

**Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi**  
**Təhsil Problemləri İnstitutu**  
**Bakı Dövlət Universiteti**

# **MAYELƏRDƏ SƏTHİ GƏRİLMƏ VƏ DAXİLİ SÜRTÜNMƏ HADİSƏLƏRİ**

**Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi**  
**Elmi Metodik Şurasının «Fizika»**  
**bölməsinin 28.06.2007 tarixli iclasının**  
**qərarı ilə təsdiq edilmişdir (protokol №10).**

**B A K I - 2007**

Rəyçilər: prof. A.U. Mahmudov  
prof. A.H. Kazımzadə

539  
+ M 51

R.Q.Məmmədov. Mayelərdə səthi gərilmə və daxili  
sürtünmə hadisələri.

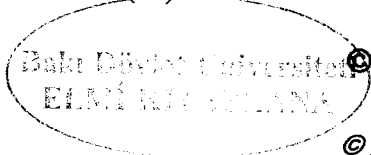
Bakı, BDU, 2007, 71 s.

266309

Metodik vəsaitdə molekulyar fizikanın mayelərdə səthi gərilmə və daxili sürtünmə hadisələri bölmələri haqqında ətraflı məlumat verilmiş, eyni zamanda onları kəmiyyətə və keyfiyyətə xarakterizə edən əsas parametrlərin təcrübə təyin edilməsi üsulları şərh edilmişdir.

Vəsait universitetlərin təbiət fakültələrinin tələbələri üçün nəzərdə tutulmuşdur.

M  $\frac{180540600 - 25}{M - 658(07) - 054}$  - 054 - 2007



© R.Q. Məmmədov, 2007

© Bakı Universiteti nəşriyyatı, 2007.

## GİRİŞ

Vəsaitdə molekulyar fizikanın bir-biri ilə sıx əlaqəli bölmələri olan səthi gərilmə və daxili sürtünmə hadisələrinin fiziki mahiyyəti və bu hadisələri xarakterizə edən kəmiyyətlər haqqında zəruri məlumatlar ətraflı şərh olunmuşdur. Müxtəlif faktorların (temperatur, təzyiq, mayenin təbiəti və s.) təsiri ilə bu hadisələrin xarakterində baş verən dəyişikliklər aydın təsvir edilmişdir.

Mayələrin səthi gərilmə və daxili sürtünmə hadisələrini kəmiyyət və keyfiyyətcə xarakterizə edən səthi gərilmə və daxili sürtünmə əmsalları, onların ölçü vahidləri və təcrübi təyini metodları kitabda dolğun ifadə edilmişdir. Hər bir metodun şərhində məntiqi ardıcılığa ciddi rəəyyət olunmuşdur. Metodların qısa nəzəriyyələri anlaşıqlı verilmiş, səthi gərilmə və daxili sürtünmə əmsallarının müvafiq işçi analitik ifadələri müəyyən edilmişdir.

İşçi riyazi ifadələrin təcrübi yoxlanılmasını təmin edən təcrübi qurğuların sxematik təsvirləri vəsaitdə aydın əks olunmuş və onların hissələrinin icra funksiyaları ətraflı şərh edilmişdir. Təcrübi qurğularla düzgün rəfdar edilməsinə və onların işinin normal təmin edilməsinə xüsusi diqqət yetirilmişdir. Təcrübənin aparılması üçün zəruri işlər ardıcılıqla qeyd edilmişdir. Səthi gərilmə və daxili sürtünmə əmsallarının ədədi qiymətlərinin və təcrübə xətalalarının dəqiq hesablanması təmin edilmişdir.

# I. FƏSİL

## MAYELƏRDƏ SƏTHİ GƏRİLMƏ HADİSƏSİ

### 1.1. Mayelərin səthi gərilməsi haqqında qısa nəzəri məlumat

Maye molekulları arasında cazibə qüvvəsi itələmə qüvvəsinə nəzərən çox böyük olur və onlar əhatə olunduqları molekullar tərəfindən cəzb olunurlar. Molekullar arasında məsafə böyük olduqca onların bir-birinə göstərdikləri cazibə təsir qüvvəsi zəifləyir və kifayət qədər böyük məsafələrdə cazibə qüvvəsi sıfıra bərabər olur, yəni belə molekullar arasında qarşılıqlı təsir olmur. Mayelər fizikasında molekullar arasındakı qarşılıqlı təsirlə bağlı olan molekulyar təsir radiusu və molekulyar təsir sferası anlayışlarından istifadə olunur.

Molekulyar təsir radiusu maye molekulları arasında ehtə məsafəyə deyilir ki, bundan böyük məsafələrdə yerləşən molekullar arasında qarşılıqlı təsir olmasın. Radiusu molekulyar təsir radiusuna bərabər olan sferaya isə molekulyar təsir sferası deyilir.

Molekulyar təsir radiusu maye molekullarının effektiv radiusundan təqribən üç dəfə böyük olur və molekulyar təsir sferası olduqca kiçik həcmi əhatə edir. İxtiyari maye molekulası yalnız, mərkəzi bu molekulanın mərkəzi ilə üst-üstə düşən molekulyar təsir sferasının içərisində mərkəzləri yerləşən qonşu molekulların təsirinə məruz qalır. Bu səbəbdən, mayelərin daxilində və səthində

yerləşən molekullar öz ətraflarındakı qonşu molekulların düzülüşünə (paylanmasına) görə bir-birindən kəskin fərqlənirlər. Maye daxilində olan hər bir molekulanın ətrafında qonşu molekullar təqribən bərabər paylanırlar. Ona görə də maye daxilində yerləşən molekulaya bütün istiqamətlərdə modulca təqribən bərabər olan qonşu molekulların cazibə qüvvələri təsir göstərir. Bu qüvvələr qarşılıqlı istiqamətlərdə bir-birini kompensasiya edir və nəticədə maye daxilində molekullara təsir edən qüvvələrin əvəzləyicisi sıfıra bərabər olur.

Lakin maye səthində yerləşən molekulaya ətrafındakı qonşu molekullar bərabər paylanmır və bu səbəbə görə də onlara təsir edən qonşu molekulların cazibə qüvvələrinin əvəzləyicisi sıfırdan fərqli olur. Bu halı nisbətən ətraflı araşdırmaq.

Real mayələr öz səthləri ilə məhdudlaşırlar və bu səthlərlə başqa təbiətli ikinci mühitlərlə təmasda olurlar. Əgər hər hansı qabda müəyyən həcmdə maye olarsa mayenin səthinin bir hissəsi qabın divarları ilə, qalan hissəsi isə hava ilə təmasda olur və mayenin sərbəst səthi adlanır. Deməli, maye üçün başqa təbiətə malik ikinci mühit bir hissədə qabın divarlarıdır, digər hissədə isə havadır (qazdır). Maye səthində yerləşən molekulları əhatə edən molekulyar təsir sferasının bir hissəsində maye molekulları, digər hissədə isə ikinci mühitin atom və molekulları yerləşir. İkinci mühitin atom və molekullarının təbiəti və düzülüşü maye molekullarının təbiəti və düzülüşündən fərqləndiyi üçün mayenin səth molekullarına təsir edən qonşu molekulların cazibə qüvvələrinin əvəzləyicisi sıfıra bərabər olmur. Bu əvəzləyici qüvvənin istiqaməti ikinci mühitin təbiətindən asılı olur.

Məsələn, asanlıqla yəqin etmək olar ki, hava ilə təmasda olan maye səthində yerləşən hər bir molekulaya təsir edən əvəzləyici qüvvənin istiqaməti mayenin daxilinə doğru yönələcəkdir. Mayenin səth molekullarının əhatə olunduqları molekulyar təsir küresinin yuxarı yarısında qaz molekulları, aşağı yarısında isə maye molekulları olur. Maye molekullarının sıxlığı hava molekullarının sıxlığından böyük olduğu üçün maye tərəfindən səth molekullarına təsir göstərən cazibə qüvvəsi onlara hava tərəfdən təsir edən cazibə qüvvəsindən böyük olur, yəni səth molekullarına qonşu molekulların göstərdiyi təsir qüvvələrinin əvəzləyicisi mayenin daxilinə doğru yönəlir.

Yuxarıda deyilənlərdən aydın olur ki, mayenin, qalınlığı təxminən molekulyar təsir radiusuna bərabər olan səth təbəqəsində yerləşən molekullarına mayenin daxilinə doğru yönəlmiş qüvvələr təsir göstərir. Deməli, monomolekulyar səth təbəqəsi tərəfindən mayeye təzyiq göstərilir, yəni maye sıxılır. Bu təzyiq daxili və ya molekulyar təzyiq adlanır və ədədi qiymətce mayenin bir kvadratmetr sahəyə malik səthinin molekullarına təsir edən təzyiq qüvvələrinin əvəzləyicisinə bərabərdir.

Əgər hər tərəfdən hava ilə əhatə olunmuş müəyyən kütləli maye yalnız molekulyar təzyiq qüvvələrinin təsirinə məruz qalarsa, bu zaman mayenin tarazlıqda olması üçün onun səthinin sahəsi minimum qiymət almalıdır. Eyni həcmə malik müxtəlif hündürlükdə fiqurlar içərisində kürə ən kiçik səthə malik fiqur olduğu üçün mayenin səthi sfera formasında olmalıdır. Əks halda, mayeye təsir edən molekulyar təzyiq qüvvələri bəzi istiqamətlərdə bir-birini kompensasiya etməz və nəticədə həmin istiqamətlərdə mayeye təsir göstərən qüvvələr yaranar ki, bu qüvvələr də

maye tarazlığa gələnə kimi onun səthinin formasının dəyişməsinə səbəb olar.

## 1.2. Səthi gərilmə əmsalı və onun vahidləri

Yuxarıda deyilənlərdən belə bir nəticə çıxır ki, maye səthi elastiki pərdə kimi həmişə gərilməmiş vəziyyətdə olur və bu gərilmə maye səthinin sahəsinin minimum olmasını təmin edir. Maye səthinin gərilməmiş vəziyyətdə olması səth molekullarına səth boyunca yönələn qüvvələr təsir etdiyini göstərir və bu qüvvələr səthi gərilmə qüvvələri adlanır. Mayələrin səthi gərilməsini xarakterizə etmək üçün səthi gərilmə əmsalı adlanan fiziki kəmiyyətdən istifadə olunur. Bu kəmiyyət həm qüvvə, həm də enerji baxımından təyin edilir.

Mayenin monomolekulyar səth qatında yerləşən konturun vahid uzunluğuna təsir edən səthi gərilmə qüvvəsinə mayenin səthi gərilmə əmsalı deyilir.

Uzunluğu  $l$  olan səth konturuna təsir edən səthi gərilmə qüvvəsi  $F$  olarsa, onda mayenin  $\alpha$  səthi gərilmə əmsalı

$$\alpha = \frac{F}{l} \quad (I)$$

düsturu ilə təyin olunur.

Bu düsturdan görünür ki, səthi gərilmə əmsalının vahidi BS vahidlər sistemində

$$[\alpha] = 1 \frac{N}{m}$$

və SQS vahidlər sistemində isə

$$[\alpha] = 1 \frac{dn}{sm}$$

olar.

Mayelərin səthi gərilmə əmsalını enerji baxımından təyin etmək üçün maye səthinin sərbəst enerjisindən istifadə olunur. Maye səthinin sərbəst enerjisi, maye səthinin izotermik kiçilməsi zamanı səthin potensial enerjisinin səthin kiçilməsi üçün sərf olunan hissəsinə deyilir.

Maye səthinin vahid sahəsinin malik olduğu sərbəst enerjiyə mayenin səthi gərilmə əmsalı deyilir.

Mayenin sahəsi  $S$  olan səthinin malik olduğu sərbəst enerji  $W$  olarsa, onda mayenin  $\alpha$  səthi gərilmə əmsalı

$$\alpha = \frac{W}{S} \quad (2)$$

düstürü ilə təyin olunur.

(2) düsturundan görünür ki, mayenin səthi gərilmə əmsalı enerji baxımından təyin olunduqda onun vahidi BS vahidlər sistemində

$$[\alpha] = 1 \frac{C}{m^2}$$

və SQS vahidlər sistemində isə

$$[\alpha] = 1 \frac{erg}{sm^2}$$



Mayenin səthi gərilmə əmsalı bir sıra faktorlardan, o cümlədən, həm mayenin, həm də mayenin təmasda olduğu ikinci mühitin təbiətindən və temperaturundan asılı olan mühüm fiziki kəmiyyətdir. Müəyyən edilmişdir ki, temperatur artıqca səthi gərilmə əmsalı azalır. Lakin bu asılılığı ifadə edən riyazi düsturu nəzəri olaraq əldə etmək, yəni bütün mayələr üçün tətbiq oluna bilən riyazi düstur tapmaq mümkün deyildir. Buna baxmayaraq, ayrı-ayrı qrup təcrübi nəticələri izah edə bilən empirik düsturlar müəyyən edilmişdir. Kifayət qədər çox təcrübələrlə doğruluğu müəyyən olunmuş empirik düsturlardan biri

$$\alpha = B(T_b - T - \tau) \left( \frac{\rho}{\mu} \right)^{2/3} \quad (3)$$

ifadəsidir.

Burada B- bütün mayələr üçün təxminən eyni olan sabit əmsal olub SQS vahidlər sistemində 2,1-dir, T-mütləq temperatur,  $T_b$ -böhran temperaturu,  $\tau$ -kiçik düzəliş,  $\rho$ -mayenin sıxlığı və  $\mu$ -mayenin molyar kütləsidir.

### 1.3. Səthi gərilmənin müxtəlif səth hadisələrinə təsiri

Mayələr üçün xarakterik olan bir sıra fiziki hadisələr, məsələn, islatma, sərbəst səthin əyilməsi hesabına əlavə təzyiğin yaranması, kapilyarlıq və s. bilavasitə mayələrin səthi gərilmə hadisəsi ilə əlaqədardır.

İslatma hadisəsi maye molekullarının həm öz aralarında, həm də mayenin təmasda olduğu ikinci mühitin

molekulları arasında olan qarşılıqlı təsir ilə müəyyən olunur. Belə ki, maye molekulları ilə mayenin təmasda olduğu cismin molekulları arasında olan cazibə qüvvəsi, maye molekullarının öz aralarında olan cazibə qüvvəsindən böyük olarsa, bu halda maye cismi isladır, əks halda isə, yeni kiçik olduqda isə islatmır.

İslatma hadisəsi kənar bucaq deyilən kəmiyyətlə xarakterizə olunur. Kənar bucaq, mayenin sərbəst səthinin cismə toxunan sərhəddindən bu sərbəst səthə çəkilmiş toxunan ilə cismin maye ilə təmasda olduğu səthi arasında qalan bucağa deyilir. Maye cismi isladan olduqda kənar bucaq iti, islatmayan olduqda isə kor bucaq olur. Kənar bucaq sıfır olduqda maye cismi tam isladan, açıq bucaq olduqda isə maye cismi tam islatmayan adlanır.

Qabın içərisində olan mayenin qabın divarları ilə toxunmayan səthi, yeni sərbəst səthi, nisbətən böyük sahəyə malik olduqda ağırliq qüvvəsinin təsiri hesabına üfiqi müstəvi formada olur. Lakin, qabın divarlarına çox yaxın hissələrdə sərbəst səth əyri səth formasına malik olur. Maye qabı islatdıqda bu əyri səth çökük, islatmadıqda isə qabarıq formada olur. Mayenin əyri formaya malik sərbəst səthi menisk adlanır.

Mayenin müstəvi formalı sərbəst səthindəki molekullara təsir edən səthi gərilmə qüvvələri səth boyunca üfiqi istiqamətdə yönələcəkdir. Maye əyri səthə malik olduqda səthdəki hər bir molekula təsir edən səthi gərilmə qüvvəsi səthə toxunan üzərində olacaqdır. Bu səthi gərilmə qüvvələrini şaquli və üfiqi istiqamətlərə yönələn iki toplananlarına ayırısaq, asanlıqla görmək olar ki, səth molekullarına təsir edən üfiqi toplananlar bir-birini kompensasiya edirlər. Lakin şaquli toplananların hamısı bir

istiqamətə yönəlirlər, yəni, sərbəst səth qabarıq olduqda onlar aşağı, çökük olduqda isə yuxarı istiqamətə yönəlirlər. Bu zaman mayenin sərbəst səthinə təsir edən əlavə təzyiqlik yaranır. Belə ki, bu əlavə təzyiqlik mayenin sərbəst səthi qabarıq olduqda onu aşağıya doğru sıxır, çökük olduqda isə yuxarıya dartır.

Səthi gərilmə əmsali  $\alpha$  olan mayenin sərbəst səthinin əyriliyi hesabına yaranan əlavə təzyiqlik

$$\Delta P = \alpha \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (3)$$

kiimi ifadə olunur. Bu düstur Laplas düsturu adlanır.

Burada  $r_1$  və  $r_2$  - mayenin sərbəst səthini bir-birinə perpendikulyar iki müstəvi ilə normal istiqamətdə kəsərkən alınan əyri xətlərin bir-biri ilə kəsişmə nöqtəsində bu səthəin əyri xətlər üzrə əyrilik radiuslarıdır.

Əgər mayenin sərbəst səthi sferik seqment formasında olarsa, onda  $r_1=r_2=r$  olar və əlavə təzyiqlik

$$\Delta P = \frac{2\alpha}{r} \quad (4)$$

düsturu ilə hesablanır.

Kapilyar borularda, yəni daxili radiusu içərisindəki mayenin sərbəst səthəin əyrilik radiusu tərtibində olan nazik borularda, mayenin sərbəst səthi bütövlükdə əyri səth olur. Əgər kapilyar silindir formasında olarsa, onda onun içərisində yerləşən mayenin sərbəst səthi, yəni meniski, sferik seqment formasında olar və orada yaranan təzyiqlik (4)

düsturu ilə hesablanır. Kapilyar borunun bir ucu müstəvi sərbəst səthə malik mayeyə batırılsa kapilyara daxil olan mayenin meniski yuxarı (əgər maye kapilyarı isladır) və ya aşağı (əgər maye kapilyarı islatmırsa) istiqamətə hərəkət edərək müstəvi səthin səviyəsindən fərqli olan səviyədə dayanacaqdır.

Kapilyar borularda yaranan əlavə təzyiğin təsiri ilə meniskin müəyyən səviyələrə doğru hərəkət etməsinə kapilyarlıq hadisəsi deyilir.

Mayələrin səthi gərilmə əmsalını təcrübi olaraq təyin etmək üçün bir-birindən səciyyəvi cəhətlərlə fərqlənən müxtəlif üsullardan istifadə olunur. Onlardan praktikada geniş istifadə olunanları növbəti səhifələrdə ətraflı şərh olunmuşdur.

## 1.4. MAYELƏRİN SƏTHİ GƏRİLMƏ ƏMSALININ TƏYİNİ

Mayelərdə müşahidə olunan bir çox fiziki hadisələrin baş verməsinin və xüsusiyyətlərinin səthi gərilmə əmsalından bilavasitə asılı olması, bu əmsalın müxtəlif üsullarla təcrübi olaraq təyin edilməsinə imkan verir.

### 1.4.1. HALQANI QOPARMA ÜSULU

**Lövazimat:** 1) qurğu, 2) çəki daşları, 3) ştankenpərgər, 4) tədqiq olunan maye.

#### *Nəzəri məlumat*

Bərk cisim, onu isladan maye səthinə toxunarsa təmas səthi boyunca cisimə maye molekulları yapışar. Əgər cisim mayedən qoparılsa, onda yapışan maye cisimlə birlikdə mayedən ayrılmağa cəhd edər. Bu zaman cisim mayedən uzaqlaşdıqca cisimə yapışan maye qatının yan səthi içəriyə doğru öyiləcək. Uzaqlaşma müəyyən həddə çatdıqda cisim mayedən tam qopacaq və cismin təmasda olan səthi maye təbəqə ilə örtüləcəkdir.

Cismi mayedən qoparmaq üçün ona ən azı iki səbəbdən yaranan qüvvələri tarazlaşdırma bilən quvvə ilə təsir etmək lazımdır. Bu qüvvələrdən biri cisim ilə birlikdə uzaqlaşan maye qatının nazilən yan divarının (səthinin) bürüyən xətt boyunca səthi gərilmə qüvvəsi, digəri isə, həmin maye qatının en kəsiyi boyunca yerləşən maye molekullarını bir-birindən ayıran qüvvədir.

Berk cismin h ndəsi formasını elə seçmək olar ki, ona yapışan maye qatının yan səthini bürüyən konturuna təsir edən səthi gərilmə qüvvəsinə nisbətən bu maye qatının en kəsiyi boyunca yerləşən maye molekullarını bir-birindən ayıran qüvvə nəzərə alınmayacaq dərəcədə kiçik olsun. Belə cismi mayedən qoparmaq  c n lazım olan qüvvə, yalnız cismə yapışan maye qatının yan səthini bürüyən kontura təsir edən səthi gərilmə qüvvəsini tarazlaşdırmalıdır. Deməli, bu zaman mayeinin səthi gərilmə qüvvəsi ədədi qiymətcə elə həmin tarazlaşdırıcı qüvvəyə b r b r olacaqdır. Bu hal, berk cisimdən hazırlanmış nazik divarlı halqadan istifade olunduqda təcrübi olaraq yaxşı ödənilir.

Yuxarıda deyilənlərdən aydındır ki, əgər təcrübi olaraq maye səthində  $l$  uzunluęa malik kontura təsir edən  $F$  səthi gərilmə qüvvəsinin qiyməti təyin edilərsə, onda mayenin  $\alpha$  səthi gərilmə əmsalı

$$\alpha = \frac{F}{l} \quad (1)$$

düsturu ilə hesablanır.

Divarının qalınlıęı  $d$ , daxili və xarici diametrləri isə uyęun olaraq  $D_0$  və  $D$  olan halqanın alt oturacaęını mayenin sərbəst səthinə toxundurub, sonra isə ona  $P$  qüvvəsi tətbiq etməklə onu mayedən qoparsaq, onda mayenin səthində uzunluęu halqanın oturacaęının  $l_1$  daxili və  $l_2$  xarici  vrl r nin uzunluęları cəminə b r b r, yəni  $l_1+l_2=l$  olan kontura təsir edən səthi gərilmə qüvvəsinin modulu  $F=P$  olar. Bu halda  $\alpha$  əmsalı

$$\alpha = \frac{p}{l_1 + l_2} \quad (2)$$

düsturu ilə təyin olunur.

Burada,

$$l_1 = \pi D_0,$$

$$l_2 = \pi D,$$

$$d = \frac{D - D_0}{2}.$$

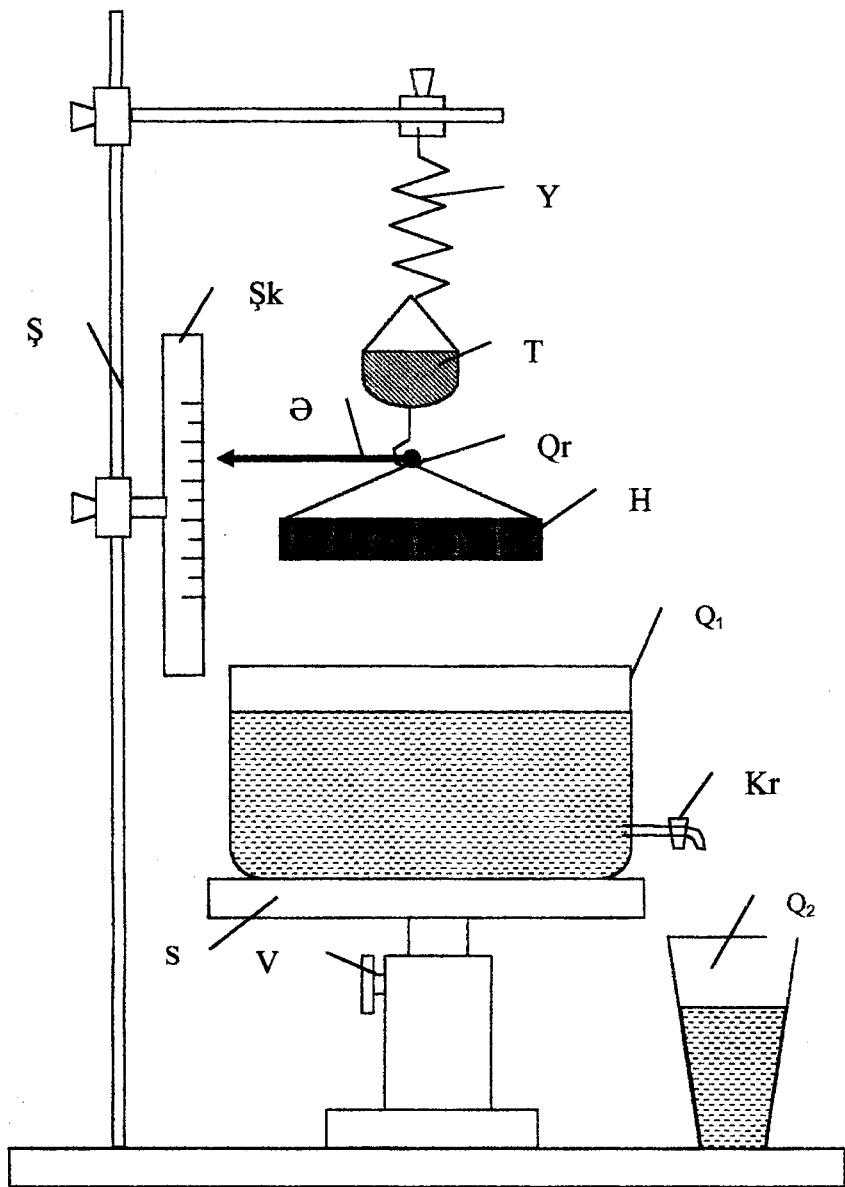
olduğundan, onda mayenin səthi gərilmə əmsalı

$$\alpha = \frac{p}{2\pi(D - d)} \quad (3)$$

düsturu ilə hesablanır.

### *Qurğunun təsviri.*

Qurğu sxematik olaraq Şəkil-1 - də göstərilmişdir. Ş ştativinə millimetrlərlə bölgüləri olan  $\text{Ş}_k$  şkalası və bir ucunda Y yayı olan çubuq bərkidilmişdir. Y yayının digər ucuna T kiçik tərəzi gözü və  $\text{Ş}_k$  şkalasına doğru yönəlmiş Ə əqrəbi bağlanmışdır. T kiçik tərəzi gözünün alt hissəsində olan Qr qarmaqdan alüminiumdan hazırlanmış H halqası asılmışdır.



Şəkil - 1



Tədqiq olunan maye Kr kranı bağlı olan  $Q_1$  şəffaf qaba tökülür. Bu qab şaquli istiqamətdə hərəkət edə bilən S skamyası üzərinə qoyulur. Skamyanı lazım olan hündürlükdə saxlamaq üçün V vintindən istifadə olunur. Maye  $Q_1$  qabından boşalarkən  $Q_2$  qabına tökülür.

### Ölçmələr

266309  
1. Qarmaqdan asılmış H halqasını qarmaqdan çıxarıb, ştangenpərgər vasitəsi ilə onun xarici diametrini (D) və divarının qalınlığını (d) ölçüb qeyd etməli, sonra isə halqanı Qr qarmaqdan asmalı.

2. Tədqiq olunan mayenin Kr kranı bağlı olan  $Q_1$  qaba töküüb bu qabı S skamyası üzərinə elə qoymaq lazımdır ki, H halqası mayenin mərkəzi hissəsindən yuxarıda dayansın.

3. V vintini boşaldıb S skamyasını yuxarı istiqamətdə elə səviyyəyə qədər qaldırmalı ki, H halqasının alt oturacağı maye səthinə toxunsun. Bu anda V vintini bərkidib, S skamyasını bu səviyədə saxlamalı.

4. Kr kranını açıb mayeni  $Q_1$  qabından  $Q_2$  qabına axıdaraq, eyni zamanda Ə əqrəbinin  $\text{Ş}_k$  şkalası üzərinə hərəkətini izləməli və kiçik H halqası sudan qopduğu anda əqrəbin şkala üzərindəki göstərişini qeyd etməli.

5. V vintini boşaldıb S skamyasını aşağı istiqamətdə hərəkət etdirərək onu ilkin səviyədə saxlamalı və V vintini bərkitməli.

6.  $Q_2$  qabına tökülən mayeni qaytarıb  $Q_1$  qabına boşaltmalı.

7. T kiçik tərəzi gözüne o qədər çəki daşları qoymalı ki, Y yayı o qədər uzansın ki, Ə əqrəbi şkala

üzərində halqa qopan ana uyğun olan bülgüdə dayansın. Bu zaman T tərəzi gözündəki çəki daşlarının miqdarını hesablayıb qeyd etməli. Çəki daşlarının yekun P çəkisi ədədi qiymətçə mayenin səthi gərilmə qüvvəsinin moduluna bərabər olacaqdır.

8. Təcrübəni ən azı üç dəfə təkrar etməli.

### *H e s a b a t*

1. Ölçü və çəki nəticəsində qeyd olunmuş qiymətlərdən istifadə edərək halqanın  $d$  qalınlığını,  $D$  xarici diametrini və  $P$  səthi gərilmə qüvvəsinin orta qiymətlərini hesablamalı .

2.  $d$ ,  $D$  və  $P$  kəmiyyətlərinin orta qiymətlərini (3) düsturunda yerinə qoyub tədqiq olunan mayenin səthi gərilmə əmsalını hesablamalı.

3. Təcrübənin mütiləq və nisbi xəталarını (3) düsturundan istifadə edərək hesablamalı.

## 1.4. 2. DAMCI ÜSULU

**Lövazimat:** 1) qurğu, 2) tədqiq olunan maye ,  
3) etalon maye, 4) qıf, 5) stəkan,  
6) tərəzi və çəki daşları.

### *Nəzəri məlumat*

Şaquli vəziyyətdə qoyulmuş və aşağı ucu havada yerləşən nazik borudan çox kiçik sürətlə maye axarsa borunun uc hissəsindən maye damcı-damcı tökülər. Bu zaman borunun ucunda damcı əvvəlcə böyüyür, sonra isə müəyyən həcmə malik olduqda qopub düşür. Damcı borudan qopan anda damcı ilə borunun ucu arasına kiçik hündürlüyə malik silindrik formalı boğaz əmələ gəlir. Bu boğazın radiusu borunun uçunun radiusundan kiçik olur.

Borunun ucundan mayenin damcı-damcı düşməsinə səbəb mayenin səthi gərilmə qüvvəsinin təsir göstərməsidir. Belə ki, damcı əmələ gələn zaman bu damcıya öz ağırlıq qüvvəsi və borunun ucunda maye səthini bürüyən kontur boyunca səthi gərilmə qüvvəsi təsir edir. Bu qüvvələr modulca bir-birinə bərabər olduqda damcı borudan qopur. Bu hal isə damcı böyüyərək müəyyən həcmə malik olduqda baş verir.

Əgər səthi gərilmə əmsalı  $\alpha$  olan maye damcısı borunun ucundan qopan anda onun silindrik boğazının radiusu  $r$  olarsa onda damcının boğazını bürüyən çevrəvari konturun uzunluğu  $l$  olar və bu kontura təsir edən səthi gərilmə qüvvəsi

$$F = \alpha l = \alpha 2\pi r \quad (I)$$

olur.

Damcı qopan andan ağırlıq qüvvəsi  $P$  olarsa, onda

$$P = F = 2\pi r \alpha \quad (2)$$

olur və mayenin  $\alpha$  səthi gərilmə əmsalı

$$\alpha = \frac{P}{2\pi r} \quad (3)$$

düsturu ilə hesablanır.

Səthi gərilmə əmsalını (3) düsturu ilə təyin edərkən, damcı boğazının  $r$  radiusunun böyük dəqiqliklə ölçülməsi xüsusi diqqət tələb edir. Bu zaman adətən okulyarı mikrometrlə təchiz edilmiş baxış borularından istifadə edilir. Bir çox hallarda isə empirik düsturlardan istifadə edilir. Məsələn, təcrübi olaraq müəyyən edilmişdir ki, divarının qalınlığı bir millimetmə qədər olan nazik borulardan damcı qopan andan onun daralmış boğazının  $r$  radiusu borunun ucunun  $R$  xarici radiusunun 0,62 hissəsinə bərabər olur, yəni

$$r = 0,62R$$

olur və bu zaman (3) düsturu əvəzinə aşağıdakı

$$\alpha = \frac{P}{1,24\pi R} \quad (4)$$

düsturundan istifadə olunur.

Etalon mayeden istifadə edərək tədqiq olunan mayenin  $\alpha$  səthi gərilmə əmsalını təyin etdikdə yuxarıda qeyd olunan çətinlik aradan qalxır, yeni damcının daralmış boğazını ölçməyə ehtiyac qalmır. Belə ki,  $V$  həcminə malik tədqiq olunan maye və həmin  $V$  həcmi qədər götürülmüş etalon maye eyni bir şaquli nazik borudan eyni sürətlə axıdılır. Bu zaman borunun ucundan qopan tədqiq olunan mayenin bir damcısının çəkisi  $P$  və etalon mayenin bir damcısının çəkitmə  $P_e$  olarsa, onda (3) düsturuna əsasən tədqiq olunan və etalon mayələrin uyğun  $\alpha$  və  $\alpha_e$  səthi gərilmə əmsalları

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

$$\alpha_e = \frac{P_e}{2\pi R}$$

düsturları ilə təyin olunur. Bu düsturların müqayisəsindən  $\alpha$  əmsalını hesablamaq üçün

$$\alpha = \alpha_e = \frac{P}{P_e} \quad (5)$$

ifadəsi alınır.

Əgər damcıları uyğun  $P$  və  $P_e$  çəkilərini, onların uyğun  $\rho$  və  $\rho_e$  sıxlıqları ilə ifadə etsək, onda (5) düsturu daha əlverişli forma alar. Bu məqsədlə borudan hər birinin həcmi  $V$  olan tədqiq olunan və etalon maye axıdılarkən yığılan damcıların uyğun  $n$  və  $n_e$  sayıları və axan mayələrin uyğun  $M$  və  $M_e$  kütlələri təyin edilir.

Borudan axan mayelərin  $M$  və  $M_e$  kütlələri

$$M = \rho V ,$$

$$M_e = \rho_e V .$$

düsturları ilə və uyğun  $Q$  və  $Q_e$  çəkiləri

$$Q = Mg = \rho Vg ,$$

$$Q_e = M_e g = \rho_e Vg .$$

düsturları ilə ifadə olunduqlarından, onda bu mayelərdə yaranan uyğun  $n$  və  $n_e$  damcılarnın hər birinin uyğun  $P$  və  $P_e$  çəkiləri

$$p = \frac{Q}{n} = \frac{\rho Vg}{n} ,$$

$$p_e = \frac{Q_e}{n_e} = \frac{\rho_e Vg}{n_e} .$$

düsturları ilə hesablanır. Bu düsturlar (5)-də nəzərə alınsa tədqiq olunan mayenin  $\alpha$  səthi gərilmə əmsalını hesablamaq üçün

$$\alpha = \alpha_e \frac{n_e \rho}{n \rho_e} \quad (6)$$

ifadəsi alınır.

## *Qurğunun təsviri*

Qurğu Şəkil – 2-də göstərilmişdir. Qurğu əsasən Ş ştativindən şaquli vəziyyətdə asılmış B borusundan ibarətdir. Borudan maye həcmi göstərən  $\Sigma_k$  şkalası vardır. Tədqiq olunan və etalon mayelərdən eyni həcmdə istifadə olunmasını təmin etmək üçün şkalada a və b nişanları qoyulmuşdur. Mayenin borudan axma sürətini dəyişmək üçün borunun nisbətən nazik ucunda K kranı vardır. Borudan tökülən maye S stəkanına toplanır.

### *Ölçmələr*

1. Mikrometr vasitəsi ilə B borusunun damcı tökülən nazik ucunun (D) xarici diametrini ölçüb, alınan qiyməti ikiye bölərək borunun ucunun (R) xarici radiusunu təyin etməli.

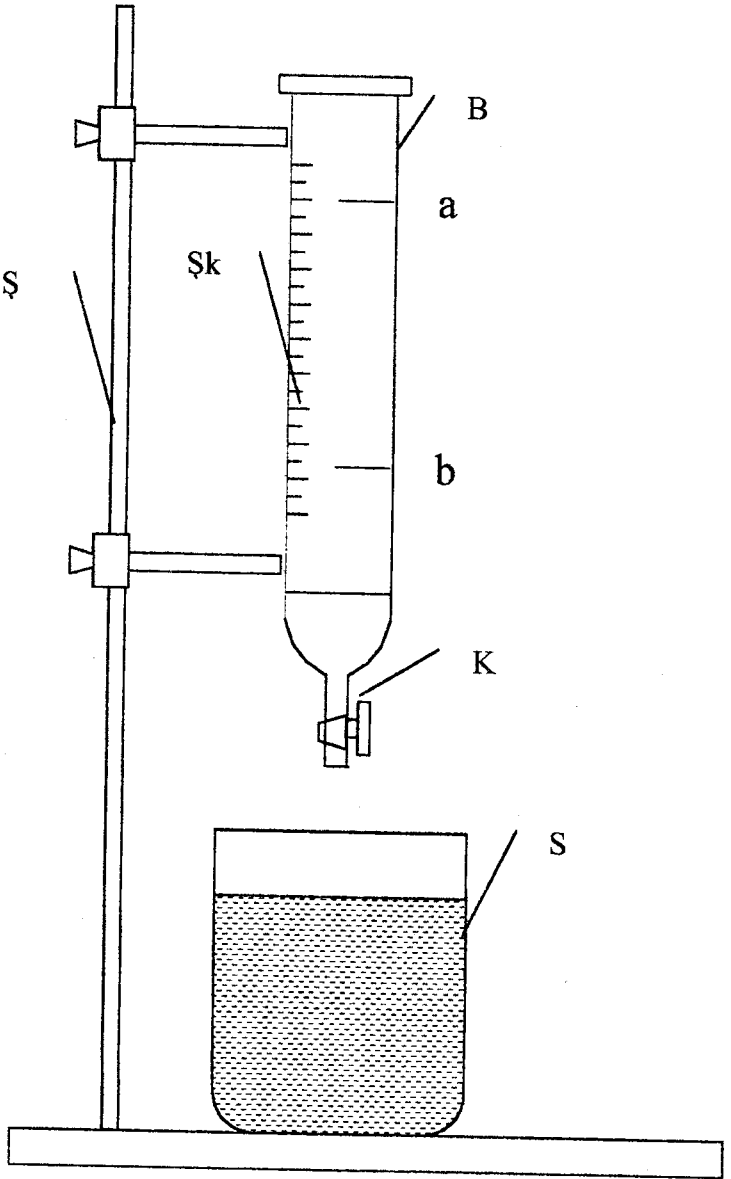
2. K kranını bağlayıb tədqiq olunan mayeni qıf vasitəsi ilə B borusuna o qədər doldurmalı ki, mayenin səthi a nişanı səviyyəsində dayansın.

3. Boş S stəkanını tərəzidə çəkib onun ( $M_{so}$ ) kütləsini təyin etməli və sonra onu borunun altına qoymalı.

4. Ehmalca K kranını elə açmalı ki, borunun ucundan maye damcıları qopsun. Borudakı tökülən maye səviyyəsi b nişanına çatana kimi borudan düşən damcıların sayının (n) qeyd edib sonra isə K kranını bağlamalı.

5. Toplanmış maye damcıları ilə S stəkanın tərəzidə çəkib onu  $M_s$  kütləsini təyin etməli.

6. Tədqiq olunan mayeni B borusundan S stəkanına boşaldıb, sonra isə bu mayeni başqa qaba tökməli, boş stəkanı borunun altına qoymalı.



Ş e k i l - 2



7. K kranını bağlayıb etalon mayeni qıf vasitəsi ilə B borusuna o qədər doldurmalı ki, mayenin səthi a nişanı səviyəsində dayansın.

8. Ehmalca K kranın elə açmalı ki, borunun ucundan maye damcıları qopsun. Bu zaman borudakı maye səviyyəsi b nişanına çatana kimi tökülən damcıların ( $n_e$ ) sayını qeyd edib, sonra isə K kranını bağlamalı.

9. Təcrübəni ən azı üç dəfə təkrar etməli.

### *H e s a b a t*

1. Ölçülən  $R$ ,  $M_{SO}$ ,  $M_s$ ,  $n$  və  $n_e$  kəmiyyətlərinin orta qiymətlərini təyin etməli.

2. Tədqiq olunan mayenin  $n$  damcıdan ibarət olan hissəsinin  $M$  kütləsini  $M = M_s - M_{SO}$  düsturu ilə hesablamalı.

3. Tədqiq olunan mayenin bir damcısının  $m$  kütləsini  $m = \frac{M}{n}$  düsturu ilə hesablandığını nəzərə alıb, onun  $P$  çəkisini

$$p = mg = \frac{M}{n}g$$

düsturu ilə hesablamalı.

4. Damcının  $P$  çəkisini və borunun ucunun  $R$  xarici radiusunun qiymətlərini (4) düsturunda yerinə yazıb, tədqiq olunan mayenin  $\alpha$  səthi gərilmə əmsalını hesablamalı.

5. Etalon mayenin  $\alpha_e$  səthi gərilmə əmsalını və  $\rho_e$  sıxlığını, tədqiq olunan mayenin isə  $\rho$  sıxlığının təcrübə aparılan temperatura uyğun qiymətlərini cədvəldən götürməli.

6.  $\alpha_e, \rho_e, \rho, n_e$  və  $n$  kəmiyyətlərinin qiymətlərini (6) düsturunda yerinə yazıb, tədqiq olunan mayenin  $\alpha$  səthi gərilmə əmsalını hesablamalı.

7. Təcrübənin mütləq və nisbi xəталarını (4) və (6) düsturlarına əsasən hesablamalı.

### 1.4.3. KAPİLYAR BORULARDA MAYE SƏVİYƏSİNİN QALXMASI ÜSULU

Ləvazimat : 1) qurğu, 2) katetometr, 3) müxtəlif diametrlı üç kapilyar boru, 4) tədqiq olunan maye, 5) distillə olunmuş su, 6) spirt, 7) kapilyar boruları üfqi vəziyyətdə saxlaya bilən dayaq.

#### *Nəzəri məlumat*

Silindrik kapilyar borularda maye meniski sferik seqment formasında olur. Daxili radiusu  $R$  olan belə kapilyarın bir ucunu səthi gərilmə əmsalı  $\alpha$  olan və kapilyarın divarını isladan mayeyə batırıldıqda maye kapilyara daxil olur və onun meniski  $r$  radiusa malik çökük səth olur. Bu zaman meniskin çökük olması hesabına atmosfer təzyiqinin əksi istiqamətində mayeyə təsir edən əlavə təzyiq yaranır.

Bu əlavə təzyiq

$$\Delta p = \frac{2\alpha}{r} \quad (1)$$

kimi ifadə olunan Laplas düsturu ilə təyin olunur.

Kapilyar boru batırılan mayenin sərbəst səthinə atmosfer təzyiqi təsir edirsə, kapilyarın içərisindəki maye səthinə atmosfer təzyiqindən  $\Delta p$  əlavə təzyiq qədər az təzyiq təsir edər. Bu səbəbə görə də kapilyarda menisk elə səviyyəyə qədər qalxır ki, kapilyarda yaranan  $h$  hündürlüklü

maye sütununun hidrostatik təzyiqi  $\Delta p$  əlavə təzyiqini tarazlaşdırır. Əgər sərbəstdüşmə təcili  $g$  və mayenin sıxlığı  $\rho$  olarsa, onda kapilyarda mayenin yaratdığı hidrostatik təzyiq  $\rho gh$  olar, və  $\Delta p$  üçün

$$\Delta p = \rho gh \quad (2)$$

ifadəsini yazmaq olar.

(2) düsturunu (1)-də nəzərə alsaq, onda mayenin  $\alpha$  səthi gərilmə əmsalını hesablamaq üçün

$$\alpha = \frac{1}{2} \rho ghr \quad (3)$$

ifadəsi alınır.

Adətən kapilyarda meniskin  $r$  radiusunu ölçmək üçün mürəkkəb əməliyyatlar icra etmək lazım gəlir. Odurki, (3) düsturundan istifadə etdikdə  $r$  radiusundan deyil, onun kapilyarın  $R$  daxili radiusu ilə əlaqə düsturundan istifadə etmək daha əlverişlidir. Bu əlaqə düsturu sadə həndəsi qurmalarla alınır. Beləki, əgər meniskin kapilyarın divarı ilə əmələ gətirdiyi kənar bucaq  $\delta$  olarsa,

$$r = \frac{R}{\cos \delta}$$

olar. Bu ifadə (3)-də nəzərə alınsa, onda  $\alpha$  əmsalı

$$\alpha = \frac{\rho ghR}{2\text{Cos}\delta} \quad (4)$$

düsturu ilə hesablanır.

Əgər tədqiq olunan maye kapilyarın divarını tam isladırsa, onda  $\delta = 0$  ( $\text{Cos}\delta = 1$ ) olar və  $\alpha$  əmsalı üçün

$$\alpha = \frac{1}{2} \rho ghR \quad (5)$$

alınar.

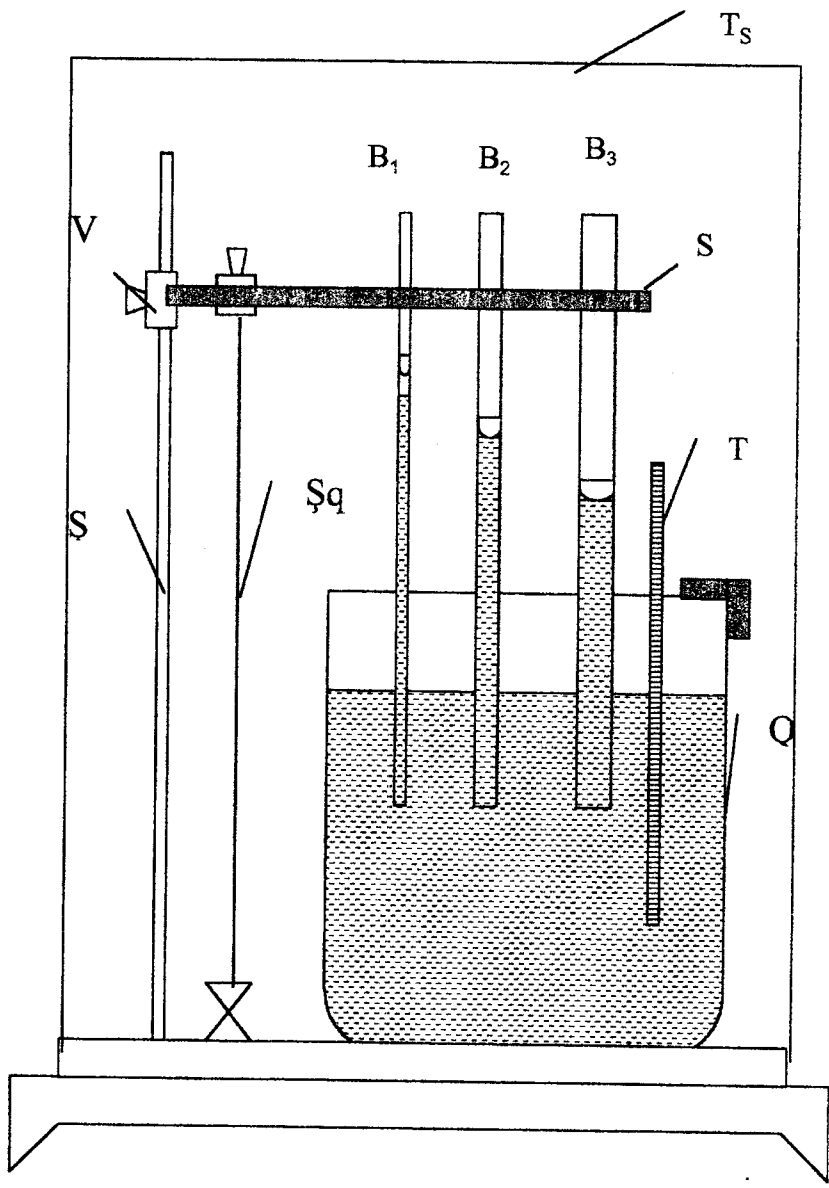
### *Qurğunun təsviri*

Qurğu sxematik olaraq Şəkil – 3-də göstərilmişdir. Müxtəlif diametrlə üç  $B_1, B_2, B_3$  kapilyar boruları  $\mathcal{S}$  ştativinə  $S$  sıxacına bərkidilir və şaquli olaraq  $Q$  şəffaf qabda olan tədqiq edilən mayeyə batırılır. Kapilyarların şaquli olmalarını təmin etmək üçün ştativdən  $\mathcal{S}q$  şaqulu asılır. Qabdakı mayenin temperaturunu ölçmək üçün  $T$  termometrindən istifadə olunur. Qurğu bütüvlükdə şəffaf pəncərəsi olan  $T_c$  termostatında yerləşdirilir. Kapilyar borularda maye sütunlarının hündürlükləri katetometrle ölçülür.

### *Ölçmələr*

1. Kapilyar boruları əvvəlcə distillə olunmuş su, sonra isə spirtlə yumalı və qurutmalı.

2. Hər bir kapilyar borunu üfiqi vəziyyətdə dayaq üzərinə qoyub, katetometr vasitəsilə onların  $D_1, D_2$  və  $D_3$  diametrlərini ölçməli.



Şəkil - 3

3. Kapilyar boruların üçünü də  $\mathcal{S}q$  şaqulunun köməyi ilə  $S$  sıxacına şaquli vəziyyətdə bərkitməli.

4.  $V$  vintini boşaldaraq  $S$  sıxacı aşağı o qədər endirməli ki, hər üç kapilyarın ucları  $Q$  qabında olan mayeyə  $5\div 7$  sm dərinlikdə batsın. Kapilyarın tam islanmaları üçün  $3\div 5$  dəqiqə gözləməli, sonra isə bu kapilyarları  $2\div 3$  sm hündürlüyə qaldırmalı və  $V$  vintini bərkitməli.

5. Katetometrin baxış borusunu əvvəlcə  $Q$  qabındakı mayenin səthi səviyyəsinə yönəldib onun göstərişini qeyd etməli. Sonra isə, baxış borusunu ardıcıl olaraq hər bir kapilyarda olan meniskin dib nöqtələrinə tuşlayıb katetometrin göstərişlərini qeyd etməli. Kapilyarlarda olan maye sütunlarının aşağı və yuxarı uclarına uyğun katetometrin göstərişləri fərqlərini təyin etməklə kapilyarlardakı maye sütunlarının  $(h_{01}), (h_{02})$  və  $(h_{03})$  hündürlüklərini təyin etməli.

6. Təcrübəni ən azı üç dəfə təkrar etməli.

### *Hesabat*

1. Kapilyar borularını  $D_1, D_2$  və  $D_3$  diametrlərinin orta qiymətlərini təyin edib, sonra isə onların uyğun  $R_1, R_2$  və  $R_3$  radiuslarını təyin etməli.

2. Menisklərin formasını nəzərə almaqla kapilyarlarda maye sütunlarının daha dəqiq  $h_1, h_2$  və  $h_3$  qiymətlərini

$$h_1 = h_{01} + \frac{1}{3}R_1 ,$$

$$h_2 = h_{02} + \frac{1}{3}R_2 \quad ,$$

$$h_3 = h_{03} + \frac{1}{3}R_3 .$$

düsturları ilə hesablamalı.

3. Hər bir kapilyar üçün ayrılıqda  $h$  və  $R$  parametrlərin qiymətlərini (5) düsturunda yerinə yazıb mayenin səthi gərilmə əmsalını hesablamalı.

4. Təcrübənin mütləq və nisbi xətasını hesablamalı.



#### 1.4.4. SƏTHİN ƏYRİLİYİ HESABINA YARANAN TƏZYİQİN KOMPENSASIYASI ÜSULU

Ləvazimat : 1) qurğu, 2) tədqiq olunan maye, 3) üç müxtəlif diametrlı kapilyar boru.

##### *Nəzəri məlumat*

Mayenin sərbəst səthi əyri formaya malik olduqda ona səthın əyriliyi hesabına yaranan əlavə təzyiq təsir göstərir və bu təzyiq əyri səthın daxilinə doğru yönəlir. Kapilyar borularda olan mayelərin sərbəst səthləri əyri formaya malik olduqlarından bu mayələrə həmişə əlavə təzyiq təsir göstərir. Maye kapilyarı islatdıqda maye meniski çökük olur və yaranan əlavə təzyiq atmosfer təzyiqinin əksi istiqamətində yönəlir. Maye kapilyarı islatmadıqda isə menisk qabarıq olur və yaranan əlavə təzyiq atmosfer təzyiqi istiqamətində yönəlir.

Silindrik kapilyarda səthi gərilmə əmsalı  $\alpha$  olan maye meniskinin radiusu  $r$  olarsa, yaranan əlavə təzyiq

$$\Delta p = \frac{2\alpha}{r} \quad (1)$$

düsturu ilə hesablanır. Meniskin kapilyarın divarı ilə əmələ gətirdiyi kənar bucaq  $\delta$  olarsa, meniskin  $r$  radiusu ilə kapilyarın  $R$  daxili radiusu arasında əlaqə

$$r = \frac{R}{\cos\delta}$$

olar. (1) düsturunda bu ifadəni nəzərə alsaq və sadə riyazi çevirmə aparsaq, onda mayenin  $\alpha$  səthi gərilmə əmsalını təyin etmək üçün

$$\alpha = \frac{R \Delta p}{2 \cos \delta} \quad (2)$$

ifadəsi alınar.

Maye kapilyarın divarını tam isladırsa, onda  $\delta = 0$  ( $\cos \delta = 1$ ) olur və  $\alpha$  əmsalı

$$\alpha = \frac{R}{2} \Delta \rho \quad (3)$$

düsturu ilə hesablanır.

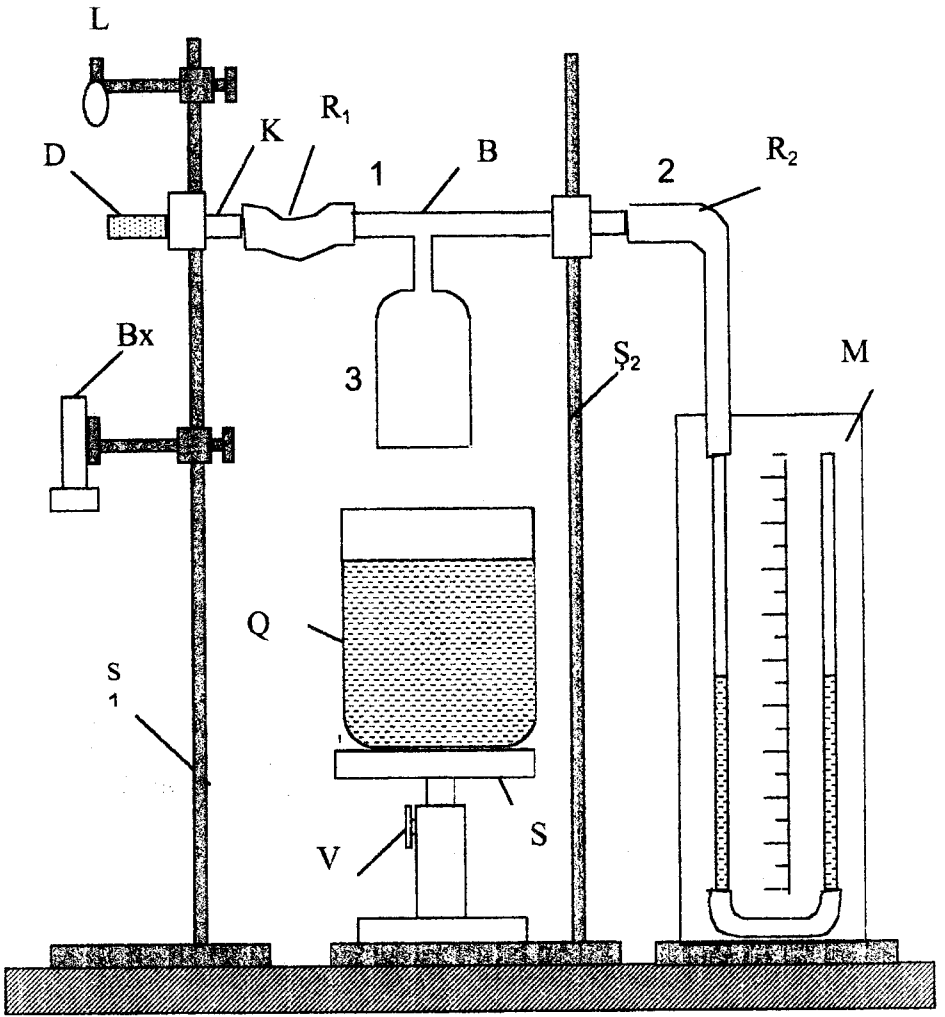
Şaquli boruda yerləşən  $\rho$  sıxlığa və  $h$  hündürlüyə malik olan maye sütununun yaratdığı hidrostatik təzyiqlə kapilyarda yaranan  $\Delta p$  əlavə təzyiqlə kompensasiya olunarsa, yəni  $\Delta p = \rho g h$  olarsa,  $\alpha$  əmsalını təyin etmək üçün

$$\alpha = \frac{1}{2} R \rho g h \quad (4)$$

ifadəsi alınar.

### *Qurğunun təsviri*

Qurğu sxematik olaraq Şəkil – 4-də göstərilmişdir. İçərisində bir damla  $D$  tədqiq olunan maye olan  $K$  kapilyar



Şekil - 4

boru  $\text{Ş}_1$  ştativinə üfiqi vəziyətdə bərkidilir. Bu kapilyarın 1 ucu B borusunun bir ucuna keçirilmiş  $R_1$  rezin boruya daxil edilir. B borusu  $\text{Ş}_2$  ştativinə bərkidilib və onun 2 ucu  $R_2$  rezin boru vasitəsi ilə M manometre birləşdirilir. B borusunun 3 ucu isə S skamyasının üstündə olan Q qabından yuxarıda saxlanılır. Q qabına onun həcmnin təxminən üçdə iki hissəsi qədər su tökülür. V vinti vasitəsilə Q şaquli istiqamətdə hərəkət etdirilə bilər. B borusunda havanın təzyiqini artırmaqla D damcısına təsir etmək üçün Q qabı V vinti vasitəsilə yuxarı qaldırılır və borunun 3 ucunu suya batırmaqla boruda hava sıxılır. Yaranan əlavə təzyiq M monometrilə ölçülür. K kapilyarının havada olan ucunda D maye damcısının əmələ gəldiyi mənski müşahidə etmək üçün  $B_x$  baxış borusundan və L lampasından istifadə olunur.

### Ölçmələr

1. Ucları yaxşı cilalanmış K kapilyar borunun bir ucunu tədqiq olunan mayeyə batırmaq və kapilyara bir damcı maye daxil etməli.
2. K kapilyarının damcı olan ucunu təmiz silib və qurutmaq.
3. K kapilyarını  $\text{Ş}_1$  ştativinə üfiqi vəziyətdə bərkitməli, onun içərisində maye damcısı olmayan ucunu  $R_2$  rezin boruya birləşdirməli.
4. L lampasını məmbəyə qoşmaq və  $B_x$  baxış borusunu K kapilyarının havadakı ucuna tuşlatmaq.
5. V vintini burmaqla S skamyasını yuxarı qaldırmaq B borusunun 3 ucunu qabdakı mayeyə toxundurmaq.
6. Baxış borusu ilə kapilyarın uçundakı maye mənskini müşahidə edərək, eyni zamanda V vintini ehməlcə

burmaqla B borusunun 3 ucunu mayeyə o dərinliyə qədər batırmalı ki, kapilyarın ucunda D maye damcısının səthi müstəvi forma alsın. Sonra isə M manometrin qollarındaki maye səviyyəsinin  $h$  fərqi qeyd etməli.

7. Üç müxtəlif diametrlı kapilyardan istifadə etməklə təcrübəni üç dəfə təkrar etməli.

### *H e s a b a t.*

1. Manometrə olan mayenin  $\rho$  sıxlığını və kapilyarların R daxili radiuslarını cədvəldən götürməli.
2. Manometrin  $h$  göstərişini və R ilə  $\rho$ -nun cədvəldən götürülmüş qiymətlərini (4) düsturunda yerinə qoyub, mayenin  $\alpha$  səthi gərilmə əmsalını hər bir kapilyar üçün ayrılıqda təyin etməli və sonra isə onların orta qiymətini hesablamalı.
3. Təcrübənin mütləq və nisbi xətalərini (4) düsturundan istifadə edərək hesablamalı.

### 1.4.5. HAVA QABARCIĞINDA MAKSİMUM TƏZYİQ ÜSULU

Ləvazimat : 1) qurğu, 2) tədqiq olunan maye, 3) etalon maye (distillə edilmiş su).

#### *Nəzəri məlumat*

Hava qabarcıqlarının əmələ gəlməsi mayenin səthi gərilmə hadisəsi ilə bağlıdır. Təcrübi olaraq bunu asanlıqla müşahidə etmək olar. Əgər bir ucu mayenin sərbəst səthinə toxunan şaquli nazik borunun digər ucundan ona hava daxil edilərsə, onda mayenin boru daxilində qalan səthi gərilməmiş pərdə kimi çökək forma alacaq, yəni hava qabarcığı əmələ gələcəkdir. Boruya havanın daxil edilməsi davam etdirilərsə qabarcıq müəyyən həcmə qədər böyüyəcək və sonra isə partlayacaqdır. Deməli qaracığın içərisində olan havanın təzyiqi maksimum olduqda o partlayır. Müəyyən olunmuşdur ki, bu maksimum təzyiq yaranan anda, yəni hava qabarcığı partlayan halda, mayenin  $\alpha$  səthi gərilmə əmsalı ilə  $P$  maksimum təzyiq arasında

$$\alpha = AP \quad (1)$$

münasibəti vardır. Burada  $A$  mütənasiblik əmsalı olub, yalnız borunun mayeyə toxunan ucunun hündəsi ölçülərindən asılı olan sabit kəmiyyətdir. Ona cihaz sabiti də deyirlər.

Əgər qurğunun A cihaz sabiti məlumdursa, onda (1) düsturundan istifadə edərək mayenin  $\alpha$  səthi gərilmə əmsalını hesablamaq olar. Əks halda, A sabiti məlum deyilsə, onda ilk növbədə qurğunun A sabiti təyin edilir. Bu məqsədlə  $\alpha_e$  səthi gərilmə əmsalı məlum olan mayedən, yəni etalon mayedən istifadə edərək

$$\alpha = \frac{\alpha_e}{P_e} \quad (2)$$

Düsturu ilə A sabiti təyin olunur. Burada,  $P_e$  etalon mayenin hava qabarcığındakı maksimum təzyiqdır.

Əgər (2) ifadəsi (1)-də nəzərə alınsa  $\alpha$  əmsalı

$$\alpha = \frac{P}{P_e} \alpha_e \quad (3)$$

düsturu ilə hesablanır.

Tədqiq olunan və etalon maye qabarcıqlarında uyğun  $P$  və  $P_e$  maksimum təzyiqləri U şəkilli manometrlə ölçülərsə, onda

$$\begin{aligned} P &= \rho g h \\ P_e &= \rho_e g h_e \end{aligned} \quad (4)$$

olar.

Burada,  $\rho$  manometrə olan mayenin sıxlığı,  $g$  – sərbəstdüşmə təcili,  $h$  və  $h_e$  isə tədqiq olunan və etalon

maye qabarcıqlarının partlama anında manometr qollarındaki maye səviyyələrinin fərqi, yeni manometr göstərişidir.

(4) ifadələrini (3) – də nəzərə alsaq tədqiq olunan mayenin  $\alpha$  səthi gərilmə əmsalını hesablamaq üçün

$$\alpha = \frac{h}{h_e} \alpha_e \quad (5)$$

düsturu alınar.

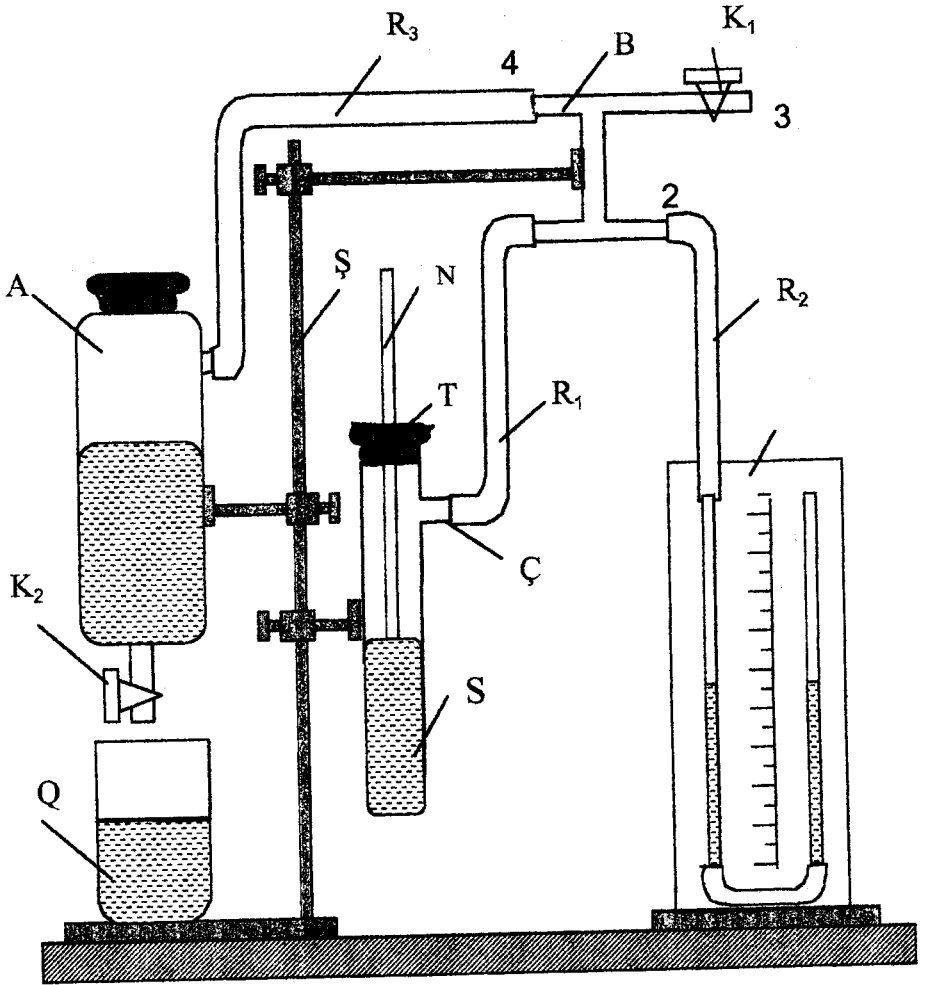
### *Qurğunun təsviri*

Qurğunun sxematik təsviri Şəkil - 5 –də göstərilmişdir. Tədqiq olunan maye S sınaq şüşəsinə tökülür və sınaq şüşəsi, ortasından N nazik boru keçən T tıxacı ilə kip bağlanır. Bu sınaq şüşəsi Ş ştativinə şaquli vəziyyətdə bərkidilir. S sınaq şüşəsinin Ç çıxıntısı vardır. Bu çıxıntı  $R_1$  rezin boru ilə dörd ucu olan və Ş ştativinə bərkidilmiş B borusunun 1 ucuna birləşdirilir. B borusunun 2 ucu  $R_2$  rezin boru ilə U şəkilli M manometrə, 3 ücü  $K_1$  kranı ilə atmosfərə və 4 ucu isə  $R_3$  rezin boru vasitəsilə Ş ştativinə bərkidilmiş A aspiratoruna birləşdirilir. Aspiratorun içərisindəki suyu Q qabına tökmək üçün  $K_2$  kranından istifadə edilir.

### *Ölçmələr*

1. A aspiratorunun  $K_2$  kranını bağlayıb onu su ilə doldurmalı və aspiratorun altına Q qabını qoymalı.





Şekil - 5

2. Dörd uclu B borusunun 3 ucundakı  $K_1$  kranını açmalı və tədqiq olunan mayedən müəyyən qədər, təxminən sınaq şüşəsinin üçdə bir həcmi qədər, S sınaq şüşəsinə tökməli.

3. Ortasındakı deşikdən N nazik boru keçən T tıxacı ilə S sınaq şüşəsinin ağzını kip bağlamalı və N nazik borunu ehmalca sınaq şüşəsinə daxil edərək onun ucunu maye səthinə toxundurmalı.

4. Dörd uclu B borusunun  $K_1$  kranını bağlayıb A aspiratorunun  $K_2$  kranını azacıq açaraq ondan suyu damcıdamcı Q qabına axıtmalı.  $K_2$  kranınıqı elə açıq vəziyyətdə saxlamalı ki, N nazik borunun ucunda hava qabarcıqlarının əmələ gəlməsi və partlaması nisbətən böyük fasilələrlə baş versin və qabarcıqlar partlayan anda manometrin  $h$  göstərişini qeyd etmək mümkün olsun.

5. Hava qabarcıqlarının əmələ gəlməsi və partlaması prosesi qərarlaşdıqdan sonra, ən azı on dənə qabarcıq partlayan anlara uyğun manometr qollarındakı maye səviyyələrinin  $h$  fərfini qeyd etməli.

6. Tədqiq olunan maye əvəzinə etalon maye götürüb, yuxarıdakı 1÷5 bəndlərində göstərilənləri təkrar yerinə yetirib və etalon maye üçün manometr qollarındakı maye səviyyələrinin  $h_e$  fərfini qeyd etməli.

### *H e s a b a t.*

1. Manometrin  $h$  və  $h_e$  göstərişlərini və etalon mayenin cədvəldən götürülmüş  $\alpha_e$  əmsalını (5) düsturunda yerinə qoyub tədqiq olunan mayenin  $\alpha$  əmsalını hesablamalı.

2. Təcrübənin mütləq və nisbi xəalarını hesablamalı.

## II. FƏSİL

### MAYELƏRDƏ DAXİLİ SÜRTÜNMƏ HADİSƏSİ

#### 2.1. Mayelərdə və qazlarda laminar və turbulent axın haqqında qısa nəzəri məlumat

Maddənin bərk və qaz hallarından fərqli olaraq, maye halında qonşu molekulalar arasında cazibə qüvvəsi itələmə qüvvəsinə nəzərən çox böyük olur və bu səbəbə görə maye axıcılıq xassəsi kəsb edir.

Mayələrin axını xaraktercə laminar və turbulent olur.

Axın zamanı maye hissəcikləri bir-birinə paralel laylar üzrə hərəkət edirsə belə axın laminar axın adlanır.

Tərifdən göründüyü kimi, laminar axın zamanı paralel laylardakı hissəciklərin "öz layını" tərk etməsi baş vermir. Bundan fərqli olaraq elə axına rast gəlmək olur ki, orada maye hissəcikləri mürekkəb hərəkət edərək burulğan əmələ gətirir, yeni laylardakı hissəciklərin qarışması baş verir. Belə axın turbulent axın adlanır.

Qeyd edək ki, laminar axın zamanı axın borusunun ixtiyari nöqtəsində maye hissəciklərinin sürəti zaman keçdikcə dəyişmir. Bu sözləri turbulent axın üçün demək olmaz. Turbulent axın zamanı axın borusunun hər bir nöqtəsində hissəciklərin sürəti zaman keçdikcə dəyişir. Deməli laminar axın stasionar (qərarlaşmış), turbulent axın isə qeyri-stasionar (qərarlaşmamış) axındır.

Mayələrin laminar və turbulent axını zamanı molekulaların bir laydan digər laya keçib-keçməməsini qeyd

etdik. Belə keçid molekulların xaotik hərəkəti ilə deyil, istiqamətlənmiş (axınla birlikdə) hərəkəti ilə əlaqədardır. Molekulların xaotik hərəkətləri nəticəsində laylararası keçidi hər iki axında baş verir. Daxili sürtünmə məhz belə keçidlərin təsiri ilə yaranır. Keçid icra edən molekul özü ilə müəyyən impuls (hərəkət miqdarı) aparır və ona görə də qonşu layların nisbi sürəti dəyişir. Nəticədə sanki laylar arasında sürtünmə yaranır. Bu isə axına perpendikulyar istiqamətdə axın sürətinin dəyişməsinə, daha dəqiq desək, axın borusunun divarına yaxınlaşdıqca sürətin azalmasına səbəb olur.

## 2.2. Daxili sürtünmə əmsalı və onun vahidləri

Maye və qazlarda daxili sürtünmə hadisəsini xarakterizə edən əsas parametrlərdən biri daxili sürtünmə əmsalıdır. Bu əmsalın fiziki mahiyyəti maye və qazlar üçün eyni olduğunu nəzərə alıb onun haqqında qısa nəzəri məlumat vermək üçün əsasən mayelərdən söhbət açacağıq və yalnız zəruri hallarda qazların daxili sürtünməsindən danışacağıq.

Mayenin silindirik borudan laminar axınına müxtəlif sürətli maye laylarının hərəkəti kimi baxmaq olar: hər bir layın sürəti sabit olub digər layların sürətindən fərqlənir. Layların sabit sürətlə hərəkət etməsi o deməkdir ki, silindirik borunun uclarındakı sabit təzyiqlər fərqi hesabına meydana çıxan və bu laylara təsir edən təzyiqlə qüvvəsi maye daxilində bu laylara təsir edən digər qüvvə ilə tarazlaşır (əks halda laylar Nyutonun ikinci qanununa görə sabit təcillə hərəkət edərdi). Bu qüvvəyə mayenin daxili sürtünmə qüvvəsi deyilir.

Təcrübi olaraq müəyyən edilmişdir ki, müxtəlif sürətlərlə hərəkət edən qonşu maye laylarına onların nisbi sürətlərinin əksinə yönəlmiş sürtünmə qüvvəsi (F) təsir göstərir. Bu qüvvə

$$F = \eta \frac{dv}{dx} S \quad (1)$$

düsturla təyin olunur.

Burada S – layların toxunan səthlərinin sahəsi,  $\frac{dv}{dx}$  – axına perpendikulyar istiqamətdə sürət qradientidir (sürətin vahid məsafədə dəyişməsidir),  $\eta$  - mayenin daxili sürtünmə əmsalidir. Bəzən  $\eta$  dinamik özlülük əmsalı və ya sadəcə olaraq özlülük əmsalı da adlanır.

Bir çox hallarda isə mayenin dinamik özlülük əmsalının ( $\eta$ ) onun sıxlığına ( $\rho$ ) olan nisbəti kimi təyin olunan

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (2)$$

kinematik özlülük əmsalından da istifadə olunur.

Əgər (1) düsturunda layın toxunma səthinin sahəsinin və sürət qradientinin vahidə bərabər olduqlarını qəbul etsək, onda daxili sürtünmə əmsalı ədədi qiymətcə sürtünmə qüvvəsinə bərabər olar. Deməli, mayenin daxili sürtünmə əmsalı sürət qradienti vahid olduqda layın vahid sahəli toxunma səthinə təsir edən sürtünmə qüvvəsinə bərabər olan kəmiyyətə deyilir.

SQS vahidlər sistemində daxili sürtünmə əmsalı vahidi olaraq Puaz qəbul edilmişdir: 1 Puaz, sürət qradienti  $1 \frac{sm}{s}$

olduqda (yəni 1 sm məsafədə sürətin  $1 \frac{sm}{s}$  dəyişməsi zamanı) toxunma səthinin sahəsi 1 sm<sup>2</sup> olan maye layına 1 dina sürtünmə qüvvəsi təsir edən mayenin daxili sürtünmə əmsalındır, yəni

$$[\eta] = 1P_{uaz} = 1P_z = 1 \frac{dn \cdot sm}{sm^2 \cdot sm/s} = 1 \frac{q}{sm \cdot s}$$

BS vahidlər sistemində daxili sürtünmə əmsalı vahidi aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$[\eta] = 1 \frac{N \cdot m}{m^2 \cdot m/s} = 1 \frac{kq}{m \cdot s} = 10P_z$$

Kinematik özlülük əmsalı, (2) düsturundan göründüyü kimi, mayenin sıxlığının hər vahidinə düşən dinamik özlülük əmsalına bərabərdir. SQS vahidlər sistemində kinematik özlülük əmsalı vahidi olaraq Stoks qəbul edilmişdir:

$$[\nu] = 1Stoks = 1St = 1 \frac{P_z}{q/sm^3} = 1 \frac{q/sm \cdot s}{q/sm^3} = 1 \frac{sm^2}{s}$$

BS vahidlər sistmində kinematik özlülük əmsalı vahidi

$$[\nu] = 1 \frac{kq/m \cdot s}{kq/m^3} = 1 \frac{m^2}{s} = 10000St$$

olar.

Daxili sürtünmə əmsalı ilk növbədə mayələrin molekulyar quruluşundan asılıdır. Məlumdur ki, maye molekulları kiçik rəqsi hərəkətdə olurlar. Bu rəqsi hərəkət ölçüsü molekulların ölçüləri tərtibində olan molekullar arasındakı məsafələrdə baş verir. Zaman keçdikcə rəqs edən molekullar fluktasiya nəticəsində qonşu molekulların təsiri ilə yerlərini sıçrayışla dəyişib rəqsi hərəkətlərini yenidən davam etdirir. Beləliklə maye molekulları daimi bu cür istilik hərəkətində olur. Aydın ki, molekullar arasındakı məsafə böyüdükcə mayenin axını da artır. Deməli bu zaman axıcılığın tərs qiyməti ilə mütənasib olan daxili sürtünmə əmsalı azalır. Bu səbəbdən daxili sürtünmə əmsalının temperatur asılılığı

$$\eta = S \exp \frac{w}{\kappa T} \quad (3)$$

kimə ifadə olunan Frenkel – Andrade düsturu ilə təyin olunur. Burada S – molekulların orta sıçrayış məsafəsindən, rəqs tezliyindən və mayenin temperaturundan asılı vuruqdur, w - molekulların aktivləşmə enerjisi olub, onun sıçrayış etməsinə sərf edilir, k – Bolsman sabitidir və T – mütləq temperaturdur.

S vuruğunun temperaturdan asılılığı zəif olduğu üçün  $\eta$  -nin temperatur asılılığı əsasən  $\exp \frac{w}{\kappa T}$  vuruğu ilə müəyyən olunur, yəni temperatur artdıqca  $\eta$  sürətlə azalır. Həqiqətən, məsələn, temperatur 0 °S – dən 100 °S – yə qədər artdıqda suyun daxili sürtünmə əmsalı  $1,8 \cdot 10^{-2}$  - dən  $2,8 \cdot 10^{-3} \frac{q}{sm \cdot s}$  - yə qədər azalır.

Mayelərdən fərqli olaraq qazlarda daxili sürtünmə əmsalı temperatur artdıqca artır, belə ki,  $\eta$  əmsalı  $T^{1/2}$  ilə mütenasibdir.

Yuxarıda deyilənlərdən aydın olur ki, daxili sürtünmə əmsalı real maye və qazları xarakterizə edən əsas fiziki kəmiyyətlərdən biridir. Bu kəmiyyət təcrübi olaraq müxtəlif üsullarla təyin edilir.



## 2.3. MAYELƏRDƏ DAXİLİ SÜRTÜNMƏ ƏMSALININ TƏYİNİ

### 2.3.1. KAPİLYAR VİSKOZİMETR ÜSULU

Ləvazimat: 1) qurğu, 2) təcziq olunan maye,  
3) etalon maye (təmiz su),  
4) saniyəölçən, 5) damcıladıcı  
(pipetka) və ya qıf, 6) süzgəc kağızı,  
7) piknometr.

#### *N ə z ə r i m ə l u m a t*

Maye laminar axarkən onun sürətinin axına perpendikulyar istiqamətdə paylanması Puazeyl qanunu ilə ifadə olunur. Əgər uclarındakı təzyiqlər fərqi  $\Delta P$  olan  $r$  radiuslu və  $l$  uzunluqlu silindirik boru ilə özlülüyü  $\eta$  olan maye axırsa, onda borunun mərkəzindən radial istiqamətdə  $x$  məsafədə mayenin sürəti Puazeyl qanununa görə aşağıdakı düsturla təyin olunur:

$$v(x) = \frac{\Delta P}{4\eta l} (r^2 - x^2) \quad (1)$$

Göründüyü kimi, mayenin  $v$  sürəti  $x$  məsafəsindən asılı olaraq parabolik qanunla dəyişir. Bu düsturdan istifadə edərək borunun ən kəsiyindən  $t$  müddətində axan mayenin  $V$  həcmi təyin etmək üçün

$$V = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8 \eta l} \quad (2)$$

ifadəsini almaq olar. Bu ifadə Puazeyl düsturu adlanır.

Puazeyl düsturundan görünür ki, silindirik borudan maye axarkən  $\Delta P$ ,  $r$ ,  $t$ ,  $l$  və  $V$  kəmiyyətlərini ölçüb borudan axan mayenin  $\eta$  özlülük əmsalını hesablamaq olar. Lakin, praktiki olaraq buna nail olmaq o qədər də asan deyildir. Çünki (2) düsturundan istifadə edilərkən maye axınının laminarlıq şərti mütləq ödənilməlidir. Əks halda axın Puazeyl düsturu tətbiq edilə bilməyən turbulent xarakterli olar.

Axının laminar və turbulent xarakterli olması mayenin təbiətindən, axın sürətindən və borunun həndəsi ölçülərindən asılıdır. Beləki, sıxlığı  $\rho$  olan maye silindirik boru ilə axarkən laminar xarakterdən turbulent xarakterə Reynolds ədədi müəyyən kritik qiymətdən böyük olduqda keçir (*məsələn, silindirik boruda axan su üçün onun kritik qiyməti 1000-dir*). Reynolds ədədi adsız kəmiyyətdir və belə təyin olunur:

$$Re = \frac{\rho v r}{\eta} \quad (3)$$

(3) ifadəsindən görünür ki, sıxlığı  $\rho$  və özlülüğü  $\eta$  olan maye axınının laminar xarakterdən turbulent xarakterə keçməsi  $r$  radiusu kiçik olduqda axın sürətinin nisbətən böyük qiymətlərində baş verə bilər. Məhz bu səbəbə görə  $\eta$  - nı (2) düsturu ilə təyin etmək üçün maye axınının turbulent xarakterə malik olma ehtimalının kiçik olmasını təmin edən hallardan istifadə olunur. Bu hallardan biri də kapilyar

borudan istifadə etməkdir. Buna görə də bəzən bu üsula kapilyar üsul, istifadə olunan cihaza isə viskozimetr deyirlər.

Daxili sürtünmə əmsalını təyin etmək üçün etalon mayedən (özlülük əmsalı və sıxlığı məlum olan mayedən) istifadə etmək daha əlverişlidir. Çünki, etalon mayedən istifadə etdikdə kapilyar borunun həndəsi ölçülərini, uclarındaki təzyiqlər fərqi və axan mayenin həcmi təyin etməyə ehtiyac qalmır. Doğrudan da, əgər eyni bir borudan əvvəlcə müəyyən  $V$  həcmdə özlülüğü məlum olmayan ( $\eta$ ), sonra isə həmin  $V$  həcmdə özlülüğü məlum olan ( $\eta_0$ ) maye axarsa, onda (2) düsturuna əsasən

$$\eta = \frac{\pi r^4}{8V\ell} \cdot t \cdot \Delta P \quad (4)$$

$$\eta = \frac{\pi r^4}{8V\ell} \cdot t_0 \cdot \Delta P_0 \quad (5)$$

Bu ifadələri tərəf – tərəfə bölsək

$$\eta = \eta_0 \frac{t\Delta P}{t_0\Delta P_0} \quad (6)$$

Əgər borunun uclarında təzyiqin atmosfer təzyiqinə bərabər olduğunu, yəni axın yalnız mayelerin ağırlıq qüvvələrinin təsiri ilə baş verdiyini qəbul etsək

$$\Delta P = \rho gh \quad (7)$$

$$\Delta P_0 = \rho_0 g h \quad (8)$$

Burada  $g$  - sərbəst düşmə təcili,  $h$  – maye sütununun hündürlüyü (hər iki maye üçün eynidir),  $\rho$  - tədqiq olunan mayenin sıxlığı,  $\rho_0$  etalon mayenin sıxlığıdır.

(7) və (8) ifadələrini (6) – da nəzərə alsaq

$$\eta = \eta_0 \frac{t \rho}{t_0 \rho_0} \quad (9)$$

(9) düsturundan görünür ki, etalon mayedən istifadə etdikdə tədqiq olunan mayenin daxili sürtünmə əmsalını təyin etmək üçün eyni həcmli mayələrin kapilyar borudan axma müddətlərini ( $t$  və  $t_0$ ) və tədqiq olunan mayenin  $\rho$  sıxlığını təcrübi olaraq ölçmək kifayətdir.

### *Q u r ğ u n u n t ə s v i r i*

Daxili sürtünmə əmsalı sxematik olaraq şəkildə göstərilən kapilyar viskozimetrlə təyin edilir. Bu viskozimetr U formalı şüşə borudur. Onun bir qolu borudan (1) və ona birləşmiş tutumdan (2), digər qolu isə kapilyar borudan (3), ona birləşmiş tutumdan (4) və həmin tutuma birləşmiş nisbətən böyük radiuslu borudan (5) ibarətdir. Viskozimetrdəki mayeni sormaq üçün 5 borusuna rezin boru (6) taxılır. Kapilyar borudan keçən maye həcmi göstərmək üçün onun və radiusu nisbətən böyük olan 5 borusunun üzərində  $m$  və  $n$  cizgiləri çəkilmişdir.

Viskozimetr Ş ştativin S sıxacına bərkidilib içərisində su olan Q şəffaf qaba şaquli vəziyyətdə elə salınır ki, suyun

səviyyəsi n cizgisindən yuxarıda olsun. Q şəffaf qaba Qz qızdırıcısı, Qr qarışdırıcısı və T termometri daxil edirlər.

### *Ölçmələr*

1. Qurğunu təşkil edən hissələrin işə yararlı olmasını nəzərdən keçirməli və onun təcrübəni aparmaq üçün tam hazır olmasını yoxlamalı.
2. Viskozimetri ştativin S sıxacından açıb onu əvvəlcə təmiz su ilə, sonra isə tədqiq olunan maye ilə yumalı.
3. Tədqiq olunan mayeni damcıladıcı və ya qıf ilə 1 borusundan viskozimetmə tökməli. Maye viskozimetrin 2 tutumunun təxminən yarısına qədər dolmalıdır.
4. Viskozimetri ştativin S sıxacına berkidib şaquli vəziyyətdə Q şəffaf qaba elə salmalı ki, qabın içərisindəki suyun səviyyəsi viskozimetrin üzərindəki n cizgisindən yuxarıda olsun.
5. 10 - 15 dəqiqə gözləməli və sonra T termometrın göstərişini qeyd etməli.
6. Rezin boru (6) ilə mayeni n cizgisindən yuxarı səviyyəyə qalxana kimi sormalı.
7. Sormanı dayandırıb rezin borunun ucunu atmosferdə saxlayaraq viskozimetrin qolundakı mayenin enməsinə müşahidə etməli və menisk n cizgisindən keçdiyi anda saniyəölçəni işə salmalı, m cizgisindən keçdiyi anda isə saniyəölçəni dayandırmalı.
8. Saniyəölçənin göstərişini, viskozimetrin n və m cizgiləri arasında yerləşən həcmdəki mayenin 3

kapilyarı ilə axdığı  $t$  müddəti qeyd etməli. Ölçməni bir neçə dəfə (ən azı 3 dəfə) təkrar etməli.

9. Viskozimetri ştativin S sıxacından açmalı və içərisindəki mayeni boşaldıb onu təmiz su ilə yumalı.
10. Tədqiq olunan maye əvəzinə etalon maye (təmiz su) töküüb təcrübəni 3 - 5 bəndlərdə göstərilən qaydada təkrar edərək viskozimetrin  $m$  və  $n$  cizgiləri arasında yerləşən həcmdəki etalon mayenin 3 kapilyarı ilə axdığı  $t_0$  müddəti qeyd etməli. Ölçməni bir neçə dəfə (ən azı 3 dəfə) təkrar etməli.
11. Tədqiq olunan mayenin  $\rho$  sıxlığını piknometrlə təyin etmək üçün boş piknometrin  $M_0$  kütləsini təyin etməli. Sonra onu tədqiq olunan maye ilə doldurub Q qabının içərisindəki suya salaraq 10 - 15 dəqiqə saxladıqdan sonra piknometrdeki mayenin səviyyəsini onun üzərindəki cizgiyə çatdırmalı (əgər səviyyə cizgidən aşağı olsa damcıladıcı ilə maye əlavə etməli, yuxarı olsa süzgec kağızı ilə mayedən götürməli). Piktometri Q qabından çıxarıb səylə qurutmalı və onun maye ilə birlikdə  $M_m$  kütləsini təyin etməli. Bu əməliyyatları piknometrə maye əvəzinə təmiz su dolduraraq təkrar etməli və piknometrin su ilə birlikdə  $M_s$  kütləsini təyin etməli.
12. Qızdırıcı ilə Q qabındakı suyu qızdırıb təcrübəni 3 - 11 punktlarda göstərilən qaydada təkrar edərək  $t$ ,  $t_0$ ,  $M_0$ ,  $M_m$  və  $M_s$  kəmiyyətlərinin müxtəlif temperaturlardakı qiymətlərini təyin etməli. Belə ki, temperaturu hər dəfə 4 - 6 °S artırmaq şərti ilə

suyun temperaturu 50 – 60 °S olana kimi təcrübəni aparmalı.

13. Qurğunu işdən azad edib səhmana salmalı və istifadə olunan ləvazimatları laboranta təhvil verməli.

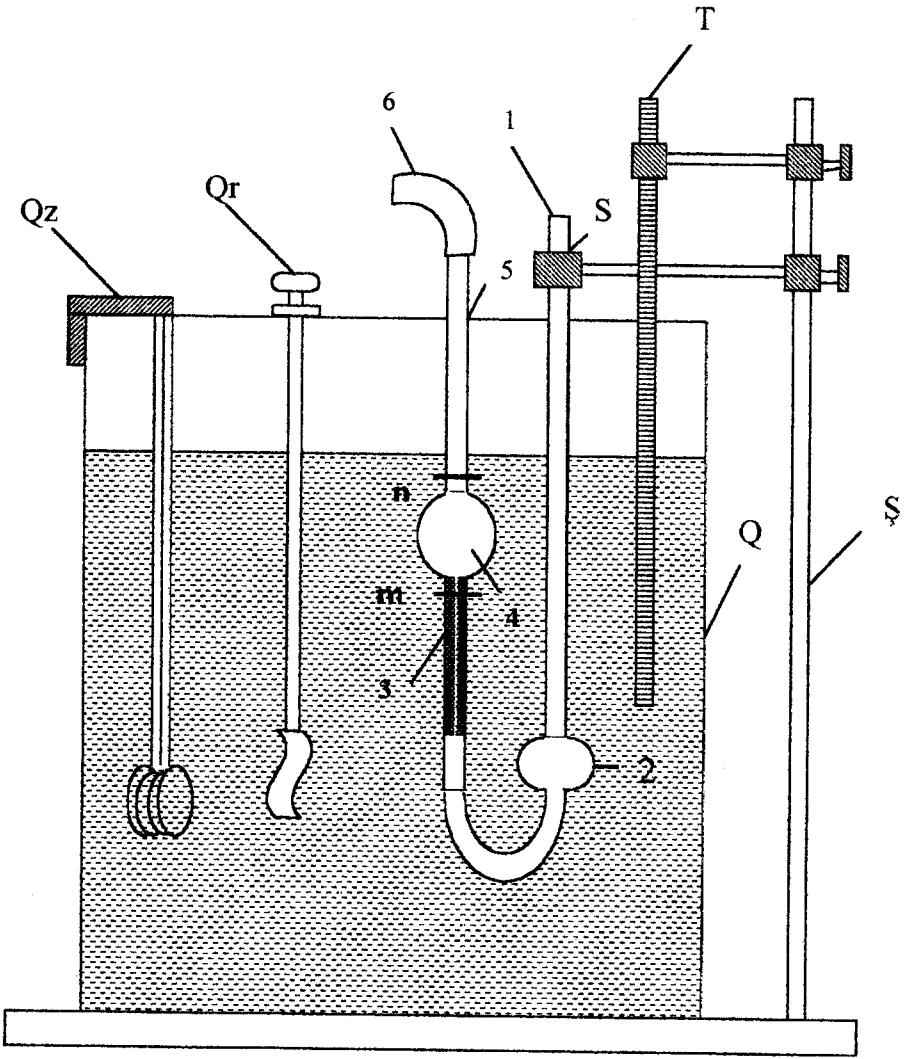
### *Hesabat*

1. Tədqiq olunan və etalon mayelərin kapilyar borudan axma müddətlərinin  $\bar{t}$  və  $\bar{t}_0$  orta qiymətlərini təyin etməli.
2. Tədqiq olunan mayenin  $\rho$  sıxlığını
- 3.

$$\rho = \frac{M_m - M_0}{M_s - M_0} (\rho_0 - \lambda) + \lambda$$

düsturu ilə hesablamalı. Burada  $\lambda$  - havanın sıxlığı ( $\lambda = 0,0012 \frac{\text{q}}{\text{sm}^3}$ ),  $\rho_0$  - təcrübə temperaturunda suyun sıxlığıdır (cədvəldən götürməli).

4. Müxtəlif temperaturlarda təyin edilmiş  $\bar{t}$ ,  $\bar{t}_0$  və  $\rho$  - nün qiymətlərini (9) düsturunda nəzərə alıb tədqiq olunan mayenin daxili sürtünmə əmsalını hesablamalı. Bu zaman suyun  $\eta_0$  və  $\rho_0$  parametrlərinin müxtəlif temperaturlardakı qiymətlərini cədvəldən götürməli.
5.  $\eta$  - nın temperaturdan asılılıq qrafikini qurmalı.
6. Təcrübənin mütləq və nisbi xətarlarını hesablamalı.



Şekil - 1



### 2.3.2. STOKS ÜSULU

**Ləvazimat.** 1) qurğu, 2) müxtəlif radiuslu kürəciklər, 3) mikrometr, 4) saniyəölçən, 5) xətkəş

#### *N ə z ə r i m ə l u m a t*

Bərk cisim özü maye içərisində hərəkət etdikdə maye layları arasında sürtünmə qüvvəsi meydana çıxır. Bu qüvvə bərk cismin həndəsi ölçülərindən, hərəkət sürətindən, mayenin daxili sürtünmə əmsalından və sıxlığından asılıdır.

Təcrübi olaraq müəyyən edilmişdir ki, bərk kürəcik, xətti ölçüləri bu kürəciyin  $r$  radiusundan çox-çox böyük olan qabda yerləşmiş  $\eta$  özlülüyünə malik maye içərisində arxasınca burulğan əmələ gətirməyən  $v$  sürəti ilə hərəkət edərsə ona

$$F_s = 6\pi\eta vr \quad (1)$$

müqavimət qüvvəsi təsir edir. Bu qüvvə stoks qüvvəsi adlanır.

Mayenin daxili sürtünmə qüvvəsinin (1) ilə ifadə olunduğunu bilərək  $\eta$  özlülük əmsalını təyin etmək üçün bərk kürəciyin maye daxilində düşməsindən istifadə etmək olar. Əgər  $M$  kütləli və  $r$  radiuslu kürəcik çox böyük radiusa  $R$  malik ( $R > r$ ) silindirik qabda yerləşmiş özlü maye içərisində arxasınca burulğan əmələ gətirmədən silindirin oxu boyunca düşürsə, bu zaman ona hərəkət istiqamətində yönəlmiş  $P$  ağırlıq qüvvəsi ilə yanaşı, hərəkətin əksi istiqamətdə yönəlmiş  $F_A$  Arximed və  $F_s$  Stoks qüvvələri təsir

göstərir. Onda Nyutonun ikinci qanununa əsasən bu kürəciyin hərəkət tənliyi

$$m \frac{dv}{dt} = P - F_A - F_S \quad (2)$$

Kürəciyin və mayenin sıxlıqları uyğun olaraq  $\rho$  və  $\rho_m$ , sərbəstdüşmə təcili  $g$  olarsa,  $P$  və  $F_A$  qüvvələri aşağıdakı kimi təyin olunar:

$$P = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g$$

$$F_A = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_M g \quad (3)$$

Buradan görünür ki, kürəciyə təsir edən  $P$  və  $F_A$  qüvvələri hərəkət zamanı sabit qalır, lakin  $F_S$  müqavimət qüvvəsi, (1) ifadəsindən görüldüyü kimi sabit qalmayıb kürəciyin sürəti artdıqca o da artır. Nəticədə kürəciyə təsir edən əvəzləyici qüvvə və eyni zamanda kürəciyin hərəkət təcili azalır. Əgər (1) və (3) ifadələrini (2) – də nəzərə alıb sadə riyazi çevirmələr aparsaq kürəcik təcilinə sürətdən asılı olaraq azalması

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\rho - \rho_M}{\rho} \cdot g - \frac{9}{2} \frac{\eta}{\rho r^2} v \quad (4)$$

kimi ifadə olunar. Göründüyü kimi, kürecik hərəkət edərək elə  $v_0$  sürətinə malik olur ki, bu zaman onun təcili sıfıra bərabər olur, yeni kürecik bərabərsürətlə hərəkət edir. (4)

düsturunda olduqda  $\frac{dv_0}{dt} = 0$  olduğunu nəzərə alsaq

$$v_0 = \frac{2}{9} \frac{\rho - \rho_M}{\eta} gr^2 \quad (5)$$

ifadəsini alarıq. Buradan görünür ki, küreciyin radiusu ne qədər kiçik olsa, o daha kiçik sürətlə bərabərsürətli (qərarlaşmış) hərəkət edir. Əgər kürecik  $v_0$  sürətinə malik olduqdan sonra  $t$  müddətində  $l$  məsafəsi gedərsə, onda

$$v_0 = \frac{l}{t} \quad (6)$$

olar. (6) – nı (5) – də nəzərə alsaq mayenin  $\eta$  daxili sürtünmə əmsalını hesablamaq üçün

$$\eta = \frac{2}{9} \frac{\rho - \rho_M}{l} gr^2 t \quad (7)$$

düsturunu alarıq.

Daxili sürtünmə əmsalını dəqiq təyin etmək üçün silindirik qabın radiusu ilə küreciyin radiusu arasındakı münasibəti, daha dəqiq desək, qabın divarı ilə düşən küre arasındakı məsafənin kürənin radiusuna nisbətən kifayət qədər böyük olmasını təmin etmək lazımdır. Əgər silindirik

qabın ölçülərini nəzərə almalı olsaq, onda radiusu R olan silindirik qabdakı mayenin  $\eta$  özlülük əmsalı

$$\eta = \frac{2}{9} \frac{\rho - \rho_M}{\ell \left( 1 + 2,4 \frac{r}{R} \right)} gr^2 t \quad (10)$$

düsturu ilə təyin olunur.

### *Q u r ğ u n u n t ə s v i r i*

Qurğu sxematik olaraq Şəkil – 2-də göstəlirmişdir. Tədqiq edilən maye (qliserin, transformator yağı və s.) ilə doldurulmuş və üzərində  $a_1, a_2, a_3$  cizgiləri olan Q silindirik qab içərisində su olan S silindirik qaba salınaraq M masası üzərinə qoyulur. Masanın tənзимedicі vintlərinin köməklili ilə silindir şaquli vəziyyətə gətirilir. Kürəciyin  $a_1$  cizgisindən keçərkən sabit sürətlə hərəkət etməsini təmin etmək üçün silindirə maye səviyyəsi  $a_1$  cizgisindən ən azı 5 - 8 sm yuxarıda olmalıdır. Təcrübə zamanı mayenin temperaturunu ölçmək üçün S silindirindəki suya dəqiqliyi 0,1 °S – dən az olmayan T termometri salınır. Qurğu Ş şaqulu ilə təchiz olunur.

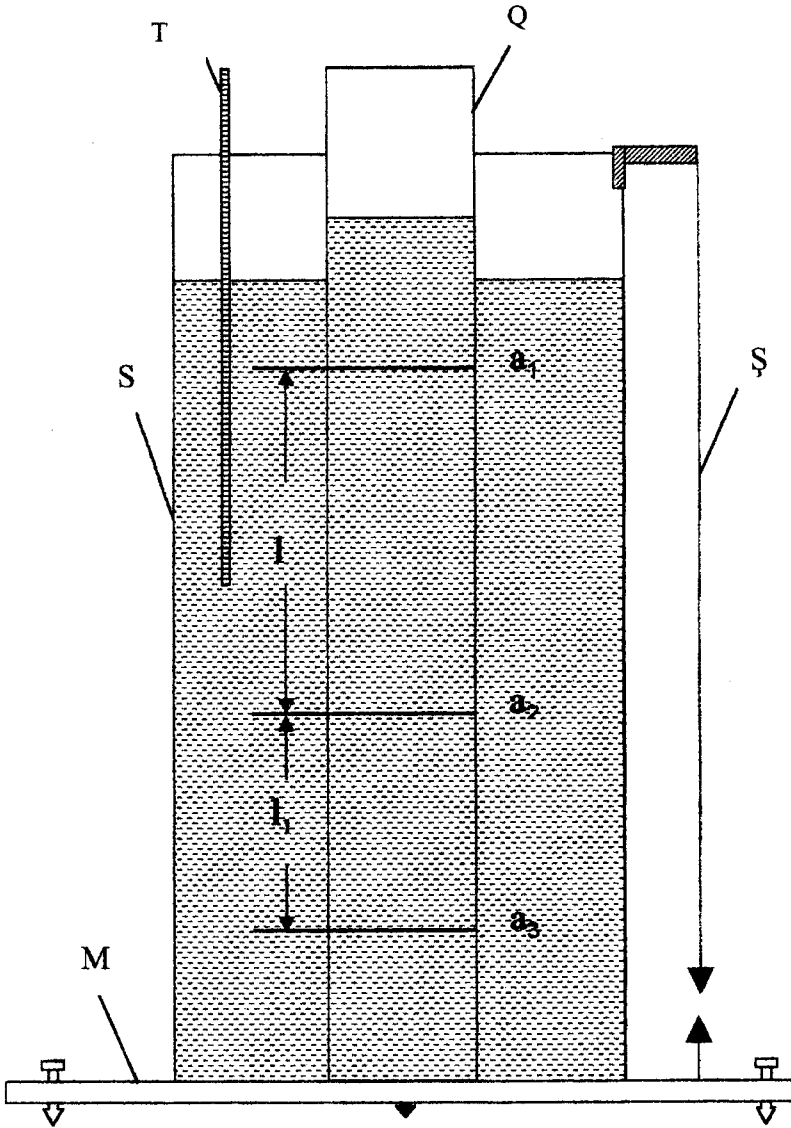
### *Ö l ç m ə l ə r*

1. Qurğunu təşkil edən hissələrin işə yararlı olmasını nəzərdən keçirməli və qurğunun təcrübəni aparmaq üçün tam hazır olmasını yoxlamalı.

2. M masasının tənzimedici vintlərinin və Ş şaqulunun köməkliyi ilə Q qabını şaquli vəziyyətə gətirməli.
3. Mayenin temperaturunu qeyd etməli.
4. Q silindirik qabın R radiusunu,  $a_1$ ,  $a_2$  və  $a_3$  cizgiləri arasındakı  $l$  və  $l_1$  məsafələrini ölçməli.
5. İstifadə olunan kürəciklərin təcrübəni aparmaq üçün yararlı olmasını yoxlamalı. Bu məqsədlə onların ən böyüyünün radiusunu mikrometrlə ölçməli və onu silindirin oxu boyunca suya salmalı. Saniyəölçəndən istifadə edərək kürəciyin  $l$  məsafəsini getdiyi  $t$  müddətini və  $l_1$  məsafəsini getdiyi  $t_1$  müddətini ölçməli. Sonra uyğun olaraq  $v = \frac{l}{t}$  və  $v_1 = \frac{l_1}{t_1}$  sürətlərini hesablamalı. Əgər  $v$  və  $v_1$  sürətləri bərabərdirsə onda təcrübəni aparmaq üçün radiusu bu kürənin radiusundan böyük olmayan kürələrdən istifadə etməli. Əks halda daha kiçik radiuslu kürə götürüb  $v=v_1$  şərtinin ödənməsinə nail olaraq təcrübəni aparmaq üçün münasib radiusa malik kürəciklər seçməli.
6. Kürəciyin  $r$  radiusunu mikrometrlə ölçüb, onu Q qabının mərkəzi oxuna yaxın yerdə mayeyə salmalı. Saniyəölçən ilə kürəciyin  $a_1$  və  $a_2$  cizgiləri arasındakı  $l$  məsafəsini getməsi üçün sərflənən  $t$  müddətini qeyd etməli.
7. Təcrübəni ən azı beş kürəcik üçün təkrar etməli.

## *H e s a b a t*

1. Kürənin və mayenin  $\rho$  və  $\rho_m$  sıxlıqlarını cədvəldən götürməli. Əgər mayenin təcrübə temperaturundakı  $\rho_m$  sıxlığı cədvəldə yoxdursa, onda onu təcrübi olaraq təyin etməli.
2.  $R$ ,  $l$ ,  $g$ ,  $\rho$ ,  $\rho_m$  – in qiymətlərini və hər bir kürəcik üçün təyin edilmiş  $r$  və  $t$  – nin qiymətlərini (7) ifadəsində yerinə yazıb mayenin  $\eta$  özlülük əmsalını hesablamalı.
3. Beş kürəcik üçün (7) ifadəsi ilə hesablanmış  $\eta$  - nin qiymətlərindən istifadə edərək daxili sürtünmə əmsalının orta qiymətini təyin etməli.
4. Təcrübənin mütləq və nisbi xətdərini hesablamalı.



Şekil - 2

## 2.4. QAZLARIN DAXİLİ SÜRTÜNMƏ ƏMSALININ TƏYİNİ

### 2.4.1. HAVANIN DAXİLİ SÜRTÜNMƏ ƏMSALININ TƏYİNİ

Lövazimat: 1) qurğu, 2) saniyəölçən, 3) həcmi  
1,5 – 2 l olan qab

#### *N ə z ə r i m ə l u m a t*

Mayelər kimi qazların da daxili sürtünmə əmsalını təyin etmək üçün Puazeyl düsturundan istifadə etmək olar. Bunun üçün gərək tədqiq olunan qazın boru ilə laminar axması və axın zamanı qazın sıxılmaması təmin olunsun. Bu məqsədlə nisbətən qısa kapilyar borulardan istifadə olunur.

Kapilyar borunun uclarında kifayət qədər kiçik təzyiqlər fərqi yaratsaq bu kapilyardan keçən qaz axını laminar olar. Bu zaman kapilyarın daxilində onun oxu boyunca qazın sıxlığı sabit qalır, yəni axın zamanı qaz praktiki olaraq sıxılmır. Deməli, əgər kapilyarın uzunluğu  $l$  və radiusu  $r$  olarsa, onda bu kapilyardan  $t$  müddətində axan qazın  $V$  həcmi

$$V = \frac{\pi r^4 t \Delta P}{8 \eta l} \quad (1)$$

Buradan görünür ki, əgər təcrübi olaraq kapilyarın uclarındakı  $\Delta P$  təzyiqlər fərqi və kapilyardan keçən qazın  $V$  həcmi müəyyən etsək, qazın  $\eta$  daxili sürtünmə əmsalını



$$\eta = \frac{\pi r^4 t \Delta P}{8V\ell} \quad (2)$$

düsturu ilə hesablamaq olar.

Daxili sürtünmə əmsalını (2) düsturu ilə hesabladıqdan sonra təcrübənin düzgün aparılması üçün vacib sayılan qaz axınının laminarlıq şərtinin pozulmadığını yoxlamaq lazımdır. Belə ki, əgər qaz kimi havadan istifadə olunarsa, onda hava axınının laminar olması üçün  $Re$  Reynolds ədədi 2000 – dən kiçik olmalıdır. Bu zaman Reynolds ədədi

$$Re = \frac{\bar{\rho} \bar{v} d}{\eta} \quad (3)$$

düstur ilə hesablanır. Burada  $d$  – kapilyarın diametri,  $\rho$  havanın sıxlığı,  $\eta$  - havanın daxili sürtünmə əmsalı və  $\bar{v}$  havanın orta axın sürəti olub

$$\bar{v} = \frac{V}{\pi r^2 t} \quad (4)$$

ifadəsi ilə təyin olunur. (4) – ü (3) – də nəzərə alsaq,  $Re$  – ni belə hesablamaq olar:

$$Re = \frac{2\rho V}{\pi \eta t r} \quad (5)$$

Beləliklə (5) ilə  $Re$  ədədini hesablayıb  $Re < 2000$  şərtinin ödənil-məsini yoxlamaq lazımdır. Əgər bu şərt

ödənmişə onda kapilyarın uclarındaki təzyiqlər fərqi ehtiyat qismə qədər azaltmaq lazımdır ki, bu şərt mütləq ödənilsin.

### *Q u r ğ u n u n t ə s v i r i*

Təcrübədə istifadə olunan qurğu sxematik olaraq Şəkil - 3-də göstərilmişdir. Qurğu A aspiratorundan, K kapilyarından, M manometrindən və B quruducu balondan ibarətdir. K kapilyarın uclarında kiçik təzyiqlər fərqi yaratmaq üçün A aspiratoruna 3 kranın və 4 qifin vasitəsi ilə kifayət qədər su doldurulur. Sonra isə 1 kranını açıb aspiratordan müəyyən həcmdə su axıdılır. Bu K kapilyarı ilə hava sorulur, yeni aspiratorun 5 aralığında hava seyrəkləşir və K kapilyarın uclarında təzyiqlər fərqi yaranır. Aspiratordan axan suyun həcmi 2 şkalası və kapilyarın uclarındaki təzyiqlər fərqi M manometri ilə ölçülür. Kapilyardan axan havanın nisbətən quru olması üçün hava kapilyara daxil olmamışdan qabaq içərisinə kalsium xlorid ( $\text{CaCl}_2$ ) doldurulmuş B balonundan keçir.

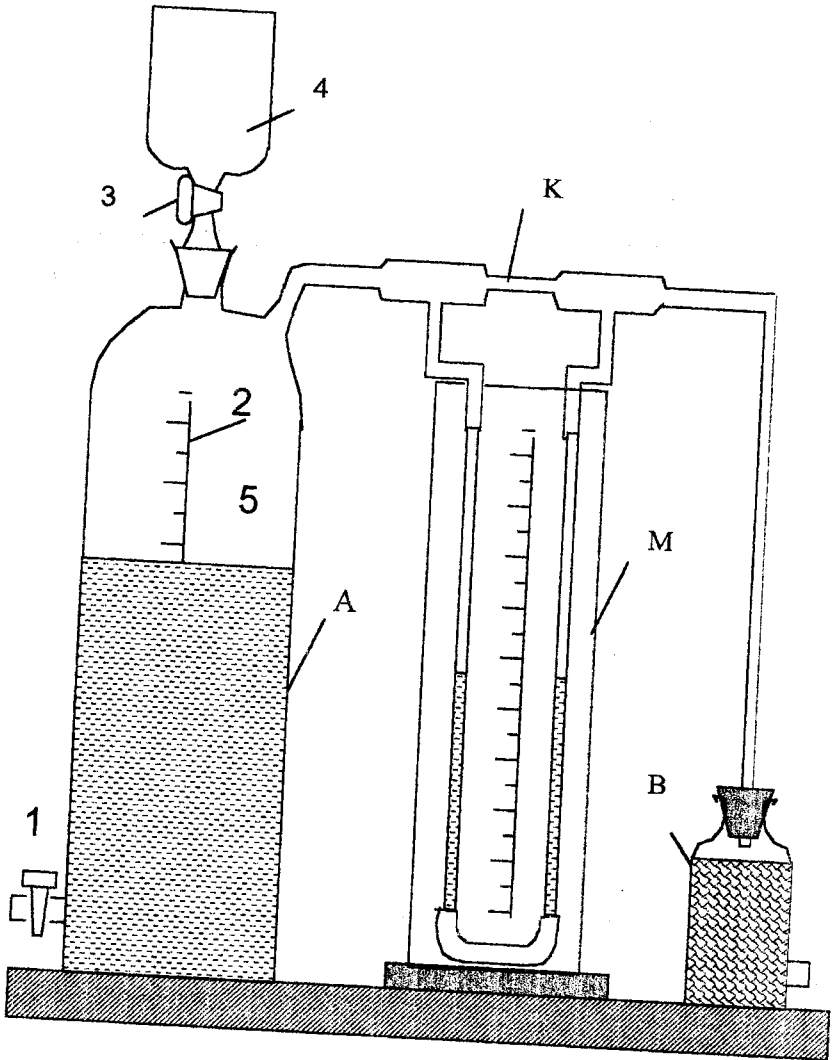
### *Ö l ç m ə l ə r*

1. Qurğunu təşkil edən hissələrin işə yararlı olduğunu nəzərdən keçirməli və qurğunun təcrübəni aparmaq üçün tam hazır olmasını yoxlamalı.
2. Kapilyarın uzunluğunu millimetrik xətkəşlə ölçməli.
3. Aspiratorun 3 kranını açıb 4 qifi ilə onu sü ilə doldurub, sonra isə 3 kranını bağlamalı.

4. Aspiratorun 1 kranını açaraq suyu digər qaba axıtmalı. Bu zaman M manometrin qollarındaki  $\Delta P$  səviyyələr fərqlinin stabilləşməsini gözləməli və qeyd etməli.
5. Su səviyyəsinin 2 şkalası üzərində vəziyyətini qeyd edərək saniyəölçəni işə salmalı.
6. Aspiratordan  $V = 0,5 \div 1,0$  l su axdıqdan sonra saniyəölçəni saxlamalı. Bu zaman saniyəölçən kapilyardan  $0,5 - 1,0$  l hava axdığı  $t$  müddəti göstərəcək.
7. Manometrin  $\Delta P$  göstərişinin və axan havanın  $V$  həcmnin eyni (sabit) qiymətləri üçün təcrübəni  $6 \div 8$  dəfə təkrar edərək  $t$  zamanı üçün orta qiymət tapmalı.

### *H e s a b a t*

1. Kapilyarın  $r$  radiusunu cədvəldən götürüb və  $t$ ,  $\Delta P$ ,  $V$ ,  $l$  üçün təcrübə təyin edilmiş qiymətləri (2) düsturuna yazıb  $\eta$  daxili sürtünmə əmsalını hesablamalı.
2. Havanın otaq temperaturundakı  $\rho$  sıxlığını cədvəldən götürüb və  $\eta$ ,  $t$ ,  $r$ ,  $V$  – nin məlum qiymətlərini (5) – də yerinə yazıb  $Re$  Reynolds ədədini hesablamalı.
3.  $Re < 2000$  şərtinin ödənilməsini yoxlamalı. Bu şərt ödənilmərsə təcrübəni aspiratorun 1 kranından axan su sərfinin kiçik qiymətlərində aparmalı.
4. Təcrübənin mütləq və nisbi xətdərini hesablamalı.



Şekil - 3

## ƏDƏBİYYAT

1. Tahirov V.İ. Molekulyar fizika. Bakı, Elm, 1999, 257s.
2. Əhmədov F.A. Mexanika və molekulyar fizika. Bakı, BDU, 2005, 260 s.
3. Abaszadə A. Molekulyar fizika və istilik. Bakı, Maarif, 1967, 346 s.
4. Кикоин А.К., Кикоин И.К. Молекулярная физика. Москва, Наука, 1976, 478 с.
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики: Термодинамика и молекулярная физика. Москва, Наука, 1979, 551 с.
6. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. Москва, Высшая школа, 1987, 356 с.
7. Телеснин Р.В. Молекулярная физика. Москва, Высшая школа, 1965, 298 с.
8. Əmiraslanov A. Ümumi fizika praktikumu, Bakı, Maarif, 1978, 306 s.
9. Гольдина Л.Л. Лабораторные занятия по физике, Москва, 1983, 702 с.

# M Ü N D Ə R İ C A T

Giriş ..... 3

## I FƏSİL. MAYELƏRDƏ SƏTHİ GƏRİLMƏ HADİSƏSİ

- 1.1. Mayelərdə səthi gərilmə haqqında qısa nəzəri məlumat ..... 4
- 1.2. Səthi gərilmə əmsalı və onun vahidləri ..... 7
- 1.3. Səthi gərilmənin müxtəlif səth hadisələrinə təsiri.....9
- 1.4. Mayələrin səthi gərilmə əmsalının təyini .....13
- 1.4.1. Halqanı qoparma üsulu .....13
- 1.4.2. Damcı üsulu .....19
- 1.4.3. Kapilyar borularda maye səviyyəsinin qalxması üsulu .....27
- 1.4.4. Səthin əyriliyi hesabına yaranan təzyiqin komöpensasiyası üsulu.....33
- 1.4.5. Hava qabarcığında maksimum təzyiq üsulu ...38

## II FƏSİL. MAYELƏRDƏ DAXİLİ SÜRTÜNME HADİSƏSİ

2.1. Mayelərdə və qazlarda laminar və turbulent axın haqqında qısa nəzəri məlumat .....	43
2.2. Daxili sürtünmə əmsalı və onun vahidləri .....	44
2.3. Mayelərdə daxili sürtünmə əmsalının təyini .....	49
2.3.1. Kapilyar viskozimetr üsulu .....	49
2.3.2. Stoks üsulu .....	57
2.4. Qazların daxili sürtünmə əmsalının təyini .....	64
2.4.1. Havanın daxili sürtünmə əmsalının təyini .....	64
Ə d ə b i y a t .....	69

**Məmmədov Rasim Qara oğlu**  
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,  
professor

**MAYELƏRDƏ SƏTHİ GƏRİLMƏ VƏ  
DAXİLİ SÜRTÜNMƏ HADİSƏLƏRİ  
(Metodik vəsait)**

**Bakı, BDU, 2007, 71 s.**

Çapa imzalanmışdır: 28.09.2007.

Formatı 60x84 1/16.

Həcmi 4,5 ç.v. Sayı 200.

---

Bakı Universiteti nəşriyyatı,  
Bakı ş., AZ 1148, Z.Xəlilov küçəsi, 23.