekem páseńleydi.



15-súwret. Suyıqlıq penen onıń toyınǵan puwı aralaspaı
ústinde ótkerilgen Karno cikli

Toyınğan puwdıń serpimliliği bolsa dP ǵa shekem kemeyedi. Sońınan aralaspanı jáne de izobaralıq ráwishte aralaspanı ΔV ǵa shekem qısamız. Bul qısılıw processı CD tuwrı sıızıq penen súwretlengen. Ol $P - dP$ basım hám $T - dT$ temperatura júzege keledi hám process waqtında tómendegi jumıs atqarıladı:

$$A_2 = - (P - dP) \Delta V = - (P - dP)m (V_0' - V_0) \quad (3.4.5)$$

Aqırında DA adibatalıq qısıwdı orınlap cikldı tamamlaymız. Cıkl nátiyjesinde qızdıǵısthan Q_1 jıllılıq muǵdarı alındı hám qanday da bir A jumıs orındandı. BC hám AD adiabatalarında atqarılǵan shekisz kishi jumıslardı itibarǵa almasaq, $A = A_1 + A_2$ dep esaplaw múmkin. Qaytımlı Karno cikliniń paydalı jumıs koefficienti $\eta' = \frac{A}{Q_1}$,

tiykarınan jumıs denesiniń tábiyatına baylanıslı emes hám $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$ ge teń boladı, bunda

T_1 – qızdıǵıstıń temperaturası (biziń jaǵdayda T), T_2 – suwıtqısh temperaturası (biziń jaǵdayımızda $T - dT$). Demek

$$\eta' = \frac{A_2 - A_2}{Q_1} = \frac{T - (T - dT)}{T} = \frac{dT}{T},$$

bunda, $Q_1 A_1$ hám A_2 lerdiń ornına (3.4.3), (3.4.4) hám (3.4.5) tegi mánislerin qoysaq, tómendegi ańlatpaǵa iye bolamız

$$\frac{m(V_0' - V_0)dp}{m\lambda} = \frac{dT}{T} \quad \text{yamasa} \quad \frac{dP}{dT} = \frac{1}{T} \frac{\lambda}{(V_0' - V_0)} \quad (3.4.6)$$

Bul Klapeyron-Klauzius formulası dep atalıp, ol toyınğan puw serpimliliǵiniń temperaturaǵa baylanısın xarakterlewshi dP/dT shama menen puwlanıw jıllılıǵın salıstırmalı kólemiini ózgeriwi ($V_0' - V$) hám temperatura T nı baylanıstıradı. Bul formulaniń kórinisi suyıqlıqtıń tábiyatına baylanıslı emes.

Tayanış túsinikler:

Termidinamikalıq funkciyalar. Entropiya, entalpiya, erkin energiya. Maksvell bólistriliwi. Klapeyron-Klauzius teńlemesi. Toyınğan suw puwı basımınıń temperaturaǵa baylanısı.

Temağa baylanış sorawlar

- 1. Sistemaniñ ishki energiyasın sıpatlap berin.*
- 2. Jumıstı processtıñ finkciyası sıpartında túsindirin.*
- 3. Jıllılıq muğdarın procestıñ finkciyası sıpatında túsindirin.*
- 4. Entropiya, entalpiya hám erkin energiya haqqında qanday túsiniğe iye boldıñız.*
- 5. Maksvell bólistriliwin túsindirip berin.*
- 6. Klapeyron-Klauzius formulasın keltirip shıgarın.*
- 7. Toyınğan suw puwı basımınıñ temperaturağa baylanıslılığın túsindirin.*

IV BAP. STATISTIKALIQ USIL

§ 4.1 Itimallıqlar teoriyasınıń elementleri. Ortasha shamalardı anıqlaw.

Fluktuaciya hám dispersiya. Bólistiriw funkciyası

Kóp sanlı bóleksheler sistemasınıń qásiyetlerin úyrengenimizde dinamika nızamların (klassikalıq mexanika) qollanıwǵa bolmaydı. Máselen, bir ıdıs alıp, onda kólem boyınsha ideal gaz bar desek, beligili bir mólekula qaysı payıtta ıdıs kóleminiń qaysı bóliminde bolatuǵınlıǵın aytıw qıyın. Sebebi bul molekula ıdıs kóleminiń usı bóliminde usı waqıtta bolıwı da, bolmawı da múmkin. Sonıń ushın bunday processlerdi úyreniwde tósınnan hádiyseler nızamlarınan paydalanıladı. Tosınnan qubılıslar nızamları itimallıqlar teoriyasına boysınadı. Bul teoriya boyınsha bazı bir tosınnan qubılıs júzege keliwi de, kelmewi de múmkin. Usı waqıyanın júzege keliw dárejesi itimallıq jiyiligi menen anıqlanadı.

Máselen, bazı bir qutıda tórt túrli reńdegi birdey tórt shar bolsın. Eger usı qutıdaǵı shardı qaramastan alatuǵın bolsaq, hár bir reńdegi shardı shıǵarıp alıw itimallıǵı tájiriybeler sanınıń artıwı menen teńlese baradı hám 4 ke umtıladı. Itimallıq táripin beriwde bazı bir waqıyanıń júzege keliwin yamasa kelmewin baqlaw menen juwap beriw múmkin. Waqıyańıń itimallıǵı waqıya ámelge asatuǵın tájiriybeler sanın tájiriybelerdiń ulıwma sanına qatnasi tájiriybelerdiń sanı sheksiz artıp bargandaǵı limitine aytıladı. Eger baqlawlar sanı N bolsa, usınday baqlawlarda N_a márte ($N \gg N_a$) usı waqıya júzege kelse, onda usı waqıyanıń júzege keliwiniń itimallıǵın a dep tómendegi shamaǵa aytıladı:

$$\xi(a) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N_a}{N} \quad (4.1.1)$$

Usı waqıya bir waqıttıń ózinde bir orında emes, bir neshe orında ámelge assa, bunday sistemaǵa sistemalar ansambli delinedi.

1. Eger waqıyalar waqıttıń ótiwi menen ózgermeytuǵın shama menen xarakterlense, olardıń júz beriwi itimallıǵın (4.1.1) formula menen anıqlap bolmaydı. Usınday jaǵdayda berilgen waqıyanıń júz beriwi itimallıǵınıń tıǵızlıǵı túsiniǵi kirgiziledi. Itimallıq tıǵızlıǵı dep, berilgen waqıyańıń ΔV kólemdegi júzege keliwi yaki júzege kelmewi itimallıǵına aytıladı, yaǵnıy tómendegi alınadı:

$$f(\Delta V) = \lim_{\Delta V \rightarrow \infty} \frac{\xi(\Delta V)}{\Delta V} = \lim_{\substack{N \rightarrow \infty \\ \Delta V \rightarrow \infty}} \frac{N_a}{\Delta V \cdot N} \quad (4.1.2)$$

(4.1.2) formulasınan kólem birligindegi itimalıqqa itimallıq tıǵızlıǵı delinedi. Bul kólemde júz beretuǵın itimallıq tıǵızlıǵın normallastırıw shárti delinedi. Ol tómendegini ańlatatuǵını kórinedi:

$$\int f(\Delta V) dx dy dz = \int f(\Delta V) dV \quad (4.1.3)$$

Eger waqıyalar bir-birin biykarlaytuǵın bolsa, máselen, bazı bir molekula V_1 kólemde bolsa, ol usı paytta qońsı V_2 kólemde bola almaslıǵı anıq, bul jaǵdayda molekulanıń $V = V_1 + V_2$ kólemde bolıwı itimallıǵı tómendegi formula menen anıqlanadı:

$$\xi(V_1 + V_2) = \frac{V_1 + V_2}{V} = \frac{V_1}{V} + \frac{V_2}{V} = \xi(V_1) + \xi(V_2) \quad (4.1.4)$$

Bul formuladan óz-ara bir-birin biykarlawshı waqıyalar itimallıǵı usı itimallıqlardıń qosındısına teń bolatuǵını kórindei. Eger bazı bir tosınnan shama z waqıttıń ótiwi menen $z_1, z_2, \dots, z_n$ mánislerdi qabıl etse, onıń ortasha mánisi tómendegishe anıqlanadı:

$$Z = \frac{Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i}{N} \quad (4.1.5)$$

2. Eger ózgeriwshi shamalar mánisi waqıttıń ótiwi menen úzliksiz ózgermeli bolsa, onıń ortasha mánisi waqıtqa baylanışlı boladı. Bazı bir t_1 hzám t_2 waqıt aralığında ózgermeli z shamanıń ortasha mánisi tómendegishe tabıladı:

$$z = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} z(t) dt \quad (4.1.6)$$

Ulıwma jaǵdayda úzliksiz ráwishte ózgermeli shama ushın ortasha mánis tómendegishe tabıladı:

$$z = \int_{-\infty}^{\infty} z f(z) dz \quad (4.1.7)$$

Bunda $f(z)$ ózgermeli f shamanıń itimallıq tıǵızlıǵı bolıp tabıladı.

Ózgermeli shamanın ortasha shamadan shetlewi dispersiya menen xarakterlenedi. Dispersiya ortasha shamadan shetlewiniń kvadratinıń ortasha mánisi menen anıqlanadı:

$$\sigma^2 = (z - \bar{z})^2 = \bar{z}^2 - 2z\bar{z} - (\bar{z})^2 = \bar{z}^2 - (\bar{z})^2 \quad (4.1.8)$$

waqıt birligi ushinde diskret ózgeretuǵın tosınnan hádiyseler ushın dispersiya tómendegi formula menen anıqlanadı:

$$\bar{\sigma}^2 = \sum \dots \xi(z) \quad (4.1.9)$$

Waqıt birligi ishinde ózgeretuǵın tosınnan hádiyseler ushın tómendegi aralıq anıqlanadı:

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} \dots f(z) dz \quad (4.1.10)$$

Statistikalıq fizikadaǵı eń áhmiyetli shamalardan biri itimallıqlardıń bólistiriliw funkcyaları bolıp tabıladı. Bul funkciya júdá ózgermeli tosınanlı shamalar berilgen z_0 den kishi mánislerdi qabıl etiw itimallıǵın kórsetiwshi funkciya bolıp tabıladı

$$\xi(z < z_0) = F(z_0) = \dots \xi_j \quad (4.1.11)$$

Bul funkciyaǵa itimallıqlardıń bólistiriw finkciyası delinedi hám úzliksiz ózgermeli shama ushın itimallıq tıǵızlıǵı arqalı tómendegishe ańlatıladı:

$$F(z) = \int_{-\infty}^{\infty} f(z) dz \quad (4.1.12)$$

Berilgen waqıt birligi ishinde ózgermeli shamanın ortasha mánisin itimallıqtıń bólistiriliw funkciyası arqalı tómendegishe ańlatıw múmkin:

$$\bar{z} = \int_{-\infty}^{\infty} f(z) dF(z) \quad (4.1.13)$$

Kóp sandaǵı bóleksheler sistemasınıń qásiyetlerin statistikalıq usıl arqalı bayan etiwde kóbinese statistikalıq bólistiriwler túsiginen paydalanıladı. Máselen, gaz molekulalarınń tezliginiń bólistiriw funkciyası hám basqalar.

Gauss dekart koordinatalar sistemasında sekirmeli háreket etiwshi materiallıq noqattıń kóp sekirmeli ózgeriwinen keyin onıń koordinataların anıqlaw itimallıǵın esaplap, bul itimallıq tıǵızlıǵı $F(z)$, z koordinata sistemasında tómendegi formula menen anıqlanatuǵınıń kórsetti:

$$\varphi(z^2) = Ae^{-az^2} \quad (4.1.14)$$

Eger berilgen sharayatta waqıya álbette júz beretuǵın bolsa, bul waqıya isenimli waqıya ekenligin kórsetedi. Bunda A hám a integrallaw turaqlıları. Bunday itimallıq tıǵızlıǵı bólistiriliwi Gauss bólistiriliwi delinedi. Bul bólistiriw funkciyası arqalı júdá kóp ǵana ózgermeli shamalardıń ózgeriw nızamlılıqları túsindiriledi. Sonıń ushın da úlken áhmiyetke iye. Demek, juwmaqlap aytatuǵın bolsaq, Gauss bólistiriliwi funkciyası sistemasınıń dispersiyasına baylanıslı boladı eken. Dispersiyanıń mánisi qanshelli kishi bolsa, onıń grafikte ańlatılǵan mánisi sonshelli tik boladı hám dispersiya mánisiniń artıwı bul bólistiriw funkciyası sonshelli iymekligi iyilip bara beredi.

Itimallıqlar teoriiyası dep, ámelge asıwı múmkinbe yaki joqpa dep soraw qoyıw múmkin bolǵan hár qanday qubılıslar, waqıyalar yaki hallarǵa aytıladı. Ol yaki bul waqıya júz beriwine sebep bolǵan tájiriye yaki shárt-sharayatlar jıynaǵı itimallıqlar teoriiyasında sınaw dep ataladı. Eger berilgen sharayatta waqıya álbette júz beretuǵın bolsa, bul waqıya isenimli waqıya dep ataladı. Eger ol ámelge aspaytuǵın bolsa, múmkin bolmaǵan waqıya dep júritiledi. Máselen biz qaǵazda úshmúyeshlik sızdıq. Bunda onıń hár bir tárepi qalǵan eki tárepiniń jıyındısınan kishi bolmaǵan úshmúyeshlik hasıl bolıwınan ibarat bolǵan waqıya, isenimli waqıya bolıp esaplanadı. Táreplerdiń biri qalǵan eki tárepiniń jıyındısınan úlken(uzın) bolǵan úshmúyeshliktiń payda bolıwı da, bunday bolıwı múmkin bolmasada, waqıya bolıp esaplanadı. Sınaw nátiyjesinde júz beriwı múmkin bolǵan, sonday-aq, júz beriwı múmkin bolmaǵan waqıya tosınan bolatuǵın waqıya dep ataladı.

§ 4.2. Makroskopiyalıq hám mikroskopiyalıq sistemalar hám olardıń túrleri

Molekulyar fizikada zatlar qanday agregat halında bolıwına qaramasatn kópshilik zatlar bólekshelerdiń kópliginen turadı dep qaraladı. Mine usınday bólekshelerdiń kópligi makroskopiyalıq sistema delinedi. Sistema keńisliktegi belgili bir shegaraǵa iye bolıp, gaz halında bolǵanında, ıdıstıń ishın gaz toltırıp turadı.

Sistema shegaralar arqalı basqa qorshaǵan ortalıq penen jıllılıq almasıwı yamasa almaspawı da múmkin.

Eger sistema menen qorshaǵan ortalıq energiyanıń hesh qanday túri menen almasıw bolmasa, bunday sistema jekkelengen sistema dep ataladı. Sistema tek óziniń shegarası menen emes, al ondaǵı bólekshelerdiń qásiyetleri menen de xarakterlenedi. Eń ápiwayı sistemalardan biri ideal gaz bolıp esaplanadı. Waqıttıń ótiwi menen sistemada teńsalmaqlılıq júzege keledi, yaǵnıy sistemanıń barlıq noqatında basım hám temperatura birdey boladı.

Sistemanı qurawshı bóleksheler bir tutas halda dep úyreniletuǵın process ushın bul sistemanı makroskopiyalıq sistema delinedi.

Eger sistema onı qurawshı bólekshelerdiń halı menen xarakterlep úyrenilse, bunday process ushın bul sistema mikroskopiyalıq sistema delinedi.

Sistemanıń halı onıń basımı hám temperaturası arqalı xarakterlenedi. Bunday parametrler sistemanıń makroskopiyalıq parametrleri delinedi. Makroskopiyalıq sistema óz gezeginde júdá kóp sandaǵı bóleksheler kópliginen ibarat. Bul sistemadaǵı bóleksheler sanı p ǵa teń bolsın, p bólekshelerdiń halı hám tezlikleri arqalı, yaǵnıy mikroskopiyalıq sistemalardan makroskopiyalıq sistema quraladı. Hár bir bóleksheniń halı onıń x, y, z kósherlerinde hám tezlikleriniń usı kósherlerdegi proekciyaları menen anıqlanatuǵınlıǵı sebepli hár bir mikroskopiyalıq sistema halı $6p$ sanı menen anıqlanadı. Eger makroskopiyalıq parametrler berilgen sistema ushın waqıt ótiwi menen ózgermese, bunday sistema teńsalmaqlılıq halda dep ataladı. Jekkelengen sistemalar da teńsalmaqlılıq hallarında bolıwı múmkin. Biraq teńsalmaqlılıq halında bola almaydı.

Mısalı qanday da bir ıdısqa gaz salınǵan bolsın, ıdistiń hár túrli bólimleri hár qıylı temperaturada bolsın hám sırtqı ortalıq penen qatnasta bolsa, gazdıń temperaturası waqıt ótiwi menen ózgermeydi. Biraq bul teńsalmaqlılıq halı emes.

Qálegen kóp sandaǵı bóleksheler sistemasınıń óz-ara teń kólemdegi P sandaǵı kishkene sistemalardan ibarat dep qaraw múmkin. Mine usınday birdey kólemdegi bóleksheler sistemasına statistikalıq ansambl delinedi. Degen menen qálegen

makroskopiyaq sistema bir neshe mikroskopiyaq sistemalar ansamblinen ibarat boladı. Makroskopiyaq sistemaniń halınıń ózgeriwi teńdey itimallıqqa iye.

Tap sonday-aq, olarda waqıt ótiwi menen júzege keletuǵın ózgerisler itimallıqları da teń. Bunday bólistiriw molekulyar fizikada Binamol bólistiriw dep ataladı.

Solay etip mikroskopiyaq sistemalar awhalıniń waqıt boyınsha da ansambl boyınsha da ózgeriwi teńsalmaqlılıqqa iye eken. Bul gipotezanı birinshi bolıp tastıyqlaǵan alımlar 1871-jılı Bolsman hám Puasson tárepinen anıqlanǵanlıǵı ushın Bolsman-Puasson bólistiriliwi delinedi. Tájiriybelerdiń kórsetiwinshe, termodinamikaq teńsamaqlılıq halında kólemi V , basımı P hám temperaturası T tek ideal gaz ushın ǵana emes, al real gazlar ushın da , sonday-aq, qálegen fizikaq jaqtan bir tekli bolǵan hám izotrop deneler ushın da funkciyaq baylanısta boladı eken. Bul funkcionál baylanıstı

$$f(P, V, T) = 0 \quad (4.2.1)$$

teńleme menen kórsetiw múmkin. $f(P, V, T)$ funkciyanıń kórinisi hár túrli deneler ushın hár túrli boladı. (4.2.1) teńleme deneniń, yaǵnıy sistemaniń makroskopiyaq hal teńlemesi delinedi. Bul hal teńlemesi fizikaq bir tekli denelerdiń makroskopiyaq qásiyetleriniń eń xarakterlileriniń qatarına kiredi. Makroskopiyaq hal teńlemesi bolǵanlıǵı ushın (P, V, T) shamalarınıń termodinamikaq teńsalmaqlılıq ózgerisleri gárezsiz emes, al belgili bir mikroskopiyaq qatnas penen baylanıslı. Eger hal ózgerisi sheksiz kishi bolsa, onda $f(P, V, T)$ funkciyanıń anıq kórinisin bilmey turıp ta bul qatnastı anıqlaw múmkin. (4.2.1) teńlemeiń ózgeriwshileriniń birine, máselen V ǵa qarata sheshemiz, yaǵnıy V kólemniń qalǵan eki ózgeriwshisi P hám T niń funkciyası sıparında kórsetemiz:

$$V = V(P, T) .$$

Eger temperaturanı turaqlı etip alıp, basımdı sheksiz kishi dP shamaǵa ózgetsek, onda V kólem de tómendegi ańlatpa menen anıqlanatuǵın shekisiz kishi ósimge iye boladı:

$$dV = \left(\frac{dV}{dT} \right)_P dT \quad (4.2.1)$$

$(\frac{dV}{T})_T$ kólemdegi T belgisi V kólemde P boyınsha differenciýallağanda T temperatura ózgermey qalatuğının ańlatadı. Eki yaki bir neshe argumentli qanday da bir finkciyanı bul argumentlerden biri boyınsha qalğan barlıq argumentler turaqlı qaladı dep oylap, differenciýalağanda alınatuğın tuwındılar matematikada dara tuwındılar dep ataladı. Demek, $(\frac{dV}{T})_T$ shama kólemniń basım boyınsha temreratura turaqlı bolğanda alınğan dara tuwındı – qubılıs bolıp esaplanadı.

Sonday-aq, P basım turaqlı bolıp, temperatura T sheksiz kishi dT ға artadı deyik. Bul jağdayda V kólemniń ósimi tómendegi teńleme menen kórsetiledi.

$$dV_2 = (\frac{dV}{dT})_T dT \quad (4.2.2)$$

Eger P basım hám T temperatura da ózgeretuğın bolsa, onda kólemniń artıwı joqarı tártipli sheksiz kishi sanlarğa shekemgi anıqlıqta $dV = dV_1 + dV_2$ qosındı menen yaki tómendegi shama menen anıqlanadı:

$$dV = (\frac{dV}{dP})_T dP + (\frac{dV}{dT})_T dT \quad (4.2.3)$$

Bul bolsa joqarıda keltirilgen sistemańın makroskopiyalıq halınıń sheshimin tabıwға imkaniyat beredi.

Sonıń ushın dP hám dT ósimlerdi ózgeriwshiler dep qaraw múmkin. Biraq P hám T nıń ózgerislerine qanday da bir sheklewler qoyılğanda (4.2.3) formula óz kúshinde qaladı. Aytayıq, sistema usınday processte dawam etpekte dep esaplasaq, bul processte P basım T temperaturańın arnawlı funkciyası bolsın. Bul jağdayda dP hám dT shamaları gárezsiz bolmay qaladı. Máselen, turaqlı kólemdegi process ushın $dV = 0$ bolıp, (4.2.3) formula tómendegishe jazıladı:

$$(\frac{dV}{dP})_T dP + (\frac{dV}{dT})_P dT + 0 \quad (4.2.4)$$

Bul teńleme $(\frac{dP}{dT})_V$ dara tuwındını beredi, sebebi dP hám dT kólem turaqlı bolğanda basım hám temperaturanıń ósimin bildiredi. Demek,

$$\left(\frac{dP}{dT}\right)_V = -\frac{\left(\frac{dV}{dT}\right)_P}{\left(\frac{dV}{dP}\right)_T} \quad (4.2.5)$$

$$\left(\frac{dV}{dP}\right)_T = 1/\left(\frac{dP}{dV}\right)_T \quad (4.2.6)$$

Bul shamalardı tómendegi qatnsta jazıw múmkin:

$$\left(\frac{dP}{dT}\right)_T = -\left(\frac{dP}{dV}\right)_T \left(\frac{dV}{dP}\right)_T \quad (4.2.7)$$

Bunnan tómendegi kelip shıǵadı:

$$\left(\frac{dP}{dV}\right)_T \left(\frac{dV}{dT}\right)_P + \left(\frac{dT}{dP}\right)_V = -1 \quad (4.2.8)$$

Bul formula mikroskopiyaalıq sistemańıń hal parametrleriniń óz-ara baylanısın kórsetedi.

Molekulyar fizikada fizikalıq sistemalar halın súwretlewde klassikalıq mexanika metodların tikkeley qollanıw múmkin bolǵanda edi, deneni qurawshı barlıq molekulalar hám atomlardıń, sonday-aq, elektronlar, atom yadroları hám basqa elementar bólekshelerdiń waqıt aralıǵınıń anıq bir waqtında koordinataları hám tezlikleriniń anıq mánisleri keltiriler edi.

Bunday haldı súwretlewshi processke mikroskopiyaalıq hal delinedi. Biraq klassikalıq mexanika nızamları bul tarawdı túsindiriwde shegaralanǵan. Klassikalıq yaki kvant mexanikası kóz qarasınan mikrohal túsiniǵı tek sol tárepten paydalı, bul túsiniq zattıń makroskopiyaalıq qásiyetleri menen baylanısqa hám usı haldı anıqlawǵa xızmet etedi.

Termodinamikada makroskopiyaalıq sistemlardıń teńsalmaqlılıq haldan bir qansha turpayı, onsha kóp bolmaǵan sandaǵı hár túrli makroskopiyaalıq parametrler járdeminde súwretlenedi.

Bul parametrlerge mäselen, sistemańıń basımı, tıǵızlıǵı, temperaturası, koncentraciyası, kólemi, elektr hám magnit maydanlarınıń kernewliligi hám basqalar

kiredi. Makroskopiyaq parametrler járdeminde súwretlenetuǵın hal makroskopiyaq hal delinedi. Sistemaniń makroskopiyaq halları tiykarınan statistikaq fizikanıń itimallıqlar teoriiyası tiykarında túsindiriledi. Keyinirek XX ásirdeń baslarında nemis fizigi Maks Plank kvant mexanikası sistemasiniń mikroskopiyaq hallarınıń anıq tiykarlangan nızamları járdeminde túsindiredi.

§ 4.3. Gibbs bólistiriliwi. Mikrokanonikaq, kanonikaq hám úlken kanonikaq bólistiriw funkciyalarınń kórinisleri

Endi statistikaq bólistiriw funkciyaların kórip ótemiz. Dáslep jabıq mikrosistemanı kóreyik, bul sistemada $E = \text{const}$ hám $n = \text{const}$ bolsın.

Berilgen n bólekshe ushın energetikaq E_i hallar sanınıń itimallıǵı $\omega(E_i, n)$ E_i diń hár bir mánisi bazı bir topar $G(E_i, n)$ halǵa sáykes keledi.

Berilgen energetikaq haldaǵı barlıq bóleksheler teń dárejeli hám teńdey itimallıqqa iye. Sonlıqtan jabıq sistema usı hallardıń birewinde bola aladı, yaǵnıy berilgen bóleksheler ushın berilgen energetikaq hallar sanına proporcional boladı:

$$\omega(E_i, n) \sim G(E_i, n) \quad (4.3.1)$$

(4.3.1) formula Gibbstiń mikrokanonikaq bólistiriliwi delinedi. Mikrokanonikaq bólistiriw jabıq sistema bazı bir berilgen energetikaq halda bolıw itimallıǵın kórsetedi. Bul klassikaq kóz-qarastan da sáykes keledi. Makrokanonikaq bólistiriw bul statistikaq fizikanıń tiykarǵı principlerinen biri bolıp esaplanadı.

Ámeliyatta kópshilik hallarda jabıq sistema qaraladı (tábiyatta bunday sistema ulıwma bolmaydı) hám A sistema termostatta tur dep esaplanadı. Bul halda bóleksheler menen termostat arasında energiya almasıwı bolıwı múmkin. Usıǵan qaramastan A sistema B termostat penen birge tuyıq sistemanı dúzedi dep esaplayıq. Qozǵalatuǵın bóleksheler sanı turaqlı bolsın.

Onda sistemaniń energiyası

$$E_i + E_B = E \quad (4.3.2)$$

$$n + N_B = N \quad (4.3.3)$$

Bunda E_i hám n ler A sistemaǵa, E_B hám N_B lar B termostatqa tiyisli, al E hám N ler AB sistemaǵa tiyisli. Meyli $\omega(E_i, n)$ hám $\omega(E_B, N_B)$ lar sáykes túrde A ham B sistemalarındaǵı haldın bolıw itimallıǵı bolsın.

Kvazistatistiikalıq kóz-qarastan joqarıdaǵı bólistirwde energiya hám bólekshe bir qansha quramalı itimallıqqa iye $\omega(E_i, n)$ hám $\omega(E_B, N_B)$ hám ekinshi tárepten A sistema menen birge B termostat tuyıq sistemanı payda etedi.

$$\omega(E_i, n) \cdot \omega(E_B, N_B) \sim G(E, N) \quad (4.3.4)$$

B termostattın ólhemi A ssistemaǵa qaraǵanda jetkilikli dárejede úlken bolǵanlıqtan A sistemanın halı ózgergeni menen B termostattın halı ózgermey qaladı. Onda $\omega(E_B, N_B) = \text{const}$, olay bolsa (4.3.4) teńlikti tómendegishe jaza alamız

$$\omega(E_i, n) \sim G(E, N) = G(E - E_i, N - n) G(E_i, n) \quad (4.3.5)$$

Endi $G(E - E_i, N - n)$ funkciyasın A sistema ushın E_i hám n arqalı ańlatamız. Bunın ushın mayda qatarlarǵa jayıp shıǵıp E_i hám n lerdin tek birinshi aǵzasın ǵana qaldıramız

$$G(E - E_i, N - n) = G(E, N) - \frac{\partial G}{\partial E} \Big|_{E_i=0} E_i - \frac{\partial G}{\partial N} \Big|_{n=0} \quad (4.3.6)$$

Bunda $G(E - E_i, N - n)$ funkciyanı mayda qatarlarǵa jayıw múmkishiligi joq. Bul funkciyanın shep tárepın mayda funkciyalarǵa bólip jazıw múmkin, al óń tárepi energiya hám bólekshelerdin sanı anıq shamalar. Sonlıqtan bul funkciyanı tómendegi ózgeriste jazamız:

$$G(E - E_i, N - n) = \exp \sigma(E - E_i, N - n) \quad (4.3.7)$$

Bul jerdegi $\sigma(E - E_i, N - n)$ sol burınǵı argumentleri menen berilgen taza funkciya. Bul kóz qarastan hallar ($G \geq 1$) hámme waqıtta óń mániske iye, eń kem degende 1 ge teń boladı.

Onda joqarıdaǵı funkciyanı tómendegishe jazıw múmkin

$$\sigma(E - E_i, N - n) = \ln G(E - E_i, N - n) \quad (4.3.8)$$

Bul funkciyanı E_i hám n niń kishi mánisleri ushın qatarǵa jayıp birinshi aǵza menen sheklenemiz

$$\sigma(E - E_i, N - n) = G(E, N) - \frac{\partial \sigma}{\partial E} \Big|_{E_i=0} E_i - \frac{\partial \sigma}{\partial N} \Big|_{n=0}$$

(4.3.5) teńlemenin óń hán shep táreplerin anıq mánislerge iye ekenligin kóriwge boladı

$$\frac{\partial \sigma}{\partial E} \Big|_{E_i=0} = \theta \quad (4.3.10)$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial N} \Big|_{n=0} = -\frac{\mu}{\theta} \quad (4.3.11)$$

(4.3.5), (4.3.8) – (4.3.11) teńlemelerdi esapqa alıp tómendegi teńlemenı jazıwǵa boladı

$$\omega(E_i; n) = \text{const} \exp [(\mu - n - E_i)/\theta] G(E_i, n) \quad (4.3.12)$$

(4.3.12) teńlemedegi const astındaǵı shama bul sistemaniń qásiyetine baylanıslı emes, jáne basqa $\exp \sigma(E - N)$ shamalar da usınday.

(4.3.12) formula járdeminde A ashıq sistemaniń qanday da bir E_i energetikalıq halda bóleksheler sanı n ge teń bolǵan $G(E_i, n)$ halda bolıw itimallıǵınıń anıqlaydı.

Egerde A sistemaniń bóleksheler sanı ózgermese tek qorshaǵan ortalıq penen enrgiya almasıw boladı. Onda n ge baylanıslı const astındaǵı shamanı (4.3.12) teńlemege kirgizip jazamız

$$\omega(E_i) = \text{const} \exp (-E_i/\theta) G(E_i) \quad (4.3.13)$$

Bul jerde $\omega(E_i)$ – shama A sistemaniń qanday da bir $G(E_i)$ halda hám E_i energiyaǵa iye ekenligin kórsetetuǵın itimallıq.

Itimallıqlardı anıqlaw shártleri

$$\sum_{i,n} \omega(E_i, n) = 1 \quad (4.3.14)$$

$$\sum_i \omega(E_i) = 1 \quad (4.3.15)$$

Bunda summa bóleksheler sanına hám múmkin bolǵan kvantlıq hallardıń kópligi.

(4.3.12) hám (4.3.13) teńlemelerdegi turaqlı shamalardıń (4.3.12) ni (4.3.14) ke hám (4.3.13) ti (4.3.15) teńlemelerdi aparıp qoyıw arqalı ańsat esaplanadı. Onda ulıwma túrde tómendegi teńlemelerge iye bolamız

$$\omega(E_i, n) = \frac{\exp[\mu n - E_i] / \theta G(E_i, n)}{\sum_{i,n} \exp[\mu n - E_i] / \theta G(E_i, n)} \quad (4.3.17)$$

$$\omega(E_i) = \frac{\exp[-E_i] / \theta G(E_i)}{\sum_i \exp[-E_i] / \theta G(E_i)} \quad (4.3.17)$$

(4.3.17) teńleme Gibbstiń kanonikalıq bólistiriwi dep ataladı. Bul A sistemanıń bóleksheler sanı turaqlı bolǵanda E_i energiyada $G(E_i)$ energetikalıq halda bolıw itimallıǵın kórsetedi.

(4.3.16) teńleme Gibbstiń úlken kanonikalıq bólistiriliwi dep ataladı. A sistemanıń E_i energiya hám sandaǵı bólekshe, qandayda bir $G(E_i, n)$ hallarında bolatuǵınlıǵın kórsetedi

(4.3.16) hám (4.3.17) teńlemelerdegi kórsetilgen bólistiriwler teńsalmaqlılıqtaǵı makrosistemalar ushın sistemanıń fizika, ximiyalıq qásiyetlerin esaplawǵa múmkinshilik beredi. Egerde sistema teńsalmaqlılıqta bolmasa, onda joqarıda ayılǵanlar orınlanbaydı.

Tayanış túsiniqler:

Itimallıqlar teoriiyası. Tosınan waqıyalar. Bólistiriw funkciyası. Ortasha shamalar. Flukuaciya. Dispersiya. Sistemalar ansambli. Sistemanıń makroskopiyalıq halatı. Sistemanıń mikroskopiyalıq halatı. Makroskopiyalıq hám mikroskopiyalıq parametrler. Binamol bólistiriliwi. Puasson bólistiriliwi. Gibbs bólistiriliwi.

Temağa baylanış sorawlar

- 1. Itimallıqlar teoriyasi nızamlıqların túsindirip berin.*
- 2. Tosınan bolatuğın waqıyalar hám qubılıslardı siz qalay túsinesiz.*
- 3. Itimallıqlar teoriyasında itimallıqlar tıgızlıgın túsindirip berin.*
- 3. Statistikalıq fizikadağı itimallıqlar bólistiriw funkciyasın aytıp berin.*
- 5. Gauss bólistiriliwiniń mazmunın túsindirin.*
- 4. Ansambil tusinigin táriyiplep berin.*
- 5. Fluktuaciya hám dispersiya haqqında nelerdi bilesiz?*
- 6. Sistemanıń makroskopiyalıq hám mikroskopiyalıq halatı degende nelerdi túsinesiz?*
- 7. Makroskopiyalıq hám mikroskopiyalıq parametrlerdi táriyipleń.*
- 8. Binomial bólistiriliwin túsindirin.*
- 9. Puasson bólistiriliwin túsindirin.*
- 10. Gibbs bólistiriliwiniń mazmunın túsindirin.*

V BAP. GAZLARDA KÓSHIW PROCESSLERINIŇ ELEMENTAR KINETIKALIQ TEORIYASI

§ 5.1. Diffuziya qubılısı

1. Gaz molekulaları tártipsiz qozǵalıp, óz-ara soqlıǵısadı hám usı gaz jaylasqan keńislikte tarqalıp qozǵalısnı dawam etedi. Keńisliktiń bir bóliminen ekinshisine ornı awıstırǵanda molekulalar ózi menen birge hár qıylı fizikalıq shamalar, mısalı, massanı, impulslerdi, energiyanı alıp ketedi. Eger keńislikte qanday da bir fizikalıq shamanıń tarqalıwı bir qalıpte bolmasa, onda molekulalar tártipsiz qozǵalıwı menen usı shamanıń kóp jerinen az jerine tasıydı. Molekulalardıń bunday shamanı tasıw processı, onıń tarqalıwı berilgen keńislikte bir qalıpte bolǵansha dawam etedi. Bul process hesh qanday sırtqı tásirsiz, tek ǵana molekulalardıń jıllılıq qozǵalısnı baylanıslı bolıp otedi.

Zattıń molekulalarınıń úzliksiz tártipsiz qozǵalısnı tastıyıqlawshı qubılıslardıń biri difuziya qubılısı. Bir-birine shegaralas bolǵan eki zattıń molekulalarınıń tártipsiz qozǵalısnı sebepli óz-ara aralasıp ketiw processı diffuziya dep ataladı. Molekulalar kinetikalıq teoriyasınıń tiykargı qaǵıydaların diffuziya qubılısı tastıyıqlaydı. Diffuziya qubılısı qattı denelerde, suyıqlıqlarda hám gazlarda da baqlanadı. Diffuziya tezligi hár qıylı denelerde hár túrli boladı. Máselen, qattı denelerde júdá áste, gazlarda júdá tez, suyıqlıqlarda gazlarǵa qaraǵanda ásterek boladı. Barlıq ortalıqta da diffuziya tezligi deneniń temperaturasına hám ortalıqtıń túrine baylanıslı ekenligi tájiriyelerde tastıyıqlanǵan. Temperatura qansha joqarı bolsa, diffuziya sonsha tez júzege keledi.

Eger gaz quramı jaǵınan bir tekli bolmasa, yaǵnıy koncentraciya jaǵınan eki yamasa bir neshe komponentlerden quralǵan bolsa, bunda diffuziya processı payda boladı. Gaz aralaspa komponentleri koncentraciyası joqarı bolǵan bóliminen kishi bolǵan bólimine qaray jılıydı. Bul jılıw gaz koncentraciyası bir tegis bolǵansha dawam etedi. Belgili bir waqıttan keyin hár túrli gazlardıń koncentraciyası teńlesedi hám diffuziya sebepli bir tekli bolıp qaladı. Komponentlerdiń óziniń koncentraciyasınıń ózgeriwine alıp keliwshi diffuziya stacionar emes diffuziya delinedi. Kóbinese stacionar bolmaǵan diffuziya menen is alıp barıwǵa tuwrı keledi.

2. Tájiyrbeler bazı bir komponentlerdiń diffuziya aǵımı usı komponentte koncentraciyası gradientiniń keri belgisi menen alınǵan mánisine teń ekenligin kórsetedi (PJK nızamı), yaǵnıy ol tómendegishe ańlatıladı:

$$\text{grad } G = dG/dx \quad (5.1.1)$$

Eger gaz aralaspası bizdi qızıqtırǵan q komponentiniń koncentraciyası x kósheri boylap ózgerse, onda q koncentraciyaniń gradienti tómendegishe ańlatıladı:

$$\text{grad } q = dq/dx \quad (5.1.2)$$

Diffuziyanıń tiykargı nızamı (PJK nızamı) tomendegi formula menen xarakterlenedi:

$$j = D \frac{dq}{dx} \quad (5.1.3)$$

Bunda j – x kósheri baǵıtındaǵı diffuziya aǵımı. Minus belgisi diffuziya aǵımınıń koncentraciyası kemeyiw tárepine qarap baǵıtlanganlıǵın bildiredi. D-diffuziya koefficienti delinedi. D – SI sistemasında m²/s penen ólshenedi. Koncentraciya q – kg/m² penen ólshenedi.

Ádette q – koncentraciya komponenttiń parcial tıǵızlıǵınan ibarat, yaǵnıy q = ρ. Usıǵan tiykarlanıp (5.1.3) formulanı tómendegishe jazıw múmkin:

$$M = -D \frac{dp}{dx} \quad (5.1.4)$$

Bul diffuziyalanıwshı komponent aǵımınıń 1cm³ maydanınan waqıt birliği ishinde ótiwshı massası bolıp tabıladı.

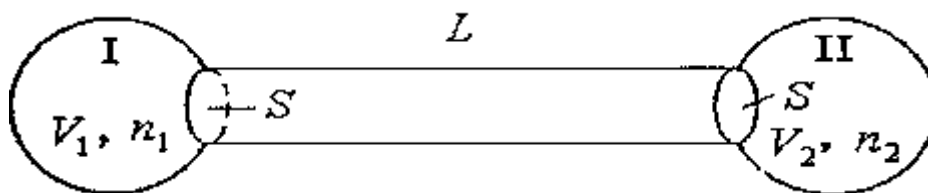
Eger diffuziyalanıwshı komponent aǵımın massa emes, 1 s ta 1cm² maydandan ótiwshı bólekshelerdiń sanı N menen ańlatsaq, onda koncentraciya 1 cm² taǵı molekular sanı menen anıqlanadı:

$$N = -D \frac{dn}{dx} \quad (5.1.5)$$

Diffuziya koefficienti zattıń qásiyetine hám aralaspası qurawshı komponentlerdiń qásiyetine baylanıslı.

3. Meyli kólemleri V₁ hám V₂ bolǵan eki ıdıs berilgen bolsın. Olar arasındadıǵı aralıq L hám kese kesiminiń maydanı S bolǵan tútikshe menen óz-ara tutastırılısın.

Bul ıdılar birdey basım hám birdey temperaturadağı, biraq hár túrli quramdağı gaz aralaspaları menen toltırılğan (16-súwret).



16-súwret. L uzınlıqtağı nayshağa tutastırılğan V_1 hám V_2 kólemlerge iye bolğan ıdılar

Gaz koncentracyaları saykes ráwishte P_1 hám P_2 bolsın, bunda $n_1 > n_2$.

Diffuziya sebepli eki ıdıda gaz aralaspaları koncentracyası teńlesedi, yaǵnıy waqıttıń ótiwi menen koncentracyaları $\Delta n = n_1 - n_2$ ayırmağa kemeyedi. Aǵım tómendegishe ańlatıladı:

$$j = -D \frac{dn}{dx} \quad (5.1.6)$$

Bunda $\frac{dn}{dx} = \frac{\Delta n}{L}$ dep alayıq. Onda (5.1.5) teńleme tómendegi kóriniske ekeldi:

$$N = -D \frac{\Delta n}{L} \quad (5.1.7)$$

Diffuziya procesinde diffuzıyalanıwshı komponenttiń molekulaları I ıdıstan II ıdısqa ótedi. dt waqıt ishinde II ıdıstağı diffuzıyalanğan molekulalardıń sanı tómendegi tenńleme menen ańlatıladı:

$$dN = D \frac{\Delta n}{L} - S dt \quad (5.1.8)$$

Ótkizilgen tájırybelerden alınğan nátiyjelerge tiykarlanıp, koncentracya ayırması waqıttıń ótiwi menen eksponencial nızamğa muwapıq kemeyedi dep aytıwǵa boladı, yaǵnıy:

$$\Delta n = \Delta n_0 \exp\left(-D \frac{S}{V_0 L} t\right) \quad (5.1.9)$$

Bunda $D \frac{S}{V_0 L}$ turaqlı shama. Oǵan keri bolǵan shama waqıt ólshemliligi $\tau = t$ ǵa

teń boladı:

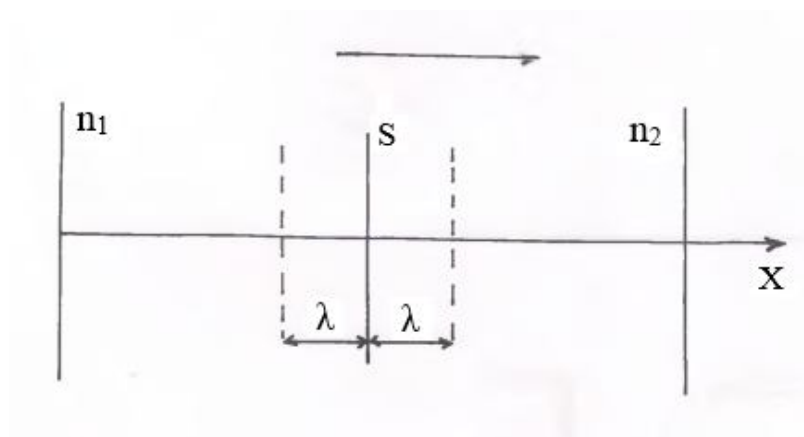
$$\tau = \frac{1}{D} \frac{V_0 L}{S} \quad (5.1.10)$$

Bul shama ádette processtıń waqıt turaqlısı delinedi. (5.1.10) formulaǵa tiykarlanıp (5.1.9) formulanı basqasha jazıw múmkin:

$$\Delta n = \Delta n_0 \exp(t/r) \quad (5.1.11)$$

Waqıttıń ózgeriw menen baylanıslı gaz koncentraciyasınıń binday ózgeriwi stacionar emes diffuziyanı xarakterleydi hám (5.1.11) formula menen ańlatıladı.

Gaz aralaspası salınǵan ıdısqıa koncetraciýalar ayırması ($n = n_1 - n_2$) turaqlı saqlanatuǵın (yaǵnıy stacionar process) X kósherine perpendikulyar S maydandı alayıq (16a- súwret).



16a- súwret

Anıq bolıwı ushın $n_1 > n_2$ dep alamız. Jılılıq qozǵalısw sebepli bizdi qızıqtırǵan komponenttiń molekulları S maydan arqalı shepten ońǵa hám óńnan shepke qaray ótedi. Nátiyjede X kósheri boylap, qanday da bir diffuziya aǵımı júzege keledi. 1 cm^2 maydan arqalı aǵıp ótin atırǵan molekullar sanı sáykes halda N_1 hám N_2 desek, waqıt birligi ishinde usı maydannan ótiwshi mólekullar ayırması boladı:

$$N = N_1 - N_2 \quad (5.1.12)$$

Demek, S maydannan 1 s ishinde shepten ońǵa qarap aǵıp ótiwshi molekullar sanı N_1 hám tap usınday waqıt ishinde óńnan shepke qarap aǵıp ótetuǵın molekullar sanı N_2 tomendegishe qatnstan anıqlanadı:

$$N_1 = \frac{1}{6} n' \bar{v}, N_2 = \frac{1}{6} n'' \bar{v} \quad (5.1.13)$$

Bunda n' hám n'' lar molekullardıń koncentraciyası.

(5.1.13) formuladan paydalanıp (5.1.12) ni tómendegishe jasa alamız:

$$N = N_1 - N_2 = \frac{1}{6} (n' - n'') \bar{v} \quad (5.1.14)$$

Bundağı

$$n' - n'' = 2 \lambda \frac{dn}{dx} \quad (5.1.15)$$

ekenligin esapqa alıp, (5.1.14) ti (5.1.15)ge qoyıp, diffuziya ushın tómendegi teńlikti alamız:

$$N = -\frac{1}{3} \lambda \bar{v} \frac{dn}{dx} \quad (5.1.16)$$

Bul teńliktiń eki jaǵın m molekullar sanına kóbeytip, PJK nızamı teńlemsin keltirip shıǵaramız:

$$Nm = -\frac{1}{3} \lambda \bar{v} \frac{dn}{dx} m \text{ yaki}$$

$$M = -\frac{1}{3} \lambda \bar{v} \frac{d\rho}{dx} \quad (5.1.17)$$

Demek, (5.1.14) hám (5.1.17) teńlemelerin teńlestirsek hám oǵan tiykarlanıp, gazlarda dızzuziya qubılısın xarakterlewshi processti salıstırıp, diffuziya koefficienti ushın teńlikti alamız:

$$D = -\frac{1}{3} \lambda \bar{v} \quad (5.1.18)$$

Eger eki túrli gaz komponentleri ushın massaları M_1 hám M_2 bolsın. Massası M_1 bolǵan gaz komponenti ushın

$$M_1 = -\frac{1}{3} \left(\frac{\rho_2}{\rho} \lambda_1 \bar{v}_1 + \frac{\rho_1}{\rho} \lambda_2 \bar{v}_2 \right) \frac{d\rho_1}{dx} \quad (5.1.19)$$

hám M_2 massalı gaz komponenti ushın ańlatpanı jazamız:

$$M_2 = -\frac{1}{3} \left(\frac{\rho_2}{\rho} \lambda_1 \bar{v}_1 + \frac{\rho_1}{\rho} \lambda_2 \bar{v}_2 \right) \frac{d\rho_2}{dx} \quad (5.1.20)$$

Bul (5.1.19) hám (5.1.20) teńlemelerdi (5.1.4) formulası menen salıstırıp, bir gazdıń ekinshi gazge diffuziyalanıw ótiw koefficienti D_{12} (óz-ara diffuziya koefficienti)n tómendegishe ańlatamız:

$$D_{12} = -\frac{1}{3} \left(\frac{\rho_2}{\rho} \lambda_1 \bar{v}_1 + \frac{\rho_1}{\rho} \lambda_2 \bar{v}_2 \right) \quad (5.1.21)$$

Eger $\frac{\rho_1}{\rho}$ koncentraciya kishi bolsa, onda $\frac{\rho_2}{\rho}$ koncetraciyası birge jaqın boladı.

Usıǵan tiykarlanıp (5.1.21) formulanı tómendegishe jazıw múmkin:

$$D_{12} = -\frac{1}{3} \lambda_1 \bar{v}_1 = D \quad (5.1.22)$$

Bul formula ulıwma jaǵdayda tómendegishe ańlatıladı:

$$D = \frac{1}{3} \lambda \bar{v} \quad (5.1.23)$$

Bul formula óz-ara diffuziya koefficientiniń ulıwmalıq kórinistegi ańlatılıwı delinedi. Diffuziya koefficientin ólshewdiń eń ápiwayı metodlarınan biri Loshmid tárepinen 1870-jılı usınıs etiledi.

Termodiffuziya – bir tekli gaz aralaspasındaǵı, temperatura ayırması. Temperaturanıń páseńlewi baǵıtı boylap aralasma komponentlerinde koncentraciyalar ayırmasınıń payda bolıwına alıp keledi. Termodiffuziya koefficienti D_t menen belgilenedi hám m^2/s da ólshenedi. Termodiffuziya koefficienti D_t hám óz-ara diffuziya koefficienti D_{12} arasındaǵı baylanıs tómendegishe ańlatıladı:

$$\frac{D_t}{D_{12}} = \alpha C (1 - C) \quad (5.1.24)$$

Bunda α – termodiffuziya turaqlısı.

§ 5.2. Jıllıq ótkizgishlik. Jıllıq ótkizgishlik koefficientin anıqlaw

Eger gaz bir qalıpte qızdırılmasa, yaǵnıy onıń bir bóliminde temperaturası ekinshi bólimine salıstırǵanda joqarıraq yamasa tóménirek bolsa, onda temrepatuarnıń teńlesiwini baqlawǵa boladı. Bul jaǵdayda gazlardıń jıllıraq bólimi suwınadı, al suwıǵıraq bólimi qızadı. Bul qubılıs gazdıń jıllıraq bóliminen suwıǵıraq bólimine jıllıq aǵımı menen baylanıslı boladı. Gazde (yaki hár qanday basqa zatta)

jıllılıq aǵımınıń payda bolıwı jıllılıq ótkizgishlik dep ataladı. Jıllılıq ótkizgishlik óz halına qoyılǵan hár qanday denede, máselen gazlarda tempeturalarınıń teńlesiwine sebep boladı. Bunday process, álbette stacionar emes process bolıp tabıladı. Biraq kópshilik jaǵdaylarda, sonday hallar bolıwı múmkin, bunda temperaturalar ayırmasın jasalma ráwishte ózgeripten saqlap turıladı.

Jıllılıq ótkizgishliktin sanlıq nızamların tabıw ushın diffuziya qubılısın úyrendegige uqsas bolǵan ápiwayı xarakterdegi máseleler di kórip shıǵayıq.

Gazda bazı bir baǵıt boyınsha, máselen x kósheri boylap temperatura noqattan noqatqa, yaǵnıy x tın funkciyası sıpatında ózgerip atırǵan bolsın, bul kósherge perpendikulayar bolǵan tegislikte temperatura birdey bolsın.

Temperaturanıń x kósheri boylap ózgeriwi PT/dx temperatura gradienti menen xarakterlenedi (eger tempertura biz oylaǵanday tek ǵana x kósheri boylap ózgerip atırǵan bolsa, onda PT/dx ornına dT/dx ti jazıw múmkin).

Jıllılıq aǵımınıń baǵıtı temperaturanın páseńlew baǵıtı menen sáykes keldi. Eger x tiń artıwına (yaǵnıy $dx > 0$) temperaturanın páseyiwi ($dt < 0$) sáykes kelse, onda jıllılıq x tiń ósip atırǵan tárepine qarap aǵıp atırǵan boladı. Jıllılıq aǵımı usı aǵımdı payda etiwı temperatura gradientiniń kemeyiy tárepine baǵıtlanǵan boladı. Tájiriye Q jıllılıq aǵımı temperatura gradientine proporcional bolatuǵınlıǵın kórsetedi (Fure nızamı):

$$Q = \chi \frac{dT}{dx} \quad (5.2.1)$$

Jıllılıq aǵımı dep maydan birliginde aǵıp atırǵan jıllılıq muǵdarı túsiniledi. (1) teńliktegi χ koefficienti jıllılıq ótkizgishlik koefficienti delinedi. (5.2.1) formuladan kórinip turǵanıday, jıllılıq ótkizgishlik koefficientiniń san mánisi tempertura gradieti 1 ge teń (1 K/cm) bolǵandaǵı jıllılıq aǵımına teń. Jıllılıq ótkizgishlik koefficienti SI sistemasında $Dj/m.s.K$, yaki $V/m.K$ birliklerge SGS sistemasında bolsa, $erg/cv.s.K$ birliginde ólshenedi. Texnikada onı kóbinese $K.dj/m.saat.K$ lerde ańlatıladı.

Stacionar sharayatta gaz arqalı waqıt birliginde aǵıp ótip atırǵan jıllılıq muǵdarı Q berilgen temperatura gradientin saqlap turǵan jıllılıq dereǵiniń quwatına

teń. Bul quwatlılıqtı (ol kóbinese elektr quwatlılıǵı boladı) jıllılıq ótkizgishlik koefficientin eksperimental anıqlawda ólshenip barıladı.

Temperatura gradientine iye gaz óz halına qoyılǵanda, yaǵnıy oǵan sırttan energiya berilgende jıllılıq ótkizgishlik temperaturanıń teńlesiwine alıp keledi. Dáslep biraz usınday stacionar emes jıllılıq ótkizgishlikti kórip ótemiz. Temreturanıń teńlesiw nızamı diffuziya qubılısındaǵı koncentraciyalardıń teńlesiw processine uqsas boladı.

Meyli kólemleri sáykes halda V_1 hám V_2 bolǵan, birdey basımdaǵı, quramı bir tekli gaz benen toltırılǵan eki ıdıs alayıq. ıdıslar kese kesiminiń maydanı S hám uzınlıǵı l bolǵan tútikshe menen tutastırılısın. Waqıttıń bazı bir paytında ıdıslardaǵı gazdıń temperaturası T_1 hám T_2 ge teń bolsın, anıqlıq ushın $T_1 > T_2$ dep alamız.

Eger gaz óz halına qoyılǵan, yaǵnıy sırtqı tásir bolmasa, onda jıllılıq ótkizgishlik sebepli eki ıdısta gazdıń temperaturalar ayırması $\Delta T = T_1 - T_2$ waqıttıń ótiwi menen kemeyedi. Bul processti “temperatura diffuziyası” dep te ataw múmkin. Bul jerde haqıyqıy maǵanadaǵı diffuziya boladı. Temperaturası joqarı bolǵan ıdısta tez háreket etiwshi molekulalar kóberek boladı. Sebebi temperatura molekulalardıń ortasha kinetikalıq energiyası arqalı anıqlanadı hám úlken tezlikke iye molekulalar qansha kóp bolsa, temperatura sonsha joqarı boladı.

Jıllılıq ótkizgishlik processinde bul bólekshelerdiń tezirek diffuziyası júzege keledi. Endi temperaturalar ayırmasınıń waqıtqa baylanıslı halda kemeyiw nızamın tabayıq. (5.2.1) ge muwapıq, tútikshe arqalı ótken jıllılıq aǵımı anıqlanadı. Ápiwayıraq ushın ıdıslardı birlestiriwshi tútikshe boyalp temperatura teń ólshewli ózgeredi hám onın iqtıyarlı uzınlıq birligine birdey temperaturalar sáykes keledi dep alayıq. Bul jaǵdayda sheksiz kishi shamalardan paydalanıw zárúrliligi qalmaydı. Yaǵnıy jıllılıq aǵımı ushın teńleme tómendegishe jazıladı:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{\Delta T}{l}, \quad Q = -\chi \frac{\Delta T}{l}$$

Sheksiz kishi dt waqıt aralıǵında birinshi ıdıstan ekinshi ıdısqı baylanıstırıwshi tútikshe arqalı tómendegi jıllılıq muǵdarı ótedi:

$$dQ = -\chi \frac{\Delta T}{l} sdT \quad (5.2.2)$$

Nátiyjede birinshi ıdıstağı gaz temperaturası bazı bir dT_1 muğdarğa kemeyedi, ekinshi ıdıatağı gaz temperaturası dT_2 shamağa artadı. Ekinshi ıdıstağı temperaturanıñ qanshağa artıwı hám birinshi ıdıstağı temperaturańıñ qanshağa páseńlewi gazdıñ S jıllılıq sıyımlılıǵına baylanıslı. Jıllılıq sıyımlılıǵı óz náwbetinde gazdıñ salıstırmalı jıllılıq sıyımlılıǵı C_x penen onıñ massası m niñ kóbeymesine teń. Jıllılıq muğdarı hám temperaturańıñ ózgeriwi arasındaǵı bizge belgili bolǵan qatnastan tómendegilerdi kórsetiw múmkin:

$$dT_1 = \frac{dQ}{m_1 c_x}, \quad dT_2 = \frac{dQ}{m_2 c_x}.$$

Bunda m_1 ham m_2 sáykes halda birinshi hám ekinshi ıdıstağı gaz massaları; dT_1 hám dT_2 – temperatura ózgeriwleriniñ absolyut mánisleri. Eger ıdıslardaǵı gazdıñ tıǵızlıǵı ρ bolsa, onda tómendegini alıw múmkin:

$$m_1 = V_1 \rho \quad \text{hám} \quad m_2 = \rho V_2$$

bunnan paydalanıp joqarıdaǵı teńlemelrdi qayta jazıw múmkin:

$$dT_1 = \frac{dQ}{\rho V_1 c_x}, \quad dT_2 = \frac{dQ}{\rho V_2 c_x}$$

temperaturanıñ birinshi ıdıstağı dT_1 ge kemeyiwi hám ekinshi ıdıstağı dT_2 ge artıwı júzege kelse, olar arasındaǵı temperaturalar ayırmasın tómnedegishe jazamız:

$$d(\Delta T) = dT_1 + dT_2 = \frac{dQ}{\rho c_v} \left(\frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2} \right) = \frac{dQ}{\rho c_v} \cdot \frac{V_1 + V_2}{V_1 \cdot V_2}$$

Bunda dQ ornına (5.2.2) ańlatpadaǵı mánisin qoyıp, tómendegi ańlatpaǵa iye bolamız:

$$d(\Delta T) = -\frac{\chi S \Delta T}{l \rho c_x} \frac{V_1 + V_2}{V_1 V_2} dt$$

eger $\frac{V_1 V_2}{V_1 + V_2}$ dáslepki dey alıńǵan kólemdi V_0 arqalı belgilesek, onda

$$d(\Delta T) = -\frac{\chi S \Delta T}{l \rho c_x} \quad \text{yaki} \quad \frac{d(\Delta T)}{\Delta T} = -\frac{\chi S}{l \rho c_v V_0} dt$$

bul teńliklerdi integrallap, tómendegige iye bolamız:

$$\ln \Delta T = -\frac{\chi S \Delta T}{l \rho c_x V_0} t + \ln A \quad (5.2.3)$$

bunda A – integrallaw turaqlısı. Bul turaqlı temperaturalar ayırması baslanğısh paytında, yaǵnıy $t_0 = 0$ de ΔT ge teń degen túsinikten ańsat anıqlanıwı múmkin. (5.2.3- ke $t_0 = 0$ hám $\Delta T = \Delta T_0$) lerdi qoyıp, $A = \Delta T_0$ bolatuǵınıń keltirip shıǵarıwǵa boladı.

Demek,

$$\Delta T = \Delta T_0 \exp\left(-\frac{\chi S \Delta T}{l \rho c_x V_0} t\right) \quad (5.2.4)$$

(5.2.4) teńleme t waqıttıń ótiwi menen temperaturanıń jıllılıq ótkizgishligi arqalı teńlesiwine baylanıslı bizdi qızıqtırǵan nızamdı ańlatadı. Bul nızam koncentracionıń diffuziya arqalı teńlesiw nızamına uqsas boladı.

Eki jaǵdayda da teńlesiw eksponencial nızamǵa muwapıq ámelge asadı.

Stacionar enes jıllılıq beriw shaması tómerndegi formula arqalı anlatıladı:

$$\Delta m = (\Delta n) \exp\left(-D \frac{S}{V_0 l} t\right) \quad (5.2.5)$$

Bul jaǵdayda , eger $\chi / \rho c_x = D$ dep alınsa, (5.2.4) hám (5.2.5) teńlemelerdiń oń táreplerindegi eksponencial kóbeytiwshiler sáykes keletuǵınıń kórindei. Demek $\chi / \rho c_x$ ańlatpa „temperatura diffuziya“sı koefficienti eken. $\chi / \rho c_x$ shama gazdıń qásiyetlerine baylanıslı bolıp, temperaturanıń teńlesiw tezligin xarakterleydi. Sonıń ushin bul shama gaz (hár qanday basqa deneniń de) temperaturasınıń ótkizgishlik koefficienti degen atamaǵa iye.

$S/V_0 l$ ańlatpa jańa geometriyalıq shama bolıp, tek ǵana apparaturanı xarakterleydi. Temperaturanıń ótkizgishlik koefficienti de diffuziya sıyaqlı m^2/s larda ólshenedi. Diffuziyada kórgenimizdey, bul jerde de jıllılıq ótkizgishlik waqtı turaqlısına kirgizemiz:

$$\tau = \frac{l \rho c_x V}{\chi S} \quad (5.2.6)$$

Bul sonday waqt aralığı esaplanadı, onıń dawamında gazdıń jıllılıq ótkizgishligi nátiyjesinde eki kólem arasındaqı temperaturalar ayırması anıqlanadı.

Tayanış túsinipler:

Gazlarda diffuziya qubılısı. Diffuziyanıń tiykargı nızamı(PJK nızamı). Stacionar emes diffuziya. Stacionar diffuziya. Diffuziya koefficienti. Óz-ara diffuziya koefficienti. Termodiffuziya. Jıllılıq ótkizgishlik. Jıllılıq ótkizgishlik koefficienti.

Temaǵa baylanış sorawlar

- 1. Gazlardaǵı diffuziya qubılısı haqqında túsinipleriñ.*
- 2. Diffuziyanıń tiykargı nızamı (PJK nızamı)ın aytıp beriñ.*
- 3. Stacionar emes diffuziya dep nege aytamız?*
- 4. Stacionar diffuziyanı túsindiririñ.*
- 5. Diffuziya koefficienti qalayınsha esaplanadı?*
- 6. Óz-ara diffuziya koefficienti dep nege aytamız?*
- 7. Termodiffuziya dep nege aytamız?*
- 8. Jıllılıq ótkizgishlik koefficienti qalayınsha esaplanadı?*

VI BAP. REAL GAZLAR

§ 6.1. Real gazlar. Van – der –Vaals teńlemesi

Aldıńǵı baplarda ideal gazlar uńın jazılǵan Klapeyron teńlemesi, gazlardıń qásiyetlerin kórsetiwshi tájiriybelerden alıńǵan nátiyjelerge jetkilikli dárejede sáykes keletuǵın edi. Biraq ta bul teńleme hámme jaǵday ushın hám durıs bolama yamasa tek ayırım jaǵdaylarda ǵana tájiriybelerde alıńǵan nátiyjelerge jaqın keleme?

Bizge belgili, qanday da bir tábiyat qubılısların izertlewde fizika ilimi tájiriybe hám ólshewlerden alıńǵan shamalardı san jaǵınan salıstıra otırıp, izertlenip atırǵan qubılıstı sıpatlaydı. Bul teńlemege kiriwshi shamalardıń belgili bir shekli mánislerinde ǵana durıs bolatuǵınıń kórsetedi. Al basqa mánislerinde durıs kele bermeytuǵınıń hám kóbirek talapqa juwap beretuǵın mánislerin izlep tabıw biz ushın qızıqlıraq boladı.

Qanday da bir fizikalıq nızamlardı qollanǵanda onıń shegaralıq mánislerin esapqa alıw kerek, bolmasa úlken kemshilikke jol qoyıw múmkin.

Ayırım fizikalıq nızamlar ǵana universal xarakterge iye bolıwı múmkin, yaǵnıy olar hámme waqıtta da durıs bola bermeydi. Buǵan mısal (jabıq sistema ushın) energiyanıń saqlanıw nızamı hám impulstıń saqlanıw nızamların keltiriw múmkin. Nátiyjeler anıq durıs nızamınıń bazı bir qátelerge alıp keliwi baqlanadı. Buǵan mısal, suyıqlıqlardıń qarsılıq kúshi deneniń qozǵalıw tezligine proporcional (bul tómén tezlikler ushın durıs) boladı. Al úlken tezliklerde qarsılıq kúshi bir qansha quramalı mánislerge iye boladı.

§ 6.2. Gazlardıń qásiyetleriniń ideallıqtan awıtqıwı

Bul jaǵday ushın da Klapeyron teńlemesi jaqın keledi. Olar jetkilikli tómén basımlarda durıs bolıp, basım tóménlegen sayın onıń anıqlılıǵı artıp baradı. Basımınıń artıwı menen gaz nızamları Boyle-Mariott hám Gey-Lyussak nızamlarınıń awıtqıwı baqlanadı. Bul óz gezeginde hal teńlemesi Klapeyron teńlemesiniń ózgeriwine sebepshi boladı.

Tómendegi keste de 1 mol kólemge V iye bolǵan N₂ azot gazınıń hár qıylı P hám 0°C temperaturadaǵı PV kóbeymesiniń tájiriýbeden alınǵan mánisleri keltirilgen (1-keste). Bul keste de basım 100 atm bolǵanda V kólem teoriyalıq mánisinen 7% ten kóbirekke awıtqıwın kóriw múmkin. Bunnan keyingi basımınıń artıwı menen gazdıń kóleminiń ózgeriwi barǵan sayın artıp, teoriyalıq jaqtan Klapeyron teńlemesi járdeminde esaplanǵan mánislerinen barǵan sayın kóbirek ayırmashılıqqa iye boladı.

Kólemi 1 mol hám hár qıylı P basımdaǵı azot gazı ushın

1-keste

P, atm	V·10 ⁴ , m ³	PV·10 ⁴ , atm·m ³	P, atm	V·10 ⁴ , m ³	PV·10 ⁴ , atm·m ³
1	224	224	700	0,532	372
100	2,4	240	900	0,483	437
300	0,85	255	1000	0,460	461
500	0,625	322			

Basımın mánisi 1000 atm ǵa jetkende gazdıń kólemi eki esege ózgeredi. Bul Klapeyron teńlemesine tuwrı kelmewin kórsetedi. Bul óz gezeginde PV kóbeymeniń ózgeriwine de tásir etedi. Klapeyron teńlemesi boyınsha basımınıń barlıq mánislerinde de turaqlı ózgermey qalıwı kerek edi. Haqıyqatında basım artqan sayın onıń mánisinde artıp barıp Klapeyron teńlemesiniń alınǵan mánislerden kóbirek awıtqıydı.

Keste de keltirilgen maǵlıwmatlar real gazlarda úlken basımlarda sırtqı kúshtiń tásirinde ideal gaz teńlemesinde kútiletuǵın nátiýjelerge qaraǵanda júdá az qısılatuǵınıń kórsetedi. Basımınıń artıwı menen gazdıń qısılıwshańlıq koefficienti azayadı, bul koefficient ideal gazlar ushın tómendegishe kóriniske iye bolıp, ol basımǵa kerı proporcional bolatuǵın edi

$$\chi = \frac{1}{V} \left(\frac{dV}{dP} \right)_T = -\frac{1}{P}$$

Tómen temperaturalarda kólem V menen basım P arasındadıǵı baylanıs, temperatura turaqlı bolǵanda quramalı xarakterge iye. Salıstırmalı dárejede tómén basımlarda PV kóbeymesiniń mánisi (izoterma iymekligi) berilgen temperaturada P

basım minimum mániske iye boladı, yaǵnıy tómen basımlarda PV shaması tómenleydi, al basımınıń artıwı menen (ideal gazlarǵa salıstırǵanda qısılıwshańlıǵı úlken boladı) bazı bir basımda minimum mániske jetedi. Keyin jáne arta baslaydı (ideal gazge salıstırǵanda qısılıwshańlıǵı az boladı) PV shamasındaǵı basım temperaturaǵa baylanıslı minimumnan baslanadı. PV kóbeymesiniń temperaturaǵa baylanıslılıǵı hár bir gaz ushın ózine tán xarakterge iye bolıp, bazı bir intervalda basımǵa baylanıslı bolmaydı, bul temperaturada gaz Boyle-Mariott nızamına boysınadı.

Solay etip, tájiriybelerdiń kórsetiwi boyınsha ózleriniń qásiyetleri boyınsha real gazlar ideal gazlardan ayırmashılıqqa iye boladı. Búgan tańlawlardıń keregi joq, sebebi ideal gazlardı túsindirgende onı tek gaz dep qarap, olar óz-ara tásirlespeytuǵın molekulalardan quralǵan hám de molekulanı oǵan materiallıq noqat dep qarap, yaǵnıy bunda onıń ólshemin hám kólemin esapqa almadıq.

Molekulalar arasındaǵı óz-ara tásirlesiw bolmasa, molekulalar óz-ara qısqa waqıt soqlıǵısqanda olarǵa hesh qanday kúsh tásir etpeydi. Onda molekula erkin qorǵaladı. Haqıyqatında molekulalar óz-ara soqlıǵısqanda olar tezliklerin ózgetedi hám kúsh tásir etpewi múmkin emes. Óz gezeginde molekulalar aralıq tásirlesiw kúshi bar bolıp, molekulalar júdá qısqa aralıqtan soqlıǵısqanda sezilerli dárejede boladı.

Molekulalardıń kólemin esapqa almastan, yaǵnıy qozǵalıwshı hár bir molekula ushın barlıq kólemde qozǵalıw múmkinshiligine iye bolıp, hár bir bóleksheni noqat dep qaraǵanlıqtan kólemdi iyeleydi.

Haqıyqatında bul kóz qarastan qaraǵanda molekulalardıń óz-ara soqlıǵısıwın kórgenimizde olar belgili bir ólshemge iye ekenliginen bilemiz. Tájiriybede bul ólshemniń 10^{-10} m shamasında ekenligi anıqlandı. Solay etip, bul eki shamanı esapqa almaw ideal gaz teoriyasınıń tiykarın quraydı hám juwıq túrde jaqınlastıradı. Normal atmosfera basımında molekulalar arasındaǵı aralıq óziniń ólsheminen 10 márte, al ulıwma ıdıstıń kóleminen gazdıń iyeleytuǵın kólemi 2000 márte kishi boladı. Bul jaǵdayda (hám elede tómen basımda) molekulalardıń kólemin esapqa almawǵa

boladı, hám olar arasındagı óz-ara tásirlesiw kúshi olar arasındagı qashıqlıq artqan sayın tez azayadı.

Basım 100 atm ға jetkende ózleriniń ólsheminen eki ese úlken boladı hám gaz molekulasınıń iyeleytuǵın ulıwma kólemi ıdıstıń kóleminen 20 ese kishi boladı. Bul jaǵdayda gaz molekularınıń kólemin esapqa almaw múmkin emes, olar arasındagı óz-ara tásirlesiw kishin esapqa almasa bolmaydı.

§ 6.3. Van-der-Baals teńlemesi

Bul ideal gaz nızamların úyrengenimizde gaz molekuları serpimli sharǵa usaǵan hám tártipsiz qorǵalıwshı molekulalardan ibarat dep esaplaǵan edik. Molekulalar arasındagı kúshler olar tek bir-birine soqlıǵısqanda tásir etedi hám bul kúshler iyterisiw serpimlilik kúshleri edi.

Molekulardıń ólshemleri molekular arasındagı ortasha qashıqlıqqa salıstırǵanda esapqa almawǵa bolatuǵın dárejede kishi dep esaplanadı. Bul model gaz Boyle-Mariott, Gey-Lyussak nızamlarına anıq boysınatuǵın gazlarǵa tuwrı keledi. biraq bul nızamlarǵa real gazlar tek juwıq túrde baǵınadı. Joqarı basımlarda barlıq gazlarda Boyle-Mariott nızamına boysınbay qaladı. Kóplegen tájiriybelerdiń kórsetiwi boyınsha gaz nızamları sonıń ishinde Mendeleev Klapayron formulaları juwıq túrde sáykes keledi. Gazdı qansha kúshli qıssaq, onıń gaz nızamlarınan awıtqıwı sonsha úlken boladı. Mendeleev-Klapayron formulasın real gazlarǵa qollanıw ushın oǵan bazı bir tolıqtırıw kirgiziw kerek degen pikirdi fizik Van-der Valls 1873-jılı kirgizgen edi.

Birinshi anıqlaması gaz molekularınıń kólemne tiyisli. Esaplap qarayıq, 1 cm^3 kólemde normal jaǵdayda $27 \cdot 10^{19}$ molekula jaylasadı. Molekulanıń effektivlik diametri $2,5 \cdot 10^{-8} \text{ sm}$ ge teń dep esaplasaq, onıń qosımsha $8 \cdot 10^{-24} \text{ sm}^3$ qa teń boladı. Normal jaǵdaydagı 1 cm^3 kólemdegi barlıq molekulardıń kólemi $2 \cdot 10^{-4} \text{ sm}^3$ ke teń bolsa, 2500 atm basımda molekulanın kólemi ulıwma kóleminiń yarımın iyeleydi. Sonlıqtan joqarı basımlarda gaz molekularınıń iyeleytiǵın kólemin esapqa alıw zárúr.

Gazdı qısqanımda onıń kólemi basımǵa kerı proporcional túrde ulıwma kólem emes, al molekulalar aralıq boslıq azayadı.

Al Mendeleev-Klapeyron formulasındaǵı V kólemniń ornına $(V - b)$ dep jazıladı, bunda b – gazdıń qısılmaytuǵın bóliminiń kólemi. Van-der –Vaalstıń esaplawı boyınsha b shaması barlıq molekulanıń iyelep turǵan kóleminiń 4 esesine teń. Gazdı qısqanımda olardıń molekulaları bir-birine $2r$, yaǵnıy eki eselengen effektivlik radius aralıǵınan jaqın aralıqqa jaqınlay almaydı. Bul radius $2r$ ge teń bolǵan shardıń keńislikte iyeleytuǵın kólemi $\frac{4}{3} \pi (2r)^3 = 8 \times \frac{4}{3} \pi r^3$, yaǵnıy 8 eselengen kólemine teń boladı ($V_0 = \frac{4}{3} \pi r^3$ – bir molekulanın kólemi). Óz gezeginde, hár bir jup molekulanıń keńisliktegi iyeleytuǵın kólemi tórt eselengen bir molekulanıń kólemine ($4V_0$) ge teń boladı. Vander-Vaalstıń kirgizgen ekinshi anıqlaması gazdıń basımına tiyisli. Siyrekletilgen gazlardı olardıń molekulaları arasındǵı óz-ara tásirlesiw kúshi esapqa almastay dárejede molekulalar arasında azayadı hám óz-ara tásirlesiw kúshi artadı. Bul kúsh molekulalardı bir-birine tartısıwına alıp keledi hámde gazge basım túsiriwshi kúshke járdem beredi. Óz gezeginde Mendellev-Klapeyron formulasındaǵı sırtqı basım P ǵa sırtqı basımǵa qosımsha $(P + P')$ kirgiziledi. Bunda P' – molekulyar basım yaǵnıy molekulalardıń ózleriniń payda etetuǵın basımı. Van-der-Vaalstıń esaplawı boyınsha molekulyar basım gazdıń kóleminiń kvadratına kerı proporcional boladı, yaǵnıy

$$P' = a/V^2 \quad (6.3.1)$$

Bul jerde a –bazi bir proporcionallıq koefficient bolıp, ol gazdıń tábiyatına baylanıslı.

Joqarıdaǵı qosımsha dúzetiwlerdi kirgize otırıp, tómendegi formulanı alamız:

$$(P + a/V^2) (V - b) = RT \quad (6.3.2)$$

Bul 1 mol gaz massası ushın Van-der-Vaals teńlemesi dep ataladı.

Bundapı a hám b koefficientleriniń mánisi kestelerde berilgen bolıp, olarda 1 mol gaz ushın anıqlanǵan. Egerde gaz massası n molge teń bolsa, onda kestedegi a koefficientiniń mánisi n^2 qa , al b koefficientiniń mánisi n ge kóbeytiledi.

Biz joqarıda atap ótkenimizdey joqarı basımdaǵı, máselen 100 000 atmosfera basımdaǵı gazlar ushın Mendeleev-Klapeyron formulası jaramsız bolıp qaladı.

Al Van-der-Vaals teńlemesi júdá anıq dál mánislerdi bere almasa da, belgili dárejede bir qansha anıq mánislerdi bere aladı. Mısal ushın, PV hám $(P + a/V^2)(V - b)$ shamaların 1 mol azot gazınıń 0°C daǵı tájiriýbeden alınǵan P hám V lardıń mánisleri ushın, keltirilgen kestden kóriw múmkin (2-keste).

2-keste

P, atm	$PV \cdot 10^4$, 1 atm	$(P + a/V^2)(V - b)$, 1 atm
1	22,41	22,41
500	31,13	22,67
1000	46,40	22,00

Óz gezeginde, Van-der-Vaals formulası da juwıq formula bolıp esplanadı

§ 6.4. Real gazlardıń ishki energiyası

Ideal gazdıń ishki energiyası tek onıń kimetikalıq energiyasına ǵana baylanıslı bolatuǵının hám de molekulalardıń óz-ara tási esapqa alınbaytuǵınlıǵın aytıp ótken edik hám ol bir mol gaz ushın $U = i/2 RT$ túrinde jazılatuǵınlıǵın, yaǵnıy ideal gazdıń ishki energiyası bir mol gaz ushın tek onıń temperaturasına ǵana baylanıslı boladı.

Teńlemedegi $i/2P$ shamasın μc_v shaması menen almastırsaq, tómendegi formulaǵa iye bolamız:

$$U = \mu c_v T \quad (6.4.1)$$

Gaz sırtqı sırtqı ortalıqtan bóleklengende gaz qısılganda yamasa keńeygende (gaz kólemi ózgergende sırtqı kúshke qarsı jumıs orınlamaydı hám sırtqı ortalıq penen jıllılıq almaspaydı), ishki energiyası ózgermeydi hám temperaturası ózgerissiz qaladı.

Real gazlarda molekullardıń óz-ara tásirlesiw kúshi esapqa alınıwı zárúr. Onıń ishki energiyası molekullardıń óz-ara tásirlesiwiniń potencial energiylarınıń qosındısınan ibarat boladı:

$$U = U_k + U_p \quad (6.4.2)$$

Bul jerde U_p molekulanıń potencial energiyası bolıp, ol gazdıń kólemine baylanıslı hám de kólemi ózgerip, molekullar arasındaǵı qashıqlıqtıń hám de óz-ara tásirlesiwdiń ózgeriwine alıp keledi.

Ortalıqtan bóleklengen real gazdıń ushki energiyası ózgermey saqlanıp qalıwı ushın potencial energiya qanshaǵa ózgerse, onıń kinetikalıq energiyası sol shamada teris belgi menen ózgeriwi tiyis:

$$\Delta U_p = - \Delta U_k \quad (6.4.3)$$

Yamasa

$$\Delta U_p = - \mu c_v \Delta T \quad (6.4.4)$$

Basqaha aytqanda, real gazdıń temperaturası ózgerip ketedi. Bul qubılıstı birinshi bolıp izertlegen Djoul, al keyin ala Tomsonlar bolıp, olar belgili tájiriybelerdi ótkerdi hám Djoul-Tomson effekti dep ataldı. Egerde gaz keńeygende suwınsa, ol effekt oń dep, eger kerisinshe gaz keńeygende qızsa teris dep ataladı.

Tereń izertlewler nátiyjesinde Djoul-Tomson effektin Van-der-Vaals teńlemesi menen baylanıstırıwǵa erisildi. Bundaǵı basımnıń dúzetiliwi (a/V^2) shaması kólemniń dúzetiliw b shamasınan salıstırmalı túrde az bolsa, onı esapqa almay ketiwge boladı (gaz keńeygende qızsa Djoul-Tomson effekti teris). Egerde kerisinshe b shaması salıstırmalı túrde basımnıń dúzetiliw (a/V^2) shamasınan az bolsa, onı esapqa almay dárejede bolsa, gaz keńeygende suwıydı, onda (Djoul-Tomson effekti) oń boladı.

§ 6.5. Djoul – Tomson effekti

1. Bizge málim ideal gazdıń U ishki energiyası onıń molekullarınıń qozǵalıswınıń $\sum_k = \sum \bar{\omega}_k$ kinetikalıq energiyasınan ibarat ekenligi belgili. Bul

energiya berilgen gazdın kólemine, basımına da baylanıslı bolmastan, tek ǵana onıń temperaturası menen anıqlanadı.

Bir mol ideal gaz ushın $U = E_k = C_v T$, bunda C_v - turaqlı kólemdegi bir mol gazdın jıllılıq sıyımlılıǵı.

Real gazda molekulalar arasındaǵı óz-ara tásir kúshleri úlken áhmiyetke iye ekenligin bilemiz. Sonıń ushın real gazdın ishki energiyası onıń molekulalarınń qozǵalıstıń kinetikalıq energiyası menen molekulalarınń óz-ara tásir potencial energiyasınıń qosındısınan ibarat boladı:

$$U = E_k + E_p \quad (6.5.1)$$

Molekulardıń óz-ara tásirlesiw potencial energiyası olardıń arasındaǵı ortasha aralıqqa baylanıslı. Sonıń ushın E_p gazdın kólemine baylanıslı bolıwı kerek.

Átirapımızdaǵı deneler menen energiya almaspaǵan halda gazdın kólemi ózgerse, onıń ishki energiyasınıń muǵdarınıń qorı ózgermeydi hám bul jaǵdayda (6.5.1) teńlemeden tómeneдеgi kelip shıǵadı:

$$\Delta E_p = -\Delta E_k \quad (6.5.2)$$

2. Bizge turaqlı kólemdegi jıllılıq sıyımlılıǵı real gaz ushın da tek ǵana molekulalar qozǵalıstıń kinetikalıq enehgiyası menen anıqlanǵanlıǵı sebepli, bul jaǵdayda da $E_k = C_v T$, tómendegige teń bolatuǵını belgili:

$$\Delta E_p = -C_v \cdot \Delta T \quad (6.5.3)$$

teńligin alamız.

Demek, bul jaǵdayda átirapımızdaǵı deneler menen jıllılıq almasılsa hám sırtqı jumıs atqarılsa real gazdın kólemi ózgermeydi, hám onıń temperaturası da ózgermeydi. Bunı birinshi bolıp inglis fizigi Djoul 1887-jılı anıqladı.

3. Djoul C-kranǵa iye bolǵan jıńishke truba menen tutastırılǵan eki A hám B ıdıslardı suwlı kalorimetrge jaylastırǵan. B ıdıstaǵı hawa sorıp alınǵan bolıp, A ıdıstaǵı hawa belgili bir P basımǵa iye. C - kran ashılǵanda A ıdıstaǵı hawa B ıdısqa aǵıp shıǵıp, sırtqı jumıs atqarmaǵan halda keńeyedi.

Djoul bul tájiriybede kalorimetrdiń temperaturası ózgermegenin bayqaǵan. Usıǵan tiykarlanıp, ol ishki energiya ózgermeydi degen juwmaq shıǵaradı. 1888-jılı usı tájiriybeni Tomson menen birgelikte jáne de sezgirirek basqa variantta

tákirarlaydı. Bunda A hám B ıdıslardı tutastırıwshı tútıkshege gewek tıǵın C nı jaylastıradı. Tútıkshe jıllılıq ótkermeytuǵın zat penen oralǵan. A hám B ıdıslardaǵı gazdıń P_1 hám P basımları turaqlı etip saqlap turıladı. Gaz tútıkshe ıdıstaǵı tıǵın arqalı basımı úlken ıdıstan basımı kishi ıdısqa aǵadı. Tıǵınnıń eki tárepinede sezgir termometrler qoyıladı. Bul waqıtta hár eki termometrdiń kórsetiwlerinen termometrler arasındaǵı azǵana ayırmashılıqtıń bar ekenligi belgili bolǵan. Tıǵınnıń gaz keńeyip atırǵan jaǵındaǵı temperatura kópshilik gazlar ushın biraz pásirek bolǵan vodorod ushın temerturanıń ózgeriwi kerisinshe bolıp shıqtı. Vodorod keńeyip atırǵanda qızgan gaz kolemi (jıllılıq almaspastan) keńeygeninde onıń temperaturasınıń ózgeriwinen ibarat bolǵan mine usı effekt Djoul-Tomson effekti delinedi.

Bul qubılıs real gaz qásiyetleriniń ideal gaz qásiyetlerinen ózgeshelenetuǵın qásiyeti bolıp tabıladı. Gaz keńeyiwi nátiyjesinde suwınıwınan ibarat bolǵan effekt Djoul-Tomsonnıń oń effekti delinedi. Gaz keńeyi nátiyjesinde qızıwınan ibarat bolǵan effektke Djoul-Tomsonnıń teris effekti delinedi.

Keyin ala Djoul-Tomson efektiniń tańbası Van-der Vals teńlemesindegi a hám b dúzetiwlerinen qaysı biriniń roli úlkenirek bolıwına baylanıslı ekenligin de anıqlanadı. Djoul-Tomson effekti menen Van-der-Valstıń tómendegi teńlemesindegi a hám b dúzetiwler arasındaǵı baylanıstı anıqlaw ushın potencial iiymek sıızıqlardan paydalanıw múmkin:

$$\left(P + \frac{a}{V_0^2} \right) (V_0 - b) = RT \quad (6.5.4)$$

Molekulalardıń óz-ara tásir kúshleri 0 ge teń bolatuǵın ideal gazlarda Djoul-Tomson effekti bolmaydı. Djoul-Tomson effekti shaması jaǵınan Djoul-Tomson differencial koefficienti dep atalatuǵın μ menen xarakterlenetuǵını belgili, yaǵnıy

$$\mu = \frac{\Delta T}{\Delta P} \quad (6.5.5)$$

Eger $\Delta P < 0$ hám $\Delta T < 0$ bolǵanda μ – oń, $\Delta P > 0$ hám $\Delta T > 0$ bolsa, μ – teris ekenin bildiredi, Djoul-Tomson processı qaytımsız process bolıp tabıladı. Demek, bul processte entropiya artadı, $dS > 0$ Djoul-Tomson koefficientin esaplaymız. $d(U + PV) = 0$ teńlemeden

$$d(U + PV) = dU + PdV + VdP = 0 \quad (6.5.6)$$

biraz $dU = PdV = TdS$ ekenligin iribargá alsaq

$$TdS = VdP = 0 \quad (6.5.7)$$

Entropiyanıń dS ózgerisin dT ózgerisi hám basımnıń dP ózgerisi arqalı ańlatsaq, tómendegi teńlemege iye bolamız:

$$dS = \frac{C_p dT}{T} - \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p dP \quad (6.5.8)$$

(6.5.8) formulanı (6.5.7) ge qoysaq tómendegi teńlemege iye bolamız:

$$C_p dT - T \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p dP + VdP = 0 \quad (6.5.9)$$

Bunnan Djoul-Tomson koefficientiniń tómendegi ańlatpasın alamız:

$$\mu = \frac{dT}{dP} = \frac{T \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p - V}{C_p} = \frac{V}{C_p} (\alpha T - 1) \quad (6.5.10)$$

Bunda $\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$ - gazdıń keńeyiw koefficienti Djoul-Tomson koefficienti

óziniń tańbasın ózgerterdi. Bul T_1 – temperatura inversiya temperaturası delinedi.

4. Joqarıda aytqanımızday Djoul-Tomson effekti qaytımsız process bolıp tabıladı. Jıllılıq mashinalarınıń PJK haqqında ayılğan pikirler barlıǵı suwıtıw apparatlarında tiyisli bolıp esaplanadı, sebebi, olardı jıllılıq dvigatellerine keri qurılmalar dep túsiniw múmkin.

Suwıtqısh mashınada jıllılıq suwıq deneden jıllı denegе alıp beriliwin esleyik. Bunda mexanikalıq jumıs atqarıladı, jánede usı jumıs esabınan suwıq deneden jıllı denegе jıllılıq beriledi. Bunda process ózliginen orınlanbaytuǵınıń bilemiz. Suwıtqısh mashinasınıń PJK sıpatında suwıtılıp atırğan deneden alınğan Q jıllılıq muǵdarınıń bunda sarıplangan A jumısqa qatnasın alıw kerek.

$$\varepsilon = \frac{Q}{A} \quad (6.5.11)$$

Suwıtıwshı apparatlarǵa qollanılǵanda bul koefficient suwıtıw koefficienti dep júritiledi Karno cikli boyınsha isleytuǵın suwıtqısh mashına ushın suwıtıw koefficienti tómerndegishe boladı:

$$\varepsilon = \frac{T_1}{T_2 - T_1} \quad (6.5.12)$$

T_1 - suwıtılıp atırğan deneniń temperaturası, T_2 — jıllılıq uzatılıp atırğan deneniń temperaturası. Suwıtıw koefficienti, álbette birden úlken boladı.

Texnikada gazlardı suwıtıw ushın isleytuǵın birinshi tariyxıy mashinalar Linde hám Gempsonlar tárepinen 1985-jılı jaratılǵan. Olar gazlardı kritikalıq tempereturadan tómén temperaturaǵa shekem suwıwı hám suyıltıw ushın drossellew metodınan paydalanǵan.

1902-jılı Klod birinshi márte detanderli mashinalar islep shıǵıp, onda hawanı suyıltırdı. R.Kapica Klod mashinasın paydalanıp porshenli detanderturbınaǵa, yaǵnıy trubodetanderge alıstırdı hám onda 77,32 K temperaturada suyıq azot hám 90,12 K temperaturada suyıq kislorod alınadı.

Tayanış túsinikler:

Real gaz. Van-der-Vaals teńlemesiniń fizikalıq áhimiyeti. Van-der-Vaals izotermaları. Kritikalıq halatlar. Real gazdıń ishki energiyası. Molekulalardıń hárezetiniń kinetikalıq energiyası. Turaqlı kólemdegi jıllılıq sıyımlılıǵı. Djoul-Tomson effekti. Gazlardı suyıltıw.

Temaǵa baylanış sorawlar

1. Molekulalardıń arasındaǵı óz-ara tásir kúshleriniń áhimiyetin túsindiriń.
2. Real gaz dep nege aytamız?
3. Van-der-Vaals izotermalarınıń fizikalıq áhimiyetin aytıp beriń.
4. Van-der-Vaals izotermaların túsindiriń.
5. Kritikalıq halatlardı táriyipleń?
6. Real gzdıń ishki energiyasın túsindiriń?
7. Molekulalardıń hárezetiniń kinetikalıq energiyası hám turaqlı kólemdegi jıllılıq sıyımlılıǵı arasındaǵı baylanıstı túsindiriń?
8. Djoul-Tomson effektiniń áhimiyeti nelerden ibarat?
9. Gazlardı suyıltıw processlerin táriyipleń.

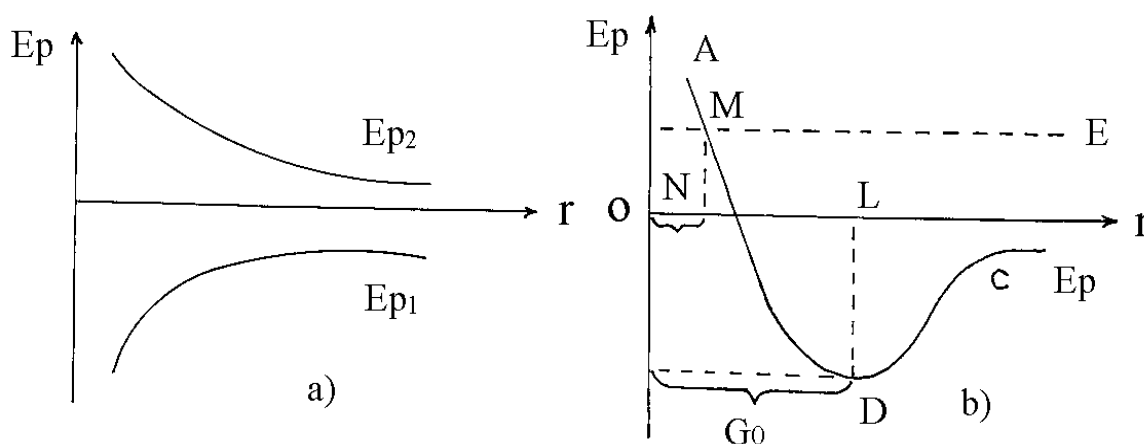
VII BAP. SUYIQLIQLARDIŇ QÁSIYETLERI

§ 7.1. Suyıqlıqtıń dúzilisi. Molekulalıq basım

Gazda molekulalar arastadğı tartıw kúshin jeńiwi olardıń (molekulalardıń) jıllılıq qozǵalıstıń ortasha kinetikalıq energiyası jetkilikli boladı; sol sebepli gazlardıń molekulaları hár tárepleme tarqalısq ushıp, gaz ózi iyelep turǵan kólemge bir qalıpte tarqaladı.

Suyıqlılarda kerisinshe, molekulalardıń jıllılıq qozǵalıstıń ortasha kinetikalıq energiyası baylanıs kúshlerin jeńe almaydı. Sonın nátiyjesinde suyıqlıq belgili bir kólemge iye bolatúǵın dene bolıp esaplanadı. Sonlıqtan tezleniwi eń úlken bolǵan molekulalar ǵana ushıp shıǵa aladı hám sonıń sebebinen suyıqlıq puwǵa aylanadı.

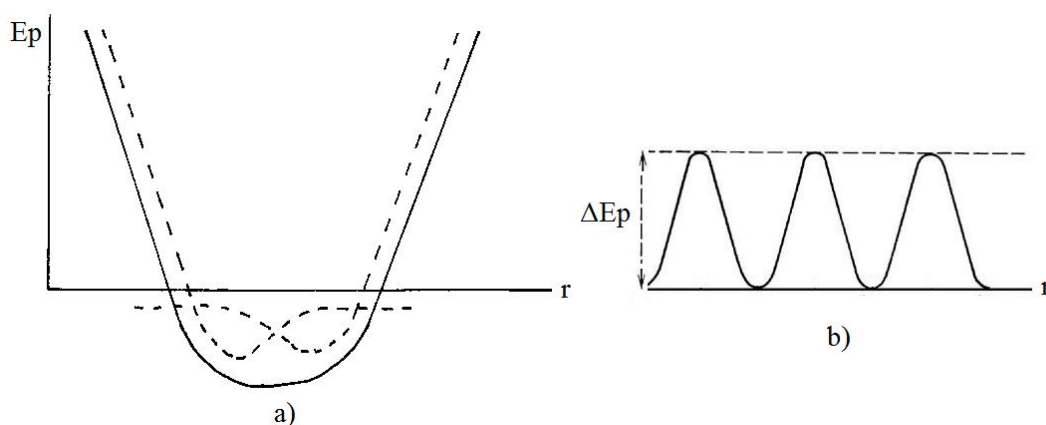
Gazlardıń eki molekulasınıń óz-ara potencial energiyası molekulalardıń bir r_0 aralıǵındaǵı eń az muǵdarda bolatúǵınlıǵın 17-súwretten kóriwge boladı. Bul jerde potenciallıq shuqırdıń tereńligi onsha úlken bolmaydı hámde ol bir erkinlik dárejesine tuwrı keletúǵın $1/2kT$ ortasha kinetikalıq energiyadan kem boladı. Sonlıqtan gaz molekulaları biriniń qasında ekinshisi tura almaydı, jaqınlasıp kelip, qaytadan tarqalıp ushadı.



17– súwret. A) molekulalar arastadğı tartısq kúshiniń E_{p1} potenciallıq energiyası menen iyterisiw kúshiniń E_{p2} potencial energiyasınıń ózgeriwi; b) molekulalar arastadğı óz-ara tásirlesiw kúshiniń ulıwma potencil energiyasınıń ózgeriwi.

Suyıqlıq molekulalarının jıllılıq qozǵalıstırın ortasha kinetikalıq energiyası molekulaların birin-biri tartatúǵın kúshin jeńe almaytuǵının joqarıda kórdik. Usınıń nátiyjesinde molekulalar jetkilikli dárejede biri-birine jaqın ornasadı, hár bir molekula basqa molekulaların qorshawında boladı.

Túsiniikli bolıwı ushın bir tuwrınıń boyında ornasqan bir neshe molekulanı qarastırayıq. Bul tuwrınıń boyındaǵı hár bir molekulanın qońsı eki molekulası boladı. Olardıń birewi onın oń jaǵında, al ekinshisi shep jaǵında ornasadı. Sonlıqtan bunday molekulanın potencial energiyası, 17-súwrette salıstırǵanda uqsas iymekliklerdiń qosındısı menen kórsetiledi. Bunday iymeklikler 18a-súwrette punktir sızıqlar menen kórsetilgen. Juwmaqlawshı iymeklikte (tutas sızıqta) potencial shuqırdıń tereńligi jetkilikli bolıp shıǵadı.



18-súwret. Suyıqlıq molekulasınıń potencial energiyasınıń iymekligi

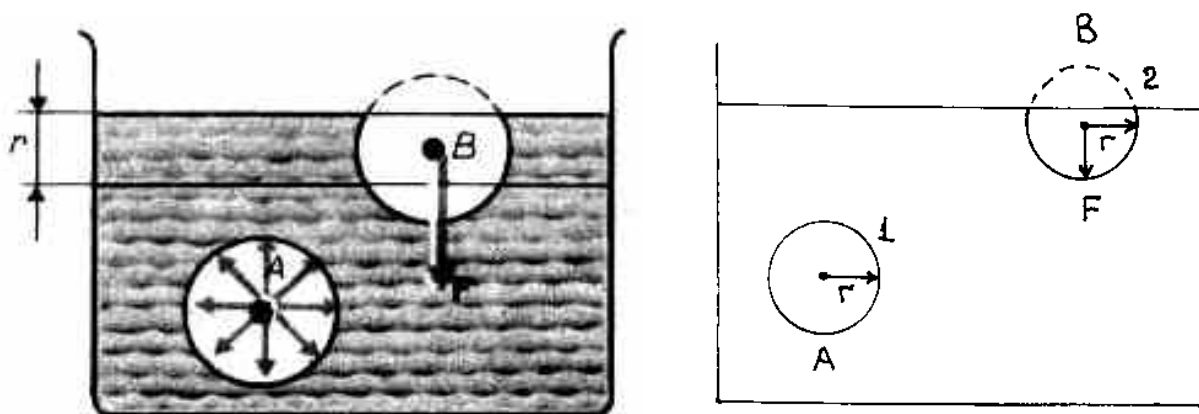
Molekulaların kópligin alganda tolqın tárizli iymek sızıq jasaydı (18b-súwret). Jeke potencial shuqırdıń ΔE_p tereńligi suyıqlıqtıń molekulasınıń bir erkinlik dárejesine tuwrı keletuǵın $\frac{1}{2} kT$ ortasha kinetikalıq energiyasınan aırıq boladı.

Sonlıqtan hár bir molekula óziniń teń salmaqlılıǵı átirapında potencial shuqırda bolıp turadı. Ádette suyıqlıqta $\frac{1}{2} kT$ ortasha energiya shuqırdıń ΔE_p tereńligi onsha az bolmaydı. Sonıń nátiyjesinde jeke molekulanın kinetikalıq energiyası, fluktuaciyanıń bolıwı sebepli usı mólekula potencial shuqırdan ushıp shıǵıp, basqa bir qos molekulanın arasına barıp orın alıwı ushın jetkilikli bolǵan waqıtlar boladı.

Suyıqlıqlarda diffuziya qubılısının áste júretuǵınlıǵı hámde gazlarǵa qaraǵanda suyıqlıqtıń jabısqaqlıǵı úlken bolatuǵınlıǵı suyıqlıq molekulaları qozǵalısının usı joqarıda kórsetilgen sıpatına baylanıslı boladı.

Suyıqlıqtıń ishindegi molekulanıń potencial energiyasın onıń sırtındaǵı molekulanıń potencial energiyası menen salıstıra otırıp, suyıqlıqtıń qásiyetlerin basqa usıllar menen kórsetiwge boladı. Suyıqlıq ishindegi molekulanıń potencial energiyasınan kem boladı. Suyıqlıqtıń betlik qabatı onıń tutas kólemine qaraǵanda basqasha awhalda boladı. Molekulanı suyıqlıqtıń ishinen shıǵarıw ushın belgili bir potencial irkinishti jeńiwge, yaǵnıy belgili bir jumıs orınlawǵa tuwra keledi. Molekulalardıń jıllılıq qozǵalısının ortasha energiyası bul jumıstı orınlawǵa jetkiliksiz boladı. Sonlıqtan suyıqlıq óziniń kólemine saqlaydı (18-súwret).

Eger suyıqlıq ishinen bir molekulanı oyımımızsha bólip alatuǵın bolsaq, onda bul molekulaǵa basqa molekulalardıń kórsetetuǵın tásirin esapqa alıw kerek. Ádette molekulalardıń arasındaǵı óz-ara tásir kúshi aralıqtıń artıwına baylanıslı tez kemeyetuǵınlıqtan is júzinde jaqın turǵán molekulalardıń ǵana tásirin esapqa alıw jetkilikli boladı. r eki molekulanıń aralıǵı, aralıq bunnan sál artıp ketkende olardıń óz-ara tásir kúshi esapqa almashtay júdá az aralıq bolsın. Qandayda A molekulanı (19-súwret) oray etip alıp, radiusı r bolǵan sfera sızayıq. Sonda bul molekulaǵa radiusı r sferasnıń ishinde turǵán molekulalardıń tásirin ǵana esapqa alsaq bolǵanı.



19-súwret. Molekulanıń tásir etiw radiusı

r di molekulanıń tásir radiusı dep, al radiusı r bolǵan sferanı molekulalıq tásir sferası dep ataladı.

Suyıqlıqta berilgen A molekulanı qorshap júrgizilgen molekulalıq tásir sferasınıń ishinde kóplegen basqa molekulalar boladı. Bul molekulalar A molekulaǵa tásir etetuǵın kúshleri barlıq tárepke baǵıtlanıp, ulıwma alganda birin-biri sóndiredi. Sonıń menen birge suyıqlıqtıń ishindegi bir molekulaǵa basqa molekulalar tásir etetuǵın juwmaqlawshı kúsh, analizlep kelgende, nolge teń boladı. Suyıqlıqtıń betinde jaylasqan molekulanıń awhalı basqasha boladı. Suyıqlıqtıń betinen r molekulalıq tásir radiusınıń ishinde jaylasqan B molekulanı qarap óteyik. Sonda 19-súwrette kórsetilgende, molekulalıq tásir sferasınıń bir bólegi ǵana suyıqlıqtıń ishinde boladı, al qalǵan bólegi suyıqlıqtıń sırtında jatadı. Suyıqlıqtıń betiniń ústinde gaz tárizli zat, mısalı usı suyıqlıqtıń puwı bolsın. Bundaǵı molekulalardıń koncentraciyası júdá az. Sonlıqtan olardıń tásin esapqa almasa da boladı. Olay bolsa biz B molekulaǵa tásir etetuǵın sferanıń ishindegi tek suyıqlıq ishindegi turǵan bóleginde jaylasqan molekulalardıń tásin ǵana esapqa alıwımız kerek.

Sonda B molekulaǵa hár tárepten tásir etetuǵın molekulalardıń sanı birdey bolmay shıǵadı. Olardıń B molekulaǵa tásir etetuǵın kúshleri birin-biri sóndire almaydı (teńlespeydi). Sol sebepli suyıqlıqtıń ishine qaray baǵıtlanǵan F juwmaqlawshı kúshi payda boladı. Solay etip, suyıqlıqtıń betinen r molekulalıq tásir radiusınan kem aralıqta jatırǵan hár bir molekulaǵa basqa molekulalar suyıqlıqtıń ishine qaray baǵıtlanǵan kúsh penen tásir etedi. Suyıqlıqtıń betinde jaylasqan tutas qabatqa perpendikulyar baǵıtta suyıqlıq ishine qaray baǵıtlanǵan kúshler tásir etedi. Betlik qabat suyıqlıqqa molekulalıq basım dep atalatuǵın basımdı túsiredi. Usı basımınıń tásirinde suyıqlıq molekulaları biri-birine jaqınlasadı, al bunıń ózi, olardıń arasındǵı betlik qatlamınıń basım kúshi payda etken qısılıw kúshi menen teń muǵdarda tebiw kúshin payda etedi.

Bul ayılǵanlardan bul basım óziniń payda bolıwı jaǵınan gazlardıń Van-der-Vaals teńlemelerindegi a/V^2 dúzetiw kirgizilip esapqa alıwı zárúr bolǵan P' ishki basımǵa uqsas ekenligi kórinedi. Van-der-Vaals teńlemesin eske túsireyik.

$$(P + a/V^2) (V - b) = RT.$$

San jaǵınan alganda Van-der-Vaals teńlemesi zattıń suyıq awhalına shın mánisinde onshelli dál kele bermeydi, biraq bul teńlemenı juwıq túrde esaplawlarda

paydalanıwǵa boladı. Mısalı, Van-der-Vaalstıń suwǵa arnalǵan dúzetiwinde $a = 5,47$ am.l²/mol²; 0°C temperaturadaǵı bir gramm molekula suyıq suwdıń kólemi $V_0 = 18 \text{ cm}^3/\text{mol} = 0,018 \text{ l/mol}$ boladı, bunnan

$$P' = a/V^2 = 5,47/0,018^2 \text{ at} = 17000 \text{ at}.$$

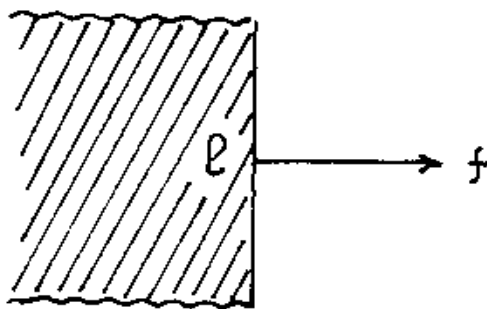
Basqa suyıqlıqlar ushın da ishki basım onlaǵan atm muǵdarındaǵı shama bolıp tabıladı.

§ 7.2. Bet kerim

Suyıqlıqtıń betlik qatlamı basqa qabatlardıǵa túsiretuǵın molekulalıq basımına baylanıslı joqarıdaǵı temada aytıp ótilgeninen basqasha túsindiriw múmkin.

Kólemleri birdey bolǵan denelerdiń ishindegi beti eń kishi bolatuǵını – sferalıq dene esaplanadı. Sonlıqtan suyıqlıqtıń berilgen massası qanday da bir sferalıq emes formadan sferalıq formaǵa ótkende, onıń beti kishireye beredi. Olay bolsa, eger suyıqlıqtıń beti jıyırılıwǵa umılatuǵın kerilgen qabat penen qaplangan dep esaplap, usı qabat suyıqlıqtıń betine qanday tásir etetuǵın bolsa, suyıqlıqtı sferalıq formaǵa keltiretuǵın molekulalıq basım kúshleri de suyıqlıqqa sonday tásir etedi. Molekulalıq basımınń bolıwına baylanıslı qubılıstıń bar ekenligi de usınday kerilgen juqa qabattıń tásirin qarastırıw jolı menen túsindiriwge boladı.

Kerilgen juqa qabattı teńsalmaqlılıq halında uslap turıw ushın suyıqlıqtıń betine urınba baǵıtta onıń shegara sıızıǵına (20-súwret) f kúsh túsiriw kerek, bul kúsh bet kerim kúshi dep ataladı.



20- súwret. Bet kerim kúshi

Juqa qabattıń shegara sıızığı l qansha uzın bolsa, bul kúshke sonsha úlken bolatuǵını óz-ózinen túsınikli:

$$f = \alpha l \quad (7.2.1)$$

Suyıqlıqtıń tábiyatına baylanıslı bolatuǵın α koefficienti bet kerim koefficienti dep ataladı. (7.2.1) formulanı tómendegishe jazıw múmkin:

$$\alpha = \frac{f}{l} \quad (7.2.1^\circ)$$

Solay etip, bet kerim koefficienti α san jaǵınan suyıqlıqtıń betindegi qabattıń bir uzınlıq birligine sáykes keletuǵın kúshke teń. α koefficienti SI sistemasında N/m de ólshenedi.

Hár bir suyıqlıqtıń bet kerim koefficienti temperaturaǵa baylanıslı boladı: temperatura joqarılaǵan sayın ol kemeye beredi.

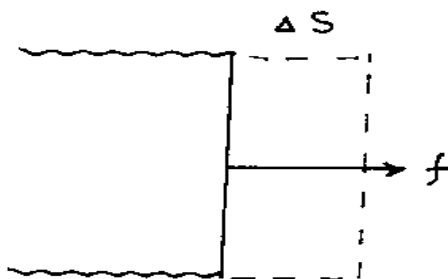
Suyıqlıqtıń temperaturası T_k kritikalıq temperaturaǵa jaqınlaǵan sayın α nolge umtıla beredi. Kritikalıq noqatta suyıq awhalı menen gaz tárizli awhal arasındadı ayırmashılıqtı esapqa alsaq, bul ayılǵan jaǵday túsınikli boladı.

Suyıqlıq betiniń maydanın bazı bir ΔS shamaǵa arttırǵanda orınlanatuǵın jumıstı anıqlaymız. Bunıń ushın f kúshin jumsaq betki qabattıń shegarasın ózine parallel etip ΔS kesindisine jılıtayıq (21-súwret). Sonda islengen jumıs ΔA mınaǵan teń boladı:

$$\Delta A = f \Delta S,$$

Biraq (7.2.1) formulası boyınsha $f = \alpha l$, onda mına formula alınadı:

$$\Delta A = \alpha l \Delta S$$



21-súwret. Suyıqlıq betindegi qabattıń maydanın arttırǵanda orınlanǵan jumıstı anıqlaw

I ΔS kóbeyme betlik qabat maydanınıń ΔS ósimi bolıp esaplanadı. Sonlıqtan tómendegishe boladı:

$$\Delta A = \alpha \Delta S$$

Bul jumıs betlik qabat energiyası ΔE shamaǵa arttırıwǵa jumsaladı, bunnan tómendegi teńlik kelip shıǵadı:

$$\Delta E = \alpha \Delta S \quad (7.2.2)$$

yamasa

$$\alpha = \frac{\Delta E}{\Delta S} \quad (7.2.2^\circ)$$

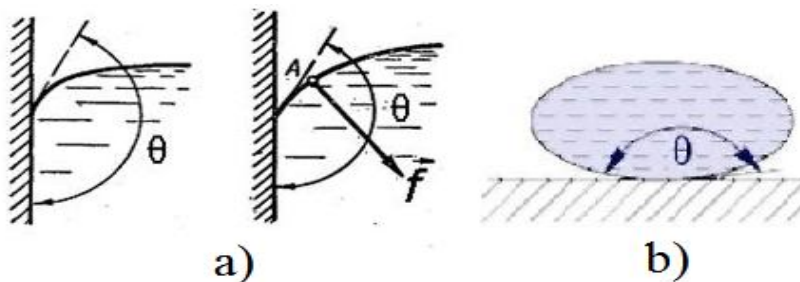
E energiya betlik qabattıń ishki energiyasınıń izotemrikalıq process waqtında jumısqa aylanıwı múmkin bolǵan bólegi bolıp tabıladı. Termodinamikada energiyanıń bul bólegi erkin energiya dep ataladı.

(7.2.2) teńlikten bet kerim koefficientiniń taǵı bir mınanday anıqlaması kelip shıǵadı: Bet kerim koefficienti san jaǵnan alǵanda betlik qabattıń energiyasınıń ózgeriwi menen sol qabattıń maydanınıń ózgeriwiniń qatnasına teń boladı.

§ 7.3. Suyıqlıq penen qattı dene shegarasındaǵı qubılıslar. Kapıllırlıq

Suyıqlıq penen qattı dene bir-birine tiyiskende suyıqlıqtıń molekulalarınıń arasınadǵı óz-ara tásir kúshleri, sonday-aq, suyıqlıq penen qattı dene molekulalarınıń arasındaǵı tásir etiw kúshlerin esapqa alıw kerek.

Bunda eki túrli hal bolıwı múmkin: 1) Suyıqlıq molekulalarınıń óz-ara tásir kúshleri suyıqlıq penen qattı dene molekulaları arasındaǵı óz-ara tásir kúshlerinen artıq; 2) Suyıqlıq molekulalarınıń óz-ara tásir kúshleri suyıqlıq penen qattı dene molekulaları arasındaǵı óz-ara tásir kúshlerinen az boladı.



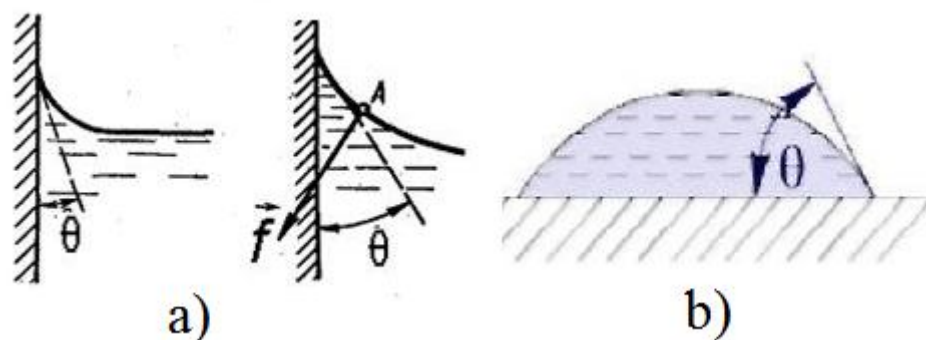
22-súwret. Ígallamaytuǵın suyıqlıqtıń shegaralıq múyeshi

Birinshi halda suyuqliq qatti deneni ıgallamaydı (juqpaydı) dep ayıladı. ıgallamaytuğın halda suyuqliqtıń qatti denegge tiyisip turđan qabatındağı juwmaqlawshı kúsh suyuqliqqa qarata bağıtlangan. Teńsalmaqlılıq halında suyuqliqtıń beti kúshke perpendikulyar bolıp ornalasadı, usıńnıń nátiyjesinde ıgallamaytuğın suyuqliq betiniń vertikal qatti diywalğa jaqın jeri 22-a, súwrette kórsetilgendey bolıp ornalasadı. ıgallamaytuğın suyuqliq tamshısı tegis bet ústinde sopaqlaw sfera tárizli boladı (22- b, súwret). Suyuqliqtıń betine urınba suyuqliq penen qatti deneniń betiniń arasındağı θ múyesh shegaralıq múyesh dep ataladı. Suyuqliq ıgallamaytuğın bolsa shegaralıq múyesh dogal boladı: $\theta \geq \frac{\pi}{2}$. Sonda $\theta = \pi$ bolsa, suyuqliq ulıwma ıgallamaytuğın dep esaplanadı.

Suyuqliq molekularınıń óz-ara tásir kúshleri suyuqliq penen qatti dene molekuları arasındağı óz-ara tásir kúshlerinen az bolsa, bul jağdayda suyuqliq qatti deneni ıgallaydı dep ayıladı. ıgallamaytuğın suyuqliq qatti denegge tiyisip turđan orınlarındağı juwmaqlawshı kúsh qatti denegge qarap bağıtlangan boladı. Bul jağdayda shegaralıq múyesh súyir boladı, yağnıy $\theta < \frac{\pi}{2}$ eger de $\theta = 0$ bolsa, onda suyuqliq qatti deneni tolıq ıgallaydı dep esaplanadı.

22-a, súwrette ıgallaytuđın suyuqliq betiniń vertikal qatti diywal qasında qalay ornalasatuđınlıđı, al 22-b, súwrette ıgallamaytuđın suyuqliqtıń gorizontal tegisliktiń ústindegi tamshınıń jaylasıwı kórsetilgen.

Suyuqliq tolıq ıgallamaytuđın deneniń betine tamızılğan suyuqliqtıń tamshısı deneniń betine jayılp ketedi.

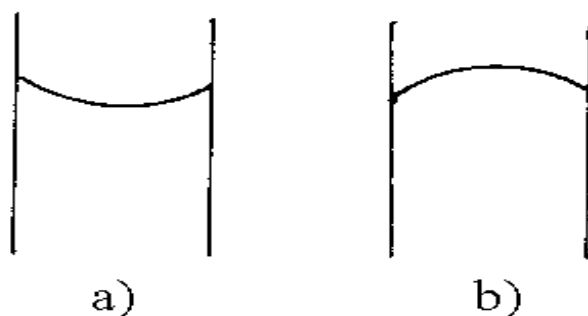


23-súwret. ıgallamaytuđın suyuqliqtıń shegaralıq múyeshi.

Ígallamaytuğın suyıqlıqtıń tamshısı óziniń shamasına qaray birqansha sfera formaǵa iye boladı da, qattı deneniń beti menen ańsat orın almastıra aladı.

Bir suyıqlıq ózi qattı denelerdiń birewin ıǵallasa, basqaların ıǵallamaydı. Mısalı, suw taza keramikaǵa tolıq (juǵatuğın) ıǵallaytuğın bolsa, parapindi ıǵallamaydı. Sınap keramikanı ıǵallamaydı, temirdi ıǵallaydı.

Cilindr tárizli jińishke tútıksheniń ishindegi ıǵallamaytuğın suyıqlıqtıń beti oyıq formada (23-a, súwret), al ıǵallamaytuğın suyıqlıq tıń betiniń forması dóńes boladı (23-b súwret). Suyıqlıq betiniń bunday iyiliwi miniski dep ataladı.

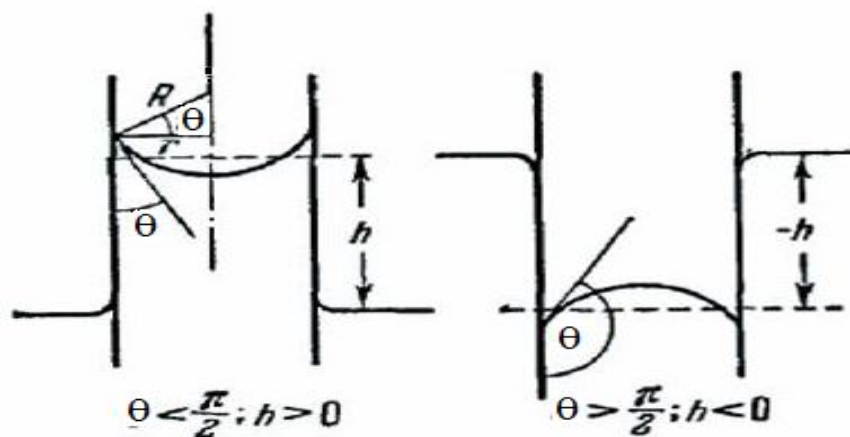


24-súwret. Miniskiniń forması: a) ıǵallaytuğın suyıqlıqtıń; b) ıǵallamaytuğın suyıqlıqtıń miniskisi

Keń ıdısqı quylǵan suyıqlıqtıń ishine bir ushı batırılǵan jińishke tútıkshede bolatuğın qubılıstı kórip óteyik. Suyıqlıq tútıksheniń ishindegi miniski oyıs boladı (24-súwret) hám tútıkshe kese kesimi dóńgelek bolǵanda bul miniski sferanıń bir bólegi bolıp esaplanadı. Suyıqlıq oyıs betiniń astında teris belgidegi basım payda boladı:

$$P = \frac{2\alpha}{R}$$

Bunda R –suyıqlıq betiniń iymeklik radiusı, α – bet kerim koefficienti. Keń ıdıstaǵı suyıqlıqtıń tegis betiniń astında qosımsha basım bolmaǵanlıqtan suyıqlıq tútıkshe boylap suyıqlıq baǵanası P basımına teńleskenshe kóteriledi. Biyikligi h bolǵan suyıqlıq baǵanası ρgh kóbeymesine teń basımdı túsiredi (bunda ρ – suıqlıqlıqtıń tıǵızlıǵı, g – awırılıq kúshiniń tezleniwi).



25-súwret. Kapillyar tútikshedegi ıgallaytuǵın hám ıgallamaytuǵın suyıqlıqtıń biyiklikleri.

Bunan teń salmaqlılıq hal ushın tómendegini jazamız:

$$P = \frac{2\alpha}{R} = \rho gh \quad (7.3.1)$$

Tútiksheniń radiusın r , shegaralıq múyeshin θ dep belgilep alsaq, onda 25-súwretten jaza alamız:

$$R = \frac{r}{\cos \theta},$$

R radiusıtıń bul mánisin (7.3.1) formulaǵa qoyıp, tómendegige iye bolamız:

$$\frac{2\alpha \cos \theta}{r} = \rho gh$$

Bunnan suyıqlıqtıń kóteriliw biyikligin anıqlaymız:

$$h = \frac{2\alpha \cos \theta}{r \rho g} \quad (7.3.2)$$

tútiksheniń diametri $d = 2r$ ekenligin esapqa alsaq

$$h = \frac{4\alpha \cos \theta}{d \rho g} \quad (7.3.2a)$$

(7.3.2) formulada tútiksheniń radiusı r qansha kishi bolsa, suyıqlıq sonsha joqarıǵa kóteriletuǵını kórinedi.

Usınday jıńışke tútiksheler kapillyarlar dep ataladı. Bul latinsha shash capillus degen sózden kelip shıqqan.

Kapillyar tútiksheniń r radiusı turaqlı bolsa, onda bet kerim α koefficientiniń shaması da úlken bolıp, suyıqlıq qansha kóbirek ıgallaytuǵın bolsa (θ shegaralıq múyesh sol quraqım kishi bolsa) hámde suyıqlıqtıń tıǵızlıǵı qanshama az bolsa,

suyıqlıq sonshelli kóberek kóteriledi. Suyıqlıq tolıq ıgallaytuğın bolsa ($\theta = 0$) (7.3.2) formula menen mına túrge keledi:

$$h = \frac{2\alpha}{r\rho g} \quad (7.3.2b)$$

egerde suyıqlıq tútiksheniń materialın ıgallamaytuğın bolsa, onda suyıqlıqtıń tútikshedegi miniskisi dóńes boladı, bul miniskidi payda etetuğın qosımsha basım oń tańbalı boladı hámde suyıqlıqtıń tútikshedegi qáddi ıdıstağı suyıqlıqtıń qáddinen tómen boladı.

Tayanış túsinipler:

Zattıń suyıq halı. Suyıqlıqtıń dúzilisi. Molekulalıq basım. Betkerim. Bet qatlamı energiyası. Ig'allanıw. Iymek sıızıq astındağı basım. Kapıllırlıq. Kapıllırlıqtıń áhmiyeti.

Temaǵa baylanışlı sorawlar

- 1. Zattıń suyıq halın sıpatlap beriń.*
- 2. Suyıqlıqtıń dúzilisin túsindiriń.*
- 3. Molekulalıq basım dep nege aytamız?*
- 4. Betkerim hám bet qatlamı energiyası haqqında qanday túsiniikke iye boldıńız.*
- 5. Ig'allanıwdı túsindirip beriń.*
- 6. Suyıqlıq penen qattı dene shegarasındağı qubılıslardı túsindiriń.*
- 7. Kapıllırlar dep nege ataymız?*
- 8. Kapıllırlıqtıń áhmiyetin túsindiriń.*

VIII BAP. FAZALIQ ÓTIWLER HÁM AYLANIWLAR

§ 8.1. Faza hám fazalıq ótiwler

Faza dep sistemanıń qalǵan bóleginen mexanikalıq jol menen bólip alınǵan fizikalıq jaqtan bir tekli bolǵan makroskopiyalıq sistemańıń bir bólegine aytıladı.

Meyli mısál ushın, bazı bir suw quyılǵan jabıq ıdistaǵı suwdıń ústinde hawa aralas suw puwı bolsın. Bul sistema eki fazalı dep ataladı. Ol eki fazadan turadı: suyıq (suw) hám gaz sıyaqlı (hawa aralasqan suw puwı). Egerde hawa bolmaǵanda da bunday sistema eki fazaǵa iye bolar edi: Suyıq (suw) hám gaz sıyaqlı (suw puwı). Suwǵa bir bólek muz salayıq. Sistema úsh fazalı sistemaǵa aylanadı: qattı faza (muz), suyıq faza (suw) hám gaz tárizli (hawa aralasqan suw puwı)

Suwǵa az muǵdarda spirt qosılsa, fazalar sanı ózgermeydi, sebebi ol suw menen aralasıp fizikalıq jaqtan bir tekli bolǵan syuyıqlıqtı payda etedi. Eger de suwǵa sınap qosılsa, ol suw menen aralaspaydı hám eki suyıq faza payda boladı: Sınap hám suw. Gaz tárizli faza burınǵısınsha birew bolıp, ol hawa aralas suw hám sınap puwı bolıp qala beredi. Suwǵa bir bólek as dúzi salınsa, onda eki túrli qattı fazaǵa iye bolamız: ol muz hám duzdan ibarat boladı. solay etip, sistema bir neshe qattı hám gaz tárizli fazalarǵa iye bolıwı múmkin. Biraq olar bir ǵana gaz tárizli fazaǵa iye bolıp, olar bir-biri menen aralasıp qala beredi.

2. Fazalardı úyreniwde sistemanıń eki yamasa bir neshshe fazada bolıp, teń salmaqlılıqta bolıw máselesi uyreniledi. Buǵan jáne mexanikalıq hám jıllılıq teńsalmaqlılıq ta qosıladı. Jıllılıq teńsalmaqlılıqta sistemanıń barlıq fazalarında bir qıylı temperaturaǵa iye bolıwı zárúr. Al mexanikalıq teńsalmaqlılıqta bolsa sistemanıń fazalar shegaralarındaǵı basımı óz-ara teń bolıwı kerek. Bul tegis bet penen sheralanǵan jaǵdayda orınlı boladı. Ol bet iymek betke iye bolsa, bet kerim kúshiniń tásir etiwinde qátelikke jol qoyıladı. Bunday jaǵdayda suyıqlıq penen suyıqlıq puwı arasında teńsalmaqlılıq paytında basımlardıń ayırması payda boladı:

$$P_2 - P_1 = \delta R,$$

Bunda $R = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ - bettiń ortasha iymekligin kórsetedi. Ótken temada

dáslep fazanıń shegaralıq betlerdiń esapqa almaytuǵın yamasa tegis bet dep qarap yaki júdá kishi iymeklikke iye betler ushın hám uymeklik dárejesin esapqa alatuǵın jaǵdaylardı qarastırǵan edik.

Teńsalmaqlılıqtaǵı sistemanıń basımı hám temperaturaları óz-ara teń bolıwı onıń teńsalmaqlılıqta bolıwın ańlatpaydı, al óz-ara tiyisip turǵan fazalar bir-birine aylanıwı múmkin. Fazalıq ótiwlerde bir faza kóbeyip, ekinshisi kemeyedi yamasa ulıwma joǵalıwı múmkin. Teńsalmaqlılıqtaǵı awhalı sistemanıń barlıq massalarınıń jıyıntıǵı ózgerissiz qalatuǵınıń xarakterleydi. Solay etip, teńsalmaqlılıqta jáne bir shárt orınlanıwı kerek ekenligi fazalardıń bir-birine ótiwde de teńsalmaqlılıq shárti edi.

3. Fazalıq ótiwde zatlardıń agregat halları da xızmet etiwı múmkin. Agregat halları degende qattı, suyıq hám gaz tárizli awhalları túsiniledi. Qattı hám suyıq awhalları túsiniledi. Qattı hám suyıq hallar kondensirlengen hal dep ataladı. Puwlanıw yamasa puw payda etiw bul keń túsini bolıp, ol kondensirlengen awhaldan gaz tárizli halǵa ótiw dep ataladı. Keri ótiw kondensaciya dep ataladı. Qısqa mániste puwlanıw zatlardıń suyıq awhaldan gaz awhalına ótiwi túsiniledi.

§ 8.2. Puwlanıw hám kondensaciya.

Suyıq zat beti ashıq ıdista tursa, onda ol suyıqlıq bóleksheleri birimlep ishıp ketedi, yaǵnıy puw tárizli jaǵdayǵa aylanadı.

Puwǵa aylanıw qubılısı temperatura tańlamaydı, biraq temperatura kóterilgen sayın hár qanday suyıqlıqtıń da puwǵa aylanıw tezligi artadı.

Puwǵa aylanıw qubılısı, burın aytqanımızday, suyıqlıqlardaǵı molekulalardıń energiyası, gazlardaǵı sıyaqlı hár qıylı bolıw sebebinen, yaǵnıy bazı bir T temperatura menen anıqlanatuǵın ortasha energiyadan artıq yamasa kem bolıw sebebinen boladı. Sonlıqtan da hár qanday T temperaturada suyıqlıqta júdá tez qozǵalatuǵın molekulalar boladı, olar suyıqlıqtıń betine jaqınlasqan waqıtta qońsı molekulalardıń tartıwına qaramastan, betlik qabattı buzıp jarıp suyıqlıqtıń sırtına

shıǵadı. Sonlıqtan temperaturası qansha joqarı bolsa, tez qozǵalatuǵın molekulaların sanında sonshellı kóp boladı. Onday bolsa, suyıqlıq sonshellı tezirek puwǵa aylanadı.

Puwǵa aylanıw waqtında suyıqlıq molekulaları qanshelli tez qozǵalatuǵın molekulaları ushıp shıǵadı, sonıń menen olar ózlerin suyıqlıq ishinde uslap turatuǵın molekulaların tartıw kúshlerine qarsı islenetuǵın jumısqa óziniń energiyasınıń bir bólegin jumısaydı. Sonnan keyin suyıqlıqta qalǵan molekulaların ortasha energiyası kemeyedi yaǵnıy suyıqlıq suwıydı.

Puwǵa aylanıw waqtında suyıqlıqtıń temperaturası ózgermesten qalıwı ushın sırttan jıllılıq beriw kerek. Bul jıllılıq puwǵa aylanıw jıllılıǵı dep ataladı. Suyıqlıqqa berilgen bul jıllılıq onıń temperaturasını joqarılatpaydı, ol puwǵa aylanıw waqtında islengen jumısqa jumısaladı.

Menshikli puwǵa aylanıw jıllılıǵı λ dep T temperaturadaǵı suyıqlıqtıń bir ólshew birligine teń massasına, onı sol temperaturada puwǵa aylandırıw ushın, beriletuǵın jıllılıqtıń shamasına ayıladı. Ádette menshikli jıllılıq suyıqlıqtıń bir gramın yamasa bir molgramın puwǵa aylandırıw ushın kerek bolǵan jıllılıq muǵdarı.

Puwǵa aylandırıw jıllılıǵı suyıqlıqtıń temperaturasına baylanıslı: temperetura T_k kritikalıq temperaturaǵa jaqınlasqanda puwǵa aylanıw jıllılıǵı da nolge jaqınlaydı.

Egerde puwǵa aylanıp atırǵan suyıqlıqqa sırttan jıllılıq berilmese, onda ol suwıydı. Temperaturanı tómendetiw usılı usıǵan tiykarlangan: Jıllılıq ótkizbeytuǵın idistaǵı suyıqlıqtı puwǵa aylandırıw arqalı onı bir qansha suwıtıwǵa boladı.

Puw suyıqlıqqa aylanıp kondensaciyalanganda, onıń molekulaları birin-biri tartadı, usınıń nátiyjesinde olardıń tezligi, yaǵnıy kinetikalıq energiyası da artadı. Bul waqıtta suyıqlıqtıń temperaturası kóteriledi: Puwǵa aylanıw waqtında jumısalǵan jıllılıq puw kondensaciyalanganda qaytadan bólinip shıǵadı.

Suyıqlıqtıń toyınǵan puwınıń basımı sırtqı basımǵa teń bolǵanday temperaturaǵa shekem qızdırılǵanda, onıń tek bet tárepi ǵana emes, kóbiksheler payda bolıp, ishki tárepi de puwǵa aylana baslaydı. Suyıqlıqtıń usılayınsha jedel puwǵa aylanıwı qaynaw dep ataladı. Sonıń menen birge qanaw temperatrası oǵan túsip turǵan sırtqı basımǵa da baylanıslı boladı (760 mm Hg) 100°C qa qaynaydı.

Suw tómen basımda tómen temperaturada qaynaydı, al joqarı basımda joqarı temperaturalarda qaynaydı.

Suyıqlıq qaynaǵanda payda bolatuǵın puw kóbiksheleri kóbinese suyıqlıqtıń ishinde hámde ıdıstıń diywallarında jabısıp turatuǵın hawa kóbiksheleri túrinde payda boladı.

Hawa kóbiksheleri qaynawdıń baslanatuǵın orayı bolıp esaplanadı. Hawası joq suyıqlıqtı qattı qızdırıwǵa, yaǵnıy yaki qaynatpay-aq, qaynaw temperaturasını kóteriwge boladı. Eger usınday asa qızǵan suyıqlıqtıń betine hawa kóbikshesi jabısıp, suyıqlıq birden burqıldap qaynaydı. Sonıń menen birge onıń temperaturası qaynaw temperaturasına shekem tómenleydi.

Qattı qızgan suyıqlıq birden buqr etip qaynaytuǵın bolǵanlıqtan, onı boldırmaw ushın, mısalı qaynatılatuǵın suwdıń ishine hawa kóbiksheleri ańsat saqlanatuǵın kapilliyar tútiksheler salınadı. Puwǵa aylanıw jıllılıǵı λ molekular suyıqlıqtıń betindegi qabattı jarıp ushıp shıqqanda orınlanatuǵın A jumısqa jáne suyıq haldan gaz halına onıń menshikli kóleminiń (V_0) ózgeriwine baylanıslı atqarılǵan jumıs A' jumısqa jumısaladı:

$$\lambda = A + A' \quad (8.2.1)$$

Molekulaǵa tartıw kúshi tásir etetuǵın betlik qatlamnıń qalınlıǵı r molekulalıq tásir radiusınıń muǵdarındaǵı shama bolıp tabıladı. Usı molekulalıq tásir etiw radiusınday aralıqtan tásir etetuǵın ortasha kúshti $\bar{f}$ arqalı belgileymiz, sonda bir molekula betlik qabattı jarıp shıqqanda atqarılatuǵın jumıs tómendegishe boladı:

$$\Delta A = \bar{f} \cdot r$$

Suyıqlıqtıń massa birligindegi barlıq molekularardıń atqaratuǵın jumısı tómendegishe anıqlanadı:

$$A = n \Delta A = n \bar{f} \cdot r$$

Bundaǵı n – massa birligindegi molekularardıń sanı, A' jumıs tomendegige teń:

$$A' = P(V_0' - V_0)$$

Bundağı V_0' – puwdıń menshikli kólemi, V_0 – suyıqlıqtıń menshikli kólemi hám P – puwğa aylanıw waqtındağı basım.

A hám A' jumıslarınıń mánislerin (8.2.1) teńlikke aparıp qoyıp, tómendegi teńlikke iye bolamız:

$$\lambda = n \bar{f} \cdot r + (V_0' - V_0) \quad (8.2.2)$$

Bul qatnastan paydalanıp puwğa aylanıw jıllılıǵınıń λ mánisin tikkeley esaplap shıǵarıwǵa bolmaydı, óytkeni $\bar{f}$ penen r belgisiz bolıp qala beredi. Degen menen bul teńleme puwğa aylanıw jıllılıǵı $dt(\lambda)$ sol betkerimdi payda etetuǵın $\bar{f}$ molekulalıq óz-ara tásir kúshiniń shamasına baylanıslı ekenligin kórsetedi. Temperatura kóterilgende $\bar{f}$ kúshte, puwdıń V_0' menshikli kólemi menen suyıqlıqtıń V_0 menshikli kóleminiń ayırmasıda kemeyedi, sonlıqtan (8.2.2) formula boyınsha temperatura kóterilgende puwğa aylanıw jıllılıǵıde (λ) kemeyedi. Temperatura T_k kritikalıq temperaturaǵa jaqınlasqanda molekulalıq tartılıs kúshiniń shamasıda nolge jaqınlasadı jáne sonıń menen birge puwdıń V_0' menshikli kólemi menen suyıqlıqtıń V_0 menshikli kóleminiń ayırması da joǵaladı. Bunnan T temperatura T_k temperaturaǵa umtılganda ($T \rightarrow T_k$) (8.2.2) formula boyınsha puwğa aylanıw jıllılıǵıde nolge umtıladı ($\lambda \rightarrow 0$).

§ 8.3. Hawanıń ıǵallılıǵı

Jer betindegi barlıq suw saqlaǵıshlarınıń betinen suwdıń tınımsız puwlanıwı bolıp turadı. Sonıń ushın da atmosfera quramında suw puwları bar. Atmosferadağı suw puwlarınıń muǵdarın xarakterlew ushın ıǵallıq túsiniǵi kiritiledi.

Hawanıń absolyut ıǵallılıǵı f dep berilgen jaǵdayda 1m^3 kólemge iye hawadağı suw puwınıń massasına aytıladı. Ádette ol SI sistemasında emes, al g/m^3 ańlatıladı:

$$f = \rho_{\text{puw}} (\text{g}/\text{m}^3) \quad (8.3.1)$$

Metrologiyada absoyut ıgallılıq suw puwınıń mm Hg baǵanasında $f - P(\text{mm Hg})$ da kórsetilgen. Suw puwınıń basımı menen de ańlatıladı. Ójere temperaturasında ($t = 300\text{K}$) $P(\text{mmHg}) \approx P(\text{g/m}^3)$

2. Hawanıń salıstırmalı ıgallılıǵı dep berilgen temperaturadaǵı absolyut ıgallılıqtıń sol temperaturadaǵı 1m^3 kólemge iye hawadaǵı toyınǵan suw puwınıń qatnası menen anıqlanadı.

Salıstırmalı ıgallılıqtı hawanıń quramındaǵı suw puwınıń basımınıń sol temperaturadaǵı toyınǵan suw puwınıń basımına qatnası menende anıqlawǵa boladı:

$$r = P / p_t \quad (8.3.2)$$

Ádette $r > 1$ den kishi bolıp, procentlerde ańlatıladı. Eger hawanıń quramında suw puwları bolmasa, onıń absolyut hám salıstırmalı ıgallılıqları nolge teń boladı.

3. Shıq túsiw temperaturası dep aldın ala toyınbaǵan hawadaǵı suw puwınıń temperaturasınıń tomenlewi menen toyınǵan halǵa ótiw temperaturasına aytıladı. Hawanıń temperaturasını bilgen halda shıq túsiw temperaturasını anıqlap, hawanıń ıgallılıǵın anıqlaw múmkin. Onıń ushın hár qıylı temperaturadaǵı toyınǵan suwdıń basımı kórsetilgen kestden paydalanıladı.

Mısalı: Ójeredegi hawanıń temperaturası 20°C , hawanıń slıstırmalı ıgallılıǵı 60% bolsın. Qanday temperaturadan baslap aynadaǵı shiyshe terley bsıladı.

Berilgeni

$$t_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$R = 60\%$$

Tabıw kerek: t_2 .

Sheshimi: Salıstırmalı ıgallılıq $r = P/p_t$, bundaǵı P – hawadaǵı suw puwınıń basımı; p_t – berilgen temperaturadaǵı toyınǵan puwdıń basımı.

Kesteden 20°C daǵı toyınǵan puw basımı $p_t = 17,5 \text{ mm}$ onda $P=p_t$ yamasa $P = 17,5 \cdot 0,6 = 10,5 \text{ mmHg}$.

Puwdın kondensaciyalanıwı sol temperaturadan baslanadı, yaǵnıy málim bir P toyınǵan puw basımına sáykes keledi. Onda kesteden $P=10,5$ mmHg sáykes keletuǵın temperatura $t_2 = 12^\circ\text{C}$ ekenligin tabamız.

§ 8.4. Sublimaciya

Qattı awhaldan gaz tárizli awhalǵa tikkeley otiwi sublimaciya dep ataladı. Qattı haldan suyıq halǵa ótiw eriw, al kerisinshe suyıq haldan qattı halǵa ótiw kristallanıw dep ataladı.

Sublimaciyaǵa tanıs mısallardan muzdın puwǵa aylanıwı bolıp – oǵan qısta juwılǵan materiladın kebiwi misal bola aladı. Basqa misal, keltireyik. Iodtın kristalın shiyshe kolbaǵa salıp, onı gaz gorelkada qızdırsaq, eriw baqlanbaydı. Biraq kolbada iodtın fiolet puwı payda boladı. Nátiyjede onın sublimaciyası alınadı. Al iodtın puwın suwıtsaq onda suwıǵan kolba diywallarında kishkene kristalshalar payda boladı.

Qattı awhaldaǵı zatlar hár qıylı modifikaciyaǵı kristallıq awhalda bolıwı múmkin. Bul qubılıs polimorfizm dep ataladı. Mısalı qattı uglerod grafit yamasa almaz túrinde bolıp olar bir-birinen kristallıq strukturası menen ajıralıp turadı.

Suw qattı muz awhalına ótkende hár qıylı kóriniste boladı. Qattı temirde tórt túrli modifikaciya da bolıwı múmkin. (α - , β - , γ – hám δ – temir). Ayırım suyıqlıqlarda hár qıylı modifikaciyalarda bolıwı múmkin (suyıq kristallar, suyıq geliy I hám II) ler misal boladı. Zatlar temperatura hám basımın ózgerisi nátiyjesinde jeke bir modifikaciyadan ekinshisine ózgeriwi múmkin. Bunday ótiwler fazalıq ótiwler bolıp esaplanadı. Kristallardıń bir modifikaciyadan ekinshisine ótiwi polimorflıq ótiw dep ataladı.

Fazalıq ótiwlerge ápiwayı mısallardan puwlanıw hám kondensaciyanı keltiriw múmkin. Bul mısalda fazalar aralıq teńsalmaqlılıq túsindiriledi. Meyli jabıq ıdısta suw hám onın ústinde puw bar bolsın. ıdıstın kólemi ózgermeli hám temperaturası turaqlı etip uslap turılsın. Zattın molekulası hámme waqıt qozǵalısta bolıp, ol suyıqlıq hám puw shegarasın kesip ótedi. Bul eki fazalar arasında, yaǵnıy suyıqlıq penen puw arasında molekular almasıwı bolıp turadı. Egerde suwıqlıqtan puwǵa puwdan suyıqlıqqa ótiwge qaraǵanda kóbirek molekula ótsin.

Onda suyuqlıq azaya baslaydı, yaǵnıy puwlanıw procesi júzege keledi. Bunda suyuqlıq ústindegi puw toyınbaǵan puw dep ataladı. Eger de kerisinshe puw suyuqlıqqa qarap ótse, puw kondensaciylanıp, siyúqlıqqa aylanadı. Bunday puw toyınǵan puw dep ataladı. Solay etip, suyuqlıqtan qansha sandaǵı molekula puwǵa kelip qosılsa, sonsha sandaǵı molekula kondensaciylanıp suyuqlıqqa kelip qosıladı. Bunday awhalda suyuqlıq penen puw óz-ara dinamikalıq teńsalmaqlılıqta boladı yamasa statikalıq teńsalmaqlılıq bolıp hár bir fazada zattıń ortasha muǵdarı ózgerissiz qaladı.

Bul awhal fazalıq teńsalmaqlılıq bolıp esaplanadı. Ulıwmalastırıp aytqanda, qálegen 1 hám 2 fazalar arasındadı teńsalmaqlılıq statikalıq awhal bolıp, bul jaǵdayda fazalıq ótiwler tolıq toqtaydı hám eki táreptegi fazalıq ótiw hám fazalıq ótiw tez teńlesdi. Bul teńsalmaqlılıq waqtında qarama-qarsı tárepler de bolatuǵın processler birin-biri kompensaciyalaydı. Sol sebepli hár bir fazadaǵı zattıń muǵdarı ózgerissiz qaladı.

§ 8.5. Eriw hám qatıw

1. Eriw dep qattı denelerdiń qattı halınan suyuq halına ótiwine aytıladı. Sirttan energiya beriliwi nátiyjesinde kristallıq reshetka túyinlerinde jaylasqan bólkeshelerdiń amplitudası bargan sayın artıp barıp, kristallıq reshetka dáwirine salıstırarlıq dárejege jetkende kristallıq reshetka buzılıp kristal eriy baslaydı.

2. Eriw belgili bir temperaturada júzege keledi. Bul temperatura t_{er} eriw temperaturası dep ataladı. Kópshilik qattı denelerde sırtqı basımnıń atrıwı menen eriw temperaturası da artadı. Sırtqı basım eriy baslaǵan zattıń bóleksheleriniń teńsalmaqlılıqta bolıw aralıǵın arttırıp, kristallıq reshetkanıń buzılıwına tosqınlıq jasaydı.

3. Eriw waqtında qattı denelerdiń salıstırmalı kóleminiń artıwına (tıǵızlıqtıń kemeiyiwine) alıp keledi. Bul muz hám vismut ushın orınlı emes, sebebi olar erigende salıstırmalı kólemniń kemeyiwine hám tıǵızlıqtıń artıwına alıp keledi. Bul zatlarda sırtqı basım artqanda eriw temperaturası tómeneleydi.

4. Qattı denelerdiń eriw procesinde bir waqıtta dene hám qattı, hám suyuq puw halında boladı.

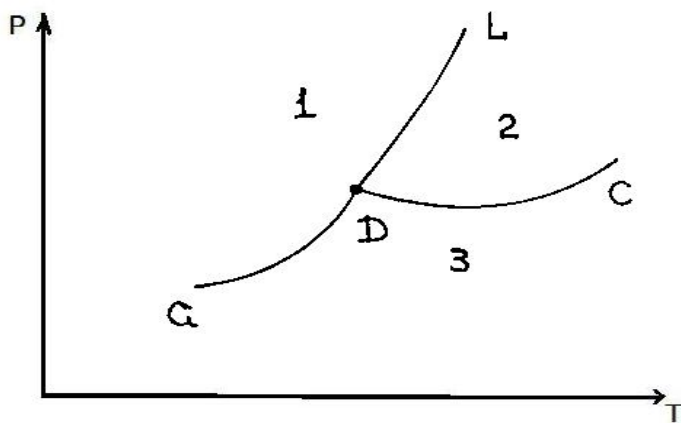
Dene erigen waqıtta onıń eriw temperaturası t_{er} erip bolǵansha ózgerissiz qaladı. Denege berilgen jıllılıq kristallıq reshetkanı buzıwǵa, yaǵnıy sırtqı kúshke qarsı islengen jumısqa jumısaladı. Nátiyjede erigende deneniń ishki energiyası artıp hám molekulalar arılıq óz-ara tásirlesiwdiń potencial energiyası artadı.

5. Bir birlik massadaǵı qattı deneni suyıq halǵa ótkeriw ushın kerek bolǵan jıllılıq muǵadı λ salıstırmalı eriw jıllılıǵı dep ataladı.

6. Zatlardıń suyıq haldan qattı kristallıq halǵa ótiwi kristallanıw dep ataladı. Kristallanıw waqtında suyıqlıq molekulasınıń otırıw waqtı artadı hám onıń tártipli qozǵalısqı kelip, olardıń kristallıq reshetka túyinleriniń terbelisi teńsalmaqlılıq átirapında terbelisine aylanadı. Qálegen ximiyalıq taza suyıqlıqqa kristallanıw procesi turaqlı T_{kr} temperaturada ámelge asadı hám ol eriw t_{er} temperaurasına sáykes keledi. Kristallanıw processı suyıqlıqtıń massa birliginen belgili muǵdarda jıllılıq bólinip shıǵıwı menen payda boladı. Bul jıllılıq salıstırmalı kristallanıw jıllılıǵı dep ataladı – ol salıstırmalı eriw temperaturasına teń boladı.

§ 8.6. Úshlik noqat

Suyıqlıq sıyaqlı qattı deneler de qálegen temperaturada belgili dárejede azlı-kópli puwǵa aylanadı. Suyıqlıqtı jabıq ıdıstıń ishinde suıtayıq. Sonda suyıqlıqtıń ústinde tek onıń toyınǵan puwı ǵana bolsın. Temperatura tómenlegen sayın puwdıń basımı kemeye beredi: Basımınıń temperaturaǵa baylanıslı ózgerisi 26-súwrette CD iymekligi menen kórsetilgen.



26-súwret. Úshlik noqat 1 – qattı faza; 2 – suyıq faza; 3- gaz tárizli faza

D noqatına jetken waqıtta jılılıqtı azayta bersek, suyıqlıq qattı halına óte baslaydı. Sonıń menen birge suyıqlıq qattı halına ótip bolǵansha onıń temperaturası bir turısta turaqlı bolıp qaladı. Usı waqıt ishinde toyınǵan puw basımında ózgermey D noqatınıń ordinatasına teń bolıp turadı. Suyıqlıq basım astında qattı halǵa aylanǵanda da qattı deneniń ústinde buringıday toyınǵan puw boladı.

Qattı deneni jáne de suyıltqanımızda toyınǵan puwdıń basımı da tómeneley baslaydı. Biraq ol bir taza CD iymekligi jáne sol suyıq halda bolǵanda ústindegi toyınǵan puw basımınıń temperaturaǵa baylanıslı ekenligin kórsetetuǵın CD iymekligi bolıp esaplanadı. D noqattıń absciassına sáykes keletuǵın temperaturadan tómene temperaturalarda puw tek qattı dene menen ǵana teńsalmaqlılıqta bola aladı, al bul temperaturadan joqarı temperaturalarda puw tek suyıqlıq penen ǵana teńsalmaqlılıqta bola aladı. D noqatında zattıń barlıq úsh halı – qattı, suyıq hám onıń ústinde toyınǵan puw yamasa basqasha aytqanda, barlıq úsh fazası teńsalmaqlılıqta boladı. Sonlıqtan D noqatı úshlk noqat dep ataladı.

Úshlik noqattıń temperaturası, óziniń toyınǵan puwınıń basımı túsip turǵan zattıń eriw temperaturası bolıp tabıladı. Eger zatqa úlken basım túsirilse, onda onıń eriw temperaturası ózgeredi. Joqarıda ayılǵanıday, denelerdiń kópshiliginde basım artqanda, olardıń eriw temperaturası joqarılaydı.

Eriw temperaturası menen basımınıń arasındaqı baylanıstı kórsetetuǵın iymeklikti sıızıǵa boladı. Bul iymeklik úshlik noqat D arqalı ótedi. 26-súwrette bul iymeklik túrinde kórsetigen. 26-súwret boyınsha basım artqanda deneniń eriw temperaturasınıń artıwın kórsetedi.

Eriw temperaturasınıń basımǵa baylanıslılıǵı júdá tómene bolǵanlıqtan (DL iymekligi tikke joqarı qarap kóteriledi) bul basımınıń shaması (atmosferalıq basım shamasında) eriw temperaturasına dál keledi.

Biziń qolımızda kóbinese temperaturaları ózleriniń úshlik noqatlarınıń temperaturasınan bir qansha tómene bolatuǵın qattı deneler boladı (ójire temperaturasındaqı temir jáne basqa metallar), sonlıqtan olardıń toyınǵan puwlarınıń basımı júdá az boladı da, olar is júzinde qollanılmaıdı dep esaplanadı. Ádette úshlik noqattıń átirapında qattı deneniń ústindegi toyınǵan puwdıń basımın anıq baqlawǵa

boladı. Mısalı suwdıń úshlik noqatındaǵı ($0,00748^{\circ}\text{C}$) toyınǵan puwınıń basımı $P_0 = 48 \text{ mm Hg}$ boladı: -1° temperaturada muzdıń ústindegi toyınǵan puwdıń basımı $4,22 \text{ mm Hg}$, al -10°C da bul basım 1.95 mm Hg boladı. Qattı muzdıń kózge túserliktey bolıp puwǵa aylanıwı (onıń ishinde suwıqta jayılǵan kirdiń kebiwi) toyınǵan puw basımınıń aytarlıqtay kóp bolatuǵını sebebinen boladı. Iodtıń úshlik noqatındaǵı (1140°C) toyınǵan puw basımı 90 mm Hg boladı. Toyınǵan puw basımınıń bul úlken mánisi iod kristalı menen demonstraciya islep, qattı denelerdiń puwǵa aylanıwın ańsat kórsetiw múmkin ekenligin kórsetti.

Kópshilk zatlardıń úshlik noqatında toyınǵan puw onıń basımı júdá tómen boladı. Mısalı, gúmistiń eriw temperaturasındaǵı (962°C) toyınǵan puwınıń basımı barlıǵı bolıp $2 \cdot 10^{-3} \text{ mm Hg}$ ge teń boladı.

§ 8.7. Dyuar ıdısları

Gazlardıń suyıqlıqqa aylanıwın izertlew isleri XIX ásirde alımlar tárepinen úyrenile basladı. Gazlardıń suyıqlıqqa aylanıwı joqarı basım hám suwıtıw arqalı ámelge asırıladı. Sistemanı suwıtıwdıń eń keń tarqalǵan usıllarınan biri onı jıllılıqtan izolyaciyalap, jumıs atqarıwǵa májbúr etiw esaplanadı. Suwıtıwdın bunday usılına sdetander usılı (detander – porshenli ıdı) delinip, bul usıl házirgi zaman tómen temperaturalardı payda etiw texnikasın da jetilisen kórinisinde keń qollanıladı.

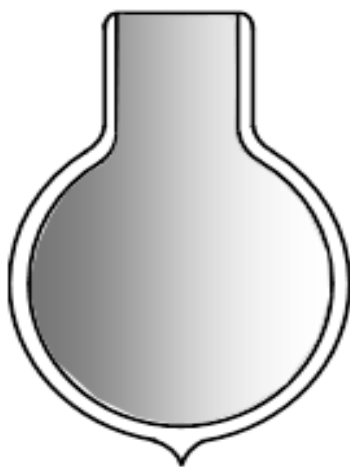
Zattı tómen temperaturalarǵa shekem suwıtıw ushın ádette suyıtılǵan gazlardan paydalanıladı. Eger dene sonday suyıqlıq ishine salınsa, tek qaynaw intensivligi ǵana artıp, suyıqlıq qaynap tawsılǵanǵa shekem onıń temperaturası ózgermey tura beredi.

Kópshilik suyıtılǵan gazlar júdá tómen qaynaw temperaturasına iye. Zattıń kritikalıq temperaturası belgili bolǵannan keyin suyıq azot, kislorod hám basqa gazlarda bul múmkin boldı. Házirgi waqıtta barlıq belgili zatlardı suyıq hám qattı halında alıw múmkinshiligi bar. Kislorodtı birinshi márte 1877 – jılı francuz injeneri L.Kelete suyılttı hám -183°C temrepaturaǵa (kislorodtıń normal basımdı qaynaw temperaturasına) eristi. 1878 – jıldıń basında bolsa, azottı suyılttı (-196°C). Usı jılı shvecariyalıq alım R.Pikte kaskad suwıtıw usılınan paydalanıp, hawanı suyılta aldı

(bir gazdı suyıltıwdan alıńǵan suyıqlıqtan qaynaw temperaturası jáne de tóménirek bolǵan gazdı suyıltıwda isletiw múmkin h.t.b.).

Házirgi waqıtta qısılǵan hawadan kislorod, azot, argon hám basqada gazlardı ajıratıp alıw keń qollanıladı. Onıń ushın qısılǵan hawadan dáslep argon, onnan keyin azot hám sońında kislorod puwlanatuǵınlıǵın esapqa alıw kerek. Hawanıń quramına kırıwshi argon hám basqada inert gazlar jaqtılandırıw texnikasında paydalanıladı. Azot ximiya sanaatında amiaktı sintezlew ushın, al kislorod domna, marten hám konvertor pechlerinde úplew xızmetin atqaradı. Suyıq kislorodtı paydalanıw arqalı shoyın hám polat sanaatın jetilistiriwge boladı. Sonday-aq, kislorod medicinada da paydalanıladı. Kosmosıq raketalardıń janar maylarında suyıq kislorodtıń paydalanılıwı eń jaqsı okislewshi rolin atqaradı. Qısılǵan gazlar (kislorod, azot hám basqa) derlik -200°C temperaturada atmosferalıq basımda boladı.

Absoyut nolge jaqın temperaturada gazlardı suyıltıw isleri inglis alımı J.Dyuar tárepinen ámelge asırıladı. Tómén temperaturanı tek ǵana jaratıp qoymastan, onı sol temperaturada saqlap turıw da áhmiyetli. Suyıq gazlardı saqlaw ushın ol dyuar ıdıısı dep atalatuǵın ıdıstı oylap taptı. Dyuar tipindegi ıdıslarǵa kúndelikli turmısımızda paydalanılatuǵın termostı mısıl etip alıwǵa boladı. Dyuar eki qabatlı (metallı yamasa gúmis reńli shiyshe) diywalınan iabarát bolıp, olar arındaǵı keńisliktegi vakuum esabınan jıllılıq izolyasiyasına erisiledi, (27-súwret) ıdıstıń búnday dúziliske iye bolıwı energiyanıń beriliwin tóménletedi.



27-súwret. Dyuar ıdıısı

Bunday dyuar ıdista suyuq gaz áste aqırın bir keshe kún dawamında puwlanadı, sonlıqtan barlıq waqıtta gaz suyuq halında boladı. 1892 – jılı J.Dyuar tárepinen usınılğan konstrukciya házirgi waqıtqa shekem paydalanılıp kelinbekte. 1898-jılı J.Dyuar qaynaw temperaturası $-252,6^{\circ}\text{C}$ bolğan suyuq vodorodtı aldı. Suyuq geliy onnan da tóménirek qaynaw temperaturasına iye, yaǵnıy $-268,8^{\circ}\text{C}$. Onı birinshi bolıp niderlandiya alımı X.Kamerling Ones aldı.

Tayanış túsiniqler:

Faza hám fazalıq ótiwler. Puwlanıw. Kondensaciya. Hawanıń ıgallılıǵı. Sublimaciya. Eriw hám qatıw. Úshlik noqat. Dyuar ıdısları

Temaǵa baylanışlı sorawlar

- 1. Faza hám fazalıq ótiwlerdi sıpatlap beriń.*
- 2. Puwlanıw dep nege aytamız?.*
- 3. Kondensaciya dep nege aytamız?*
- 4. Hawanıń ıgallılıǵın túsindirip beriń.*
- 5. Sublimaciya processin túsindirip beriń.*
- 6. Eriw hám qatıw qubılısların túsindiriń.*
- 7. Úshlik noqat haqqında qanday túsiniqke iye boldıńız.*
- 8. Dyuar ıdısları dep nege ataymız?*
- 9. Dyuar ıdıslarınıń áhmiyetin túsindiriń.*

IX BAP. HAWANIŇ IGALLILÍGIN ÓLSHEWSHI ÁSBAPLAR

§ 9.1. HawaniŇ igallılıgınıň adam organizmine tásiri

HawaniŇ igallılıgı, belgili dárejede adamniŇ jumıs orınlaw iskerligine tásir qıladı. HawaniŇ salıstırma igallılıgı 75% teň joqarı hám 30% ten kem bolıwı kerek. Joqarı temperatura astında hawa igallılıgınıň artıwı nátiyjesinde organizmniŇ ıssılıq bólip shıǵarıw processı qıyınlasadı, nátiyjede organizm qızadı. Tómen temperatura bolsa igallıqtıń artıp ketiwine baylanıslı organizmde ıssılıq shıǵarıwı tezlesedi, nátiyjede tumaw hám basqa samallaw keselliklerine alıp keliwi múmkin. HawaniŇ salıstırmalı igallılıgınıň tómencelewı nátiyjesinde adam organizminen ajıralıp atırǵan terdiŇ puwlanıwı tezlesedi, nátiyjede adam terisi qurıp qalıwı múmkin.

Hawa quramında gaz tárizli halda suw puwları bar boladı. Bul suw puwlarınıň hawa quramındaǵı tıǵızlıǵı, yaǵnıy 1m^3 hawadaǵı suw puwlarınıň muǵdarı hawaniŇ igallılıǵın bildiredi.

1m^3 hawaniŇ quramında bar bolǵan suw puwlarınıň muǵdarına absolyut igallılıǵı delinedi. Eger Assman psixrometrinde turaqlı hawa tezligi sharayatında temperaturanı ólshesek, absolyut igallılıqtı Shprunge formulası járdeminde g/m^3 –ta tómendegishe anıqlaw múmkin.

$$A=f_n-0,5(t_k-t_h)\cdot P$$

Bunda: f_n -suw puwlarınıň ıǵal termometrler tiykarında alınǵan maksimall basımı mm.sın baǵ.

t_k hám t_h – qurǵaq hám ıǵal termometrler kórsetken mánisler; P -hawaniŇ basımı, mm.sın baǵ.

HawaniŇ salıstırmalı igallılıǵı (φ) dep, absolyut igallılıqtıń qurǵaq termometr kórsetken mániske sáykes haldaǵı suw puwlarınıň maksimal basımına procent esabında anıqlanǵan qatnasına ayıladı, yaǵnıy

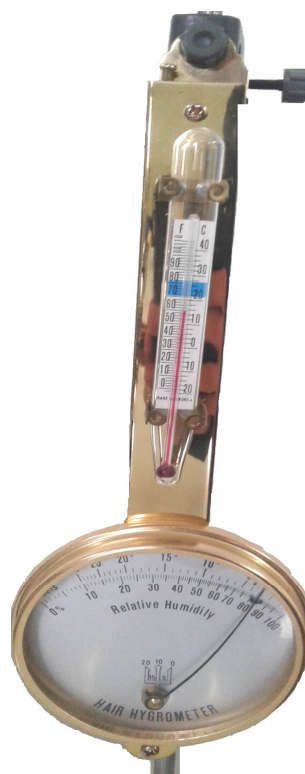
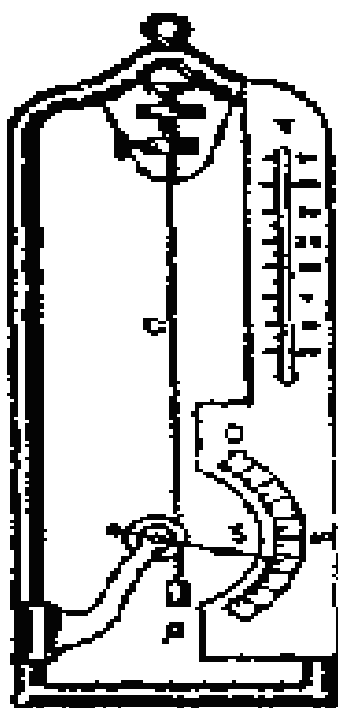
$$\varphi=A/ f_n\cdot 100\%$$

Eger hawa sorıwshı párikli psixrometrden paydalanılǵanda igallılıqtıń absolyut mánisi $A=f_n-0,5(t_k-t_h)\cdot P/760$ formulası arqalı anıqlanadı.

Bunda 760-hawa basımınıň ortasha normativ muǵdarı, mm.sın baǵ.

§ 9.2. Gigrometrler

Hawanıń ıǵallıǵın anıqlaw ushın isletiletuǵın ásbap gigrometr delinedi. Eń ápiwayı gigrometrdiń islew printsipi hawanıń ıǵallıǵı artıwı menen insan shashınıń uzayıwına tiykarlangan. Shashlı gigrometriniń du'zilisi su'wrette kórsetilgen. Shash talshıǵınıń joqarı ushı bekitilip, jen'il blok arqalı aylandırıp ótkizilgen ekinshi ushına júk asılǵ'an. Blokka bekitilgen kórsetkish shash uzınlıǵınıń ózgeriwin bildiredi.(28-súwret).



28-súwret. Shashlı gigrometr

Islep shıǵarıw sanitariyası adamdı uzaq waqıt dawamında den sawlıǵına hám islew qábiliyetin saqlap qalıw ushın jaǵday jaratıp beriwın óz juwapkershiligine aladı. Bunı ámelge asırıw birinshi nawbette adamǵa islep sıǵarıwdaǵı zıyanlı faktorlardıń tásirin joq etiw yamasa ruxsat etilgen normativ dárejege shekem kemeytiriwden ibarat. Islep shıǵarıwdaǵı zıyanlı faktorlardı shártli ráwishte tómendegi úsh tiykarǵı toparǵa bóliwge boladı.

1. Islep shıǵarıwdıń jaǵdayı yaǵnıy metrologiyalıq jaǵdaylardıń qolaysızlıǵı (temperaturanıń belgiden tıs ısıp ketiwi yamasa tómেনlewі, hawa ıǵallılıǵınıń asıp ketkenligi, hawa almasıwınıń tómেনlegenligi hám t.b);

2. Texnologiyalıq processlerge baylanıslı halda hawada kóp muǵdarda shań, puw, gazlerdiń toplanıp qalıwı, shawqım, vibraciya, radioaktiv bólekshelerdiń hám elektromagnit spektrlerdiń barlıǵı;

3. Jumıs islew processinde ayırım bulshıq etlerdiń joqarı dárejede zorıǵıwı.

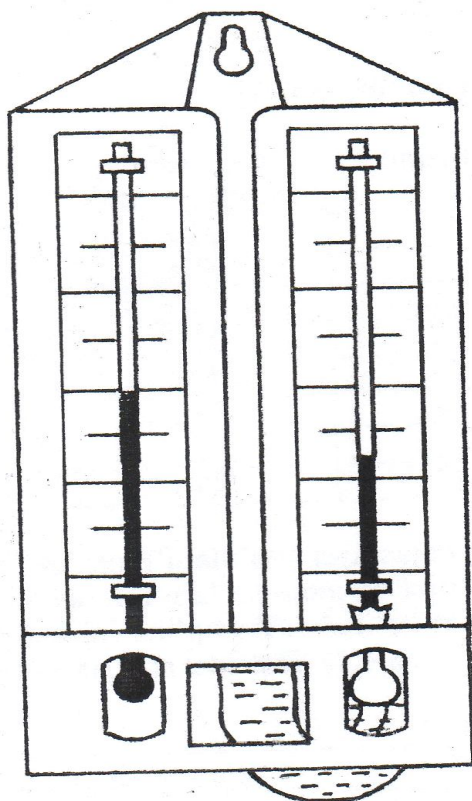
Islep shıǵarıwdaǵı zıyanlı faktorlardıń adamnıń jumıs orınlaw iskerligine tásiiri hár qıylı boladı hám olardı ruxsat etilgen normativ dárejeden awısıwı adamnıń jumıs orınlaw iskerligin birden ózertip jiberiw, sonday-aq kesellik keltirip shıǵarıwı múmkin.

§ 9.3. Avgust psixrometriniń dúzilisi

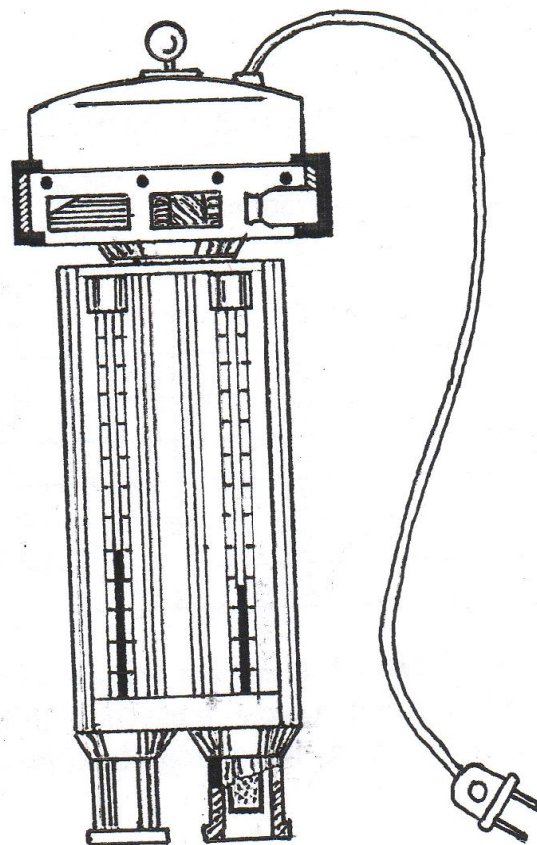
Hawanıń ıǵallıǵın anıǵıraǵ ólshew ushın psixrometr dep atalıwshı ásbaptan paydalanıladı. Usınday ásbaplardan biri Avgust psixrometri bolıp esaplanadı. Avgust psixrometri eki bir túrdegi sınaplı termometrinen ibarat bolıp, olardıń biriniń sınap jaylasqan tómengi ornı qurǵaq halda (qurǵaq termometr), ekinshisi bolsa ızǵar (ıǵal termometr) halda qoyılǵan boladı (29-súwret). ıǵal termometrdiń sınaplı rezervuarı tawar yamasa siylege oralǵan boladı. Ol suwdı jaqsı sińiriwi sebepli stakandaǵı suw tawar arqalı sınaplı rezervuardı hóllep turadı. ıǵal termometrdiń sınaplı rezervuarına oralǵan tawar sırtınan ıǵallılıq puwlanıwı nátiyjesinde ıǵal sınaplı rezervuar shegarasındaǵı hawa qatlamınıń temperaturası páseyedi. Hawa qansha qurǵaq bolsa, ıǵal qurǵaq termometrler kórsetkishleri arasındaǵı ayırma da sonsha úlken boladı. Sol ayırmaǵa tiykarlanıp psixrometr kestesinen hawanıń salıstırmalı ıǵallıǵı anıqlanadı.

ıǵal hám qurǵaq termometrlerdiń kórsetiwleri arasındaǵı parıq temperaturanıń psixrometrlik parqı dep ataladı.

Aspiratsion psixrometr óziniń hawa kanalları hám ventilyatorı barlıǵı menen Avgust psixrometrinen parıq qıladı (30-súwret). Bul psixrometrge ornatılǵan MV-4V ventilyatorı mexanikalıq rawishte, M-34 ventilyatorı bolsa elektr toǵı járdeminde háreketke keltiriledi. MV-1 gigrometriniń islew principi materiallardıń gigroskop qásiyetlerine tiykarlangan. Bunday materiallar (mısalı, insan shashı) ıǵallıq tásirinde uzayadı hám qurǵaq hawada bolsa qısqaradı.



29-súwret. Avgust psixrometri



30-súwret. Assman aspiracion psixrometri

Ígal termometrдің синапlı резервуары таяар ямаса сиылеге оралған болып, оның ушы дистилленген суw салынған стаканға түсиріліп қойылады. Termometrден стаканның жоғары бөліміне шөкөм болған аралық 3-4 см ден кем болмасылығы керек. Ígal termometr сыртнан пуwланып көтеріліп атырған суw оның температурасын төменлетеді. Соның ушын суw қаншөлі пуwланса, яғныy һаваның ығаллығы қаншөлі төмен болса, қурғақ һәм ығал termometrлер көрсөткешіндегі айырмаларда сонша жоғары болады.

Резервуар дөгерөіндегі һава ығаллыққа тоыып алғанша termometr сыртнда пуwланыw һәм резервуардың суwыw дауам ете берөді. Ығаллық termometr капиллярындағы синап қаддының төменлеуи тоқтаған уақытта асыптағы көрсөткөш жазып алынады. Һәр өкі termometr аырықша штативке ямаса ўсти ашық камераға орнатылады. Ылшенетуған ноқатқа psixrometr, оған ыссылық радиациясы тасир етөуи ушын асып қойылады, себеби блар асыбтың һава ығаллығын анық өлшөуе тасир қылыw мүмкін. Асыб көрсөткөшин арадан 10-15 минут өткөнен кейин ыана есапларды баслау керөк.

Salıstırmalı ıǵallıq (%)

3-keste

Qurǵaq hám ıǵal termometr kórsetkishleriniń parqı, °S	Íǵal termometr kórsetkishi, °S											
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0,5	94	94	95	95	95	95	95	95	95	96	96	96
1	89	89	90	90	90	91	91	91	91	91	92	92
1,5	83	84	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88
2	79	80	80	81	81	82	82	83	83	83	84	84
2,5	74	75	75	76	76	77	78	79	79	80	80	81
3	70	71	72	73	74	74	75	75	76	76	77	77
3,5	66	67	67	68	69	70	71	71	72	72	73	74
4	62	63	64	65	66	66	67	68	69	69	70	70
4,5	58	59	60	61	62	63	64	65	65	66	67	68
5	54	55	57	58	59	60	61	62	63	63	64	65
5,5	51	52	53	54	56	57	58	59	60	61	62	63
6	47	49	50	52	53	54	55	56	57	58	59	59
6,5	45	46	48	49	50	50	53	54	55	56	56	58
7	41	43	44	46	47	48	49	51	52	53	53	54
7,5	39	41	42	44	45	46	47	49	50	51	52	52
8	36	37	39	40	42	43	44	46	47	48	49	50
8,5	34	35	37	39	40	41	40	43	44	45	47	47
9	31	33	34	36	37	39	40	41	42	43	44	45
9,5	29	31	32	34	35	37	38	39	40	41	42	44
10	26	28	30	31	33	34	36	37	38	39	40	42

Assman aspiracion psixrometri de sol avgust psixrometrine uqsas qurǵaq hám ıǵal termometrlerden quralǵan. Termometrdiń sınap rezervuarı metall gilzalarǵa jaylastırılǵan bolıp, olar ıssılıq radiysciyasına ótken bolıp, onıń ushlarına aspiracion

ventillyator jaylastırılğan boladı. Ventillyator sınap rezervuarı qasında hawa háreketiniń turaqlı (1m/sek) tezligin támiyinlep turadı. Ígallılıq termometrdiń sırtın distillengen suw menen ıgallap turıw ushın ásbapqa arnawlı pipetka ornatılğan boladı. Ígallangan waqıtta psixrometr vertikal halda uslap turıladı. Solay etip islengende ventillatorğa suw túsiwiniń aldı alınadı.

Ígallıqtı anıqlaw ushın psixrometr tekserilip atırğan noqatqa poldan 1,5 m biyiklikte asıp qoyıladı. Ásbap kórsetken sanlar jaz kúnleri 4-5 minuttan keyin, qısta bolsa 15-20 minuttan soń jazıp alınadı.

Salıstırmalı ıgallıqtı aspiracion psixrometr boyınsha anıqlaw múmkin. Ondağı vertikal baǵana qurǵaq hám ıǵal termometr kórsetkishleriniń parqın, gorizontal baǵana bolsa ıǵal termometr kórsetkishin anıqlaydı. Salıstırmalı ıgallıq (% esabınan) gorizontal hám vertikal sıızıqlar kesiliskeń orında tabıladı. (3-keste). Gigrograflar (M-21, M-21S) bolsa hawanıń salıstırmalı ıgallıǵına málim waqıt aralıǵında ózgeriwin belgilew ushın isletiledi. Termograflardan bir waqıttıń ózinde hawanıń temperaturası hám salıstırmalı ıgallıǵın anıqlawda paydalanıw múmkin.

§ 9.4. Barometr

Ta'jiriybe ushın bir atomlı ideal gazdın' ta'rtipsiz qozǵ'alısın baqlaymız. Molekulalar bir-birleri menen derlik soqlıǵ'ıspaydı, ıdıs diywalları menen soqlıǵ'ısıwların bolsa, absolyut elastik dep esaplaymız. Idıs diywalınan bazıbir ΔS elementar betti ajıratıp alamız ha'm og'an ko'rsetiletug'ın basımdı esaplaymız. Basımnın' tu'siwinde

$$p = \frac{F}{\Delta S} \quad (9.4.1)$$

betke ta'sir etiwshi ku'shti tabıw ushın bet alıp atırǵ'an ku'sh impulsın esaplaymız.

Ha'r bir urılıwda betke perpendikulyar bag'ıtlang'an molekula o'z impulsın to'mendegishe o'zgertedi:

$$m_0 v - (-m_0 v) = 2m_0 v \quad (9.4.2)$$

bul jerde m_0 - molekulanın' massası, v - tezligi.



31-súwret. Barometr-aneroid

Tártipsiz qozǵalısta bolǵan gaz molekulaları ıdıs diywalına urıladı hám júdá kishi waqıt dawamında diywalǵa belgili kúsh penen tásir kórsetedi. Molekulardıń tártipsiz urılıwları nátiyjesinde birlik betke belgili bir basım kórsetiledi. Basımdı ólsheytuǵın ásbaplar barometrler delinedi. Óz wazıypalarına qarap, barometrler túrlishe boladı.

Hawanıń basımı MD-49A, BMM barometrleri hám M-22N, M-22S barografları járdeminde anıqlanadı. Barometrler sınap járdeminde (sınaplı barometrler) yaki mexanikalıq tárizde (barometr-aneroid) islewi múmki (31-súwret).

§ 9.5. Hawanıń hareketleniw tezligin anıqlaw

Hawanıń hareketleniw tezligin anıqlaw ushın anemometrler hám katatermometrlerden paydalanıladı. Anemometrler qanatlı hám kaseli bolıwı múmkin. Bunday anemometrler hawanıń tezligi 9...20 hám 0,5...10m/s bolǵan halatlarda isletiledi.

Anemometrlerdiń tiykarǵı qabıl qılıwshı bólimi keseli yaki qanatlı parreklerden ibarat bolıp, samal tásirinde usı parrekler háreketke keledi. Esaplaw mexanizmi járdeminde bolsa anemometr kórsetkishleriniń (ciferblat) muǵdarı anıqlanadı.

Hawanıń haqıyqiy tezligi anemometr háreketke keltirilgennen soń 1,2 minuttan soń esaplaw mexanizminiń kórsetkishi tiykarında arnawlı grafikten anıqlanadı.



32-súwret. Anemometr

Hawanıń háreket tezligi anemometrler menen ólshenedi. Hawanıń háreket tezligi 0,3 m sekundtan úlken bolsa, ASO-3 túrindegi qanatlı anemometrden, hawanıń háreket tezligi 10 m/s hám onnan úlken bolsa keseli anemometrden paydalanıladı.

Keseli anemometr yarım-sferralarda formasındaǵı tórt kesegede ornatılǵan qas kórinisindegi dóńgelek ten hám cıfralı esaplaw mexanizmi jaylasqan korpustan dúzilgen. Ólshew waqtında dóńgelek kósheri hawa aǵımına perpendikulyar halatta ornatıladı. Keseli anemometrler bekkem bolǵanlıqtan olar hawanıń úlkenirek (1m/s tan 50 m/s qa shekem) tezligin ólshew ushın qollanıladı.

Anemometrler aerodinamikalıq truba ishinde tatirovka etilip, olardıń kórsetkishleri úlgi ásbap penen salıstırıladı. Tatirovka etilip bolǵannan keyin hár bir ásbap pasport hám tatirovkalalaw grafigi menen támiyinlenedi. Hawanıń tezligi usı grafik boyınsha anıqlanadı.

Tayanışh túsiniqler:

Hawanıń ıǵallılıǵı. Absolyut hám salıstırmalı ıǵallılıq. Gigrometr. Avgust psixrometriniń dúzilisi. Barometr. Hawanıń hareketleniwi tezligin anıqlaw. Anemometr.

Temaǵa baylanış sorawlar

- 1. Hawanıń ıǵallılıǵın túsindirip beriń.*
- 2. Hawanıń ıǵallılıǵınıń adam organizmine tásirin túsindirip beriń.*
- 3. Absolyut hám salıstırmalı ıǵallılıqtı túsindirip beriń.*
- 4. Gigrometr dep qanday ásbapqa ayıladı?*
- 5. Islep shıǵarıwdaǵı zıyanlı faktorlardı túsindirip beriń.*
- 6. Avgust psixrometriniń dúzilisin túsindirip beriń.*
- 7. Aspiratsion psixrometr haqqında qanday túsiniqke iye boldıńız.*
- 8. Barometr dep qanday ásbapqa ayıladı?*
- 9. Hawanıń hareketleniwi tezligin túsindirip beriń.*
- 10. Anemometr dep qanday ásbapqa ayıladı?*

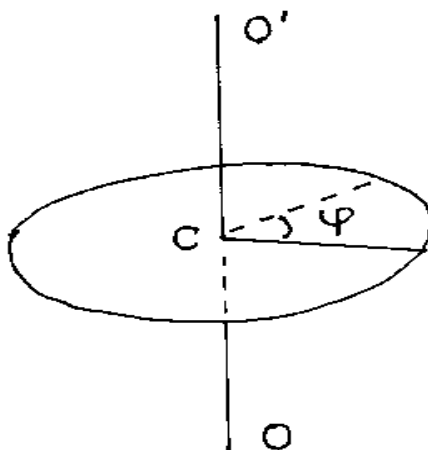
X BAP. JILLILIQTIN KINETIKALIQ TEORIYASI

§ 10.1. Erkinlik dárejesi

Molekulalar qozǵalıstıń hár túrune tiyisli energiyanı esaplaw ushın erkinlik dárejeler sanı haqqında túsiniq kiritiw kerek.

Deneniń erkinlik dárejeler sanı dep onıń keńisliktegi ornın anıqlaw ushın kerek bolatuǵın anıq koordinatalar sanına ayıladı. Mısalı materiallıq noqattıń úsh erkinlik dárejesi bar, óytkeni onıń keńisliktegi ornı úsh koordinata menen, mısalı tuwrı múyeshli koordinatalar sistemasınıń x, y, z koordinataları menen anıqlanadı.

Qattı deneniń keńisliktegi ornın anıqlaw ushın (33-súwret) tómendegiler belgili bolıwı kerek: 1) Onıń C awırlıq orayınıń keńisliktegi ornı; 2) Belgili bir OO' kósheriniń baǵıtı hám 3) qattı deneniń usı kósherge salıstırǵandaǵı burılıw múyeshi



33-súwret. Qattı denede altı erkinlik dárejesi bar

Awırlıq orayınıń ornın anıqlaw ushın x, y, z úsh koordinata alınıwı kerek. OO' kósherdiń keńisliktegi baǵıtın anıqlaw ushın taǵı eki koordinata, mısalı, úsh koordinatalıq úsh kósherdiń ekewiniń jasaytuǵın v hám φ eki múyeshi belgili bolıwı kerek. Sońında deneniń OO' kósherdiń átirapında burılıw múyeshi taǵı bir koordinata menen (33-súwrettegi φ menen) anıqlanadı.

Solay etip qattı deneniń altı erkinlik dárejesi boladı.

Eger deneniń jeke bólekleri bir-birine salıstırǵanda jıljıy hám terbele alatuǵın bolsa, onda bul qozǵalıstı qarastırıw ushın joqarıda ayılǵanlarǵa qósımsha taǵı erkinlik dárejelerin tiykarlaw kerek boladı. Kerisinshe, eger qattı dene qanday da bir sebep penen (mısalı, tolıq simmetriyalı bolǵanlıqtan) belgili bir kósher dógeresinde

aylanbaytuǵın bolsa, onda onıń erkinlik dárejeleri altıdan kem boladı, atap aytqanda erkinlik dárejeleri bul jaǵdayda besew boladı.

Aylanbastan tek ilgerilemeli qozǵalıǵı jasaytuǵın sferanıń úsh erkinlik dárejesi bar materialıq noqat dep qarawǵa boladı.

Gazdıń hár bir molekulasınıń sanı belgili erkinlik dárejesi boladı: Bulardıń úshewi molekulanıń keńisliktegi ilgerilemeli qozǵalıǵına tiyisli boladı.

Gazlardıń molekulayr-kinetikalıq teoriyasınıń súyenetuǵın tiykarǵı boljawı molekulalardıń qozǵalıǵın tolıǵı menen tártipsiz qozǵalıǵı dep esaplaw bolıp tabıladı. Bul tártipsizlik molekulalardıń ilgerilemeli qozǵalıǵına ǵana emes, qalǵan basqa qozǵalıǵlarına (aylanbalı, terbelmeli qozǵalıǵlarına) da tán. Qozǵalıstıń bul túrleriniń hesh qaysısınıń da basqalarınan hesh bir ayırmashılıǵı bolmaydı, sonlıqtan molekulanıń erkinlik dárejeleriniń hár qaysısına sáykes keletuǵın energiya muǵdarı birdey boladı dep esaplaw tábiiy nárse. Bul qaǵıyda energiyanıń erkinlik dárejelerine teń bóliniw qaǵıydası dep ataladı. Usı qaǵıydaǵa súyenip bir erkinlik dárejesine sáykes keletuǵın $\bar{w}_0$ ortasha energiyanı tabıwǵa boladı. Molekulanıń úsh erkinlik dárejesi bar ilgerilemeli qozǵalıǵında T temperaturadaǵı ortasha kinetikalıq energiyası $\bar{w}$ tómendegige teń:

$$\bar{w} = \frac{2}{3} \left(\frac{R}{N} \right) T = \frac{3}{2} kT \quad (10.1.1)$$

Bundaǵı R –gaz turaqlısı, N – Avagardo sanı, $k = \frac{R}{N}$ - Bolcman turaqlısı. Onda (10.1.1) formula boyınsha ortasha kinetikalıq energiya

$$\bar{w} = \frac{3}{2} kT$$

Bunnan bir erkinlik dárejesine sáykes keletuǵın ortasha energiya

$$\bar{w}_0 = \frac{1}{2} kT = \frac{1}{2} \frac{R}{N} T \quad (10.1.2)$$

Gaz birdey molekulalardan quralǵan bolıp jáne olardıń hár biriniń erkinlik dárejesi i bolsın, sonda hár bir molekulǵa (onıń qozǵalıǵınıń barlıq túrlerine) ortasha tómendegi energiya sáykes keledi:

$$\bar{w} = \frac{i}{2} kT + \frac{i}{2} \frac{R}{N} T \quad (10.1.3)$$

$\bar{w}$ - ortasha energiyaniń shaması gazdı quraytuǵın molekulalar sanına kóbeytilse, gazdıń ishki energiyasınıń qorı shıǵadı. Eger ishki energiyanı gazdıń bir gramm-molekulasına qatnasın alatuǵın bolsaq, onda onıń U_0 mánisin tabıw ushın $\bar{w}$ ortasha energiyanı N Avagadro sanına kóbeytemiz:

$$U_0 = \frac{i}{2} RT \quad (10.1.4)$$

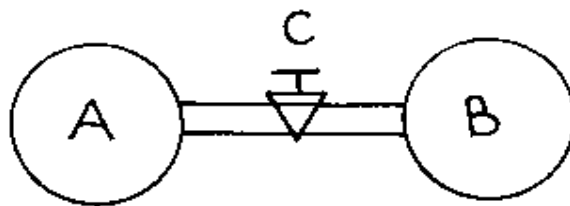
(10.1.4) formuladan gazdıń ishki energiyası molekulalardıń erkinlik dárejesiniń i sanı menen gazdıń T absoyut temperaturası arqalı xarakterlenetuǵının kóremiz. Solay etip, ideal gazdıń berilgen muǵdarınıń ishki energiyası tek onıń T temperaturasına baylanıslı boladı, al onıń kólemine hám basımına baylanıslı bolmaydı. Real gazlarda, joqarıda aytqanıımızday, molekulalar qozǵalıstıń kinetikalıq energiyası menen olardıń potencial energiyasınan ibarat bolǵan tolıq ishki energiya gazdıń iyelep turǵan kólemine baylanıslı boladı. Sonıń menen birge real gazdıń ishki energiyası tek mexanikalıq energiya menen sheklenip qalmaydı.

§ 10.2. Broun qozǵalıstı

Kóplegen baqlawlar nátiyjesinde zatlardıń barlıǵında da úziliksiz ishki qozǵalıstıń bar ekenligi anıqlanǵan. Zatlardaǵı ishki qozǵalıstı zattı quraytuǵın molekulalardıń qozǵalıstı bolıp esaplanadı. Bul qozǵalıstı tártipsiz bolıp hesh waqıtta toqtamaytuǵın qozǵalıstı hám ol tek zattıń temperaturasına ǵana baylanıslı boladı.

Bunday qozǵalıstıń bar ekenligin mınanday tájiriybe arqalı kóriw múmkin (34-súwret). A hám B ıdıslardıń ishinde hár túrli gaz bolsa, onda C kranı ashılǵanda biraz waqıttan keyin ıdıstaǵı gazlardıń aralaspası birdey halǵa kelgenin kóriwimiz múmkin. Bul jerde gazlar ózleri tolıq aralasaadı.

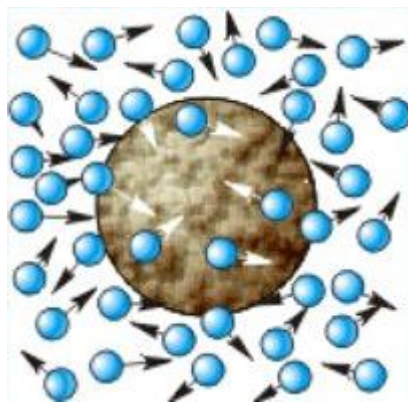
Molekulalardıń tártipsiz qozǵalıstıń bar ekenligi 1827-jılı anglichan botanigi Robert Broun tárepinen ashılǵan. Ol suyıqlıqtıń ishinde júzetuǵın júdá mayda bólekshelerdi mikroskop penen qaralǵanda olardıń toqtawsız tártipsiz qozǵalıstı júretuǵınlıǵın baqlaǵan.



34-súwret. C kranı ashılǵanda A hám B ıdistaǵı gazlar bir-biri menen aralasa baslaydı.

Bólekshe qanshelli kishkene bolsa, ol sonshelli shaqqan qozǵaladı. Broun qozǵalı dep atalatuǵın bul qozǵalı hesh waqıt toqtamaydı, hesh bir sırtqı sebepke baylanıslı bolmaydı, ol zattıń ishki qozǵalı bolıp esaplanadı. Suyıqlıqtıń qozǵalıp júretuǵın molekulaları qanday da bir qattı dene menen soqlıǵıssa, oǵan qozǵalı muǵdarınıń bir bólegin beredi. Eger suyıqlıq ishindegi dene úlken bolsa, onda hár tárepten kelip urılatuǵın molekulardıń sanı da júdá kóp boladı, olardıń urılıwları hár bir waqıt momentinde bir-birin teńlestirip turadı. Bul jaǵdayda suyıqlıqtıń ishindegi mayda dene ornınan qozǵalmaydı (35-súwret).

Biraq dene asa kishi bolsa, onda oǵan bir jaǵınan tiygen soqlıǵısıw, ekinshi jaǵınan tiygen soqlıǵısıwǵa qaraǵanda az boladı, yamasa deneniń bir tárepinen urılatuǵın molekulardıń sanı ekinshi tárepine qaraǵanda kóbirek bolsa, onda usınıń nátiyjesinde dene qozǵalıwı múmkin. Mine Broun bóleksheleri, olarǵa molekulardıń tártipsiz soqlıǵısıwı nátiyjesinde usılayınsha qozǵaladı. Broun bóleksheleriniń ózleri massaları jaǵınan bir molekulaǵa salıstırǵanda milliardlaǵan ese úlken hám olardıń tezlikleri molekulanıń tezliklerine salıstırǵanda kóplegen ese az, biraq usıǵan qaramastan olardıń qozǵalıwın mikroskop penen kóriwge boladı.



35-súwret. Suyıqlıqtaǵı Broun bólekshesi

36-súwrette mikroskop penen qaralǵandaǵı Broun bóleksheleriniń belgili bir waqıt aralıqlarında baqlanǵan orınları kórsetilgen. Gazdın ishindegi júzip júrgen bólekshelerde usınday Broun qozǵalıstı boladı.



36-súwret. Broun bóleksheniń A hám B noqatları arastındaǵı qozǵalıstı.

Solay etip zattın dúzlisi mayda bólekshelerden quralǵan bolıp, olar úzliksiz túrde qozǵalıstı boladı.

Bunnan zattın dúzilisiniń túsindiretuǵın teoriya molekulyar-kinetikalıq teoriya bolıp esaplanadı. Bul teoriyanı birinshi ret M.V.Lomonosov zattın hár túrli agregat halındaǵı qásiyetlerin túsindiriw ushın shıǵarǵan hám onı rawajlanlandırǵan bolıp esaplanadı.

Gauss dekart koordinata sistemasında qozǵalıwshı zat noqattın júdá kóp sekiriwlerden keyin onıń koordinataların anıqlaw itimallıǵın esaplap, bul itimalılıqtın tıǵızlıǵı $F(z)$, z koordinata sistemasında tómendegige teń bolatuǵınlıǵın anıqladı:

$$F(z^2) = Ae^{-az^2}$$

Eger berilgen jaǵdayda waqıya júzege keletuǵın bolsa, bul waqıya isenimli waqıya ekenligin kórsetedi. Bul jerde A hám a lar integrallaw turaqlıları. Bunday itimallıq tıǵızlıǵının bólistiriliwi Gauss bólistiriliwi delinedi. Bul bólistiriw funkciyası arqalı júdá kóplegen ózgeriwshı shamalardıń ózgeriw nızamlılıqları túsindiriledi. Sonın ushın ol úlken áhmiyetke iye. Demek bunnan Gauss bólistiriliw funkciyası, sistemanıń dispersiyasına baylanıslı boladı degen juwmaq kelip shıǵadı. Dispercıya shaması qansha kishi bolsa, onıń grafikte kórsetilgen shaması sonsha tik

boladı hám dispersiya shamasınıń artıwı bul bólistiriw funkciyası sonsha jayıla beredi.

Itimallıq teoriiyası dep, ámelde múmkin be yaki joqpa dep soraw qoyıw múmkin bolǵan hár qanday qubılıslar, waqıyalar yaki halatlarǵa aytıladı. Anaw yaki mınaw waqıya bolıwına sebep bolǵan tájiriybe yaki jaǵdaylar jıynaǵı itimallıq teoriiyasında sınaw dep ataladı. Eger berilgen sharayatta waqıya álbette júzege keletuǵın bolsa, bul waqıya isenimli waqıya dep ataladı. Eger ol ámelge aspaytuǵın bolsa, múmkin bolmaǵan waqıya dep aytıladı. Máselen, bir qaǵazga úshmúyeshlik sızdıq. Bunda onıń hár bir tárepi qalǵan eki tárepiniń jıyındısınan kishi bolmaǵan úshmúyeshlik payda bolıwınan ibarat bolǵan waqıya isenimli waqıya boladı. Táreplerdiń biri qalǵan eki tárepiniń qosındısınan úlken (uzın) bolǵan úshmúyeshliktiń payda bolıwı da ádette múmkin bolmaytuǵın bolsa da, waqıya bolıp esaplanadı. Sınaw nátiyjesinde júzege keliwi múmkin bolǵan, sonday-aq, júzege keliwi múmkin bolmaǵan waqıya tosattan bolǵan waqıya dep ataladı.

§ 10.3. Gazlardıń jıllılıq sıyımlılıǵı

Ishki energiya haqqındaǵı túsinikti paydalanıp, gazlardıń sıyımlılıǵın tabıwǵa boladı.

Bir zattıń c menshikli sıyımlılıǵı dep, usı zattıń bir birlik massadaǵı muǵdarınıń temperaturasını 1° qa kóteriw ushın oǵan beriletuǵın jıllılıq muǵdarına san jaǵınan teń bolatuǵın fizikalıq shamaǵa aytıladı.

Menshikli jıllılıq sıyımlılıǵı menen birge C gram-molekulalıq jıllılıq sıyımlılıǵında qarastıramız. Qandayda bir zattıń C gram-molekulalıq jıllılıq sıyımlılıǵı dep, usı zattıń bir gram-molekulasınıń temperaturasını 1° qa kóteriw ushın oǵan beriletuǵın jıllılıq muǵdarına san jaǵınan teń bolǵan fizikalıq shamaǵa aytıladı. C gram-molekula jıllılıq sıyımlılıǵı menen c menshikli jıllılıq sıyımlılıǵı arasındadı baylanıs tomendegishe boladı:

$$C = \mu c \quad (10.3.1)$$

Bundağı μ – berilgen zattıń molekulalıq salmağı. Gazlardı qarastırǵanıımızda olardı qandayda bir halda qızdırılǵanda, mısalı olar V kólemi turaqlı bolǵanda ma, yaki P basım turaqlı bolǵanda ma, usıǵan itibar beriw kerek.

Gazdı turaqlı V kólemde qızdıratuǵın jaǵdaydı kórip óteyik. Bul halda sırtqı kúshlerdiń jumısı nolge teń boladı. Sol sebepli gazda sırttan berilgen jıllılıq muǵdarı onıń ishki energiyasını arttırıwǵa jumsaladı. Bunnan kólemi turaqlı gazdıń C_v gram-molekulalıq jıllılıq sıyımlılıǵı san jaǵınan bir gram-mol gazdıń temperaturasını 1^0 qa arttırǵandaǵı onıń U_0 ishki energiyasınıń ózgeriwine teń boladı:

$$\Delta U_0 = \frac{i}{2} R(T + 1) - \frac{i}{2} RT = \frac{i}{2} R$$

Gazdıń turaqlı kólemdegi gram-mol jıllılıq sıyımlılıǵı tómendegige teń boladı:

$$C_v = \frac{i}{2} R \quad (10.3.2)$$

(10.3.1) formuladan paydalanıp, menshikli jıllılıq sıyımlılıǵın tabamız:

$$C_v = \frac{i}{2} \frac{R}{\mu} \quad (10.3.2a)$$

(10.3.2) formuladan kólemi turaqlı bolǵan gazdıń gram-mol jıllılıq sıyımlılıǵı onıń molekulalarınıń erkinlik dárejesiniń sanı menen hám gaz turaqlısı menen anıqlanadı eken. Ádette, jıllılıq sıyımlılıǵı denegge beriletuǵın jıllılıq muǵdarı menen kórsetiwge kelisilmegen. Al jıllılıq muǵdarınıń birliǵi kaloriya menen ańlatıladı. Kaloriya (grammkaloriya) degenimiz 1 g taza suwdıń temperaturasını $19,5^{\circ}\text{C}$ dan $20,5^{\circ}\text{C}$ ǵa kóteriw ushın jumsalatuǵın jıllılıq muǵdarına teń.

Jıllılıqtıń beriliwi energiya beriliwiniń bir forması bolıp esaplanganlıqtan hámde usınıń menen birge energiyanıń saqlanıw nızamı boyınsha berilgen jıllılıq muǵdarı ol belgili muǵdardaǵı energiya muǵdarına ekvivalent bolǵanlıqtan, kaloriya menen tek jıllılıq muǵdarı ǵana emes, al energiyanı hámde jumıstıda ólshewge boladı. Bunnan kaloriya menen energiyanıń basqa birlikleriniń arasında san jaǵınan alǵanda qanday baylanıs bar degen soraw kelip shıǵadı. Eń anıq ólshewler $1 \text{ kal} = 4,182 \text{ dj}$ ekenligin kórsetedi, shama menen $1 \text{ kal} = 4,18 \text{ Dj}$ dep esaplaymız.

Kaloriya menen djouldin arasındaǵı usı qatnastan paydalanıp, R gaz turaqlısınıń erg/grad·mol menen alınǵan san mánisin kal/grad·mol san mánisine ańsat ótkeriwge boladı, atap aytqanda

$$R = 8,313 \cdot 10^7 \text{ erg/grad} \cdot \text{mol} = \frac{8,313 \cdot 10^7}{4,182 \cdot 10^7} \cdot \text{kal/grad} \cdot \text{mol} = 1,9858 \text{ kal/grad} \cdot \text{mol}$$

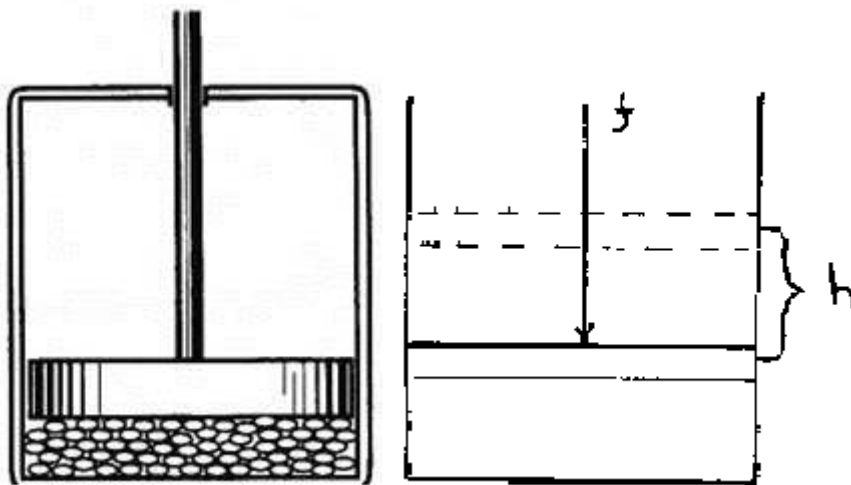
Shama menen $R = 2 \text{ kal/grad} \cdot \text{mol}$ dep alıwǵa boladı. R gaz turaqlısınıń usı mánisinen paydalanılıp (10.3.2) formulası boyınsha gazdın C_v jıllılıq sıyımlılıǵın kal/grad·mol menen kórsetemiz.

Sońında C_v jıllılıq sıyımlılıǵın esaplap shıǵarıw ushın molekulalardıń erkinlik dárejeleriniń i sanı qansha bolatuǵınıń esaplap shıǵarıw kerek. Bunıń ushın gazdın basımı turaqlı bolǵan halındaǵı C_p gramm-mol jıllılıq sıyımlılıǵın keltirip shıǵaramız.

Gazdı turaqlı P basımda qızdırǵanda, oǵan sırttan berilgen jıllılıq muǵdarı onıń ishki energiyasın arttırıp ǵana qoymastan, sırtqı kushti jeńiw ushın A jumıstıń orınlanıwında jumısaladı. Sonıń menen birge C_p jıllılıq sıyımlılıǵı kólemi turaqlı bolǵandaǵı C_v jıllılıq sıyımlılıǵınan, gazdın bir gramm-moliniń T temperaturasın turaqlı basımda 1° qa arttırıwda orınlanatuǵın A jumısınıń shamasına artıq boladı:

$$C_p = C_v + A \quad (10.3.3)$$

Bul A jumıstı esaplap tabıw ushın, temteraturası T hám basımı P bolǵan 1 gramm-mol gaz porsheni bar cilindrdiń ishinde jaylasqan dep esaplayıq (37-súwret).



37-súwret. Gaz atqargan jumıs fh ga teń

Porshendi uslap turǵan sırtqı kush $f = pS$ (bundaǵı S –porshenniń maydanı). Gazdı turaqlı P basımda 1° qa qızdırganda, onıń kólemi artadı hám porshendi h biyiklikke kóteredi, bunda gaz tómendegidey jumıstı orınladı:

$$A = fh = pSh.$$

Al $Sh = \Delta V_0$, bundaǵı ΔV_0 - gaz kóleminiń ósimi. Sonlıqtan:

$$A = p \cdot \Delta V_0 \quad (10.3.4)$$

Ideal gazdıń hal teńlemesinen paydalanıp, gaz kóleminiń ósimin tabayıq. T temperaturada hámde P basımdaǵı gazdıń 1gram-moliniń V_0 kólemi tómendegige teń boladı:

$$V_0 = \frac{R}{P} T$$

$(T + 1)^\circ$ temperaturada hámde sol P basımda sol gazdıń kólemi V_0' tómendegishe boladı:

$$V_0' = \frac{R}{P} (T + 1)$$

Onday bolsa gazdıń 1 gramm-moliniń temperaturası 1° qa artqanda onıń kóleminiń artıwı tómendegige teń boladı:

$$\Delta V_0 = V_0' - V_0 = \frac{R}{P} (T + 1) - \frac{R}{P} T = \frac{R}{P}$$

Kólemniń ΔV_0 ósiminiń mánisin (10.3.4) teńlikke qoyıp, p turaqlı basımda 1gram-mol gazdıń temperaturasını 1° qa arttırıwda atqarılǵan A jumısın tabamız:

$$A = R$$

Solay etip, orınlangan jumıs A san jaǵınan R gaz turaqlısına teń. A jumıstıń usı mánisin (10.3.3) formulaǵa qoyıp, gazdıń turaqlı basımdaǵı c_p 1gram-mol jıllılıq sıyımlılıǵı menen kólem turaqlı bolǵandaǵı C_v 1 gram-mol jıllılıq sıyımlılıǵınıń arasındaǵı baylanıstı tabamız:

$$C_p = C_v + R \quad (10.3.5)$$

Buǵan (10.3.2) formulanı paydalanıp, turaqlı basımdaǵı c_p jıllılıq sıyımlılıǵın gaz molekulalarınń erkinlik dárejeleriniń sanı arqalı ańlatamız:

$$C_p = \frac{i}{2} R + R = \frac{i+2}{2} R \quad (10.3.6)$$

Menshikli jıllılıq sıyımlılıǵı menen 1 gram-mol jıllılıq sıyımlılıǵının arasınadaǵı (10.3.1) qatnastı paydalanıp, tómendegini alamız:

$$c_p = c_v + \frac{R}{\mu} \quad (10.3.5a)$$

yamasa

$$c_p = \frac{i+2}{2} \frac{R}{\mu} \quad (10.3.6a)$$

(10.3.2) menen (10.3.6) yamasa (10.3.2a) menen (10.3.6a) formullarınan tómendegilerdi anıqlaymız:

$$\frac{C_p}{C_v} = \frac{c_p}{c_v} = \frac{i+2}{i} \quad (10.3.7)$$

Basım hám kólem turaqlı bolǵan hallarda jıllılıq sıyımlılıqlarının qatnasların tómendegishe belgileymiz.

$$\frac{C_p}{C_v} = \frac{c_p}{c_v} = \gamma \quad (10.3.8)$$

Bul qatnas gazdı quraytuǵın molekulalardıń erkinlik dárejesiniń sanına ǵana baylanıslı bolatuǵınıń kórsetedi.

§ 10.4. Adiabatalıq process

Adiabatalıq process qorshaǵan ortalıqta jıllılıq almasıwı bolıp ótedi. Demek, ortalıq tolıq izolyaciyalanǵan yaǵnıy jıllılıq almasıwı múmkin emes $dQ = 0$. Bul jaǵdayda termodinamikanıń birinshi nızamı tómendegi kórinsike iye boladı:

$$0 = dU + PdV \quad (10.4.1)$$

Bul ańlatpadaǵı $dU = C_v dT$ hám $P = mRT/V$ ekenligin itibarǵa alıp, (10.4.1) ańlatpanı

$$-mc_v dT = mRTdV/V \quad (10.4.2)$$

dep jazamız. Bul formuladaǵı $R = c_p - c_v$ ekenliginen paydalanıp, (10.4.2) ni tómendegi kóriniske alıp kelemiz.

$$-c_v \frac{dT}{T} = (c_p - c_v) \frac{dV}{V} \text{ teńlemenini integrallaymız}$$

$$\begin{aligned}
- c_v \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} &= (c_p - c_v) \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} \text{ yamasa} \\
- c_v \ln \frac{T_2}{T_1} &= (c_p - c_v) \ln \frac{V_2}{V_1} \text{ bunnan} \\
\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{c_v} &= \frac{V_2}{V_1}^{c_p - c_v} \text{ yamasa} \\
\frac{T_1}{T_2} &= \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\frac{c_p - c_v}{c_v}} \quad (10.4.3)
\end{aligned}$$

Eger gazdın dáslepki basımı P_1 , temperaturası T_1 , kólemi V_1 , al sońǵı basımı P_2 , temperaturası T_2 , kólemi V_2 hám adiabata kórsetkishi $\chi = c_p/c_v$ bolsa, (10.4.3) formuladan paydalanıp, Puasson teńlemesin alamız

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\chi-1} \text{ yamasa } TV^{\chi-1} = \text{const} \quad (10.4.4)$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \text{ yamasa } \frac{PV}{T} = \text{const.}$$

Bul ideal gaz halınıń teńlemesine muwapıq

(10.4.4) formuladaǵı $\frac{V_2}{V_1}$ qatnastı $\frac{P_1 T_2}{P_2 T_1}$ ge almasıp, Puasson formulasın

tómendegishe jazamız

$$\begin{aligned}
\frac{T_1}{T_2} &= \left(\frac{P_1 T_2}{P_2 T_1}\right)^{\chi-1} \quad \text{hám} \quad \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\chi-1}{\chi}} \\
&\text{yamasa} \quad T^\chi P^{1-\chi} = \text{const} \quad (10.4.5)
\end{aligned}$$

(10.4.4) hám (10.4.5) formulalardı teńlestirip,

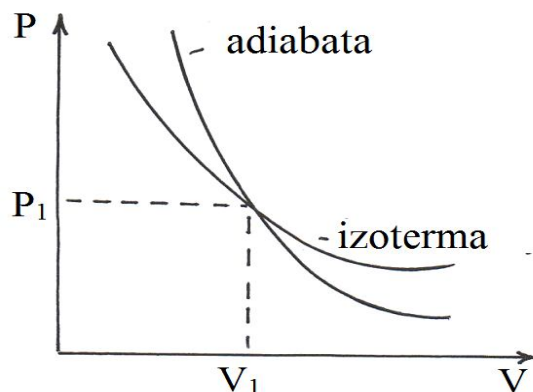
$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^\chi \text{ yamasa } PV^\chi = \text{const} \quad (10.4.6)$$

teńlemelerdi payda etemiz.

$dQ = 0$ shártin eske alıwımız kerek, yaǵnıy tolıq jıllılıq izolyaciyası ámeliyatta orınlana bermeydi. Tek ǵana júdá tez bolıp ótetuǵın processlerde bul shárt haqıyqatlıqqa jaqın boladı.

(10.4.6) teńleme Puasson nızamı yamasa adiabatlıq process teńlemesi delinedi.

P – V diagrammasında adiabata izotermağa qarağanda úlken iymeklikke iye (38-súwet). Adiabatılıq qısılıwda payda bolğan jıllıq, gazdın temperaturasınıń artıwına alıp keledi, bul óz gezeginde basımnıń qosımsha kóbeyiwine sebep boladı.



38-súwret

Ideal gazdın adibatılıq keñeyiwindeki jumısın esaplaw múmkin. Eger A – adiabatılıq processte gazdın orınlağan jumısı, m – gazdın berilgen massası, R – universal gaz turaqlısı, T₁ – gazdın baslanğısh, T₂ aqırğı temperaturası hám $\chi = c_p/c_v$ adiabata kórsetkish bolsa, onda $A = -\Delta U$ hám $\Delta U = c_v m (T_2 - T_1)$ bunnan

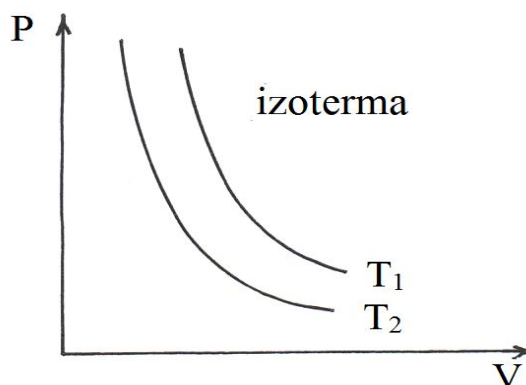
$$A = -c_v m (T_2 - T_1) = c_v m (T_1 - T_2),$$

$$c_v - c_p = R \text{ hám } \chi = c_p/c_v \text{ ekenligin itibarğa alsaq}$$

$$A = R \frac{c_v}{c_p - c_v} m (T_1 - T_2), = R \frac{1}{\chi - 1} m (T_1 - T_2), \text{ bunnan}$$

$$A = \frac{mR}{\chi - 1} (T_1 - T_2) \quad (10.4.7)$$

kelip shıǵadı.



39-súwret

Bul formuladan turaqlı gaz massasındaǵı gazdıń adibatalıq keńeyiwindegi atqarǵan jumısı A temperaturalar ayırması ΔT ǵa baylanıslı bolatuǵınlıǵı kórinedi. Eger $T_2 > T_1$ bolsa (39-súwret), gazdıń keńeyiwi emes, al qısılıwı júzege keledi. Bul jaǵdayda jumıs teris mániske iye, yaǵnıy $A < 0$, demek, gaz jumıs atqarmaydı, al gaz ústinde jumıs atqarıladı.

§ 10.5. Politropiyalıq process

Eger sistema qorshaǵan ortalıq penen jıllılıq almasıwı múmkin bolsa, yaǵnıy $\Delta T = 0$, onda bunday jaǵdayda bolıp ótetuǵın process izotermiaylıq dep ataladı. Eger jıllılıq almasıwı ortalıq penen ámelge asırılmasa, yaǵnıy $\Delta Q = 0$ bolsa, onda process adiabatalıq delinedi. Ámeliyatta bolsa sezilersiz, izotrmıyalıq hám adiabatalıq proceslerdiń aralıǵındaǵı orındı iyeleytuǵın process politropiyalıq delinedi. Bul processte ortalıq penen jıllılıq almasıwı jekke siyrek bolıp ótedi.

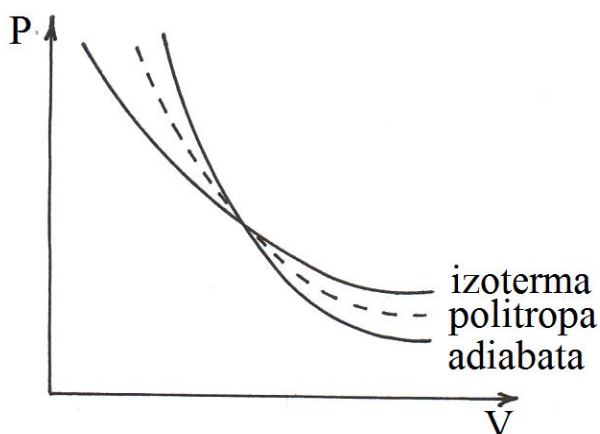
P–V diagrammada polirtopiya, izoterma menen adiabata arasındaǵı orında jaylasadı (40-súwret).

Eger gazdıń basımı P, gaz kólemi V, politropiyalıq kórsetkishi n ge teń bolsa, onda gaz halınıń politropiyalıq ózgeriw nızamı

$$PV^n = \text{const} \quad (10.5.1)$$

kórinisinde boladı. Bunda $1 < n < \chi$.

Izotermiaylıq hám adibatalıq proceslerdi jeke jaǵdayda politropiyalıq dep qarawǵa boladı. ($n = 1$ hám $n = \chi$ jaǵdayda).



40-súwret

Izoxoralıq hám izobaralıq processlerdi de jeke jaǵdayda politropiyalıq process dep qaraw múmkin ($n = \infty$ hám $n = 0$ bolǵanda).

Basqa nızamlardı (10.5.1) formulaniń Puasson teńlemesine hám adiabatlıq process teńlemesiniń ekinshi forması Puasson nızamına uqsaslıǵınan keltirip shıǵarıwǵa boladı.

Eger gazdıń baslanǵısh basımı P_1 , temperaturası T_1 , kólemi V_1 , al sońǵı basımı P_2 , temperaturası T_2 , kólemi V_2 , politropiyha kórsetkishi n , gazdıń politropiyalıq keńeyiwindegi atqarǵan jumısı A , gaz massası m hám gaz turaqlısı R bolsa, onda tómendegi teńlemelerge iye bolamız:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{n-1}, \text{ yamasa } TV^{n-1} = \text{const} \quad (10.5.2)$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{n-1}{n}}, \text{ yamasa } T^n P^{1-n} = \text{const} \quad (10.5.3)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^n, \text{ yamasa } PV^n = \text{const} \quad (10.5.4)$$

Gazdıń politropiyalıq keńeyiwindegi jumıs ańlatpası

$$A = \frac{mR}{n-1}(T_2 - T_1) \quad (10.5.5)$$

kóriniske iye boladı.

Eger $T_2 > T_1$ bolsa, gaz keńeymeydi, al kerisinshe qısıladı. Sonın ushın jumıs teris ($A < 0$), demek gaz jumıs atqarmaydı, al jumıs gaz ústinde ámelge asırıladı.

Joqarıdaǵı formulalardaǵı n niń sanlı mánisi eksperimentler arqalı anıqlanadı.

§ 10.6. Qattı denelerdiń jıllılıq sıyımlılıǵı. Dyulong – Pti nızamı

Qattı deneniń ishiki energiyasınıń jıyıntığı onı quraytuǵın bólekshelerdiń terbelis energiyası menen olardıń potencial energiyasınıń qosındısı bolıp esaplanadı. Kristall reshетки dúziwshi bóleksheler (atomlar yaki ionlar), ulıwma alǵanda bir-biri menen óz-ara baylanıslı, sebebi olardıń arasında belgili bir dárejede óz-ara tásirlesiw kúshleri bar. Sonlıqtan bólekshelerdiń terbelisi de bir-birine baylanıslı boladı. Tutas reshetskada jıyılıqları hár qıylı terbelisler boladı, olardıń energiyalarında esapqa alıw kerek.

Ádette terbelis energiyası úlken bolatuǵın joqarı temperaturalarda bólekshlerdi bir-biri menen baylanıssız dep qarawǵa boladı. Bólekshelerdiń hár biri teńsalmaqlılıq átirapında terbelip turadı. Bólekshelerdiń ortasha terbeliw energiyasın anıqlaw ushın, onda kinetikalıq hám potencial energiyalarınń jıyınıǵı bar ekenligin esapqa alıw kerek. Ortasha esap penen alǵanda bul energiyalardıń shamaları birdey boladı. Solay etip, eger bóleksheniń ortasha kinetikalıq energiyasın $\bar{w}_k$ desek, onda bóleksheniń ortasha energiyasınıń mánisin $w = 2 \bar{w}_k$ ǵa teń boladı.

Kristalldıń keńislik reshetkasınıń hár bir bólekshesi óziniń teńsalmaqlılıǵı átirapında qálegen baǵıtta terbele aladı; Onday bolsa, onıń v tezligin vektorlıq túrde qarastırıw kerek. Bunnan hár bir bólekshe ushın úsh erkinlik dárejesi (i) bar ekenligi kelip shıǵadı. Sonlıqtan bir bóleksheiniń ortasha kinetikalıq energiası

$$\bar{w}_k = \frac{i}{2} kT = \frac{3}{2} kT, \text{ al ortasha energiyasınıń tolıq mánisi:}$$

$$\bar{w} = 2 \bar{w}_k = 3kT$$

boladı.

Qattı deneniń 1 gramm-atomınıń U tolıq ishki energiyasın tabıw ushın bir bóleksheniń ortasha energiyasın 1 gramm-atomdaǵı ǵárezsiz terbeletuǵın bólekshelerdiń sanına kóbeytiw kerek. Ápiwayı ximiyalıq qattı kristall denelerdiń 1 gram-atomındaǵı ǵárezsiz terbeletuǵın bólekshelerdiń sanı Avagadro sanı N menen birdey boladı, sonlıqtan

$$U = \bar{w} \cdot N = 3NkT = 3RT \quad (10.6.1)$$

Bunda R - gaz turaqlısı.

Jıllılıq keneyiw koefficientleri az bolatuǵın qattı denelerdiń turaqlı kólemdegi hámde turaqlı basındaǵı jıllılıq sıyımlılıǵıları is júzinde birdey boladı. Sonda ximiyalıq ápiwayı qattı kristall deneniń san jaǵınan alǵanda ishki energiyanıń temperaturasın 1° qa arttırıw ushın kerek bolatuǵın atomlıq jıllılıq sıyımlılıǵı (10.6.1) formula boyınsha tómедегіshe boladı:

$$C = 3R \quad (10.6.2)$$

Al gaz turaqlısı $R \equiv 2 \text{ kal/grad} \cdot \text{mol}$ bolǵanlıqtan

$$C \equiv 6 \text{ kal/grad} \cdot \text{mol} \quad (10.6.2^0),$$

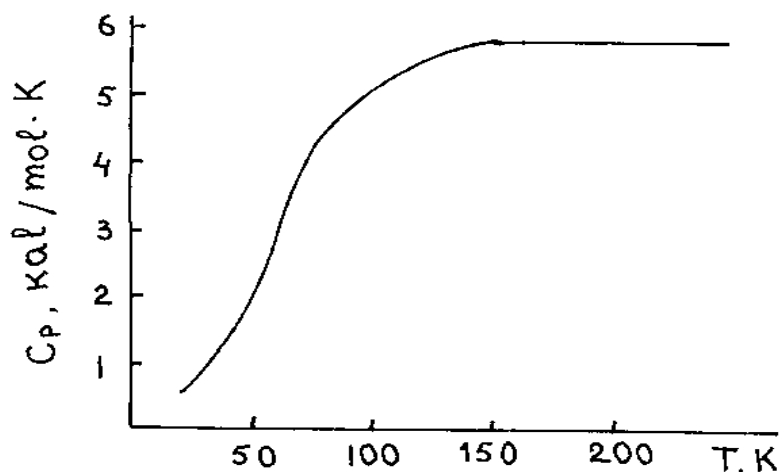
yaǵnıy ximiyalıq ápiwayı qattı kristall denelerdiń barlıǵınıń jeterli dárejedeǵı joqarı temperaturadaǵı atomlıq jıllılıq sıyımlılıǵı 6 kal/grad·mol ǵa teń boladı. Bul juwmaq Dyulong -Pti nızamı dep ataladı.

(10.6.2) hám (10.6.2°) formulalarınan atomlıq jıllılıq sıyımlılıq (yaǵnıy jıllılıq sıyımlılıq gram-atom ushın) qattı deneler ushın bul shama turaqlı bolıp, temperaturadan ǵárezsiz barlıq zatlar ushın birdey mániske iye boladı.

Ayırım zatlarda, mısalı tórt ximiyalıq element – beriliy, bor, kremniy hám almaz ushın jıllılıq sıyımlılıǵı ójire temperaturasında 3R den bir qansha az boladı hám belgili dárejede temperaturaǵa baylanıslı boladı. Temperaturanıń artıwı menen jıllılıq sıyımlılıq bul elementlerde artıp baradı hám 3R ge umtıladı.

Dyulong-Pti nızamınıń awırtıwı basqa jaǵdaylardada bolıwı múmkin.

Ójire temperaturasınan tómén temperaturalarda barlıq zatlardıń jıllılıq sıyımlılıǵı, ójire temperaturasındaǵıǵa salıstırǵanda onıń mánisi absoyut nol temperaturalarda Dyulong-Pti nızamınıń mánisleri kemeyedi. 41-súwrette gúmis ushın C_p turaqlı basımdaǵı jıllılıq sıyımlılıqtıń temperaturaǵa baylanıslılıǵı kórsetilgen.



41-súwret

Solay etip, Dyulong-Pti nızamı 41-súwrette kórsetilgenindey erkinlik dárejeleri boyınsha teńdey bólistiriletuǵının kórsetedi.

§ 10.7. Entropiya hám itimallıq. Termodinamikalıq itimallıq. Plank formulası

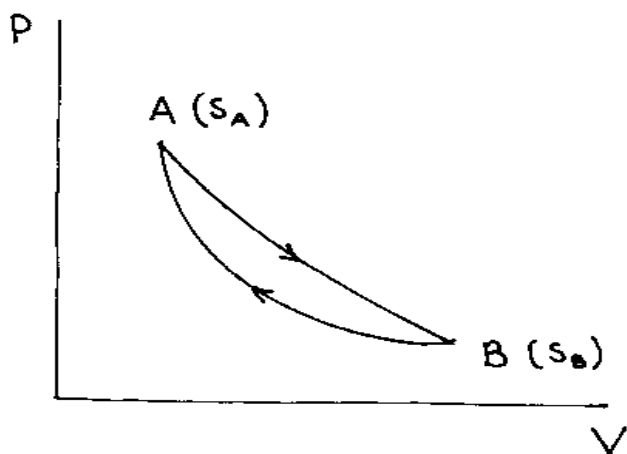
Deneniń halı A dan B ǵa deyin qaytımlı túrde ózgeretuǵın jıllılıq muǵdarınıń qosındısıń kórsetetuǵın tómendegi integral, processtiń bolıp ótetuǵın jolına baylanıslı bolmay, tek deneniń baslapqı hám sońǵı halı menen anıqlanadı:

$$\int_A^B \frac{dQ}{T} \quad (10.7.1)$$

Bunnan mınanday juwmaq shıǵarıwǵa boladı: Qandayda bir S shkalası bar bolıp, ol deneniń halı menen xarakterlenedi hámde A noqatta bul S shamanıń mánisi S_A bolsın, al B noqatında S_B mániske iye bolıp, $S_B - S_A$ ayırması mınaǵan teń boladı:

$$S_B - S_A = \int_A^B \frac{dQ}{T} \quad (10.7.2)$$

yaǵnıy bul ayırma A hám B hallarınıń arasında bolıp ótetuǵın qálegen qaytımlı processte jıllılıqtıń keltirilgen muǵadrlarınıń qosındısına teń boladı.



42-súwret. Qaytımlı tuyıq process orınlanganda entropiya ózgermeydi.

$S_B - S_A$ ayırması hal funkciyası bolıp tabıladı hám qandayda bir fizikalıq shama S tiń ayırmasın anıqlaydı; bul fizikalıq shama entropiya dep ataladı. Jabıq sistemadaǵı processtiń entropiyası artıp baratuǵın baǵıtta júzege keledi. Sistemada júzege keletuǵın processlerdiń barlıǵı qaytımlı bolǵanda menshikli jaǵdayda entropiya ózgermey qaladı.

Termodinamikalıq itimallılıqtı tómendegi mısal arqalı túsindiriw múmkin.

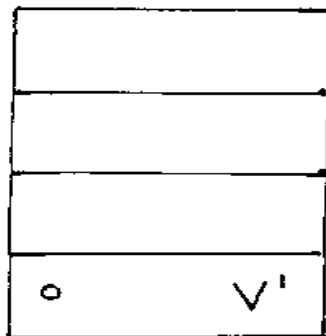
Meyli qanday da bir ıdistağı molekulalar sanın N dep belgilesek hám onı dál ortasınan qandayda bir teń eki bólekke bólip qarasaq, onda ıdistağı bólekshelerdiń ıdıstıń hár bir bóleginde tarqalıwı 2^N túrdegi usılda bolıwı múmkin. ıdista ulıwma N bólekshe bar desek, birinshi yarımında n molekula, al ekinshi yarımında $N - n$ molekula boladı. Egerde bóleksheler teńdey tarqalsa, onda bir bólimindegi molekulalardıń sanı $N/2$ ge teń boladı. Bunday bir tekli bólistiriw teńsalmaqlılıq hal delinedi.

Egerde gaz qandayda bir teńsalmaqsızlıq halında turǵan bolsa, ol waqıttıń ótiwi menen óz-ózinen teńsalmaqlılıq halına ótedi.

Solay etip, sistemanıń hár qaysısıńıń halın tek matematikalıq itimallıq N arqalı ǵana emes, al tómendegi teńlik túrinde de xarakterlew múmkin:

$$w = (V'/V)^N \quad (10.7.3)$$

Bunda, V -ulıwma kólem, V' – bólip alınǵan kólemnen biri



43-súwret

Bul (10.7.3) shama termodinamikalıq itimallılıq dep ataladı. Ulıwma itimallılıq w tan termodinamikalıq itimallılıq bir-birine uqsas bolsa da w háribi menen belgileymiz.

Termodinamikalıq itimallılıq entropiya menen de baylanıslı sebebi, qandayda bir sistema teńsalmaqlılıqqa keliwi entropiyanıń hám termodinamikalıq itimallılıqtıń artıwına alıp keledi.

Bolcman S entropiya menen termodinamikalıq itimallılıq w arasında tómendegishe baylanıstıń bar ekenligin anıqladı:

$$S = k \ln w \quad (10.7.4)$$

Bunda k – Bolcman turaqlısı. Bul (10.7.4) formula Plank (1858-1947) formulası bolıp hám ol fundamental turaqlı $k = R/N$ di kirgizgen.

Tayanış túsinipler:

Erkinlik dárejesi. Broynlıq qozǵalı. Gazlardıń jıllıq sıyımlılıǵı. Adiabatalıq process. Puasson teńlemesi yamasa nızamı. P-V diagrammada adiabata hám izoterma. Gazdıń adiabatalıq keńeyiwdegi jumıs. Politropiyalıq process. P–V diagrammadaǵı politropiya. Gazdıń politropiyalıq keńeyiwinde atqarılǵan jumıs. Qattı denelerdiń jıllıq sıyımlılıǵı. Dyulong – Pti nızamı. Entropiya hám itimallıq. Termodinamikalıq itimallıq. Plank formulası.

Temaǵa baylanışlı sorawlar

1. *Denelerdiń erkinlik dárejeler sanı dep nege ayıladı?*
2. *Ishki energiyanıń erkinlik dárejesi boyınsha bólistiriliw nızamın túsindirip beriń.*
3. *Broynlıq qozǵalı dep nege aytamız?*
4. *Ishki energiya túsiniǵinen paydalanıp, gazlardıń jıllıq sıyımlılıǵın túsindiirip beriń.*
5. *Ideal gazdıń jıllıq sıyımlılıǵı qanday fizikalıq shamalarǵa baylanışlı boladı?*
6. *Adiabatalıq processti túsindirip beriń.*
7. *Puasson teńlemesiniń matematikalıq ańlatpasın túsindiirip beriń.*
8. *Gazdıń adiabatalıq keńeyiwdegi jumıs qanday fizikalıq shamalarǵa baylanışlı ekenligin ayıp beriń.*
9. *Politropiyalıq processti túsindirip beriń.*
10. *Gaz halınıń politropiyalıq ózgeriw nızamınıń matematikalıq ańlatpasın túsindirip beriń.*
11. *Gazdıń politropiyalıq keńeyiwinde atqarılǵan jumıstıń formulasın jazıp kórsetip beriń.*
12. *Qattı denelerdiń jıllıq sıyımlılıǵı nelerge baylanışlı boladı?*
13. *Dyulong – Pti nızamınıń áhimiyetin túsindirip beriń?*

- 14. Entropiya hám termodinamikalıq itimalılıqtı túsindirip berin.*
- 15. Termodinamikalıq itimallılıq dep nege aytamız?*
- 16. Plank formulasın jazıp kórsetin.*

XI BAP. SISTEMA HALLARI

§ 11.1. Statistikalıq fizikanıń tiykarǵı túsiniqleri hám principleri

Júdá kóp bólekshelerden (molekulalar, atomlar, elektronlar)ǵa uqsas denelerden dúzilgen sistema termodinamikalıq makroskopiyalıq sistema delinedi. Fizikanıń klassikalıq mexanika hám kvant mexanikası bólimleri bunday sistemanıń halın hám qásiyetlerin bólekshelerdiń dinamikalıq qozǵalısqı hám olardıń qozǵalısqı tiykarında úyreniledi.

Sistemanıń bunday dinamikalıq mikrohalınıń waqıt boyınsha ózgeriwi bóleksheler kópligi hám olardıń qozǵalısqı sebepli júdá quramalı xarakterge iye. Olardıń dinamikalıq qozǵalısqı praktıkada anıqlaw múmkin emes. Biraq kóp bóleksheden turatuǵın sistemanıń halın anıqlaytuǵın statistikalıq nızamlar da bar, bunı izertlew statistikalıq fizikanıń wazıypasına kiredi. Dinamikalıq makroskopiyalıq hallar menen ajıralatuǵın sistema statistikalıq „ansambl“ dep ataladı. Statistikalıq ansambl elementleriniń halın itimallıq funkciyası shaması menen anıqlanadı.

Solay etip statistikalıq fizikada statistikalıq ansambl elementleriniń mikrohaların yamasa oǵan sáykes parametr shamalarınıń bólistiriw itimallıǵı máselesi qoyıladı.

Statistikalıq fizikanıń tiykarǵı wazıypası mine usı bólistiriwdiń itimallıǵınıń funkciyasına tiykarlanıp makroskopiyalıq sistemanıń fundamental nızamların anıqlaw, túsindiriw, onı xarakterlewshi shamalar arasındaqı tiykarǵı baylanıstı tabıwdan ibarat. Makroskopiyalıq sistemanıń qásiyetlerin táriyiplew, onın shamasın kórsetiwshi findamental nızamlardan paydalanıw zárúr.

Makroskopiyalıq sistemanıń statistikalıq nızamların úyreniwde makrofiziakanıń klassikalıq fizikanıń nızamları yamasa kvant mexanikası nızamlarınan paydalanıwına qarap statistikalıq fizika, klassikalıq fizika yamasa kvant statistikalıq fizika delinedi.

Eger termodinamikaliq sistema teńsalmaqlılıq hallarında bolsa, bunday hallar teńsalmaqlılıq hal, al sistema teńsalmaqsızlıq halında bolsa, teńsalmaqsızlıq halı delinedi hám statistikalıq sistemalar óz aldına bólek úyreniledi. Statsitikalıq fizika bir tárepten, klassikalıq mexanika, ekinshi tárepten kvant mexanikasını metodlarına tayanadı. Onıń matematikalıq metodları tiykarında itimallıq teoriiyası jatadı.

Solay etip, statistikalıq fizika teoriyalıq fizikanıń bir bólegi bolıp, ol deneniń qásiyetlerin bir tárepleme tereńnen úyreniwde, ondağı fizikalıq qásiyetlerdi anıqlawda júdá zárúr.

§ 11.2. Sistema hám onıń halı

Makroskopiyalıq sistema sırtqı sistemalar menen baylanısına qaray otırıp úsh túrge bólinedi. Eger izertlenip atırǵan sistema sırtqı ortalıq penen hesh qanday baylanista bolmasa yaǵnıy olar menen jıllılıq (energiya) hám bóleksheler (massa) almaspaytuǵın bolsa, bunday sistema jeke jabıq sistema delinedi. Denege jabıq sistemanıń energiyasında, massasında ózgermey turaqlı boladı. Eger sistema sırtqı ortalıq penen jıllılıq kontaktinde bolıp onıń energiyasını ózgeritiwi múmkin bolsa, biraq bóleksheler sanı saqlanıp qalsa, onda jabıq sistema dep ataladı.

Egerde sistema sırtqı ortalıq penen energiya almastuǵın bolsa hám bóleksheler sanı ózgeretuǵın bolsa, bunday sistema ashıq sistema delinedi.

Makroskopiyalıq sistemanıń halı onı táriyiplewshi termodinamikaliq shamalar menen anıqlanadı. Egerde sistema teń salmaqlılıqta bolsa, onda onıń termodinamikaliq parametrleri (mısalı: temperatura, basım, tıǵızlıq, bólekshe koncentraciyası) ózgermeydi.

Sistemanıń halın anıqlawshı parametrlar sanı yaǵnıy sistemanıń termodinamikaliq erkinlik dárejeler sanı fazalar qaǵıydası boyınsha anıqlanadı. Erkinlik dárejeler sanı N sistemanı qurawshı komponentler sanı n ge 2 ni qosıp, sistemanıń fazalar sanı r di alıp taslaǵanǵa teń:

$$N = n + 2 - r.$$

Sistemanı teń salmaqlılıq halın anıqlawshı eki túrli parametrler bar bolıp, ol ekstensiv hám intensiv bolıp bólinedi. Mısalı sistemada bólekshelerdiń sanı N hám kólemi V jáne óz-ara tási esapqa alınbasa, energiya E hám S entropiya ekstensiv shama esaplanadı.

Sistemanı xarakterlewshi intensiv shamalarǵa T temperatura, P basım, ρ tıǵızlıq mısıl bola aladı.

Relaksaciya. Sistema belgili bir sırtqı tásir nátiyjesinde teńsalmaqlılıq halına kelgen bolsa, sırtqı tásir toqtaǵannan keyin belgili bir τ waqıt dawamında teńsalmaqlılıq awhalǵa keledi. Bul qubılıs relaksaciya qubılısı delinedi. Al τ waqıt relaksaciya waqtı delinedi.

§ 11.3. Termodinamikalıq shamalardıń fluktuaciyası

Endi kvazijabıq makroskopiyalıq A sistemadaǵı bolıp ótetuǵın fluktuaciyanı kórip ótemiz. A sistema turaqlı temperaturaǵa iye $T_0(T_0 = \langle T \rangle)$, B termostatqa túsirilgen bolsın. Bul jerde fluktuaciya tek ǵana A sistemada bolıp ótedi dep esaplaymız, al termostat tek kvazistatistikalıq processte ǵana qatnasadı. Sistemańıń halatı x shaması menen anıqlanadı, bul shama teńsalmaqlılıq halda nolge teń bolıp, ol sońǵı fluktuaciyalıq halı $x \neq 0$. Meyli x shamasınıń ózgeriwi jetkilikli dárejede ásten bolsın. Sonlıqtan A sistemanıń fluktuaciyası waqtındaǵı teńsalmaqlılıǵı buzılmaıdı. x shamasınıń ózgeriwi menen temodinamikalıq shamalardıń mánisleride ózgeredi, teńsalmaqlılıq waqtındaǵı shamalardıń ózgerisin sáykes túrde termodinamikanıń birinshi hám ekinshi baslamasınıń birlesken teńlemesinen anıqlaw múmkin:

$$dE = - A da + T dS$$

A makrosistemanıń bir haldan ekinshi halǵa ótiw processin (yamasa fluktuaciyasın) sırtqı derektiń jumısı nátiyjesinde otedi dep qaraymız. Bul sırtqı derektiń x shamasın nolden bazı bir mánisine shekem ózgertiw ushın atqarılǵan jumısın $\Delta W(x)$ dep belgileyik. B termostat penen birge A sistemasın birgeliktegi jabıq sistema dep qaraymız. Bul waqıttaǵı $\Delta\sigma$ entropiyanıń tolıq ózgerisi

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma' + \Delta\sigma_0 \quad (11.3.1)$$

Bul jerde $\Delta\sigma'$ A sistemasıń entropiyasınıń ózgeriwi, al $\Delta\sigma_0$ B termostattıń entropiyasınıń ózgerisi. Termodinamikalıq teńsalmaqlılıqtan paydalanıp $\Delta\sigma'$ hám $\Delta\sigma_0$ shamaların anıqlaymız. A sistemasıń entropiyasınıń ózgeriwin anıqlaw ushın fluktuaciya shamasın kórsetiwshi x shamasınıń ózgerisin hám sırtqı derekti esapqa alamız. Onda

$dE = -Ad\alpha + \Theta dS$ teńleme tiykarınanda $\Delta\sigma'$ shamasın tabamız:

$$\Delta\sigma' = \frac{\Delta E' + P_0 \Delta V' - \Delta W}{\theta_0} \quad (11.3.2)$$

Bul jerde Θ_0 hám P_0 lar sáykes sistema menen termostattıń teńsalmaqlılıqtaǵı temperaturası hám basımı, E' hám V' lar sáykes A sistemasıń energiyası hám kólemi, al $P_0 \Delta V'$ shaması termostat ústinen atqarılǵan jumıstı ańlatadı. Onda termostat ushın entropiyanıń ózgeriwi tómendegishe jazıladı

$$\Delta\sigma_0 = \frac{\Delta E_0 + P_0 \Delta V_0}{\theta_0}$$

A sistema hám termostat birgelikte jabıq sistema dep qaraladı, sonlıqtan kólemniń hám energiyanıń saqlanıw nızamları saqlanıp qaladı:

$$\Delta V_0 = -\Delta V' \quad \text{hám} \quad \Delta E_0 = -\Delta E'$$

Nátiyjede (11.3.1) ańlatpadaǵı entropiyanıń ózgeriwi tómendegi túrge iye boladı:

$$\Delta\sigma = -\Delta w(x)/\Theta_0$$

Bul shamanı $w(x)dx = \text{const } e^{\sigma(x)}$ dx teńlemege qoyıp jazamız:

$$w(x)dx = \text{const exp}[-\Delta w(x)/\Theta_0]dx \quad (11.3.3)$$

Bunnan A makrosistemanıń kishi fluktuaciyasınıń itimallıǵı, x shamasın nolden baslap bazı bir mániske shekem ózgeriw ushın atqarılǵan jumısqa teń. Jumıstıń shaması Δw san jaǵınan fluktuaciya shaması menen anıqlanadı.

Endi A sistemasınıń baslapqı hám aqırǵı fluktuaciyalıq halına ótiwi ushın atqarılǵan jumıstı anıqlaymız. Egerde fluktuaciya júdá kishkene bolsa, ótiwdi teńsalmaqlılıqta dep esaplawǵa boladı. Onda (11.3.2) teńlemege sáykes

$$\Delta w = \Delta E' - \Theta_0 \Delta\sigma' + P_0 \Delta V'$$

Bunda $\Delta E'$, $\Delta\sigma'$ hám $\Delta V'$ lar A sistemanıń dáslepki hám aqırǵı halǵa ótiwdegi sáykes túrde ózgerisin xarakterlewshi shamalar. Δw nıń anıq mánisi processtıń qalay ótiwine baylanıslı.

Mısalı fluktuaciyańıń izotermiyalıq haldaǵı kólemin hám izoxoralıq processtege temperaturasını esaplayıq. $\langle\Theta\rangle = \Theta_0 = \text{const}$ waqtındaǵı fluktuatcia kólemin esaplayıq. Bunıń ushın (11.3.2) teńlemeden paydalanamız hám onı túrlendiremiz

$$\Delta w = \Delta(E' - \Theta_0 \sigma') + P_0 \Delta V' \quad (11.3.4)$$

Bundaǵı $E' - \Theta_0 \sigma'$ shaması termodinamikada áhimiyetli rol oynaydı, ol erkin energiya yamasa Gelmgolctıń termodinamikalıq potencialı dep ataladı. A makroskopiyaalıq sistema ushın tómendegishe ańlatıladı:

$$F = E' - \Theta_0 \sigma' \text{ (yamasa } F = E - TS) \quad (11.3.5)$$

Bunda F shamasnıńda $C(C_i = H - TS = E + PV - TS$ Gibbstıń termodinamikalıq potencialı) shamasınıń uqsas funkciya ekenligin kóriwge boladı hám bul arqalı izometriyalıq haldaǵı jumıstı esaplawǵa boladı. (11.3.5) teńlemenı tómendeishe jazıw múmkin:

$$d(E - TS) = dE = -PdV \quad (11.3.6)$$

Bul teńleme izotermiyalıq processtegi erkin energiya menen sáykes jumıs arasındaǵı baylanıstı kórstedı.

Erkin enrgiyanıń differnciyalıń anıqlaymız:

$$dF = \left(\frac{dF}{dV}\right)_T dV \quad (11.3.7)$$

(11.3.6) hám (11.3.7) teńlemelerdi salıstırıp, sistemanıń hal teńlemesin anıqlaymız:

$$P = -\left(\frac{dF}{dV}\right)_T \quad (11.3.8)$$

Solay etip, $F = E - TS$ funkciyasın statistikalıq metod penen esaplay otırıp, (11.3.8) sistemanıń hal teńlemesin tabıwǵa boladı eken.

Endi (11.3.4) teńlemege (11.3.5) ni ákelip qoysaq , tómendegige iye bolamız:

$$\Delta W = \Delta F + P_0 \Delta V \quad (11.3.9)$$

Kólem ΔV nıń azıraq ózgerisi ushın ΔF shamasın ΔV boyınsha qatarǵa jayıp jazıwǵa boladı:

$$\Delta W = P_0 \Delta V + \left(\frac{dF}{dV}\right)_\Theta \Delta V + \frac{1}{2} \left(\frac{d^2 F}{dV^2}\right)_\Theta \Delta V^2 + \dots \quad (11.3.10)$$

(11.3.10) teńlemenı (11.3.8) teńlemege sáykes túrde jazsaq:

$$\Delta W = P_0 \Delta V - P \Delta V - \left(\frac{dF}{dV}\right)_\Theta \frac{\Delta V^2}{2} \quad (11.3.11)$$

Fluktuaciya teńsalmaqlılıq process dep qaralsa, onda

$$P_0 \approx P \text{ hám}$$

$$\Delta W = -\left(\frac{dP}{dV}\right)_\Theta \frac{\Delta V^2}{2} \quad (11.3.12)$$

(11.3.12) teńlemenı (11.3.3) teńlemege aparıp qoyıp, kólemi V , $V+dV$ intervalda jatırǵan sistemanıń itimallıǵın anıqlaymız

$$w(V)dV = \text{const} \exp\left[\left(\frac{dP}{dV}\right)_\theta \frac{\Delta V^2}{2\theta}\right] dV \quad (11.3.13)$$

(11.3.13) teńlemede $\left(\frac{dP}{dV}\right)_\theta$ tuwındı teris bolıwı kerek degen juwmaqqa keliwge boladı. Eger bul shárt orınlanbasa, onda fluktuaciya itimallığı onıń ólsheminiń úlkeyiwi menen kemeyiwshi hám sistema turaqsız awhalda bolǵan bolar edi. Solay etip, bir qıylı haldaǵı zattıń birinshi turaqlı bolıw shárti tómendegi teńsizlikti beredi:

$$\left(\frac{dP}{dV}\right)_\theta < 0 \quad (11.3.14)$$

Eger bul shárt orınlansa, onda (11.3.13) teńlemedegi turaqlı shamalı anıqlawǵa boladı:

$$\text{const} = \left[2\pi\theta / \left|\left(\frac{dP}{dV}\right)_\theta\right|\right]^{-1/2} \quad (11.3.15)$$

Alınǵan shamalardı salıstırıp bólistiriwdi jazsaq, onda

$$w(V)dV = \left[2\pi\theta / \left|\left(\frac{dP}{dV}\right)_\theta\right|\right]^{-1/2} \exp\left[-\left|\left(\frac{dP}{dV}\right)_\theta\right| \frac{\Delta V^2}{2\theta}\right] \quad (11.3.16)$$

Gaus bólistiriliwinen kólemniń fluktuaciyasınıń kvadratın anıqlaymız:

$$\langle (V - \langle V \rangle)^2 \rangle = \langle (\Delta V)^2 \rangle = \theta \left|\left(\frac{dP}{dV}\right)_\theta\right| \quad (11.3.17)$$

(11.3.16) bólistiriw teńlemesine $\langle (\Delta V)^2 \rangle$ tıń mánisin kiritip jıynaqlı túrde tómendegishe jazıwǵa boladı:

$$w(V)dV = \frac{1}{\sqrt{2\pi\langle (\Delta V)^2 \rangle}} \exp\left[-\frac{(V - \langle V \rangle)^2}{2\langle (\Delta V)^2 \rangle}\right] dV \quad (11.3.18)$$

(11.3.17) hám (11.3.18) formulalardan zatlardıń ólshem hám fluktuaciya itimallığı temperatura artıwı menen artadı, sonday-aq, izotermalıq qısılıwdıń artıwı menende $\left(\frac{dP}{dV}\right)_\theta$ tuwındıǵa proporcional túrde artadı.

Endi turaqlı kólemdegi fluktuaciya temperaturasını anıqlawshı bólistiriw itimallıgın anıqlaymız. Bunıń ushın A makrosistemanıń bas temperaturası $T_0 = \langle T \rangle$ dan keyingi T , $T + dT$ temperatura intervalındaǵı sistema ústinen atqarılǵan jumıstı anıqlaymız.

$P_0 \Delta V = 0$ ge teń ekenligin esapqa alıp, (11.3.2) teńlemeden paydalanıp energiyanıń ózgerisin jazamız:

$$\Delta W = \Delta E - \theta_0 \Delta \sigma = \Delta E - T_0 \Delta S$$

ΔS tiń kishi mánisleri ushın ΔE enegiyaniń ózgerislerin qataǵa jayıp hám (11.3.10) teńlemenı esapqa alıp, tómendegeni jazamız:

$$\Delta E = \left(\frac{dE}{dS} \right)_V \Delta S + \frac{1}{2} \left(\frac{d^2 E}{dS^2} \right)_V \Delta S^2 = T_0 \Delta S + \left(\frac{dT}{dS} \right)_V \frac{\Delta S^2}{2}$$

$$\text{Bundaǵı } \Delta S = \left(\frac{dS}{dT} \right)_V \Delta T$$

Onda jumıstıń teńlemesi tómendegi túrge iye boladı:

$$\Delta W = T_0 \Delta S + \left(\frac{dT}{dS} \right)_V \frac{\Delta S^2}{2} - T_0 \Delta S = \left(\frac{dT}{dS} \right)_V \left(\frac{dS}{dT} \right)_V^2 \frac{\Delta T^2}{2} = \left(\frac{dS}{dT} \right)_V \frac{\Delta T^2}{2} = \frac{C_V}{dT_0} \frac{\Delta T^2}{2}$$

(11.3.3) formulanı paydalanıp A makroskopiyalıq sistemanıń temperaturası T , $T+dT$ intervalında fluktuaciya ótiw itimallıgın anıqlaymız:

$$w(T)dT = \text{const} \cdot \exp [-c_V \Delta T^2 / 2kT_0^2] dT \quad (11.3.19)$$

(11.3.19) bólistiriwdi ápiwayılastırıp jazsaq, onda tómendegige iye bolamız:

$$w(T)dT = (c_V / 2\pi k T_0^2)^{1/2} \exp [-c_V (T - \langle T \rangle)^2 / 2kT_0^2] dT \quad (11.3.20)$$

(11.3.20) formula menen Gaus bólistiriliwin salıstıra otırıp, fluktuaciya temperaturasınıń kvadratın tabamız $\langle (\Delta T)^2 \rangle$:

$$\langle (T - \langle T \rangle)^2 \rangle = \frac{T^2}{C_V} \quad (11.3.21)$$

(11.3.20) bólistiriwden ekinshi turaqlı hal shártı kelip shıǵadı: turaqlı kólemde bir qıylı zatlarda jıllılıq sıyımlılıǵı oń shama boladı:

$$C_v > 0 \quad (11.3.22)$$

§ 11.4. Statistikalıq teńsalmaqlılıq

Ápiwayı teńsalmaqlılıq halı makroskopiyalıq sistemaniń teńsalmaqlılıq halı júdá ápiwayı bolıp, onıń sebebi tómendegi juwmaqlarǵa baylanıslı boladı.

1. Teńsalmaqlılıqta turǵan sistemaniń makrohalı waqıtqa baylanıslı emes (flukuacyanı esapqa alganda) hám hámme waqıtta bir neshe makrosistemanı úlken masshtabta kórsetiwshi parametr menen kórsetiw múmkin (Buǵan yaǵnıy makroskopiyalıq parametrge ortasınan bólingen ıdıstıń ishindegi shep tárepinde bóleginde jaylasqan n sandaǵı gaz molekulası mısál bola aladı). Sistema teńsamaqlılıq awhalda bolǵanında, makroskopiyalıq sistemaniń parametrleri flukuaciya nátiyjesinde de júdá az shamaǵa ózgerip, ortasha mánistiń átirapında boladı hám turaqlı qaladı. Sonlıqtan sistemaniń teńsalmaqlılıq halı, makroskopiyalıq parametrleri waqıtqa baylanıslı ózgerip turatuǵın teńsalmaqlılıqsız halına qaraǵanda mıqlı boladı.

2. Egerde flukuaciyanı esapqa almaǵanda, qálegen makrosistemaniń belgili bir jaǵdaylarda bolıwı makrosistemaniń teńsalmaqlılıq halı delinedi.

Solay etip, sistemaniń teńsalmaqlılıqta bolıwı bir tárepleme xarakterlenedi. Ayırım jaǵdaylarda bılay da ayıladı:

a) Makroskopiyalıq sistemaniń teńsalmaqlılıǵı bolıp ótken waqıyaǵa baylanıslı emes. Mısalı, bazı bir ıdısta izolyaciyalangán gaz N sandaǵı molekulaǵa iye bolsın. Dáslepki waqıtta ortadan diywal menen bólingen ıdıstıń bir tárepinde jaylasqan bolsın (basqa jaǵdaydada molekulalardıń energiyası ózgermeydi dep esaplayıq). Biz ıdıstı ekige bólip turǵan diywaldı alıp jibersek, onda teń salmaqlılıqqa kelemen

degenshe, gazdın makrohalı eki jaǵdayda da ıdıstın ishindegi molekuallarǵa kólemi boyınsha teńdey bólistiriledi.

b) Sistemanın teńsalmaqlılıqtaǵı makrohalın bir nesshe mikroskopiyalıq parametrler járdeminde kórsetiw múmkin. Mısal uhın izoyaciyalangan gaz N birdey molekulalardan tursın hám ıdısqı salınsın. Meyli gazdın kólemi V hám molekulalarınıń tolıq energiyası E ge teń bosın.

Eger gaz teńsalmaqlılıq halda bolsa, onda barlıq V kólem boyınsha E tolıq energiya barlıq molekulaǵa teńdey bólistiriledi. Sonlıqtanda V hám E makroskopiyalıq paramtrlerin biliw jetkilikli, molekulalardıń ortasha sanı $\bar{n}_s$, iyelep turǵan V_s kólemi, $\bar{n}_s = N(V_s/V)$ hám bir molekulanıń ortasha energiyası $\bar{\varepsilon}$, ol $\bar{\varepsilon} = E/N$ lerdı anıqlaw múmkin. Egerde gaz teńsalmaqlılıq halında bolmasa, onda onıń halı júdá quramalı boladı. Bul jaǵdayda molekulalar ıdıstın ishinde teńdey bólistirilmegen boladı hám ıdıstaǵı barlıq molekulalar sanı N di bilgenimiz benen molekulalardıń V_s kólemde jaylasqan ortasha $\bar{n}_s$ sanıń anıqlaw ushın jetkilikli bolmaydı.

Tayanış túsinikler:

Makroskopiyalıq sistema. Statistikalıq ansambl. Sistema hám onıń halı. Sistemanın makroskopiyalıq parametrleri. Termodinamikalıq shamalardıń fluktuaciyası. Statistikalıq teńsalmaqlılıq.

Temaǵa baylanış sorawlar

- 1. Makroskopiyalıq sistema dep nege aytıladı?*
- 2. Statistikalıq ansambl dep nege aytamız?*
- 3. Jabıq sistema dep nege aytamız?*
- 4. Sistemanıń halın anıqlawshı parametrlerdi túsindiirip berin.*

5. *Sistemanın makroskopiyalıq parametrlerin túsindirin.*
6. *Ekstensiv shama dep nege aytamız?*
7. *Relaksaciya qubılısı dep nege aytamız?*
8. *Termodinamikalıq shamalardıń fluktuaciyasın túsindiirip berin.*
9. *Statistikalıq teńsalmaqlılıq processin túsindrin.*

Paydalanilgan ádebiyatlar

1. А.К.Кикоин, И.К.Кикоин. «Молекулярная физика» -М.: Издательство «Наука» 1976г. 480 стр
2. С.Э.Фриш, А.В.Тиморева «Жалпы физика курсы» - Алматы. «Мектеп» баспасы 1971. 493 бет.
3. Д.В.Сивухин. «Общий курс физики» том II Термодинамика и молекулярная физика. М.: Издательство «Наука» 1975. 552 стр.
4. Е.М.Гершензон, Н.Н.Малов, А.Н.Мансуров. «Молекулярная физика»- М.: “Academa” 2000. 260 стр.
5. Рымкеевич «Курс физики» -М.: Издательство «Высшая школа» 1975. 464 стр.
6. Ф.Рейф. «Статистическая физика» - М.: Издательство «Наука» 1986. 336 стр.
7. А.Д.Степухович, В.А.Улицкий. Лекции по статистической физике, Москва «Высшая школа» 1978г 149стр.
8. О.Ахmadjonov. Fizika kursi. I-tom. Mexanika va molekulyar fizika. Toshkent, “Óqituvchi” 1987. 254 bet.
9. U.K.Nazarov, X.Z.Ikromov va K.A.Tursunmetov. Umumiy fizika kursi. Mexanika va molekulyar fizika. Toshkent, Ózbekiston. 1992, 279 bet.
10. Nómonxujaev A.S. Fizika kursi. 1-qism. “Mexanika, statistik fizika, termodinamika”. Toshkent : “ Óqituvchi”, 1992. 208 bet.

MAZMUNI

Algı sóz.....	3
I BAP. IDEAL GAZLARDIŇ MOLEKULA-KINETIKALIQ TEORIYASI	4
§ 1.1 Zatlardıń dúzilisi haqqındaǵı molekulyar-kinetikalıq kóz qaraslardıń rawajlanıwı. Molekulanıń xarakteristikaları. Molekula o'lsheıi.	4
§ 1.2 Temperatura hám termodinamikalıq teńsalmaqlıq	7
§ 1.3. Ideal gaz. Molekulyar – kinetikalıq teoriyanıń tiykargı teńlemesi.....	9
§ 1.4. Ideal gaz hal teńlemesi. Ideal gaz nızamları.....	17
Boyl-Mariott nızamı	18
Gey-Lyussak nızamı	19
Dalton nızamı	22
Avagardo nızamı.	22
§ 1.5. Ideal gaz halınıń teńlemesi	23
II BAP. TERMODINAMIKA ELEMENTLERI	27
§ 2.1. Termodinamika tiykarları. Zatlardıń molekulyar-kinetikalıq teoriyası	27
§ 2.2. Termodinamika nızamları.....	29
§ 2.3. Jıllılıqtıń mexanikalıq jumısqa aylanıwı. Cikllık processler hám cikl jumısı. Termodinamikanın ekinshi bas nızamı.	32
§ 2.4. Karnonıń ideal jıllılıq mashinası. Karno cikliniń paydalı jumıs koefficienti. 38	
§ 2.5. Klauzius teńsizligi. Entropiya. Entropiya hám itimallıq. Entropiya hám tártipsizlik	42
III BAP. BÓLISTIRIW FUNKCIYALARI	46
§ 3.1 Termodinamikalıq funkciyalar.....	46
§ 3.2. Entropiya, entalpiya, erkin energiya	51
§ 3.3. Maksvell bólistriliwi.....	53
§ 3.4. Klapeyron-Klauzius teńlemesi. Toyınǵan suw puwı basımınıń temperaturaǵa baylanısı	55
IV BAP. STATISTIKALIQ USIL.....	61
§ 4.1 Itimallar teoriyasınıń elementleri. Ortasha shamalardı anıqlaw. Fluktuaciya hám dispersiya. Bólistiriw funkciyası.....	61
§ 4.2. Makroskopiyalıq hám mikroskopiyalıq sistemalar hám olardıń túrleri.....	64

§ 4.3. Gibbs bólistiriliwi. Mikrokanonikalıq, kanonikalıq hám úlken kanonikalıq bólistiriw funkciyalarınń kórinisleri	69
V BAP. GAZLARDA KÓSHIW PROCESSLERINIŇ ELEMENTAR KINETIKALIQ TEORIYASI	74
§ 5.1. Diffuziya qubılısı.....	74
§ 5.2. Jıllılıq ótkizgishlik. Jıllılıq ótkizgishlik koefficientin anıqlaw	79
VI BAP. REAL GAZLAR	85
§ 6.1. Real gazlar. Van – der –Vaals teńlemesi.....	85
§ 6.2. Gazlardıń qásiyetleriniń ideallıqtan awırtıwı.....	85
§ 6.3. Van-der-Baals teńlemesi.....	88
§ 6.4. Real gazlardıń ishki energiyası	90
§ 6.5. Djoul – Tomson effekti.....	91
VII BAP. SUYIQLIQLARDIŇ QÁSIYETLERI.....	96
§ 7.1. Suyıqlıqtıń dúzilisi. Molekulalıq basım	96
§ 7.2. Bet kerim.....	100
§ 7.3. Suyıqlıq penen qattı dene shegarasındaǵı qubılıslar. Kapıllırlıq	102
VIII BAP. FAZALIQ ÓTIWLER HÁM AYLANIWLAR	107
§ 8.1. Faza hám fazalıq ótiwler.....	107
§ 8.2. Puwlanıw hám kondensaciya.	108
§ 8.3. Hawanıń ıǵallılıǵı	111
§ 8.4. Sublimaciya.....	113
§ 8.5. Eriw hám qatıw.	114
§ 8.6. Úshlik noqat	115
§ 8.7. Dyuar ıdısları.....	117
IX BAP. HAWANIŇ ıǵALLIǴIN ÓLSHEWSHI ÁSBAPLAR.....	120
§ 9.1. Hawanıń ıǵallılıǵınının adam organizmine tásiiri.....	120
§ 9.2. Gigrometrler	121
§ 9.3. Avgust psixrometriniń dúzilisi.....	122
§ 9.4. Barometr.....	125
§ 9.5. Hawanıń hareketleniw tezligin anıqlaw	126

X BAP. JILLILIQTIŇ KINETIKALIQ TEORIYASI	129
§ 10.1. Erkinlik dárejesi.....	129
§ 10.2. Broun qozǵalı.....	131
§ 10.3. Gazlardıń jıllılıq sıyımlılıǵı.....	134
§ 10.4. Adiabatalıq process.....	138
§ 10.5. Politropiyalıq process	141
§ 10.6. Qattı denelerdiń jıllılıq sıyımlılıǵı. Dyulong – Pti nızamı	142
XI BAP. SISTEMA HALLARI.....	149
§ 11.1. Statistikalıq fizikanıń tiykargı túsinikleri hám principleri	149
§ 11.2. Sistema hám onıń halı.....	150
§ 11.3. Termodinamikalıq shamalardıń fluktuaciyası	151
§ 11.4. Statistikalıq teńsalmaqlılıq.....	157
Paydalanılǵan ádebiyatlar.....	160

Dúziwshiler:

Atashov Baxtıbay Turganbaevich - Ájiniyaz atındaǵı Nókis mámlteketlik pedagogikalıq institutı “Fizika oqıtıw metodikası” kafedrasınıń docenti, fizika-matematika ilimleriniń kandidatı.

Turdanov Keńesbay - Ájiniyaz atındaǵı Nókis mámlteketlik pedagogikalıq institutı “Fizika oqıtıw metodikası” kafedrası docenti, fizika-matematika ilimleriniń kandidatı.

Nsanbaev Makset Turdıbaevich - Ájiniyaz atındaǵı Nókis mámlteketlik pedagogikalıq institutı “Fizika oqıtıw metodikası” kafedrasınıń assistant oqıtıwshısı.

MOLEKULYAR FIZIKA

(Joqarı oqıw orınları 5110200-fizika hám astronomiya oqıtıw metodikası tálim baǵdarı talabaları ushın oqıw metodikalıq qollanba)

Oqıw metodikalıq qollanba Ájiniyaz atındaǵı Nókis mámlteketlik pedagogikalıq institutı ilimiy metodikalıq keńesiniń -aprel 2019-jılǵı № bayanlaması menen baspadan shıǵarıwǵa usınıs etilgen.

Bas redactor: K.M.Kosjanov

Texnikalıq redaktor:

Korrektor:

Operator: N.Nısanbaev

Ájiniyaz atındaǵı NMPI redakciya baspa bólimi.

Ájiniyaz atındaǵı NMPI baspaxanasında basılǵan. 2019-j.

Buyırtpa № . Nusqası 100 dana. Format 60x84 Kólemi b.t
210105. Nókis qalası, A.Dosnazarov kóshesi-114. Restr №11-3084.