

**Ş.Q. ƏSGƏROV, M.N. AĞAYEV,  
G. M. SADIQZADƏ**

# **VAKUUM TEXNİKASININ ƏSASLARI**

*Ali məktəb tələbələri üçün dərs vəsaiti*

Azərbaycan Respublikası Təhsil  
Nazirliyinin 09.07.2007-ci il 842  
saylı əmri ilə təsdiq edilmişdir.

**BAKI – 2008**

**Elmi redaktoru:** - fizika-riyaziyyat elmləri namizədi,  
dos. Q.İ.Qəribov.

**Rəyçilər:** - fizika-riyaziyyat elmləri namizədi,  
dos. Cabbarov C.H;

- fizika-riyaziyyat elmləri namizədi,  
dos. Hüseynov T.X.

269030

621.5  
1 291

**Ş.Q. Əsgərov, M.N. Ağayev, G. M. Sadıqzadə. Vakuum texnikasının əsasları.** – Bakı «Təhsil» NPM, 2008. 158 səh.

Kitabda elm və texnikanın bir çox sahələrini əhatə edən, müasir, elektron, mikro və nanoelektron texnologiyanın yaradılmasında müstəsna rol oynayan vakuum texnikası və fizikanın əsasları verilmişdir.

Kitab girişdən və VI fəsildən ibarətdir. Birinci fəsildə vakuum texnikasının nəzəri əsasını yaradan vakuum fizikasının qanunları, anlayışları və düsturları verilmişdir. Fəsil II-də vakuumda qazların əsas xassələri və köçürmə hadisələri, fəsil III-də qazların vakuum borusu boyunca axını, IV fəsildə isə vakuumun ölçülməsi texnikası və son fəsildə isə vakuum sistemi və onun elementləri şərh olunur.

Kitab universitetin fizika fakültəsinin bakalavr pilləsində təhsil alan tələbələr üçün dərs vəsaiti kimi nəzərdə tutulmuşdur. Ondan aspirantlar, elmi işçilər və eləcə də vakuum texnikası ilə məşğul olan mühəndislər istifadə edə bilərlər.

Ə – 0033160 -qrifli nəşr  
700122

© «Təhsil» NPM, 2008.

## GİRİŞ

Atmosfer təzyiqindən alçaq qaz halı adətən səyrəkləşmiş qaz və ya vakuum adlanır. Vakuum anlayışı latın dilindən «boşluq» kimi tərcümə edilir.

Vakuumun alınması, saxlanması və ölçülməsi problemləri, müasir elmi – texniki problemlər sırasına daxildir və bu problemlərin həlli ilə vakuum fizikası və vakuum texnikası məşğuldur. Vakuum fizikası öz inkişafına 1643 –cü ildə Q.Qalileyin tələbəsi E.Torriçellinin atmosfer təzyiqini ölçülməsi ilə başlayır. Atmosfer təzyiqinin ölçülməsi və onun hündürlükdən asılılığını orta əsrin əvvəllərində misirli alim İbn al – Haysama göstərmişdir. Torriçelli təcrübə zamanı şüşə boruda civənin doldura bilmədiyi boşluğu «vakuum» adlandırmışdır. O dövr üçün «boşluq» hesab edilən bu həcm təzadlı görünsə də XX – XXI – əsrlərdə çox vacib «şeyə» çevrilmişdi. Hal – hazırda müasir dövrü «vakuumsuz» təsəvvür etmək mümkün deyildir. Vakuum texnikasının inkişafına alman ixtiraçısı Otto fon Herik tərəfindən porşenli nasosun ixtirası güclü təkan vermişdi.

Vakuumda aparılan təcrübələr elmi texniki inkişafa təsirli təkan verdi. Belə ki, vakuumda elektrik boşalmasının öyrənilməsi, əvvəlcə elektron, sonra isə rentgen şüasının kəşfinə səbəb oldu. Seyrəkləşdirilmiş qazlarda aparılan tədqiqatların nəticəsində 1883 – cü ildə T.Edisson tərəfindən termoelektron emissiya hadisəsinin kəşfi ilə elektrovakuum sənayesinin əsası qoyuldu. Elektrovakuum texnologiyasının inkişafı fiziki elektronikanın, radiofizikanın və mikroelektronikanın sürətlə inkişafına səbəb oldu.

Vakuum fizikasının və texnikasının inkişafında E.Torriçelli, O.Herik, H.McLeod, W.Gaede, M.Knudsen, İ.Langmür, S.Dushman, C.Vekşinski və digər alimlərin xidməti böyük olmuşdur.

Hal – hazırda vakuum texnikası atmosfer təzyiqindən  $10^{18}$  dəfə aşağı qaz halı almağa imkan verir. Belə şəraitdə aparılan fiziki – kimyəvi təcrübələr vasitəsi ilə unikal nəticələr əldə edilir. Vakuumun səviyyəsi artdıqca, onu almaq, saxlamaq və ölçmək çətinləşir, avadanlıq bahalaşır. Ona görə dərin vakuumla tədqiqatlar inkişaf etmiş ölkələrin laboratoriyalarında aparılır. Vakuum texnikası – vakuumun alma və ölçmə qurğularının yaradılması üsullarını öyrənən texniki elmdir. Bu elm riyaziyyat, fizika, sətlərin fizikası və kimyası, qazodinamika, termodinamika və digər fundamental və texniki elmlərə söykənir. XX əsrdə belə fikirə də rast gəlmək olardı ki, ölkələrin inkişaf dərəcəsini, əldə edilən vakuumun səviyyəsi ilə də ölçmək olar.

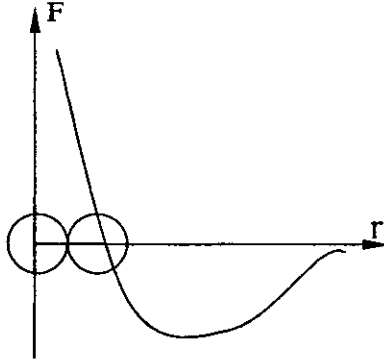
Vakuum texnikası, atmosfer təzyiqində, havada aparılması mümkün olmayan elmi tədqiqatın və texnoloji proseslərin aparılması mühətini yaradır.

Ölkəmizdə vakuum fizikası və texnikasının inkişafı XX – əsrin ortalarından başlayır. 1960 – cı illərdən Azərbaycan Dövlət Universitetinin (indiki BDU) fizika fakultətində «Vakuum texnikası» fənni tədris edilir və laboratoriya işləri öyrədilir. Bu sahədə ana dilində dərsliyin olmaması, belə bir kitabın yazılmasına əsas səbəbdir.

Kitabla bağlı təkliflərinizi, fikirlərinizi BDU–nın «Fiziki elektronika» kafedrasına və ya [ashahlar@hotmail.com](mailto:ashahlar@hotmail.com) elektron adresinə göndərə bilərsiniz. Əvvəlcədən minnətdarlığımızı bildiririk.

## I FƏSİL VAKUUM FİZİKASININ ƏSASLARI

Fizikada və texnikada vakuum dedikdə təzyiqi atmosfer təzyiqindən az olan qaz halı başa düşülür.



Şəkil 1.1.

Vakuum fizikasında bütün qaz və buxar qatışıqına ideal qaz kimi baxılır, qazın sıxlığı nə qədər azdırsa, qazın halı o qədər ideallığa yaxındır. Asanlıqla göstərmək olar ki, atmosfer təzyiqindən kiçik təzyiqlərdə ideallıq şərti həmişə ödənilir. Beləki, normal şəraitdə ( $p = 1 \text{ atm}, T = 273 \text{ K}$ )  $1 \text{ sm}^3$  havada qaz molekullarının konsentrasiyası  $n \cong 2,7 \times 10^{19} \text{ sm}^{-3}$  tərtibindədir. Buradan da iki molekul arasındakı orta məsafə üçün:

$$r \approx \sqrt[3]{\frac{1}{n}} \approx 3 \cdot 10^{-7} \text{ sm}$$

qiyməti alınar.

Göründüyü kimi, bu məsafə molekulun diametrindən təxminən 10 dəfə çoxdur. Aydındır ki,  $p < p_{\text{atm}}$  olduqda, yəni vakuumda iki molekul arasında orta məsafə daha

böyük olduğundan, vakuumda qaz halı ideal qaz qanunlarına daha yaxşı tabe olacaq.

### §1.1. QAZLARIN MOLEKULYAR – KİNETİK NƏZƏRİYYƏSİNİN ƏSAS MÜDDƏALARI

Məlumdur ki, molekullar arası qarşılıqlı təsir qüvvəsi məsafədən asılı olaraq kəskin dəyişir və bu məsafə bir neçə molekul ölçüsü tərtibində olduqda praktiki olaraq sifira bərabər olur (şəkil 1.1). Ona görə molekullar arası orta məsafə molekulların ölçüsündən bir neçə dəfə böyük olarsa qaza ideal qaz kimi baxmaq olar. Doğrudan da, vakuum fizikasının əsasını təşkil edən qazların molekulyar kinetik nəzəriyyənin müddəaları artıq təcrübələr vasitəsi ilə təsdiq edilmişdir. Bu müddəalar aşağıdakılardır:

1.Qaz daima nizamsız hərəkətdə olan molekullardan təşkil olunubdur.

2.Molekullar ancaq toqquşma zamanı qarşılıqlı təsirdə olurlar və ona görə də, onların trayektoriyaları «sınıq» xətdən ibarətdir.

3.Qazın temperaturu, hərəkət edən molekulların kinetik enerjisindən başqa bir şey deyildir.

4.Qaz molekulları tez – tez toqquşduqları üçün onların sürəti daima dəyişir. Ancaq toqquşmada həmişə çox sayda zərrəciklər iştirak etdiyi üçün, sürətlərə görə paylanma dayanıqlıdır və Maksivel–Bolsman paylanmasına tabedir.

5.Nəhayət, qaz həmişə izotrop mühit hesab edilir.

Molekulyar – kinetik nəzəriyyəyə görə, molekulların xaotik irəliləmə hərəkətinin orta kinetik enerjisi  $\overline{E_k}$ , mütləq temperatur  $T$  ilə düz mütənasibdir:

$$\overline{E_k} = \frac{3}{2} kT \quad (1.1)$$

Burada,  $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ C/K}$  - olub, Bolsman sabiti adlanır. Bu ifadədən görünür ki, molekulun irəliləmə hərəkətinin orta kinetik enerjisi molekulun kütləsindən asılı deyil və xaotik irəliləmə hərəkəti edən istənilən zərrəcik üçün doğrudur. Ancaq zərrəciyin orta kvadratik sürət kütlədən asılıdır. Beləki,

$$v_{\text{or. kv.}} = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \quad (1.2)$$

olur.

Bu ifadədə,  $m$  - molekulun kütləsidir. Düsturdan görünür ki, böyük kütləli molekulların orta kvadratik sürəti az olur.

**Qazın təzyiqi.** Kinetik nəzəriyyəyə əsasən, qazla doldurulmuş qabın divarına qazın etdiyi təzyiq vahid səthinə vahid zamanda (istilik hərəkəti hesabına) molekulların vuruğu zərbələrin nəticəsində səthə verilmiş impulslarının cəmidir.

Fərz edək ki, həcmi  $1 \text{ m}^3$  olan kub var. Kubun bir üzünə doğru hərəkət edən qaz molekulunun hərəkət miqdarı  $mU$  olar. Divardan elastiki əks olunandan sonra isə zərrəciyin hərəkət miqdarı  $-mU$  olacaq. İmpulsun dəyişməsi  $mU - (-mU) = 2mU$  olar.

Nyutonun ikinci qanununa əsasən:

$$2 m U = F \Delta t$$

olduğundan, qüvvə üçün:

$$F = \frac{2m\upsilon}{\Delta t}$$

düsturunu alarıq. Buradan da təzyiq üçün

$$p = \frac{F}{S} = \frac{2m\upsilon}{S\Delta t}$$

düsturunu alarıq.

Səthin sahəsi  $S = 1\text{sm}^2$ ,  $\Delta t = 1\text{san}$ . olarsa, onda toqquşmadan sonra kubun bir üzünə edilən təzyiq  $p = 2m\upsilon$  olar. Əgər kubda  $\upsilon$  sürəti ilə hərəkət edən birçə molekul olsa belə, onda kubun verilmiş üzü 1 saniyədə molekul ilə  $\frac{\upsilon}{2}$  dəfə toqquşar ( $\frac{\upsilon}{2}$  dəfə də qarşıdakı üz ilə). Deməli baxılan üz bir molekuldan vahid zamanda alacağı təzyiq:

$$p = 2m\upsilon \cdot \frac{\upsilon}{2} = m\upsilon^2 \text{ olar.} \quad (1.3)$$

**Qaz halının tənliyi.** Əgər kubda  $n$  – molekul olarsa, onda baxılan üzə edilən təzyiq

$$p = \frac{1}{3}nm\upsilon^2 \quad (1.3')$$



olar. Orta kinetik enerjinin

$$\frac{3}{2}kT - \text{olduğunu (1.3')} - \text{də nəzərə alsaq, onda :}$$

$$p = nkT \text{ olar.} \quad (1.4)$$

(1.4) tənliyi qaz halının tənliyi adlanır və qazı xarakterizə edən üç parametri (p, n, T) bir – biri ilə birləşdirir.

Bu düsturdan təzyiğin n konsentrasiya və T mütləq temperaturdan asılılığı aşkar görünür.

**Təzyiğin vahidləri.** Beynəlxalq sistemdə təzyiç vahidi

Paskal adlanır.  $1Pa = 1 \frac{N}{m^2}$ ; SQS sistemdə

isə təzyiç vahidi –  $1 \frac{din}{sm^2} = 1$  mikrobar adlanır.

Vakuüm texnikasında sistemdən kənar təzyiç vahidlərindən də istifadə olunur. Belə vahidə misal *1mm.c.st.* göstərmək olar. Sərbəst düşmə təcilinin *g* qiyməti  $9,80655 m/san^2$  olan Yer kürəsinin nöqtəsində ( $45^\circ$  enliyində) *h* hündürlüyü 1mm olan civə sütununun  $0^\circ S$  temperaturda yaratdığı təzyiç – 1mm civə sütünüdür. Bu vahid çox vaxt E.Toriçellinin (15.10.1608 – 25.10.1647) şərəfinə 1 Tor adlanır. 760 mm civə sütununun yaratdığı təzyiç 1 atmosferə bərabərdir. (atm.).

Bu vahidlər arasında əlaqəni yaradaq. Məlumdur ki, hidrostatik təzyiç

$$p = \rho gh$$

düsturu ilə təyin olunur. Civənin  $0^{\circ}\text{S}$  temperaturda sıxlığı  $\rho = 13,595 \cdot 10^3 \frac{\text{kq}}{\text{m}^3}$  olduğundan :

$$\begin{aligned} 1 \text{ atm} &= 0,76 \text{ m} \cdot 13,595 \cdot 10^3 \frac{\text{kq}}{\text{m}^3} \cdot 9,80665 \frac{\text{m}}{\text{s} \cdot \text{an}^2} = \\ &= 1,01 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1,01 \cdot 10^6 \frac{\text{din}}{\text{sm}^2}. \\ 1 \text{ mm.c.st.} &= \frac{1 \text{ atm}}{760} = 133,3 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1,333 \cdot 10^2 \text{ Pa} = 133 \text{ din/sm}^2. \end{aligned}$$

Buradan görünür ki,  $1 \text{ Pa} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ mm.c.süt.} = 10 \text{ din/sm}^2$ . Təzyiqin müxtəlif vahidlərinin arasında olan əlaqə cədvəl 1.1 – də göstərilibdir.

**İdeal qazların hal tənliyi.** İdeal qazlar üçün doğru olan Mendeleyev – Klapeyron tənliyi vakuum texnikasında geniş tətbiq olunur.

$$pV = \frac{m_0 N}{\mu} RT \quad (1.5)$$

Burada  $p$  və  $V$ , uyğun olaraq, qazın təzyiqi və həcmi,  $m_0$  – qaz molekulunun kütləsidir.  $N$  – molekullarının sayı,  $\mu$  molekulyar kütlədir ( $\text{kq/kmol}$ ).

$R = 8,314 \cdot 10^3 \text{ C/kmol} \cdot \text{K}$  – universal qaz sabitidir.  $T$  – mütləq temperaturdur. Bir kiloqram-mol qaz kütləsi üçün  $Nm_0/\mu = 1$  olduğundan (1.5) tənliyi

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

*Cədvəl 1.1.*

Təzyiqin vahidləri	1Pa (N/m <sup>2</sup> , C/m <sup>3</sup> )	1mm.c.st (1 Tor .)	1din/sm <sup>2</sup>	1 atm (fiziki)	1 kq.q/sm <sup>2</sup>	1 kal/m <sup>3</sup>
1Pa (N/m <sup>2</sup> , C/m <sup>3</sup> )	1	$7,5 \cdot 10^{-3}$	10	$9,87 \cdot 10^{-6}$	$1,02 \cdot 10^{-5}$	0,24
1 mm.c.st. (1 Torr)	$1,33 \cdot 10^2$	1	$1,33 \cdot 10^3$	$1,32 \cdot 10^{-3}$	$1,36 \cdot 10^{-3}$	318
1 din/sm <sup>2</sup>	$1 \cdot 10^{-1}$	$7,5 \cdot 10^{-4}$	1	$9,87 \cdot 10^{-7}$	$1,02 \cdot 10^{-6}$	0,024
1 atm(fiziki)	$1,01 \cdot 10^5$	760	$1,01 \cdot 10^6$	1	1,03	$2,42 \cdot 10^4$
1 kq.q/sm <sup>2</sup>	$9,81 \cdot 10^{-4}$	735,56	$9,81 \cdot 10^5$	0,968	1	$2,34 \cdot 10^4$
1 kal/m <sup>3</sup>	4,19	$3,14 \cdot 10^{-2}$	41,9	$4,13 \cdot 10^{-5}$	$4,27 \cdot 10^5$	1

olar.  $N_A = \mu/m_0 = 6,023 \cdot 10^{26} \text{ kmol}^{-1}$  – 1 kilomol qazda molekulların sayı olub Avoqadro ədədi adlanır. Son (1.6) tənliyindən aşağıdakı nəticələri almaq olar:

**Boyl – Mariott qanunu.** Əgər  $T = \text{const}$  olarsa, onda qazın təzyiqinin həcmə hasili sabit kəmiyyətdir.

$$pV = \text{const} \quad (1.7)$$

Bu münasibət Boyl – Mariott qanunu adlanır.

Ümumi halda əgər qazın miqdarı dəyişərsə, Boyl – Mariott qanununu  $pV = m_0 N \text{const}$  - şəklində yazmaq olar. Buradan alacağımız nəticə ondan ibarətdir ki, sabit temperaturda qazın həcmnin təzyiqə hasili qazın kütləsi ilə

düz mütənasibdir.  $\frac{m_0 N}{V} = m_0 \cdot n = \rho$  - olduğundan.

$$p = \text{const} \cdot \rho \quad (1.7')$$

Burada  $\rho$  - qazın sıxlığıdır.

Son ifadədən görürük ki, sabit temperaturada  $pV$  - hasili qaz miqdarını təyin edir. Başqa sözlə  $pV$  - vahidləri ilə qazın miqdarını ölçmək olar.

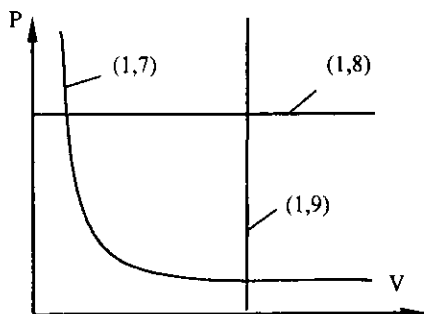
**Avoqadro qanunu:** (1.3') düsturunun hər tərəfini  $V$  -yə vursaq, alarıq:

$$pV = \frac{1}{3} V n m v^2 = \frac{2}{3} N \frac{m v^2}{2} \quad (1.7'')$$

ifadəsini alarıq. Burada,  $N = nV$  (1.17'') düsturundan görünür ki, bərabər həcimdə, təzyiqdə və temperaturda

müxtəlif qazların molekullarının sayı bərabərdir.  $M$  qram – molekul qazın kütləsinin bir molekulun  $m$  kütləsinə nisbəti  $N_a = 6,02 \cdot 10^{23}$  – ə bərabərdir.

**Gey – Lüssaq qanunu.** Əgər  $p = const$  olarsa, onda verilmiş qaz kütləsinin həcmi, temperatur



Şəkil 1.2.

ilə düz mütənasib olar:

$$V = const \cdot T \quad (1.8)$$

Bu düstur Gey – Lüssaq qanununu ifadə edir.

**Şarl qanunu.** Əgər  $V = const$  olarsa, onda verilmiş qaz kütləsinin təzyiqi, mütləq temperatur ilə düz mütənasib olar.

$$p = const \cdot T \quad (1.9).$$

Bu düstur Şarl qanununu ifadə edir.

Boyl – Mariott (1.7), Gey – Lüssaq (1.8) və Şarl qanunlarının qrafikləri şəkil 1.2-də göstərilmişdir.

**Dalton qanunu.** Vakum texnikası üçün çox vacib olan qanunlardan biri də qaz qarışığı üçün Dalton qanunudur. Əgər qaz kimyəvi təsirdə olmayan müxtəlif qazların qatışığından ibarətdirsə, onda onun konsentrasiyası ayrı – ayrı toplananlarının konsentrasiyası cəmindən ibarətdir.

$$n = n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_k = \sum_{i=1}^k n_i \quad (1.10)$$

Bu ifadəni (1.4) – də yerinə yazsaq, qaz qarışığının təzyiqi üçün aşağıdakı düsturu alarıq.

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_k = \sum_{i=1}^k p_i \quad (1.11)$$

Aydındır ki, Dalton qanunu kimyəvi təsirdə olmayan qaz qarışıqları üçün doğrudur. Bu qanuna görə kimyəvi təsirdə olmayan qaz qatışığının təzyiqi komponentlərin parsial təzyiqlərinin cəminə bərabərdir. Qeyd edək ki, vakuumba səth hadisələrini öyrəndikdə bir çox hallarda qalıq qazların yekun təzyiqi deyil, qazı təşkil edən komponentlərin yaratdıqları təzyiqi bilmək vacibdir. Təcrübədə qazı ionlaşdıraraq, ayrı-ayrı qaz komponentlərinə uyğun ion cərəyanlarını kütlə analizatoru vasitəsi ilə ölçərək bunu təyin etmək olur.

Cədvəl 1.2 havanın tərkibini təşkil edən qazların parsial təzyiqi və digər parametrləri göstərilmişdir.

## Havanın tərkibi

Qaz	Tərkib %	$P_a=760$ Torda par-sial təzyiç	Böhran temperaturu, °S	Molekulların dia-metri $\times 10^8$ sm	Molekulun kütləsi $\times 10^{23}$ q
N <sub>2</sub>	78,1	591	- 147	3,15	4,65
O <sub>2</sub>	21	159	- 119	2,94	5,313
Ar	0,9	6,8	-122	2,95	6,63
CO <sub>2</sub>	0,3	2,28	-158	3,24	7,31
Ne	$1,8 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	- 229	2,39	3,35
He	$5,2 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$	-268	2,67	0,66
H <sub>2</sub> O		12	374	-	2,9

## §1.2. QAZ VƏ BUXAR ANLAYIŞLARI

Vakuum texnikasında qazlardan başqa, buxarlardan da geniş istifadə edilir. Yuxarıda söhbət gedən qaz qanunlarını buxara tətbiq etmək olarmı? – sualına cavab vermək üçün əvvəlcə “qaz” və “buxar” anlayışlarına aydınlıq gətirək.

Qazabənzər maddənin qaz və ya buxar halında olmasını təyin etmək üçün *böhran temperaturu* anlayışından istifadə edilir. Böhran temperaturu o temperatura deyilir ki, bu temperaturdan yuxarıda qazabənzər maddə həmişə **qaz**, aşağıda isə yalnız **buxar** halında ola bilər.

Deməli, əgər qazabənzər maddənin işçi temperaturu böhran temperaturdan yüksədirsə, onda həmin maddə “qaz”, əgər aşağıdırsa, onda həmin maddə “buxar” halında olur. Bir neçə maddə üçün böhran temperaturu cədvəl 1.2 – də göstərilmişdir. Cədvəldən aydın görünür ki, normal şəra-

itdə praktiki olaraq azot, arqon, neon, oksigen həmişə qazdır.

Civə üçün böhran temperaturu  $T=1450^{\circ}\text{S}$  – dir. Deməli otaq temperaturunda biz yalnız civənin buxarından danışa bilərik. Dalton qanunu həm qaz, həm də buxar üçün doğrudur.

### §1.3. BUXARLANMA VƏ KONDENSASIYA

Vakuum texnikasında müxtəlif məqsədlər üçün müxtəlif mayelərdən: mineral yağlar, civə, su və s. istifadə edilir. Bu mayələr həm də buxar mənbələridir. Məlumdur ki, əgər müəyyən temperaturda qapalı mühitdə hər hansı bir mayenin buxarlanması baş verirsə, müəyyən müddətdən sonra buxar doymuş hala gəlir. Bu halda buxarlanmanın davam etməsinə baxmayaraq, buxarın təzyiqinin qiyməti sabit qalır və tarazlaşmış vəziyyət yaranır. Doymuş halın yaranmasının səbəbi, buxarlanma prosesinə əks prosesin, yəni molekulların mayeyə qayıtması, kondensasiyası prosesinin baş verməsidir. Vahid zamanda kondensasiya olunmuş molekulların sayı həmən müddətdə buxarlanan molekulların sayı ilə bərabər olanda, dinamik tarazlıq halı yaranır və doymuş buxarın sıxlığı sabitləşir. Temperatur artarsa, doymuş buxarın təzyiqi də artır.

Vakuum qurğularında istifadə olunan, müxtəlif nasoslar və manometrlərdə maye yağ və civədən istifadə edilir. Həmişə nəzərə almaq lazımdır ki, qapalı vakuum sistemlərində bu mayələrin doymuş buxarlarının təzyiqi vakuumun hüdudunu məhdudlaşdırır.

Vakuum texnikasında istifadə edilən mayələrin  $20^{\circ}\text{S}$  uyğun olan doymuş buxarının təzyiqi müxtəlifdir. Su üçün doymuş buxarın təzyiqi – 17,5 Tor, fırlanma nasos yağı üçün  $-10^{-2} - 10^{-5}$  Tor, Civə üçün –  $1,2 \cdot 10^{-3}$  Tor, diffuziya nasosu yağı üçün –  $10^{-5} - 10^{-9}$  Tordur. Deməli deyilənlərdən



aydındır ki, əlavə tədbir görülməyə cəvə nasosu ilə  $10^{-3}$  Tor-  
dan aşağı vakuüm almaq prinsipcə mümkün deyildir.

Doymuş buxarın təzyiği temperatur artdıqca artır. Bu  
asılılıq həm bərk cisimlər, həm də mayelər üçün doğrudur.  
Bu səbəbdən də vakuümdə termik buxarlanma mikroelek-  
tronikada integral sxemlərin aktiv və passiv elementlərinin  
hazırlanmasında geniş tətbiq edilir. Doymuş buxarın təzyi-  
qinin temperatur asılılığı aşağıdakı düstürlə ifadə olunur

$$\lg p = A - \frac{B}{T}$$

Burada  $A$  və  $B$  – sabitlərdir.

#### §1.4. MAKSVELL – BOLSMAN PAYLANMA FUNKSİYASI

Xaotik hərəkət edən molekullar bir – biri ilə toqquş-  
duqlarından, onların trayektoriyaları «sınıq» xətt, sürətləri  
isə müxtəlif olur. Aydındır ki, toqquşmalar nəticəsində bir  
qrup molekulların başqa molekullardan həmişə enerji alma-  
sı və digər qrup molekulların həmişə enerji itirməsi az ehti-  
mallı hadisə olduğundan belə molekulların sayı sifıra yaxın  
olar. Molekulların böyük əksəriyyəti toqquşmalarda orta  
hesabla itirdiyi qədər də enerji qazanırlar və belə molekulla-  
rın sayı ən çox olur.

Sürətləri  $v$  ilə  $v + dv$  intervalında dəyişən molekul-  
ların  $dn$  sayı bu intervalın özü  $dv$  və baxılan həcmdəki  
molekulların  $n$  sayı ilə mütənasibdir. Yəni:

$$dn \sim n dv \quad (1.12)$$

Buradan da:

$$dn = f(v) n dv \quad (1.13)$$

yazmaq olar. Burada  $f(v)$  - zərrəciklərin sürətlərə görə paylanma funksiyasıdır.

Paylanma funksiyası  $f(v)$  sürətin müxtəlif qiymətlərində vahid sürət intervalına düşən molekulların nisbi sayını göstərir.

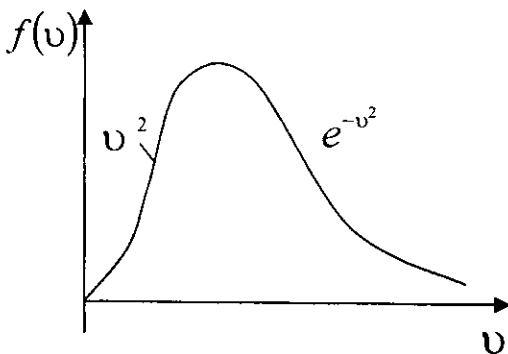
Molekulların sürətlərə görə paylanma funksiyasının aşkar şəklini ilk dəfə Maksvell tapmışdır. Molekulların hərəkətinin xaotikliyinə əsaslanaraq, Maksvell göstərmişdir ki, sürəti  $v$  ilə  $v + dv$  arasında dəyişən molekulların

nisbi sayı  $\frac{dn}{ndv}$  :

$$f(v) = 4\pi v^2 \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} \quad (1.15)$$

düsturu ilə ifadə olunur. Bu ifadənin qrafiki şəkil 1.3 – də göstərilmişdir.

Maksvell paylanma funksiyası molekulyar – kinetik nəzəriyyənin bir çox məsələlərinin həllində mühüm rol oynayır. Bu paylanma



Şəkil 1.3.

funksiyasının köməyi ilə ən ehtimallı sürəti ( $v_{eh}$ ), orta sürəti ( $v_{or}$ ), orta kvadratik sürəti ( $v_{or.kv} = \sqrt{\overline{v^2}}$ ), molekullar selini və digər kəmiyyətləri hesablamaq mümkündür. Belə ki, paylanma funksiyasının maksimumuna uyğun gələn ən ehtimallı sürət  $v_{eh}$

$$\frac{d}{dt} f(v) = 0 \quad (1.16)$$

düsturundan alınır:

$$v_{eh} = \sqrt{\frac{2kT}{m}} \quad (1.17)$$

Orta sürətin qiymətini tapmaq üçün

$$\bar{v} = \int_0^{\infty} v f(v) dv \quad (1.18)$$

düsturundan istifadə edilir. Nəticədə orta sürət üçün:

$$v_{or} = \bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \quad (1.18')$$

ifadəsini alırıq.

Orta kvadratik sürət isə

$$v_{ok} = \int_0^{\infty} v^2 f(v) dv \quad (1.18'')$$

düsturundan hesablamaq olar. Hesablamalar göstərir ki:

$$v_{ok} = \sqrt{\frac{3kT}{\pi m}}$$

ifadəsi ilə təyyin olunur. Qaz molekullarının sürətlərə görə paylanma qanununun mahiyyəti haqqında təsəvvürləri 1.3 cədvəlindən almaq olar. 1 və 3 sütunlarda

*Cədvəl 1.3.*

**Qaz molekullarının sürətlərə görə paylanması**

Sürətlərin nisbi qiymətlərinin sərhədləri ( $v_{eh} = 1$ )	Molekulların faizlə nisbi sayı (N=100%)	Sürətlərin nisbi qiymətlərinin sərhədləri ( $v_{eh} = 1$ )	Molekulların faizlə nisbi sayı (N=100%)
0 – 0,1	0,1	1,3 – 1,5	11,2
0,1 – 0,3	2,1	1,5 – 1,7	7,8
0,3 – 0,5	6,3	1,7 – 1,9	5,8
0,5 – 0,7	11,2	1,9 – 2,1	3,4
0,7 – 0,9	14,9	2,1 – 2,5	3,0
0,9 – 1,1	16,1	2,5 – 3,0	0,8
1,1 – 1,3	15,0	8,0	0,3

sürətlərin nisbi dəyişmə intervalları göstərilmişdir və ən ehtimallı sürətin qiyməti vahid kimi qəbul olunmuşdur ( $v_{eh} = 1$ ). 2 və 4 sütunlarda bu sərhədlər daxilində molekul-

ların sayının – molekulların tam sayına ( $N=100\%$ ) olan faizlə nisbəti göstərilmişdir.

### § 1.5. SƏTHƏ VURULAN ZƏRBƏLƏRİN SAYI

Vakuum texnikasında çox istifadə olunan molekullar selini hesablayaq.

Qaz həcmindən, oturacağıın sahəsi  $S$ , hündürlüyü  $v_x dt$  olan silindirik həcm ayıraç. Onda aydındır ki,  $dt$  müddətində baxılan həcmdə olan və  $x$  oxu boyunca sürətlərinin toplananları  $v_x$  ilə  $v_x + dv_x$  intervalında dəyişən molekulların hamısı  $S$  səthindən keçəcək. Bu qrup molekulların vahid həcmdəki sayını  $dn_x$  ilə işarə etsək, onların sayı:

$$dN_x = dn_x \cdot v_x dt \cdot S \quad (1.19)$$

olar.

Vahid zamanda vahid səthdən keçən belə molekulların sayı (molekulyar sel) aşağıdakı düstur ilə

$$\frac{dN_x}{S dt} = v_x dn_x \quad (1.20)$$

ifadə olar.

Zərrəciklərin sürətin toplananlarına görə paylanması, yeni sürəti  $v_x$  ilə  $v_x + dv_x$  intervalında dəyişən zərrəciklərin  $dn_x$  sayı Maksvell düsturu ilə ifadə olunur:

$$dn_x = n \left( \frac{m}{2 \pi kT} \right)^{1/2} \cdot e^{-\frac{m v_x^2}{2 kT}} dv_x \quad (1.21)$$

Bütün molekullar qruplarının yaratdığı tam seli tapmaq üçün (1.19) ifadəsini integrallamaq lazımdır. Başqa sözlə vahid zamanda vahid səthdən keçən zərrəciklərin  $n_d$  sayı:

$$\begin{aligned}
 n_d &= \int_0^{\infty} v_x dn_x = n \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{1/2} \int_0^{\infty} v_x e^{-\frac{mv_x^2}{2kT}} dv_x = \\
 &= n \left( \frac{kT}{2\pi m} \right)^{1/2} \int_0^{\infty} e^{-\frac{mv_x^2}{2kT}} d\left( \frac{mv_x^2}{2kT} \right) = n \left( \frac{kT}{2\pi m} \right)^{1/2}
 \end{aligned}$$

Buradan da,

$$n_d = \frac{1}{4} n \bar{v} \quad (1.22)$$

düsturunu alırıq.

Diqqət yetirsək görürük ki,  $n_d$  ilə  $n$  müxtəlif ölçü vahidlərinə malik kəmiyyətlərdir. Belə ki,  $n$  – konsentrasiya olub, vahid həcmdəki molekulların sayını,  $n_d$  – isə sel olub, vahid səthdən vahid zamanda keçən zərrəciklərin sayın göstərir.

(1.4) və (1.18') düsturlarını (1.22) – də nəzərə alsaq praktiki əhəmiyyət kəsb edən

$$n_d = \frac{1}{4} \frac{p}{kT} \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = 3,54 \cdot 10^{22} \frac{p}{\sqrt{T\mu}} \frac{\text{molekul}}{\text{sm}^2 \text{san}} \quad (1.23)$$

düsturunu alarıq.

Müəyyən şərtlər daxilində molekullar seli üçün alınmış (1.22) ifadəsi, vakuumdə maddə buxarı üçün də doğrudur. Aydınır ki, qapalı qabda xəotik hərəkət edən buxar molekullarının qabın vahid səthinə vurduqları zərbələrin sayı (1.22) düsturu ilə təyin olunur. Əgər fərz etsək ki, səthlə toqquşan molekul səth tərəfindən tutulur, onda sabit təzyiqdə, səth üzərində monomolekulyar təbəqənin əmələ gəlməsi müddətini hesablamaq olar. Misal üçün  $p = 10^{-6} \text{ mm.c.st.}$  təzyiqində azotun monomolekulyar təbəqəsi 2 san. müddətində yaranar. Ancaq  $p = 10^{-10} \text{ mm.c.st.}$ - da belə təbəqənin yaranması üçün 2000 san vaxt lazımdır. Əgər qabdan xətti ölçüsü molekulların sərbəst yolunun orta uzunluğundan çox-çox kiçik olan deşik açsaq, bu halda deşik molekulun divarla toqquşmasında elə bir dəyişiklik yaratmaz və uyğun olaraq molekulların sürətlərə görə paylanması dəyişməz. Ona görə də deşikdən keçən molekullar seli də (1.22) düsturu ilə təyin olunur.

### §1.6. SƏRBƏST QAÇIŞ YOLUN ORTA UZUNLUĞU

Molekulların xəotik hərəkəti zamanı iki ardıcıl toqquşma arasındakı məsafənin orta uzunluğuna sərbəst qaçış yolun orta uzunluğu deyilir. Bu kəmiyyəti  $\bar{\lambda}$  ilə işarə edək və onun qazın digər parametrləri ilə əlaqəsini yaradaq.

Molekullar o zaman toqquşmuş hesab olunur ki, onların mərkəzləri bir-birinə heç olmasa molekulların diametri  $d$  – qədər yaxınlaşmış olsun.

Sadəlik üçün baxdığımız molekulun diametrini  $2d$ , qalan molekulları isə nöqtə kimi təsəvvür edək. Baxdığımız molekulun sürəti  $v$  olarsa onda bu molekulun vahid zamanda cızdığı həcm  $\pi d^2 v$  olar. Molekulların konsentrasiyası  $n$  olarsa baxdığımız molekulun toqquşduğu molekulların sayı:

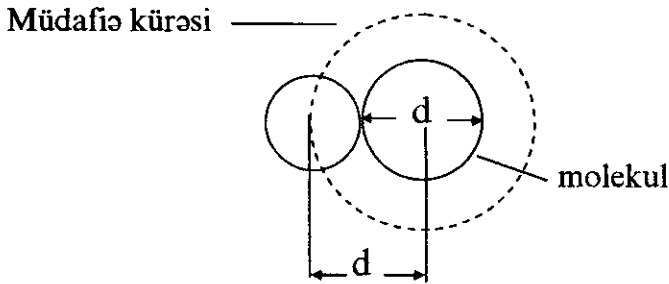
$$v = \pi d^2 v \cdot n \quad (1.24)$$

olacaqdır. Bu halda sərbəst qaçış yolunun orta uzunluğu

$$\bar{\lambda} = \frac{v}{v} = \frac{1}{\pi d^2 n}$$

düsturu ilə təyin edilir.

Bu hesablamada baxılan molekuldan başqa, digər molekular hərəkətsiz qəbul edilir. Əslində isə molekular arasındakı toqquşmalar daim qarşılıqlı hərəkət nəticəsində baş verir. Bunu nəzərə alıb, dəqiq hesablamalar aparılsa, toqquşmaların sayı üçün aşağıdakı düstur alınır:



Şəkil 1.4.



$$v = \sqrt{2\pi d^2 \bar{v} n} \quad (1.25)$$

Orta sürət  $\bar{v}$  vahid zamanda gedilən yola bərabər olduğundan sərbəst qaçış yolun orta uzunluğu aşağıdakı düstur ilə təyyin olunar:

$$\bar{\lambda} = \frac{\bar{v}}{v} = \frac{1}{\sqrt{2\pi d^2 n}} \quad (1.26)$$

Buradan görünür ki, sərbəst qaçış yolunun orta uzunluğu qazın molekullarının konsentrasiyası ilə tərs mütənasibdir. Konsentrasiya  $n = \frac{p}{kT}$  olduğundan aydındır ki,  $\bar{\lambda}$  qazın  $T$  temperaturundan və  $p$  təzyiqindən asılıdır:

$$\bar{\lambda} = \frac{kT}{\sqrt{2\pi d^2 p}} \quad (1.27)$$

Düsturdan görüldüyü kimi  $\bar{\lambda}$  - temperaturla düz mütənasibdir. Molekulların konsentrasiyası sabit olduqda  $\lambda(T)$  asılılığı aşağıdakı empirik düsturla təyin edilir:

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2\pi d^2 n(1 + \frac{C}{T})}} \quad (1.28)$$

Burada  $C$  - Sazerlend sabitidir: Düsturdan görüldüyü kimi Sazerlend sabiti elə bir temperatura bərabərdir ki,  $n = const$  olanda bu temperaturda sərbəst qaçış yolunun

orta uzunluğu sonsuz böyük temperaturdakı  $\lambda$  - dan iki dəfə az olur. Sazerlend sabiti hava üçün  $C = 124^{\circ}\text{K}$ , neon (Ne) üçün  $C = 56^{\circ}\text{K}$  - ə bərabərdir.

Yəni neon üçün  $C = 56^{\circ}\text{K}$  olanda sabit təzyiqdə bu qazın molekullarının sərbəst qaçış yolunun orta uzunluğu  $T = \infty$  - olandan iki dəfə azdır. Axırını (1.28) ifadəsini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2\pi d_{eff}^2} \cdot n}$$

burada  $d_{eff}^2 = d^2 \left(1 + \frac{C}{T}\right)$  - düsturu ilə təyin olunur.  $d_{eff}$  - molekulların effektiv diametridir. Göründüyü kimi  $T$  artıqca effektiv diametr azalır.  $T = C$  olanda  $d_{eff} = \sqrt{2}d$  olur.

(1.27) düsturunu praktiki istifadə üçün aşağıdakı əlverişli şəkildə salmaq olar:

$$\bar{\lambda} \approx \frac{5 \cdot 10^{-3}}{p} \text{ (sm)} \quad (1.29)$$

burada,  $p$  - *mm.c.st.* ilə ölçülür.

Yeri gəlmişkən, qazda hərəkət edən elektronlar üçün də sərbəst yolun orta uzunluğu:

$$\bar{\lambda}_e = 4\sqrt{2} \bar{\lambda},$$

ionlar üçün isə

$$\bar{\lambda}_i = \sqrt{2} \cdot \bar{\lambda}$$

düsturları ilə ifadə olunur.

### §1.7. ALÇAQ, ORTA, YÜKSƏK VƏ İFRAT YÜKSƏK VAKUUM ANLAYIŞLARI HAQQINDA

Sabit temperaturda sərbəst qaçış yolunun orta uzunluğu  $\bar{\lambda}$ , qazın təzyiqi  $p$  ilə tərs mütənəsb olması (1.29) düsturundan görünür. Qabda qazın təzyiqi azaldıqca,  $\bar{\lambda}$  –nin qiyməti o qədər arta bilər ki, qabın  $d$  xarakterik ölçüsündən böyük ola bilər. Xarakterik ölçü dedikdə qabın elə xətti ölçüsü başa düşülür ki, bu ölçü həmin qabda gedən fiziki proseslərə həlledici təsir edir. Məsəl üçün, xarakterik ölçü dedikdə, ikielektrodlu lampada anodla katod arasındakı məsafə, qazın silindirik borudan axını zamanı isə, borunun diametri nəzərdə tutulur və s.

Əgər

$$\bar{\lambda} \gg d$$

olarsa, molekullar arasında toqquşmalar, demək olar ki, yox olur və molekullar bir divardan digərinə toqquşmasız çatırlar. Divarlar arasındakı məsafə nə qədər kiçik olarsa bu hal daha böyük təzyiqlərdə baş verir.

Təcrübələr göstərir ki, qazın bir çox vacib xassələri və qazda baş verən proseslərin əksəriyyəti,  $\bar{\lambda}$  ilə  $d$  arasında münasibətdən asılıdır.

Yuxarıda qeyd edildiyi kimi, vakuüm deyəndə təzyiqi normal atmosfer təzyiqindən az olan qaz halı başa düşülür. Ona görə vakuümü xarakterizə etmək üçün adətən sərbəst

qaçış yolunun orta uzunluğu ilə qabın xarakterik ölçüsü arasındakı münasibətdən istifadə edirlər.

Vakuum texnikasında adətən alçaq, orta, yüksək və ifrat yüksək vakuum anlayışlarını bir – birindən fərqləndirirlər.

**Alçaq vakuum.** Seyrəldilmiş qaz o vaxt alçaq vakuum hesab edilir ki, molekulların sərbəst qaçış yolunun orta uzunluğu qabın xarakterik ölçüsündən çox – çox kiçikdir:

$$\frac{\bar{\lambda}}{d} \ll 1 \quad (1.30)$$

**Orta vakuum.** Seyrəldilmiş qaz o zaman orta vakuum hesab edilir ki,

$$\frac{\bar{\lambda}}{d} \cong 1 \quad (1.31)$$

şərti ödənilir.

**Yüksək vakuum.** Vakuum o zaman yüksək vakuum hesab edilir ki,

$$\frac{\bar{\lambda}}{d} \gg 1 \quad (1.32)$$

şərti ödənilmiş olsun.

**İfrat yüksək vakuum.** İfrat yüksək vakuum o qaz halına deyilir ki, verilmiş bir  $sm^2$  səth üzərində qazın monotəbəqəsinin əmələ gəlmə müddəti, təcrübənin aparılma vaxtından çox olsun. Əgər qazın kondensasiya əmsalını vahid qəbul etsək, onda monotəbəqənin əmələ gəlmə müddəti

$$t = \frac{N_1}{n_d}, \quad (\text{san}) \quad (1.33)$$

düsturu ilə təyin olunur.

Burada,  $N_1$  - monotəbəqənin  $1 \text{ sm}^2$  - də olan atomların,  $n_d$  isə vahid səthə, vahid zamanda düşən atomların sayıdır.

$$N_1 = \frac{1}{\frac{\pi d^2}{4}}, \quad n_d = 3,54 \cdot 10^{22} \frac{p}{\sqrt{\mu T}}$$

düsturları ilə təyin olunduğundan monotəbəqənin əmələ gəlmə müddəti üçün

$$t = \frac{\sqrt{\mu T}}{\frac{\pi d^2}{4} \cdot 3,54 \cdot 10^{22} p}$$

düsturunu alırıq.

Hava üçün normal şəraitdə  $\mu = 29 \frac{q}{mol}$ ,  $T=300^\circ\text{K}$ ,  $d = 3,7 \cdot 10^{-8} \text{ sm}$ , olduğunu nəzərə alsaq:

$$t = \frac{6,67 \cdot 10^{-6}}{p} (\text{san}) \quad (1.35)$$

düsturunu alırıq.

Bu düsturdan göründüyü kimi əgər  $p = 10^{-6}$  mm.c.st. olarsa  $t = 6,67$  san olar. Deməli 6,67 san müddətində təcrübəni başlayıb qurtarmaq mümkün deyilsə, bu tərtibli vakuum ifrat yüksək hesab edilə bilməz. Onda ifrat yüksək vakuuma uyğun olan təzyiqi:

$$p = \frac{6,67 \cdot 10^{-6}}{t} \text{ (Tor)} \quad (1.36)$$

düsturu ilə hesablamaq olar. Təcrübənin müddəti  $t = 1000$  san olması üçün vakuumun tərtibi  $p = 6,67 \cdot 10^{-9}$  (Tor) olmalıdır. 1000 san müddətində isə təcrübəni başlayıb və qurtarmaq olar.

## II FƏSİL VAKUUMDA QAZLARIN ƏSAS XASSƏLƏRİ

### §2.1. KÖÇÜRMƏ HADİSƏLƏRİ

Qaz molekulları daima istilik hərəkətində iştirak etdiyinə görə, qaz halının bir nöqtədə dəyişilməsi, həcmnin digər nöqtələrinə ötürülür.

Vakuum fizikasında üç köçürmə hadisəsinin öyrənilməsi əhəmiyyət kəsb edir.

a) qazın mexaniki qüvvəni ötürmə qabiliyyəti və ya özlülük. Bu halda söhbət daxili sürtünmədən gedir.

b) istiliyin qazın bir hissəsindən, digər hissəsinə ötürülməsi prosesi və ya istilikkeçirmə;

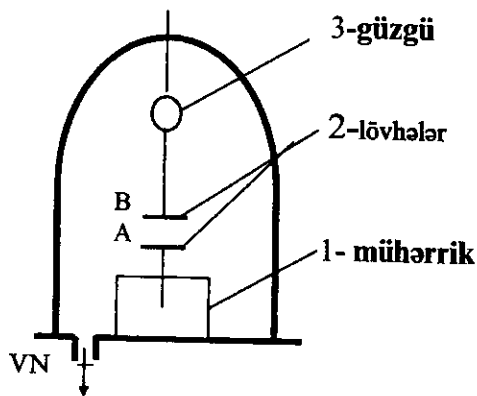
v) diffuziya və ya kütlənin daşınması.

### §2.2. QAZLARDA DAXİLİ SÜRTÜNMƏ

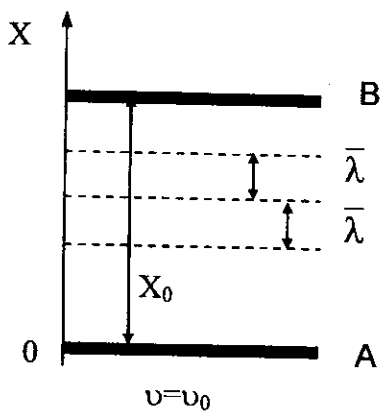
Şəkil 2.1 – də təsvir edilən təcrübədə A – lövhəsini mühərrik (1) vasitəsi ilə fırlatsaq, ondan kifayət qədər aralı yerləşmiş və fırlana bilən nazik sapdan asılmış ikinci lövhə B –nin də döndüyünü güzgü (3) vasitəsi ilə müşahidə edərik. Bunun da səbəbi yuxardakı lövhəyə qaz molekulları tərəfindən gətirilən qüvvənin təsir etməsidir.

Fərz edək ki, lövhələr arasında məsafə  $x_0$  – dır və fırlanan lövhədən, fırlanmayan lövhəyə tərəf qazın sürəti xətti dəyişir:

$$v = v_0 - v_0 \frac{x}{x_0}$$



Şəkil 2.1.



Şəkil 2.2.

Bu təcrübə, sxematik olaraq şəkil 2.2.-də göstərilmişdir.



Aydındır ki, yuxarıdakı lövhəyə təsir edən sürtünmə qüvvəsi, sürətin qradientindən  $\left(\frac{dv}{dx}\right)$  və lövhələrin  $S$  – sahəsindən asılıdır.

$$F = -\eta S \frac{dv}{dx} \quad (2.1.)$$

burada  $\eta$  – qazın özlülük əmsalı olub hərəkət miqdarının daşınmasını xarakterizə edir. (2.1) düsturuna görə özlülük əmsalı  $\eta$  sürətin qradientinin vahid qiymətində, vahid səthə təsir edən tangensial qüvvə kimi təyin olunur. Onun vahidi SQS sistemində Puaz – dır.

$$1 \text{ Puaz} = 1 \frac{\text{din} \cdot \text{san}}{\text{sm}^2}$$

BS – sistemində  $1 \text{ puaz} = 0,1 \text{ Pa} \cdot \text{san}$  - dir

Dinamik özlülük əmsalını qazın digər parametrləri ilə əlaqəsini yaradaq. Bunun üçün fərz edək ki, bütün qaz molekulları iki ardıcıl toqquşma zamanı ancaq sərbəst qaçış yolunun orta uzunluğu  $\bar{\lambda}$  qədər yol gedir. Daha doğrusu, fərz edək ki, toqquşma ancaq aralarındakı məsafə  $\bar{\lambda}$  olan iki təbəqənin sərhəddində baş verir. Bu zaman sürət bir təbəqədən digərinə keçəndə  $\bar{\lambda} \frac{dv}{dx}$  kəmiyyəti qədər azalır. Kütləsi  $m$  olan molekulun hərəkət miqdarı isə bu zaman  $m \bar{\lambda} \frac{dv}{dx}$  kəmiyyəti qədər dəyişər.

Digər tərəfdən, vahid zamanda iki ardıcıl təbəqə sərhəddinin vahid səthini keçən zərrəciklərin sayının  $n_d$  olduğunu nəzərə alsaq, onda sərhəddin vahid səthindən keçəndə hərəkət miqdarının dəyişməsi:

$$m\bar{\lambda} \frac{d\bar{v}}{dx} n_d = m\bar{\lambda} \frac{d\bar{v}}{dx} \cdot \frac{1}{4} n\bar{v} \quad \text{olar.}$$

Vahid zamanda qonşu təbəqəyə təsir edərək onu hərəkətə gətirən qüvvənin qiyməti

$$F = -\frac{1}{4} n\bar{v} S m\bar{\lambda} \frac{d\bar{v}}{dx} \quad (2.2.)$$

ifadəsi ilə təyin olunur.

Burada  $S$  – təbəqənin sahəsidir.

(2.1) ilə (2.2) – düsturlarının müqaisəsindən

$$\eta = \frac{1}{4} n m \bar{v} \bar{\lambda} \quad (2.3.)$$

alırıq. Beləliklə, qazın özlülük əmsalı  $\eta$ , qazın digər parametrləri ilə əlaqəsi (2.3) düsturunda göstərildiyi kimidir.

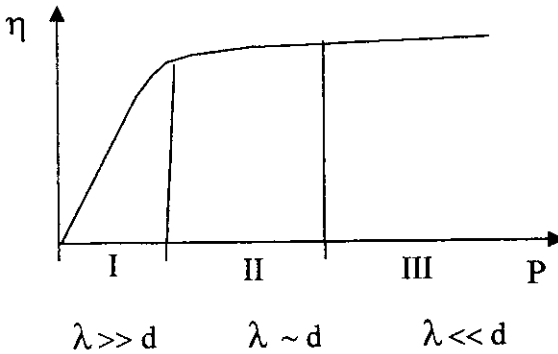
Qaz molekulunun sərbəst qaçış yolunun uzunluğa görə paylanması nəzərə alsaq

$$\eta = 0,31 n \bar{v} m \bar{\lambda} \quad (2.4.)$$

olar. Orta sürət  $\bar{v}$  və  $\bar{\lambda}$  - üçün (1.22) və (1.27) düsturlarından istifadə etsək, onda dinamik özlülük əmsalı üçün alırıq:

$$\eta = 0,31n \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \cdot m \frac{1}{\sqrt{2\pi d^2 n}} = \frac{0,62}{d^2} \sqrt{\frac{mkT}{\pi^3}} \quad (2.5).$$

Buradan görünür ki, böyük təzyiqlərdə  $\eta$  əmsalı təzyiqdən asılı deyildir.



Şəkil 2.3.

Aşağı təzyiqlərdə  $\eta$  başqa cür təyin olunur. Çox aşağı təzyiqlərdə *dinamik özlülük* əmsalı  $\eta$  öz fiziki mənasını itirir, ona görə ki, bu zaman qaz molekulları bir–biri ilə toqquşurlar və aralarında enerji mübadiləsi olmur. Bu halda bir–biri ilə bilavasitə əlaqəsi olmayan hərəkət edən lövhədən, hərəkətsiz lövhəyə hərəkət miqdarı birbaşa ötürülür. Belə köçürmə hadisəsi *molekulyar özlülük* adlanır. Aydın ki, molekulyar özlülük molekulların konsentrasiyasından, yəni qazın təzyiqindən asılı olmalıdır. Hesablamalar göstərir ki, bu asılılıq düz mütənəsb asılılıqla ifadə olunur. Göründüyü kimi, qazın özlülük xassələri vakuumin tərtibindən ( $\lambda/d$  -dan) asılıdır. Qazın vakuum borusu boy-

unca axmasını hesablayanda bu asıllığı nəzərə almaq lazımdır.

Müxtəlif qazlar üçün  $\eta$ -nin qiyməti müxtəlifdir. Məsələn, otaq temperaturunda azot üçün  $\eta$  -nin qiyməti

$$175 \text{ mkPz} = 175 \cdot 10^{-6} \frac{\text{din} \cdot \text{san}}{\text{sm}^2}, \text{ oksigen üçün isə}$$

$$\eta = 203 \cdot 10^{-6} \frac{\text{din} \cdot \text{san}}{\text{sm}^2} \text{ - dır.}$$

### §2.3. QAZLARIN İSTİLİKKEÇİRMƏSİ

İstiliyin qazın bir nöqtəsinə ötürülməsinə baxaq. İstilik keçirmənin bütün növləri bir qaydaya tabedir. İstilik qızmış cisimdən soyuq cismə ötürülür.

a) Əvvəlcə alçaq vakuumba ( $\lambda \ll d$ ) qazların istilikkeçirməsi hadisəsini araşdıraq.

Temperaturları  $T_1$  və  $T_2$  olan və bir - birindən  $x_0$  məsafədə yerləşən iki parallel A və B lövhələri götürək (Şəkil 2.2). Fərz edək ki,  $T_2 > T_1$  və  $\lambda \ll x_0$ . Digər tərəfdən fərz edək ki, bütün molekullar bir - biri ilə ancaq sərbəst yolun orta uzunluğu  $\bar{\lambda}$  qədər yol gedəndən sonra toqquşurlar. Bu halda hərəkət miqdarının daşınmasını yox, kinetik enerjinin daşınmasını araşdıraq. Bu şərt daxilində vahid zamanda bir lövhədən digərinə ötürülən  $Q$  istilik miqdarı

$\frac{dT}{dx}$  temperatur qradientindən və lövhələrin səthinin  $S$  - sahəsi ilə mütənasib olar:

$$Q = \chi \cdot S \frac{dT}{dx} \quad (2.6)$$

burada,  $\chi$  – kəmiyyəti qazın istilikkeçirmə əmsalı adlanır.

Düsturdan görünür ki, istilikkeçirmə əmsalı, vahid temperatur qradientində səthin vahid sahəsindən, vahid zamanda daşınan istilik miqdarıdır.  $\chi$  - nı qazın digər parametrləri ilə əlaqələndirək.

Qalınlığı  $\bar{\lambda}$  olan təbəqədən bir molekulun keçdiyi zaman daşdığı enerji:

$$\bar{\lambda} \frac{d}{dx} \left( \frac{mv^2}{2} \right)$$

düstur ilə təyin olunur.

$\frac{mv^2}{2}$  - nin  $\frac{3}{2}kT$  - yə bərabər olduğunu nəzərə alsaq, onda yazarıq:

$$\bar{\lambda} \frac{d}{dx} \left( \frac{3}{2}kT \right) = \frac{3}{2}k\bar{\lambda} \frac{dT}{dx}$$

Vahid səthdən vahid zamanda keçən molekulların sayı  $n_d$  – olduğundan, son ifadəni  $n_d$  - yə vurub:

$$q = \frac{3}{2} n_d k \bar{\lambda} \frac{dT}{dx}$$

$n_d$  üçün (1.22) düsturunu nəzərə alsaq,  $S$  səthindən daşınan istilik :

$$Q = \frac{3}{8} n \bar{v} k \bar{\lambda} S \frac{dT}{dx} \quad (2.7)$$

düsturu ilə təyin olunur.

(2.6) və (2.7) – nin müqayisəsindən , yəni

$$\frac{3}{8} k \lambda n \bar{v} S \frac{dT}{dx} = \chi SI \frac{dT}{dx}$$

olduğundan

$$\chi = \frac{3}{8I} k \bar{\lambda} n \bar{v} \quad (2.8.)$$

olar.

Burada  $I$  – kaloninin mexaniki ekvivalentidir.

(1.18') və (1.26) düsturlarını nəzərə alsaq, sadə çevirmələrdən sonra (2.8) üçün

$$\chi = \frac{3}{4Id^2} \sqrt{\frac{k^3 T}{\pi^3 m}} = \frac{3}{4I} \frac{k}{md^2} \sqrt{\frac{m k T}{\pi^3}} \quad (2.8')$$

düsturunu almaq olar. Göründüyü kimi  $\chi$  -təzyiqdən ( $p$ ) asılı deyildir. Qazın sabit həcimdə xüsusi istilik tutumununun

$$C_v = \frac{3k}{2Im}$$

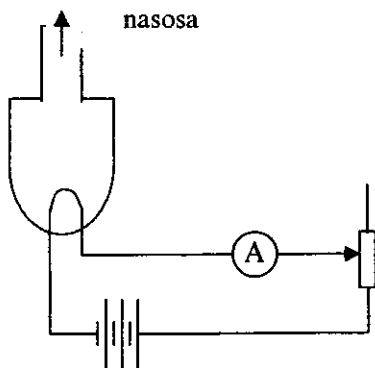
və özlülük əmsalı  $\eta$  - nın (2.5) düsturu ilə təyin olunduğunu nəzərə alsaq

$$\chi = \eta C_{\nu} \text{ olar.}$$

Göründüyü kimi qazın istilik keçirmə əmsalı xüsusi istilik tutumu ilə özlülük əmsalının hasilinə bərabərdir. Alçaq vakuumda, istilikkeçirmə əmsalının təzyiqdən asılı olmamasına aşağıdakı təcrübənin köməyi ilə inanmaq olar (şəkil 2.4).

Nasosa birləşdirilmiş kolbaya müqavimətinin temperatur əmsalı böyük olan və çətin oksidləşən materialdan (misal üçün Pt) hazırlanmış tel daxil edək. Təzyiqin böyük intervalda (760 tor–100 tor) dəyişməsinə baxmayaraq tel cərəyanının sabit qaldığını görürük. Bu işə telin temperaturunun sabitliyini və uyğun olaraq istilik keçirmə əmsalının təzyiqdən asılı olmamasını göstərir.

b) İndi işə yüksək vakumda ( $\lambda \gg x_0$ ) qazların istilik keçirməsini araşdıraq. Lövhələr arasında toqquşma olmadığı halda lövhədən – lövhəyə istiliyin birbaşa daşınmasına baxaq.



Şəkil 2.4.

Qazların kinetik nəzəriyyəsinə görə, əgər akkomodasiya əmsalı (bu əmsal qızmış səth ilə toqquşan molekul arasında enerji mübadiləsini xarakterizə edir)  $\alpha = 1$  olarsa,  $T$  temperaturu lövhədən bir molekulun apardığı enerji  $\bar{\varepsilon} = 2kT$  olar. Buna görə lövhələr arası səthin hər  $\text{sm}^2$  – dən daşınan orta enerji, və ya istilik, aşağıdakı düstur ilə təyin edilir:

$$q = 2k(T_2 - T_1)n_d \quad (2.9)$$

$n_d$  - üçün (1.22) – ni yerinə yazsaq:

$$q = 2k(T_2 - T_1) \cdot \frac{1}{4} n \bar{v}$$

$n$  və  $\bar{v}$  üçün məlum düsturlardan istifadə etsək

$$\begin{aligned} q &= \frac{1}{2} k(T_2 - T_1) \frac{p}{kT} \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = \\ &= \frac{1}{2} k(T_2 - T_1) \cdot 2p \sqrt{\frac{2}{\pi kTm}} = (T_2 - T_1) \cdot p \sqrt{\frac{2k}{\pi mT}}. \end{aligned}$$

olar. Buradan da

$$Q = Sq = \sqrt{\frac{2R}{\pi T}} \cdot p \cdot S \frac{T_2 - T_1}{\sqrt{\mu}} \quad (2.10)$$



alarıq.

Göründüyü kimi  $Q \sim \frac{l}{\sqrt{\mu}}$  ilə mütənasibdir, yəni daşınan istiliyin miqdarı, qazın növündən asılıdır. Son (2.10) düsturu akkomodasiya əmsalı  $\alpha$  – ya vurulmalıdır. Molekulun enerjisi temperatur ilə mütənasib olduğundan

$$\alpha = \frac{T'' - T'}{T_d - T'}$$

düsturu ilə təyin olunur. Burada  $T_d$  – qızmış divarın temperaturudur.

$T'$  və  $T''$  uyğun olaraq molekulun toqquşmadan əvvəlki və sonrakı sürətinə uyğun temperaturlarıdır.

Bu ifadədən görünür ki,  $\alpha$  – əmsalı faktiki baş verən enerji mübadiləsinin mümkün maksimal enerji mübadiləsinə nisbəti ilə ölçülür.

$T'' = T_d$  olanda  $\alpha = 1$  olur. Cədvəl 2.1 – də göstəriləndiyi kimi akkomodasiya əmsalı  $\alpha$  divarın materialından, onun səthinin vəziyyətindən və qazın növündən asılıdır.

*Cədvəl 2.1.*

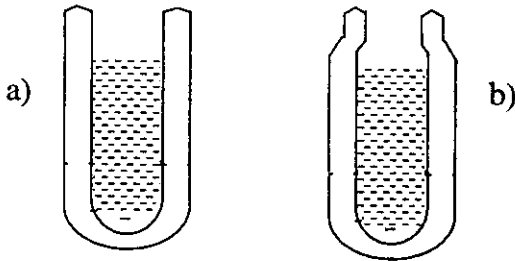
$\alpha$ Qaz	Səth		
	Pt(cilalanmış)	Pt(kələkötür)	W
H <sub>2</sub>	0,36	0,71	0,20
CO <sub>2</sub>	0,87	0,98	–
N <sub>2</sub>			0,57
Hg (buxar)			0,95
Ar			0,85

$\alpha$  – nı (2.10) – da nəzərə alsaq:

$$Q = a \cdot \sqrt{\frac{2R}{\pi T}} p \cdot S \frac{T_2 - T_1}{\sqrt{\mu}} \quad (2.11)$$

olar. Beləliklə,  $\lambda \ll x_0$  halından fərqli olaraq, yüksək vakuum şəraitində qazın istilikkeçirməsi təzyiqlə düz mütənasibdir.

Yüksək vakuum şəraitində təzyiqlin qiyməti kiçik olduğuna görə, istilikkeçirmə də az olur. Mayeləşmiş qazları saxlamaq üçün istifadə olunan Dyüar qabları bunun əsasında hazırlanır. Bu qabların ikiqat divarları arasında istilikkeçirməsi az olan vakuum yaradılır və beləliklə normal şəraitdə mayeləşmiş qazları uzun müddət saxlamaq mümkün olur və ya tərsinə – temperaturu yüksək olan mayələrin uzun müddət soyumasının qarşısını almaq mümkündür ki, bundan da məişətdə «termos» kimi istifadə edilir. Termos 1892 – ci ildə Oksford Universitetinin alimi D.Devar tərəfindən ixtira edilmişdir. Şəkil 2.5 a və b – də düyar qabının və termosun şəkili göstərilmişdir.



Şəkil 2.5. Maye qazı daşımaq üçün dyüar qab.

c) Alçaq və yüksək vakuum şəraitində qazların istilik keçirməsini analiz etdik. İndi isə bu məsələyə orta vakuum ( $\lambda \sim x_0$ ) şəraitində baxaq.

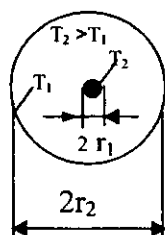
Bu halda qazın istilikkeçirməsi təzyiqdən bir qədər asılı olur. Qaz halı nə qədər alçaq vakuuma yaxındırsa, qa-

zın istilikkeçirməsi bir o qədər təzyiqdən zəif asılıdır. Əksinə, qaz halı yüksək vakuuma yaxınlaşdıqca, istilikkeçirmənin təzyiqdən asılılığı artır.

$Q$  - nün  $p$  - dən asılılığına konstruksiyanın təsiri vardır.

Qazın istilikkeçirməsinin vakuunun tərtibindən asılı olaraq müxtəlif cür dəyişməsi yuxarıda baxdığımız bir – birinə parallel olan iki lövhə nümunəsində, özünü açıq şəkildə göstərdi.

Vakuum texnikasında silindirik qabın soyuq divarı ilə onun oxu boyunca yerləşdirilmiş qızdırılmış nazik tel arasında istilikkeçirmə hadisəsinin öyrənilməsi (şəkil 2.6) prak-



Şəkil 2.6.

tik əhəmiyyət kəsb edir.

Bu halın əsas xarakterik cəhəti bundan ibarətdir ki, burada istilikkeçirmə radial istiqamətində baş verir və qızdırılmış telin səthi soyuq silindirik qabın səthindən xeyli kiçik olur. Onda telin ətrafında  $\bar{\lambda}$  radiuslu silindirik qaz təbəqəsinin hər nöqtəsinə vahid zamanda tel tərəfindən düşən qaz molekulların sayı həmin təbəqəyə divar tərəfindən düşən molekulların sayından çox – çox kiçik olar. Ona görə bu təbəqənin temperaturunu soyuq qabın temperaturuna bərabər qəbul etmək olar. Bu halda temperaturun dəyişməsi qızdırılmış tel ilə onda  $\bar{\lambda}$  məsafədə yerləşən təbəqədə (ha-

radakı  $\bar{\lambda} \gg r_1$ ) baş verir. Aydınadır ki, molekullar tərəfindən istiliyin ötürülməsi yüksək vakuumba olduğu kimi, toqquşmasız baş verir. Onda (2.10) ifadəsini tətbiq etmək olar və orada  $S$  yerinə  $S = 2\pi r_1 l$  yazmaq ( $r_1$  və  $l$  - telin radiusu və uzunluğudur) lazımdır:

$$Q = \alpha p \sqrt{\frac{8R}{\pi T} \frac{T_2 - T_1}{\mu}} r_1 l \quad (2.10')$$

Bu ifadə (2.10) düsturuna nisbətən daha geniş təzyiq diapazonunda tətbiq oluna bilər və cihazın konstruksiyasının böyük əhəmiyyətə malik olduğunu göstərir. Burada vakuum qabının  $d$  xarakterik ölçüsü nazik telin  $r$  radiusu ilə əvəz edilmişdir. Telin  $r_1$  radiusu çox kiçik olduğundan va-

kuumun tərtibini bildiren  $\frac{\bar{\lambda}}{r_1}$  nisbəti xeyli böyükdür və

$Q(p)$  asılığını daha yüksək təzyiqlərə tərəf sürüşdürür.

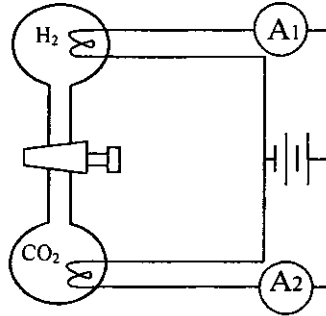
Vakuum texnikasında qazların istilikkeçirmə xassəsindən orta və alçaq vakuumun ölçülməsi üçün geniş istifadə olunur.

#### 2.4. QAZLARIN DİFFUZİYASI

Diffuziya – bir qazın tədricən digərinə nüfuz etməsi hadisəsinə deyilir. Əvvəlcə, qazların istilik keçirməsi və diffuziya hadisəsi ilə bağlı bir sadə təcrübəyə diqqət yetirək.

**Bertolle təcrübəsi.** Bir – birinin üzərində yerləşdirilmiş iki şüşə balonu boru və kran vasitəsi ilə birləşdirib, üst balonu  $H_2$ , alt balon isə  $CO_2$  qazı ilə dolduraq. Şəkil 2.7 – dən görüldüyü kimi balonlara volframdan hazırlanmış eyni kö-

zərmə telləri yerləşdirib, dövrəyə qoşaq. Kran bağlı olan halda yuxarıdakı telin az, aşağıdakı telin isə çox közərdiyini şahidi olacağıq.  $A_1$  – ampermetri çox,  $A_2$  ampermetri az cərəyan keçdiyini göstərəcəkdir. Bu fakt (2.10) düsturunun doğru olduğunu bir daha təstiqləyir. Kranı açandan sonra



Şəkil 2.7.

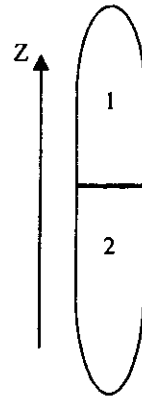
tellər eyni dərəcədə közərəcək və  $A_1$  ilə  $A_2$  – nin göstərişləri eyniləşəcəkdir. Bu hadisə onu sübut edir ki, istilik hərəkəti nəticəsində qazlar bir – birinə diffuziya edir. Qazların sıxlıqlarının nisbəti 1:22 olduğuna görə, adama elə gəlir ki, bu belə olmalı deyildir.

Diffuziya hadisəsinin qanuna uyğunluğunu öyrənmək üçün fərz edək ki, uzun boruda (Şəkil 2.8) eyni temperatur və təzyiqdə götürülmüş iki qaz bir-birindən arakəsmə vasitəsi ilə ayrılmışdır. Ümumi mo-

lekulyar konsentrasiya  $n = \frac{p}{kT}$  olsun. Ara-

kəsməni götürdükdən sora qabın ikinci hissəsində birinci qazın təzyiqinin qradienti

$$\frac{dp_1}{dz} = \frac{dn_1}{dz} k T$$



Şəkil 2.8.

birinci tərəfdə isə 2 – ci qazın təzyiqinin qradienti

$$\frac{dp_2}{dz} = \frac{dn_2}{dz} kT$$

düsturları ilə ifadə edilir. Burada, 1 və 2 indeksləri təzyiqin müxtəlifliyini yox qazların növünü xarakterizə edir.

İstənilən zaman üçün

$$p = p_1 + p_2, n = n_1 + n_2 \text{ və } n = \text{const}$$

olduğundan  $dn_1 + dn_2 = 0$  olar. Əgər arakəsmədən  $x$  məsafədə üfüqi müstəvi təsəvvür etsək, onda bu müstəvinin vahid zamanda keçən molekulların  $n_d$  sayı həmin yerdə təzyiqin (və ya molekulyar konsentrasiyanın) qradienti ilə düz mütənasib olar. Yəni

$$n_{d_1} = A_1 \frac{dp_1}{dz} = D_1 \frac{dn_1}{dz} \quad (2.12)$$

Analoji olaraq :

$$n_{d_2} = A_2 \frac{dp_2}{dz} = D_2 \frac{dn_2}{dz} \quad (2.13.)$$

olar.

Təzyiq  $p = \text{const}$  olduğundan  $n_{d_1} = n_{d_2}$  və  $dn_1 + dn_2 = 0$  şərtindən  $D_1 = D_2 = D$  alarıq.  $D$  – kəmiyyəti iki qazın qarşılıqlı diffuziya əmsalı adlanır.

Diffuziya əmsalını qazın əsas parametri ilə əlaqələndirək. Bunun üçün ən sadə hala – qazın öz – özünə diffuziya

halına baxaq. Bu halda daşınan kəmiyyət qazın molekulyar konsentrasiyasıdır. Diffuziyanın bu növü borunu eyni konsentrasiyalı, temperaturlu və tərkibli qazla doldurduqda baş verir. Bu hal üçün (2.12) və (2.13) əvəzinə

$$n_d = -D \frac{dn}{dz} \quad (2.14)$$

yazmaq olar.

Arakəsmədən  $x$  – məsafədə yerləşən üfüqi müstəvinin hər tərəfində  $\bar{\lambda}$  qalınlıqlı iki təbəqə təsəvvür edək. Təbəqənin birində konsentrasiya  $n'$ , o birində isə  $n''$  olsun. Nəzərə alsaq ki, molekulların konsentrasiyaları qarşılıqlı perpendikulyar üç istiqamətlərdə təqribən bərabər paylanır, onda vahid zamanda müstəvinin vahid səthindən bir tərəfdən  $\frac{1}{6} n' \bar{v}$ , o biri tərəfdən isə  $-\frac{1}{6} n'' \bar{v}$  molekul keçəcək. Onda müstəvinin vahid səthinin vahid zamanda keçən molekulların  $n_d$  sayı

$$n_d = \frac{1}{6} \bar{v} (n' - n'') \quad (2.15)$$

olar.

$$\text{Digər tərəfdən, } n' - n'' = -\frac{dn}{dz} \cdot 2 \bar{\lambda} \quad \text{və}$$

$$n_d = -\frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda} \frac{dn}{dz} \quad (2.16)$$

Bu ifadəni (2.14) ilə müqaisə etsək, görürük ki, öz-özünə diffuziya halı üçün :

$$D = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda} = \frac{2}{3d^2 p} \sqrt{\frac{k^3 T^3}{\pi^3 m}} \quad (2.17)$$

düsturunu alırıq.

Qarşılıqlı diffuziya halına qayıtsaq, ümumi hal üçün, yəni  $n_1$  və  $T$  hər iki qaz üçün eyni olmayanda, nəzəriyyə  $D$  üçün aşağıdakı düstur

$$D = \frac{\bar{\lambda}_1 \bar{v}_1 n_2 + \bar{\lambda}_2 \bar{v}_2 n_1}{3(n_1 + n_2)} \quad (2.18)$$

verir.

Aşağıdakı hallarda bu düstur sadələşir:

1)  $n_1 = n_2$

$$D = \frac{\lambda_1 v_1 + \lambda_2 v_2}{6} \quad (2.19)$$

2)  $n_2 \ll n_1$

$$D = \frac{\lambda_2 v_2 n_1}{3 n_1} = \frac{1}{3} \lambda_2 v_2 = \frac{2}{3d^2 p_2} \sqrt{\frac{k^3 T^3}{\pi^3 m_2}} \quad (2.20)$$

Göründüyü kimi alçaq vakuumda ( $\lambda \ll d$ )



diffuziya əmsalı  $D$ , təzyiq  $p$  ilə tərs mütənasibdir. Bu nəticədən vakuum texnikasında diffuziya nasosları hazırlayarkən istifadə edilir. Yüksək vakuumda ( $\bar{\lambda} \gg d$ ) isə, molekulların qarşılıqlı toqquşmaları baş vermədiyindən, molekullar bir səthdən o biri səthə bir başa, toqquşmasız çadır və diffuziya ancaq istilik hərəkətin sürətindən və qabın ölçülərindən asılıdır,  $\bar{\lambda}$  -dan (yəni təzyiqdən), isə asılı deyildir.

### NAZİK DİVAR DEŞİYİNDƏN QAZIN AXMASI. GRAHAM QANUNU

Fərz edək ki, A və B qabları nazik arakəsmə vasitəsi ilə bir – birindən aralanmışdır. Qablardakı qazın təzyiqləri  $p_1$  və  $p_2$  ( $p_1 > p_2$ ) olsun. Arakəsmədən sahəsi  $S$  olan deşik açaq. Aydınadır ki, deşik səthini vahid zamanda keçən molekulların kütləsi bir tərəfdən

$$M_1 = \frac{1}{4} n_1 \bar{v} m S$$

olar. Digər tərəfdən isə

$$M_2 = \frac{1}{4} n_2 \bar{v} m S$$

Onda deşikdən keçən yekun kütlə (qaz sərfi)

$$D_m = \frac{1}{4} \bar{v} m S (n_1 - n_2)$$

Əgər,  $n_1$ ,  $n_2$  və  $\bar{v}$  üçün məlum düsturlardan istifadə etsək, onda

$$D_m = (p_1 - p_2) S \sqrt{\frac{m}{2\pi kT}} \quad (2.21)$$

Bu düstur dahi Şotland alimi Tomas Grahamin şərafinə Graham qanunu adlanır.

Qaz sərfini  $p_1$  təzyiqində həcmə də ifadə etmək olar.

Bunun üçün (2.21) əvvəlcə  $m - \text{ə}$  bölək:

$$D_m = (p_1 - p_2) S \sqrt{\frac{1}{2\pi kTm}} \quad (2.22)$$

Bu ifadəni  $m_1 - \text{ə}$  bölək, qaz selini  $p_1$  təzyiqində həcm vahidi ilə ifadə edərək,

$$\begin{aligned} D_v &= \frac{D}{n_1} = \frac{kTD}{p_1} = \frac{(p_1 - p_2)S}{p_1} \sqrt{\frac{k^2 T^2}{2\pi m k T}} = \\ &= \frac{p_1 - p_2}{p_1} S \sqrt{\frac{kT}{2\pi m}} \end{aligned} \quad (2.23)$$

alırıq.

Əgər  $p_1 \gg p_2$  olarsa, onda

$$D_v = S \sqrt{\frac{kT}{2\pi m}} \quad (2.24)$$

olar.

Son düsturdan görünür ki,  $p_1$  təzyiqində qazın həcmi sərfi – bu təzyiqdən asılı deyil, ancaq kütlədən asılıdır.

Normal şəraitdə ( $T = 20^{\circ}\text{S}$ ,  $p_1 = 760 \text{ mm.c. st.}$ )  $S = 1 \text{ sm}^2$  olarsa

$$D_v = 11600 \frac{\text{sm}^3}{\text{san}}$$

olar.

Əgər sabit temperaturda iki qazın nazik divar deşiyindən həcmi məsrəfinin nisbətini araşdırsaq, onda

$$\frac{D_{v_1}}{D_{v_2}} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} \quad (2.25)$$

düsturunu alırıq. Bu düsturdan görünür ki, qaz molekullarının çəkisi az olduqca, onlar kiçik deşikdən daha asan keçirlər.

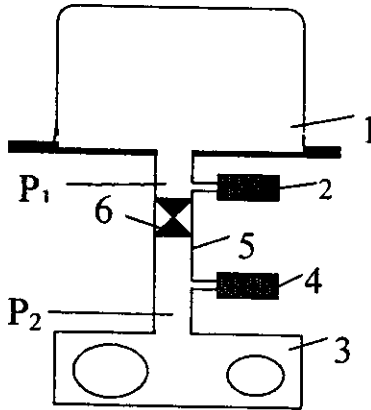
Kolumbiya Universitetinin mühəndisi Danning 1940-cı illərdə bu düsturdan istifadə edərək uran U-235-i, U-238-dən ayırmağı təklif etmişdir.

### III FƏSİL QAZLARIN VAKUUM BORUSU İLƏ AXIMI

#### § 3.1. ƏSAS ANLAYIŞ VƏ TƏRİFLƏR

Ən sadə vakuum qurğusu şəkil 3.1 – də göstərilibdir. O, qazı sorulan 1 obyektindən, 2 və 4 manometrlərindən, 3 nasosundan, 5 birləşdirici vakuum borusundan və 6 krandan ibarətdir. Fərz edək ki, vakuum sistemində sızma yoxdur və temperatur sabitdir.

Nasos işləməzdən öncə sistemin hər yerində təzyiq bərabərdir. Nasos işləməyə başlayanda qaz obyektədən nasosa tərəf axmağa başlayır və vakuum kamerasında qazın miqdarı və bunun nəticəsində onun təzyiq azalır.



Şəkil 3.1

Sorulan obyektədən nasosa tərəf qazın axımı  $p_1 - p_2$  təzyiqlər fərqi nəticəsində baş verir.  $p_1 - p_2$  fərqi *təzyiqin hərəkətverici fərqi* adlanır. Bu təzyiqlər fərqi vakuum nasosu yaradır.

Aydındır ki,  $p_1 > p_2$ , yəni obyektin çıxışında təzyiq ( $p_1$ ), nasosun girişindəki təzyiqdən ( $p_2$ ) böyük olur, ona görə ki, vakuum borusu ondan keçən qaza müqavimət göstərir.

Sorma prosesinin nəzəri əsasını yaratmaq üçün bəzi yeni anlayışlar qəbul etmək lazımdır. Əvvəlcə bu anlayışlarla və onların tərifləri ilə tanış olaq.

Vakuum borusunun ixtiyari en kəsiyində *nasosun sorma sürəti*  $S_i$ , həmin yerdən vahid zamanda keçən qaz həcmi kimi təyin olunur.

$$S_i = \frac{dv}{dt} \Big|_{p_i} \quad (3.1.)$$

Nasosun *sorma sürəti və ya nasosun təsir tezliyi*, vahid zamanda, giriş borusundan  $P_2$  təzyiqində nasosa daxil olan qaz həcmi ilə təyin olunur.

$$S_n = \frac{dv}{dt} \Big|_{p_2} \quad (3.2.)$$

*Obyekti sorma sürəti və ya obyektin sorulma tezliyi*  $p_1$  təzyiqində sorulan qabdan vakuum borusuna vahid zamanda daxil olan qaz həcminə deyilir:

$$S_{ob} = \frac{dv}{dt} \Big|_{p_1} \quad (3.3.)$$

Adətən sorma sürəti aşağıdakı vahidlərlə ölçülür:  $\text{sm}^3/\text{san}$ ,  $l/\text{san}$ ,  $\text{m}^3/\text{san}$ ;

Obyekti sorma sürətinin, nasosun sorma sürətinə olan nisbəti *nasosun istifadə olunma* əmsalı adlanır:

$$K = \frac{S_{ob}}{S_n} \quad (3.4.)$$

### § 3.2. QAZ SELİ

Vakuum borusunun ixtiyarı en kəsiyindən vahid zamanda keçən qazın miqdarına *qaz seli* deyilir.

Əgər qazın miqdarını  $pV$  vahidləri ilə ölçsək, onda selin qiyməti aşağıdakı ifadə ilə təyin olunar:

$$Q = pS_i \quad (3.5.)$$

Deməli, vakuum borusunun ixtiyarı en kəsiyində təzyiq  $p_i$ , vakuum sistemini sorma sürəti  $S_i$ –olarsa, onda  $p_i S_i$  hasili həmin yerdən keçən qaz selini göstərir.

Qazın seli  $\frac{\text{Tor} \cdot \ell}{\text{san}}$ ,  $\frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{san}}$  vahidləri ilə ölçülür.

### §3.3. VAKUUM BORUSUNUN KEÇİRİCİLİYİ VƏ MÜQAVİMƏTİ

Qazın vakuum borusundan axımı zamanı, (naqıldən elektrik cərəyanının axmasına analoji olaraq) qaz selinin qiyməti borunun uclarındakı təzyiqlər fərqi ilə mütənasibdir.

$$Q = U (p_1 - p_2) \quad (3.6.)$$

$U$  – mütənasiblik əmsalı olub, vakuum borusunun keçiriciliyi adlanır.

Vakuum borusunun keçiriciliyi  $U$ , ədədi qiymətə  $(p_1 - p_2)$  təzyiqlər fərqinin vahid qiymətində sorulan qabdan boruya daxil olan qaz selinə deyilir.

$$U = \frac{Q}{p_1 - p_2} \quad (3.7.)$$

Keçiricilik  $\frac{\ell}{\text{san}}$ ,  $\frac{m^3}{\text{san}}$  vahidləri ilə ölçülür. Borunun keçiriciliyin tərs qiyməti onun müqaviməti adlanır:

$$W = \frac{1}{U} \quad (3.8.)$$

burada  $W$  – borunun müqavimətidir.

Yenə də elektrik dövrəsinə analogi olaraq  $i$  sayda vakuum borularının parallel və ya ardıcıl birləşmələrində tam keçiricilik və müqavimət üçün aşağıdakı düsturları yazmaq olar:

Parallel birləşmə zamanı:

$$U_p = \sum_{i=1}^n U_i \quad (3.9.)$$

ardıcıl birləşmədə isə tam keçiricilik  $U_a$

$$U_a = \frac{1}{\sum_{i=1}^n U_i} \quad (3.10.)$$

Burada  $U_i$  -  $i$  - ci borunun keçiriciliyidir.  
Müqavimət üçün isə uyğun olaraq alarıq:

$$\frac{1}{W_p} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{W_i} \quad (3.10)$$

$$W_a = \sum_{i=1}^n W_i \quad (3.10')$$

Burada  $W_i$  -  $i$  - ci borunun müqavimətidir.

Vakuüm texnikasında əsasən stasionar selə baxırlar. Vakuüm borusunun istənilən en kəsiyi üçün sabit olan və zamana görə dəyişməyən sel *stasionar sel* adlanır. Stasionar və ya kvazistasionar selin kəsilməzliyi

$$Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n = S_{ob}p_1 = S_n p_2 = \dots = S_i p_i \quad (3.11)$$

düsturu ilə təyin olunur. Stasionar sel üçün  $k = 1$  olar.

Stasionar sel vakuüm qurğularının işinin qərarlaşmış halında yaranır.

### § 3.4. VAKUUM TEXNİKASININ ƏSAS TƏNLİYİ

Vakuüm sistemlərinin hesablanması üçün əsasən üç kəmiyyət arasında: nasosun sorma, obykti sorulma sürətləri və sorulan qab ilə nasos arasında vakuüm borusunun keçiriciliyi arasında əlaqə yaratmaq vacibdir.

(3.5) və (3.6) ifadələrinə əsasən



$$S_n = \frac{Q}{p_2} = \frac{U(p_1 - p_2)}{p_2}$$

$$S_{ob} = \frac{Q}{p_1} = \frac{U(p_1 - p_2)}{p_1} \quad (3.12)$$

Buradan da aşağıdakı düsturları alırıq:

$$\frac{1}{S_n} = \frac{p_2}{(p_1 - p_2) U} \quad (3.13.)$$

$$\frac{1}{S_{ob}} = \frac{p_1}{(p_1 - p_2) U} \quad (3.14.)$$

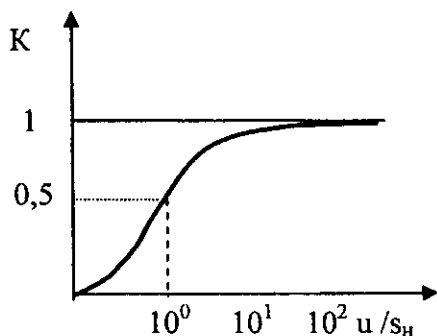
Əgər (3.14) düsturundan (3.13) – i çıxsaq, onda alırıq:

$$\frac{1}{S_{ob}} - \frac{1}{S_n} = \frac{1}{U} \quad (3.15)$$

Bu tənlik *vakuum texnikasının əsas tənliyi* adlanır. Onu aşağıdakı şəkildə yazmaq olar:

$$S_{ob} = \frac{S_n U}{S_n + U} = \frac{S_n}{\frac{S_n}{U} + 1}$$

Buradan görünür ki, əgər  $U \rightarrow \infty$ , onda  $S_{ob} \rightarrow S_n$



Şəkil 3.2.

olar; əgər  $U \rightarrow 0$  onda  $S_{ob} \rightarrow 0$  yaxınlaşır.  $U \gg S_n$  olsa,  $S_{ob} \approx S_n$  olar;  $U \ll S_n$  olsa,  $S_{ob} \approx U$  olar, yəni obyektin sorulma sürəti borunun buraxma qabiliyyəti ilə təyin olunur. Vakuüm texnikasının əsas tənliyinə nasosun istifadə olunma əmsalını  $K$ -ni daxil etsək, istifadə üçün əlverişli ifadə alarıq:

$$K = \frac{U}{S_n + U} = \frac{\frac{U}{S_n}}{1 + \frac{U}{S_n}} \quad (3.16.)$$

(3.16) ifadəsindən görünür ki,  $K=1$  olması üçün  $U \gg S_n$  olmalıdır. Bu düsturun qrafiki şəkil 3.2-də göstərilmişdir.

### §3.5. VAKUUM BORUSUNDA QAZIN AXIMI REJİMLƏRİ

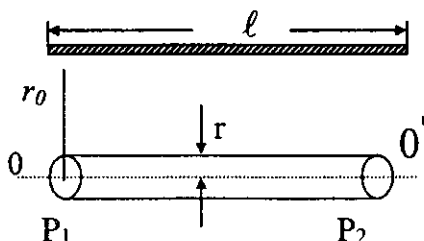
Vakuüm borusunun keçiriciliyi həm borunun həndəsi ölçülərindən həm də qazın axma rejimindən asılıdır. En kəsiyi dairə olan düz borudan qazın axması prosesini araşdıraq. Daha doğrusu, borunun divarına nisbətən qazın

bütün kütləsinin hərəkətini öyrənək. Sadəlik xatirinə *laminar axına* baxaq. Qeyd edək ki, laminar axın zamanı qazın təbəqələri bir - birinə qarışmayaraq axırlar.

Yuxarıda göstəriləyi kimi, alçaq vakuumdə  $\bar{\lambda} \ll d$  ( $d$  – borunun diametridir) olanda özlülük əmsalı  $\eta$  və ona uyğun olan daxili sürtünmə qüvvəsi  $F$ , təzyiqdən asılı olmur. Əgər  $\lambda \sim d$  olarsa, onda həm  $\eta$ , həm də  $F$  – təzyiq azaldıqca azalır (şəkil 2.3). Beləliklə  $\bar{\lambda} \ll d$  olanda qazın boru daxilində axını özlülük və ya Puazeyl rejimində,  $\bar{\lambda} \gg d$  olanda isə, molekulyar və ya Knudsen rejimində axın adlanır. Orta vakuumdə isə ( $\bar{\lambda} \sim d$ ) qazın axını molekulyar-özülü rejimində baş verir.

### §3.6. ÖZÜLÜ REJİMİNDƏ QAZIN AXINI (Puazeyl rejimi)

Radiusu  $r_0$ , uzunluğu  $\ell$  olan borudan Puazeyl rejimində qazın axını araşdıraq. (şəkil.3.3). Təzyiqlər fərqi  $p_1 - p_2$  qiymətində borudan axan qaz selini hesablayaq. Aydınır ki, stasionar halda borunun daxili divarına toxunan qaz təbəqəsi tərpənməz ( $v = 0$ ), qalınlığı  $\bar{\lambda}$  olan qalan təbəqələr isə, müxtəlif sürətlə hərəkət edirlər.



Şəkil 3.3

Radiusu  $r$  olan silindrik qaz təbəqəsinin axınına baxaq. Qazın axını o zaman stasionar olar ki, silindrik qaz elementinə təsir edən qüvvələr tarazlaşsınlar.

Bu qüvvələrdən biri təzyiğin hərəkətdirici qüvvəsidir. Bu qüvvə aşağıdakı düstur ilə təyin olunur:

$$f_1 = (p_1 - p_2) \pi r^2 \quad (3.18)$$

İkinci qüvvə isə daxili sürtünmə nəticəsində yaranan ləngidici qüvvədir:

$$f_2 = -\eta S \frac{dv}{dr} \quad (3.19)$$

burada,  $S$  – baxılan silindirin yan səthi  $S = 2\pi r \ell$ ,  $\eta$  – qazın özlülük əmsalıdır.

$$f_2 = -2 \pi r \ell \eta \frac{dv}{dr} \quad (3.20)$$

Qüvvələr bir – birinə bərabər olanda tarazlıq yaranır. Ona görə də, yazmaq olar:

$$(p_1 - p_2) \pi r^2 + 2 r \ell \eta \frac{dv}{dr} = 0 \quad (3.21)$$

və ya

$$(p_1 - p_2) r dr + 2 \ell \eta dv = 0$$

olar.

Axırınıcı ifadəni inteqrallasaq, alarıq:

$$(p_1 - p_2) \frac{r^2}{2} = -2\eta\ell v + C ,$$

burada  $C$  – inteqrallama sabitidir.

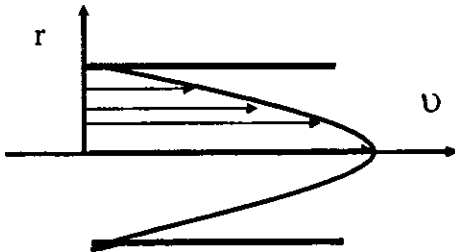
$r = r_0$  olanda  $v = 0$  olar. Bu şərtədən  $C$ -ni taparıq:

$$C = (p_1 - p_2) \frac{r_0^2}{2}$$

və nəhayət  $v$  üçün alarıq:

$$v = \frac{(p_1 - p_2)}{4\eta\ell} (r_0^2 - r^2) \quad (3.22)$$

Düstur (3.22) – dən görüldüyü kimi sürətin  $r$  – dən asılılığı parabolik qanuna tabedir və şəkil 3.4 – də göstərilmişdir. Həmçinin sürət,  $\eta$  və  $\ell$  - ilə tərs mütənasibdir.



Şəkil 3.4 Qazın axım sürətinin radiusundan asılılığı

İndi isə təzyiqin orta qiymətində

$$P_{or} = \frac{P_1 + P_2}{2}$$

qaz selini hesablayaq. Əvvəlcə, qazın həcmi məsrəfini, yəni borunun en kəsiyindən vahid zamanda keçən qazın həcmi hesablayaq:

$$\begin{aligned} D_v &= \int_0^{r_0} 2\pi r dr = \int_0^{r_0} 2\pi \frac{P_1 - P_2}{4\eta\ell} (r_0^2 - r^2) r dr = \\ &= \frac{\pi}{2\eta\ell} (P_1 - P_2) \int_0^{r_0} (r_0^2 - r^2) r dr = \\ &= -\frac{\pi (P_1 - P_2)}{4\eta\ell} \int_0^{r_0} (r_0^2 - r^2) d(r_0^2 - r^2) = \\ &= -\frac{\pi (P_1 - P_2)}{8\eta\ell} (r_0^2 - r^2)^2 \Big|_0^{r_0} = \frac{\pi r_0^4}{8\eta\ell} (P_1 - P_2) \end{aligned} \quad (3.23)$$

Düstur (3.23) – dən göründüyü kimi daşınan qazın həcmi, təzyiqlər fərqi ( $p_1 - p_2$ ) və borunun  $r_0$  radiusunun dördüncü dərəcəsi ilə düz,  $\eta$  və  $\ell$  ilə isə tərs mütənasıbdır.

Qazın kütlə vahidləri ilə məsrəfini tapmaq üçün  $D_v$  – ni  $\rho$  - ya vurmaq lazımdır. Belə ki,

$$D_m = \rho D_v = \frac{\pi r_0^4 \rho}{8\eta\ell} (P_1 - P_2) \quad (3.24)$$

Borudan axan  $Q$  qaz selini  $D_v$ -ni təzyiqin orta qiymətinə  $p_{or} = \frac{p_1 + p_2}{2}$  vurmaqla tapmaq olar.

$$\begin{aligned}
 Q &= D_v p_{or} = D_v \cdot \frac{p_1 + p_2}{2} = \\
 &= \frac{\pi r_0^4 (p_1 - p_2) (p_1 + p_2)}{16 \eta \ell}
 \end{aligned}
 \tag{3.25}$$

Bu ifadənin (3.7) ilə müqayisədən özlülü rejimində vakuum borusunun keçiriciliyi  $U_\delta$  üçün aşağıdakı düsturu alarıq:

$$U_\delta = \frac{\pi r_0^4 (p_1 + p_2)}{16 \eta \ell}
 \tag{3.26}$$

Buradan görünür ki, özlülü rejimində silindrik borunun keçiriciliyi, borunun uzunluğu  $\ell$  və  $\eta$  - ilə tərs, borunun radiusunun dördüncü dərəcəsi və təzyiqin orta qiyməti ilə düz mütənasibdir.

Otaq temperaturunda ( $T \approx 293^{\circ}\text{K}$ ), hava üçün

$$\eta = 182 \cdot 10^{-6} = \text{pu az} \left( \frac{\text{dina} \cdot \text{san}}{\text{sm}^2} \right)$$

olduğundan və (3.26) – da  $r_0$  radiusunu, borunun diametri  $d$  ilə əvəz etsək və  $d$  ilə  $\ell$  - i - sm -- lərlə,  $p_{or}$  – Tor – la ölçsək, onda

$$U_{\delta} = 180 \frac{d^4}{l} P_{or} \left[ \frac{\ell}{san} \right] \quad (3.27)$$

alarıq.

Həmən ifadədə  $d$  və  $\ell$   $m$ -lərlə,  $p_{or}$  – Paskalla ölçülsə, və

$$\eta = 1,82 \cdot 10^{-5} \frac{N \cdot san}{m^2} \text{ olarsa,}$$

$$U_{\delta} = 1,35 \cdot 10^3 \frac{d^4}{\ell} \cdot p_{or} \left[ \frac{m^3}{san} \right] \quad (3.27')$$

alınar.

### §3.7. QAZIN MOLEKULAR (KNUDSEN) REJİMDƏ AXIMI

*Knudsen Martin Hans (15.02.1871 – 27.05.1949). Danimarka fiziki, okeanoqraf, Danimarka Elmlər Akademiyasının katibi (1917–46), Korenheygen Universitetinin rektoru (1927 – 1928) olmuşdur.*

*Alçaq təzyiqlərdə Puazeyl qanunundan kənara çıxmanı nəzəri və praktiki olaraq göstərmiş və molekulyar axının fizikasını yaratmışdır. Qazların istilik keçirməsini tədqiq etmiş və dəqiq manometr icad etmişdir.*

Qazın molekulyar rejimdə axını  $\lambda \gg d$  şərti ödəniləndə, yəni molekullar bir – biri ilə toqquşmayaraq hərəkət edəndə və ancaq borunun divarları ilə toqquşanda baş verir. Fərz edək ki, boruda xaotik hərəkət edən molekulların hər biri, borunun oxu boyunca təzyiqin azalması



istişamətində hərəket sürətini  $U_q$  sabit toplanana malikdir. Bu rejimdə bir – birini tarazlayan qüvvələr, bir tərəfdən borunun tam en kəsiyi üçün təzyiq fərqi hərəket etdirici  $f_1$  qüvvəsi, digər tərəfdən isə bir saniyədə divarı bombardman edən molekulların divara ötürdüyü hərəket miqdarı nəticəsində yaranan  $f_2$  ləngidici qüvvəsidir.

$$f_1 = (p_1 - p_2) \pi r_0^2 \quad (3.28)$$

$$f_2 = S n_d m v_q \quad (3.29)$$

Bu ifadədə,  $U_q$  – qazın axın sürətidir.

$$f_2 = 2\pi r_0 \ell \frac{1}{4} n \bar{v} m v_q = \frac{\pi}{2} r_0 \ell m n \bar{v} v_q$$

$f_1 = f_2$  tarazlıq şərtindən

$$(p_1 - p_2) r_0 = \frac{\ell m n \bar{v} v_q}{2}$$

alırıq. Buradan da

$$\begin{aligned} v_q &= \frac{2(p_1 - p_2)r_0}{\ell m n \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}} = \frac{2\sqrt{\pi m}(p_1 - p_2)r_0}{\ell m n \sqrt{8kT}} = \\ &= \frac{r_0 kT \sqrt{\pi m}}{\ell m p_{or} \sqrt{2kT}} (p_1 - p_2) = \frac{r_0 (p_1 - p_2)}{\ell p_{or}} \sqrt{\frac{kT\pi}{2m}} \end{aligned}$$

Beləliklə,

$$v_q = \frac{r_0(p_1 - p_2)}{\ell p_{or}} \sqrt{\frac{\pi RT}{2\mu}} \quad (3.30)$$

olar.

Göründüyü kimi  $v_q$  – borunun radiusunun istənilən nöqtəsi üçün sabitdir. Burada  $p_{or}$  – təzyiqin orta qiyməti-dir:

$$p_{or} = \frac{p_1 + p_2}{2}$$

Bu halda qazın vahid zamanda orta təzyiqə hesablanmış həcmi israfı:

$$D_v = \pi r_0^2 v_q = \frac{\pi r_0^3 (p_1 - p_2)}{\ell p_{or}} \sqrt{\frac{\pi RT}{2\mu}} \quad (3.31)$$

Əgər nəzərə alsaq ki, divara vurulan zərbələr müxtəlif bucaq altında baş verir, onda  $\pi$ -ni  $\frac{8}{3}$  ilə (3.31) əvəzləmək lazımdır:

$$D_v = \frac{8r_0^3}{3} \cdot \frac{(p_1 - p_2)}{\ell p_{or}} \sqrt{\frac{\pi RT}{2\mu}} \quad (3.32)$$

Knudsen rejimində qazın həcmi məsrəfi borunun radiusunun üçüncü dərəcəsi ilə düz, uzunluğu ilə tərs mütənasibdir. Nəzərə alsaq ki, qazın sıxlığı

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\mu p_{or}}{RT}$$

düsturu ilə təyin olunur, onda kütlə vahidləri ilə qazın məsrəfi üçün alarıq:

$$\begin{aligned} D_m &= D_v \rho = D_v \frac{\mu p_{or}}{RT} = \frac{8r_0^3 (p_1 - p_2)}{3\ell p_{or}} \sqrt{\frac{\pi RT}{2\mu}} \cdot \frac{\mu p_{or}}{RT} = \\ &= \frac{8r_0^3 (p_1 - p_2)}{3\ell} \cdot \sqrt{\frac{\pi \mu}{2RT}} \end{aligned}$$

$$D_m = \frac{8r_0^3 (p_1 - p_2)}{3\ell} \sqrt{\frac{\pi \mu}{2RT}} \quad (3.33)$$

İndi isə qaz selini hesablayaq. Bunun üçün (3.32) düsturunu təzyiqin orta qiymətinə vurmaq lazımdır:

$$Q = D_v p_{or} = \frac{8r_0^3 (p_1 - p_2)}{3\ell p_{or}} \sqrt{\frac{\pi RT}{2\mu}} p_{or}$$

Beləliklə,

$$Q = \frac{8r_0^3 (p_1 - p_2)}{3\ell} \sqrt{\frac{\pi RT}{2\mu}} \quad (3.34)$$

Qaz seli üçün aldığımız bu ifadəni  $Q = U(p_1 - p_2)$  düsturu ilə müqayisə etsək, molekulyar rejimdə borunun keçiriciliyi üçün

$$U_m = \frac{8r_0^3}{3\ell} \sqrt{\frac{\pi RT}{2\mu}} \quad (3.35)$$

alarıq.

Borunun radiusundan onun diametirinə keçsək və sabitlərin qiymətlərini yerinə yazsaq, vakuum texnikasında geniş tətbiq olunan

$$U_m = 3,82 \frac{d^3}{\ell} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad [ \ell/\text{san} ]$$

ifadəsini alarıq.

Burada  $d$  və  $\ell$  - sm - lərlə,  $T - {}^{\circ}K$  - ilə ölçülür.  $\mu$  - molyar kütlədir. Otaq temperaturunda ( $293^{\circ}K$ ) silindrik boruda hava axını üçün:

$$U_m = 122 \frac{d^3}{\ell} \quad [m^3/\text{san}] \quad (3.36)$$

Burada,  $d$ ,  $\ell$  - m - lərlə ölçülür.

Alınmış ifadələrdən görünür ki, özlülük rejimindən fərqli olaraq, molekulyar rejimdə vakuum borusunun keçiriciliyi qazın təzyiqindən asılı deyil. Bundan başqa, baxılan iki rejimi müqaisə etdikdə görürük ki,  $D$  hər iki halda  $(p_1 - p_2) \cdot \frac{1}{\ell}$  ilə mütənasibdir. Buna baxmayaraq

kifayət qədər də fərq var. Beləki:

a) Qaz seli molekulyar rejimdə borunun diametrinin 3-cü dərəcəsi, özlülük rejimdə isə 4-cü dərəcəsiyə bərabərdir.

b) qazın özlülük əmsalı ancaq Puazeyl düsturuna daxildir.

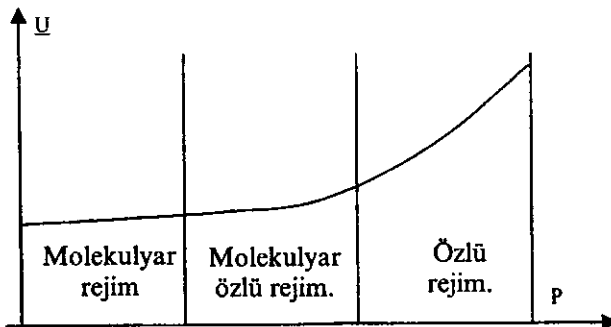
c) qazın molekulyar kütləsinin və temperaturun dəyişməsi, özlülük rejimə nisbətən, molekulyar rejimə daha çox təsir göstərir.

### §3.8.QAZIN MOLEKULYAR – ÖZLÜLÜK REJİMDƏ AXINI

Orta vakuumda ( $\lambda \approx d$ ), molekulyar – özlü rejimdə vakuum borusunun keçiriliyi yarımempirik Knudsen düsturu ilə hesablanır.

$$U_{m-\delta} = U_{\delta} + bU_m \quad (3.37)$$

Burada  $U_{\delta}$  – özülü,  $U_m$  – molekulyar rejimdə borunun keçiriciliyidir,  $b$  – qiyməti təzyiqdən asılı olaraq  $0,8 \div 1$  arasında dəyişən sabitdir. (3.27') dən və (3.36) – dan  $U_{\delta}$  və  $U_m$  – in qiymətlərini Knudsen düsturuna yazsaq



Şəkil 3.5

və  $b$ - əmsalının orta qiymətini  $b=0,9$  götürsək,

$$U_{\delta} = 1,35 \cdot 10^3 \frac{d^4}{l} p_{or} + 110 \frac{d^3}{l} \quad \left[ \frac{m^3}{san} \right]$$

alarıq.

Bu hesablamada buraxılan xəta 10% - dan çox olmur. Daha dəqiq hesablamalar üçün molekulyar və özlü rejimlərin sərhədlərini təyin etmək lazımdır. Molekulyar rejimin sərhədində, yüksək vakuumda,  $b \approx 1$ , özlü rejimin sərhədində isə  $b \approx 0,8$ -dir. Molekulyar – özlü rejim ilə molekulyar rejimin sərhədində  $b = 1$  götürsək, bu sərhəddi aşağıdakı kimi təyin etmək olar:

$$U_{\delta} = 1,35 \cdot 10^3 \frac{d^4}{l} p_{or} + 122 \frac{d^3}{l}$$

Molekulyar rejim alçaq təzyiqlərdə müşahidə olunur. Ona görə birinci toplanan ikinci toplanandan çox – çox kiçik olur və onu nəzərə almamaq olar. Burada buraxılan xəta 5%-dən çox olmaması üçün aşağıdakı şərt ödənilməlidir:

$$1,35 \cdot 10^3 \frac{d^4}{l} p_{or} \leq 0,05 \cdot 122 \frac{d^3}{l}, \quad \text{ya da}$$

$p_{or} \cdot d \leq 452 \cdot 10^{-5} \left( p - \frac{N}{m^2} \right)$  ilə  $d - m -$  ilə ölçülüb),  
diametri 20 mm olan boru üçün

$$p_{or} \leq 1,7 \cdot 10^{-3} \text{Tor} \left( 0,226 \frac{N}{m^2} \right)$$

Deməli, diametri 20mm olan boruda qazın molekulyar axma rejimi təzyiqin  $1,7 \cdot 10^{-3} \text{ Tor} (0,226 \frac{N}{m^2})$  qiymətindən kiçik qiymətində müşahidə olunur.

Anoloji olaraq molekulyar – özlü rejimlə özlü rejimin sərhəddini təyyin etmək olar.

$$dp_{or} \geq 1,446$$

Diametri 20 mm olan boru üçün qazın özlü axın rejimi təzyiqin  $0,544 \text{ Tor} (72,3 \frac{N}{m^2})$  – dan böyük qiymətində qərarlaşır. Şəkil 3.5–də müxtəlif rejimlərdə vakuum borusunun keçiriciliyinin təzyiqdən asılılıq qrafiki göstərilmişdir.

Şəkildən göründüyü kimi, molekulyar rejimdə borunun keçiriciliyinin qiyməti kiçik olur və təzyiqdən asılı deyil. Molekulyar özülü rejimdə  $U$  – nun qiyməti təzyiqdən asılı olaraq bir qədər artmağa başlayır və böyük təzyiqlərdə, özülü rejimdə, borunun keçiriciliyinin  $p$  – dən asılılığı və qiymətləri maksimal olur.

## IV FƏSİL VAKUUMUN ALINMA VƏ SAXLANMA TEXNİKASI

### § 4.1. VAKUUMUN ALINMASI ÜSULLARI

Müasir dövrdə vakuum texnikasının köməyi ilə təzyiqin geniş diapazonunu, atmosfer təzyiqindən ( $\sim 10^3$  Tor), ifratyüksək vakuuma qədər ( $\sim 10^{-15}$  Tor), almaq, saxlamaq və ölçmək mümkündür. Belə geniş təzyiq intervalını, şübhəsiz ki, bir üsulla və bir mərhələdə əldə etmək mümkün deyil. Ümumiyyətlə, qapalı qabda qazın sorulması ya nasoslar, ya da xüsusi uducular vasitəsi ilə mümkün olur. Nasosları həm yaratdığı vakuumun tərtibinə, həm də işləmə prinsiplərinə görə təsnifata bölmək olar. Vakuumin tərtibinə görə nasoslar alçaq, orta, yüksək və ifratyüksək vakuum nasoslarına bölünürlər. İşləmə prinsiplərinin əsaslandığı fiziiki qanunlarına görə nasoslar mexaniki, diffuzion, sorbsion və ion nasoslarına ayrılırlar.

Mexaniki nasoslardan həcmi və molekulyar nasoslar iş prinsipinə görə kifayət qədər bir – birindən fərqlənirlər. Belə ki, mexaniki nasosların iş prinsipi mexaniki hərəkət nəticəsində, periodik olaraq, işçi kamerada qazın həcmnin dəyişməsi və qazın işçi həcmdən kənar edilməsinə əsaslanır.

Molekulyar nasosların iş prinsipi hərəkət edən səth tərəfindən molekullara müəyən istiqamətdə hərəkət miqdarı verilməsinə əsaslanır.

Diffuzion nasosların iş prinsipi sorulan qaz və buxar molekullarının qarşılıqlı diffuziyasına əsaslanır.

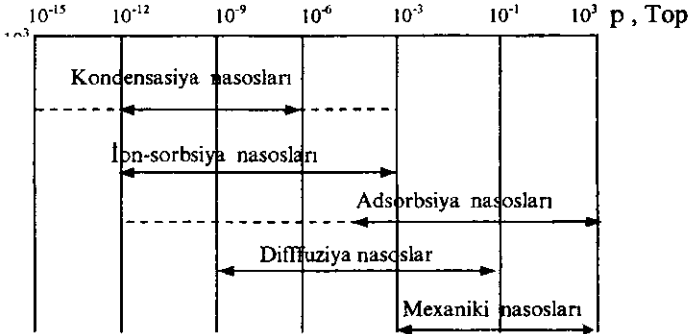
Adsorbsiya və kondensasiya nasoslarının iş prinsipi fiziki adsorbsiya və kondensasiya hadisələrinə əsaslanır.

İon nasoslarında sorulan molekulları əvvəlcə ionlaşdıraraq sonra ionları lazımı istiqamətdə elektrik və maqnit sahələrində hərəkətindən istifadə olunur. İon-sorbsion na-



soslarında isə həm ion, həm də sorbsion sormadan istifadə olunur.

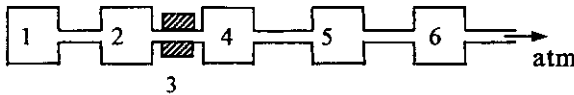
Cədvəl 4.1



Müxtəlif nasosların işləyə bildiyi təzyiq diapazonları müxtəlifdir. Bu diapazonlar bir neçə nasos üçün 4.1-cədvəlində göstərilibdir.

Cədvəldən görünür ki, bə'zi nasoslar (mexaniki və adsorbsiya) havanı bir başa, atmosfer təzyiqindən başlayaraq sora bilirlər, digər nasosların (diffuziya və s.) işləməsi üçün hökmən əvvəlcədən ilkin seyrəkləşmə tələb olunur.

Yüksək vakuumu almaq üçün istifadə edilən kompleks vakuum qurğusunun blok-sxemi şəkil 4.1 - də göstərilibdir.



Şəkil 4.1. Adi vakuum qurğusunun blok - sxemi

Şəkildən göründüyü kimi, obekt (1) - dən havanın sorulması üç mərhələ ilə həyata keçirilir: əvvəlcə obyektin havası atmosfer təzyiqindən fırlanma mexaniki nasos (6) vasitəsi ilə, ikinci mərhələdə buxarşırnaqlı diffuziya nasosu (4) və uducu (2) vasitəsi ilə sorulur. Fırlanma (6) və buxar-

axınlı (4) nasosları arasında (5) forvakuum balonu yerləşir. Bu balonda diffuziya nasosu işləməsi üçün lazım olan ilkin seyrəklənmə yaradılır. Şəkildə göstərilmiş 3 tələsi isə mexaniki və diffuziya nasoslarında istifadə olunan işçi mayələrin buxarlarının məhdudlaşdırmaqla vakuunun tərtibini yüksəltmək və ya saxlamaq üçün istifadə olunur.

Üçüncü mərhələdə,  $10^{-7} \div 10^{-9}$  Tor (və daha alçaq) təzyiq diapazonunda vakuum alınması kimyəvi üsullar, qaz uducları, və ya xüsusi ifrat yüksək vakuum nasosları ilə həyata keçirilir.

#### § 4.2. VAKUUM NASOSLARININ ƏSAS XARAKTERİSTİKASI VƏ PARAMETRLƏRİ

Bütün nasos və uduclar adətən üç parametr vasitəsi ilə xarakterizə edirlər: nasosun çıxışında təzyiqin maksimum qiyməti, vakuunun hədd qiyməti, nasosun tə'sir tezliyi və ya sorma sür'əti.

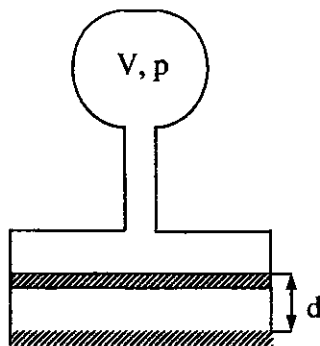
Nasosun *ən yüksək çıxış təzyiqinə* bə'zən başlanğıc ( $p_b$ ) təzyiqi də deyirlər. Başlanğıc ( $p_b$ ) təzyiqi, nasosun işlədiyi təzyiq diapazonunun elə ən böyük qiymətinə deyilir ki, bu qiymətdən başlayaraq nasos işləyə bilər. Fırlanma yağlı nasoslarının ən yüksək çıxış təzyiqi atmosfer təzyiqindən bir qədər çox, buxarşırnaqlı nasoslarda isə  $\sim 0,1 \div 20$  Tor tərtibindədir.

Vakuunun hədd qiyməti: - nasosun sora biləcəyi təzyiq diapazonunun ən alçaq həddinə ( $p_h$ ) deyilir. Vakuunun bu qiyməti diffuziya nasoslarında, adətən istifadə olunan işçi mayenin doymuş buxarının təzyiqi ilə məhdudlaşır. Şübhəsiz, vakuunun hədd qiyməti nasosun germetikliyindən və istifadə olunan bərk və maye cisimlərin hava ilə fiziki – kimyəvi münasibətindən də asılıdır. Ona görə vakuum sisteminin və nasosların hədd vakuumlarını fərqləndirmək lazımdır. Obyektin hədd vakuumu təkcə naso-

sun parametrlərindən yox, həm də vakuüm sisteminin xüsusiyyətlərindən asılıdır. Yağlı fırlanma nasosları üçün hüdud vakuümü  $5 \cdot 10^{-2} \div 10^{-3}$  Tor, buxaraxınlı nasoslar üçün isə  $\sim 10^{-6}$  Tor tərtibindədir.

Yuxarıda deyildiyi kimi, *nasosun təsir tezliyi və ya sorma sürəti*  $S_n$ , təzyiğin verilmiş qiymətində vahid zamanda nasosla sorulan qaz həcminə deyilir. Bu parametr  $sm^3/san$ ,  $m^3/san$ , və  $\ell/san$  vahidləri ilə ölçülür. Sorma prosesində qazın təzyiqi get – gedə azalır və nasos vasitəsi ilə sorulan və  $S_n \cdot p_n$  hasili ilə mütənasib olan, qazın miqdarı tədricən azalır.

Nasosun sorma sürəti onun həndəsi ölçülərindən asılıdır və ancaq müəyyən təzyiq diapazonunda sabit qalır. Nasosun sorma sürətinin giriş təzyiqindən asılılığı – vakuüm nasosunun *əsas xarakteristikası* hesab edilir. Təzyiq müəyyən bir qiymətdən aşağı düşəndə nasosun giriş borusunun müqaviməti nasosun sorma sürətini azaltmağa başlayır. Ona görə nasosun təsir tezliyini, şərti olaraq soruma prosesinin başlanmasında müəyyən edirlər. Məsələn, fırlanma nasoslar üçün giriş borusundakı təzyiq atmosfer təzyiqində, buxarşırnaqlı nasoslar üçün isə daha aşağı



Şəkil. 4.2

təzyiqlərdə olanda (yağbuxarlı nasoslar üçün –  $10^{-4}$  Tor, civəbuxarlı nasosları üçün –  $10^{-2}$  Tor) -  $S_n$  müəyyən olunur.

İndi isə nasosun sorma sürətinə təsir edən faktorları araşdıraq. Fərz edək ki, şəkil 4.2 – də göstərilmiş sorulan obyektinin həcmi  $V$ , sorulan qazın təzyiqi isə  $p$  – dir. Nasos işlədiyi  $dt$  zaman müddətində həcmi  $dV$  – qədər dəyişməsi, təzyiqin  $dp$  – qədər dəyişməsinə səbəb olar. Boyle–Mariott qanununa əsasən aşağıdakını yazmaq olar:

$$pV = (p + dp)(V + dV) = pV + pdV + Vdp + dpdV \quad (4.1)$$

Son toplananın çox kiçik olduğunu nəzərə alsaq:

$$pdV = -Vdp$$

$$dV = -V \frac{dp}{p} \quad (4.2)$$

yazmaq olar. Bu ifadənin hər tərəfini  $dt$  – yə bölsək, alarıq:

$$S_n = \frac{dV}{dt} = -\frac{V}{p} \frac{dp}{dt} :$$

$$S_n dt = -\frac{V}{p} dp = -V \frac{dp}{p} \quad (4.3)$$

Bu ifadəni zamanın 0,  $t$  və uyğun təzyiqlərin  $p_0$  və  $p$  intervalında inteqrallayaq. Təzyiqin geniş intervalında

$S_n$  sabit qiymətə malik olduğunu fərz etsək və  $S_n$ -ni inteqral işarəsi altından kənara çıxarmaq olar. Beləliklə,

$$\int_0^t S_n dt = -V \int_{p_0}^p \frac{dp}{p}$$

$$S_n t = -V \ln p \Big|_{p_0}^p = -V [\ln p - \ln p_0] = V \ln \frac{p_0}{p}$$

Buradan da:

$$S_n = \frac{V}{t} \ln \frac{p_0}{p} \quad (4.4)$$

Onluq loqarifmə keçsək:

$$S_n = 2,3 \frac{V}{t} \lg \frac{p_0}{p} \quad (4.5)$$

Sorma prosessində mütləq vakuumin əldə edilməsi mümkün olmadığından vakuumin hədd qiymətini  $p_h$  (4.4) ifadəsində nəzərə alsaq

$$S_n = \frac{V}{t} \ln \frac{p_0 - p_h}{p - p_h} \quad (4.6)$$

(4.4) – dən  $p$  – ni tapaq:

$$\frac{p_0}{p} = e^{\frac{S_n}{V} t} ; \quad (4.7)$$

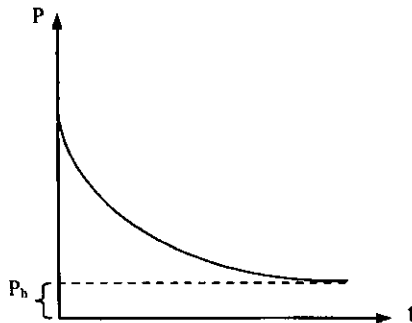
$$p = p_0 e^{-\frac{S_n}{V} \cdot t}$$

alarıq.

Vakuunun hüdud qiymətini nəzərə alsaq.

$$p = p_0 e^{-\frac{S_n}{V} t} + p_h \quad (4.8)$$

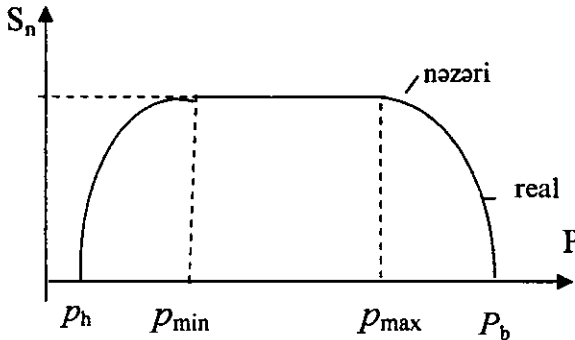
(4.7) ifadəsi hüdud vakuununun qiymətini sifıra bərabər olan nəzəri nasosa aiddir. Real nasoslar  $p_h$ -hüdud vakuuma malik olduğundan bu düstur (4.8) şəklinə düşür. Əgər nasosun sorma sürəti  $S_n$  sabitdirsə,  $V$ -həcmli obyektin təzyiqinin  $p_0$  təzyiqindən başlayaraq zamana görə azalması 4.3 şəklində göstərildiyi kimi olar.



Şəkil. 4.3 Təzyiqin zamana görə azalması.

$S_n$  – ni təcrübi tə'yin etmək üçün  $p = f(t)$  əyrisindən istifadə etmək olar. Real nasosların sorma sür'əti ancaq təzyiqin müəyyən intervalı üçün sabit olur (şəkil.4.4). Bu intervalın qiyməti isə nasosun növündən asılıdır. Şəkil 4.4 – də nasosun əsas xarakteristikası – sorma sürətinin giriş təzyiqindən asılılığı göstərilmişdir. Ümumiyyətlə, sonsuz müddət işləsə belə  $p = 0$  təzyiqi yarada bilən nasos yoxdur. İstənilən nasos işləmə prinsipinə və konstruksiyasına uyğun olan hüdud təzyiqi yaradır.

Şəkil 4. 4. – də  $p_{min}$  – ilə vakuum nasosunun yarada bildiyi təzyiqinin minimal qiyməti,  $p_{mak}$  – ilə isə işçi təzyiqin maksimal qiyməti göstərilmişdi. Şəkildən görüldüyü kimi bu parametrlər sorma sürətinin nominal qiymətinin sabit qaldığı təzyiq intervalı üçün əhəmiyyət kəsb edir.



Şəkil. 4.4 Vakuum nasosunun əsas xarakteristikası

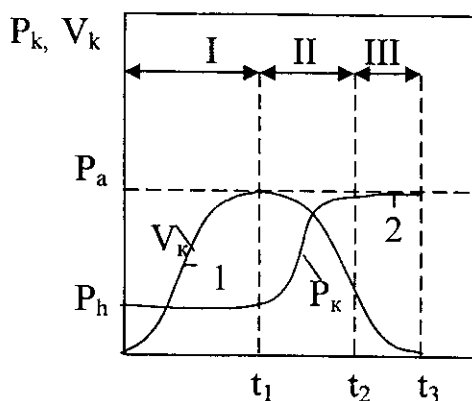
### § 4.3. HƏCMİ MEXANİKİ NASOSLAR

Mexaniki nasosların işləmə prinsipi Boyle – Mariott qanununa əsaslanır. Əsasən üç tip mexaniki – yağlı nasoslardan istifadə olunur: rotoru, pərli, statoru, pərli və zolotnikli nasoslar. Həcmi sorma prosesini üç fazaya bölmək olar: 1) nasosun işçi kamerasının genişlənməsi nəti-

cəsində qazın sorulan obyektədən bu kameraya daxil olması; 2) işçi kamerasının həcmnin azalması və onun içində olan qazın sıxılması; 3) sıxılmış qazın işçi kameradan kənar edilməsi.

Nasosların iş diaqramı – işçi kameranın  $V_k$  həcmnin və  $P_k$  təzyiqinin zamandan asılılığı şəkil 4.5 – də göstərilib. 1 və 2 əyriyələri, uyğun olaraq, işçi kamerada qazın həcmnin və təzyiqin dəyişməsinin zamandan asılılığını göstərir.

Müəyyən bir  $0 - t_1$  zamanı ərzində qazın sorulması baş verir (faza I),  $t_1$  və  $t_2$  zaman intervalında qaz sıxılır (faza II) və  $t_2 -$  dən  $t_3$  zamanına qədər sıxılmış qaz nasosdan xaric edilir (faza III). Bundan sonra proses yenidən təkrar olunur.



Şəkil 4.5

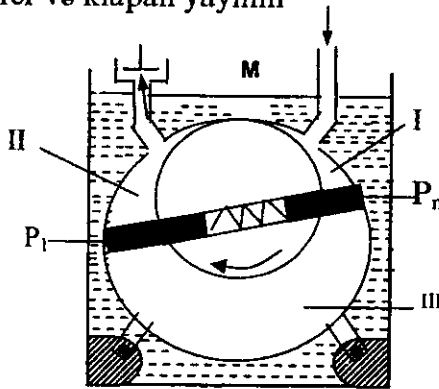
**Rotoru – pərli nasos** tərənəmən statordan və onun daxilində fırlanan rotordan (şəkil 4.6) ibarətdir. Rotor və stator  $M$  xətti boyunca bir – birinə toxunurlar. Rotor statora nəzərən eksentrik yerləşdirilmişdir. Statorun üzərində giriş və çıxış boruları vardır. Rotorun diametri üzrə kanal var. Həmin kanalda aralarında yay yerləşən iki  $P_1$  və



$P_2$  pərləri yerləşdirilmişdir. Bu pərlər və M doğuranı rotor və stator arasındakı fəzanı sorulma (I), sıxılma (II) və aralıq (III) kameralarına ayırır. Toxunan səthləri yağlamaq, kipliyi (germetikliyi) artırmaq və gövdəni soyutmaq üçün nasos yağla dolu bakda yerləşdirilir. Nasosun çıxışında kürəcikli klapan yerləşir. Bu klapan bakdakı yağın nasosun işçi kamerasına dolmasının qarşısını alır. Kürəcik nasosun çıxış borusunun səthinə yay vasitəsi ilə kip sıxılır. Yayın sıxılma dərəcəsi nasosun hüdud vakumunu müəyyənləşdirir.

Rotorun fırlanması nəticəsində sorulan qaz əvvəlcə sorulma, sonra isə aralıq kameraya daxill olur. Aralıq kamerasından pərlər arasında qalan qazın itkisiz sıxılma kamerasına ötürülməsi lövhələrlə statorun divarı arasındakı germetiklikdən asılıdır. M doğuranının sağ və sol tərəfindəki (giriş və çıxış borularına kimi) fəza "zərərli fəza" adlanır. Bu fəza nasosun ən zəif yeridir, burda böyük təzyiqlər fərqi var və qazın sıxılma kamerasından sorma kameraya sızılması üçün təhlükə yaranır. Bu fəza statorun və rotorun əyrilik radiuslarının fərqli olmasından əmələ gəlir. «Zərərli fəzanın» həcmi artanda, qazın sıxılmasının maksimal dərəcəsi azalır.

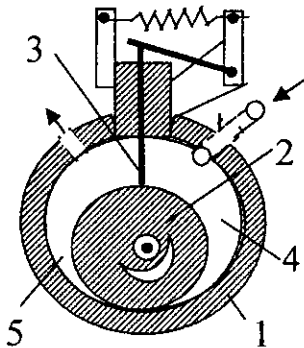
Digər tərəfdən, çıxış klapanının açılması üçün, sıxılmış qazın təzyiqi atmosfer və klapan yayının



Şəkil 4.6

təzyiqlərinin cəmindən çox olmalıdır. Bu şərti ödəmək üçün nasosun sıxma kamerasında daha böyük təzyiqlə yaranmalıdır. Zərərli fəzanı azaltmaq niyyəti ilə giriş və çıxış boruları mümkün qədər bir – birinə yaxın yerləşdirilir. Digər tərəfdən rotorla statorun xətt boyunca yox, səth boyunca toxunan düzəldərək, qazı sorma fəzasından sıxma fəzasına sızmasının qarşısı alınır. Nasosun çatışmaz cəhəti onun toxunan səthinin böyük olmasıdır. Bu cür nasosla alınan vakuumin hüdud qiyməti  $10^{-2}$  mm. c.st. tərtibindədir. Hüdud vakuumunu artırmaq üçün ikipilləli, yəni bir – biri ilə ardıcıl bağlanan iki nasosdan istifadə olunur. Bu halda  $p_h \sim 10^{-3}$  Tora çatır.

**Statoru pərli nasos.** Hazırda vakuum texnikasında mexaniki nasoslardan ən çox yayılmış növü statoru pərli nasosdur. Şəkil 4.7 – də bu tip nasosun sxemi göstərilmişdir. 2 – rotoru 1 kamerasına nəzərən eksentrik



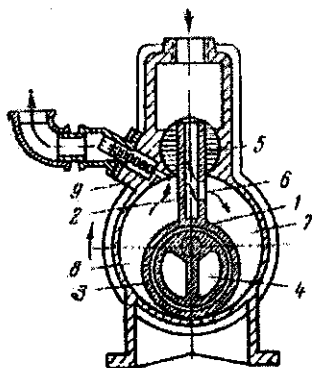
Şəkil 4.7

yerləşdirilərək, kameranın daxili divarlarına toxunmaqla fırlanır. Yay vasitəsi ilə barabana sıxılmış 3 pəri aşağı və ya yuxarı hərəkət edərək kameranın daxilindəki fəzanı 4 sorulma və 5 sıxılma fəzalarına bölür. Rotorun saat əqrəbi istiqamətində birinci dövrü zamanı qaz obyektədən sorulur,

ikinci dövrdə isə sıxılaraq atmosfərə buraxılır. Rotor daxilindəki aypara şəkilli boşluq rotorun ağırlıq mərkəzinin fırlanma mərkəzinin köçürməkdən ötedir.

Bu nasosda toxunan səthin azlığı və barabanın içində kanalın olmaması qaz sızmasını azaldır. Bundan başqa, “zərərli” fəzanın kiçilməsinə görə, statoru pərli nasoslar, rotoru pərli nasoslara nisbətən daha əlverişlidir. Bu nasosla  $10^{-4}$  mm c. st. tərtibində vakuüm almaq mümkündür.

**Zolotnikli nasos.** Bu nasosun quruluş sxemi şəkil 4.8 – də göstərilib. Zolotnikli nasos porşenli və statoru – pərli nasosların birləşməsidir. Onun əsas hissəsini 3 qurşağından və 2 giriş borusundan ibarət olan 1 porşeni təşkil edir.



Şəkil 4.8

Porşenli nasosun porşenin rolunu düzbucaqlı kanalı olan 2 qol borusu, statoru – pərli nasosun barabanın rolunu isə 3 qurşağı oynayır. Giriş borusu ümumi mərkəzi olmayan 4 eksentrikin üstünə geydirilib, porşenin giriş borusu isə paylanma mexanizmi olan kürəcik 5 zolotnikdə bərkidilib. Zolotnik eksentrik fırlananda porşenin yuxarı – aşağı hərəkətini və sərbət yellənməsini təmin edir. Porşen aşağıya

tərəf hərəkət edəndə, qaz giriş borusunun içərisinə sorulur və porşenin müəyyən bir vəziyyətində açılan 6 dəlikdən nasosun 7 sorma kamerasına daxil olur. Eyni zamanda 8 sıxma kamerasında qaz sıxılır və 9 klapanı vasitəsi ilə atmosfərə buraxılır. Ekssentrik fırlananda, porşenin qurşağı nasosun gövdəsinin daxili səthi ilə sürüşür, belə nasoslarda ayrı – ayrı hissələrin sürtünməsi və nasosun qızması azalır. Ona görə zolotnikli nasosların soyutmaq məqsədi ilə yağla dolurulmuş qabın içərisinə yerləşdirilməsi lazım olmur və yağ daha az, ancaq müəyyən hissələri yağlamaq üçün istifadə olunur. Zolotnikli nasosların başqa nasoslarla müqaisədə daha böyük sorma sürəti olur, ancaq hüdud vakumunu isə satoru – pərli nasosa nisbətən aşağıdır və  $10^{-3}$  Tor tərkibindədir.

**Qaz ballastlı nasoslar.** Vakuüm sistemlərində böyük miqdarda su və ya başqa mayelərin buxarları olanda, yuxarıda təsvir olunmuş nasosların effektivliyi azalır. Bu onunla izah olunur ki, maye buxarları Boyl – Mariott qanununa tabe olmur çünki sıxılanda qismən kondensə olunurlar. Ona görə qazın əsas kütləsi sorulandan və sorulan qazın parsial təzyiqinin azalmasından sonra, çıxış borusunun klapanının açılması çətinləşir və nasos boşuna işləyir.

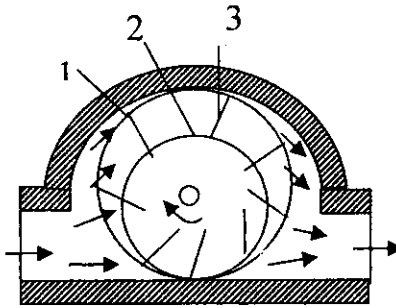
Qaz ballastlı nasosların işi ballast qazın vasitəsi ilə buxarların çıxış borusundan üfürülməsinə əsaslanır. Baxdığımız nasosların hər birində bu iş prinsipi tətbiq oluna bilər. Qazın sıxılmasından əvvəl sıxma kamerasına xüsusi giriş vasitəsi ilə atmosfer havası daxil edilir. Bu havanın parsial təzyiqi (qaz ballastı) maye buxarlarının təzyiqindən bir neçə dəfə çox olur. Nəticədə, sıxma kamerasında buxarla doydurulmuş qazın təzyiqi artır, çıxış borusunun klapanı açılır, və qazla birlikdə buxar nasosdan xaric olunur. Bu halda maye buxarları qismən nasosda olan yağ tərəfindən udulur. Ona görə hüdud vakuumun yaxşı alın-

ması üçün, sorma prosesini yağın qurudulmasına qədər davam elətdirmək lazımdır. Qaz ballastlı nasosların hüdud vakumu adi nasosların hüdud vakuumundan çox ola bilməz.

**Çoxlövhləli nasoslar.** Bu nasoslar böyük həcmli böyük sistemlərdə vakuum yaratmaq üçün tətbiq olunur. Adi nasosların hüdud vakuumunun yüksək və sorma sürətinin az olmasına görə, böyük həcmli sənaye qurğularında istifadə edilməsi əlverişli deyil. Çoxlövhləli nasosların hüdud vakuumunu cəmi 10 Torr tərtibindədir, ancaq nasosun təsir tezliyi eyni ölçülərdə olan adi nasoslara nisbətən daha coxdur.

Çoxlövhləli nasosun quruluşu şəkil 4.9 – da göstərilib. Nasosun gövdəsində boş 1 metal silindri yerləşdirilib, onun içərisində silindrin oxuna nisbətən sürüşdürülmüş ox ətrafında 2 rotoru fırlanır. Rotorun kəsiklərində hərəkət edən 3 lövhələri vardır.

Mərkəzdənqaçma qüvvələrin təsiri nəticəsində lövhələr silindrin səthinə kip sıxılır, və silindrlə rotorun arasında olan fəza müxtəlif həcmli kameralara bölünür. Nasosun sol tərəfində yerləşən kameraların həcmi rotor fırlanarkən artır, qaz sorulur, eyni zamanda sağ tərəfdəki kameraların həcmi azalır, qaz sıxılır və nasosun çıxış borusuna ötürülür.



Şəkil 4.9

Belə nasoslarda yağ ancaq sürtülən hissələrin yağlanması üçün istifadə olunur. Ona görə rotorun fırlanma sürəti 1500 dövr/dəq qədər artırıla bilər, bu da nasosun sorma sürətini 1000 dm<sup>3</sup>/san –yə qədər yüksəldir.

Mexaniki nasosların bəzi markalarının müxtəlif parametrləri cədvəl 4.2 – də göstərilmişdir. Cədvəldə göstərilən bütün mexaniki nasoslarda xüsusi yağlardan istifadə

*Cədvəl 4.2*

Nasosun parametrinin adı və ya xarakteristikası	Nasosun adı					
	VN 494	VN 61M	RVN 20	VN 2	VN 1	VN 4
	Rotoru övhəli	Statoru lövhəli		Zolotnikli		
Sorma sür'əti Dm <sup>3</sup> /san.						
760 Torda	0,21	0,83	2,7	7,0	18,3	59
1- Torda	0,21	0,7	2,4	5,9	14,5	40
0,01 – Torda	0,05	0,2	0,5	5,0	11,5	15
Hədd vakuum (Tor)	1·10 <sup>-3</sup>	1·10 <sup>-3</sup>	1·10 <sup>-3</sup>	3·10 <sup>-3</sup>	3·10 <sup>-3</sup>	5·10 <sup>-3</sup>
Rotorun dövürlərinin sayı (dəq <sup>-1</sup> )	360	540	400	525	500	500
Elektrik mühərrik gücü. (kVt)	0,6	0,6	0,8	1,7	2,8	7
Kütləsi, (kq)	36	75	110	180	312	1050

olunur. Bu yağlar nəmli və uçucu olmamalıdır və müəyyən özüllüyə malik olmalıdırlar. İşçi temperaturda yağın doymuş buxarının təzyiqi onun uçuculuğundan aşıdır.

Yağın özülülüyü az olanda nasosun germetikliliyi pozulur və hədd vakuumu azalır. Yağın özülülüyü çox olması isə nasosun işə salınmasını və rotorun fırlanmasını

çətinləşdirir, nasosun qızmasına səbəb olur. Mexaniki nasoslarda istifadə olunmuş yağların doymuş buxarının təzyiqi  $50^{\circ}\text{S}$  – də təqribən  $10^{-4}$  Tordan çox olmamalıdır. Bu cür tələbləri maşın yağlarından müəyyən metodla alınan VM – 4, VM – 6 markalı (sovet markaları) yağlar yaxşı ödəyirlər. VM – 4 yağının  $50^{\circ}\text{S}$  – də doymuş buxarının təzyiqi  $4 \cdot 10^{-5}$  Tor, VM – 6 yağının isə  $1 \cdot 10^{-6}$  Tordur.

### FIRLANMA NASOSLARININ SORMA SÜRƏTİ

Yağlı nasosların sorma sürətinə onun konstruksiyasının təsiri böyükdür. Bu səbəbdən də nasosun konstruksiyasından (həndəsi qurluşundan) asılı olan təsir tezliyini  $S_h$  nəzəri sorma sürətindən fərqləndirmək lazımdır. Belə ki,

$$S_h = V_k \cdot n \quad (4.9)$$

burada,  $V_k$  – nasosun sorma kamerasının həcmi,  $n$  isə nasosun rotorunun bir saniyədəki dövrlərin sayıdır. Lakin nasosun giriş borusunun müqavimətinin olması və istənilən vaxtda qazın əks axımının mövcud olması nasosun real sorma sürətinin onun nəzəri sorma sürətinin qiymətindən kiçik olmasına səbəb olur. Qazın əks axımının səbəbi nasosda zərərli fəzanın olmasıdır. Bundan başqa, yüksək vakuumda sorulan qaba nasosdan işçi mayenin buxarları da diffuziya edə bilər. Nasosun məhsuldarlığı, yəni vahid zamanda nasosun giriş borusundan sorulan qaz seli,  $Q = S_n \cdot p$  düz və tərs istiqamətdə axan sellərin fərqinə bərabərdir:

$$Q = Q_{\text{düz}} - Q_{\text{əks}} \quad (4.10)$$

$$Q_{\text{düz}} = S_{\text{max}} \cdot p,$$

$S_{mak}$  – maksimal sorma sürəti,  $p$  – nasosun giriş təzyiqidir.

Onda

$$S_h \cdot p = S_{mak} \cdot p - Q_{\text{aks}} \quad (4.11)$$

Təzyiqin qiyməti hüdud qiymətinə bərabər olanda,  $p = p_0$ ,  $Q = 0$  və

$$Q_{\text{aks}} = S_{\text{max}} \cdot p_0 \quad (4.12)$$

(4.12) – i (4.11) nin yerinə yazsaq alarıq:

$$S_H = S_{\text{max}} \left(1 - \frac{p_0}{p}\right) \quad (4.13)$$

Vakuum texnikasının əsas tənliyinə görə, (3.15) giriş borusunun keçiriciliyini nəzərə alsaq,  $S_{\text{max}}$  üçün aşağıdakı ifadəni yaza bilərik:

$$S_{\text{max}} = \frac{S_H \cdot U}{S_H + U} \quad (4.14)$$

(4.14) – ü (4.13) – da yerinə yazsaq alarıq:

$$S_h = \frac{S_H U}{S_H + U} \left(1 - \frac{p_0}{p}\right) = K_\lambda \cdot S_H \quad (4.15)$$

Burada

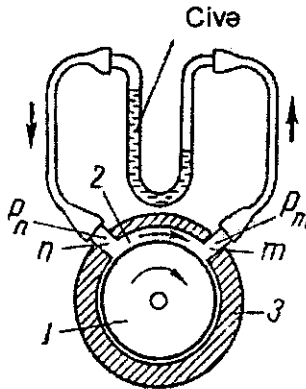


$$K_\lambda = \frac{U(1 - \frac{P_0}{P})}{S_h + U} \quad (4.16)$$

Nasosun real sorma sürəti nəzəri (həndəsi) sorma sürətindən  $K_\lambda$  – dəfə kiçik olur. Sorma sürətinin artırması üçün işçi kameranın  $V_k$  həcmi və giriş borusunun  $U$  keçiriciliyini artırmaq lazımdır. Dövrələrin sayı  $n$  optimal olmalıdır və bu qiymət həddindən artıq çox olanda ya nasos artıq qızar, ya da işçi kamerasının sorulan qazla doldurulması baş verə bilər.

#### § 4.4. MEXANİKİ – MOLEKULAR NASOS

Bu nasosun prinsipl sxemi şəkil 4.10–da göstərilmişdir. Nasosun işləmə prinsipinin əsasını, sorulan qaz molekullarına fırlanan 1 diski vasitəsilə ilkin seyrəkləşmə tərəfə impulsun verilməsi təşkil edir. Nəticədə  $n$  giriş və  $m$  çıxış boruları arasında təzyiqlər fərqi yaranır. Qazın



Şəkil 4.10

hərəkəti 3 statorun içərisində yerləşən ensiz 2 kanalın içərisində baş verir. Kanaldan kənarda rotor statorun içərisində kip yerləşdirilir. Molekulyar nasoslar vasitəsilə  $10^{-9}$  Tora qədər seyrəkləşmə yaratmaq mümkündür.

Alman fiziki Gaede göstərmişdir ki, a) molekulyar axın zamanı ( $\lambda \gg d$ ) bu cür nasoslar üçün

$$\frac{P_m}{P_n} = e^{bv}$$

$$P_n = P_m e^{-bv} \quad (4.17)$$

ifadəsi ödənilir. Bu ifadədə,  $b$  – qazın təbiətindən və statorda olan kanalın ölçülərindən asılıdır.  $v$  – rotorun xətti sürətidir.

$\frac{P_m}{P_n}$  nisbəti təzyiqin qiymətindən asılı olmadığına görə

hüddud vakuumun qiyməti qazın  $p_n$  – təzyiqinin qiyməti az olduqca, yüksək olar. Bu halda qazın həcmi israfı (3.32) düsturuna əsasən

$$D_v = \frac{8 r_0^3}{3 \ell p_{or}} (p_m - p_n) \sqrt{\frac{\pi kT}{2m}}$$

ifadəsi ilə tə'yin olunur. Burada,

$$p_{or} = \frac{p_m + p_n}{2} \text{ - dir.}$$

b) özlülük rejimində ( $\lambda \ll d$ ) kanalın en kəsiyindən vahid zamanda axan qaz seli (3.23)-ə görə

$$D_v = \frac{\pi r_0^4}{8\eta \ell} (p_m - p_n) = \frac{S^2}{8\pi\eta \ell} (p_m - p_n)$$

düsturu ilə təyin olunur.

Burada,  $S - nm$  kanalının en kəsiyidir. Digər tərəfdən  $D_v = S v$  olduğundan ( $v$  – axan qazın divara nisbətən sür'ətidir).

$$\frac{S^2}{8\pi\eta \ell} (p_m - p_n) = S v$$

alarıq. Burdan da

$$p_m - p_n = \frac{8\pi\eta \ell v}{S} \quad (4.18)$$

düsturunu alırıq.

Göründüyü kimi bu halda da kanalda təzyiqlər fərqi sorulan qazın təzyiqinin orta qiymətindən asılı deyil ancaq kanalın ölçülərindən asıdır.

Cədvəl 4.3 – də bu cür nasosun bezi parametrləri göstərilmişdir.

Cədvəl 4.3

Pametrələr	qiyməti
1. Təzyiqin $5 \cdot 10^{-3}$ – $1 \cdot 10^{-8}$ Tor intervalında sorma sürəti ( $\ell / \text{san}$ )	200
2. Vakuumin hədd qiymət, (Tor)	$5 \cdot 10^{-9}$
3. Soyuducu suyun israfı ( $\ell / \text{saat}$ )	50
4. İstifadə olunan elektrik enerjisi (kVt)	2,1
5. Kütləsi (kq)	433

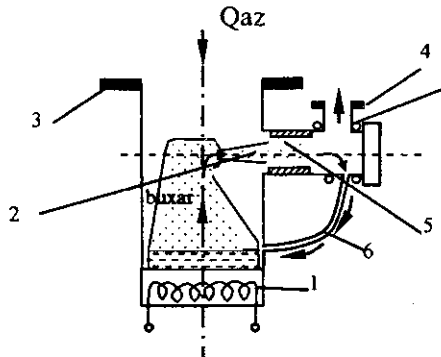
#### § 4.5. BUXARŞIRNAQLI NASOSLAR

Mexaniki nasoslarda sorulan qazın molekullarına lazımı istiqamətdə hərəkət miqdarı fırlanan cisim (disk, rotor) vasitəsi ilə verilir. Bu məqsəd üçün səs və səsdən böyük sürətlə axan buxar və qaz şırnaqlarından da istifadə etmək olar. Bu cür şırnaqlardan istifadə olunan nasoslar buxar şırnaqlı nasoslar adlanır. Qaz və buxarın belə sürətli axımını xüsusi həndəsi formaya malik olan soplolar (ucluqlar) vasitəsi ilə əldə etmək olar. Sorulan qazın molekullarının buxar şırnağı ilə qarşılıqlı təsirindən asılı olaraq, buxarşırnaqlı nasoslar ejektorlu və diffuziya nasoslarına ayrılırlar. Ejektorlu nasoslarda qazın özlülük rejimində axımından, diffuziya nasoslarında isə, molekulyar rejimdə axımından istifadə olunur. Təzyiqin qiyməti  $10^{-3}$  tordan yüksək olanda ejektorlu nasoslar, aşağı olanda isə diffuziya nasoslar yaxşı işləyirlər. Diffuzion nasosun çıxış təzyiqi təqribən, ejektorlu nasosun hüdud vakuumuna bərabər olduğundan, çox vaxt bu iki sorma metodu bir

konstruksiyada birləşdirilir və belə nasoslar, yuxarıda deyildiyi kimi, buxarşırnaqlı nasoslar adlanırlar.

Ejektorlu nasos. Ejektorlu nasosun prinsipial sxemi şəkil 4.11 - də göstərilmişdir. Nasos 1 – qızdırıcıdan, 2 – Lavalin ejektor soplosundan, 3, 4 – giriş və çıxış borularından, 5 – qatışma kamerasından və 6 – borusundan ibarətdir.

İşçi maye qızdırıcıda buxara çevrilərək səsdən böyük sürətlə soplodan qarışma kamerasına öfürülür. Sorulan qaz molekulları daxili sürtünmə nəticəsində qarışma kamerasında buxara qarışır və sonra isə 4 – çıxış borusuna birləşdirilmiş mexaniki nasos tərəfindən sorulur. Çıxış borusunun divarları axan su ilə soyudulduqdan buxar mayeyə çevrilərək, 6 – borucuğu vasitəsilə yenidən buxarlandırıcıya qaydır.



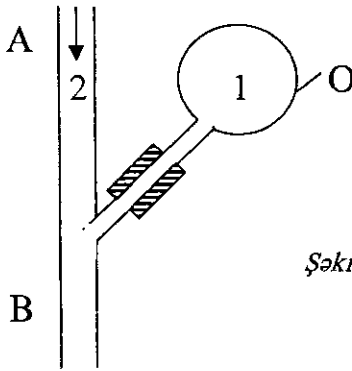
Şəkil 4.11

Yağlı ejektorlu nasosların maksimal çıxış təzyiqi (1 – 5) Tor, civəli ejektorlu nasoslarınkı isə (20 – 40) Tor tərtibində olur. Bu nasosların sorma sürəti saniyədə bir neçə min litrdir.

## DİFFUZİON NASOSLAR

Diffuzion nasoslarda (bəzən bu nasoslara «difnasoslar» da deyirlər) işçi mayenin buxarları sorulan qaz molekulları ilə toqquşaraq, onlara lazımı istiqamətdə hərəkət miqdarı verir və bunun nəticəsində qaz molekulları ilkin seyrəkləşmə olan tərəfə hərəkət edərək mexaniki nasos tərəfindən tutulur.

**Gaedenin nasosu.** Bu nasos 1915 – ci ildə alman alimi Gaede tərəfindən düzəldilmişdir. Nasosun prinsipial sxemi 4.12 şəkilində göstərilmişdir.



Şəkil 4.12

Tutaq ki, sormağ istədiyimiz 1 qazı O obyektindədir. O obyektini kapilyar (diametri, sərbəst qaçış yolunun orta uzunluğundan kiçik olan boru) vasitəsi ilə AB borusu ilə birləşdirək və bu borudan böyük sürətlə 2 buxar seli axıdaq. Bu zaman qaz və buxar molekulları bir – birinə diffuziya edəcəklər. Əgər kapilyarı soyutsaq və 2 buxar olduğundan kapilyarın soyuq divarları tərəfindən tutulacaq və obyektə gedib çatmayacaq. Soyuq divar prinsipi 1 qaza təsir etmədiyindən o 2 buxarı olan tərəfə diffuziya edəcək. Bunun

nəticəsində I qazı 2 buxarı vasitəsi ilə sorulacaq. Beləliklə obyektədəki qazın təzyiqi zaman keçdikcə azalacaq.

Gaede göstərmişdir ki, belə nasosun sorma sürəti

$$S_n = \frac{\pi d^3 v_h}{12\ell} \quad (1.19)$$

düsturu ilə təyin olunur. Haradakı  $d, \ell$  - kapilyarın diametri və uzunluğu,  $v_h$  - molekulların orta sürətidir.

Bu düsturdan aşağıdakı nəticələr alınır:

a) Sorma sürəti molekulyar rejimdə sabitdir.

b) Sorma sürətinin qiyməti olduqca azdır.

Misal üçün :  $\ell = 10\text{sm}$ ,  $d = 2\text{mm}$  olarsa, onda:

$$S = 10^{-1} \frac{\text{sm}^3}{\text{san}} \quad \text{olar;}$$

c) Diffuzion nasos ilkin seyrəkləşmə yarada bilən mexaniki nasosun olmasını tələb edir. Çünki  $\lambda$  - nın böyük qiymətlərində böyük  $d$  - lərdən istifadə etmək olar.

d) Bir halda ki,  $S_H$  - təzyiqdən asılı deyil, nəzəri olaraq vakuumin hədd qiyməti sıfıra bərabər olmalıdır. Əslində isə bu 2 buxarının əks diffuziyası və soyuducunun temperaturuna uyğun işçi mayenin doymuş buxarının təzyiqi ilə məhdudlaşır.

Diffuzion nasoslarının iş rejimi. Yüksək vakuüm şəraitində işləyən diffuziya nasoslarında sorulan qazın molekulları hərəkət edən buxar axımı ilə bir başa diffuziya nəticəsində əlaqəyə girirlər, yəni qaz buxar şırnağına diffuziya edir.

Diffuzion nasoslarının iş rejimi işçi mayedən çox asılı olduğundan, işçi maye aşağıdakı tələbləri ödəməlidir:

1. Otaq temperaturunda işçi mayenin doymuş Buxarının təzyiqi kifayət qədər az olmalıdır.

2. Alçaq təzyiqlərdə işçi mayenin qaynama temperaturu kiçik olmalıdır.

3. Alçaq təzyiqlərdə və yüksək temperaturda kimyəvi reyaksiyalara qarşı dözümlü olmalıdır.

4. Kondensasiya qabiliyyəti yüksək olmalıdır.

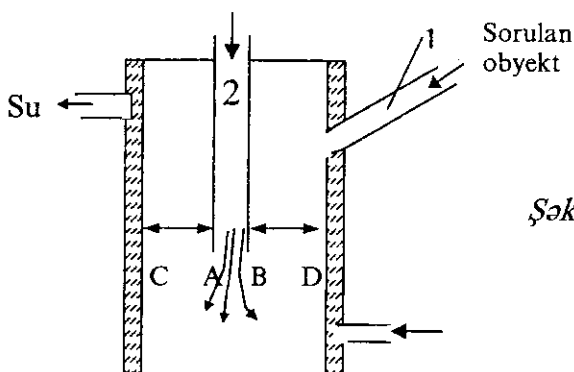
5. İşçi maye nasosun düzəldildiyi materiala qarşı inert olmalıdır.

6. Axıcılığı yüksək olmalıdır.

Bütün bu tələbləri civə və bir çox xüsusi yağlar çox yaxşı ödəyirlər.

İstifadə edilən işçi mayeyə görə difnasoslar civəli və yağlı, konstruktiv tərtibatına görə isə melall və şüşədən düzəldilmiş olurlar.

**Lengmürün nasosu.** Yuxarıda deyildiyi kimi Gaede nasosunun sorma sürəti olduqca azdır. Lengmür, sorma sürətini artırmaq məqsədi ilə Gaede nasosundakı kapilyarı boru ilə əvəz etmişdir. Bunun da nəticəsində qazların qarşılıqlı diffuziyasının sürəti artmışdı. Lengmür nasosunun prinsipial sxemi şəkil 4.13 – də göstərilmişdir.



Şəkil 4.13



Bu nasosun işləmə prinsipini yaxşı başa düşmək üçün şəkilə müraciət edək.

Əvvəlcə fərz edək ki, təzyiqin qiyməti elədir ki, qaz molekulyar rejimdə axır. Bu halda sorulan qaz molekulları ilə buxar molekullarının toqquşmalarının sayı çox az olar ki, bunun da nəticəsində qaz ya heç sorulmaz, ya da çox pis sorular.

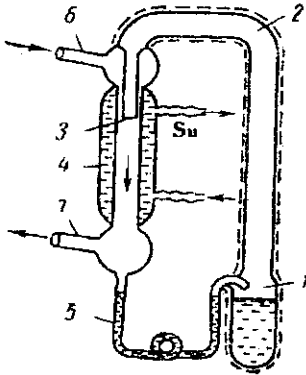
İndi isə fərz edək ki, təzyiqin qiyməti elədir ki, qaz özlülük rejimində axır, yəni  $\lambda \ll AC$  və ya  $BD$ . Buxar molekulları ucluqdan çıxandan sonra çoxlu sayda toqquşmaları ilə sorulan qaz atomlarına əks istiqamətdə hərəkət miqdarı verəcəkdir ki, bunun da nəticəsində 1 qazı 2 buxarı vasitəsi ilə sorulmayacaq.

Əgər, sərbəst yolun orta uzunluğu  $AC$  və ya  $BD$  tərtibində olarsa ( $\bar{\lambda} \approx AC$ ), onda qaz molekulları ilə buxar molekulları arasındakı toqquşmaların sayı kifayət qədər olar. Bu halda qaz atomları ilkin vakuum tərəfə hərəkət miqdarı alacaq və mexaniki nasos tərəfdən sorulacaqdır. Bu zaman buxar atomları isə intensiv soyudulan divar tərəfindən tutulduğundan sorulan qab tərəfə getməyəcəkdir.

## CİVƏLİ DIFFUZİON NASOSLARI

a) Civəli şüşə diffuzion nasoslar. Sadə civəli diffuzion nasosun sxemi şəkil 4.14. – də göstərilmişdir. Qızdırıcı vasitəsi ilə civə 1 qabda qızdırılır və civə buxarı asbest qatı ilə örtülmüş 2 borusu ilə hərəkət edərək 3 ucluğundan böyük sürətlə üfrülür. Civə buxarları sorulan qaz molekulları ilə toqquşaraq, onlara ilkin seyrəkləşmə olan tərəfə hərəkət miqdarı verir, özü isə axan su vasitəsi ilə intensiv soyudulan divar tərəfindən tutularaq, kondensasiya olub, yenə də qızdırıcıya qayıdır. Bəzən bu nasosa ejetor ucluğu qoymaqla nasosun işlədiyi təzyiq diapazonunu alçaq vakuum

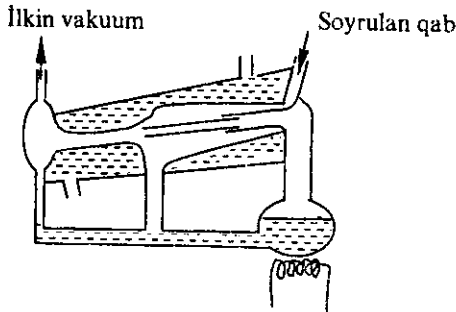
tərəfə genişləndirmək olar. Bu cür nasoslardan birinin konstruksiyası şəkil 4.15 – də göstərilmişdir.



Şəkil 4.14

Buxarın soyudulan tələlər vasitəsilə tutulması şərti ilə şüşəli difnasoslarda parametrləri aşağıdakı kimidir:  $p_h = 10^{-6}$  Tor, təzyiğin  $10^{-3}$  Tor qiymətində sorma sür'əti  $\sim 1$  l/san – dir.

Belə nasoslar şüşədən hazırlandığı üçün çox davamsız olur və bu səbəbdən də yalnız elmi tədqiqat laboratoriyaya şəraitində işlədilir. Sənayedə daha davamlı və möhkəm olan

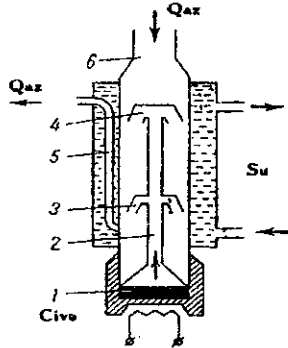


Şəkil 4.15

metal konstruksiyalı nasoslardan istifadə olunur.

b) **Civəli metal diffuzion nasoslar.** Belə nasoslar adətən silindrik simmetriyaya malik olurlar. Sənayedə metallik diffuziya nasosları ya iki, ya da üç pilləli hazırlanırlar. Birinci iki pillə ejetor sorma prinsipinə, yüksək vakuum tərəfdəki ucluq isə diffuzion sorma prinsipinə əsaslanır. Cədvəl 4.4 – də geniş tətbiq olunan və sovetlər dövründə istehsal olunan bir neçə diffuziya nasoslarının parametrləri verilmişdir.

İki pilləli civəli diffuzion nasosun quruluşu 4.16 şəklində göstərilmişdir. Nasosun aşağı hissəsində elektrik qızdırıcısı ilə qızdırılan civəli kamera 1 yerləşir. Civə buxarları 2 buxarötürücü ilə nasosun 3 və 4 ucluğuna tərəf yönəlir. Civə buxarları nasosun divarlarında kondensasiya olundandan sonra civə nasosun



Şəkil 4.16

yuxarı hissəsindən xüsusi arakəsmə ilə ayrılan 1 qızdırıcıya tökülür. Nasosun gövdəsi su ilə soyudulur. Su eyni zamanda 5 çıxış borunu da soyudur, ona görə də civə nasosdan çıxmır. Nasosun yuxarı hissəsində yerləşən 6 giriş borusu nisbətən böyük en kəsiyinə malikdir. Ona görə borunun sorulan qazın molekulyar selinə müqaviməti azalır və nasosun sorma sürəti artır. Soyudulan tələlərin köməyi ilə

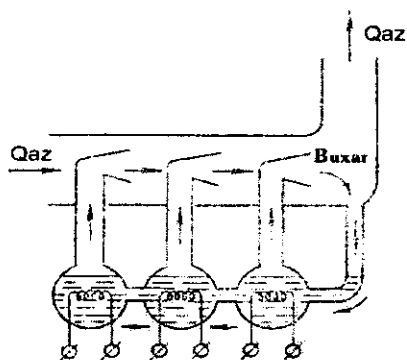
bu nasoslarla  $10^{-5}$  –  $10^{-6}$  tor tərtibində vakuüm almaq mümkündür. Belə nasosların çıxış təzyiqinin qiyməti birneçə *mm c. st* tərtibindədir. Nasosun çatışmaz cəhəti, yüksək vakuüm almaqdan ötəri hökmən soyudulan tərəfin olmasını tələb etməsidir.

*Cədvəl 4.4*

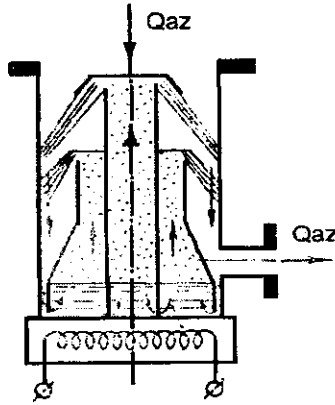
Civəli diffuzion nasoslar			Yağlı diffuzion nasoslar		
Parametr	DRH - 50	H - 40R	MM 40A	ÜVL 100	H 5S - 2
Təzyiqin işçi diapazonu Tor	$20 - 10^{-7}$	$0,95 - 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-4}$ $5 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-4}$ $3 \cdot 10^{-6}$	$10^{-3} - 5 \cdot 10^{-7}$
Havaya görə orta sorma sürəti $\ell / san$	$10^{-1}$ Torda 30	$10^{-4}$ torda 45 - 50	25	100	100
Vakuüm hədd qiyməti (Tor)	$10^{-7}$	$10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$
Elektrik qızdırıcısının gücü (kVt)	2,5	0,45	0,45	0,45	0,5
İşçi maye	civə	civə	VM- 1	VM - 1	VM - 1
Çəkisi (kq)	25	3,8	6,9	6,9	10

**Yağlı diffuzion nasosları.** Bu nasosların iş prinsipi, civəli nasosların iş prinsipi ilə eynidir. Lakin yağın fiziki və kimyəvi xassələri civənininkindən fərqləndiyi üçün, bu nasoslar konstruktiv cəhətdən civəli nasoslardan fərqlənirlər.

Yağlı diffuzion nasoslarında xüsusi növ yağlardan istifadə olunur. Bu yağlar mürəkkəb üzvü birləşmələr olduğundan, alçaq təzyiqdə, yüksək işçi temperaturda, kimyəvi aktiv qazların təsirindən parçalanırlar. Nəticədə doymuş buxarının sıxlığı böyük olan fraksiyalar əmələ gəlir ki, bu da vakuuminin hüdud qiymətini aşağı salır. Vakuuminin hüdud qiymətinin aşağı düşməsinin qarşısını almaq üçün, konstruktiv olaraq nasos elə düzəldilir ki, parçalanmanın uçucu fraksiyası alçaq vakuüm tərəfdə yerləşmiş qızdırıcıya, parçalanmayan hissəsi isə yüksək vakuüm tərəfdə yerləşdirilmiş qızdırıcıya daxil olur. Nəticədə nasosun yüksək vakuuma tərəf pilləsində buxarın sıxlığı az olur və nasosun hüdud vakuumu artır. Belə nasoslar fraksiyalaşdırıcı nasoslar adlanırlar. Şüşəli fraksiyalaşdırıcı nasos şəkil 4.17 – də, metal konstruksiyalı nasos isə şəkil 4.18 – də göstərilmişdir.



*Şəkil 4.17*



*Şəkil 4.18*

Yağbuxarlı nasosların konstruksiyalarında yağın məxsusi xüsusiyyətləri də nəzərə alınır. Belə ki,

a) yağlar istiliyi pis keçirdiyi üçün buxarlandırıcının səthi böyük düzəldilir.

b) yağların sıxlığı az olduğu üçün yağ damcılarının sistemə keçmək ehtimalı böyükdür. Bunun qarşısını almaq üçün nasosun yüksək vakuum tərəfində yağ damcılarını saxlayan, lakin nasosun sorma sürətinə təsir göstərməyən yağ əksetdiriciləri və tutucularından istifadə edilir.

c) yağların aktiv qazlarla reaksiyaya girərək parçalanmasının qarşısını almaq üçün çıxışında  $10^{-1} - 10^{-2}$  tor tərtibində vakuum yaradılır. İşçi mayeyə qarşı yuxarıda qoyulan tələbləri silikon adlanan yağlar yaxşı ödəyirlər. Bu yağların tərkibini silisiumun üzvü birləşmələri təşkil edir. Bu yağlar yüksək termostabilliyi ilə fərqlənilir.

Yağlı nasoslarda işçi maye olaraq mürəkkəb efirlərdən və mineral yağlardan da istifadə olunur.

Vakuum texnikasında istifadə olunan yağların bəzi fiziki – kimyəvi xassələri cədvəl 4.5 – də göstərilmişdir.

Məlumdur ki, maddələrin doymuş buxarın təzyiqinin temperatur asılılığı (səh.17)

$$\lg p = A - B/T$$

düsturu ilə təyin olunur. Cədvəldə 4 və 5 sütununda verilmiş A və B bu düsturun sabitləridir.  $T_5$  və  $T_2$  ilə  $10^{-5}$  və  $10^{-2}$  mm c. st. uyğun temperaturlar göstərilmişdir.

*Cədvəl 4.5.*

**Diffuzion nasosların bəzi yağlarının fiziki xarakteristikaları.**

İşçi maye	Kimyəvi tərkib	Molekul çəkisi	A	B	$T_5$ °S	$T_2$ °S	P, mm. cv.st.
1	2	3	4	5	6	7	8
Butilftalat	Di-n butilftalat	278	14,2	4680	18	81	$3,3 \cdot 10^{-5}$
Amoyl S	i-Di milsebakat	343	14,4	5190	25	114	$1,0 \cdot 10^{-6}$
Silikolen	Budaqlan- mış silokcan	730	14	6410	64	127	$3,2 \cdot 10^{-8}$
Diffden L	Doymuş karbohid- rogenlərin qatışığı	395	12,7	6098	71	142	$1,8 \cdot 10^{-8}$

## DİFFUZİON NASOSLARININ SORMA SÜRƏTİ.

Diffuziya nasoslarının nəzəri sorma sürəti buxar selinin səthinə vahid zamanda daxil olan və onu tərk edən sorulan qaz molekullarının miqdarının fərqi ilə müəyyən-  
ləşir:

$$S_{\text{nəz}} = \frac{F}{n}(N_1 - N_2) \quad (4.12)$$

Burada  $F$  – buxar şırnağının səthinin nasosun en kəsiyinin səthinə proyeksiyasıdır. Bu proyeksiya nasosun gövdəsinin və ucluğun arasında olan aralığın sahəsinə bərabərdir;

$N_1$  – buxar axınının vahid səthinə vahid zamanda düşən molekulların miqdarıdır;  $N_2$  – axının vahid səthini həmin zamanda tərk edən molekulların miqdarıdır;

$n$  – nasosun girişində qazın konsentrasiyasıdır.

Molekulyar – kinetik nəzəriyyəyə görə:

$$N = \frac{n\bar{v}}{4} \quad \text{və} \quad \bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$$

olduğundan:

$$S_{\text{nəz}} = F \frac{\sqrt{\frac{8k}{\pi m}}}{4n} (n\sqrt{T} - n_q\sqrt{T_q})$$



Burada,  $T$  və  $T_q$  – buxar şırnağında və nasosun girişində qazın temperaturudur,  $n_q$  - buxar axınında qazın konsentrasiyasıdır.

$$\frac{n_q}{n} = \frac{p_0}{p} \quad \text{olduğundan}$$

$$S_{\text{nəz}} = \frac{F \cdot \bar{v}}{4} \left(1 - \frac{p_0}{p} \sqrt{\frac{T_q}{T}}\right) \quad (4.13)$$

olar.

Burada  $p_0$  – nasosun hüdud vakuumudur. Sorma sürətinin real qiyməti nəzəri qiymətdən azdır, ona görə ki, buxarın əsas axının əks istiqamətində buxarın genişlənməsi səbəbindən törədilən axın mövcuddur. Belə axın diffuziya nasoslarında sorulan qazın əsas axınına daxil olmasını çətinləşdirir.

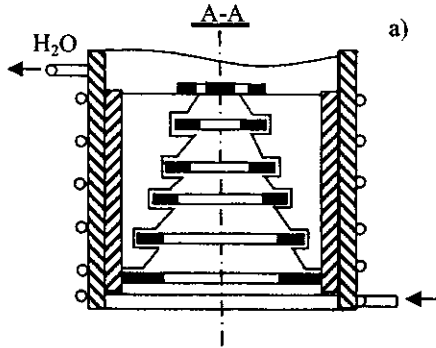
Nəzəri və real sorma sürətlərinin nisbətinin təcrübi qiyməti təqribən  $H_0 \approx 0,3$  - ə bərabərdir.

$$\begin{aligned} S &= H_0 S_{\text{nəz}} = \frac{H_0 F \bar{v}}{4} \left(1 - \frac{p_0}{p} \sqrt{\frac{T_q}{T}}\right) = \\ &= \frac{H_0 F}{4} \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \left(1 - \frac{p_0}{p} \sqrt{\frac{T_q}{T}}\right) \end{aligned}$$

Müasir diffuziya nasoslarının sorma sürəti 40 000 l/san tərtibindədir.

#### § 4.6. TƏLƏLƏR

Mexaniki və diffuzion nasosların vasitəsi ilə alınan vakuumin tərtibi həmin nasoslarda istifadə olunan yağların doymuş buxarının təzyiqi ilə məhdudlaşır. Ona görə vakuüm qurğularında  $10^{-6}$  Tordan yüksək vakuüm almaqdan ötəri sorulan obyektə diffuziya nasosu arasına tələlərdən istifadə edilir.



Şəkil 4.18 a

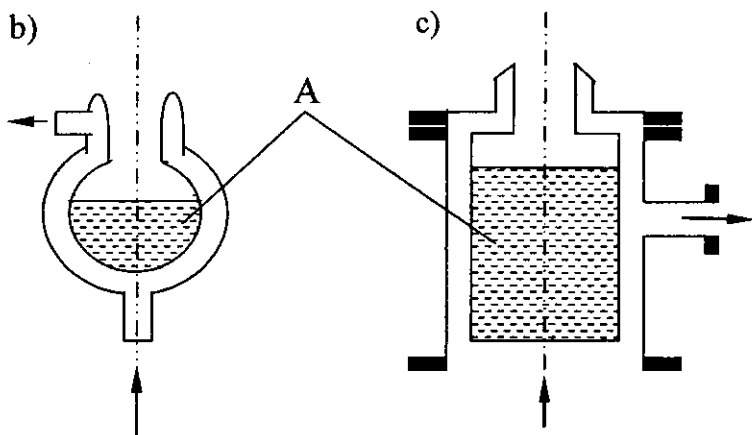
Vakuüm texnikasında istifadə olunan tələləri tə'sir prinsipinə görə aşağıdakı qruplara bölürlər: 1 – mexaniki, 2 – soyudulan, 3 – soyudulmayan, 4 – qızdırılan və 5 – elektrik tələləri.

Misal üçün, bəzi diffuzion nasoslarda yağ buxarının əks seli  $1 \cdot 10^{-3}$  mq/sm<sup>2</sup>san tərtibindədir. Əgər bu nasosun əks selinin qarşısına jalyuz şəkilli əks etdirici qoysaq (şəkil 4.18 a), onda əks selin qiyməti  $1 \cdot 10^{-6}$  mq/sm<sup>2</sup>san səviyyəsinə enər. Mexaniki tələlər adlanan bu cür tələlər adətən axan su vasitəsi ilə soyudulur. Vakuüm qurğularında mayələrin buxarını soyudulan divarlar vasitəsilə də intensiv tutmaq olar. Bu cür tələlər soyudulan tələlər adlanırlar. Belə tələləri həm şüşədən, həm də metaldan hazırlayırlar. Soyudulan

tələlərin təsiri xüsusi maddələr vasitəsi ilə tələnin soyudulması və onun divarlarında maye buxarlarının kondensasiyasına əsaslanır. Bunun nəticəsində vakuüm sistemində buxarların sıxlığı aşağı düşür. Tələnin divarlarının temperaturuna uyğun olan mayenin doymuş buxarının sıxlığını hüdud vakuüm sıxlığı kimi saymaq olar. Kondensasiya üsulu ilə maye buxarının tutulması üçün istifadə edilən tələlər isə çox vaxt dondurucu tələlər adlandırılır.

Soyuducu olaraq aşağıdakı maddə qarışıqlarından istifadə etmək olar.

NaCl + Mg	(- 18°S)
Ca Cl + Mg	(- 48°S)
Asetonla bərk karbon oksidi	(- 78°S)
Maye hava	(- 183°S)
Maye azot	(- 196°S)



Şəkil 4.18 b və c.

Maye azotla soyudulan şüşəli və metallik konstruksiyaya malik tələlər şəkil 4.18 b və c – də göstərilmişdir. Kondensasiya səthini soyudan maye azot A həcminə tökülür.

Vakuum texnikasında bəzən isti tələlərdən də istifadə edirlər. Bu tələlərin işləmə prinsipi qızmış səthdə karbohidrogenlərin parçalanmasına, yə'ni dissosiasiyasına əsaslanır. Belə tələlər dissosiasiya tələləri adlanırlar. Parçalanmadan sonra karbon qazı, dəm qazı, hidrogen və bərk karbon alınır. Bərk karbon tələnin divarına qonur, qalan qazlar isə nasos vasitəsilə sorulur. Bu tələlər ancaq yağlı nasoslarla işlədilir. Səthi elektrik cərəyanı vasitəsilə qızdırırlar.

Elektrik və ya elektron tələlərin işləmə prinsipi soyuq və ya isti katodlu qaz boşalmasında molekulların ionlaşma və həyəcanlaşmasına əsaslanır. Həyəcanlaşan molekullar tələnin divarına daha yaxşı adsorbsiya olunurlar. Tələnin işləmə effektivliyi həyəcanlaşma və ionlaşma effektivliyindən asılıdır.

#### §4.7. SORBSION SORMANIN FİZİKASI

*Sorbsiya hadisəsi haqqında bəzi anlayışlar.* Maye və bərk cisimər tərəfindən qazların bütün məlum udulma növləri qazların *sorbsiyası* adlanır. Qazların səth tərəfindən udulması *adsorbsiya*, həcm tərəfindən udulması isə *absorbsiya* adlanır. Qazların səth tərəfindən udulması ya fiziki adsorbsiya, ya da kimsorbsiya hesabına baş verir. Qazı udan cisim *sorbent*, (adsorbent, absorbent), udulan qaz isə *sorbat* (adsorbat, absorbat) adlanır. Təcrübələr göstərir ki, adsorbsiya nəticəsində udulan qazın miqdarı, cismin səthin sahəsinin artması ilə mütənasib olaraq artır. Ona görə, səthin nahamarlığı və onunla əlaqədar səthin effektiv sahəsi artdıqca, adsorsiya olunmuş qazın miqdarı da artır.

Fiziki adsorbsiya - Van - der Vaals qüvvələrinin təsiri altında baş verir. Bu təsirin nəticəsində qaz molekulları cismin səthi ilə toqquşanda, onların əksəriyyəti səth üzərində  $\tau = 10^{-4}$  s zamanı ərzində saxlanılır, və ancaq az bir hissəsi elastiki toqquşma qanununa görə əks olunur. Adsorbatın molekulları daim cismin səthini tərk edir, başqa molekullar isə səth tərəfindən adsorbsiya olunur. Nəticədə dinamik tarazlıq əmələ gəlir və molekulların bir qismi səth tərəfindən adsorbsiya olunur.

Fiziki adsorbsiya daha çox alçaq temperaturlarda özünü biruzə verir: temperatur aşağı düşəndə adsorbsiya olunan qazın miqdarı artır, temperatur artanda isə qaz asanlıqla səthi tərk edir.

Alçaq təzyiqlərdə adsorbatın molekulları səth üzərində monomolekulyar təbəqə əmələ gətirir. Böyük təzyiqlərdə və aşağı temperaturlarda isə bəzi qazlar polimolekulyar (yəni iki, üç və daha çox molekul) qalınlıqlı təbəqəni yarada bilirlər. Fiziki adsorbsiya nəticəsində udulan qazın kimyəvi tərkibi dəyişmir. Kimyavi adsorbsiya (kimsorbsiya), kimyəvi əlaqələr (valent qüvvələr) ilə izah olunur. Bu halda adsorbatın molekulu səthə ya elektron verir, ya da ondan elektron qəbul edir, atomlara və radikallara ayrılır, onlar isə səth ilə ayrı - ayrılıqda əlaqəyə girirlər.

Kimyəvi sorbsiya özünü alçaq temperaturlarda az, yüksək temperaturlarda isə çox biruzə verir. Cismi qızdırıldıqda, adsorbat ya heç xaric olmur, ya da çox pis xaric olunur. Adsorbsiya olunan qaz ilə desorbsiya olunan qazın kimyəvi tərkibi müxtəlif olur. Kimyəvi sorbsiyadan fərqli olaraq, fiziki adsorbsiya zamanı, adsorbsiya proseslərinin bütün temperatur asılılıqları dönən olur.

Absorbsiya hadisəsində, yəni qazın həcmdə udulması halında, udulan qazın miqdarı cismin həcminə mütənasib olaraq artır, maddənin tərkibindən və məsələlik dərəcə-sindən asılıdır. Absorbsiyada udulmanın iki halı: bərk

məhlulun ya da təzə kimyəvi birləşmənin yaranması ilə müşayiət olunan udulma baş verə bilər.

Əksər hallarda, qazın udulmasının növünü (adsorbsiya ya absorbsiya), fiziki və kimyəvi adsorbsiyanı bir – birindən dəqiq fərqləndirmək çox çətin olur. Ona görə, qazın udulmasından söhbət edəndə, çox vaxt bütün halları özündə birləşdirən sorbsiya nəzərdə tutulur.

#### § 4.8. İON – SORBSİON NASOSLARI

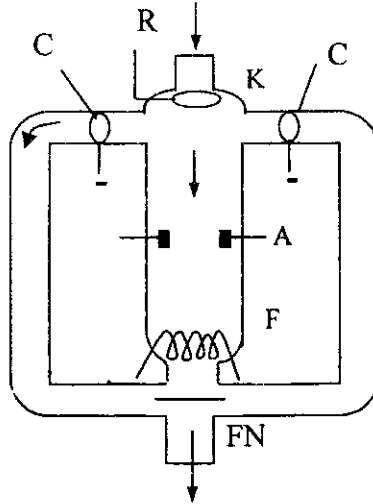
Bu nasosların işləmə prinsipinin əsasını, ion sorma, fiziki adsorbsiya və kimyəvi sorbsiya təşkil edir. Ən sadə nasoslarda bu üsulların birindən istifadə edilir. Bəzi hallarda bu üsulların hamısı bir konstruksiyada birləşdirilir. Əgər mexaniki və difiziya nasosları qazı həcmi bir hissəsindən sorub, digər hissəsinə ötürsə, sorbsiya nasosları qazı səth və həcm tərəfdən tutub saxlayırlar.

Kimyəvi sorbsiya əsasında işləyən nasoslar *getter* nasosları adlanır. Bu nasosların işləməsinin əsasını, təzə tozlanmış aktiv metal təbəqə ilə kimyəvi aktiv qazların qarşılıqlı təsiri təşkil edir. Belə aktiv metallara misal olaraq Ba, Ti, Al və digərlərini göstərmək olar.

Bu cür uducular elektrovakuum cihazlarının ayrılmaz hissəsi olub, cihazın qulluq müddətində ayrılan qazları tutub saxlamaq üçün istifadə edilir. Bu növ nasosların çatışmaz cəhəti, təsirsiz qazları sora bilməməsidir. Elektrovakuum cihazlarında uducu metal təbəqəsi cihazın daxili səthinə adətən yüksək tezlikli generator vasitəsi ilə çəkilir.

İon nasosları. İonlarla sorma əsasında işləyən nasoslar *ion nasosları* adlanırlar. Nasosun işləmə prinsipi sorulan qazın ionlaşmasına və ionların elektrik sahəsi vasitəsilə ilkin seyrəkləşmə tərəfə yönəldilməsi təşkil edir. Belə nasoslardan biri şəkil 4.19 – da göstərilmişdir.

İonlaşdırıcı elektronlar F katodundan emissiya olandan sonra həlqəvi A anoduna doğru hərəkət edirlər. Mənfi potensiallı R əksətdiricidən əks olunması və xarici maqnit sahəsinin təsiri nəticəsində elektronların effektiv yolunun uzunluğunun artması, ionlaşmanın ehtimalını artırır. Yaranan ionlar halqavari C elektrodlarına tərəf sürətlənir və nəticədə mexaniki nasos tərəfindən tutulurlar.



Şəkil 4.19

Müasir ion nasoslarının  $10^{-4} - 10^{-7}$  tor təzyiqlik diapazonunda sorma sürəti 200 l/san bərabər və ondan çox olur.

Adsorbsiya nasoslarının işləməsinin əsasını fiziki adsorbsiya təşkil edir.

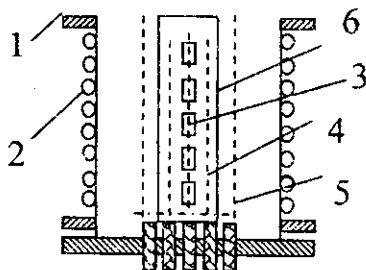
İon - sorbsiya nasosların əsasını yuxarıda göstərilən bütün sorma mexanizmləri təşkil edir.

İon - sorbsiya nasoslar iki yerə bölünürlər:

- a) aktiv materiallı buxarlanan nasoslar,
- b) aktiv materiallı tozlanan nasoslar.

Aktiv material olaraq adətən titan metalından istifadə olunduğundan, bu nasoslar bəzən titan nasosları da adlanırlar.

**Aktiv materiallı buxarlanan nasoslar.** Aktiv materiallı buxarlanan nasosun konstruksiyası şəkil 4.20-də göstərilmişdir.



Şəkil 4.20

Nasos 1 - gövdədən, 2 - su soyuducusundan, 3 - aktiv materialdan, 4 - idarəedicidən, 5 - ionlaşdırıcı anod torlarından ibarətdir. Termokatodun (6) emissiya etdiyi elektronların bir hissəsi 3 aktiv materiallı buxarlanma temperaturuna kimi qızdırır, bir hissəsi isə 5 torunun vasitəsi ilə bir neçə yüz elektron - volt enerjiyə uyğun qədər sürətlənir və 3 - ün üzərinə düşəne kimi bir neçə dəfə rəqs edərək qazı ionlaşdırır. 4 - toru katodun emissiya cərəyanını sabit saxlamaq üçündür.

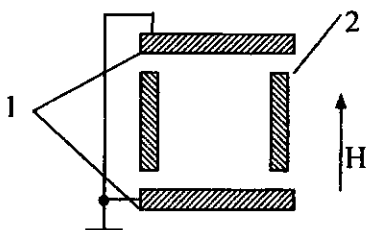
İonlaşmış qaz bir tərəfdən yuxarıda göstərilən istənilən yolla yaxşı sorbsiya oluna bilər, digər tərəfdən isə sürətlənmiş ionları nasosun gövdəsinə və ya divarlarına yeridir. Belə nasosun texniki göstəriciləri (parametrləri) aşağıdakı kimidir:

1.  $10^{-7}$  tor təzyiqində nasosun sorma sürəti 300 l/san ;
2. Vakuumin hüdud qiyməti -  $3 \cdot 10^{-9}$  Tor;
3. Başlanğıc təzyiq -  $10^{-4}$  Tor;
4. Emissiya cərəyanı - 300 mA;



5. İstifadə olunan güc – 0,9 kVt .

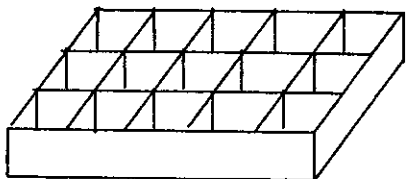
Katodu tozlanan nasoslar. (*Titan nasoslari*). Bu nasoslar bəzən *elektrik boşalmalı*, və ya *maqnit – elektrik boşalmalı* nasoslar adlanırlar. Nasosun quruluşu şəkil 4.21 – da göstərilib. Nasos uzununa maqnit sahəsində yerləşdirilmiş iki 1 katodundan və silindrik 2 anodundan ibarətdir. Anod katoda nisbətən bir neçə min Volt potensial altındadır. Nasosun daha böyük sorma sürətinə malik konstruksiyası



Şəkil 4.21 a.

şəkil 4.21b– də göstərilmişdir. Bu nasosun anodu külli miqdarda “yuvalardan” təşkil olunubdur. Bu cür nasoslarda istifadə olunan maqnit sahəsinin qiyməti 1200 – 2000 Ersted, anod gərginliyin qiyməti isə 3 – 6 kV–tərəfibindədir. Anodla katod arasında yaranan qaz boşalmasının nəticəsində katod ionlarla intensiv bombardman olunur və bunun nəticəsində titan tozlanaraq anodun səthinə qonur və nazik təbəqə əmələ gətirir. Anod səthinə qayıdan tozlanmış titanın miqdarı ionların sayından və enerjisindən asılıdır, ona görə anod gərginliyi lazımı qədər böyük olmalıdır, ionların katoda tərəf seli isə maqnit sahəsi vasitəsi ilə gücləndirilməlidir. Maqnit sahəsində elektronların vintvarı trayektoriya ilə hərəkəti onların anod istiqamətində yolunu uzadır və ionlaşmaların sayını artırır. Bu hadisə xüsusən elektrik boşalmalı nasosların iş oblastı olan kiçik təzyiqlərdə baş verir. Nasos işlədiyi zaman qaz titan

təbəqəsi vasitəsi ilə: (bir hissəsi anod materialı tərəfindən, bir hissəsi isə katod materialı tərəfindən) tutulur.



Şəkil .4.21 b.

Bəzi qazlar, demək olar ki, təkcə anod tərəfindən udulur (azot, oksigen). Təsirsiz qazlar və hidrogen adətən katod tərəfindən ion sorması nəticəsində sorulur.

Təsirsiz qazların kimyəvi aktivliyi aşağıdır və onların udulması bu qazların ionların bombardmanı zamanı katodun dərinliyinə yeridilməsi ilə izah olunur. Təsirsiz qazlar titan tərəfindən ancaq elektrik boşalması nəticəsində yaranan ionlaşmış vəziyyətdə udula bilər. Bu nasoslarda müstəqil boşalmanı təzyiqin  $10^{-12}$  Tor qiymətində də yaratmaq mümkün olduğundan, belə nasoslarla  $10^{-12}$  Tora qədər vakuum almaq mümkündür.

Adsorbsion nasoslar. Adsorbsion nasoslarının iş prinsipi fiziki adsorbsiyanın temperatura görə dönən olması xassəsinə əsaslanır. Nasos sorulan obyekt ilə birləşəndə və adsorbent soyuyanda, vakuum sistemində təzyiq azalır. Bu onunla bağlıdır ki, qaz fazasında və adsorbsiya halında olan qazın miqdarının paylanması dəyişir. Nasosun temperaturu əvvəlki qiymətinə qayıtması udulmuş qazın tam desorbsiyası ilə müşayət olunur.

Nasoslarda ən aktiv adsorbentlər tətbiq olunur: aktivləşmiş kömür, silolitlər, silikaqellər. Havanın sorulması üçün adsorbenti maye azot temperaturuna qədər soyutmaq lazım olur. Azotun, oksigenin, CO – nun desorbsiyası otaq temperaturunda baş verir. Su və yağın, buxarlarının desorbsiyası üçün adsorbent  $300 - 400^{\circ}\text{S}$  temperaturuna

qədər qızdırılır. Bu əsasda işləyən nasoslar «yağsız sormanın» əsasını təşkil edir.

*Aktivləşmiş kömürün uduculuq xassəsi.* Konstruktiv cəhətdən belə nasos olduqca sadədir. Əvvəlcədən hazırlıq zamanı yaranan qaz və buxar fırlanma nasosu tərəfindən sorulur. Desorbsiya prosesi 25 – 30 saat müddətində 450 – 500 °S temperaturda aparılır. Bu cür hazırlanmış kömür nasosu hətta otaq temperaturunda belə sorma qabiliyyətinə malikdir., ancaq maye azotla soyudularsa, sorma sürəti on dəfələrlə artır.

Sistemdə təzyiqin azalması ilə kömürün temperaturu arasında əlaqə

$$\frac{1}{p_2} = \frac{760 \text{ m.b.c}}{V \cdot p_1} - b \text{ düsturu ilə tə'yin olunur.}$$

burada  $p_2$  – son tarazlıq təzyiq (Tor)

$p_1$  – başlangıç təzyiq

m – kömürün qramlarla miqdarı

V – sistemin həcmi

c – 182°S kömürün uducu tutumu

b – izoterm əyrisinin sabitidir.

Aktivləşmiş kömür nasos mexaniki nasosla birlikdə  $10^{-6}$  –  $10^{-7}$  Tor vakuum almağa imkan verir.

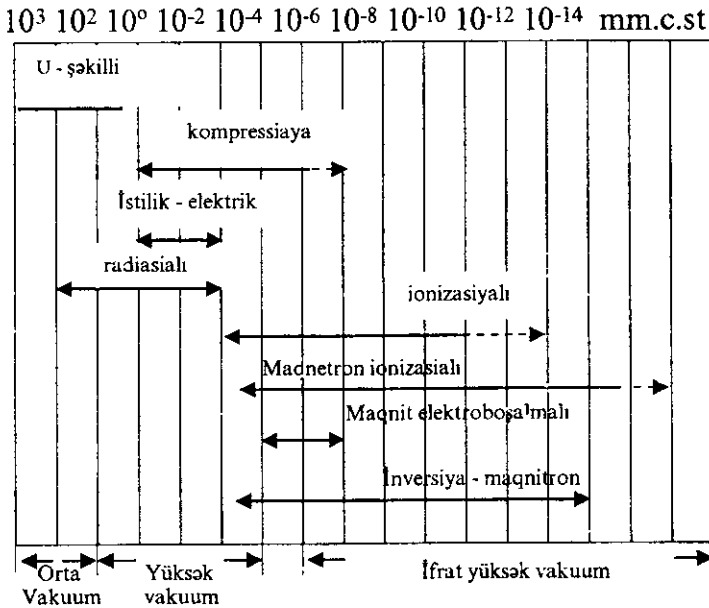
1 – qr aktiv kömür sorucu (uducu) səthinin sahəsi 2500 m<sup>2</sup> – bərabərdir. Aktiv kömür bütün qazlara, o cümlədən su buxarı və hətta təsirsiz qazları belə yaxşı udur.

## V FƏSİL VAKUUMU ÖLÇMƏ TEXNİKASI

Atmosfer təzyiqindən yüksək və alçaq təzyiqləri ölçən cihazlar manometrlər adlanırlar. Vakuum texnikasında bu məqsədlə istifadə edilən cihazlar çox vaxt vakuummeter adlandırılır.

Bizi əhatə edən hava stununun təzyiqi olduğuna və bu təzyiqin hündürlükdən asılı olduğunu ilk dəfə Bəsrədə doğulmuş sonradan Misiridə vəaliyyət göstərmiş İbn al – Haysama söyləmişdir.

Vakuunun dərəcəsi sistemdəki qalıq qazların təzyiqi ilə müəyyən olunur. Ona görə vakuunun alınması prosesində qalıq qazların təzyiqi daim ölçülməlidir. Vakuum texnikasında ölçülməsi lazım olan təzyiq 760 – Tordan  $10^{-14}$  Tor diapazonunda dəyişir. Belə geniş təzyiq intervalını, şübhəsiz, bir manometr vasitəsi ilə ölçmək mümkün deyildir. Təzyiqin qiymətindən asılı olaraq onun ölçülməsi müxtəlif fiziki proseslər əsasında işləyən manometrlər vasitəsi ilə həyata keçirilir. Hər bir manometr müəyyən təzyiq intervalında ölçmə aparmağa imkan verir. Ona görə geniş vakuum diapazonunu ölçmək üçün bir neçə müxtəlif manometrlərdən istifadə etmək lazım gəlir. Müxtəlif manometrlərin ölçə biləcəyi təzyiq intervalları cədvəl 5.1 – də göstərilmişdir. Hər bir manometr təzyiqdən asılı olan hər hansı fiziki kəmiyyətin təzyiqə görə dərəcələnməsi əsasında işləyir.



## § 5. MANOMETRLƏRİN TƏSNİFATI

Manometrləri mütləq və qeyri – mütləq olmaqla iki qrupa bölmək olar. Mütləq manometrlər təzyiği birbaşa ölçür və göstəriciləri riyazi hesabla bilər. Bu cür manometrlərə misal olaraq hidrostatik, kompressiya, radiometrik manometrləri göstərmək olar.

Qeyri – mütləq manometrlər təzyiqdən asılı olan hər hansı fiziki kəmiyyətləri ölçməklə təzyiğin qiyməti haqqında mühakimə yürütməyə imkan verirlər. Qeyri – mütləq manometrlərin hamısı, etalon manometr vasitəsi ilə dərəcələndir. Bu fəsilə biz vakuunun ölçmə üsulları və manometrlərin fərdi həssaslığı ilə tanış olacağıq. İşləmə prinsipinə görə manometrləri aşağıdakı siniflərə bölmək olar:

1. Təzyiqin mexaniki təsirinə əsaslanan manometrlər (mayeli U şəkilli manometrlər).

2. Boyl – Mariott qanununa əsaslanan manometrlər (kompresiya, McLeod manometrləri).

3. Deformasiya manometrləri. Burada həssas element kimi silfon, membrandan və s. istifadə olunur. Həssas elementin deformasiyası təzyiqi ölçməyə imkan verir.

4. Qazların istilik keçirməsinə əsaslanan manometrlər. Belə manometrlərdə qazın istilik keçirilməsinin təzyiqdən asılılığından istifadə olunur, onlar iki cür olur: termocüt və müqavimət manometrləri.

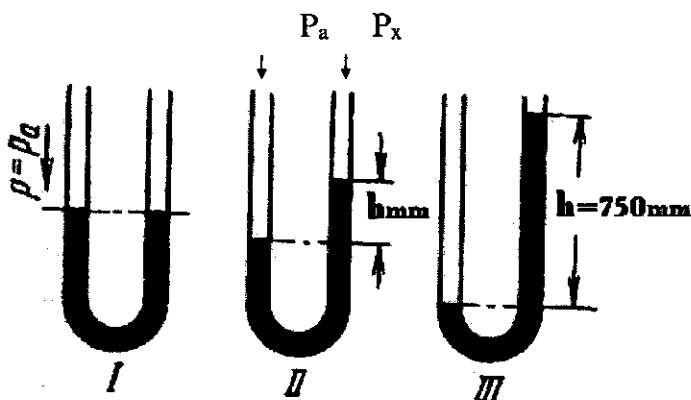
5. Qazların ionlaşmasına əsaslanan manometrlər. Burada təzyiq ion cəryanının qiymətinə görə ölçülür. Bu cihazlar da iki yerə ayrılırlar.

a) iş prinsipi seyrəkləşmiş qazda elektrik boşalmasının parametrlərinin təzyiqdən asılılığına əsaslanan elektrik boşalma manometrləri (maqnetron ionlaşma, maqnit elektrik boşalmalı və inversiya maqnetron manometrləri)  
b) elektron – ionlaşma manometrləri. Bunlarda qazın ionlaşması elektrik sahəsində sürətlənmiş elektron seli vasitəsi ilə alınır.

Birinci üç siniflərdə göstərilən manometrlər – mütləq, qalanları isə qeyri – mütləq manometrlərə aiddirlər.

### § 5.1. TƏZYİQİN MEXANİKİ TƏ'SİRİNƏ ƏSASLANAN MAYELİ MANOMETRLƏR

Mayeli manometrlərin iş prinsipi birləşmiş qablar qanununa əsaslanır və qazın statik təzyiqi qablarda mayenin səviyyələr fərqinə görə birbaşa ölçülür. U – şəkilli manometr latın hərfi U –şəklində əyilmiş və maye (misal üçün civə) ilə doldurulmuş şüşə borudan ibarətdir.



Şəkil 5.1.

U – şəkilli manometrlər 2 – cür hazırlanır:

a) hər iki ucu açıq U – şəkilli manometrlər;

b) bir ucu açıq U – şəkilli manometrlər.

Maye olaraq belə manometrlərdə çox vaxt civədən istifadə edirlər. Civədən istifadənin üstünlüyü bundan ibarətdir ki, təzyiqliq birbaşa *mm.c.st* – vahidləri ilə ölçülür. Belə manometrlərin bir qolu təzyiqliq ölçülən vakuum sisteminə bağlanılır. Şəkil 5.1 – də hər iki ucu açıq U – şəkilli manometr üç vəziyyətdə göstərilmişdir. Şəkildən (ikinci vəziyyətdə) aydındır ki,

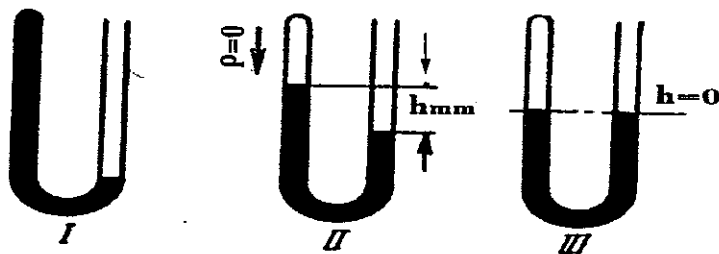
$$p_a = h + p_x$$

$$p_x = p_a - h \quad (5.1)$$

Burada  $p_a$ ,  $p_x$  – uyğun olaraq atmosfer və ölçülən təzyiqlərdir.  $h$  – manometrin qollarında civə səviyyələrinin mm ilə fərqi.

Belə manometrin çatışmaz cəhəti ondan ibarətdir ki,  $p_x$  – atmosfer təzyiqinin qiymətindən asılıdır. Məlumdur ki, atmosfer təzyiqi isə sabit olmayıb, hətta yer kürəsinin verilmiş nöqtəsində geçə – gündüz ərzində dəyişir.

Bu çatışmazlığı aradan qaldırmaq üçün bir ucu bağlı manometrdən istifadə edirlər. Belə manometrlərdə, civəni doldurmazdan qabaq, borudan hava sorulur, civə



Şəkil 5.2.

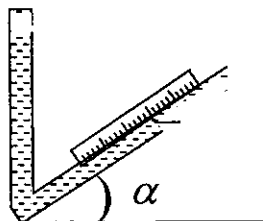
isə qazdan təmizlənir. Bir ucu qapalı U – şəkilli manometrlərin üç vəziyyəti şəkil 5.2 – də göstərilmişdir. Aydındır ki, ölçüləcək təzyiqin qiyməti (II – ci vəziyyət) borularda civənin səviyyələr fərqi ilə təyin olunur

$$p_x = h \text{ (mm c.st)}$$

U – şəkilli manometrlər vasitəsi ilə  $0,5 - 1 \cdot 10^3 \text{ mm c.st}$  – intervalında təzyiqi ölçmək mümkündür. Manometrdə işçi maye olaraq adətən civədən istifadə edirlər. Manometrin həssaslığını artırmaq üçün çox vaxt civə əvəzinə vakuum yağlarından istifadə edirlər, ona görə ki, yağın sıxlığı civənin sıxlığından təqribən 15 dəfə azdır. Bu cür manometrlərin həs-



saslığını bir daha artırmaq üçün Şəkil 5.3–də göstərilmiş qı-saldılmış konstruksiyadan istifadə edirlər. Bu manometrlərin

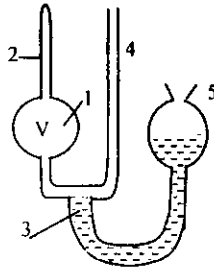


Şəkil 5.3

həssaslığı şaquli manometrlərə nisbətən  $1/\sin \alpha$  dəfə çoxdur.

## § 5.2. McLEOD MANOMETRLƏRİ

Bu manometr çox vaxt etalon manometr kimi istifadə edildiyindən əhəmiyyəti böyükdür. Mayeli kompressiya McLeod manometrlər vasitəsi ilə  $10^{-2}$  Tor  $\div$   $10^{-5}$  Tor diapazonunda təzyiqləri ölçmək olar. Bu manometrlərdə, U – şəkilli manometrlərdə olduğu kimi, təzyiq birləşmiş qablarda mayenin səviyyələr fərqinə görə ölçülür, ancaq McLeod manometrində qaz qolların birində əvvəlcə  $m$  – dəfə sıxılır. Bunun nəticəsində, Boyle – Mariott qanununa əsasən, sıxılmış qazın təzyiqi vakuum sistemindəki olan və ölçülən qazın təzyiqindən  $m$  – dəfə böyük olur. Belə ilkin sıxılma mayenin qollarda səviyyələr fərqini artırır və çox alçaq təzyiqlərin ölçülməsinə imkan verir. Deməli, McLeod manometrinin işləməsi həm birləşmiş qablar qanununa, həm də Boyle – Mariott qanununa əsaslanır. Bu manometrin quruluşu şəkil 5.4 – də göstərilmişdir. Manometr 1 – şüşə balonundan, 2 – sıxılma (ölçü) borusundan, manometri vakuum sistemi ilə bağlayan 3 –



Şəkil 5.4

şüşə borudan, 4 – müqaisə borusundan və 5 – civə ehtiyatı qabdan ibarətdir. Təzyiqi ölçmək üçün civəni tədricən 3 borusundan manometrə daxil edirlər. Bu anda 1 – şüşə balonda və 2 borusunda olan qazın təzyiqi vakuum sistemində olan  $p_x$  təzyiqinə bərabərdir. Civə balonda yuxarı qalxanda müəyyən qaz porsiyası  $p_x$  – təzyiqindən  $p$  təzyiqinə və  $V$  – həcmindən isə  $\mathcal{G}$  həcminə kimi sıxılır. Bu cür sıxılmış qazın təzyiqi borularda civənin səviyyələr fərqi ilə ölçülə bilər. Aydındır ki, Boyle – Mariott qanununa görə:

$$p_x V = p \mathcal{G} \quad (5.3)$$

burada  $p = p_x + h$

olduğunu nəzərə alsaq

$$p_x = (p_x + h) \frac{\mathcal{G}}{V};$$

olar.  $p_x \ll h$  olduğundan  $p_x$  üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$p_x = h \frac{\vartheta}{V}, \quad (5.4)$$

$\frac{V}{\vartheta}$  – manometrin sıxılma dərəcəsi adlanır.

Göründüyü kimi  $\vartheta$ - həcmi nə qədər kiçik olarsa sıxılma dərəcəsi bir o qədər böyük olur. Bu şərti ödəmək üçün sıxılma borusunu kapilyarla əvəz edirlər. Kapilyar effektinin təsirini azaltmaq üçün müqayisə borusunu da eyni diametrlili kapilyardan düzəldirlər. Amma sorma sürətini azaltmamaq üçün, sorma borusu kapilyara parallel birləşdirilir və budaq kimi şaxələnir. (bax şəkil 5.5).

**Manometrin dərəcələnməsi.** (5.4)–düsturundan göründüyü kimi  $p_x$ - i,  $h$ -ilə ölçmək üçün  $\frac{\vartheta}{V}$ -sabit saxlanılmalı-

dır. Balonun həcmi  $V$  adətən sabit olur.  $\vartheta$  - nin də qiymətinin sabit olması da vacibdir. Təcrübədə buna iki yolla nail olurlar. Bu səbəbdən də manometri iki cür dərəcələmək olar:

- a) xətti dərəcələnmə ;
- b) kvadratik dərəcələnmə.

a) *Xətti dərəcələnmə.* Bu üsulda civə 2 sıxılma kapilyarının yuxarı ucundan  $h_0$  məsafədə qeyd olunmuş səviyədə saxlanılır. Bu halda, civə müqayisə kapilyarında  $h_0$  səviyyəsindən etibarən ölçülmüş müəyyən bir  $h$  səviyyəyə çatır. Bu hal üçün yazıla bilər:

$$p_x = \frac{\pi d^2}{4V} h_0 h = C_1 h$$

burada,  $C_1 = \frac{\pi d^2}{4V} h_0$  – manometrin sabiti adlanır və ölçüsüz kəmiyyətdir,  $d$  – sıxılma və müqayisə kapilyarlarının

diametridir. Bu cür dərəcələnmədə qazın təzyiqi kapilyarlardakı mayelərin səviyyələr fərqi ilə düz mütənəssib olduğundan bu üsul xətti dərəcələnmə adlanır. Adətən 2 ölçü kapilyarında bir neçə səviyyələr işarələnir və hər səviyyə üçün öz sabit  $C_1$  əmsalı hesablanır. Əgər  $h$  fərqi kiçik olursa, onda civə daha yüksək səviyyədə işarələnir, yəni qazın sıxlığı artır. Ölçülən təzyiqin qiyməti işarələnmiş səviyyələrdən asılı deyil və aşağıdakı kimi müəyyən olunur:

$$p_x = C_1 h_1 = C_2 h_2 = \dots = C_n h_n \quad (5.6)$$

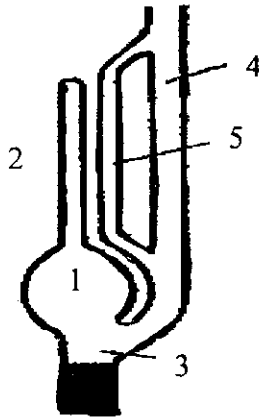
(5.6) – düsturundan görüldüyü kimi, daha alçaq təzyiqləri ölçmək üçün  $C_n$  - daha kiçik olmalıdır.

b) *Kvadratik dərəcələnmə*: Bu halda civəni 4 müqəisə borusunda, 2 sıxılma borusunun ucuna uyğun səviyyəyə qaldırılır. Sıxılma borusunda civə bu səviyyədən aşağı ixtiyari  $h$  – hündürlüyünü tutar. Bu zaman

$$p_x = \frac{\pi d^2}{4V} h \cdot h = C_2 h^2 \quad (5.7)$$

Burada  $C_2 = \frac{\pi d^2}{4V}$  olur. (5.8)

$C_2$  manometrin kvadratik dərəcələnmə zamanı sabit əmsalı adlanır və  $\text{sm}^{-1}$  vahidi ilə ölçülür. Burda ölçülən  $p_x$  təzyiqi civə sütununun  $h$



Şəkil 5.5

hündürlüyünün kvadratı ilə mütənasibdir və bu səbəbdən də dərəcələnmə kvadratik dərəcələnmə adlanır. Aydın ki, alçaq təzyiqləri ölçmək üçün manometrin sabitlərinin qiyməti kiçik olmalıdır. Bunun üçün  $d$  kapilyarın daxili diametrini azaltmaq, balonun həcmi böyütmək lazımdır.  $V$  – ni  $250 \text{ sm}^3$  böyük götürmək məqsədə uyğun deyil, ona görə ki, bu həcmə uyğun gələn civənin çəkisi  $3,4 \text{ kq}$  bərabərdir. Həcm böyüdükdə sivənin kütləsi artır və onun ağırlığı altında şüşənin qırılmaq ehtimalı artır. Boruların diametri  $d$  kiçildikcə sorulan qabın sorulması çətinləşir. Bu çatışmazlığı aradan qaldırmaq üçün, yuxarıda qeyd edildiyi kimi, şəkil 5.5 – də göstərilmiş konstruksiyadan istifadə edirlər. Kapilyarların diametrini  $0,8 \text{ mm}$  kiçik götürmək məqsədə uyğun deyil, ona görə ki, civənin kapilyarlar boyunca hərəkəti çətinləşir. Bu kapilyarların diametrlərini eyni götürmək lazımdır ki, kapilyar effektinin təsiri hər iki boruda eyni olsun.

Eyni diametrlili kapilyar seçməkdən ötəri kapilyara müəyyən miqdarda civə tökürlər və civənin tutduğu uzunluğu ölçürlər. Eyni uzunluqlu civə sütununa malik kapilyarların daxili diametri bərabər hesab edilir.

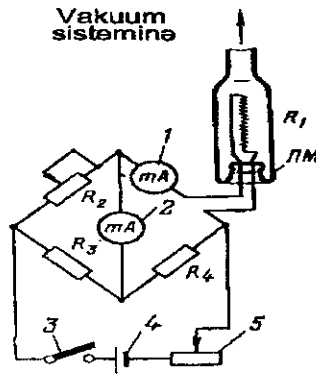
Bu manometrlərin üstün cəhəti – şkalası hesablanı bildiyi üçün mütləq manometr olması və ölçülən təzyiqlər diapazonunun geniş olmasıdır. Çatışmamazlığı isə ondan ibarətdir ki, vakuüm sistemində olan buxarların varlığını hiss etmir, həndəsi ölçüsü böyükdür və istifadə edilən civə toksik maddədir. Təzyiqin qiymətinin kəsilməz ölçə bilməməsi də bu manometrin qüsuru sayılır.

### § 5.3. İSTİLİK MANOMETRLƏRİ

İstilik manometrlərinin işləmə prinsipi qazların istilik keçirməsinin təzyiqdən asılılığına əsaslanır və orta vakuüm intervalında çox geniş tətbiq olunur. Belə manometrlər  $0,5 \div 10^{-3}$  Tor diapazonunda təzyiqləri ölçə bilirlər.

Məlumdur ki, (§ 2.2.) alçaq vakuümə ( $\lambda \ll d$ ) qazların istilik keçirməsi təzyiqdən asılı deyil, istilik keçirmə ancaq orta ( $\lambda \sim d$ ) və yüksək vakuümə ( $\lambda \gg d$ ) təzyiqdən asılıdır. İstilik manometrinin iş prinsipini başa düşmək üçün şəkil 2.4 - də təsvir edilmiş təcrübəyə bir daha müraciət edək və vakuümün tərtibindən asılı olaraq telin temperaturunun dəyişməsinə izləyək. Qabın havası sorularkən və  $\lambda \gg d$  şərti ödəndikcə istilik daşıyıcılarının sayı azaldığından telin temperaturu və onun müqaviməti artır. Bunun nəticəsində tel dövrəsindən axan cərəyan şiddəti dəyişər. Beləliklə, qızdırılmış telin temperaturu ilə qazın təzyiqi arasında əlaqə mövcudluğu müəyyən olunur.

Bu prinsip əsasında işləyən manometrlər istilik manometrləri adlanır. Təlin müqavimətinə görə təzyiqi ölçən istilik manometrləri *müqavimət manometrləri*, tel ilə kontaktada olan termocütün termoelektrik hərəkət qüvvəsinə



Şəkil 5.6

görə təzyiği ölçən manometrlər isə – *termocüt manometrləri* adlanırlar.

Telin temperaturu ilə qazın təzyiği arasındakı əlaqəni araşdıraraq. Tutaq ki, vakuum sistemində və manometrik lampada təzyiç eynidir. Ona görə də sabit  $I$  cərəyanında telin mənbədən aldığı enerji, qazın istilikkeçirməsi nəticəsində itirdiyi  $Q_1$ , telin və elektrodların istilikkeçirməsi hesabına itirdiyi  $Q_2$  və istilik şüalanması hesabına itirdiyi  $Q_3$  enerjilərinə sərf olunduğundan qızmış telin temperaturu müəyyən qiymət alar. Bu halda enerji balansını tənliyini belə ifadə etmək olar:

$$I^2 R [1 + \beta(T_T - T_b)] = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (5.9)$$

Burada ,  $I$  – teldən keçən cərəyan şiddəti,  $R$  – telin müqaviməti,  $\beta$  – tel materialının müqavimətin temperatur əmsəlidir.  $T_T$  – telin,  $T_b$  isə balonun temperaturudur. İtililən enerji komponentləri üçün yaza bilərik:

$$Q_1 = k_l (T_T - T_b) \cdot S$$

$$Q_2 = k_2 (T_T - T_b) \cdot b \quad (5.10)$$

$$Q_3 = k_3 (T_T^4 - T_b^4) \cdot S$$

Burada,  $k_1$  -qazın,  $k_2$  – elektrod materialının istilikkeçirmə əmsəllərindədir,  $k_3$  – tel materialının şüalanma əmsəllərindədir;  $S$  – tel səthinin sahəsidir,  $b$  – telin en kəsiyidir.

Qazın istilikkeçirmə əmsəli:

$$k_1 = \frac{A \cdot p}{B + p} \quad (5.11)$$

ifadəsi ilə təyin olunur.

Burada  $A$  – sabit kəmiyyət,  $B$  – orta vakuumdən alçaq vakuuma keçid təzyiqidir və istilik manometrlərinin ölçmə diapazonunun yuxarı həddini müəyyən edir. Əgər  $B \ll p$  olarsa, qazın istilik keçirmə əmsəli təzyiqdən asılı olmur:

$$k_1 \neq f(p)$$

Əgər  $B \gg p$  olarsa

$$k_1 = \frac{A}{B} p = k'_1 p \text{ olar.}$$

$k_1$  – in bu qiymətini  $Q_1$  – in ifadəsində nəzərə alsaq:

$$Q_1 = k'_1 \cdot p (T_T - T_b) \cdot S \quad (5.12)$$

(5.12) – ni (5.9) – da yazsaq:



$$k'_1 p(T_T - T_b) \cdot S = I^2 R [1 + \beta(T_T - T_b)] - (Q_2 + Q_3)$$

olar. Buradan da alarıq:

$$p = \frac{I^2 R [1 + \beta(T_T - T_b)] - (Q_2 + Q_3)}{k'_1 (T_T - T_b) \cdot S} \quad (5.13.)$$

İstilik manometrinin işi əsasən qazın istilikkeçirməsi nəticəsində itirdiyi enerjiyə əsaslanır ki, bu da bilavasitə qazın təzyiqindən asılıdır.  $Q_2$  və  $Q_3$  toplananları qazın təzyiqindən asılı deyildir. Ona görə də bu iki toplananların cəmi azaldıqca, manometrin dəqiqliyi artır.  $I^2 R - (Q_2 + Q_3) \gg 0,01 I^2 R$  - şərti manometrin ölçmə diapazonunun aşağı həddini müəyyən edir.  $Q_2$  - ni azaltmaq üçün çox nazik tel materialından,  $Q_3$  - ü azaltmaqdan ötrü isə alçaq temperatur rejimindən istifadə etmək lazımdır. Adətən telin temperaturu  $400 - 400^\circ\text{S}$  - intervalında seçilir.

Yuxarıda, (2.11) düsturunda, göstərilədiyi kimi

$$Q_1 = A' \frac{\alpha(T_T - T_b)}{\sqrt{\mu}} \cdot p \quad (5.14)$$

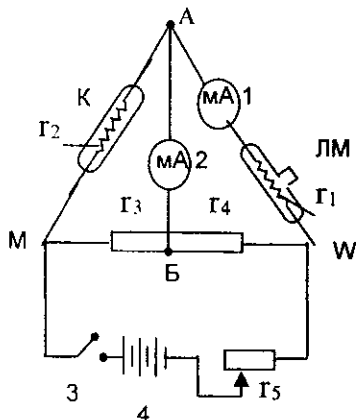
ifadəsi ilə təyyin olunur.

Burada  $A'$  - sabit əmsal,  $\alpha$  - akkomodasiya əmsalı,  $\mu$  - qazın molekulyar kütləsidir. Düsturdan görüldüyü kimi,  $Q_1$ , (deməli manometrin göstərişi) qazın növündən asılıdır. Ona görə müxtəlif qazlar üçün müxtəlif dərəcələmə əyriləri çıxarılmalıdır. Digər tərəfdən (5.14) düsturundan görünür ki,  $Q_1$  təzyiq  $p$  - ilə düz mütənəsb olduğundan,

təzyiq az olduqca  $Q_1$  in qiyməti azalaraq  $Q_2 + Q_3$  - ün qiymətindən az olur ki, bu da alçaq təzyiqlərdə manometrin həssaslığını aşağı salır.

(5.13) ifadəsindən görünür ki, telin temperaturu həm təzyiqdən, həm də  $I$  cərəyan şiddətindən asılıdır. Təzyiqi ölçmək üçün, adətən bu dəyişənlərdən biri sabit saxlanılmalıdır. Təcrübədə adətən tel cərəyanı ( $I = \text{const}$ ) sabit saxlanılır və təzyiq telin temperaturuna görə təyin edilir.

*Müqavimət manometrlərinin* iş prinsipi ilə tanış olaq. Bu manometrlər əsasən iki hissədən: manometrik lampa və elektrik ölçü sxemindən ibarətdir.



Şəkil 5.7

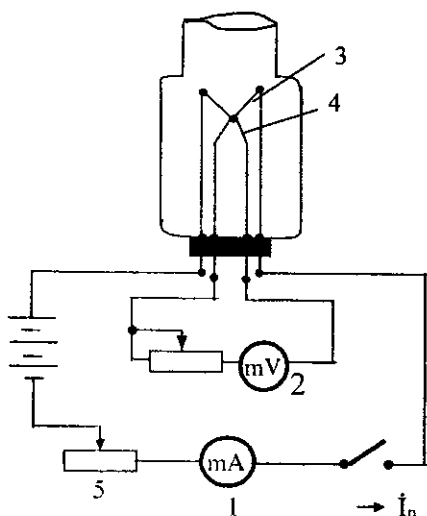
Manometrik lampa içərisində nazik metal tel olan şüşə balondan, manometrin ölçü hissəsi isə müqaviməti ölçmək üçün istifadə olunan körpü sxemindən ibarətdir. Şəkil 5.6 – də  $R_1$  müqaviməti – manometrik lampanın telinin müqavimətidir. O, adətən müqavimətin temperatur əmsalı böyük olan metaldan (volfram, nikel, platin) düzəldilir ki, temperaturun dəyişməsi  $r_1$  müqavimətini çox dəyişdirsin.  $R_2$  – dəyişən müqavimət olub, müqavimətinin temperatur

əmsalı kiçik olan (məsələn, manqan, kobalt) materialdan düzəldilir ki, temperaturun dəyişməsi onun müqavimətini az dəyişdirsin.  $R_3$  və  $R_4$  isə bir – birinə bərabər sabit müqavimətlərdir.

Körpünü 3 açarı ilə qapayıb, 5 reostatı ilə  $R_1$  müqavimətindən manometrin pasportundakı göstərişə uyğun  $I$  – cərəyanı buraxıb onu bütün ölçü zamanı sabit saxlayırlar.  $I$  cərəyanının sabit qiymətinə uyğun olaraq, elə  $R_2$  müqaviməti seçilir ki, körpü tarazlıqda olsun, yə'ni  $R_1 = R_2$ . Sorulan qabda təzyiqlik azaldıqca qazın istilikkeçirməsi hiss olunacaq dərəcədə dəyişdiyindən telin temperaturu və uyğun olaraq,  $R_1$  müqaviməti artır, bunun nəticəsində körpünün tarazlığı pozular və 2 cihazın əqrəbi sıfır vəziyyətindən meyl edər. Təzyiqlik azaldıqca meyl artar. Əqrəbin meylinə görə təzyiqlik ölçmək üçün, cihaz əvvəlcədən etalon manometr vasitəsi ilə dərəcələnilir. Ətraf mühitin temperaturunun dəyişməsi manometrin işləməsinə mənfi tə'sir edir. Ona görə bəzən  $R_2$  müqaviməti əvəzinə kompensator lampa götürülür (bu lampa manometrik lampaya identik olur) ki, bununla da ətraf mühitin temperatur təsiri minimuma endirilir (Şəkil 5.7.).

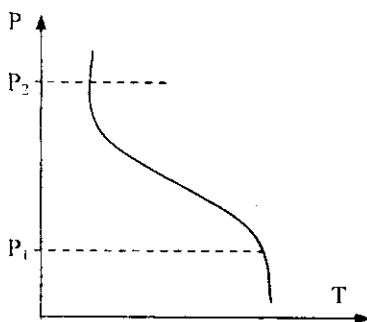
*Termocüt manometri.* Belə manometrik lampa həm şüşədən, həm də metaldan düzəldilir. Onun quruluşu şəkil 5.8 – də göstərilmişdir. Manometrik lampanın iki çıxışı platindən (və ya nikeldən) hazırlanmış 3 qızdırılan telə, digər iki çıxışı isə 4 xromel – kopeldən, (və ya xromel – alyumeldən) hazırlanmış termocütə birləşdirilir.

Termocüt qızdırılan telə bir nöqtədə qaynaq edilmişdir. Millivoltmetr qaynaq nöqtəsində yaranan elektrik hərəkət



Şəkil 5.8

qüvvəsini qeyd etmək üçündür. Vakuüm sistemində təzyiç atmosfer təzyiqinə bərabər olduqda, tel cərəyanının verilmiş qiymətində millivoltmetrin əqrəbi 0 göstərisinin üzərində dayanar. Sonrakı hadisələr eyni ilə müqavimət manomet-rində olduğu kimi olur. Təzyiç azaldıqca telin temperaturu artır və nəticədə, millivoltmetrin əqrəbi daha çox meyl



Şəkil 5.9

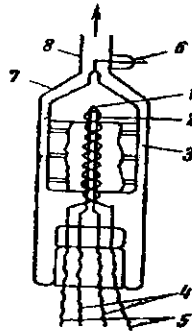
edir. Bu manometr üçün telin temperaturunun təzyiqdən asılılığı qrafiki şəkil 5.9 – da göstərilmişdir. Lampa  $p_1 - p_2$  intervalında dəqiq işləyir.  $p_1 - p_2$  diapazonu  $0,1 - 10^{-3}$  Tor təzyiqə uyğun gəlir. Çox alçaq təzyiqlərdə  $Q_1$  toplananı ( $Q_2+Q_3$ ) – dən çox az olduğundan manometr çox alçaq təzyiqləri ölçə bilmir. İstilik manometrini dərəcələmək üçün bu manometrlərin göstərişini kompressiya (McLeod) manometrinin göstərişi ilə müqayisə edirlər.

İstilik manometrlətin üstün cəhəti onun bütün qaz və buxarların yaratdıqları təzyiqi ölçə bilməsi, təzyiqin dəyişməsinin kəsilməz izləməsi və konstruksiyasının sadə olmasından ibarətdir. Manometrin çatışmayan cəhəti onun mütləq olmaması, «nakal» cərəyanının vaxt keçdikcə dəyişməsidir. Ona görə də onun mütəmadi olaraq yoxlanmasına ehtiyac vardır. Bundan başqa, manometrin göstəricisi qazın növündən asılı olması da, bu manometrin çatışmazlığı sayılır.

#### § 5.4. İONLAŞMA MANOMETRİ

İonlaşma manometrin iş prinsipi elektron seli vasitəsilə qaz molekullarının ionlaşmasına və ion cərəyanının təzyiqdən asılı olmasına əsaslanır. Elektron – ionlaşma vakuummətrinin əsas hissəsi ionlaşma lampasıdır. İonlaşma lampasının konstruksiyası müxtəlif cür olur. Ən geniş yayılmış konstruksiya şəkil 5.11 – də göstərilmişdir. O, aşağıdakı üç elektrodan: 1 – katod, 2 – anod, 3 – ion kollektoru və uyğun olaraq, 4,5,6 katod, anod və kollektor üçün kontakt çıxışından ibarətdir.

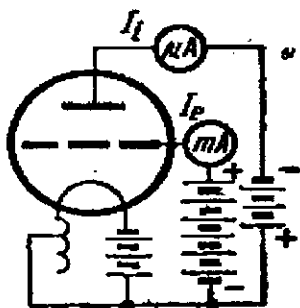
Vakuu sistemində



Şəkil 5.11

Bütün bu elektrodlar 7 şüşə balonda yerləşdirilmiş və manometrik lampa vakuu sistemində 8 borusu vasitəsi ilə birləşdirilmişdir. Katoda nisbətən anodun potensialı  $+250V$ , kollektorun potensialı isə  $-30V$  tərtibindədir. Qızdırılan katoddan emissiya olunmuş elektronlar sürətləndirici sahənin təsiri ilə tora tərəf hərəkət edərək dövrədə elektron cərəyanı yaradır. 2 – tor şəkilli anodun addımı böyük olduğundan elektronların çox hissəsi isə tordan keçərək, kollektorun ləngidici fəzasına daxil olur. Tor – kollektor sahəsində elektron tormozlanaraq, kollektora çatmamış dayanır və geri qayıdıb, yenə tora tərəf sürətləndirilərək təzadən tordan keçərək yenidən katodun mənfi sahəsinə düşüb geri qayıdır. Beləliklə hər bir elektron anoda düşməzdən əvvəl katod – kollektor fəzasında kifayət qədər periodik hərəkət edir. Bu zaman elektronun effektiv yolunun uzunluğu xeyli artdığından onun qaz atomları ilə toqquşma ehtimalı da artır. Bu halda ionlaşma aktının sayı çoxalır və nəticədə ion cərəyanı artır. Elektronun yolunu bir daha artırmaq üçün, adətən katodla kollektor arasındakı məsafəni böyük götürürlər. Tədqiqatla subut olunmuşdur ki, anoda  $250 V$  potensial verdikdə ionlaşmanın ehtimalı

maksimum olur. Əmələ gələn ionlar kollektor tərəfindən tutularaq ion cərəyanı yaradırlar. İonlaşma manometrinin əsas elektrodları dövrəyə şəkil 5.12 – dəki kimi qoşulur. Elektron cərəyanını  $I_e$ , ion cərəyanını  $I_i$  ilə işarə edək. Təcrübələr göstərir ki, alçaq təzyiqlərdə (təxminən  $p < 10^{-3}$  Tor ) ion cərəyanının elektron cərəyanına nisbəti manometrik lampadakı qazın



Şəkil 5.12.

təzyiqi ilə düz mütənəsib olur. Beləki,

$$\frac{I_i}{I_e} = kp \quad (5.15)$$

İonlaşma manometrinin əsasını bu ifadə təşkil edir. Burada  $k$  əmsalı manometrin həssaslığı olub

$$k = \frac{I_i}{I_e} \cdot \frac{1}{p} \text{ (mm.c.st)}^{-1}$$

düsturu ilə tə'yin edilir. Aydındır ki, verilmiş  $p$  təzyiqində  $\frac{I_i}{I_e}$  nisbəti nə qədər böyük olarsa,  $k$  həssaslıq əmsalı da bir o qədər böyük olar. Beləliklə, vakuum sistemindəki təzyiqi  $\frac{I_i}{I_e}$  nisbəti vasitəsi ilə ölçmək olar. Bəzən  $\frac{I_i}{I_e}$  nisbətində vakuum faktoru da deyilir. Təzyiqi ölçmək üçün adətən elektron cərəyanının qiyməti sabit saxlanılır, onda (5.15) düsturunu belə yazmaq olar:

$$I_i = cp$$

burada  $c = I_e k$  manometrin sabiti adlanır və vahid təzyiqə düşən ion cərəyanını xarakterizə edir. Onda təzyiq

$$p = \frac{I_i}{c} \quad (5.16)$$

düsturu ilə hesablanı bilər. Beləliklə, təzyiqi ölçmək üçün elektron cərəyanının verilmiş sabit qiymətində, ion cərəyanını ölçüb, onu manometrin sabitinə bölmək lazımdır.

**Manometrin dərəcələnməsi** - onun göstərişinin kompressiya manometrinin göstərişi ilə müqayisəsinə əsaslanır. Dərəcələnmədən əvvəl sistemdəki buxar tələlər vasitəsi ilə tutulmalıdır.

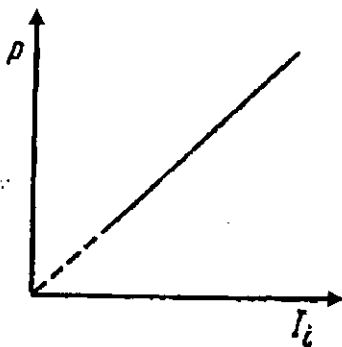
Elektron cərəyanının verilmiş qiymətində təzyiq ilə ion cərəyanı arasında münasibət şəkil 5.13 – də göstərildiyi kimi düz xətt olur. Ona görə ion cərəyanının bir neçə qiymətində təzyiqi ölçdikdən sonra bütün dərəcələmə qrafikini qurmaq, sonra qrafikdən istifadə edib, manometrin sabiti  $C$  – ni



tapmaq olar. Sovet istehsalı olan LM – 2 manometrik lampa üçün  $C = 10^5 \frac{mkA}{mmc.st}$ , elektron cərəyanı

$$I_e = 5 mA \text{ olduqda həssaslıq}$$

$$K = \frac{C}{I_e} = 20 (mm \text{ c.st.})^{-1} \text{ olur.}$$



Şəkil 5.13.

Belə manometrlər  $10^{-3} \div 10^{-8}$  Tor arasında təzyiqləri ölçə bilirlər. Manometrin ölçmə diapazonunun yuxarı həddi ( $\sim 10^{-3}$  Tor) dərəcələmə xarakteristikanın xəttliliyinin pozulması ilə məhdudlaşır. Bu halda elektronun cihazın daxilində sərbəst qaçış yolunun orta uzunluğu, elektrodlar arası yolunun uzunluğundan az olur. Bu həddi artırmaq üçün cihaz daxilində elektrodlar arasında məsafəni böyütmək lazımdır.

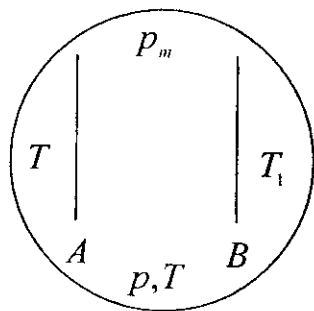
Bu manometrin üstün cəhəti bundan ibarətdir ki,  $5 \cdot 10^{-8} mm. c. st.$  qədər kiçik təzyiqləri ölçür, dərəcələmə əyrisi düz xəttlidir. Qazların təzyiqini ölçdüyü kimi, maye

buxarında da təzyiqini ölçməyə imkan verir. Çatışmayan cəhəti bundan ibarətdir ki, bu manometr ilə  $5 \cdot 10^{-8}$  Tordan kiçik təzyiqləri ölçmək olmur. Onun səbəbi kiçik təzyiqlərdə kollektorda ion cərəyanının qiyməti  $5 \cdot 10^{-3} \text{ mA}$  tərtibində olmasıdır. Bu da tordan çıxan yumşaq rentgen şüalarının kollektor dövrəsində əmələ gətirdiyi elektron fon cərəyanı qiyməti tərtibindədir. Ona görə də təzyiq azaldıqda kollektorun ion və fon cərəyanının cəmində ion cərəyanının payı az olur. Nəticədə manometrin göstərişi təhriflənmiş olur. Bu çatışmamazlığın bir hissəsini Bayard – Alpert manometrində aradan qaldırmaq mümkün olmuşdur. Rentgen effektinin təsirini azaltmaq üçün çox nazik volfram tellər Bayard – Alpert manometrində kollektor rolunu oynayır. Belə kollektorun səthi kiçik olduğundan o, tordan çıxan rentgen şüalanmasının az bir hissəsini tuta bilir. Bu manometrlə  $5 \cdot 10^{-10} \div 5 \cdot 10^{-11} \text{ mm.c.st.}$  qədər təzyiqi ölçmək olur. Manometrin ölçdüyü yuxarı təzyiq isə  $10^{-3} \text{ mm.c.st.}$  – tərtibindədir.

### § 5.5. RADİOMETRİK ( KNUDSEN )MANOMETRİ

Bu manometrin şkalasını hesablamaq mümkün olduğu üçün mütləq manometrlər sırasına daxildir. Bu manometrin işləmə prinsipi ilə tanış olaq.

Vakuumda bir – birinə parallel iki A və B (Şəkil 5.14) lövhələri yerləşdirilir. Qazın temperaturu  $T$  təzyiqi  $p$  olduğunu fərz edək. Lövhələrin birinin (və ya hər ikisinin) temperaturu qazın temperaturundan çox və ya az ola bilər. Əgər lövhələrdən birinin temperaturu qazın temperaturundan çoxdursa, onda lövhələr bir – birini dəf, azdırsa cəzb edir. Bu prinsipə əsaslanan manometr radiometrik



Şəkil 5.14

manometr adlanır. Lövhələr bir – birini dəf etdiyi hala baxaq.

Vahid zamanda A lövhəsinin vahid səthinə qaz molekulları tərəfindən vurulan zərbələrin sayını  $n_d$  ilə işarə edək. Onda:

$$n_d = \frac{1}{4} n v = \frac{1}{4} \frac{p}{kT} \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$$

B lövhəsinin vahid səthinə (məsələn, hər bir  $\text{sm}^2 - a$ ) bir saniyədə qaz atomları tərəfindən vurulan zərbələrin sayı

$$n'_d = \frac{1}{4} \frac{p_1}{kT_1} \sqrt{\frac{8kT_1}{\pi m}} \quad \text{olar.}$$

Sistem qapalı və həndəsi simmetrik olduğundan  $n_d = n'_d$  olmalıdır. Onda

$$\frac{p}{\sqrt{T}} = \frac{p_1}{\sqrt{T_1}}; \quad \frac{p}{p_1} = \sqrt{\frac{T}{T_1}}$$

İki lövhə arasındakı orta təzyiği  $p_m$  ilə işarə etsək,

$$p_m = \frac{p + p_1}{2}$$

olar.

Tutaq ki, lövhələrdən B tərənəmz, A isə mütəhərrik bərkidilmişdir. A lövhəsinin sağ və sol tərəflərinə təsir edən qüvvələri hesablayaq:

$$f_1 = sp_m \quad ; \quad f_2 = sp$$

burada  $s$  A lövhəsinin sahəsidir. Qüvvələrin əvəzləyicisini  $F$  ilə işarə edək:

$$\begin{aligned} F &= f_1 - f_2 = S(p_m - p) = S\left(\frac{p + p_1}{2} - p\right) = S\left(\frac{p_1 - p}{2}\right) = \\ &= \frac{S}{2}(p_1 - p) = \frac{S}{2}\left(p \frac{T_1}{T} - p\right) = \frac{Sp}{2}\left(\frac{T_1}{T} - 1\right) \end{aligned}$$

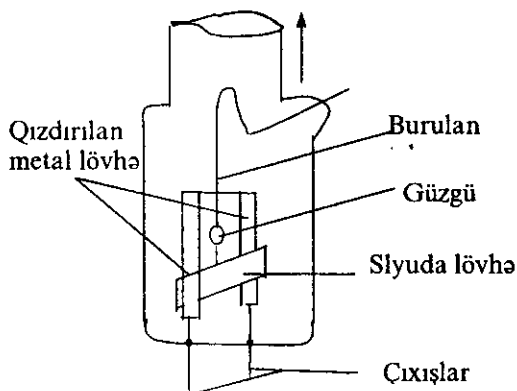
Deməli

$$F = \frac{Sp}{2}\left(\frac{T_1}{T} - 1\right)$$

Buradan

$$p = \frac{2F}{S} \left( \frac{T_1}{T} - 1 \right)$$

ifadəsini alırıq. Deməli  $F$  - i ölçməklə  $p$  - ni hesablamaq olar. Bu prinsip əsasında işləyən manometrin sxematik quruluşu şəkil 5.15 - də göstərilmişdir. Bu manometr vasitəsi ilə  $10^{-7} \div 10^{-8}$  Tor intervalında təzyiqləri ölçmək



Şəkil 5.15

mümkündür. Manometrin çatışmazlığı, onun vibrasiyaya qarşı çox həssas olmasıdır. Mutləq manometr olması onun üstün cəhətidir.

## VI FƏSİL VAKUUM SİSTEMİ VƏ ONUN ELEMENTLƏRİ

Vakuum sistemlərində əsasən aşağıdakı tələblər ödənilməlidir:

- 1) sorulan həcimdə lazım olan vakuumun alınmasının mümkünlüyü;
- 2) obyektin sorulması üçün tələb olunan sorma sürətinin təmin edilməsi;
- 3) vakuum sisteminin germetikliyinin və etibarlığının uzun müddət təmin edilməsi.

Atmosfer ilə əlaqəsi olmayan germetik vakuum sistemin, effektivliyi çoxdur.

Bu tələbləri ödəmək üçün uyğun cihazlar seçilir və sonra vakuum sisteminin hesalanması aparılır. Obyektin sorulma sürətinin, nasosun təsir tezliyinin borunun buraxma qabiliyyətindən asılılığı, mürəkkəb birləşdirilmiş boruların buraxma qabiliyyəti hesablanır. Vakuum sisteminin hesablanması üçün zəruri anlayışlar və düsturlar fəsil III – də göstərilmişdir.

### § 6.1 VAKUUM SİSTEMİNİN ELEMENTLƏRİ VƏ ONLARIN BİRLƏŞMƏLƏRİ

Vakuum sisteminin elementləri əsasən metal və ya şüşədən hazırlanır. Vakuum sistemi müxtəlif quruluşlu kranlar, tələlər, vakuum boruları, manometrik lampalar, nasoslar, havası sorulan qabdan və digər elementlərdən yığılır. Beləliklə, çoxlu elementlərdən təşkil olan vakuum sistemini bir neçə bloka bölmək olar.

Sistemin hissələri bir – biri ilə metal və ya şüşə borular vasitəsi ilə birləşdirilir. Bu birləşmələr müxtəlif cür ola bilər: stasionar, hərəkətli və açılan - yığılan.

*Stasionar birləşmələrə* şüşə – şüşə, şüşə -metal və metal – metal birləşmələr aiddir.

*Hərəkətli birləşmələr* – sifonlar , metallik borular və fırlanan şliflər vasitəsilə yaranan birləşmələrdir.

*Açılan və yığılan* birləşmələr xüsusi növ rezin kipləşdiricilər, hərəkətsiz şliflər vasitəsi ilə əldə olunur.

Şüşəli vakuum sistemlərində ayrı – ayrı elementlərin stasionar birləşməsi, şüşə elementlərin bitişdirilməsi vasitəsi ilə əldə edilir. Bu da ancaq kimyəvi tərkibi yaxın olan şüşələrin arasında mümkündür. Şüşənin tərkibi müxtəlif olanda, xüsusi şüşə ya metal keçidlərdən istifadə olunur. Çox vaxt bu keçidlər misdən hazırlanır.

Metallik vakuum qurğularında isə ayrı – ayrı bloklar bir – biri ilə aralarına mis və ya digər yumşaq metaldan düzəldilmiş vintlərlə mexaniki sıxma yolu ilə birləşdirilir. Burada halqavari kipləşdirici aralıq materiallardan istifadə olunur. Şüşə elementlər (məsələn, şüşə manometrlər) isə metallik gövdəyə istidən genişlənmə əmsalı şüşə ilə eyni olan kovar adlanan metall ərinti (54% Fe, 29% Ni, 17% kobalt) vasitəsilə birləşdirilir. Bundan əlavə vakuumda müxtəlif mexaniki əməliyyatlar (fırlanma, irəliləmə və s.) yerinə yetirmək üçün xaricdən idarə oluna bilən silfon adlanan elastiki borudan istifadə edilir. Bundan əlavə olaraq, yüksək vakuum qurğularında idarəedici, qaz buraxıcı, qapayıcı və s. silfon quruluşlu metallik ventillərdən (kranlardan) geniş istifadə olunur. Yüksək vakuum sisteminin çıxışında (alçaq vakuum tərəfdə) müxtəlif vakuum elementləri bir – biri ilə xüsusi növ rezin boru ilə birləşdirilir.

Tamamilə şüşədən hazırlanmış vakuum qurğularında, ayrı – ayrı bloklar bir – biri ilə vakuum sürtgü yağı çəkilmiş müxtəlif formalı şliflər vasitəsi ilə birləşdirilir.

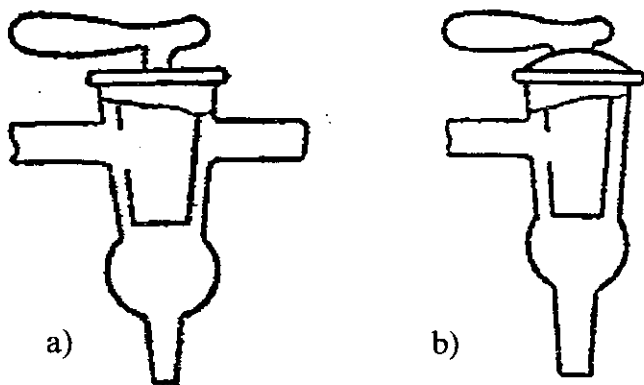
Vakuumin həm alınması, həm də saxlanması gərgin əmək tələb edir. Havası sorulan qab ventillər vasitəsi ilə nasosdan ayrıldıqdan sonra, ayrı – ayrı vakuum elementlərindən (məsələn, manometrik lampanın elektrod çıxışlarından) və ən əsas, aralıq blokların birləşmə yerlərindən, silfonlar-

dan, yüksək vakuüm ventillərindən və digər elementlərdən atmosferdən vakuüm sisteminə havanın sızması labuddur. Bu səbəbdən də vakuüm elementlərinin düzəldilməsi, ayrı – ayrı blokları bir – biri ilə birləşdirmək üçün bloklarda xüsusi formalı yuvalar açılması və sıxıcı “dişlər” yolunması çox böyük dəqiqlik tələb edir. Ümumiyyətlə, vakuüm qurğusunun yığılması və vakuüm uzun müddət saxlanması çox zəhmət və vaxt tələb edir.

### § 6.2.VAKUUM SİSTEMLƏRİNİN KONSTRUKTİV ELEMENTLƏRİ

Vakuüm sisteminin hissələrini çox vaxt bir – birindən ayırmaq, ya da ki, başqa hissəsi ilə birləşdirmək lazım gəlir. Belə əməliyyatlar xüsusi vakuüm kranları vasitəsi ilə həyata keçirilir.

Şüşəli vakuüm kran (şək.6.1 a,b) tıxacdan və biləzikdən (yuvadan) ibarətdir.

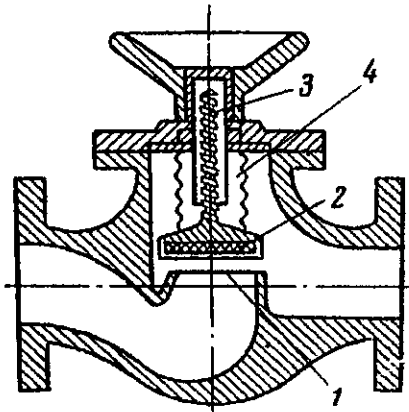


Şəkil 6.1



Biləzik vakuüm sisteminə birləşmiş kranın gövdəsidir. Vakuüm sisteminin boruları kranın biləziki ilə əlaqələndirilir. İçində dəliki olan tıxaclar biləzikin içində fırlanıb, müxtəlif vakuüm borularını bir – biri ilə ya birləşdirir, ya da ayırır. Biləzikə birləşən boruların sayına görə, kranlar üç yollu (şək.6.1 a) və iki yollu olurlar. Biləzikin daxili və tıxacın xarici səthləri çox diqqətlə cilalanır və bir – biri ilə daha kəp (hava buraxmadan) birləşməsi üçün, xüsusi vakuüm sürtgü yağı vasitəsi ilə yağlanırlar. Kranların yağlanma prosesində vakuüm yağının artıq olmaması və dəliyin yaxınlığında yığılmaması şərti ödənilməlidir. Kranların tıxacı içi boş və dəlikləri dayrəvi olur, bu da qazın axmasına qarşı müqaviməti azaldır. Atmosfer təzyiqi altında tıxacın səthi biləzikin səthinə sıxılır.

Şüşəli vakuüm kranları ancaq şüşəli vakuüm sistemlərində istifadə olunur və metallik vakuüm qurğularında istifadə üçün yaramır. Bu halda metall ventillərdən istifadə olunur (şəkil 6.2). Ventilin 1 keçid



Şəkil 6.2

dəliki, klapan 2 vasitəsi ilə açılıb – bağlanır. Klapan, 3 vintvari çərtməsi olan birləşdirən vasitəsi ilə hərəkət etdirilir. 3 birləşdirən 4 silfon içində yerləşir, belə ki, həm hərəkətə

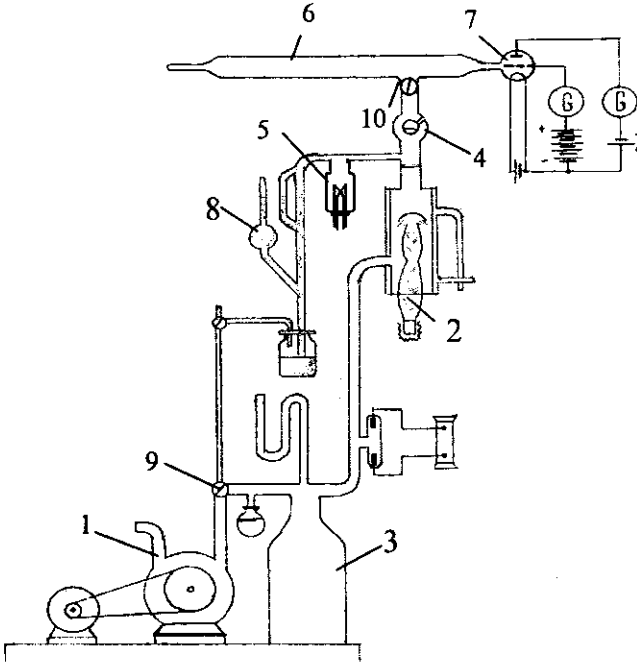
mane olmur, həm də havanın ventilin içərisinə daxil olmasına imkan vermir. Şüşəli vakuum sistemində obyekt sorulduqdan sonra, onun tətbiqinə uyğun olaraq müəyyən növ qazla doldurmaq lazım gəlir. Bunun üçün vakuum sistemində lazımlı qaz olan balonu da birləşdirilir. Balonun içindəki qazın təzyiqi  $600 \text{ mm.c.st.}$  olur. Balon vakuum sistemində xüsusi boru vasitəsi ilə birləşdirilir. Bu borunun içində kapilyarlı ucluq vardır. Bu ucluq sistemdə hava sorulduqdan sonra sındırılır və istifadə olunan qaz balondan hissə – hissə vakuum obyektinə daxil edilir.

### § 6.3. VAKUUM SİSTEMLƏRİNİN NÖVLƏRİ

Vakuum sistemi əsasən ya şüşüdən, ya da metaldan yığılır. Vakuum sistemlərinin yığılması onların tətbiqindən asılıdır. Adi vakuum sistemində fırlanma və buxaraxınlı nasoslardan istifadə edilir. Aşağıda şüşəli və metallik vakuum sistemlərinin nümunələri göstərilmişdir. Şüşəli vakuum sistemi şəkil 6.3 – də təsvir olunub.

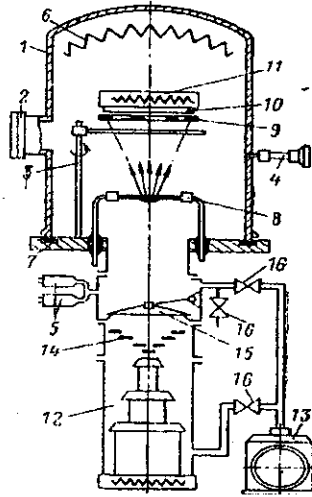
Sorulan 6 obyektində yüksək vakuum ( $10^{-5} \div 10^{-7} \text{ mm.c.st.}$  qədər) fırlanma 1 və buxarşırnaqlı 2 nasoslar vasitəsi ilə yaradılır. Onların arasında 3 forvakuum balonu yerləşir. Forvakuum balonu fırlanma nasosunu qısa müddətə söndürülməsinə imkan verir. Balonun həcmi bir neçə litr tərtibindədir. Maye azotla soyudulan 4 tələsi sorulan obyektə buxaraxınlı nasosun işçi mayenin əks axımını azaldır. Termocüt 5 manometri yüksək vakuumun ilkin tərtibini təymin etmək üçün istifadə olunur. Bu manometrin göstərişi ionlaşma manometrin qoşulmasının mümkünlüyünü bildirir. İonlaşma manometrin  $10^{-3} \text{ mm.c.st.}$  – dan yüksək olan təzyiqlərdə istifadəsi lampanın katodunun yanmasına səbəb olur. 5 termocüt və 7 ionlaşma manometrləri sorma prosesində vakuumu ölçür, sormadan sonra isə qaz sızmasının sürətinin müəyyən olunmasına imkan verir. Qurğuda 8 kompressiya manometri də istifadə olunur. Göstərilən va-

kuum sistemin elementləri bir - bəri ilə kranlar və borular vasitəsi ilə



Şəkil 6.3

birleştirilirlər. Kran 9 fırlanma nasosunu vakuum sistemi ya da atmosfer ilə əlaqələndirmək üçündür. Kran 10 buxaraxanlı nasosu sorulan obyektədən ayırır. Əgər kran bağlı olduqda sistemdə təzyiq zamana görə dəyişmirsə, deməli qurğu yaxşı sorulub və qaz sızması yoxdur. Şüşəli vakuum sistemləri adətən metallik əsası karkası üstündə yığılır.



*Şəkil 6.4. Vakuumda buxarlanma qurğusunun prinsipal sxemi.*

1 – işçi kamera; 2 – müşahidə pəncərəsi; 3 – qapaq; 4 – sızan kran; 5 – manometr; 6 – qızdırıcı; 7 – elastemer aralıq qat; 8 – buxarlandırıcı; 9 – trafaret; 10 – althq; 11 – althqın qızdırıcısı; 12 – yağbuxarlı asos; 13 – fırlanma nasos; 14 – soyudulan tələ; 15 – cəftə; 16 – ventily.

Metal vakuum sisteminin nümunəvi sxemi Şəkil 6.4 – də göstərilmişdir. Qurğu işçi kameradan, vakuum yaradan hissələrdən və idarə edici pultdan ibarətdir.

İşçi kamera 1 paslanmayan poladdan düzəldilmiş silindrik qapaq şəklindədir. Onun üzərində 2 müşahidə pəncərəsi və 4 sızma kranı yerləşdirilmişdir. Təzyiqi ölçmək üçün sistemə 5 manometrləri birləşdirilib. Bu qapaq lövhəvi əsasın üstündə qurulub, bu lövhədən qapağın bütün məftilləri keçir. İşçi kameranın əsas lövhə ilə vakuum birləşməsi 7 elastemerdən düzəldilmiş və qaz sızması az olan aralıq qat va-

sitəsi ilə yaradılır. Vakuum sistemi bir – biri ilə ardıcıl birləşmiş yağbuxarlı 12 və fırlanma 13 nasoslardan ibarətdir.

İşçi həcmi sorulması əsas lövhədə yerləşən dəlikdən aparılır. Yağbuxarlı nasosun girişində yağ əksetdirici, 14 soyudulan tələ və yağbuxarlı nasosun giriş borusunun işçi həcmdən ayıran 15 cəftəsi yerləşir.

Havanın əsas hissəsinin qurğunun işçi həcmindən ilkin sorulması fırlanma nasosu ilə aparılır. Bu nasos sorulan həcmə 16 ventilləri və boru vasitəsi ilə bağlanır.

İdarəedici pult yüksək və alçaq voltlu qida mənbələrindən, ionlaşma və termocüt manometrinin və qurğunun təbiiqinə uyğun olan nəzarət cihazlarından ibarətdir.

#### § 6.4 QAZ SIZMASININ TƏYİN EDİLMƏSİ

Yüksək vakuum qurğularında germetikliyin pozulması və kiçik sızma olması (bu əsasən vakuum qurğusu bloklarının birləşmə yerlərində olur) yüksək vakuum alınmasına və saxlanılmasına mane olur.

Ona görə təzə vakuum sistemlərinin yığılmasında və eləcə də yüksək vakuum qurğuları ilə iş prosesində sistemdə sızma olması mütləq yoxlanılır və tapılan sızmalar ləğv edilməlidir. Vakuum sistemlərində sızma axtarmağın bir çox üsulları mövcuddur. Ən çox istifadə olunan üsullarla tanış olaq.

*Vakuum sistemində sızmanın təyini.* Vakuum sisteminin germetikliyini xarakterizə edən sızma, sorma dayandırıldıqdan sonra vahid zamanda təzyiğin dəyişməsinin və sızması yoxlanan həcmi hasilinə bərabərdir.

Sızmanı  $B$  ilə işarə etsək:

$$B = V \cdot \frac{dp}{dt} \quad [m^3 \text{Tor} / \text{san}]$$

Burada  $V$  – sızması yoxlanılan həcm,  $\frac{dp}{dt}$  – təzyiqin artma sürətidir.

Göründüyü kimi, sızma qaz seli vahidləri ilə ölçülür. Sızma  $B$  – nin vahidləri  $\ell \cdot \text{Tor} / \text{san}$ ,  $\text{m}^3 \cdot \text{Pa} / \text{san}$  - dir.  $1 \ell \cdot \text{Tor} / \text{san}$  sızma o deməkdir ki, həcm  $1\ell$  olan vakuum sistemində təzyiq  $1$  saniyədə  $1$  Tor artır.

İndi isə sızmanın mümkün cəmini araşdıraraq. Daimi, effektiv sorma sürəti  $S_0$  ilə kəsilməz sorma nəticəsində  $p$  təzyiqi alınmalıdırsa, onda maksimal sızma bu şərti ödəməlidir:  $B \leq S_0 \cdot p$

$$\text{Burdan da} \quad B \leq \frac{S_n}{S_n + U} \cdot p$$

Yəni, əgər nasosun  $S_n$  sorma sürəti və borunun  $U$  buraxma qabiliyyətini uyğun olaraq seçsək, sızma olanda belə sistemində lazım olan  $p$  təzyiqli vakuum almaq mümkündür. Həcmi  $V$  olan vakuum sistemində  $\Delta t$  zamanında təzyiqin dəyişməsi  $\Delta p$ -dən çox olmamalıdır:

$$B \leq V \cdot \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

Vakuum sisteminin sızması xaricdən kiçik kanallar vasitəsilə sistemə daxil olan qaz seli ilə müəyyən olunur. Sızmaya səbəb olan kanalların forması müxtəlif ola bilər, özü də onların ölçüləri məlum deyil. Sızmanın miqdarını bilməklə şərti sızmanın keçiriciliyini təyin etmək olar.

$$U = \frac{B}{(p_1 - p_2)}$$

Burada  $p_1 - p_2$  vakuüm kamerasının divarının hər iki tərəfində olan təzyiqlər fərqiçidir.

Əgər qazın axma rejimi məlumdursa, onda sormanın ölçülərini təyin etmək mümkündür.

Özülü rejimdə qazın keçiriciliyi (3.26) – ya görə:

$$U_{\delta} = \frac{\pi d^4}{128\eta\ell} \frac{p_1 + p_2}{2} \quad (sm^3/san)$$

Molekulyar rejimində isə

$$U_m = 3810 \frac{d^3}{\ell} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (sm^3/san)$$

Sızmanın şərti diametrini bu rejimlər üçün aşağıdakı ifadələrdən hesablamaq olar:

$$d_{\delta} = \sqrt[4]{\frac{128U_{\delta}\eta\ell}{\pi \frac{p_1 + p_2}{2}}} \quad (sm)$$

$$d_m = \sqrt[3]{\frac{U_m\ell}{3810} \sqrt{\frac{\mu}{T}}} \quad (sm)$$

Molekulyar rejimdə B sızması aşağıdakı düstur ilə təyin olunur:

$$B = (p_2 - p_1) \cdot 3,81 \sqrt{\frac{T}{\mu}} \frac{d^3}{\ell} \quad (\ell \cdot \text{Tor} / \text{san})$$

Sınaq qazın atmosferində yoxlamalarda

$p_1 - p_2 = p_{\text{atm}}$  olanda, seli:

$$Q = p_{\text{atm}} \cdot 3,81 \sqrt{\frac{T}{\mu_s}} \frac{d^3}{\ell} \quad (\ell \cdot \text{Tor} / \text{san})$$

burada  $\mu_s$  – sınaq qazın molekulyar kütləsidir.

Axırınıcı iki ifadələrdən sınaq qazın minimal selinin miqdarını tapmaq olar:

$$Q_{\min} = \frac{B \cdot p_{\text{atm}}}{p_2 - p_1} \sqrt{\frac{\mu}{\mu_s}}$$

Yoxlama üsulları bu  $Q_{\min}$  miqdarını təyin etməlidir.

Sızma axtarma üsullarının əsas növləri aşağıdakılardır:

- 1) Yüksək təzyiqlə sızma axtarma üsulu
- 2) Lyuminessent üsulu
- 3) Qıyıcim boşalması üsulu
- 4) Manometrik üsul
- 5) Halogen tərkibli sınaq maddə üsulu
- 6) Kütlə – spektrometrik üsul

Bu üsullar haqqında qısa məlumat aşağıdakı cədvəldə verilib.



Cədvəl 6.1.

№	Üsulun adı	Üsulun iş prinsipi	Sızmanın qiyməti M <sup>3</sup> Pa/san	Qeyd
1	Yüksək təzyiqlə təzyiqləndirilmə	Sızması axtarılan cismin bir tərəfində sınaq maddənin atmosfer təzyiqindən yük-sək təzyiqləndirilir	$1 \cdot 10^{-4}$ ( $\sim 1 \cdot 10^{-5}$ )	Metall cihazların germetikliyinin ilkin sınaqları
2	Lyuminesent	Axtarma sızmadan keçən lyuminesensiya edə bilən maddələrin ultrabənövşəyi şüaların təsiri altında işıqlanmaya əsaslanır.	$10^{-6} \div 10^{-7}$ ( $\sim 10^{-7} \div 10^{-8}$ )	Ölçüləri kiçik olan açıq obyektlərin germetikliyinin yoxlanılması üçün tətbiq olunur
3	Qığalmaq	Sorulan şüşə qabın içərisinə azgüclü qığalmaq boşalmasının sızılan yerdən keçməsinə əsaslanır.	$1 \cdot 10^{-2}$ ( $\sim 1 \cdot 10^{-3}$ )	Şüşəli vakuüm sistemlərində sızmanın axtarılması
4	Manometrik	Manometrin çıxış siqnalının sorulan qaba sızmadan sınaq maddənin keçməsinə nəticəsində dəyişməsinə əsaslanır.	$10^{-4} \div 10^{-5}$ ( $\sim 10^{-5} \div 10^{-6}$ )	Sızma miqdarının kəmiyyətini bilmədən vakuüm sistemlərində germetikliyin axtarılması
5	Halogen	Halogen tərkibli sınaq maddənin sorulan qaba keçmək və metall səthə düşərək həmin səthdən ionların emissiyasının artmasına əsaslanan sızma-axtarma	$10^{-6} \div 10^{-7}$ ( $\sim 10^{-7} \div 10^{-8}$ )	Böyük həcmli sistemlərin germetikliyinin təyini olunması
6	Kütlə spektrometrik	İonların kütləyə görə ayrılmasına əsaslanır	$6 \cdot 10^{-11} \div 1 \cdot 10^{-12}$ ( $\sim 5 \cdot 10^{-12} \div 1 \cdot 10^{-15}$ )	Vakuüm sistemlərində və elektrovaakuüm cihazlarında kiçik sızmaların təyini üçün geniş tətbiq olunur

## ƏDƏBİYYAT

(əsas)

1. Розанов Л.Н. Вакуумная техника, 3-е изд. Москва, ВШ, 2007.
2. Вакуумная техника, [www.mexanik.ru /1034/ ogl.htm](http://www.mexanik.ru/1034/ogl.htm)
3. Ворончев Т.А., Соболев В.Д., Физические основы электровакуумной техники, М.1967
4. Кполь М., Эйхтейер И., Техническая электроника, том1, м.1971

## ƏDƏBİYYAT

(əlavə)

1. Р.Шампе, Физика и техника электровакуумных приборов, часть I, М., 1963
2. Глазков А., Милованова Р., Учебная лаборатория вакуумной техники, М.1971.
3. Ашкинази Л., Выков Д., Современная вакуумное техника, Справочник.
4. Мурадов А.Х., Гусейнов Т., Лабораторные работы по вакуумной техники, Баку, 2005
5. Muradov Ə.X. Vakuum texnikasından laboratoriya işlərinə rəhbərlik (metodik vəsait) Bakı 1997.
6. Мурадов А.Х., Гусейнов Т., Руководство к лабораторным работам по вакуумной техники, учебник, Баку, 2002.

## MÜNDƏRİCAT

	Səh.
<b>Giriş.....</b>	<b>3</b>
<b>I FƏSİL Vakuumin fizikasının əsasları.....</b>	<b>5</b>
§1.1. Qazların molekulyar–kinetik nəzəriyyəsinin əsas müddələri.....	6
§1.2. Qaz və buxar anlayışı.....	15
§1.3. Buxarlanma və kondensasiya....	16
§1.4. Maksvell–Bolsman paylanma funksiyası.....	17
§1.5. Səthə vurulan zərbələrin sayı...	21
§1.6. Sərbəst qaçış yolunun orta uzunluğu.....	23
§1.7. Alçaq, orta, yüksək və ifrat yüksək vakuüm anlayışları haqqında.....	27
<b>II FƏSİL. Vakuümdə qazların əsas xassələri.....</b>	<b>31</b>
§2.1. Köçürmə hadisələri.....	31
§2.2. Qazlarda daxili sürtünmə.....	31
§2.3. Qazların istilikkeçirməsi.....	36
§2.4. Qazların diffuziyası.....	44
<b>III FƏSİL. Qazların vakuüm borusu boyunca axımı.....</b>	<b>52</b>
§3.1. Əsas anlayış və təriflər.....	52
§3.2. Qaz seli.....	54
§3.3. Vakuüm borusunun keçiriciliyi və müqaviməti.....	54
§3.4. Vakuüm texnikasının əsas tənliyi	56
§3.5. Vakuüm borusunda qazın axım rejimləri.....	58
§3.6. Özlülü rejimində qazın axımı. (Puazeyl rejimi).....	59

	§3.7. Qazın molekulyar (Knudsen) rejimdə axımı.....	64
	§3.5.Qazın molekulyar – özlülük rejimdə axımı.....	69
<b>IV FƏSİL.</b>	<b>Vakuumin alınma və saxlanma texnikası.....</b>	<b>72</b>
	§ 4.1. Vakuumin alınması üsulları....	72
	§4.2. Vakuumin nasoslarının əsas xarakteristikası və parametrləri.....	74
	§ 4.3 Həcmi mexaniki nasoslar.....	79
	§ 4.4 Mexaniki – molekulyar nasos....	89
	§ 4.5 Buxarşırnaqlı nasoslar.....	92
	§ 4.6 Tələlər.....	106
	§4.7. Sorbsion sormanın fizikası.....	108
	§ 4.8.İon – sorbsiya nasosları.....	110
<b>V FƏSİL.</b>	<b>Vakuumin ölçülməsi texnikası.....</b>	<b>116</b>
	§ 5. Manometrlərin təsnifatı.....	117
	§5.1.Təzyiqin mexaniki tə'sirinə əsaslanan mayeli manometrlər.....	118
	§ 5.2 MC – Leod manometrləri.....	121
	§ 5.3. İstilik manometrləri.....	126
	§ 5.4.İonlaşma manometrləri.....	133
	§ 5.5. Radiometrik (Knudsen) manometr.....	138
<b>VI FƏSİL.</b>	<b>Vakuumin sistemi və onun elementləri....</b>	<b>142</b>
	§6.1.Vakuumin sisteminin elementləri və onların birləşmələri.....	142
	§6.2.Vakuumin sistemlərinin konstruktiv elementləri.....	144
	§ 6.3.Vakuumin sistemlərinin növləri.....	146
	§ 6.4.Qaz sızmasının təyin edilməsi.....	149
	<b>Ədəbiyyat.....</b>	<b>154</b>

ƏSGƏROV ŞAHLAR QAÇAY oğlu  
AĞAYEV MUSTAFA NUHBALA oğlu  
SADIQZADƏ GÜLARƏ MƏMMƏD qızı

VAKUUM  
TEXNİKASININ  
ƏSASLARI

---

Yığılmağa verilib: 02.04.08. Çapa imzalanıb: 21.04.08.

Format 60x84 1/16. F.ç.v. 9,87. Sifariş № 65.

Kağız əla növ. Tiraj 500 nüsxə. Qiyməti müqavilə ilə

---

*“Tİ-MEDIA” şirkətinin mətbəəsi*