

**ЛЕКЦИЯ 12. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА НА ТЕЧНОСТИТЕ.
ПОВЪРХНОСТНО НАПРЕЖЕНИЕ. КАПИЛЯРНИ ЯВЛЕНИЯ. РАЗТВОРИ.
ЗАКОНИ НА РАУЛ. ОСМОТИЧНО НАЛЯГАНЕ**

1. Строеж и свойства на течностите

Молекулите на течностите са разположени много по-наблизо една до друга, отколкото при газовете, затова силите не привличане между тях играят съществена роля. Тъй като силите не привличане много бързо намаляват с разстоянието, взаимодействието между отделните молекули може да се пренебрегне. Приема се, че дадена молекула взаимодейства само с молекулите, намиращи се в сфера с център в избраната молекула и радиус r , наречен **радиус на молекулно действие**. Големината на радиуса на молекулно действие е от порядъка на няколко ефективни диаметъра на молекулата.

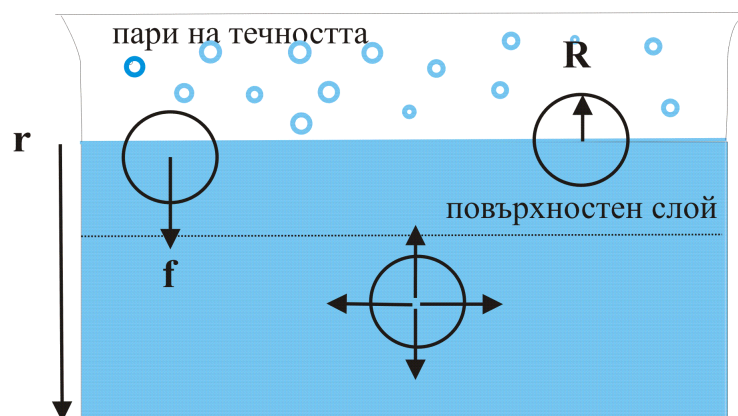
Течното агрегатно състояние се характеризира с това, че веществото се стреми да запази обема си, но не и формата си. Молекулите в течността се намират близо една до друга, но техните относителни положения не са фиксирани и те относително бавно променят положението си една спрямо друга. Според теорията на Френкел времето на отседнал живот (време на релаксация) на молекулата, през което тя трепти около едно равновесно състояние е:

$$(1) \quad \tau = \tau_0 e^{\frac{W}{kT}},$$

където W е енергията на активация, а $\tau_0 \approx 10^{-10} \div 10^{-9} \text{ s}$.

Реакцията на течността на външно въздействие зависи от съотношението между времето на действие на външната сила и времето на релаксация $\frac{t}{\tau}$. Ако $t > \tau$, частиците се преместват по посока на силата и течността “тече”; ако $t < \tau$, частиците не успяват да променят равновесното си положение и течността оказва съпротивление подобно на твърдо тяло.

Когато една молекула се намира в обема на течността, разпределението на нейните съседи вътре в сферата на молекулно действие е равномерно – фиг. 1. Затова резултантната сила, която действа на разглежданата молекула, е нула.



Фиг. 1

Ситуацията се изменя, ако молекулата се намира в повърхностния слой на течността. Тогава броят на молекулите в долната част на сферата е по-голям и резултантната сила е насочена надолу, перпендикулярно на свободната повърхност. Следователно молекулите от повърхностния слой са подложени на действието на сили, насочени навътре към обема на течността. За да преминат молекулите от обема на

течността в повърхностния слой, трябва да се извърши работа за преодоляване на тези сили, при което кинетичната енергия на молекулите намалява и се превръща в потенциална енергия. Тази допълнителна потенциална енергия на молекулите от повърхностния слой на течността е част от вътрешната енергия на течността. Повърхността на течностите има точно определена форма. Тя наподобява опъната еластична ципа, която се стреми да се свие, т.е. да достигне състояние с минимална потенциална енергия. В отсъствие на външни сили течностите приемат сферична форма, на която отговаря минимална свободна повърхност (минимална потенциална енергия). Когато течността се намира в полето на силата на тежестта, нейната форма се определя от изискването за минимум на сумата от потенциалната енергия на свободната повърхност и гравитационната потенциална енергия.

Работата, необходима за създаването на единица свободна повърхност на течността чрез равновесен изотермен процес, без да се изменя обемът, се нарича **коэффициент на повърхностно напрежение** σ или за по-кратко – **повърхностно напрежение**. От определението следва, че

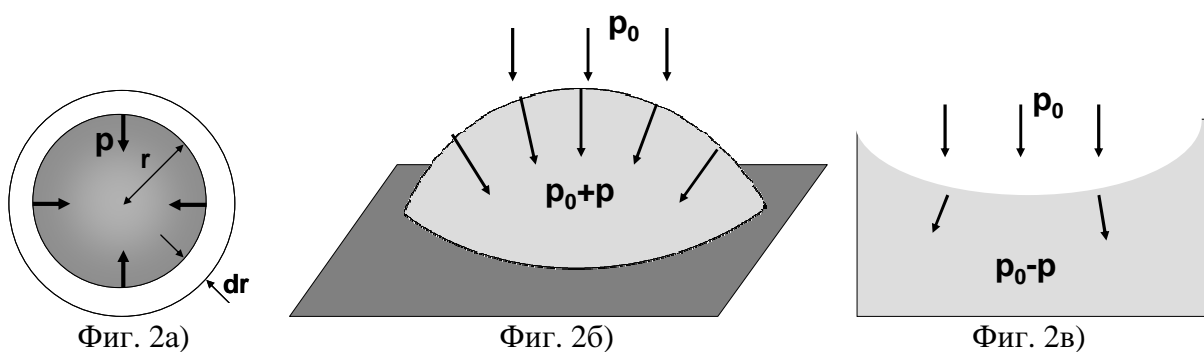
$$(2) \quad \sigma = \frac{\delta A}{dS},$$

където δA е работата, която трябва да извършат външните сили, за безкрайно малко увеличение dS на свободната повърхност на течността.

Единицата за повърхностно напрежение е $\frac{J}{m^2}$ или $\frac{N}{m}$. Повърхностното напрежение σ зависи от вида на течността, от наличието на примеси, от температурата и др.

Изискването за минимум на потенциалната енергия на свободната повърхност е причина химическият състав на повърхностния слой на разтворите да се различава от този в обема на течността. Действително, минимум на потенциалната енергия може да се достигне не само чрез намаляване на свободната повърхност, но и посредством включване в повърхностния слой на такива молекули, които осигуряват минимална стойност на повърхностното напрежение σ . Вещества, чието адсорбиране в повърхностния слой на течността води до намаляване на повърхностното напрежение, се наричат **повърхностно активни вещества**. Примери за повърхностно активни вещества са сапунът и различните перилни препарати, които намаляват повърхностното напрежение на водата 1,5 пъти.

Да разгледаме сферична капка течност с радиус r . Нейната повърхност, подобно на разтегната еластична ципа, се стреми да се свие и оказва допълнително налягане p върху обема на течността – фиг. 2а).



Да допуснем, че можем да увеличим радиуса на капката с dr . За целта трябва да се преодолеят силите на натиск, предизвикани от това налягане, т.е. да се извърши работа

$$\delta A = p dV = p d\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right) = 4\pi p r^2 dr$$

за създаване на допълнителна свободна повърхност $dS = d(4\pi r^2) = 8\pi r dr$. От определението за повърхностно напрежение следва, че

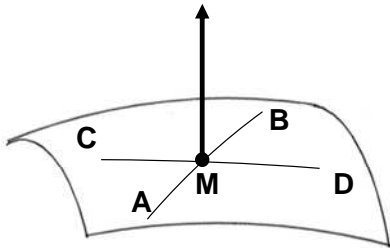
$$\sigma = \frac{\delta A}{dS} = \frac{pr}{2},$$

откъдето за допълнителното налягане се получава

$$(3) \quad p = \frac{2\sigma}{r}.$$

При изпъкнала повърхност силите на повърхностно напрежение се стремят да свият течността и затова налягането под повърхността е $p_0 + p$, т.е. то е по-голямо от външното налягане p_0 - фиг. 2б). Обратно, при вдлъбната повърхност силите на повърхностно напрежение се стремят да разтегнат течността и нейното налягане е $p_0 - p$, т.е. налягането под повърхността на течността е по-малко от външното налягане - фиг. 2в).

Френският математик и физик Пиер Симон Лаплас обобщава формула (3) за допълнителното налягане p под изкривената повърхност на течност за случая, когато повърхността има произволна форма. Нека M е точка от повърхността, а \vec{n} - единичният вектор на нормалата към повърхността, прекарана през тази точка. Прекарваме през нормалата две взаимно перпендикулярни равнини, чиито пресечници с повърхността са кривите AB и CD - фиг. 3.



Фиг. 3

Да означим с r_1 и r_2 радиусите на кривините на двете криви в пресечната им точка M . Лаплас доказва, че допълнителното налягане под изкривена свободна повърхност на течност:

$$(4) \quad p = \sigma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right).$$

Потенциалната енергия на повърхностния слой и коефициентът на повърхностно напрежение зависят не само от вида на течността, но и от средата, с която тя е в контакт - газ, друга течност или твърдо тяло. Всяка гранична повърхност притежава потенциална енергия и се характеризира с определен коефициент на повърхностно напрежение. Да разгледаме капка течност, поставена върху хоризонтална твърда повърхност. В случая има три гранични повърхности: твърдо тяло-течност, течност-въздух и твърдо тяло-въздух. Условието за механично равновесие на системата е сумата от потенциалната енергия на граничните повърхности и гравитационната потенциална енергия на течността да е минимална. Това условие определя и формата на капката течност. Ъгълът θ между допирателната към повърхността на твърдото тяло и допирателната към повърхността на течността, отчитан навътре към течността, се нарича **ъгъл на мокрене** - фиг. 4. Когато $\theta < 90^\circ$ (фиг. 4а), течността се нарича **мокрещца**. При $\theta = 0$ мокренето е пълно. В този случай е енергетически по-изгодно да съществува гранична повърхност твърдо тяло-течност, тъй като тя има най-малка потенциална енергия. Затова течността неограничено се разтича по твърдото тяло, стремяйки се да покрие максимална площ.



Фиг. 4а)

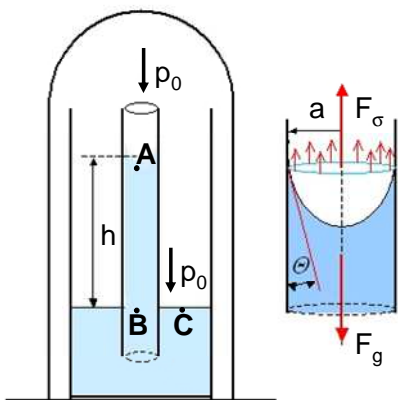


Фиг. 4б)

При ъгли на мокрене $\theta > 90^\circ$ (фиг. 4б) течността се нарича *немокреща*. В този случай граничната повърхност твърдо тяло-течност притежава най-голяма потенциална енергия и системата се стреми да намали тази повърхност. При пълно немокрене ($\theta = 180^\circ$) граничната повърхност се свива в точка и течността се отделя от твърдото тяло.

Немокренето води до някои странни на пръв поглед явления. Например намазани с мазнина игла или бръснарско ножче се задържат на повърхността на водата, тъй като поради немокренето пълното им потапяне във водата е свързано с увеличаване на повърхностната енергия, което не се компенсира от намаляването на потенциалната енергия mgh . По същата причина насекомите могат да се движат по водната повърхност без да потъват.

Изменението на равнището на течности в тесни тръбички или цепнатини, предизвикано от повърхностното напрежение, се нарича *капилярност*. В по-широк смисъл капилярните явления включват всички ефекти, свързани със съществуването на повърхностно напрежение. Да разгледаме широк съд с течност, в който е потопена тясна тръбичка (капилярка) с радиус a , която се мокри от течността. Ще използваме формулата на Лаплас, за да определим височината h , на която се издига течността в капилярката (фиг. 5). Тъй като течността е мокреща (ъгълът на мокрене е $\theta < 90^\circ$), свободната ѝ повърхност е вдлъбната и в точка A , разположена непосредствено под повърхността, налягането е по-малко от външното атмосферно налягане p_0 . Налягането е $p_0 - p$, където допълнителното налягане p се определя от формулата на Лаплас. Съгласно със закона на Паскал налягането $p_0 - p$ се предава равномерно в обема на течността и налягането в точка B е $(p_0 - p) + \rho gh$, където ρgh е хидростатичното налягане на стълба течност в капилярката. При определянето на хидростатичното налягане не е отчетено закривяването на свободната повърхност, тъй като $h \gg a$. В точка C , която се намира непосредствено под плоската повърхност на течността, налягането е равно на външното налягане p_0 (допълнително налягане се създава само под изкривена повърхност). Тъй като точките B и C лежат на една и съща хоризонтална равнина, условието за механично равновесие изисква налягането в тези точки да е еднакво, т.е. $(p_0 - p) + \rho gh = p_0$, откъдето следва, че



Фиг. 5

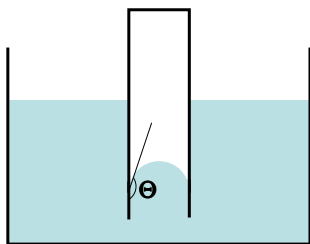
$$(5) \quad p = \rho gh$$

Огънатата повърхност (менискът) на течността може да се разглежда като част от сферична повърхност с радиус $r = \frac{a}{\cos \theta}$. Тогава от (8) за допълнителното налягане получаваме

$$(6) \quad p = \frac{2\sigma}{r} = \frac{2\sigma \cos \theta}{a}$$

Приравняваме десните страни на равенствата (10) и (11) и определяме височината h , на която се издига мокреща течност в капилярка с радиус a :

$$(7) \quad h = \frac{2\sigma \cos \theta}{ag\rho}$$



Фиг. 6

Когато течността е немокреща (например живак), менискът е изпъкнал ($\cos\theta < 0$) и височината h е отрицателна, т.е. равнището на течността в капилярката е по-ниско от това в широкия съд (фиг. 6). От формула (7) се вижда, че колкото по-малък е радиусът на капилярката, толкова по-голяма е стойността на височината h .