

**ÓZBEKSTAN RESPUBLIKASI JOQARI HÀM ORTA ARNAWLII
BILIMLENDIRIW MINISTRLIGI**

**BERDAQ ATINDAĖI QARAQALPAQ MÀMLEKETLIK
UNIVERSITETI**

FIZIKA-MATEMATIKA FAKULTETI

FIZIKA KAFEDRASI

Fizika-matematika fakultetiniń 4-kurs studenti

Smaylova Dilfuzaniń pitkeriw qàniygelik jumisi

**GAZ NIZAMLARIN LABARATORIALIQ ÚSKENELER
JÀRDEMINDE ÚYRENIW**

Kafedra baslıĖi:

Prof. B. Abdikamalov.

Ilimiy basshi:

Dots. B. Qunnazarov.

Nókis 2019

MAZMINI

KIRISIW.....	3
I-BAP. Ideal gaz nizamlari. Izoprotsessler	5
§1.1. Tikarǵı termedinamikaliq hal parametrleri	5
§1.2. Ideal gazlardaǵı processler. Izobaralıq, izoxoralıq hám izotermalıq processler	10
§1.3. Adiabatalıq process. Adiabatalıq processtegi jumıs	15
§1.4. Politroplıq process. Politropa teńlemesi	16
§1.5. Boyl-Mariott hám Gey-Lyussak nızamları	20
II-BAP. Gaz nizamlarin labaratoriyaliq úskeneler járdeminde úyreniw hám nátıyjelerdi bahalaw	30
§2.1. Labaratoriya jumisin orinlaw ushin qisqasha teoriyaliq maǵluwmatlar ...	30
§2.2. Laboratoriya qurılması hám tájriybelerdi ótkeriw tártibi	33
§2.3. Labaratoriya ólshew nátiyjeleri hám olardi esaplaw	44
Juwmaqlar	50
Ádebiyatlar dizimi	51

Kirisiw

Turaqli massada P , V , T lar sirtqi tásirler (mexanikalıq, jilliliq) tásirinde ózgeriwi mumkin. Eger fizikalıq jaǵdaylari boyınsha bir tekli bolıp, hesh qanday ximiyalıq reaksiyalar bolmayatırǵan bolsa, parametrleriniń birewiniń ózgeriwi natıyjesinde basqa parametrlardıń ózgeriwi de boladı. Bir tekli dizimniń parametrleri (massa turaqli bolǵanda) bir-birine funksional baylanisli boladı:

$$f(p, V, t) = 0 \quad (1)$$

Bul (1) tengleme dizimning termodinamik jaǵday teńlemesi delinedi hám apiwayı qilib, hal teńlemesi, dep ataladı. Bul teńlemenı tabiw molekulyar fizikaniń tiykarǵı máselelerinen biri bolıp tabıladı.

Molekulyar fizikada (1) teńlemenı tabıwdıń molekularlara ózara tásirin esapqa alǵan jaǵdayda, birden-bir usılı islep shıǵılǵan bolıp, belgili dizimler kórilip atırǵanda kóplegen matematik qiyınshılıqlarǵa ushiradı.

Molekulyar-kinetik usıl járdeminde molekularlara tásirin esapqa almasada bolatuǵın dárejede kishi bolǵan siyreklestirilgen (ideal) gaz ushin hal tenglemesi tabıldı.

Molekulyar fizika kóplegen gazlerdiń qásiyetlerin ayan etiw imkanin beredi. Tıǵızlıǵı joqari bolǵan gazler hám suyuqlıqlar ushun hal teńlemesining teoriyalıq esaplaw haqqındaǵı sorawǵa alimlar házirge shekem juwap tawǵanı joq.

Parametrleriniń ózgeriwine bayanisli bolǵan dizim haliniń ózgeriwine termodinamik protsess delinedi. Bul jumistin' tiykarǵı maqseti gaz nızamlarin labaratoriyalıq u'skeneler ja'rdeminde u'yreniw ha'm na'tiyjelerdi bahalaw bolıp tabıladı. Ideal gazdiń halın úsh fizikalıq parametr menen tolıq ańlatıwǵa boladı. Olar basım, temperatura hám kólem. Bul úsh parametr arasındaǵı qatnas gazdiń tiykarǵı nızamı bolıp tabıladı. Eger parametrlerden biri basım, kólem yamasa temperatura ózgermese, qalǵan eki parametrdi bir-birinen gárezsiz ózgartip bolmaydı. Turaqli temperatura ushin Boyle-Mariott nızamı orınlanadı, turaqli basımda ideal gazdiń kólemi temperaturaǵa proporcional bolıwin Gey-Lyussak

nizami arqali ha'm turaqli kólemde gazdín basımınıń temperaturadan gárezligin SHarl nızamlari arqali tu'sindiriw mu'mkin. Bul u'sh protcessti zamanago'y labaratoriyaliq a'sbap u'skeneler ja'rdeminde u'yreniw mu'mkin.

Bul qa'nigelik jumistin' birinshi bo'liminde temag'a baylanisli birqansha teoriyaliq mag'luwmatlar keltirilgen. Atap aytqanda tikarg'i termedinamikaliq hal parametrleri, ideal gazlardağı izobaralıq, izoxoralıq hám izotermalıq processler,

adiabatalıq process, politropa teńlemesi, Boyle-Mariott hám Gey-Lyussak nızamları siyaqlılardi misal keltiriw mu'mkin.

Jumistin' ekinshi bo'liminde gaz nizamlarin labaratoriyaliq u'skeneler ja'rdeminde u'yreniw ha'm na'tiyjelerdi bahalaw boyinsha teoriyaliq mag'luwmatlar, jumisti orinlaw ta'rtibi ha'm aling'an na'tiyjeler keltirilgen. Labaratoriya sharayatında aling'an na'tiyjeler ha'm olardin' adebiyatlarda bar bolg'an na'tijeleri menen salistirilg'an.

Jumistin' aqirında labaratoriya jumisi boyinsha juwmaqlar ha'm paydalanilg'an a'debiyatlar dizimi keltirilgen.

I BAP. IDEAL GAZ NIZAMLARI. IZOPROTSSESSLER.

§1.1 Tikargı termodinamikaliq hal parametrleri

Gaz halındaǵı zattıń qásiyetleri, ásirese júda úlken basım hám onsha kishi bolmaǵan temperaturalarda ápiwayı bolıp esaplanadı. Misalı, birdey dáslepki basım hám temperaturalarda alınǵan O_2 , N_2 hám H_2 hám taǵıda basqa gazler úlken basım (100 atm nan úlken) larda sıǵıluwshanlıǵı hám ıssılıqdan keńeyiwi boyınsha bir-birinen ózgeshe. Atmosfera 1 atm ǵa jaqınlasqanda gazlerdegi bul ózgeshelik kemeyip ketedi. Sonıń ushin real gazlerdiń shegaralıq halatikibi ideal gaz túsiniǵı kiritildi.

Atmosfera basımınan deyerli pariq qilmaytuǵın basımlarda ásirese vodorod hám geliy ideal gazge jaqın bolıp tabıladı.

Ideal gaz qásiyetleriniń uluwmalıǵı sonday túsindiriledi, ólshemleri hám ózara tásir kúshlerine baylanisli bolǵan túrli zat molekulalariniń individual qásiyetleri gaz kúshli siyreklestirilgende zattıń termik qásiyetlerine baylanisli bolmay qaladı.

Hal teńlemesi $f(p, V, t) = 0$ daǵı hár bir parametrdi basqa eki parametr funksiyası siyaqlı qaraw múmkin: $V = V(p, t)$, $p = p(V, t)$ hámde $t = t(V, p)$.

Parametrlerinen birewi turaqlı bolǵanda bolatuǵın protsessler izoprotsessler delinedi: izobaralıq $p = const$, izoxoralıq $V = const$ hám izotermalıq $T = const$.

Jumisshi deneniń fizikalıq halatin táripleytuǵın shamalar hal parametrleri dep ataladı. Tikargı termodinamikaliq halat parametrlerine: absalyut basım, absalyut temperatura hám salistrmali kólem kiredi. Deneniń hali ózgergende basım, temperatura hám salistrmali kólem ózgeredi. Sonıń ushin bul parametrler termik parametrler dep ataladı[1].

Basım bettiń birlik maydanına tik tásir etiwshi kúsh basım dep ataladı.

$$P = \frac{F}{S}, \quad [Pa] = N/m^2$$

$1N/m^2$ - bul birlik paskal (1 pa) dep ataladı. 1 Pa onshelli úlken bolmaǵanı ushin texnikada kPa hám MPa qollaniladı.

1 kPa (kilopaskal) = 10^3 Pa.

1MPa (megapaskal) = 10^6 Pa.

Bul birliklerden tisqari 1 bar = 10^5 Pa – bul basim atmosfera basimina jaqin boʻgan basim bolip tabiladi.

Basim oʻlshembirliklerinen jáne birewi 1kg kúsh $\text{sm}^2(\text{kg} \cdot \text{k}/\text{sm}^2)$ yamasa basqasha kóriniste tómendegishe jaziladi: kg/sm^2 , bul $1\text{kg}/\text{sm}^2 = 1$ at bul texnikaliq atmosfera dep ataladi.

Basim oʻlshem birlikleri arasinda tómendegishe baylanis bar:

1 MPa = 10 bar = 10,2 at = 10^6 Pa.

1 atm = 101,325 kPa = 760 mm sin baǵ. = 10333 mm suw bag.

Fizikaliq atmosfera (1 atm) 0°C temperaturada 760 mm sin baǵ na teń.

Basim tómendegi túrlerge bólinedi:

1. Atmosfera yaki barometriki basim P_{bar} – bul atmosfera hawasiń basimi.
2. Artiqsha yamasa monometrik basim $P_{art}(P_{man})$ – atmosfera basimidan joqari bolǵan basim.
3. Vakuum (siyrekleniw) P_{vak} – bul atmosfera basimidan kishi basim.
4. Absalyut basim p_{abs} – bul denegge tásir etip atǵan toliq basim.

Bulardan tek absalyut basim gaz yamasa suyuqlardıń hal parametri bola aladi.

Eger qandayda bir idistaǵi basim atmosfera basimidan joqari bolsa, onda absalyut basim tómendegishe boladi:

$$P_{abs} = P_{bar} + P_{art} \quad (1.1)$$

Eger kerisinshe, idistaǵi basim atmosfera basimidan kishi bolsa, onda absalyut

$$P_{abs} = P_{bar} - P_{vak} \quad (1.2)$$

basim tómendegishe aniqlanadi:

Basimniń túrlishe qatnaslarin tómendegi keste arqali kóriw múmkin:

1.1 – keste

Birlikler	pa	bar	$\text{kg} \cdot \text{k}/\text{sm}^2$	mm sin baǵ	mm suw baǵ
-----------	----	-----	--	------------	------------

1 Pa	1	10^{-5}	$1.02 \cdot 10^{-5}$	$7.5024 \cdot 10^{-3}$	0.102
1 bar	10^5	1	1.02	$7.5024 \cdot 10^2$	$1.02 \cdot 10^4$
kg·k/sm ²	$9.8 \cdot 10^4$	0.9806	1	735	104
Mm sin bağ	133.3	$1.33 \cdot 10^3$	$1.36 \cdot 10^3$	1	13.6
Mm suw bağ	9.8067	$9.80 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}	$7.35 \cdot 10^{-2}$	1

Temperatura.

Temperatura deneniń qızıǵanlıq dárejesin kórsetetuǵın ólshem birlik.

Temperatura eki túrli boladi:

1. Absolyut temperatura – T, K (Kelvin shkalsi)
2. Emperik temperatura - °C (selsiy shkalasi).

Temperatura sán mánisi temperature shkalalari kórsetip beredi.

Temperatura shkalasi Selsiy (°C) yamasa gradusli – Kelvin, Farangeyt hám Reomeyur shkalalarina bólinedi. Selsiy shkalasında tikarǵı reper toshkalari qilip, muzdıń eriw temperaturasi 0°C hám suwdıń qaynaw temperaturasi 100°C qabil etilgen. Bul noqatdaǵı termometr kórsetkishleridıń parqın 100°C qa bólingendegi bir bólegi Selsiy gradusi (1°C) dep qabil qilinadi[2].

Tikarǵı termodinamikaliq parametr bolip, absalyut temperature esaplanadi hám ol T menen belgilenedi. Kelvinda ólshenedi. Amelde bolsa hár bir ásbap Selsiy gradusında ólshep beredi. Sonıń ushin olardıń arasındaǵı baylanislardi tómendegishe jazamiz:

$$T \text{ K} = t^{\circ}\text{C} + 273.16.$$

Molekulalardıń ortasha kinetik energiyasına proprtsional bolǵan temperaturaǵa absalyut temperature deymiz.

Angliya hám AQSH da qollanilatuǵın Farangeyt shkalasında muzdıń eriw temperaturasi 32°F hám qaynaw temperaturasi 212°F dep qabil etilgen, demek,

$$t^{\circ}\text{C} = 5/9(t^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$t^{\circ}\text{F} = 9/5 t^{\circ}\text{C} + 32$$

Shkalalar ati	Selsiy shkalasi $t^{\circ}\text{C}$	Renkin shkalsi $T, ^{\circ}\text{Ra}$	Farangeyt shkalsi, $t, ^{\circ}\text{F}$	Reomyur shkalasi $t, ^{\circ}\text{R}$
Selsiy shkalasi $T, ^{\circ}\text{C}$	—	$5/9T^{\circ}\text{Ra}-273.15$	$t, ^{\circ}\text{F}-32/1.8$	$1.25t^{\circ}\text{R}$
Renkin shkalasi $^{\circ}\text{Ra}$	$1.8(t^{\circ}\text{C}+273.15)$	—	$T^{\circ}\text{f}+459.7$	$1.8(1.25t^{\circ}\text{r}+273)$
Farangaeyt shkalsi $^{\circ}\text{F}$	$1.8t^{\circ}\text{C}+32$	$T^{\circ}\text{Ra}-459.67$	—	$9/4 t^{\circ}\text{R}$
Reomyur shkalsi $^{\circ}\text{R}$	$0.8 t^{\circ}\text{C}$	$0,8(5/9T^{\circ}\text{Ra} - 273.15)$	$4/9(t^{\circ}\text{F}-32)$	—

Salistrmali kólem.

Deneniń massa birligine teń bolǵan kólemge salistrmali kólem dep ataladi:

$$v = \frac{V}{m}, \quad m^3/kg \quad (1.3)$$

Tigizliq (ρ) – salistirmali tigizliqqa kerı bolǵan shama.

$$\rho = \frac{1}{v}, \quad kg/m^3 \quad (1.4)$$

Termodinamikaliq teksiriw usillarin ańsatlasitriw ushin ideal gaz haqqında túsinik kiritilgen.

1. Gaz molekulari arasında oz ara tasirlesiw kúshleri joq.
2. Gaz molekulariniń ólshemleri esapqa alinbasa hám bolatuǵın dárejede kishi.
3. Gaz molekulariniń soqlıǵisiwi tap elastik sharlardıń soqlıǵisiwunday bolip ótedi.

Siyrekletilgen real gálerdiń qasiyetleri real gaz qasiyetlerine jaqin boladi. Haqiyqatında ideal gazdıń ózi joq. Biraq ideal gaz nizamlarin úyreniw real gazdıń túrli sharayatlarında qanday bolıwin aniqlawǵa járdem beredi. Ideal gazdıń hal

teńlemesin keltirip shıǵarıw ushin ideal gazdıń nızamlarin eske túsiremiz.

$$Pv = const$$

Boyl –Mariot nızami: temperatura ózgermes bolǵanda, basım ózgeriwı kólem ózgeriwine kerı proporsional:

$$Pv = const$$

Gey –Lyussak nızami: basım turaqlı bolǵanda, kólem ózgerisi temperaturaǵa tuwrı proporsional:

$$\frac{v}{P} = const$$

Sharl nızami: Kólem turaqlı bolǵanda, basım ózgeriwı kólem ózgeriwine tuwrı proporsional:

$$\frac{P}{T} = const$$

1834- jılı Boyl-Mariot hám Gey-Lyussak nızamları tiykarında Klapeyron ideal gaz hal teńlemesi keltirilip shıǵarıldı:

$$\frac{Pv}{T} = const$$

Ideal gazdıń absalyut basımı kólemge kóbeymesiniń absalyut temperaturasına qatnası ózgermeydi hám ol R menen belgilenedi. Bul ólshem gaz turaqlısı dep ataladı.:

$$\frac{Pv}{T} = R \quad (1.5)$$

Soday qılıp, biz gaz parametrleri P, V hám T lardı ózara baylanstratuǵın teńlemenı, yaǵnıy hal tenlemesin keltirip shıǵardıq[3].

R- gaz turaqlısı $\left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$

Gaz turaqlısınıń fizikalıq mánisi: gaz turaqlısı 1kg gazdıń 1°C qa isitilǵanda ózgermes basımda atqarǵan keńeyiw jumısı dep ataladı.

1kg dene ushin ideal gazdıń hal teńlemesi:

$$Pv = RT \quad (1.6)$$

m kg gaz ushin hal teńlemsi:

$$Pv = mRT \quad (1.7)$$

1 kmol gaz ushin hal teńlemesi

$$Pv = \mu RT \quad (1.8)$$

μR – universal gaz turaqlisi, onıń mánisi normal jaǵday ushin esaplaymız.

Normal sharayatda basım $P=101325$ Pa, temperatura $T=273$ K hám kólem $V=22,4$ m³/kmol ǵa teń:

$$\mu R = \frac{101325 * 22,4}{273} = 8,314 \left[\frac{J}{kgK} \right] \quad (1.9)$$

§1.2. Ideal gazlardaǵı processler. Izobaralıq, izoxoralıq hám izotermalıq processler

Izobaralıq process. Turaqlı basımda júretuǵın process izobaralıq process dep ataladı. (p_1, V_1) hám (p_2, V_2) noqatlarındaǵı temperaturalar hal teńlemesi járdeminde esaplanadı hám sáykes $T_1 = \frac{p_1 V_1}{R}$, $T_2 = \frac{p_2 V_2}{R}$. Bunday jaǵdayda kólemniń úlkeyiwi menen basımnıń turaqlı bolıp qalıwı ushın sistemaǵa jıllılıq berip turıw zárúr.

Jumıs

$$A = \int_{(1)}^{(2)} p_1 dV = p_1 (V_2 - V_1) \quad (1.10)$$

Jumıstıń bul mánisi 1- súwrette kórsetilgen. p, T koordinatalarında da bul process tuwrısızlıqlar menen kórsetiledi. Bul ózgeriwshilerde jumıstıń ańlatpası tómendegidey bolıp jazıladı:

$$A = \int_{(1)}^{(2)} p_1 dV = \int_{(1)}^{(2)} p_1 \frac{R}{p_1} dT = R(T_2 - T_1) \quad (1.11)$$

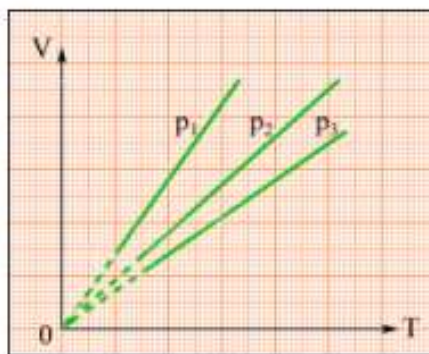
Bul eki túrli etip kórsetiwde bir-biri menen teńdey. Bir-birine ótiw hal teńlemeleri járdeminde ámelge asırıladı[4].

Izobarlıq processte gazdın berilgen massasınıń kólemi temperaturanıń ózgerisine baylanıslı sıızıqlı túrde ózgeredi, yaǵnıy

$$V_t = V_0(1 + \alpha_V t)$$

Bul formulada V_t gazdın t temperaturadaǵı kólemi, V_0 gazdın temperatura nolge teń bolǵandaǵı kólemniń mánisi, α_V proporcionallıq koefficienti. Eksperimentler eger suwdın eriw temperaturasın 0° , al qaynaw temperaturasın 100° dep alsaq $\alpha_V = \frac{1}{273.13^\circ} = 0.0036613 \text{ grad}^{-1}$ ge teń bolatuǵınlıǵın kórsetedi.

Gey-Lyussak nızamı boyınsha $t = -273.13^\circ$ temperaturada gazdın kólemi tolıq joǵalıwı kerek. Bul gazdın óziniń joǵalıwına sáykes keledi. Bul jaǵdaydın ózide Gey-Lyussak nızamınıń barlıq temperaturalarda orınlanmaytuǵınlıǵınan derek beredi. Haqıyqatındada $t = -273.13^\circ$ temperaturaǵa shekem salqınlatılǵanda barlıq gazlar dáslep suyıqlıqqa, al keyin qattı denegge aylanıp ketedi hám bunday haldaǵı zatlar ushın Gey-Lyussak nızamı orınlanbaydı.



1-súwret. Izobaralardıń (V, T) tegisligindegi kórinisi

Izoxoralıq process. Bul turaqlı kólemde júretuǵın process bolıp tabıladı. $V = \text{const}$. Izoxoralı processte islengen jumıs nolge teń, yaǵnıy

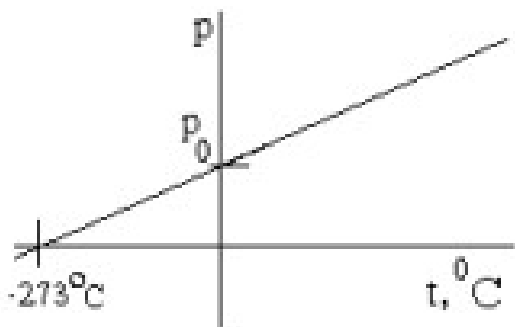
$$A = \int_{(1)}^{(2)} p dV = 0 \quad (1.12)$$

Ideal gazlarda kólem turaqli bolǵanda basım temperaturaǵa tuwrı proporcional (Sharl nızamı). Ideal emes gazlar ushın Sharl nızamıdǵa orınlanbaydı. Sebebi bul jaǵdayda gazǵa berilgen energiyalıń bir bólegi molekulalar arasındaǵı tásirlesiw energiyasın ózgeriw ushın jumsaladı[5].

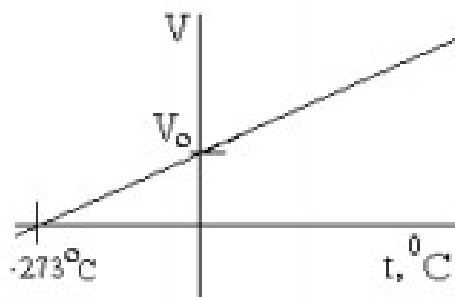
Celsiya shkalasındaǵı temperaturalar ushın Sharl nızamı bılay jazıladı:

$$p_t = p_0(1 + \alpha_p t)$$

Bul formuladaǵı p_t gazdıń t temperaturadaǵı basımı, p_0 temperatura nolge teń bolǵandaǵı basımı, α_p turaqli koefficient. Eger suwdıń eriw temperaturasın, al qaynaw temperaturasın 100° dep alsaq $\alpha_V = \frac{1}{273.13^\circ} = 0.0036613 \text{ grad}^{-1}$ teń boladı.



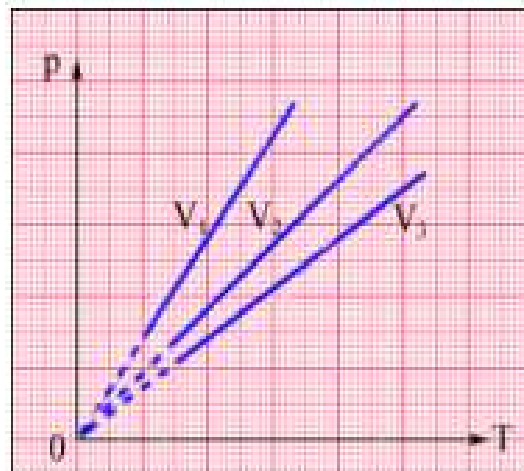
Sharl nızamı grafigi



Gey-Lyussak nızamı grafigi

Sharl nızamı boyınsha $t = -273.13^\circ$ temperaturada gazdıń basımınıń tolıq joǵalıwı kerek. Bul gazdıń óziniń joǵalıwına sáykes keledi. Bul jaǵdaydıń ózide Sharl nızamınıń barlıq temperaturalarda orınlamaytuǵınlıǵınan derek beredi. Haqıyqatında $t = -273.13^\circ$ temperaturaǵa shekem salqınlatılǵanda barlıq gazlar dáslep suyıqlıqqa, al keyin qattı deneye aylanıp ketedi hám bunday haldaǵı zatlar ushın Sharl nızamı orınlanbaydı.

Joqırada keltirilgen eki nızamda da eger suwdıń eriw temperaturasın, al qaynaw temperaturasın 100° dep alınǵan temperaturalar shkalasında $\alpha_V = \alpha_p = \frac{1}{273.13^\circ} = 0.0036613 \text{ grad}^{-1}$ ekenligi kórinip tur. Al tómende Celsiya shkalası menen temperaturalardıń absolyut termodinamikalıq shkalası arasında $0 \text{ K} = -273.13^\circ\text{C}$ baylanısınıń bar ekenligi dálillenedi.



P, V koordinatalardagi izoxoraliq process

(P, T) tegisligindegi izoxoralardin qasiyetleri

Izotermalıq process. Bul process turaqlı temperaturada júredi. $T = \text{const}$.

Jumis:

$$A = \int_{(1)}^{(2)} p dV = RT \int_{(1)}^{(2)} \frac{dV}{V} = RT \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \quad (1.13)$$

Temperatura ózgermegenlikten bul processte ideal gazdın ishki energiyası ózgermeydi. Sonlıqtan izotermalıq processte sistemağa berilgen jıllılıq tolıǵı menen jumıs islewge jumsaladı.

Temperatura turaqlı bolǵanda gazdın berilgen massasınıń basımı onıń kólemine keri proporcional. Bul Boyle-Mariott nızamı dep ataladı. Yaǵnıy

$$pV = \text{const}$$

Temperatura turaqlı bolǵanda gazdın berilgen m massası menen p basımı menen V kólemi arasındagı ǵárezlilik grafik túrinde teń qaptallı giperbola menen súwretlenedi (súwrette kórsetilgen). Bul sıızıqtı **izoterma** dep ataydı. Boyle-Mariott nızamı juwıq túrdegi nızam bolıp tabıladı[6].

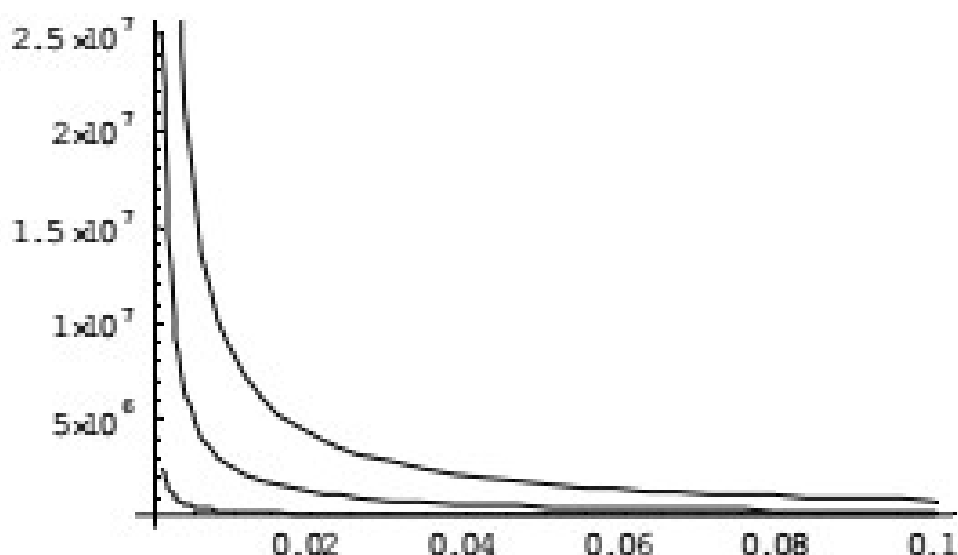
Real gazlardın barlıǵıda úlken basımlardı bul nızamdagıǵa qaraǵanda az qısıladı. Ádette ójire temperaturalarında hám shaması atmosfera basımına jaqın basımlarda gazlardın kópshiligi Boyle-Mariott nızamına jetkilikli túrde baǵınadı. Al

basım 1000 at bolǵanda, mısalı, azot ushın bul nızamnan awıtqıw 2 esege teń boladı.

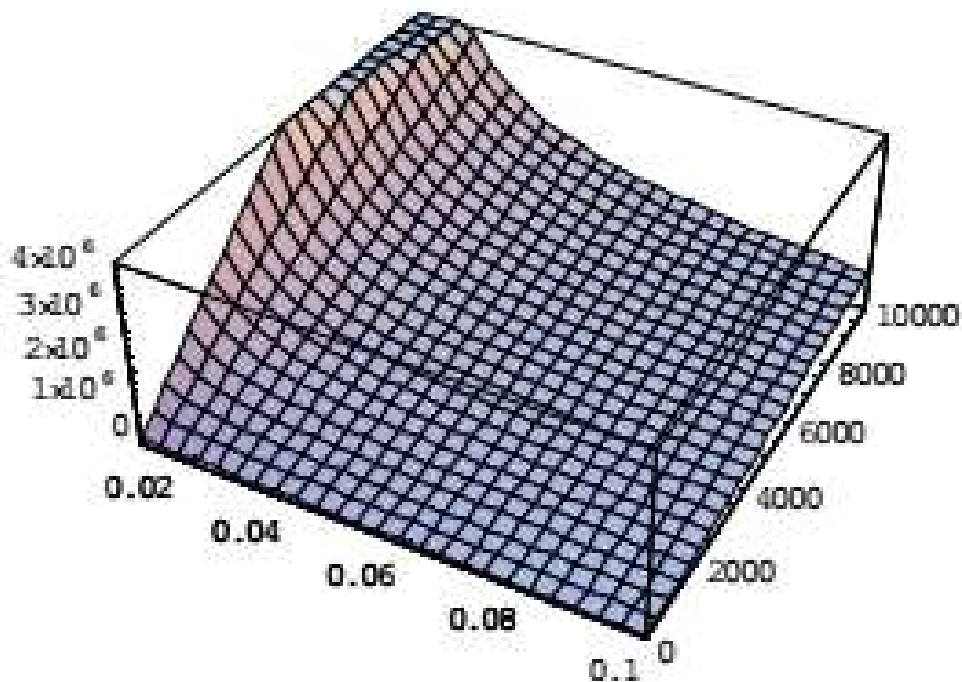
Biz ayqın mısaldı kóreyik. Meyli $T_1 = 300\text{ K}$, $T_2 = 3000\text{ K}$, $T_3 = 10000\text{ K}$ temperaturaların alayıq. Kólem V ushın 0.001 m^3 ten 0.1 m^3 ke shekemgi mánislerdi beremiz. Bunday jaǵdayda Mathematica 5 programmalaw tili ushın

$$\text{Plot} \left[\left\{ R * \frac{T_1}{V}, R * \frac{T_2}{V}, R * \frac{T_3}{V} \right\}, \{V, 0.001, 0.1\} \right]$$

túrindegi programmanı jazamız. Kompyuter mına grafikti beredi.



Endi p, V hám T shamalarınıń úshewide ózgermeli bolsın hám olardıń ekewi mına sheklerde ózgersin. V kólemi 0.001 m^3 ten 0.1 m^3 ke shekem hám T temperaturası 0 den 10000 gradusqa shekem. Bunday jaǵdayda basım p qalǵan eki parametr V hám T lardıń funkciyası sıpatında tabıladı. Sáykes programma $\text{Plot3D}[\{V, 0.001, 0.1\}, \{T, 0.10000\}]$ túrine iye bolıp, kompyuterdegi esaplawlar



§1.3 Adiabatalıq process. Adiabatalıq processtegi jumıs

Adiabatalı process. Bul proceste sırtqı ortalıq penen **jıllılıq almasıw** bolmaydı. Sonlıqtan bul process ushın termodinamikanıń birinshi baslaması bılay jazıladı.

$$C_V dT + p dV = 0 \quad (1.14)$$

$dV > 0$ de $dT < 0$ ekenligi kórinip tur. Demek keńeyiwde jumıs gazdın ishki energiyasın arttırıw ushın jumısaladı[7].

Adiabata teńlemesi dep adiabatalıq processtegi parametrlerdi baylanıstıratuǵın teńleme bolıp tabıladı. Usı teńlemenı keltirip shıǵaramız.

Ideal gaz ushın teńlemeden T ushın tómendegidey ańlatpa shıǵarıladı.

$$T = \frac{pV}{C_p - C_V} \quad (1.15)$$

Bul jerde Meyer teńlemesi $R = C_p - C_V$ paydalanılǵan.

(1.14) ti $C_V T$ ға бóлип хám $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$ деп белгилеп (γ -adiabata kórsetkishi dep ataladı) tabamız:

$$\frac{dT}{T} + (\gamma - 1) * \frac{dV}{V} = 0 \quad (1.16)$$

Bul teńlemenі integrallap хám potenciallyap tabamız:

$$TV^{\gamma-1} = const \quad (1.17)$$

хám V ózgeriwshilerine ótiw ushın (1.17) den hal teńlemesinen $T = \frac{pV}{R}$ di qoyamız хám tómendegi teńlemenі alamız:

$$pV^{\gamma} = const \quad (1.18a)$$

Sol sıyaqlı

$$T^{\gamma} p^{\gamma-1} = const \quad (1.18b)$$

Adiabatalıq processte islengen jumıs bılay esaplanadı:

$$A = \int_{(1)}^{(2)} p dV = p_1 V_1^{\gamma} \int_{(V_1)}^{(V_2)} \frac{dV}{V^{\gamma}} = \frac{p_1 V_1^{\gamma}}{1-\gamma} (V_2^{-\gamma+1} - V_1^{-\gamma+1}) = \frac{RT_1}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} \right] \quad (1.19)$$

Bul ańlatpada $p_1 V_1 = RT_1$ ekenligi esapqa alıńan.

Sonıń menen birge $\left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} = \frac{T_2}{T_1}$ ekenliginen (10) nı bılay túrlendiremiz:

$$A = \frac{R(T_1 - T_2)}{\gamma - 1} \quad (1.20)$$

§1.4 Politrophıq process. Politropa teńlemesi

Politrophıq process. Joqarıda keltirilgen barlıq processler ulıwmalıq ayırmashılıqqa iye olardıń barlıǵında da jıllılıq sıyımlıǵı turaqlı bolıp qaladı. Izoxoralıq хám izobaralıq processler jıllılıq sıyımlıqları sáykes C_V хám C_p ға teń. Izotermalıq processte ($dT = 0$) jıllılıq sıyımlıǵı $\pm\infty$ ge teń. Aladiabatalıq processte jıllılıq sıyımlıǵı nolge teń.

Jıllılıq sıyımlığı turaqlı bolıp qalatuǵın process **politrop process** dep ataladı. Izobaralıq, izoxoralıq, izotermalıq hám adiabatlıq processler politroplıq processtıń dara kórinisleri bolıp tabıladı. Politrop processtıń grafikalıq súwreti bolǵan iymeklik **politropa** dep ataladı[8].

Jıllılıq sıyımlığı C nıń turaqlı bolıp qalıwı ushın termodinamikanıń birinshi baslaması tómendegidey túrge iye bolıwı kerek:

$$CdT = C_V dT + p dV \quad (1.21)$$

(1.16) ni alıw ushın (1.14) ti ne qılǵan bolsaq, (1.21) ni de sonday ózgerislerge ushıratamız:

$$\frac{dT}{T} + \frac{C_p - C_V}{C_V - C} \frac{dV}{V} = 0 \quad (1.22)$$

(1.22) ti integrallap

$$TV^{n-1} = const \quad (1.23)$$

Bul jerde

$$\frac{C_p - C_V}{C_V - C} = n - 1$$

Bul T, V ózgermelilerindegi **politropa teńlemesi** dep ataladı. Bul teńlemeden $T = \frac{pV}{R}$ formulasınan T nı joǵaltıp

$$pV^n = const \quad (1.24)$$

teńlemesin alamız. Bul jerde $n = \frac{C - C_p}{C - C_V}$ **politropa kórsetkishi** dep ataladı.

$C = 0$ hám $\gamma = n$ de (1.24) adiabatlıq, $C = \infty$, $n = 1$ de izotermalıq, $C = C_p$, $n = 0$ de izobaralıq, $C = C_V$, $n = \pm\infty$ de izoxoralıq processler teńlemeleri alınadı. $n > 1$ bolǵan jaǵdaylarda qısılganda ideal gaz qızadı, al $n < 1$ de qısılıw processinde ideal gaz salqınlaydı. Haqıyqatındada (1.23) den $n > 1$ de kólem kishireygende T nıń artatuǵınlığı, al $n < 1$ de (dáreje kórsetkishi teris mániske iye hám sonlıqtan óń dárejege iye V bólshektiń bólimine túsedı) V nıń kemeyiw menen T nıń da kemeyetuǵınlığı kórinip tur[9].

Eki atomlı ideal gazdegi keñeyiw kórsetkishi $n = 1.32$ bolğan politropa boyınsha ámelge asadı. Bunday jaǵdaydaǵı gaz tárepinen islengen jumıstıń jutılǵan jıllılıqtıń muǵdarınan qatnasın tabamız.

C nı C_V arqalı ańlatıw arqalı $\frac{C_p}{C_V} = \gamma$, $n = \frac{C - C_p}{C - C_V}$, sonlıqtan $\gamma = 1.4$ ekenligin esapqa alıp

$$\frac{C(n)}{C_V} = \frac{n - \gamma}{n - 1}$$

qatnasın ańsat alıwǵa boladı. $\gamma = 1.4$ bolǵanlıqtan

$$\frac{C}{C_V} = -\frac{1}{R}$$

$TV^{0.32} = \text{const}$ teńlemesinen $\Delta T < 0$ ekenligine iye bolamız. Sonlıqtan bul jaǵdayda ishki energiya kishireyedi hám

$$\frac{|\Delta U|}{4} = R, \quad A = Q - \Delta U = 5Q, \quad \text{yaǵnıy} \quad \frac{A}{Q} = 5$$

ekenligine iye bolamız.

Demek bul jaǵdayda gaz jutılǵan jıllılıqqa qaraǵanda bes ese artıq jumıs isleydi. Jumıstıń baslı bólegi gazdıń ishki energiyasınıń kemeyiwiniń esabınan islenedi.

2. Endi gazlardaǵı sestıń tezligin anıqlayıq.

Mexanikada gazlardaǵı ses tolqınlarınıń tarqalıw tezligi ushın tómendegidey formula alınadı:

$$c = \sqrt{\frac{dP}{d\rho}}$$

Bul jerde p arqalı gazdıń tıǵızlıǵı belgilenedi. Basım P bolsa tıǵızlıq p menen temperatura T ǵa da baylanıslı bolǵanlıqtan $\frac{dP}{d\rho}$ tuwındısın qanday mániste túsiniwimiz kerek degen soraw kelip shıǵadı. Nyuton basım tıǵızlıq penen Boyle-Mariott nızamı boyınsha $\frac{P}{\rho} = \text{const}$ túrinde baylanısqan dep esapladı. Demek ses tolqınındaǵı qısılǵan hám keñeygen orınlarda gazdıń temperaturası dárhal

teńlesedi, sestin tarqalıwı izotermalıq process dep esaplawımız kerek. Bunday boljaw durıs bolatuǵın bolsa $\frac{dP}{d\rho}$ nın ornında dara tuwındı $\left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_t$ nı alıwımız kerek.

Sonlıqtan $c = \sqrt{\frac{dP}{d\rho}}$ formulası Nyuton formulasına ótedi:

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

Bul formulada μ arqalı gazdın molekualıq salmaǵı belgilengen c_N degi N indeksi sestin tezliginiń Nyuton formulası menen anıqlanǵanlıǵın bildiredi. Hawa ushın $\mu = 28.8$, $T = 273 K$ bolǵanda $c_N = 280 \frac{m}{s}$, al tájiriybe bolsa $c = 280 \frac{m}{s}$ ekenligin beredi.

Bunday ayırmanıń orınlanıwı Laplas (1749-1827) tárepinen saplastırıldı. Ol gazde ses tolqını tarqalǵanda jıllılıq ótkizgishliktiń tásiriniń bolmaytuǵınlıǵın, sonlıqtan jıllılıq almasıwınıń orın almaytuǵınlıǵın kórsetti. Sonlıqtan gazlardaǵı ses tolqınlarınıń taralıwı adiabatlıq process bolıp esaplanadı (Nyuton boyınsha izotermalıq process ekenligin esletip ótemiz). Bunday jaǵdaylarda $\gamma PdV + VdP = 0$ adiabata teńlemesinen paydalanamız. Bul teńlemege kólem V nıń ornına tıǵızlıq $\rho \sim \frac{1}{V}$ nı paydalansaq

$$\gamma PdP - \rho dP = 0$$

Bunnan adiabatlıq process ushın

$$\frac{dP}{d\rho} = \left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_{ad} = \frac{\gamma P}{\rho} = \gamma \left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_t$$

Sonlıqtan Nyuton formulası ornına Laplas formulası alınadı:

$$c_1 = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}} = c_N \sqrt{\gamma}$$

Hawa ushın $\gamma = 1.4$ ekenligin bilemiz. Sonlıqtan $T = 273 K$ temperaturada

$$c_1 = 280 \sqrt{1.4} \frac{m}{s} = 330 \frac{m}{s}$$

Hám bul shama tájiriybede alınǵan shamaǵa sáykes keledi.

c_1 diń c_N ge qatnasınıń $\sqrt{\gamma}$ ǵa teń ekenligi joqarıda kórinip tur. Sonlıqtan

$$\gamma = \left(\frac{c_1}{c_N}\right)^2 = \left(\frac{C_1}{C_N}\right)^2$$

Bul formula γ nı eksperimentte anıqlaw ushın tiykar bola aladı[10].

Gazdaǵı processlerdiń júriwi sáykes sırtqı sharayatlardıń jaratılıwı menen támiynlenedi. Bunday jaǵdayda gazdı teńsalmaqlıq hallar arqalı izbe-iz ótiwge májbúrleymiz dep ayta alamız. Óz-ózine qoyılǵan ideal gaz tekǵana sheksiz úlken keńislikte tarqap ketiwden basqa qábiletlikke iye emes. Al real gazde jaǵday basqasha boladı. Bunday gaz kóp nársege qábiletli. Mısalı rawajlanıwınıń belgili etapında álem tolıǵı menen gaz tárizli zat penen tolǵan bolsa kerek.

§1.5. Boyle-Mariott hám Gey-Lyussak nızamları

Temperaturanı anıqlaw. Gazlar salınǵan ıdıstı pútkilley toltırıp turıw hám ıdıstıń diywallarına basım beriw qásiyetine iye bolıp tabıladı. Basım-san jaǵınan maydan birligine normal baǵdarda tásir etiwshi kúshke teń bolǵan fizikalıq shama. Demek, eger S maydańǵa normal baǵdarda tásir etiwshi kúsh f_n bolsa:

$$p = \frac{f_n}{S} \quad (1.25)$$

SGS sistemada basım p bar menen, yaǵnıy betke perpendikulyar baǵıtta tásir etiwshi 1 *dina* kúshitiń beretuǵın basımına teń birlik penen ólshenedi. Xalıq aralıq sistemada basım birligi ushın 1 *nyuton* kúshitiń ózine perpendikulyar bettegi maydanda payda etetuǵın basımı qabıl etilgen[11].

Bul birlik $\frac{n}{m^2}$ penen belgilenedi; Bulardan tısqarı, basımdı ólshew ushın tómendegi birliklerde qollanıladı: 1) *texnikalıq atmosfera* 1 kg kúshitiń maydańǵa beretuǵın basımına teń; 2) *fizikalıq atmosfera* (qısqaşa *at*) $1,033 \frac{kg}{sm^2}$ basımına teń; 3) *sinap baǵanası millimetri* (qısqaşa *mm Hg*), biyikligi 1 *mm* bolǵan sinap baǵanasınıń awırlıǵı beretuǵın basımǵa teń. 760 *mm Hg* basım bir fizikalıq

atmosferaǵa teń. Bul birlikleriniń birinen ekinshisine ótiw ushın tómendegi qatnastan paydalanıw múmkin.

Qandayda bir muǵdardaǵı gaz tómendegi tórt shama menen: 1) m massası, 2) iyelegen V kólemi, 3) p basımı hám 4) t temperaturası menen xarakterlenedi. Bul shamalardıń barlıǵı bir-birine baylanıslı boladı: olardan biri ózgerse, ulıwma aytqanda, qalǵanlarıda ózgeredi. Bul shamalardıń tórtewiniń arasındadı nızamlıq baylanısın belgilewshi formula *hal teńlemesi* delinedi.

Gaz jaǵdayı ulıwma teńlemesiniń belgisin beriwden aldın joqarıda kórsetilgen tórt shamadan ekewi ózgermeytuǵın hallarǵa tiyisli ápiwayıraq empirikalıq nızamlardı keltiremiz.

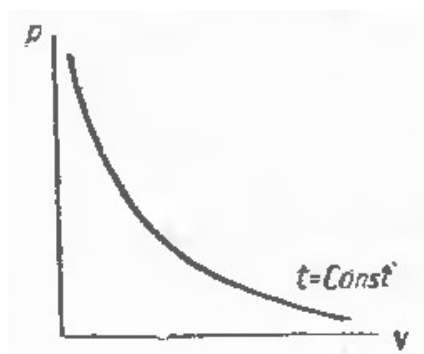
Gazdıń massası hám temperaturası ózgermegende (m hám t turaqlı), onıń basımı kólemine keri proporcional túrde ózgeredi (Boyl-Mariott nızamı):

$$pV = \text{const} \quad (1.26)$$

berilgen m hám t ushın.

Gazdıń massası m hám temperaturası t ózgermegende, p menen V arasındadı baylanıs grafik usılında teń qaptallı giperbola menen kórsetilgen (110-súwret). Boyl-Mariott nızamın kórsetiwshi iymek sıızıq turaqlı temperaturaǵa tiyisli bolǵanı ushın bul iymek sıızıq *izoterma* dep júrgiziledi.

Barlıq gazlar júdá joqarı basımda, Boyl-Mariott nızamı beretuǵın nátiyjege qaraǵanda kemirek qısıladı. Biraq, bólme temperaturasına jaqın temperaturalarda hám atmosfera basımınan kóp parıq etpeytuǵın basımlarda kópshilik gazlar Boyl-Mariott nızamına jeterli dárejedegi anıqlıq penen boysınadı.



Boyl-Mariott izotermasi.

Tóمندegi biz bilgen nızamlıqlar gazdıń basımı yaki kólemín onıń temperaturası menen baylanıstıradı. Biraq, dáslep temperaturanıń ózi qalay ólsheniwin bilip alıwımız kerek. Denelerdi ısıtıw yamasa suwıtıw, yaǵnıy temperaturasınıń ózgeritiw olardıń barlıq fizikalıq qásiyetlerine tásir etedi: denelerdiń sıızıqlı ólshemleri, elastikligi, elektr ótkiziwsheńligi hám basqada qásiyetleri ózgeredi. Temperaturanı ólshew ushın bul ózgerislerdiń qálegen birewinen paydalanıw múmkin. Temperaturanı sınaplı termometrler járdeminde sınap kóleminiń ózgeriwine qarap ólshew usılı ádet bolıp qalǵan. Biraq ádette kórsetiletuǵın shkalanı *teń bóleklerge* bóliwden ibarat sınaplı termometrди dárejelew usılı, temperatura t ózgeriwi menen sınaptıń kólemi sıızıqlı túrde ózgeredi, dep *aldınnan oylawımızǵa* tiykarlangan[12].

Eger biz termometrge basqa suyıqlıq quysaq hám bul termometrдиń sınaplı termometrдеgi belgili eki noqatqa (máselen, muzdıń eriw temperaturasına tuwrı keletuǵın «0» noqatqa hám suwdıń qaynaw temperaturasına tuwrı keletuǵın «100» noqatqa) sáykes keletuǵın eki noqatın belgilep, olardıń arasın, tap sınaplı termometrдеgi sıyaqlı, teń bóleklerge bölsek, ortasha temperaturalarda bunday termometrдиń kórsetiwi sınaplı termometrдиń kórsetiwinen (derlik az bolsada) parıq qıladı. Demek, biz temperaturanı qaysı deneniń («termometrlik» deneniń) kólem ózgeriwine qarap ólsheytuǵın bolsaq, temperaturaların belgilengen shkalası sol denegе baylanıslı bolıp qaladı. Deneniń ózi (sınap) tosattan tańlap alıńǵanı ushın temperaturalar shkalasıda tosınnan boladı[13].

Termometrlik deneni tańlap alıw ushın házirshe hesh qanday teoriyalıq tiykarǵa iye bolmasaqta, biz termometrlik dene sıpatında qásiyetleri eń ápiwayı nızamlıqlarǵa boysınatuǵın dene alınıwı kerek, dep ayta alamız. Bunday dene sıpatında Boyl-Mariott nızamına eń jaqsı boysınatuǵın gazdı alıw mumkin. 1877-jılда ólshew hám táreziler Xalıqaralıq komitetinde termometrlik dene sıpatında vodorod tańlap alıńǵan hám temperaturanı vodorod termometri járdeminde ólshew haqqında qarar qabıl etilgen:

Bunda vodorod qızganda yaki suwıganda kólemi ózgermesten saqlanǵanında *basımınń ózgeriwi temperaturanınń ózgeriwine proporcional boladı*, dep esaplanadı.

Solay etip, tómendegi postulat qabıl etiledi: *vodorodtıń basımı menen temperaturası arasındagı sıızıqlı qatnas bar*, yaǵnıy:

$$p_t = p_0(1 + \alpha t) \quad (1.27)$$

Bunda p_t - vodorodtıń t temperaturadaǵı basımı, p_0 - onıń nol temperaturadaǵı basımı hám α - turaqlı koefficient. *Vodorodqa qaraǵanda jazılǵan (3) teńlik temperaturalar shkalasın (temperaturalardıń empirikalıq shkalası dep atalatuǵın shkalanı) anıqlawǵa xızmet etedi*. Eger muzdıń eriw temperaturasın dep, normal atmosfera basımı astında suwdıń qaynaw temperaturasın 100° dep alsaq (*Celsiy shkalası*), α koefficienttiń san mánisi boladı[14].

Temperaturalardı ólshew usılın anıqlap algannan keyin, tómendegi sorawdı qoyıwımız múmkin: barlıq gazlardıń basımı hám kólemi olardıń temperaturası menen qanday baylanısqa? Bul baylanıslardı *Gey-Lyussaktıń empirikalıq nızamları* belgileydi:

1. Gaz massasınıń kólemi turaqlı bolǵanda, onıń basımı menen temperaturası arasında sıızıqlı qatnas bar:

$$p_1 = p_0(1 + \alpha_p t) \quad (1.28)$$

2. Gaz massasınıń basımı turaqlı bolǵanda, onıń kólemi menen temperaturası arasında sıızıqlı qatnas bar:

$$V_1 = V_0(1 + \alpha_v t) \quad (1.29)$$

α_p - koefficient basımınń termikalıq koefficienti dep, α_v - kólem keńeyiwiniń termikalıq koefficienti dep ataladı. (1.28) hám (1.29) formulalar barlıq gazlar ushın shamalap orınlanadı [postulatqa tiykarlanıp, tek vodorod ushın ǵana (1.28) qatnas anıq orınlanadı], sonıń menen birge, barlıq gazlar ushın:

$$\alpha_v = \alpha_p = \alpha = \frac{1}{273} \text{grad}^{-1} \quad (1.30)$$

Tómendegi tablicadan bazı bir real gazlar ushın turaqlı temperaturalarda pV kóbeymeniń hár túrli p basımlardaǵı empirikalıq mánisleri keltirilgen. Gazlarda muǵdarda 1 *at* basımda alınǵan. Solay etip, $p = 1$ *at* bolǵanda gazlardıń hár biri ushın pV kóbeyme 1 ge teń. pV kóbeymeniń bul mánisi, Boyle-Mariott nızamına tiykarlanıp, hár qanday basım ushında saqlanıwı kerek edi[15].

Hár túrli p lar ushın pV kóbeymeniń 0°C daǵı mánisleri.

p at	pV			
	H_2	N_2	O_2	hawa
1	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
100	1,0690	0,9941	0,9265	0,9730
200	1,1380	1,0483	0,9140	1,0100
500	1,3565	1,3900	1,1560	1,3100
1000	1,7200	2,0685	1,7355	1,9920

Joqarıdaǵı tablicadan kórinip turǵanıday, 1 *at* dan 100 *at* ǵa shekem bolǵan basımlar intervalınan Boyle-Mariott nızamınan shetlesiw júdá kishi boladı: pV kóbeymeniń mánisleri 1 ge jaqın boladı. Biraq kóbeymeniń mánisi vodorod ushın 1 den biraz úlkenirek, N_2 , O_2 hám hawa ushın bolsa 1 den biraz kishirek eken. Bul bolsa vodorodtıń Boyle-Mariott nızamı talap etilgenine qaraǵanda azlaw qısılıwın, basqa gazlardıń kóbirek qısılıwın kórsetedi.

Basım 1000 *at* ǵa jetkende barlıq gazlar ushında Boyle-Mariott nızamınan shetlesiwler úlken boladı (máselen, azot ushın ol eki mártedende artıq): gazlardıń barlıǵıda Boyle-Mariott nızamına tiykarlanıp kútilgen qısılıwǵa qaraǵanda az qısıladı.

Júdá joqarı basımlarda Boyle-Mariott nızamınan shetlesiw jánede úlken boladı. Basım $15000 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$ bolğanda azottıń kólemi, Boyle-Mariott nızamına tiykarlanıp kúiletuǵın kólemde 16 márte úlken boladı[16].

Real gazlar ushın Gey-Lyussak nızamlarınan shetlesiwde sezilerli dárejede boladı.

Gazlar ushın α_p hám α_V coefficientleriniń mánisleri.

Gaz	$\alpha_p \cdot 10^2$	$\alpha_V \cdot 10^9$
H ₂	36613	36600
He.....	36609	36582
N ₂	36744	36732
CO ₂	37262	37414
Hawa.....	36750	36760

Tablicadan kórinip turǵanıday, bir gaz ushın α_p hám α_V coefficientler bir qıylı mániske iye bolmaydı; karbonat angidrid ushın α_p menen α_V arasındaqı parıq 0,4 % ke jetedi. Hár túrli gazlar ushın α_p hám, sonday-aq α_V coefficienttiń mánisleri bir-birinen biraz parıq qıladı[17].

Belgili gaz ushın α_p hám α_V coefficientlerdiń mánisleri onıń qanday temperatura intervalında baylanıslılıǵına qarap bir-birinen biraz parıq qıladı.

(4) hám (5) formulalarǵa tiykarlanıp:

$$\alpha_p = \frac{p - p_0}{p_0 t}, \quad \alpha_V = \frac{V - V_0}{V_0 t}$$

Bunda p_0 hám V_0 -daǵı basımı hám kólemi, p hám V bolsa t temperaturadaǵı basım hám kólem. Basım p hám kólem V nı, mäselen, $t = 50^\circ$ bolǵan jaǵday ushın ólshep, 0 dan 50 ge shekem bolǵan intervalda α_p hám α_V nıń ortasha mánislerin tabamız. Gey-Lyussak nızamına tiykarlanıp, α_p hám α_V nıń mánisleri qanday temperatura alıńǵanına bolmawı kerek edi.

Hawa ushın dúzilgen joqaridağı tablica haqıyqattanda Gey-Lyussak nızamınıń bul talabında shetlesiw barlıgın kórsetedi.

Basım $p = 1$ at bolǵanda temperaturanıń hár túrli Intervallarında hawa ushın α_p hám α_v lardıń mánisleri.

	Temperatura intervalları			
	0 – 50°	0 – 100°	0 – 150°	0 – 200°
$\alpha_p \cdot 10^4$	3675	3675	3674	3674
$\alpha_v \cdot 10^9$	3676	3674	3673	3672

Bul tablicadan kórinip turǵanıday, shetlesiwler onsha úlken emes, olar ásirese α_p ushın júdá kishi. Sonday bolsada, vodorod ornına hawa toltırılǵan gaz termometri menen temperaturanı ólsheude biraz qáte júz bergen bolar edi[18].

Boyl-Mariott hám Gey-Lyussak nızamlarına tolıq hám anıq boysınatuǵın hámde

$$\alpha_v = \alpha_p = \alpha = \frac{1}{273,13} \cong \frac{1}{273}$$

mánisler menen xarakterlenetuǵın gaz bar desek, bunday gaz *ideal gaz* delinedi. Bunday «ideal gazdın» qásiyetleri real gazlardın qásiyetlerine belgili dárejede uqsaydı.

Basımınıń $p_t - p_0$ ózgeriwin Δp menen belgilep, (1.28) formuladan tómendegini tabamız.

$$\Delta p = p_0 \alpha t \quad (1.31a)$$

tap sonday (1.29) dan kólemniń ΔV ózgeriwi ushın tómendegini tabamız:

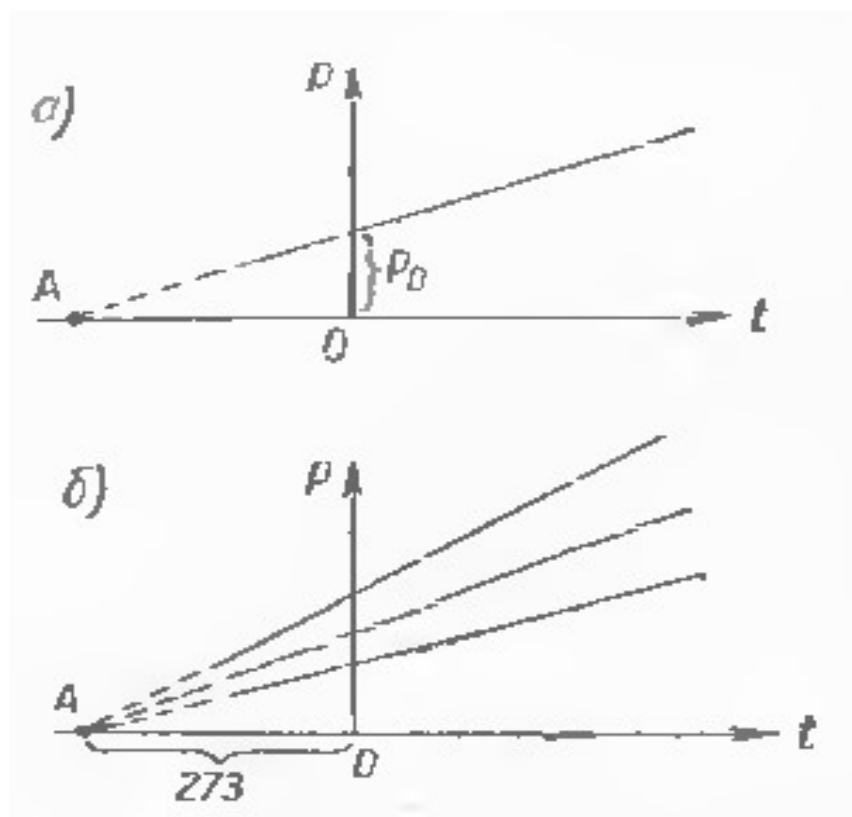
$$\Delta V = V_0 \alpha t \quad (1.31b)$$

(1.31b) formuladan, ideal gazdın (kólemi turaqlı bolǵanda) temperaturası artsa, onıń basımındaǵı bólimine artadı, degen juwmaq kelip shıǵadı.

Usı sıızıq *izoxora* delinedi hám bul sıızıqtıń kólemi turaqlı bolǵan jaǵdayǵa tiyisli ekenligin kórsetedi. Gazdın hár túrli massaları ushın p_0 dıń mánisleride hár

túrli boladı hám bul jaǵdayda izoxoralar ordinatalar kósherin hárqıylı biyikliklerde kesip ótiwshi tuwrı sızıqlar menen kórsetiledi.

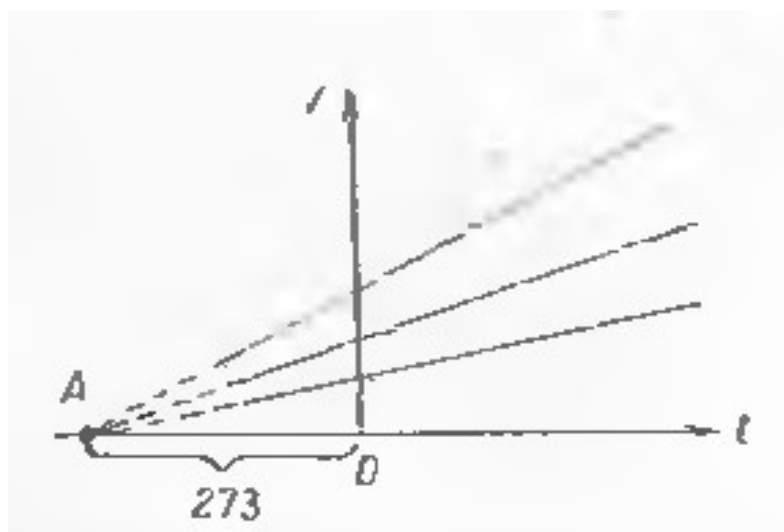
(1.31a) formulaǵa p_0 dıń qálegen mánisleri ushın $t = -\frac{1}{\alpha}$ bolǵanda $p_t = 0$ boladı. Sonıń ushın joqarıdaǵı tuwrı sızıqlardıń barlıǵı abscissalar kósherin $t = -\frac{1}{\alpha} \cong -273^\circ C$ tı kórsetiwshi birǵana A noqatta kesip ótedi.



2-súwret. A) Gaz basımı P niń temperaturaǵa baylanisin tuwrı sızıq boylap suwretlengen. B) qálegen muǵdar gazge tiyisli bolǵan izoxoralardıń hammesi abscissa kósherin kesip ótedi.

Tap soǵan uqsas, gazdıń basımı turaqlı bolǵanda onıń kólemi menen temperaturası arasındadıǵı baylanıs ordinatalar kósherin V_0 dıń mánisin kórsetiwshi noqatta kesip ótiwshi tuwrı sızıq (*izobara*) menen kórsetiledi[19].

Gazdıń hárqıylı massaları ushın ordinatalar kósherin túrli biyikliklerde kesip ótiwshi tuwrı sızıqlar payda boladı. Bul sızıqlar abscissalar kósheriniń $t = -\frac{1}{\alpha} \cong -273^\circ C$ tı kórsetiwshi birǵana A noqatında kesilisedi.



3-súwret. Qalegen múgdar gazler ushin gaz kólemi V niń temperaturaǵa t ǵa baylanisli suwretlewshi tuwri siziqlardıń absessiyalar kósherin bir A tochkada kesedi.

2-b hám 3-súwretlerden kórinip turǵanıday, eger koordinatalar bası t noqatqa kóshirilse, gazdın basımı yaki kólemi menen temperaturası arasındagı baylanıstın kórinisi ápiwayılasadı. Temperaturanıń jańa shkalasın kirgizemiz (bul shkaladagı temperaturanı T menen belgileymiz), bul shkala gradusınıń úlkenligi Celsiy shkalasındaǵıday bolsın, biraq onıń noli $\cong -273^{\circ}\text{C}$ qa tuwrı kelsin. Ol jaǵdayda:

$$T = t + 273^{\circ} \quad (1.32)$$

Bunnan

$$t = T - 273^{\circ} = T - \frac{1}{\alpha}$$

(1.31a) ke tiykarlanıp:

$$p_T = p_0 \left[1 + \alpha \left(T - \frac{1}{\alpha} \right) \right]$$

yaǵnıy

$$p_T = p_0 \alpha T \quad (1.33)$$

Sonday-aq

$$V_T = V_0 \alpha T \quad (1.34)$$

Temperaturalardıń bul shkalası *Kelvin shkalası* dep júrgiziledi (bul shkalada gradus $^{\circ}K$ menen belgilenedi). (1.33) den gazdıń kólemi turaqlı bolǵanda onıń basımı Kelvin shkalasında ólshenedi temperaturaǵa tuwrı proporcional ekenligi kelip shıǵadı. Sonday-aq, (1.34) dan gazdıń basımı turaqlı bolǵandaǵı onıń kólemi Kelvin shkalasında ólshengen temperaturaǵa tuwrı proporcional bolıp tabıladı. Temperatura $T = 0$ bolǵanda, (1.33) hám (1.34) teńliklerdi $p = 0$ hám $V = 0$ bolıp qalıwı kelip shıǵadı; biraq, haqıyqatında zattıń kólemi heshqashan nolge teń bolmaydı[16]. Bunday juwmaq Gey-Lyussak nızamların júdá tómen temperaturalardaǵı gazlarǵa orınsız ekenligin kórsetiwi nátiyjesinde kelip shıqtı; hárqanday real gaz $t = -273^{\circ}$ temperaturaǵa shekem suwıwnan aldın qatıp qaladı. Soǵan qaramastan, Kelvin shkalası hám nol temperaturanıń bul shkaladaǵı mánisi belgili bir fizikalıq mániske iye ekenligin biz keyinirek kóremiz. Sonıń ushın Kelvin shkalasın kóbinese *absolyut shkala* delinedi. Kelvin shkalasındaǵı noldi bolsa (Celsiy shkalasınıń $273,13^{\circ}$ qa sáykes keledi) *temperaturalarınıń absolyut shkala* dep ataymız[20].

II-BAP. GAZ NIZAMLARIN LABARATORIYALIQ ÚSKENELER JÁRDEMINDE ÚYRENIW HÁM NÁTIYJELERDI BAHALAW

§2.1 Labaratoriya jumisin orinlaw ushin qisqasha teoriyaliq maǵluwmatlar

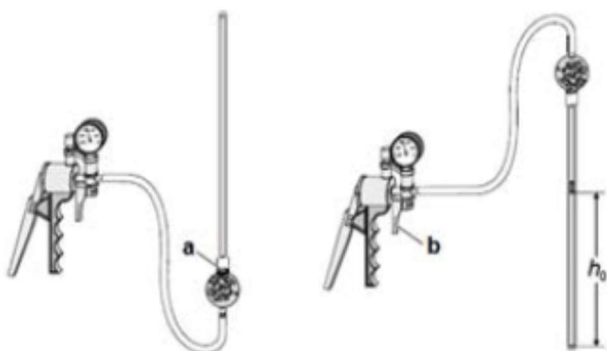
Jumıstıń maqseti:

- Turaqlı temperaturada gazdıń basımınıń kólemnen ǵárezligin izertlew.
- Boyle-Mariott nızamınıń durıslıǵın tekseriw.

Kerekli ásbap hám úskeler

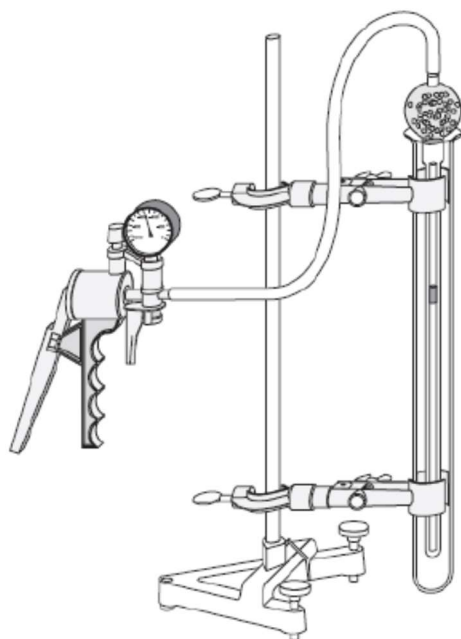
Gazlı termometr	1 dana	382 00
Vakuum payda etiw ushın arnalǵan nasos	1 dana	375 58
V tárizli shtativ tiykarı, 20 sm	1 dana	300 02
Shtativ baǵanası, 47 sm	1 dana	300 42
“Krokodil” sıyaqlı qısıp turatuǵın dúzilis	2 dana	301 11

Eksperimentallıq dúzilis



1-súwret.

Sınaptıń tamshıların jıynaw hám gazdıń dáslepki kólemi V_0 di anıqlaw.



2-súwret.

Turaqlı temperaturada gazdıń kóleminiń basımnan ǵárezligin izertlew ushın mólsherlengen tájiriybenniń dúzilisi.

Sınap tamshıların jıynaw

- Rukoyatkalı (qol menen júrgiziletuǵın) vakuum payda etetuǵın nasos gazlı termometrge tutastırıńız hám termometrdiń ashıq ushı tómen qarap turıwın támiyinlew kerek boladı (4-súwretke qarańız).
- Rukoyatkalı vakuum payda etetuǵın nasostıń járdeminde artıqsha basım Δp_{n1} payda etińiz hám tamshı formasındaǵı sınaptı dónes orınǵa (a) toplańız. Rukoyatkalı vakuum payda etetuǵın nasostıń manometri artıqsha bolǵan basım Δp_{n1} teris mánis sıyaqlı kórsetedi.
- Eger sınaptıń tamshıları kapillyarda qalǵan bolsa, kapillyardı áste túrtip, olardı dónes orınǵa qarap (a) jılıstırıńız. Kapillyardıń ushında qalǵan kishkene sınaptıń tamshısı tájiriybenni orınlawǵa kesent etpeydi.

Gazdıń kólemi V_0 di anıqlaw

- Sınaptı kapillyardıń kiriw tesigine qarap jılıstırıw ushın gazlı termometr áste awdarıladı.
- Nasostıń ventilyaciya klapanı (b) ástelik penen ashıladı hám Δp basım 0 ge shekem kemeytiledi. Nátiyjede sınap bir pútin tamshı boladı.

▪ Gazli termometr menen úlken trubka shtativtiń baǵanasına qıstırıladı. Eger sınaptıń úlken tamshısı kúshli vibraciyanıń nátiyjesinde bólinip ketse, onda sınaptı qaytadan jıynaw kerek boladı.

Teoriyalıq maǵlıwmatlar

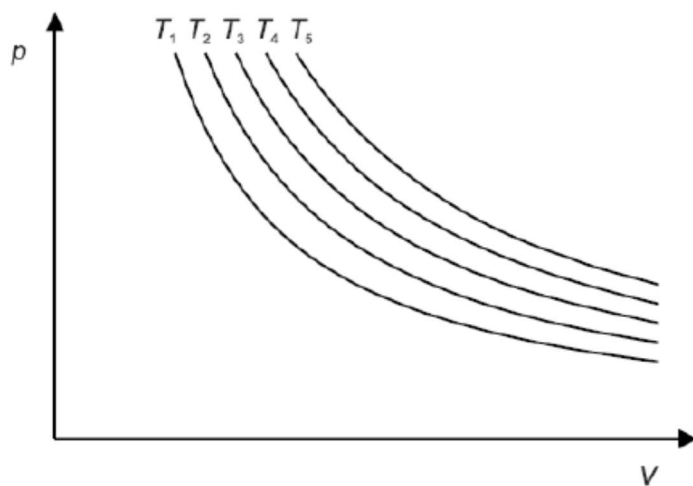
Idealgazdıń halın úsh fizikalıq parametr menen tolıq ańlatıwǵa boladı. Olar basım, temperatura hám kólem. Bul úsh parametr arasındaqı qatnas gazdıń tiykarǵı nızamı bolıp tabıladı:

$$PV = \nu RT. \quad (2.1)$$

Bul ańlatpada P arqalı basım, V arqalı kólem, T arqalı temperatura, ν arqalı ideal gazdıń zat muǵdarı, R arqalı universal gaz turaqlısı ($8,31 \text{ Dj}/(\text{K} \cdot \text{mol})$) belgilengen.

Eger parametrlerden biri basım, kólem yamasa temperatura ózgermese, qalǵan eki parametrdı bir-birinen ǵárezsiz ózgertip bolmaydı. Turaqlı temperaturada ushın Boyle-Mariott nızamı orınlanadı:

$$PV = \text{const}. \quad (2.2)$$



Ideal gazdıń turaqlı temperaturadaǵı pV diagrammaları

Bul nızamnıń durısıǵın tekseriw ushın tájiriybedegazli termometrden paydalanıladı. Gazli termometr shiyshe kapillyardan ibarat bolıp, onıń bir ushı

ashıq boladı. Hawanın belgili bir muǵdarı kapillyardıń ishinde sınaptıń tamshısı járdeminde qamaladı. Qorshaǵan sırtqı ortalıqtıń basımı p_0 bolsa, kapillyardıń ishindegi hawa V_0 kólemge iye boladı. Ójire temperaturasında rukoyatkalı (qol menen júrgilituǵın) nasostıń járdeminde hawanı sorıp alıw arqalı hawa baǵanasında $p_0 + \Delta p$ basımı payda etiledi. Bul ańlatpada p_0 arqalı qorshaǵan sırtqı ortalıqtıń basımı belgilengen. Sınaptıń tamshısında hawanın baǵanasına óz basımın túsiredi:

$$P_{Hg} = \rho_{Hg} \cdot g \cdot h_{Hg} \quad (2.3)$$

Bul ańlatpada $\rho_{Hg} = 13,6 \text{ g/sm}^3$ – sınaptıń tıǵızlıǵı, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ – erkin túsiw tezleniwi, h_{Hg} – sınaptıń tamshısının biyikigi.

Gazli termometrdegi qamalıp qalǵan hawanın basımın bılayınsha anıqlanadı:

$$p = p_0 + \Delta p + p_{Hg} \quad (2.4)$$

V kólem hawanın baǵanasının biyikligi h penen kapillyardıń Skóldeneń kesiminiń maydanı arqalı mına formula arqalı esaplaw múmkin:

$$V = \pi \frac{d^2}{4} h.$$

Bul ańlatpada kapillyardıń ishki diametri $d = 2,7 \text{ mm}$ ge teń.

§2.2 Laboratoriya qurılması hám tájriybelerdi ótkeriw tártibi

Eksperimentti orınlaw tártibi

- Qorshaǵan sırtqı ortalıqtıń basımı P_0 anıqlanadı.
- Gazli termometrdiń shkalası boyınsha sınaptıń baǵanasının biyikligi h_{Hg} jazıp alınadı.
- Rukoyatkalı (qol menen júrgiziletuǵın) vakuum nasostıń járdeminde artıqsha basım Δp nı payda etiledi hám onı ástelik penen arttırıp barıladı.
- Barlıq waqıtta hawanın baǵanasının biyikligi h tı artıqsha basım Δp menen birgelikte jazıp barıńız.

Turaqlı basımda gazdıń kóleminiń temperaturaǵa ǵárezligi (Gey – Lyussak nızamı)

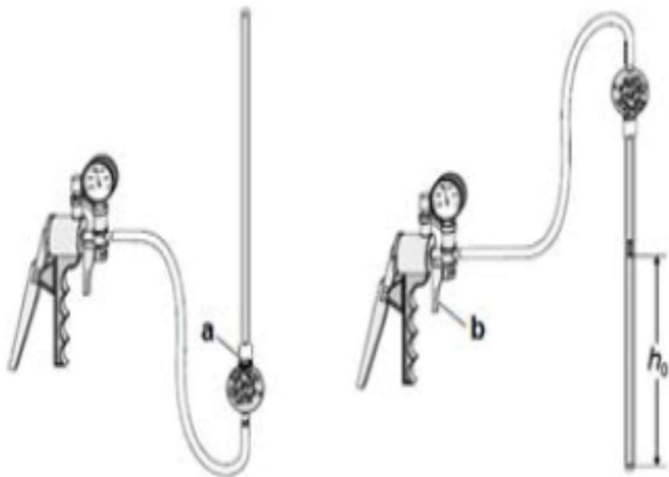
Jumıstıń maqseti:

- Turaqlı basımda gazdıń kóleminiń temperaturadan ǵárezligin izertlew.
- Tájiriybeniń nátiyjelerin tómén temperaturalar tárepine ekstrapolyaciyalaw jolı menen temperaturanıń absalyut shkalasın anıqlaw.

Kerekli ásbap hám úskeneler

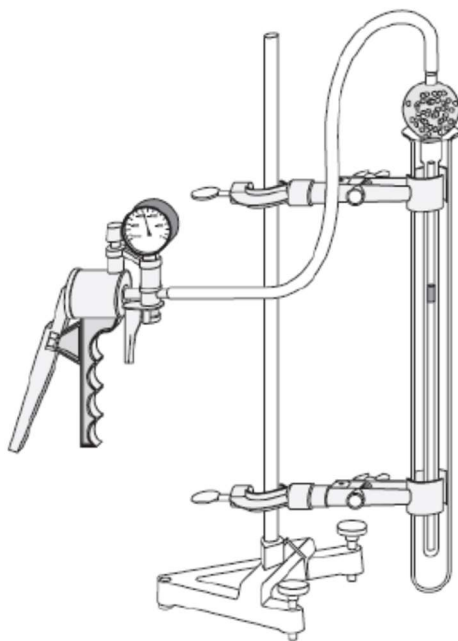
Gazlı termometr	1 dana	382 00
Rukoyatkalı vakuum nasosı	1 dana	375 58
Vformasındaǵı shtativ tiykarı, 20 sm	1 dana	00 02
SHtativ baǵanası, 47sm	1 dana	300 42
“Krokodil” sıyaqlı qısıp turatúǵın dúzilis	2 dana	301 11
Elektr plitkası	1 dana	666 767
SHiyshe stakan, 400 ml	1 dana	664 103
P2.5.2.2 (a)		
Sanlı termometr	1 dana	666 190
NiCr-Nitemperatura datshigi	1 dana	666 193
P2.5.2.2 (b)		
Mobil CASSYLab	1 dana	524 009
NiCr-Ni transformator S	1 dana	524 0673
NiCr-Ni temperatura datshigi 1.5 mm	1 dana	529 667

Eksperimentallıq dúzilis



3-súwret.

Sınaptıń tamshıların jıynaw
hám gazdıń dáslepki kólemi V_0
dı anıqlaw.



4-súwret.

Turaqlı basımda gazdıń
kóleminiń temperaturadan gárezligin
izertlew ushın mólsherlengen
tájiriybeniń dúzilisi.

Sınap tamshıların jıynaw

- Rukoyatkalı (qol menen júrgiziletuǵın) vakuum payda etetuǵın nasos gazlı termometrge tutastırıńız hám termometrdiń ashıq ushı tómén qarap turıwın támiyinlew kerek boladı (7-súwretke qarańız).
- Rukoyatkalı vakuum payda etetuǵın nasostıń járdeminde artıqsha basım Δp_{n1} payda etińiz hám tamshı formasındaǵı sınaptı dóńes orıńǵa (a) toplańız.

Rukoyatkalı vakuum payda etiteuǵın nasostıń manometri artıqsha bolǵan basım Δp nı teris mánis sıyaqlı kórsetedi.

- Eger sınaptıń tamshıları kapillyarda qalǵan bolsa, kapillyardı áste túrtip, olardı dónesorınǵa qarap (a) jılıstırıńız. Kapillyardıń ushında qalǵan kishkene sınaptıń tamshısı tájiriybeni orınlawǵa kesent etpeydi.

Gazdıń kólemi V_0 di anıqlaw

- Sınaptı kapillyardıń kiriw tesigine qarap jılıstırıw ushın gazlı termometr áste awdarıladı.

- Nasostıń ventilyaciya klapanı (b) ástelik penen ashıladı hám Δp basım 0 ge shekemkemeytileği. Nátiyjede sınap bir pútin tamshı boladı.

- Gazlı termometr menen úlken trubka shtativtıń baǵanasına qıstırıladı. Eger sınaptıń úlken tamshısı kúshli vibraciyanıń nátiyjesinde bólinip ketse, onda sınaptı qaytadan jıynaw kerek boladı.

Temperaturanı sanlı termometr járdeminde ólshew

(ólshew ásbabın demonstraciyalıw)

Temperaturanıń datshigi NiCr-Nidı gazlı termometrge parallel etip úlken probirkaǵa kirgiziń hám onı sanlı termometrge jalǵańız.

Temperaturanı MobilCASSY járdeminde ólshew

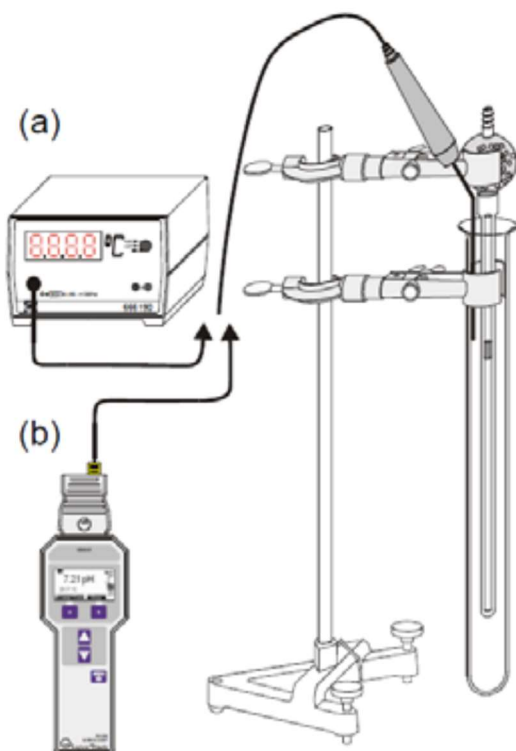
(kóshpeli ólshew ásbabı)

Temperaturanıń datshigi NiCr-Nidı gazlı termometrge parallel etip úlken probirkaǵa kirgiziń hám onı mobilCASSYge jalǵańız.

Qáwipsizlik texnikası

Dıqqat: gazlı termometr sınapqa iye.

1. Gazlı termometr menen jumıs islegende itibarlı bolıw talap etiledi.
2. SHıyshe ıdıs hám stakan paydalanǵanda itibarlı bolıń. SHıyshe niń sınawına jol bermeńiz.



5-súwret.

Ekspérimenttiń dúzilisiniń sxeması.

Temperaturanı sáykes túrde sanlı termometr (a) yamasa mobilCASSY (b) járdeminde ólshew.

Teoriyalıq maǵlıwmatlar

Idealgazdıń halın úsh fizikalıq parametr menentolıqańlatıwǵa boladı. Olar basım, temperatura hámkólem. Bul úsh parametr arasındadı qatnas gazdıń tiykarǵı nızamı bolıp tabıladı:

$$PV = \nu RT. \quad (2.5)$$

Bul ańlatpada P arqalı basım, V arqalı kólem, T arqalı temperatura, ν arqalı ideal gazdıń zat muǵdarı, R arqalı universal gaz turaqlısı ($8,31 \text{ Dj}/(\text{K} \cdot \text{mol})$) belgilengen.

Eger parametrlerden biri basım, kólem yamasa temperatura ózgermese, qalǵan eki parametrdı bir-birinen ǵárezsiz ózgertip bolmaydı. Turaqlı basımda Gey-Lyussak nızamı orınlı boladı:

$$V \sim T. \quad (2.6)$$

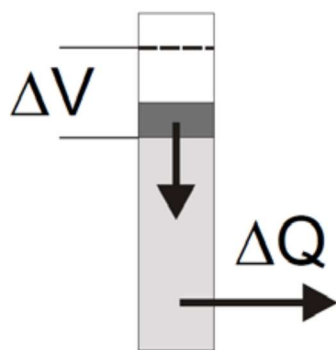
Bulnızamnıń durıslıǵın teksergende eksperiment gazlı termometrdıń járdeminde orınlanadı. Gazlı termometr shıyshe kapillyardan ibarat bolıp, onıń bir

ushı ashıq boladı. Hawanıń belgili bir muǵdarı kapillyardıń ishinde sınaptıń tamshısı járdeminde qamaladı. Qorshaǵan sırtqı ortalıqtıń P_0 basımında kapillyardıń ishindegi hawa V_0 kólemge iye boladı. Gazlı termometrdiń temperaturası shama menen $T \approx 90^\circ\text{S}$ ǵa teń bolǵan suwǵa túsiriledi hám bul sistema ástesuwıtıladı (10-súwret). Gazlı termometrdiń ashıq ushı qorshaǵan ortalıqtıń basımınıń tásirinde boladı.

Qamalıp qalǵan hawa baǵanasınıń basımı tájiriybe waqtında ózgerissiz qaladı. Hawa baǵanasınıń kólemi bılayınsha anıqlanadı:

$$V = \pi \frac{d^2}{4} h.$$

Bul ańlatpada kapillyardıń ishki diametrid $= 2,7 \text{ mm}$ ge teń.



$p = \text{const.}$

6-súwret.

Termodinamikalıq processtıń
sxemalıq kórinisi.

Eksperimentti orınlaw tártibi

- 400 ml kólemge iye suwdı 90°S ge shekem elektroplitkasında qızdırıladı.
- Issı suwshiyshe ıdısqa quyıladı. Temperatura kóterilip barǵan sayın gazdıń dáslepki basımı páseyedi.
- Temperaturanıń kóteriliwin baqlap barıń.
- Temperaturanıń hám hawa baǵanasınıń biyikligin dál ólshew ushın temperaturanıń páseyiwiniń baslanıw momentin kútiw kerek boladı.
- Vannadaǵı suwdıń (probirkadaǵı suw) salqınlaw barısındagazlı termometrdiń temperaturasın hám hawa baǵanasınıń biyikligin ólshep barıń.

Turaqlı kólemde gazdıń basımınıń temperaturadan gárezligi (Sharl nızamı)

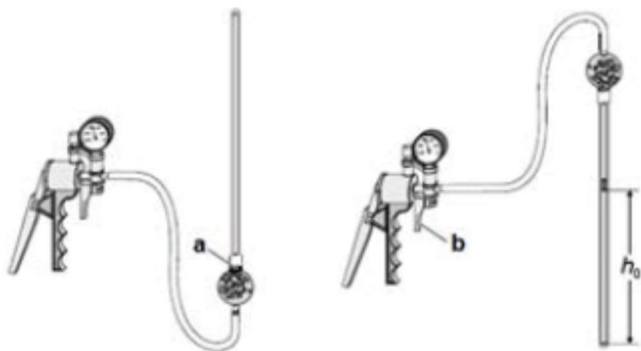
Jumıstıń maqseti:

- Turaqlı kólemde gazdıń basımınıń temperaturadan gárezligin izertlew.
- Tájiriybeniń nátiyjelerin tómén temperaturalar tárepine ekstrapolyaciyalaw jolı menen temperaturanıń absalyut shkalasın anıqlaw.

Kerekli ásbap hám úskeneler

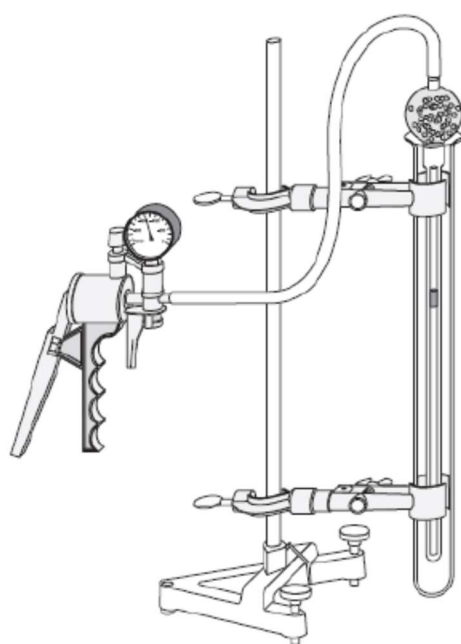
Gazlı termometr	1 dana	382 00
Rukoyatkalı vakuum nasosı	1 dana	375 58
Vformasındaǵı shtativ tiykarı, 20 sm	1 dana	00 02
SHtativ baǵanası, 47sm	1 dana	300 42
“Krokodil” sıyaqlı qısıp turatuǵın dúzilis		
Elektr plitkası	2 dana	301 11
SHiyshe stakan, 400 ml	1 dana	666 767
P2.5.2.2 (a)	1 dana	664 103
Sanlı termometr		
NiCr-Nitemperatura datshigi	1 dana	666 190
P2.5.2.2 (b)	1 dana	666 193
Mobil CASSYLab		
NiCr-NitransformatorS	1 dana	524 009
NiCr-Ni temperatura datshigi 1.5 mm	1 dana	524 0673
	1 dana	529 667

Eksperimentallıq dúzilis



7-súwret.

Sınaptıń tamshıların
jıynaw hám gazdıń dáslepki
kólemi V_0 di anıqlaw.



8-súwret.

Turaqlı kólemde gazdıń
basımınıń temperaturadan
ǵárezliligin izertlew ushın
mólsherlengen tájiriybeniń
dúzilisi.

Sınap tamshıların jıynaw

- Rukoyatkalı (qol menen júrgiziletuǵın) vakuum payda etetuǵın nasos gazlı termometrge tutastırıńız hám termometrdiń ashıq ushı tómen qarap turıwın támiyinlew kerek boladı (12-súwretke qarańız).
- Rukoyatkalı vakuum payda etetuǵın nasostıń járdeminde artıqsha basım Δp_{n1} payda etińiz hám tamshı formasındaǵı sınaptı dónes orıńǵa (a) toplańız. Rukoyatkalı vakuum payda etetuǵın nasostıń manometri artıqsha bolǵan basım Δp_{n1} teris mánis sıyaqlı kórsetedi.

- Eger sınaptıń tamshıları kapıllıarda qalǵan bolsa, kapıllıardı áste túrtıp, olardı dónesorına qarap (a) jılıstırıńız. Kapıllıardıń ushında qalǵan kishkene sınaptıń tamshısı tájiriybeni orınlawǵa kesent etpeydi.

Gazdıń kólemi V_0 di anıqlaw

- Sınaptı kapıllıardıń kiriw tesigine qarap jılıstırıw ushın gazlı termometr áste awdarıladı.
- Nasostıń ventilyaciya klapanı (b) ástelik penen ashıladı hám Δp basım 0 ge shekemkemeytiledi. Nátiyjede sınap bir pútin tamshı boladı.
- Gazlı termometr menen úlken trubka shtativtıń baǵanasına qıstırıladı. Eger sınaptıń úlken tamshısı kúshli vibraciyanıń nátiyjesinde bólinip ketse, onda sınaptı qaytadan jıynaw kerek boladı.

Temperaturanı sanlı termometr járdeminde ólshew

(ólshew ásbabın demonstraciyalıw)

Temperaturanıń datshigi NiCr-Nidı gazlı termometrge parallel etip úlken probirkaǵa kirgiziń hám onı sanlı termometrge jalǵańız.

Temperaturanı MobilCASSY járdeminde ólshew

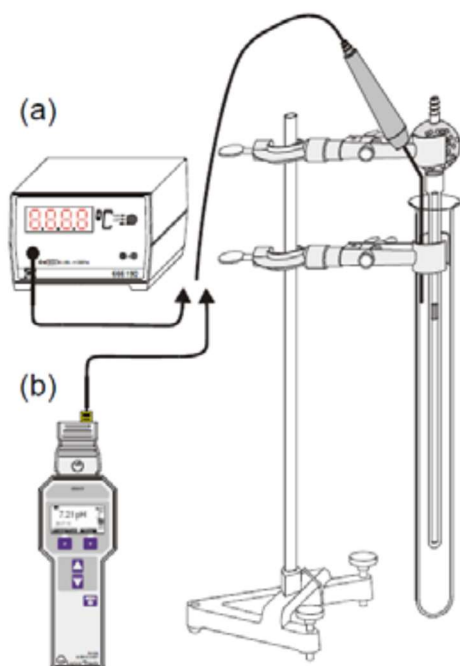
(kóshpeli ólshew ásbabı)

Temperaturanıń datshigi NiCr-Nidı gazlı termometrge parallel etip úlken probirkaǵa kirgiziń hám onı mobilCASSYge jalǵańız.

Qawipsizlik texnikası

Dıqqat: gazlı termometr sınapqa iye.

1. Gazlı termometr menen jumıs islegende itibarlı bolıw talap etiledi.
2. SHıyshe ıdıs hám stakan paydalanǵanda itibarlı bolıń. SHıyshe niń sınawına jol bermeńiz.



9-súwret.

Eksperimenttiń dúzilisiniń sxeması.

Temperaturanı sáykes túrde sanlı termometr (a) yamasa mobilCASSY (b) járdeminde ólshew.

Teoriyalıq maǵlıwmatlar

İdeal gazdıń halın úsh fizikalıq parametr menen tolıq ańlatıwǵa boladı. Olar basım, temperatura hámkólem. Bul úsh parametr arasındadıǵı qatnas gazdıń tiykargı nızamı bolıp tabıladı:

$$PV = \nu RT. \quad (2.7)$$

Bul ańlatpada P arqalı basım, V arqalı kólem, T arqalı temperatura, ν arqalı ideal gazdıń zat muǵdarı, R arqalı universal gazturaqlısı ($8,31 \text{ Dj}/(\text{K} \cdot \text{mol})$) belgilengen.

Eger parametrlerden biri basım, kólem yamasa temperatura ózgermese, qalǵan eki parametrdı bir-birinen ǵárezsiz ózgertip bolmaydı. Turaqlı kólemde SHarl nızamı orınlı boladı:

$$p \sim T \quad (2.8)$$

Bulnızamnıń durılıǵın teksergende eksperiment gazlı termometrdiń járdeminde orınlanadı. Gazlı termometr shıyshe kapillyardan ibarat bolıp, onıń bir ushı ashıq boladı. Hawanıń belgili bir muǵdarı kapillyardıń ishinde sınaptıń tamshısı járdeminde qamaladı. Qorshaǵan sırtqı ortalıqtıń P_0 basımında kapillyardıń ishindegi hawa V_0 kólemge iye boladı.

Ójire temperaturasında rukoyatkalı (qol menen júrgilituǵın) nasostıń járdeminde hawanı sorıp alıw arqalı hawa baǵanasında $p_0 + \Delta p$ basımı payda etiledi. Bul ańlatpada p_0 arqalı qorshaǵan sırtqı ortalıqtıń basımı belgilengen. Sınaptıń tamshısında hawanıń baǵanasına óz basımın túsiredi:

$$P_{Hg} = \rho_{Hg} \cdot g \cdot h_{Hg} \quad (2.9)$$

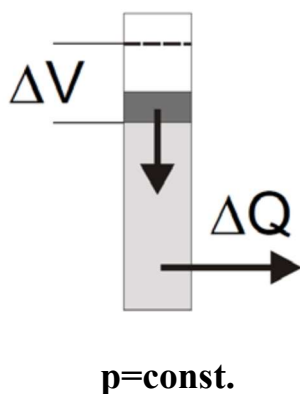
Bul ańlatpada $\rho_{Hg} = 13,6 \text{ g/sm}^3$ – sınaptıń tıǵızlıǵı, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ – erkin túsıw tezleniwı, h_{Hg} – sınaptıń tamshısınıń biyikigi.

Gazlı termometrdegi qamalıp qalǵan hawanıń basımın bılayınsha anıqlanadı:

$$p = p_0 + \Delta p + p_{Hg} \quad (2.10)$$

Gazlı termometrdiń temperaturası shama menen $T \approx 90^\circ \text{S}$ ǵa teń bolǵan suwǵa túsiriledi hám bul sistema áste suwıtıladı (15-súwret). Gazlı termometrdiń ashıq ushı qorshaǵan ortalıqtıń basımınıń tásirinde boladı.

Kólemniń turaqlı bolıwın támiyinlew ushın gazlı termometr ishindegi hawanı nasostıń járdeminde sorıp alınadı.



10-súwret.
Termodinamikalıq processtıń
sxemalıq kórinisi.

Ekspirimentti orınlaw tártibi

- 400 ml kólemge iye suwdı 90°S ge shekem elektroplitkasında qızdırıladı.
- Issı suw shiyshe ıdısqa quyıladı.
- Temperaturanıń kóteriliwin baqlap barıńız. Bir az waqıttan soń temperatura páseye baslaydı.
- Qamalğan hawanıń kólemi V_0 dı anıqlaw ushın gazlı termometrdiń shkalası boyınsha sınaptıń baǵanasınıń biyikligi h_0 jazıp barıladı.

Vannadaǵı suw salqınlawı menen mına kórsetpelerdi orınlańız:

- Rukoyatkalı (qol menen júrgiziletuǵın) vakuum nasosınıń járdeminde basım Δp nı ózgertiw arqalı dáslepki h_0 biyiklik uslap turıladı (Bul ámel nátiyjesinde salqınlaw waqtındaǵı kólemniń ózgerisi kompensaciyalanadı hám kólemniń ózgerissiz qalıwına járdem beredi).
- Tájiriye barısında artıqsha basım Δp_n hám temperaturanı jazıp barıńız.

§2.3 Labaratoriya ólshew nátiyjeleri hám olardi esaplaw

Sırtqı basım: $p_0 = 101 \text{ kPa}$

Sınap baǵanasınıń biyikligi: $h_{Hg} = 11 \text{ mm}$

2.1-keste.

Hawa baǵanasınıń biyikliginiń h basımlar ayırmasına Δp ǵárezliligi.

$\Delta p, \text{ gPa}$	H, sm	$\Delta p, \text{ gPa}$	H, sm
0	7.0	-450	12.95
-60	7.7	-500	14.1
-100	8.0	-550	15.4

-150	8.45	-600	17.15
-200	8.9	-650	20.05
-250	9.5	-690	22.5
-300	10.5	-740	26.75
-340	10.95	-780	31.35
-410	12.1	-800	34.75

(2.33)-teńlemege tiykarlanıp, sınaptıń baǵanası keltirip shıǵarıp atırǵan basım P_{Hg} tómendegige teń:

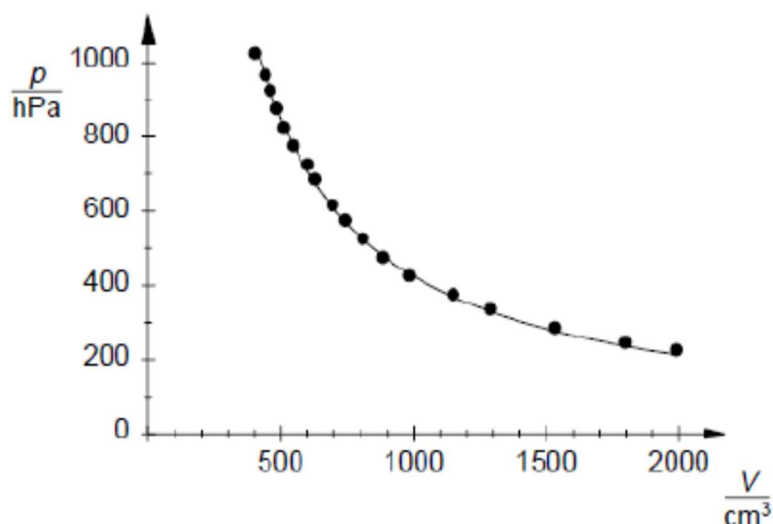
$$P_{Hg} = 13.6 \text{ g/sm}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 11 \text{ mm} = 1,5 \text{ kPa}$$

2.2-keste.

Hawa basımınıń (ólshengen Δp mánisleri boyınsha, 2.1 keste.) kólemge (h mánisleri boyınsha esaplangan, 1 keste.) ǵárezligi.

V, mm	p, gPa	V, mm	p, gPa
01,1	1026	807.9	526
441,2	966	882.4	476
458,4	876	982.7	426
510	826	1148.9	376
544,4	776	1289.3	336
601,7	726	1532.8	286
627.4	686	1796.4	246
693.3	616	1991.2	226
742	576		

Esaplaw hám nátiyjeler



11-súwret.

2-keste boyınsha
basımın kólemge
ǵárezlilik grafigi.

Bul jerde úzliksiz tegis iymeklik giperbolaǵa sáykes keledi.

$p = C/V$, bul jerde $C = 424\,000 \text{ gPa/mm}^3$.

Iymeklik tájiriybede alınǵan nátiyjelerge tolıq sáykes keledi. Demek, (2)-teńleme qamalıp qalǵan hawanıń baǵanası ushın orınlı boladı.

Juwmaq:

Turaqlı temperaturada ideal gazdıń basımınıń kólemine kóbeymesi ózgerissiz saqlanadı (Boylb – Mariott nızamı).

2.3-keste.

Qamalǵan hawa baǵanasınıń biyikligi temperaturanıń funkciyası sıpatında.

t, °C	h, sm	t, °C	h, sm
87.2	49.5	51.4	44.5
80.9	48.5	42.3	43.5
75.2	47.5	35.7	42.5
67.7	46.5	30.2	41.5
58.7	45.5	25.0	40.5

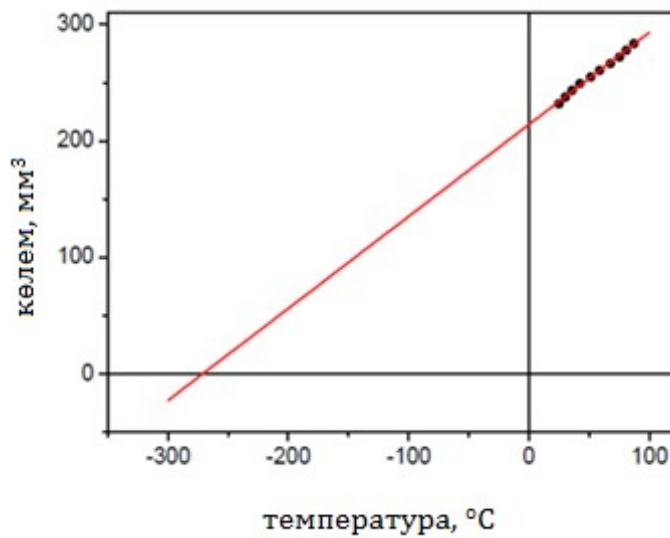
Esaplaw hám nátiyjeler

(2.5)-formula boyınsha hawa baǵanasınıń biyikliginiń ólshep alınǵan mánislerinen (1-keste) paydalanıp kólemdi esaplap tabıw múmkin boladı.

2.4-keste.

Kólem temperaturanıń funkciyası sıpatında.

t, °C	V, mm ³	t, °C	V, mm ³
87.2	283.4	51.4	254.8
80.9	277.7	42.3	249.1
75.2	272.0	35.7	243.3
67.7	266.5	30.2	237.6
58.7	260.5	25.0	231.9



12-súwret.

2.4-kestede keltirilgen
mánislerdiń grafigi.

Tuwrı sızıq mına formula boyınshaalınǵan:

$$V = 214,2 \text{ mm}^3 + (0,79 \text{ mm}^3/\text{°C}) \cdot t$$

Sızıqlı funkciyanı teris temperaturalardıń tárepine ekstrapolyaciyalawdıń nátiyjesinde,onıń temperatura kósheri menen kesilisiwinen absolyut nolǵ temperatura ($T=0K$) anıqlanadı.

$$t_0 = -271^{\circ}C \pm 8^{\circ}C$$

$$\Delta t = t + t_0$$

$$V = (0,79 \text{ mm}^3/^{\circ}C) \cdot t$$

Juwmaq:

Turaqlı basımda ideal gazdıń kólemi temperaturaǵa proporcional boladı (Gey-Lyussak nızamı).

2.5-keste.

Artıqsha basımnıń temperaturanıń funkciyası sıpatında.

t, °C	p, gPa	t, °C	p, gPa
81,5	0	35,3	-120
65,2	-20	29,7	-140
55,2	-50	23,3	-160
45,5	-80	18,3	-175
39,9	-100		

$$P_0=101 \text{ kPa}, h_{Hg}=11 \text{ mm}$$

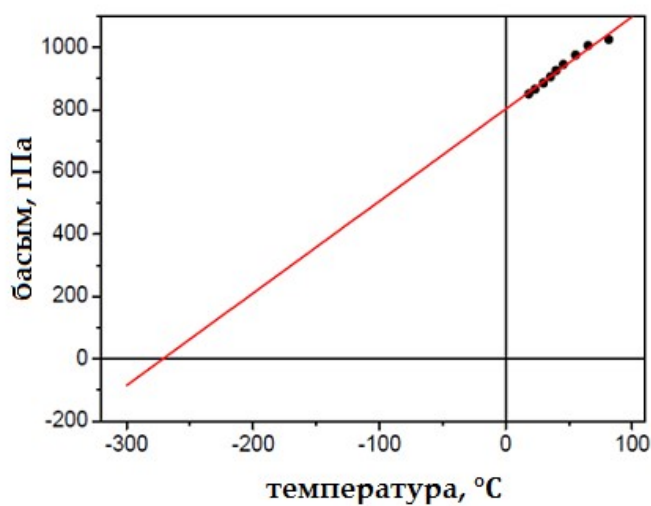
Esaplaw hám nátiyjeler

(2.10)-formula járdeminde gazlı termometr ishindegi hawanıń basımın anıqlawǵa boladı (2.6-keste).

2.6-keste.

Basımın temperaturanın funksiyası sıpatında.

t, °C	p, gPa	t, °C	p, gPa
81,5	1026	35,3	906
65,2	1006	29,7	886
55,2	976	23,3	866
45,5	946	18,3	851
39,9	926		



13-súwret.

2.6-kestede keltirilgen
mánislerdiń grafigi.

Tuwrı sıızıq mına formula boyınsha alıńǵan:

$$p = 802,3 \text{ gPa} + (2,96 \text{ gPa}/^{\circ}\text{C}) \cdot t$$

Sızıqlı funksiyanı teris temperaturalardıń tárepine ekstrapolyaciyalawdıń nátiyjesinde, onıń temperatura kósheri menen kesilisiwinen absolyut nol temperatura ($T=0\text{K}$) anıqlanadı.

$$t_0 = -271^{\circ}\text{C} \pm 8^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = t + t_0$$

$$p = (2.96 \text{ gPa}/^{\circ}\text{C}) \cdot t$$

Juwmaqlar

1. Bul jumista Boyle – Mariott nızamın tajiriybede uyreniw ushın gazlı termometrden paydalanıladı. Tajiriybede basımın kólemge baylanisli giperbola tipindegi iymeklikgi alınadı. Alingan iymeklikten turaqlı temperaturada ideal gazdın basımınıń kólemine kóbeymesi ózgerissiz saqlanatuǵınlıǵı anıqlandı (Boyle – Mariott nızamı).

2. Turaqlı basımda Gey-Lyussak nızamı orınlı bolatuǵınlıǵın uyreniw ushın gazlı termometrden paydalanıladı. Olsheuler natıyjesinde turaqlı basımda kólemnıń temperaturaǵa baylanisli sanlı natıyjeleri hám grafigi alınadı. Alingan natıyjelerden turaqlı basımda ideal gazdın kólemi temperaturaǵa proporcional ózgeretuǵınlıǵı yaǵnıy Gey-Lyussak nızamı orınlı bolatuǵınlıǵın kóriw mumkin.

3. Sharl nızamı da joqarıdaǵı tájiriybelerdegige uqsas úyreniledi. Basımın temperaturenıń funkciyası sıpatındaǵı grafigi tómendegi formula bóyinsha esaplap anıqlanadı.

$$p = 802,3 \text{ gPa} + (2,96 \text{ gPa}/^{\circ}\text{C}) \cdot t$$

Sızıqlı funkciyanı teris temperaturaların tárepine ekstrapolyaciyalawdın natıyjesinde, onıń temperatura kósheri menen kesilisiwinen absolyut nol temperatura ($T=0 \text{ K}$) anıqlanadı.

ADEBIYATLAR

1. Ковалева, Т.Ю. Механика. Молекулярная физика и термодинамика / Т.Ю. Ковалева. - М.: КноРус, 2012. - 952 с.
2. Иванов, А.Е. Механика. Молекулярная физика и термодинамика: Учебник / А.Е. Иванов, С.А. Иванов. - М.: КноРус, 2012. - 952 с.
3. Кикоин, А.К. Молекулярная физика: Учебное пособие / А.К. Кикоин, И.К. Кикоин. - СПб.: Лань, 2014. - 480 с.
4. Лабскер, Л.Г. Основы физики. Молекулярная физика. Термодинамика: Учебное пособие / Л.Г. Лабскер. - М.: КноРус, 2013. - 192 с.
5. Сивухин, Д.В. Общий курс физики. В 5 т. Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика / Д.В. Сивухин. - М.: Физматлит, 2014. - 544 с
6. Савельев, И.В. Курс физики. В 3-х т. Т. 1. Механика. Молекулярная физика / И.В. Савельев. - СПб.: Лань, 2016. - 352 с.
7. Уайт, А. Молекулярная физика: Учебное пособие / А. Уайт. - СПб.: Лань П, 2016. - 368 с.
8. Миронова, Г.А. Молекулярная физика и термодинамика в вопросах и задачах / Г.А. Миронова, Н.Н. Бранд. - СПб.: Лань, 2012. - 480 с.
9. Степин, П.А. Курс общей физики: Учебное пособие В 3-х тт. Т.1. Механика. Молекулярная физика. Колебания и волны / П.А. Степин. - СПб.: Лань КПТ, 2016. - 352 с.
10. Тульчинский, Г. Курс общей физики. В 3-х тт. Том 1 Механика. Молекулярная физика: Учебник / Г. Тульчинский, Е. Шекова. - СПб.: Лань, 2016. - 432 с.
11. Бармасов, А.В. Курс общей физики для природопользователей. Молекулярная физика и термодинамика / А.В. Бармасов. - СПб.: ВHV, 2012. - 512 с.
12. Стуколкин, Л.П. Молекулярная физика: Учебное пособие / Л.П. Стуколкин. - СПб.: Лань П, 2016. - 480 с.

13. Туганбаев, А.А. Курс физики. В 3-х тт. Том 1 Механика. Молекулярная физика: Учебник / А.А. Туганбаев, В.Г. Крупин. - СПб.: Лань, 2016. - 352 с.
14. Ландсберг, Г.С. Элементарный учебник физики. Т.1. Механика. Теплота. Молекулярная физика: Учебное пособие / Г.С. Ландсберг. - М.: Физматлит, 2016. - 612 с.
15. Квасников, И.А. Молекулярная физика / И.А. Квасников. - М.: КД Либроком, 2013. - 304 с.
16. Никеров, В.А. Физика для вузов: механика и молекулярная физика: Учебник / В.А. Никеров. - М.: Дашков и К, 2015. - 136 с.
17. Ермакова Е.В. Методические рекомендации к лабораторным занятиям по курсу общей физики (молекулярная физика и термодинамика). Ишим: Изд-во ИГПИ им. П.П. Ершова, 2003.- 60 с.
18. Загайнов А.З. Проведение контрольных лабораторных работ. /Проблемы учебного физического эксперимента. Выпуск 6.: Глазов, Санкт-Петербург, 1998. С. 10-11.
19. Лабораторный практикум по физике: Учеб. пособие для студентов вузов /Б.Ф. Алексеев, К.А. Барсуков, И.А. Войцеховская и др.; Под ред. К.А. Барсукова и Ю.А. Уханова. М.: Высш. шк., 1988. - 351 с.
20. В.Н. Афанасьев, Ю.М. Гришин, А.В. Ковалев и др. ; под ред. В.И. Хвостова, Ю.М. Гришина. Сборник лабораторных работ по курсу "Термодинамика" [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие. М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012

Internet manbalari

1. www.Ziyonet.uz O'z- axbarot ta'lim resurslar internet portali.
2. www.physicalsystems.narod.ru
3. www.Google.ru, WWW.Google.uz, WWW.Google.com.
4. www.physicsweb.org