

**МОЛЕКУЛНИ ЯВЛЕНИЯ ПРИ
ТЕЧНОСТИ.**

ПОВЪРХНОСТНО НАПРЕЖЕНИЕ.

ФОРМУЛА НА ЛАПЛАС.

ЯВЛЕНИЯ НА ГРАНИЦАТА

ТВЪРДО ТЯЛО - ТЕЧНОСТ.

ПОВЪРХНОСТНО АКТИВНИ

ВЕЩЕСТВА.

КАПИЛЯРНОСТ.

I. ПОВЪРХНОСТНО НАПРЕЖЕНИЕ

1. **Особености на течностите.** Течностите заемат междинно положения между твърдите тела и газовете по отношения на техните свойства.

1/ При твърдите тела поради баланса между силите на привличане и отблъскване частиците се разполагат по върховете на една правилна периодична структура, която наричаме кристална решетка. Частиците не могат да извършват никакви постъпателни движения, а само трептят около равновесните си положения. На другата крайност са газовете, при които частиците изграждащи газа нямат определени положения и те могат да се движат произволно (хаотично Брауново движение) из обема предоставен на газа. При течностите частиците имат определени равновесни положения, около които трептят като постъпателното движение при тях се изразява в прескоци на частиците на разстояния равни на разстоянието до най-близките си съседи. Този прескок се извършва само към ново равновесно състояние.

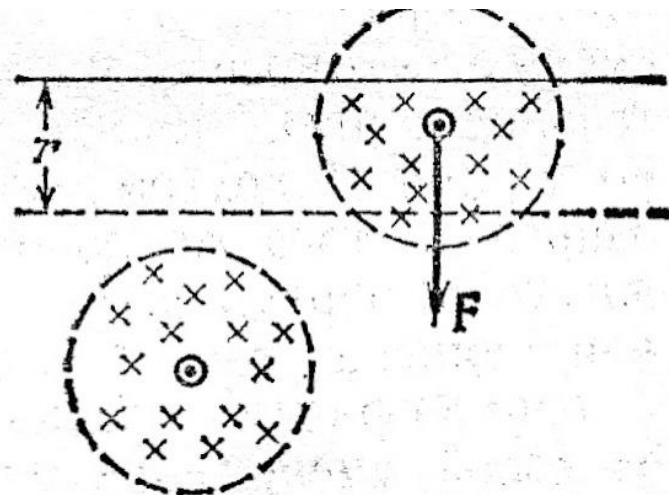
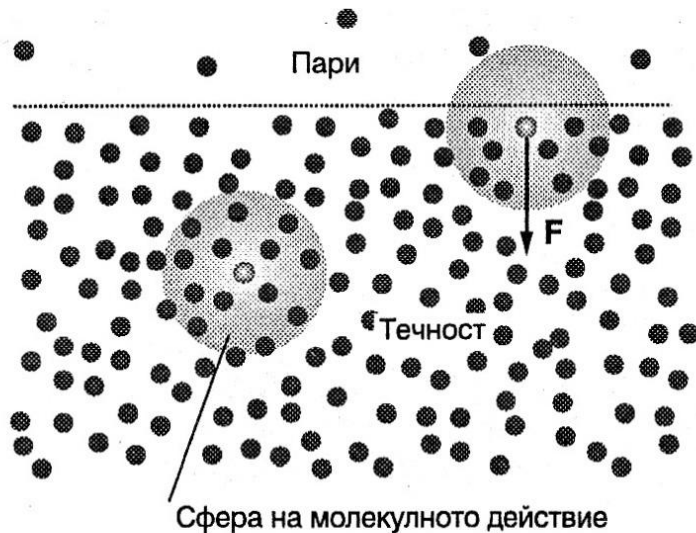
2/ Твърдите тела имат своя собствена форма и обем и ясно очертани граници. За промяна на формата и обема на твърдите тела е необходимо да се приложи значителна сила. Газовете нямат собствена форма и обем, а заемат формата на съда, който им е предоставен като изпълват изцяло неговия обем. Течностите заемат формата на предоставения им съд, но не изпълват изцяло обема му. Между течността и газа се образува ясна разделителна повърхност с особени свойства. Както ще видим ако течността не се намира в полето на силата на тежестта тя има собствена форма – сфера.

3/ в твърдите тала се наблюдава т.нар. далечно подреждане. Ако погледнем как най-близките съседи на дадена частица са разположени, около нея ще установим някаква симетрия която не се нарушава в рамките на целия кристал. При газовете не може да се установи никаква закономерност в разположението на градивните частици. При течностите се наблюдава симетрично разположение на най-близките съседи спрямо произволно избрана частица. С отдалечаване от частицата тази закономерност се загубва. Обикновено някакво подреждане се запазва до трети, четвърти съседи. Такова подреждане наричаме **БЛИЗКО ПОДРЕЖДАНЕ**. Затова течностите са *изотропни*.

4/ при прилагане на сили на всестранно свиване течностите могат да променят минимално обема си само при прилагане на чудовищни сили т.е. течностите са практически несвиваеми.

2. Кохезионно налягане: Нека си мислим съд, в който има течност. Не изпълвайки съда между течността и въздуха се оформя ясно изразена разделителна повърхност, която играе основна роля за определяне свойствата на течността. Нека да вземем частица, която се намира в обема на течността. Тъй като силите на взаимодействие за късодействащи: силите на отблъскване намаляват като $1/r^{12}$, а на привличане като $1/r^6$ то съществено ще бъде взаимодействието само от частици, които са 3-4ти съседи. Взаимодействията с останалите частици от течността могат да се пренебрегнат като несъществени. Т.е. пространството около всяка частица може да се раздели на две области в зависимост от интензивността на взаимодействието. Около всяка частица ние описваме сфера с такива размери, че тя обхваща до 4-съседни. Тази сфера наричане **СФЕРА НА МОЛЕКУЛЯРНО ДЕЙСТВИЕ**. Там взаимодействието на нашата частица с останалите е съществено за определяне свойствата на течността.

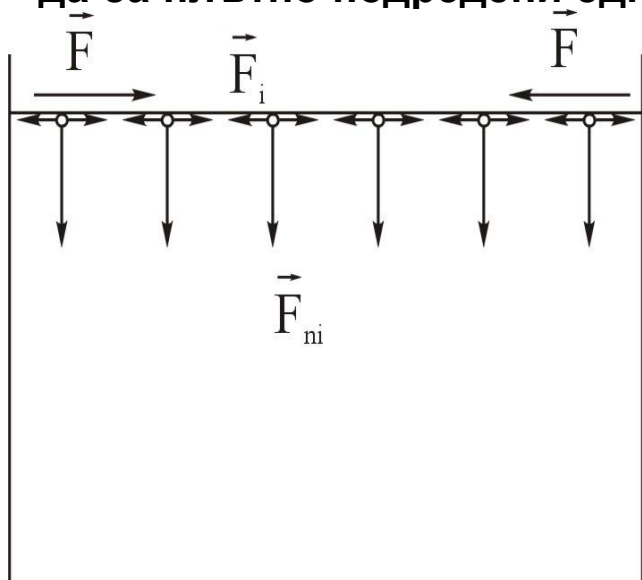
Извън тази сфера всякакви взаимодействия се пренебрегват.



Характерни размери на сферата на молекулярно действие е 10^{-9}m докато на една частица е 10^{-10}m . Поради наличието на близко подреждане, когато частицата се намира в обема на течността, така че сферата на молекулярно действие не излиза извън течността сумата от всички действащи сили ще е нула. Ако частицата е разположена, така че част от сферата на молекулярно действие пресича граничната повърхност, то поради по слабото взаимодействие на частицата от течността с газовите частици силите няма да се уравновесят и ще възникне **резултантна сила която е насочена към вътрешността на течността**. Колкото частицата е по близко към повърхността толкова тази сила ще нараства. Т.е. всички частици от слой със дебелина радиуса на сферата на молекулярно действие който се намира на граничната повърхност ще действа сила насочена към вътрешността на течността. Тази сила нарича

ме **кохезионна сила**. Тези сили създават допълнително налягане в течността наречено кохезионно и то е от порядъка на 10^5 - 10^8 atm. Това е чудовищно налягане, което е причина за плътното подреждане на частиците в течността правейки я на практика несвиваема. Това налягане не действа на тела потопени в течността, защото се обуславя само от силите на взаимодействие на частиците от течността.

3. **Повърхностно напрежение**. То се обуславя от силите, с които си взаимодействат частиците от повърхността. Тези сили са разположени тангенциално на повърхността. Тангенциалните сили правят така, че частиците от повърхността да са плътно подредени една до друга и тези сили се наричат **СИЛИ НА ПОВЪРХНОСТНО НАПРЕЖЕНИЕ**.



Вътре в повърхността те взаимно се компенсират но по граничната линия на свободната повърхност се появяват некомпенсирани резултантни сили F , които са успоредни на свободната повърхност и перпендикулярни на свободната повърхност.

Опитно е установено, че големината на силите на повърхностно напрежение е равна на:

$$F = \sigma l$$

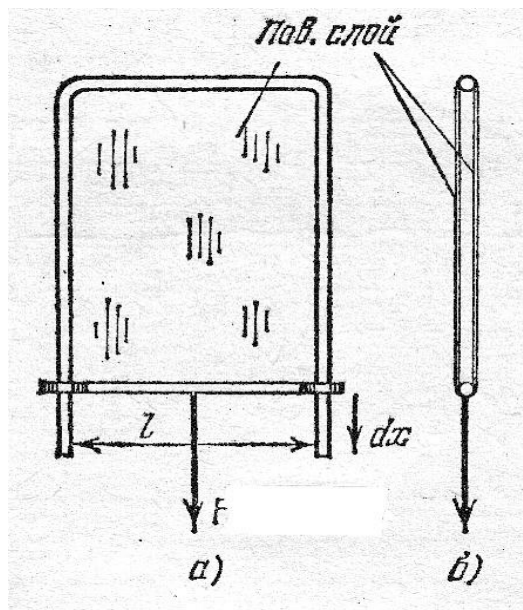
Където l -е дължината на граничната линия на свободната повърхност, а σ -наричаме коефициент на повърхностно напрежение [N/m].

4. **Физически смисъл на повърхностното напрежение**.

От казаното до тук може да се обобщи следното: **В граничния слой с дебелина равна на радиуса за сферата на молекулярно действие възникват кохезионни сили и сили на повърхностно напрежение, които са отговорни за плътното подреждане на частиците от течността.**

Ако искаме от обема на течността да пренесем частица на повърхността ние ще трябва да извършим работа срещу силите на повърхностния слой като увеличим площта на повърхността. Това означава кинетичната енергия на частицата да се превърне в потенциална енергия на повърхностния слой т.е. **САМИЯ СЛОЙ Е НОСИТЕЛ НА ЕНЕРГИЯ, КОЯТО ДАВА ПРИНОС КЪМ ВЪТРЕШНАТА ЕНЕРГИЯ НА СИСТЕМАТА.** Тогава коефициента на повърхностно напрежение може да се дефинира като работа dA която трябва да се извърши срещу силите на граничния слой, за да се увеличи площта на свободната повърхност с dS без да се увеличава обема на течността:

$$\sigma = \frac{dA}{dS} \left[\frac{J}{m^2} \right]$$



Нека в рамка с подвижно рамо създадем сапунена ципа която ще има две свободни повърхности Нека приложим **ВЪРХУ ВСЯКА ОТ ПОВЪРХНОСТИТЕ СИЛА F** т.е. върху рамото $2F$. При което преместим рамото на dx . Ако рамото е с дължина l то по този начин ние **УВЕЛИЧАЧАМЕ ЛИЦЕТО НА ВСЯКА ОТ СВОБОДНИТЕ ПОВЪРХНОСТИ** с $dS = l dx$ т.е. общо $2l dx$. При това извършваме работа срещу силите на механично напрежение $dA = 2F dx$

Тогава за σ получаваме:

$$\sigma = \frac{dA}{dS} = \frac{2Fdx}{2ldx} = \frac{F}{l}$$

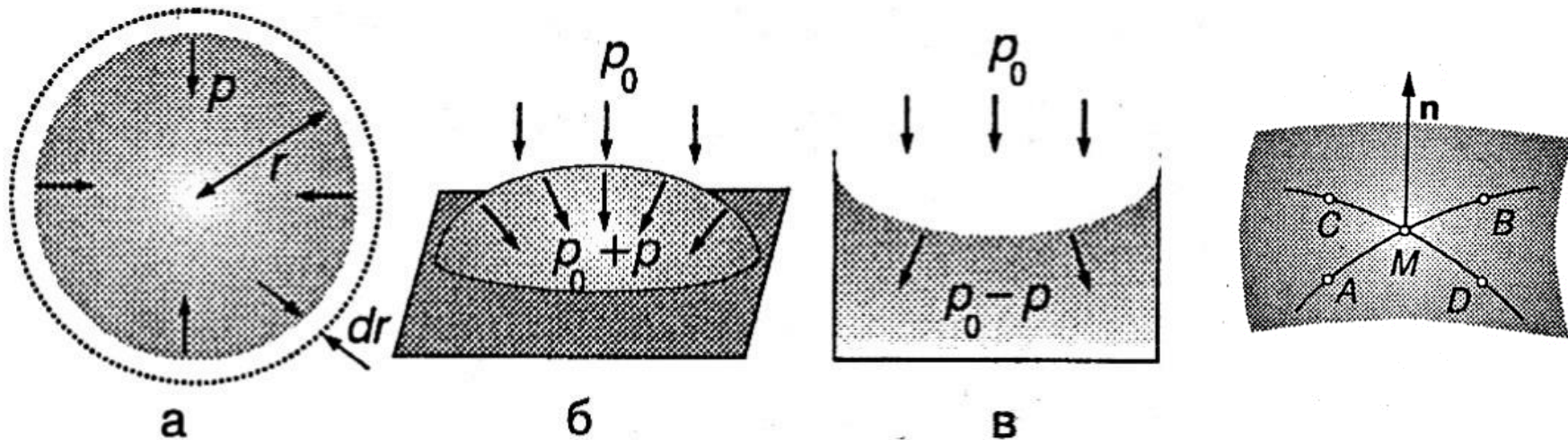
Този израз от физична гледна точка означава че силите на повърхностно напрежение се стремят да намалят повърхността на течността, което ще доведе до намаляване на потенциалната енергия на слоя, което ще доведе до намаляване на течността, което е енергетично изгодно.

Това означава, че течността сякаш е обгърната от еластична ципа което се стреми да затвори обема на течността във форма с минимална повърхност. Тази ципа не е от друг материал а от самата течност в която действат кохезионните сили и силите на повърхностно напрежение. Тя кара частиците от течността да се подреждат плътно една до друга и лицето на свободната повърхност да е минимална.

Ако течността е оставена сама на себе си и на нея не и действат консервативните сили на тежестта то капката ще има собствена форма и те ще е СФЕРА. (Сферата е пространственото тяло в което може да се вмести обем с минимална повърхност).

Ако течността се на мира в полето на силата на тежестта капката се деформира с нарастване на обема ѝ защото силите на тежестта растат като r^3 а на повърхността като r^2 .

4. Формула на Лаплас: В случай на гладка повърхност според закона на Паскал външното налягане се предава във всички негови точки и създава вътрешно налягане, което е равно на външното. Ако повърхността е изкривена (изпъкнала или вдлъбната) се създава допълнително налягане под изкривената повърхност.



Ако имаме изпъкналост б/ силите на повърхностно напрежение се стремят да свият повърхността и под нея налягането се увеличава $p_0 + p$.

Ако имате вдлъбнатост в/ силите се стремят на разтегнат повърхността и под нея налягането намалява $p_0 - p$

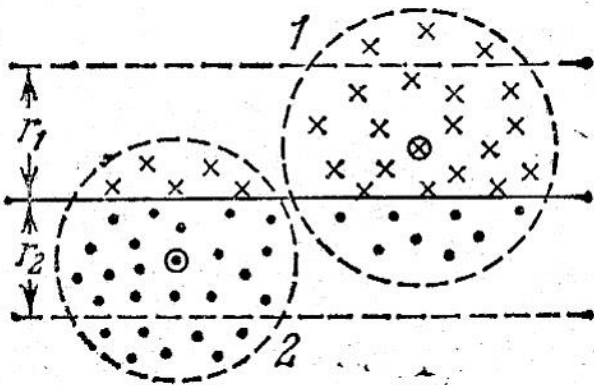
а/ определяне допълнително налягане p :

средна кривина в дадена точка М к
към нормалата издигната в тази точка

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

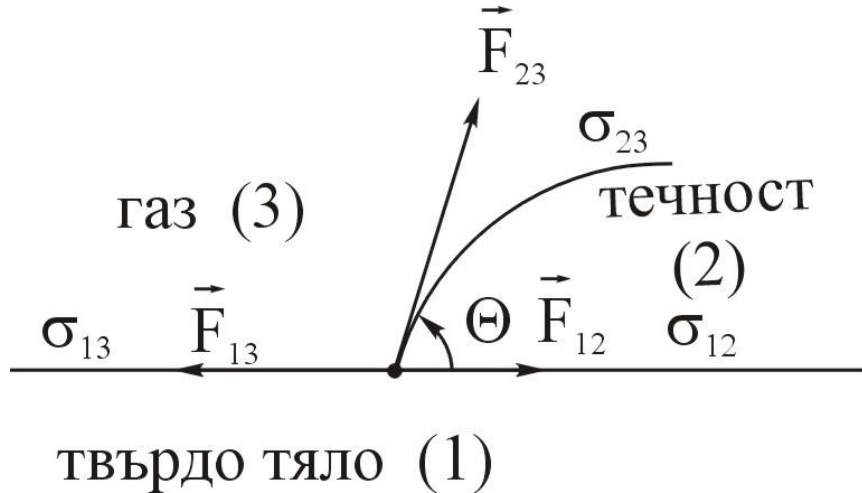
II. ЯВЛЕНИЯ НА ГРАИЦАТА ТВЪРДО ТЯЛО - ТЕЧНОСТ

1. **Адхезионни сили:** При контакт на различни среди повърхностната енергия на всяка среда се оказва, че зависи не само от свойствата на дадената средата, но и от свойствата на средата, с която контактува. На границата на двете среди сферите на молекулярно действие пресичат границата като по този начин се осъществява взаимодействие между частиците от двете среди. **Силите, с които си взаимодействат частиците от различни среди, когато те се намират в контакт наричаме АДХЕЗИОННИ СИЛИ.** Тогава повърхностното напрежение на течността ще зависи от средата с която тя контактува. Нека разгледаме условието за равновесие на течност, която е накапана върху хоризонтално поставено твърдо тяло. В зависимост от конкуренцията на кохезионните и адхезионните сили капката течност има различна форма (изпъкналост). Капката и твърдото тяло имат общи повърхности с газа. Търсим условията за равновесие на трите среди. Те едновременно контактуват по граничната линия на контура на капката контактуваща с твърдото тяло. За да са в равновесие с трите среди сумата от силите на повърхностно напрежение действащи по този контур трябва да е нула т.е.



В зависимост от конкуренцията на кохезионните и адхезионните сили капката течност има различна форма (изпъкналост). Капката и твърдото тяло имат общи повърхности с газа. Търсим условията за равновесие на трите среди. Те едновременно контактуват по граничната линия на контура на капката контактуваща с твърдото тяло. За да са в равновесие с трите среди сумата от силите на повърхностно напрежение действащи по този контур трябва да е нула т.е.

във векторен вид можем да запишем следното:



$$\vec{F}_{13} + \vec{F}_{12} + \vec{F}_{23} = 0$$

$$F_{13} = F_{12} + F_{23} \cos \theta$$

Нека σ_{12} -коефициент на повърхностно напрежение на границата на твърдо тяло-течност, σ_{13} -твърдо тяло-газ, σ_{23} -течност-газ. За силите на повърхностно напрежение ще имам: $F_{12} = \sigma_{12}l$, $F_{13} = \sigma_{13}l$, $F_{23} = \sigma_{23}l$. Тогава имаме:

$$\sigma_{13} = \sigma_{12} + \sigma_{23} \cos \theta \rightarrow \frac{\sigma_{13} - \sigma_{12}}{\sigma_{23}} = \cos \theta$$

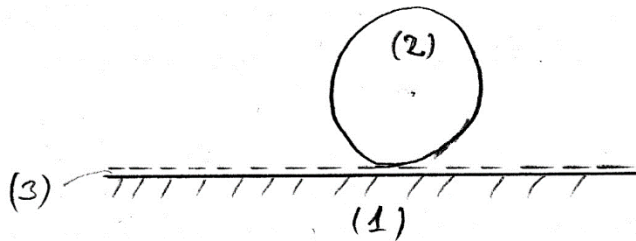
Условието за равновесия на трите фази като се има пред вид $\cos \theta$ е в интервала $[0,1]$ е:

$$\frac{\sigma_{13} - \sigma_{12}}{\sigma_{23}} \leq 1$$

Ако това условие не е изпълнено не може да се наблюдава равновесие между трите среди. Като в този случай имаме следните възможности:

2. Мокрене и немокрене:

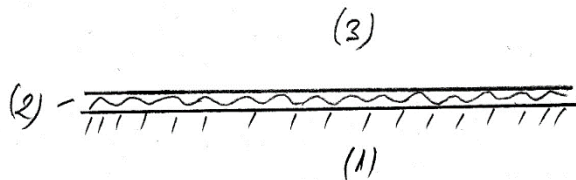
а/ **пълно немокрене**: То се наблюдава когато



$$\sigma_{12} > \sigma_{13} + \sigma_{23}$$

В този случай $\Theta = \pi$ което означава, че равновесие между твърдо тяло и течност няма. Между твърдото тяло и течността се разполага слой газ.

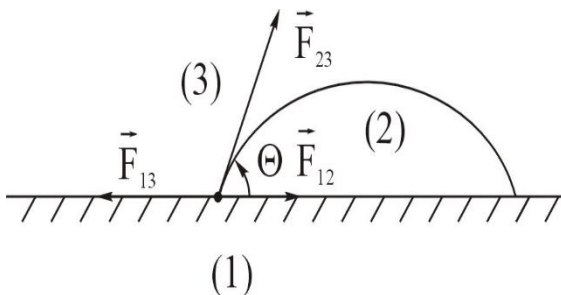
б/ **пълно мокрене**: То се наблюдава, когато



$$\sigma_{13} > \sigma_{12} + \sigma_{23}$$

В този случай $\Theta = 0$, което означава, че течността се разстила в много тънък слой. Равновесие между газ и твърдо тяло не съществува. Образуват се три последователни слоя твърдо тяло-течност-газ

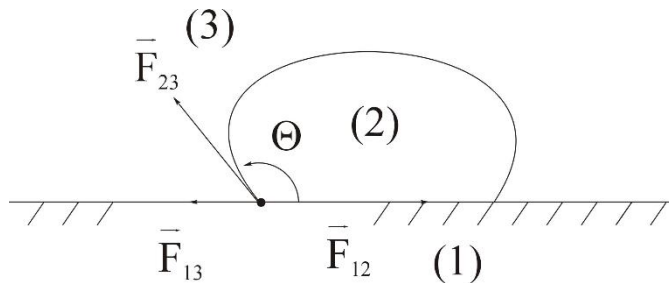
в/ **непълно мокрене**: Ако Θ е в интервала $[0, \pi/2]$ т.е. ако:



$$\sigma_{13} > \sigma_{12}$$

т.е. когато АДХЕЗИОННИТЕ СИЛИ ПРЕОБЛАДАВАТ НАД КОХЕЗИОННИТЕ. Тогава капката има вида показан на чертежа.

г/ **непълно немокрене**: Ако Θ е в интервала $[\pi/2, \pi]$ т.е ако



$$\sigma_{12} > \sigma_{13}$$

т.е. когато КОХЕЗИОННИТЕ СИЛИ ПРЕОБЛАДАВАТ НАД АДХЕЗИОННИТЕ. Тогава капката има вида показан на чертежа.

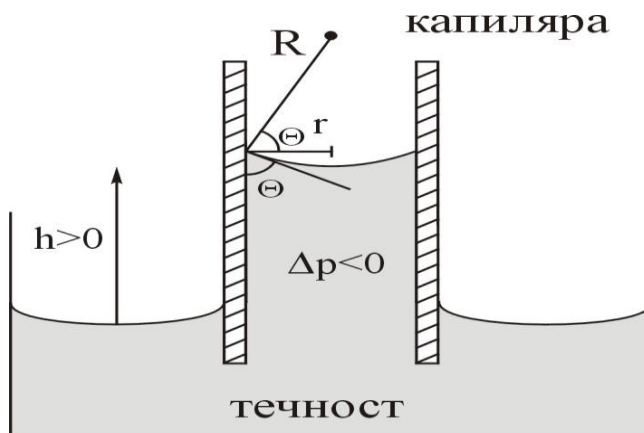
3. Повърхностно активни и повърхностно пасивни вещества. Мокренето и немокренето зависи от вида на твърдото тяло и течността: Например: водата мокри стъклото, но не мокри парафина, живакът мокри металите, но не мокри стъклото. С повишаване на температурата намалява коефициента на повърхностно напрежение, което подобрява мокренето.

Има вещества които разтворени в течност намаляват повърхностното напрежение. Техните частици се разполагат по повърхността измествайки частици на течността от този слой. Това води до **подобряване на мокрещите свойства на течността**. Това са всички перилни препарати, които подобряват обмивното свойство на водата по отношение на тъкани и метални покрития. **ТЕЗИ ВЕЩЕСТВА СЕ НАРИЧАТ ПОВЪРХНОСТНО АКТИВНИ.**

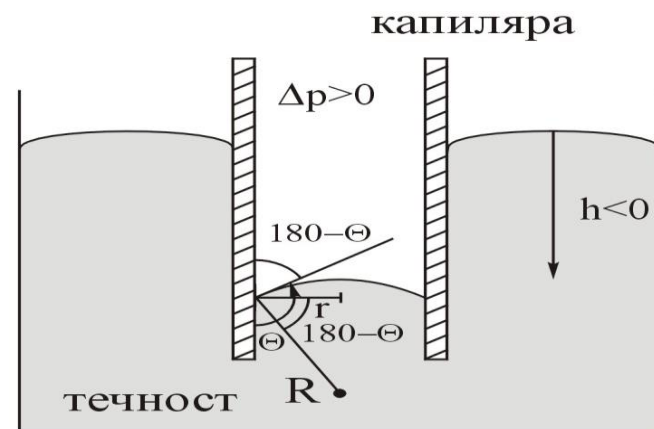
Обратно има, които разтваряйки се в течност повишават коефициента на повърхностно напрежение. ТЕ СЕ НАРИЧАТ ПОВЪРХНОСТНО ПАСИВНИ. НАПРИМЕР: Калциев карбонат разтворен във вода повишава 1,5 пъти повърхностното напрежение на водата (ТВЪРДА ВОДА). Това значително влошава обмивните свойства на водата.

III. КАПИЛЯРНОСТ

1.Определение: **Изменението на нивото 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. Мокренето или немокренето на стените на съда, в който се намира течността води до това, че в близост по стените на съда повърхността се изкривява и се получава допълнително налягане, което може да се определи по формулата на Лаплас. Ако тръбичката е достатъчно тънка то се изкривява цялата повърхност на течността при което в зависимост от това дали се получава изпъкналост или вдлъбнатост течността се смъква или издига над повърхността. Изкривената повърхност наричаме **МЕНИСК**.

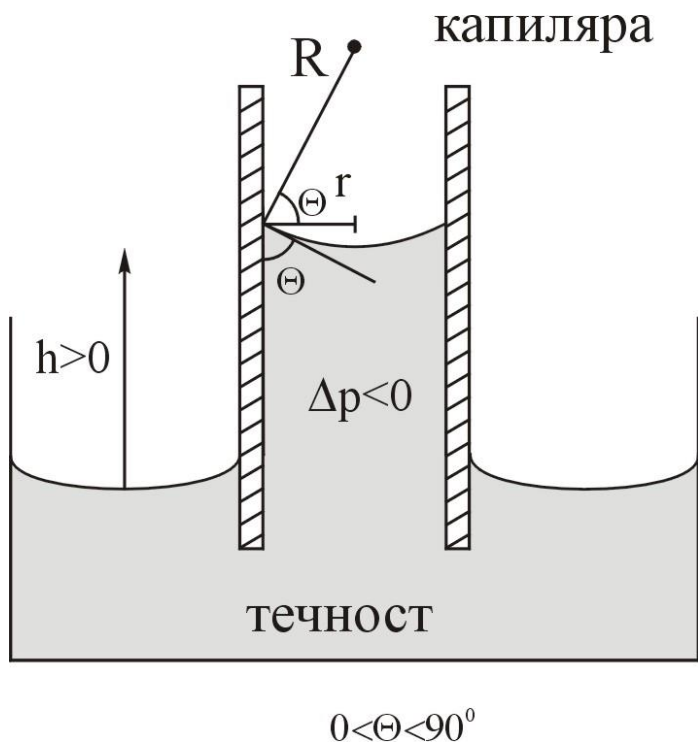


$0 < \Theta < 90^\circ$
а)



$90 < \Theta < 180^\circ$
б)

Нека разгледаме случая за мокреща течност в капилярка.



Нека имаме капилярка със радиус r потопена в съд с течност. Нека с h означим височината на която се издига течността. Нека смятаме, че кривината на повърността на течността на капилярката е част от сфера с радиус R . Нека Θ е ъгъла на мокрене. Издигането или спускането на течността в капилярката продължава дотогава докато допълнителното налягане Δp не се изравни с хидростатичното налягане.

$$\Delta p = gh\rho$$

От формулата на Лаплас имаме:

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{R} = \frac{2\sigma \cos\theta}{r}$$

Тогава за височината h на която се издига стълба течност в капилярката е:

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{g\rho r}$$

като при: $0 \leq \theta < 90^\circ$, $h > 0$ – имаме издигане, а при: $90 < \theta \leq 180^\circ$ имаме спускане.

За вода при $r = 10^{-6}\text{m}$, $\theta = 0$ и $\sigma = 0,073\text{N/m}$ се получава: $h \approx 3\text{ m}$.