

Капилярен свят, или ефектът на лотоса

Борян Рагоев

Capillus на латински означава косъм и то е свързано с наблюдението на характерни особености при намокрянето на козината на животните, перата на птиците, както и на мъхестите части на растенията. Една от целите на тази статия е да разкрие връзката между всички тези обекти и да разшири кръга, където можем да срещнем т.нар. капилярни явления.

Преди да навлезем в по-методичното разглеждане на въпроса, трябва да спомнем едно тясно свързано с капилярките явление – намокрянето. От домакинската практика ясно различаваме материите, които добре попиват влага (на първо място памучните!) и тези, които не попиват (най-често изкуствените). Попиването (избърсването) не е нищо друго освен подобро мокрене на памучната тъкан в сравнение с повърхността, която трябва да се подсуши. Може да приведем пример с една известна демонстрация: капваме течност върху стъклена повърхност и приближаваме лист вестникарска хартия. Течността почти без остатък преминава в хартията

Понятията капилярност, капиляра и други сродни производни не са сред най-известните, но тези, които имат спомени от гимназиалния курс, със сигурност свързват тези думи с представата за тънки тръбички, а понякога – със засмукана течност вътре в тях. Тази представа се доближава до същността на обекта, но чисто езиково произходът на думата капиляра идва отгрудгае.

и повърхността остава суха. Този ефект не се наблюдава, ако до повърхността допрелост гланцирана хартия.

Основни понятия и закони

Ние ще се възползваме от геометрията, за да спестим съответната математическа формалистика и същевременно да изясним достатъчно ясно ефектите, без да останем

само на нивото на зрителното наблюдение.

Науката за капилярността е наука за повърхностите, прилежащи към две съседни обемни фази. Например течност/течност (маслени капки във вода – емулсия), течност/газ (пъна), твърда повърхност/течност или газ. Във всички случаи има комбинация от две обемни фази, които се допират, *през гранична повърхност!* Преминването от едната обемна фаза в другата става през фазова граница. Тази фазова граница има съществено различни свойства от свойствата на двете обемни фази.

Особеност на междуфазовите повърхности е стремежът им да заемат минимална площ.

Това е чисто геометрична задача, която има еднозначно решение и то гласи – *сферата е фигурата с минимална площ при определен обем*. Същия отговор ние получаваме и от самата природа, наблюдавайки сферичната форма на водните капчици, мехурчета, сапунени балончета. Внимателният читател веднага ще забележи, че наричаме с умалителни имена въпросните обекти и че ако става въпрос за големи капки, мехури, балони, те далеч не са със сферична форма. Причината е, че при големите обекти освен капилярните сили действа и силата на гравитация, която деформира телата.

Идеални условия за неограничена изява на сферична форма при свободните течности има в Космоса, далеч от гравитационните полета на небесните тела. Това е било установено в орбиталните станции. Там, в безтегловния мир, това капилярно свойство поражда сериозни усложнения при съхранение, боравете и консумиране на течности.

Формата на междофазовите повърхности, техният стремеж към минимална площ са следствие от сила, действаща тангенциално по протежение на тези повърхности, наречена *повърхностно напрежение* (surface tension). То е положителна



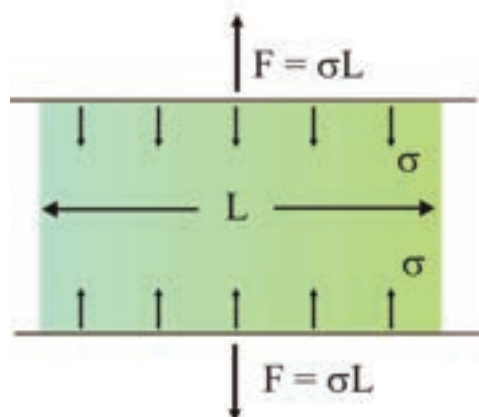
Проф. д.х.н. Борян Радоев е завършил СУ „Св. Климент Охридски“, специалност „Химия“. Област на интереси: тънки течни филми, течни повърхности, преносни процеси, флукуации. Международно сътрудничество с лаборатории от Макс Планк и Лайбниц институт (Германия).

величина и лежи в основата на цялото многообразие от капилярни явления и ефекти.

Степента на аналогия между обемните и повърхностните напрежения е висока, но не пълна! На първата част от фигурата на с. 54 е показана динамична схема на плоска



Разлята вода в космическия кораб приема формата на сфера



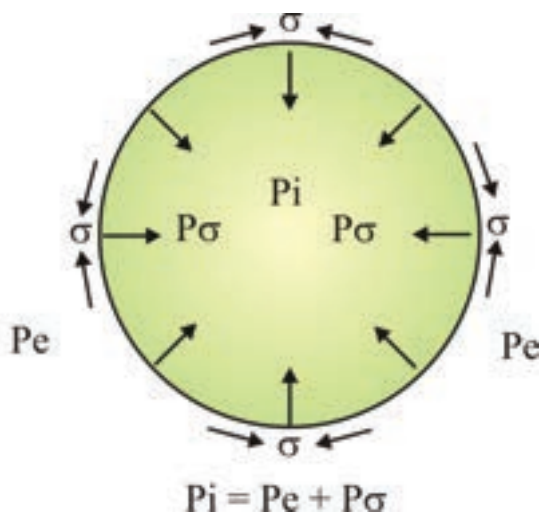
Сапунена ципа

сапунена ципа, опъната между две еднакви успоредни метални нишки със сила $F = \sigma L$, σ – повърхностно напрежение; L – дължина на единичната нишка. Напрежението е локализирано само по протежение на мембраната.

Може да напънем мембраната и по друг начин – като надуете балончето. Пак увеличаваме площта, пак се развиват напрежения, но сега вече наблюдаваме едно съществено въздействие и в околните фази – възниква разлика в наляганията от двете страни на балончето: вътре налягането (P_i) е по-високо, отколкото отвън (P_e). На втората част на фигурата е показана динамична схема на надутото балонче (мехурче, капка). Съвсем същата разлика в наляганията поради стремеж за свиване на повърхността се развива в газовите мехурчета и в течните капчици. Разликата от двете страни на една изкривена междуфазова повърхност се нарича капиллярно налягане (capillary pressure) P_σ . То е резултат от действието на повърхностното напрежение върху изкривена повърхност. При плоска граница повърхностното напрежение действа, но то не възбужда капиллярно налягане.

Характерно свойство на флуидните повърхности е, че са вътрешно напънати, а повърхностното напрежение не зависи от степента на разтягане на повърхността.

Въвеждането на капиллярното налягане като понятие, както и неговото развитие, е свързано главно с три имена – Томас Янг (известен в нашата литература още като Юнг, Thomas Young, 1773 – 1829), Лаплас (Pierre Laplace 1749 – 1827) и Гаус (Friedrich



Сапунено мехурче

Gauss, 1777 – 1855). Велики имена – оставили непреходни следи в редица области на науката, в това число и в теорията на капиллярното налягане. Тук могат да се разкажат интересни исторически факти, например опит на Лаплас да определи радиуса на Вселената.

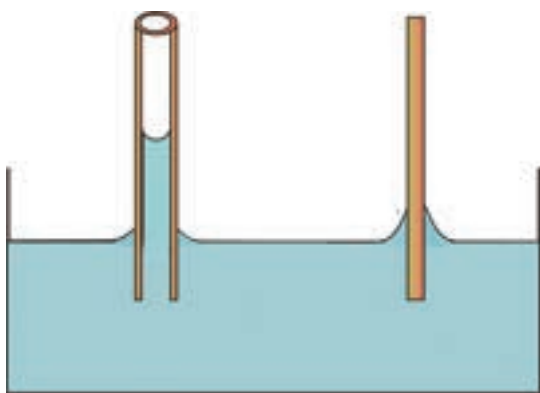
Формулата, по която се пресмята капиллярното налягане P_σ (известна като формула на Лаплас), е $P_\sigma = \sigma(1/R_1 + 1/R_2)$, където σ е повърхностното напрежение, а $R_{1,2}$ са т.нар. главни радиуси на кривина. Радиусите на кривина могат да се илюстрират с няколко прости примера.

- **Сфера.** Радиусите на кривина във всички точки са еднакви и равни на радиуса на сферата R , т.е. $P_\sigma = 2\sigma/R$.

- **Цилиндър.** Единият радиус съвпада с радиуса на цилиндъра R , а другият радиус е безкрайност! Така стигаме до резултата: $P_\sigma = \sigma/R$.

- **Плоска повърхност.** Не се поражда капиллярно налягане, тъй като радиусите на кривина са безкрайност (една сферична повърхност с безкраен радиус се държи като плоскост).

- **Катеноид (catenoid).** Това е сапунена ципа, опъната между два пръстена. За простота ще коментираме повърхността, образувана между еднакви, коаксиално и успоредно разположени пръстени. Тази повърхност се нарича катеноид. При катеноида огъването паралелно на оста на симетрия е в обратна посока на огъването перпендикулярно на оста на симетрия и двата радиуса са с противоположен знак. Повърхности с противоположно огъване се наричат *седловидни*, по аналогия със седло-



Стъклена капиляра и стъклена плоча, потопени във вода



Катеноид

мо, което отпред и отзад (по дължина на коня) е огънато нагоре, а около ребрата на коня (за краката на ездача) – надолу. Седловидна повърхност се образува отвън, около капилярка или косъм, потопени в течност.

На физурата вляво е дадено схематично намокрянето на една капилярка и на една плочка; и двете от един и същ материал (напр. стъкло). Това, на което трябва да се обърне внимание, са разликите във височините на намокряне: най-високо – вътре в капилярката, най-ниско – около капилярката и междинно около пластинката. Едно пояснение: височините на умокряне са резултат от равенството на хидростатичното и капилярното налягане.

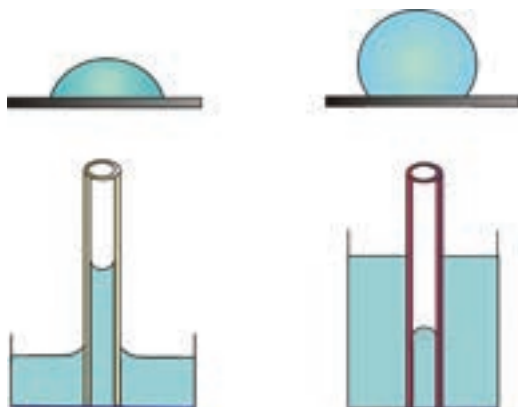
Причината за различните височини е разликата в капилярните налягания, описани по-горе. Показателно е изменението на височините на намокряне (отвън и вътре) при намаление на радиуса на капилярката: вътре височината се качва, отвън – спада!

Капилярни ефекти в живата природа

Как и за какво природата използва особеностите в намокрянето? Всички знаем, че за да „освежим“ повехнало цвете или зеленчук, трябва да ги потопим във вода и че растението не след дълго се изправя, листата му стават лъскави, цветът изпъква. Процесът е ясен: засмукване на водата, но въпросът е кой е двигателният механизъм. Пълният отговор е сложен, включващ спрегнати процеси до клетъчно ниво, но всички те се оказват на фона на най-„банално“ капилярно намокряне. Растителната проводяща тъкан (т.нар. ксилем) се състои от гъста мрежа хидрофилни влакна, образуващи канали с диаметри от десетки до стотици микрометри. Именно по тези канали (както в канала на потопена във вода капилярка) течността се издига, навлиза в клетките и растението „оживява“. Впрочем това е и механизмът, поддържащ самостоятелното хранене на растенията в природата, обърнете внимание, от най-ниската тревичка до секвойата!

Не по-малко впечатляващо е експлоатирането на хидрофобния ефект на външното намокряне. (Терминът *хидрофобен* е в смисъл на лошо мокрене; *хидрофилен* – добро мокрене.) Става въпрос за начина, по който блатните птици се предпазват от проникване на водата навътре в перушината. Те омазват с човката си външните пера с мазнина до степен че като се потопят във водата, тя да се задържа само на повърхността им. Имаме налице два усиливащи се ефекта: ролята на мазнината и ролята на структурата на перата.

Хидрофобизиращата роля на мазнината може да бъде илюстрирана по следния начин. Върху чисто стъкло водна капка се разтича, а върху мазна повърхност контактът се свива. Примери за лош (хидрофобен) контакт има много, напр. живачна капчица върху чисто стъкло. На физурата на с. 56 е показан резултатът от комбинираното действие на хидрофобността и формата на повърхността: при хидрофобна капилярка течността не само не се качва, а слиза под нивото на течността отвън. Подобен ефект се използва и при някои силно окосмени млекопитаещи. Това е изразе-



**Хидрофилна
повърхност и капиляра**

**Хидрофобна
повърхност и капиляра**

но много силно при овцете. Всеки, който е имал възможност да си пхне пръстите във вълната на овца при дъждовно време, е усетил, че навътре козината е суха. Осигуряването на суха козина близо до кожата е от първостепенно значение за топлинния баланс, а оттам и за оцеляване на животното, особено в по-северните географски ширини.

Два специални капилярни обекта

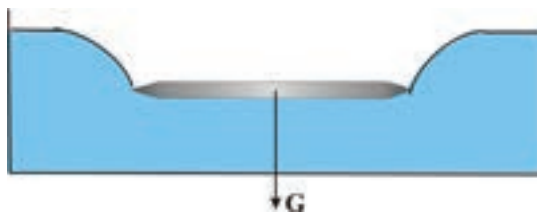
Ще започнем с водните насекоми, известни още като водомерки (*water striders*). За любителите туристи тези водни насекоми са добри познати от локвите по пътищата, като поединично или на рояци се стрелкат по водната повърхност. Човек остава с впечатление, че тези ефирни създания са „безтегловни“ и се плъзгат по повърхността. По-настойчивите наблюдения показват, че насекомите могат да стоят във водата и в статично състояние.

На фигурата е показано подобно насекомо. Най-важният детайл са леките огъвания на водната повърхност около възглавничките



на краката; в тези огъвания се крие верният отговор кое държи насекомото на повърхността.

За пояснение е дадена схема на един известен „номер“, често описван в наръчници за любознателни фокусници – плуващото бръснарско ножче. Всеки знае, че стоманеното ножче е с по-висока плътност от водата и съгласно закона на Архимед, ако се потопи във вода, то ще потъне.



Намазено бръснарско ножче не потъва във водата

В случая обаче ножчето не е потопено, а *лежи* върху повърхността. Нещо повече, под действие на теглото на ножчето водната повърхност около него се е огънала, т.е. имаме определен обем изместена (спрямо плоската повърхност) водна маса. Именно теглото на изместената вода балансира теглото на ножчето. Същото е и при насекомите: сумата от теглата на отделните водни вдлъбнини точно компенсира теглото на насекомото. Сега остава още един принципен въпрос: кое възпира водата да не залее положената върху нея метална пластинка? И отговорът е, че това може да се реализира само ако повърхността на пластинката (ножчето) е достатъчно хидрофобна. Тогава течността не мокри, а се огъва,

както при натискане с пръст на слабо натут балон. Препоръките за хидрофобизирането в наръчника на фокусника е ножчето да бъде предварително омаслено, най-добре с вазелин. А как става хидрофобизирането при насекомите? Ами подобно при другите живи организми, за които споменахме – чрез отделяне на съответен секрет. Тук трябва да допълним, че космите при овцете също са омаслени с едно много известно вещество в козметиката – ланолин.

Завършваме с пример от растителния свят. Става въпрос за цветето лотос. Още в митологията на Египет, а също в Китай и Индия то е било символ на красота, духовна чистота, целомъдрие. Интересното и свързано с нашата тема е това, че тези „духовни“ качества са асоциация с физическата чистота, особено на цвета на лотоса, а типичните места, където вирее лотосът, са блатата, т.е. застояла, замърсена вода. Въпросът е как се съчетават тези две изключващи се обстоятелства – мръсна околност и чисти цветове?

Наблюденията са довели до извода, че това странно съчетание се дължи на строежа и свойствата на листата на цвета на лотоса. Факт е, че те са силно мъхести и подчертано хидрофобни и водните капчици (с разтворената в тях мръсотия) имат много слаб контакт с влакнестата структура на власинките. Така при най-слабо разклащане на цвета капките се откъсват и остават чистите власинки. Погледнете на просвет подобни цветчета (не само лотосът има мъхеста структура), напръскани предварително с вода, и ще видите капчици като набодени на игленик. Описаните ефекти са оставили такова впечатление, че се използва терминът *Ефект на лотоса*. Нещо повече, в търговските регистри има патент под това наименование, с което е запазен периметърът за производство и продажба на специални покривни средства (бои, латекси, тапети) с претенцията за самопочистващи се повърхности. По този въпрос има много написано в интернет, което може да бъде намерено под името Lotus Effect. ■

