МОУ «Лицей № 43»

(естественно-технический)

**КАПИЛЛЯРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ**

Рожков Дмитрий

11А класс

Саранск

2013

**Оглавление**

[Обзор литературы 3](#_Toc356664427)

[Свойства жидкостей. Поверхностное натяжение 3](#_Toc356664428)

[Опыт Плато 6](#_Toc356664429)

[Явления смачивания и не смачивания. Краевой угол. 7](#_Toc356664430)

[Капиллярные явления в природе и технике 8](#_Toc356664431)

[Кровеносные сосуды 10](#_Toc356664432)

[Пена на службе у человека 10](#_Toc356664433)

[Практическая часть 12](#_Toc356664434)

[«Изучение капиллярных свойств различных образцов пористой бумаги» 12](#_Toc356664435)

[«Определение поверхностного натяжения молока» 13](#_Toc356664436)

[Выводы и заключения 14](#_Toc356664437)

[Библиографический список 15](#_Toc356664438)

# Обзор литературы

Капиллярные явления – это физические явления, обусловленные поверхностным натяжением на границе раздела несмешивающихся сред. К таким явлениям относят обычно явления в жидких средах, вызванные искривлением их поверхности, граничащей с другой жидкостью, газом или собственным паром.

Капиллярные явления охватывают различные случаи равновесия и движения поверхности жидкости под действием сил межмолекулярного взаимодействия и внешних сил (в первую очередь, силы тяжести). В простейшем случае, когда внешние силы отсутствуют или скомпенсированы, поверхность жидкости всегда искривлена. Так в условиях невесомости ограниченный объём жидкости, не соприкасающейся с другими телами, принимает под действием поверхностного натяжения форму шара. Эта форма отвечает устойчивому равновесию жидкости, поскольку шар обладает минимальной поверхностью при данном объёме и, следовательно, поверхностная энергия жидкости в этом случае минимальна. Форму шара жидкость принимает и в том случае, если она находится в другой, равной по плотности жидкости (действие силы тяжести компенсируется архимедовой выталкивающей силой).

Свойства систем, состоящих из многих мелких капель или пузырьков (эмульсии, жидкие аэрозоли, пены), и условия их образования во многом определяются кривизной поверхности частиц, то есть капиллярными явлениями. Не меньшую роль капиллярные явления играют и при образовании новой фазы: капелек жидкости при конденсации паров, пузырьков пара при кипении жидкостей, зародышей твердой фазы при кристаллизации.

При контакте жидкости с твердыми телами на форму её поверхности существенно влияют явления смачивания, обусловленные взаимодействием молекул жидкости и твердого тела.

Капиллярное впитывание играет существенную роль в водоснабжении растений, передвижении влаги в почвах и других пористых телах. Капиллярная пропитка различных материалов широко применяется в процессах химической технологии.

Искривление свободной поверхности жидкости под действием внешних сил обусловливает существование так называемых капиллярных волн («ряби» на поверхности жидкости). Капиллярные явления при движении жидких поверхностей раздела рассматривает физико-химическая гидродинамика.

Капиллярные явления впервые были открыты и исследованы Леонардо да Винчи, Б.Паскалем (17 в.) и Дж. Жюреном (Джурин, 18 в.) в опытах с капиллярными трубками. Теория капиллярных явлений развита в работах П. Лапласа (1806), Т. Юнга (Янг, 1805), Дж. У. Гиббса (1875) и И.С. Громеки (1879, 1886). [1]

##  Свойства жидкостей. Поверхностное натяжение

Молекулы вещества в жидком состоянии расположены почти вплотную друг к другу. В отличие от твердых кристаллических тел, в которых молекулы образуют упорядоченные структуры во всем объеме кристалла и могут совершать тепловые колебания около фиксированных центров, молекулы жидкости обладают большей свободой. Каждая молекула жидкости, также как и в твердом теле, «зажата» со всех сторон соседними молекулами и совершает тепловые колебания около некоторого положения равновесия. Однако время от времени любая молекула может переместиться в соседнее вакантное место. Такие перескоки в жидкостях происходят довольно часто; поэтому молекулы не привязаны к определенным центрам, как в кристаллах и могут перемещаться по всему объему жидкости. Этим объясняется текучесть жидкостей. Из-за сильного взаимодействия между близко расположенными молекулами они могут образовывать локальные (неустойчивые) упорядоченные группы, содержащие несколько молекул. Это явление называется ближним порядком (рис. 1).

|  |
| --- |
| http://penz.edurm.ru/proekt_zra.files/image003.gif |
| *Рис 1. Пример ближнего порядка молекул жидкости и дальнего порядка молекул кристаллического вещества: 1 – вода; 2 – лед.*  |

Вследствие плотной упаковки молекул сжимаемость жидкостей, т. е. изменение объема при изменении давления, очень мала; она в десятки и сотни тысяч раз меньше, чем в газах.

Жидкости, как и твердые тела, изменяют свой объем при изменении температуры. Для не очень больших интервалов температур относительное изменение объема ΔV/V0 пропорционально изменению температуры ΔT:

Коэффициент β называют температурным коэффициентом объемного расширения. Тепловое расширение воды имеет интересную и важную аномалию для жизни на Земле. При температуре ниже 4°С вода расширяется. Максимум плотности ρв = 103 кг/м3 вода имеет при температуре 4°С.

При замерзании вода расширяется, поэтому лед остается плавать на поверхности замерзающего водоема. Температура замерзающей воды подо льдом равна 0°С. В более плотных слоях воды, у дна водоема, температура оказывается порядка 4 °С. Благодаря этому, может существовать жизнь в воде замерзающих водоемов.

Наиболее интересной особенностью жидкостей является наличие свободной поверхности. Жидкость, в отличие от газов, не заполняет весь объем сосуда, в который она налита. Между жидкостью и газом (или паром) образуется граница раздела, которая находится в особых условиях по сравнению с остальной массой жидкости. Молекулы в пограничном слое жидкости, в отличие от молекул в ее глубине, окружены другими молекулами той же жидкости не со всех сторон. Силы межмолекулярного взаимодействия, действующие на одну из молекул внутри жидкости со стороны соседних молекул, в среднем взаимно скомпенсированы. Любая молекула в пограничном слое притягивается молекулами, находящимися внутри жидкости (силами, действующими на данную молекулу жидкости со стороны молекул газа (или пара) можно пренебречь). В результате появляется некоторая равнодействующая сила, направленная вглубь жидкости (рис.2)

*Рис.2*

Если молекула переместится с поверхности внутрь жидкости, силы межмолекулярного взаимодействия совершат положительную работу. Наоборот, чтобы вытащить некоторое количество молекул из глубины жидкости на поверхность (т. е. увеличить площадь поверхности жидкости), надо затратить положительную работу внешних сил ΔAвнеш, пропорциональную изменению ΔS площади поверхности:

*ΔAвнеш = σΔS.*

Коэффициент σ называется коэффициентом поверхностного натяжения (σ > 0). Таким образом, коэффициент поверхностного натяжения равен работе, необходимой для увеличения площади поверхности жидкости при постоянной температуре на единицу.

В СИ коэффициент поверхностного натяжения измеряется в джоулях на метр квадратный (Дж/м2) или в ньютонах на метр (1 Н/м = 1 Дж/м2).

Следовательно, молекулы поверхностного слоя жидкости обладают избыточной по сравнению с молекулами внутри жидкости потенциальной энергией. Потенциальная энергия Ep поверхности жидкости пропорциональна ее площади:

*Ep = Aвнеш = σS.*

Из механики известно, что равновесным состояниям системы соответствует минимальное значение ее потенциальной энергии. Отсюда следует, что свободная поверхность жидкости стремится сократить свою площадь. По этой причине свободная капля жидкости принимает шарообразную форму (рис.3)

.    

*Рис.3*

Жидкость ведет себя так, как будто по касательной к ее поверхности действуют силы, сокращающие (стягивающие) эту поверхность. Эти силы называются силами поверхностного натяжения.

Наличие сил поверхностного натяжения делает поверхность жидкости похожей на упругую растянутую пленку, с той только разницей, что упругие силы в пленке зависят от площади ее поверхности (т. е. от того, как пленка деформирована), а силы поверхностного натяжения не зависят от площади поверхности жидкости.

Так как всякая система самопроизвольно переходит в состояние, при котором ее потенциальная энергия минимальна, то жидкость должна самопроизвольно переходить в такое состояние, при котором площадь ее свободной поверхности имеет наименьшую величину. Это можно показать с помощью следующего опыта.

На проволоке, изогнутой в виде буквы П, укрепляют подвижную поперечину (рис. 4). Полученную таким образом рамку затягивают мыльной пленкой, опуская рамку в мыльный раствор. После вынимания рамки из раствора попе­речина перемещается вверх, т. е. молекулярные силы действительно уменьшают площадь свободной поверхности жидкости. [2]

*Рис.4*

Поскольку при одном и том же объеме наименьшая площадь поверхности имеется у шара, жидкость в состоянии невесомости принимает форму шара. По этой же причине маленькие капли жидкости имеют шарообразную форму. Форма мыльных пленок на различных каркасах всегда соответствует наименьшей площади свободной поверхности жидкости.

## Опыт Плато

Естественная форма всякой жидкости – шар. Обычно сила тяжести мешает жидкости принимать эту форму, и жидкость либо растекается тонким слоем, если сосуда нет, либо же принимает форму сосуда. Находясь внутри другой жидкости такой же плотности, жидкость принимает естественную, шарообразную форму.

*Рис.5*

Оливковое масло всплывает в воде, но тонет в спирте. Можно приготовить такую смесь воды и спирта, в которой масло будет находиться в равновесии. Введём с помощью стеклянной трубки или шприца в эту смесь немного оливкового масла: масло соберётся в одну шарообразную каплю, которая будет висеть неподвижно в жидкости. Если пропустить через центр масляного шара проволоку и вращать её, то масляный шар начинает сплющиваться, а затем, через несколько секунд, от него отделяется кольцо из маленьких шарообразных капелек масла. Этот опыт впервые произвел бельгийский физик Плато.

В гигантских масштабах такое явление можно наблюдать у нашей звезды Солнца и планет-гигантов. Вращаются эти небесные тела вокруг своей оси очень быстро. В результате такого вращения тела очень сильно сжаты у полюсов.



*Рис.6*

##  Явления смачивания и не смачивания. Краевой угол.

Смачивание и не смачивание – капиллярные явления широко распространены в природе и технике. Они важны как в повседневной жизни, так и для решения важнейших научно-технических задач. Знания по этим вопросам позволяют ответить на многие вопросы. Например, что капиллярные явления позволяют всасывать питательные элементы, влагу из почвы корневой системой растительности, что кровообращение в живых организмах основано на капиллярном явлении, что такое флотация и где она нашла применение, почему одни твердые тела хорошо смачиваются жидкостью, другие плохо и т. д.

Если опустить стеклянную палочку в ртуть и затем вынуть ее, то ртути на ней не окажется. Если же эту палочку опустить в воду, то после вытаскивания на ее конце останется капля воды. Этот опыт показывает, что молекулы ртути притягиваются друг к другу сильнее, чем к молекулам стекла, а молекулы воды притягиваются друг к другу слабее, чем к молекулам стекла.

Если молекулы жидкости притягиваются друг к другу слабее, чем к молекулам твердого вещества, то жидкость называют **смачивающей** это вещество. Например, вода смачивает чистое стекло и не смачивает парафин. Если молекулы жидкости притягиваются друг к другу сильнее, чем к молекулам твердого вещества, то жидкость называют не смачивающей это вещество. Ртуть не смачивает стекло, однако она смачивает чистые медь и цинк.

Расположим горизонтально плоскую пластинку из какого-либо твердого вещества и капнем на нее исследуемую жидкость. Тогда капля расположится либо так, как показано на рис.7(*а*), либо так, как показано на рис. 7(*б).*



 *а) б)*

*Рис.7.*

В первом случае жидкость смачивает твердое вещество, а во втором — нет. Отмеченный на рис.5 угол θ называют **краевым углом**. Краевой угол образуется плоской поверхностью твердого тела и плоскостью, касательной к свободной поверхности жидкости, где граничат твердое тело, жидкость и газ; внутри крае­вого угла всегда находится жидкость. Для смачивающих жидкостей краевой угол – острый, а для не смачивающих — тупой. Чтобы действие силы тяжести не искажало краевой угол, каплю надо брать как можно меньше.

Поскольку краевой угол θ сохраняется при вертикальном положении твердой поверхности, то смачивающая жидкость у краев сосуда, в который она налита, приподнимается, а несмачивающая жидкость опускается

При полном смачивании θ = 0, cos θ = 1.

*Рис.8*

## Капиллярные явления в природе и технике

Подъем жидкости в капилляре продолжается до тех пор, пока сила тяжести, действующая на столб жидкости в капилляре, не станет равной по модулю результирующей Fн сил поверхностного натяжения, действующих вдоль границы соприкосновения жидкости с поверхностью капилляра: Fт = Fн, где Fт = mg = ρhπr2g, Fн = σ2πr cos θ.

Отсюда следует:

Искривление поверхности жидкости в узких трубках приводит к кажущемуся нарушению закона сообщающихся сосудов.

Из формулы видно, что высота *h* тем больше, чем меньше внутренний радиус трубки *r.* Подъем воды имеет значительную величину в трубках, внутренний диаметр которых соизмерим с диаметром волоса (или еще меньше); поэтому такие трубки называют капиллярами (от греческого «капиллярис» — волосной, тонкий). Смачивающая жидкость в капиллярах поднимается вверх (рис.9, а), а несмачивающая — опускается вниз (рис.9, *б).*

*Рис.9*

Капиллярные явления можно наблюдать не только в трубках, но и в узких щелях. Если опустить в воду две стеклянные пластины так, чтобы между ними образовалась узкая щель, то вода между пластинами поднимется, и тем выше, чем ближе они расположены. Капиллярные явления играют большую роль в природе и технике. Множество мельчайших капилляров имеется в растениях. В деревьях по капиллярам влага из почвы поднимается до вершин деревьев, где через листья испаряется в атмосферу. В почве имеются капилляры, которые тем уже, чем плотнее почва. Вода по этим капиллярам поднимается до поверхности и быстро испаряется, а земля становится сухой. Ранняя весенняя вспашка земли разрушает капилляры, т. е. сохраняет подпочвенную влагу и увеличивает урожай.

В технике капиллярные явления имеют огромное значение, например, в процессах сушки капиллярно-пористых тел и т. п. Большое значение капиллярные явления имеют в строительном деле. Например, чтобы кирпичная стена не сырела, между фундаментом дома и стеной делают прокладку из вещества, в котором нет капилляров. В бумажной промышленности приходится учитывать капиллярность при изготовлении различных сортов бумаги. Например, при изготовлении писчей бумаги ее пропитывают специальным составом, закупоривающим капилляры. В быту капиллярные явления используют в фитилях, в промокательной бумаге, в перьях для подачи чернил и т. п.

Большинство растительных и животных тканей пронизано громадным числом капиллярных сосудов. Именно в капиллярах происходят основные процессы, связанные с дыханием и питанием организма, вся сложнейшая химия жизни тесно связана с диффузионными явлениями. Стволы деревьев, ветви и стебли растений пронизаны огромным числом капиллярных трубочек, по которым питательные вещества поднимаются до самых верхних листочков. Корневая система растений оканчивается тончайшими нитями-капиллярами. И сама почва, источник питания для корня, может быть представлена как совокупность капиллярных трубочек, по которым в зависимости от структуры и обработки быстрее или медленнее поднимается к поверхности вода с растворёнными в ней веществами. Высота подъёма жидкости в капиллярах тем больше, чем меньше его диаметр. Отсюда ясно, что для сохранения влаги надо почву перекапывать, а для осушения – утрамбовывать.

Роль поверхностных явлений в природе разнообразна. Например, поверхностная плёнка воды является для многих организмов опорой при движении. Такая форма движения встречается у мелких насекомых и паукообразных. Наиболее известны водомерки, опирающиеся на воду только конечными члениками широко расставленных лапок. Лапка, покрытая воскообразным налётом, не смачивается водой, поверхностный слой воды прогибается под давлением лапки, образуя небольшое углубление. Подобным образом перемещаются береговые пауки некоторых видов, но их лапки располагаются не параллельно поверхности воды, как у водомерок, а под прямым углом к ней.

Некоторые животные, обитающие в воде, но не имеющие жабер, подвешиваются снизу к поверхностной плёнке воды с помощью не смачивающихся щетинок, окружающих их органы дыхания. Этим приёмом «пользуются» личинки комаров (в том числе и малярийных).

Перья и пух водоплавающих птиц всегда обильно смазаны жировыми выделениями особых желёз, что объясняет их непромокаемость. Толстый слой воздуха, заключённый между перьями утки и не вытесняемый оттуда водой, не только защищает утку от потери тепла, но и чрезвычайно увеличивает запас плавучести, действуя подобно спасательному поясу.

Воскообразный налёт на листьях препятствует заливанию так называемых устьиц, которое могло бы привести к нарушению правильного дыхания растений. Наличием того же воскового налёта объясняется водонепроницаемость соломенной кровли, стога сена и т.д.

Основной потребляющий влагу орган, где постоянно нужна вода, в том числе для фотосинтеза, – это лист, расположенный далеко от корня. Кроме того, лист окружён воздухом, который часто «отнимает» у него воду, чтобы «насытиться» водяными парами. Возникает противоречие: листу вода нужна постоянно, но он её всё время теряет, а корень постоянно имеет воду в избытке, хотя не прочь от неё избавиться. Решение этой проблемы очевидно: надо перекачать избыток воды из корня в листья. Роль такого водопровода берёт на себя стебель. Он доставляет воду к листьям по специальным трубочкам – капиллярам. У покрытосеменных они самые совершенные и представляют собой длинные (в рост самого растения) полые сосуды, стенки которых выстланы целлюлозой и лигнином. Система таких проводящих сосудов называется ксилемой (от греч. ксилон – *дерево*, *деревянный брусок*).

Если в просвете сосудов ксилемы корня сконцентрировать минеральные вещества, которые всосал корень из почвы, в ксилему из окружающих клеток корня по механизму осмоса устремляется вода.

Механизм «водокачки» состоит из двух осмотических насосов и капиллярных сил стенок сосудов.

## Кровеносные сосуды

Всё тело пронизывают кровеносные сосуды. По строению они неодинаковы. Артерии – это сосуды, по которым движется кровь от сердца. Они имеют плотные упругие эластичные стенки, в состав которых входят гладкие мышцы. Сокращаясь, сердце выбрасывает в артерию кровь под большим давлением. Благодаря плотности и упругости стенки артерии выдерживают это давление и растягиваются.

Крупные артерии по мере удаления от сердца ветвятся. Самые мелкие артерии распадаются на тончайшие капилляры. Их стенки образованы одним слоем плоских клеток. Сквозь стенки капилляров вещества, растворённые в плазме крови, проходят в тканевую жидкость, а из неё попадают в клетки. Продукты жизнедеятельности клеток проникают сквозь стенки капилляров из тканевой жидкости в кровь. В организме человека примерно 150 миллиардов капилляров. Если все капилляры вытянуть в одну линию, то ею можно опоясать земной шар по экватору два с половиной раза. Кровь из капилляров собирается в вены – сосуды, по которым кровь движется к сердцу. Давление в венах невелико, стенки их тоньше стенок артерий.

## Пена на службе у человека

К самой идее флотации привела не теория, а внимательное наблюдение случайного факта. В конце XIX в. американская учительница Карри Эверсон, стирая замасленные мешки, в которых хранился медный колчедан, обратила внимание на то, что крупинки колчедана всплывают с мыльной пеной. Это и послужило толчком к развитию способа флотации. Этот способ широко используется в горно-металлургической промышленности для обогащения руд, т.е. для увеличения относительного содержания в них ценных составляющих. Сущность флотации состоит в следующем. Тонко измельчённая руда загружается в чан с водой и маслянистыми веществами, которые способны обволакивать частицы полезного минерала тончайшей плёнкой, не смачиваемой водой. Смесь энергично перемешивается с воздухом, так что образуется множество мельчайших пузырьков – пена. При этом частицы полезного минерала, облачённые в тонкую маслянистую плёнку, при соприкосновении с оболочкой воздушного пузырька пристают к ней, повисают на пузырьке и выносятся с ним наверх, как на воздушном шарике. Частицы же пустой породы, не обволакиваемые маслянистым веществом, не пристают к оболочке и остаются в жидкости. В итоге частицы полезного минерала почти все оказываются в пене на поверхности жидкости. Пену снимают и направляют на дальнейшую обработку – для получения так называемого концентрата*.*

Техника флотации позволяет при надлежащем подборе примешиваемых жидкостей отделить требуемый полезный минерал от пустой породы любого состава.

# Практическая часть

## «Изучение капиллярных свойств различных образцов пористой бумаги»

*Цель работы*: изучить капиллярные свойства различных образцов пористой бумаги (на примере бумажных салфеток разных производителей).

*Приборы и материалы*: образцы бумаги, вода дистиллированная, линейка, ванночка.

*Метод выполнения:*

1. Подготовил образцы для исследования: взял бумажные салфетки разных производителей, вырезал из них полоски длиной 10 см и шириной 2 см. На расстоянии 3 см от конца образца провел линию.
2. Взял прозрачный сосуд с водой и по очереди стал опускать образцы в воду, так чтобы уровень воды совпадал с проведенной линией.
3. После того, как вода переставала подниматься по образцу, измерял высоту поднятия жидкости от отмеченной линии до сухого участка.
4. Повторил опыты с каждым образцом 3 раза.
5. Результаты занес в таблицу 1.
6. Радиус капилляра рассчитал по формуле:

 ,
где *σ* – поверхностное натяжение (для воды на границе с воздухом *σ* = 73х10-3 Н/м);
*ρ* – плотность воды (103 кг/м3);
*α* – краевой угол (полагая, что смачивание полное α = 0);
*h* – высота поднятия жидкости;
*g* – ускорение свободного падения.

*Таблица 1. Результаты измерений. Расчет радиуса капилляра.*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование производителя | Высота поднятия жидкости, 10 -2 м | Среднее значение высоты поднятия жидкости, 10 -2 м | Расчетный радиус капилляра, 10 -3 м | Оценка качества впитывания влаги по 4-х балльной системе |
| ООО «Русская бумага АЛЛ Продукция» г. Брянск | 2,252,22,3 | 2,25 | 0,6621 | 4 |
| ООО «БРИЗ» г. Новороссийск | 1,81,81,75 | 1,78 | 0,837 | 3 |
| ООО «Новые технологии» г. Краснодар | 1,31,41,25 | 1,32 | 1,1286 | 2 |
| ИП Китайкин А.Б. г. Новошахтинск Ростовская обл. | 2,52,22,1 | 2,26 | 0,6592 | 4 |

## «Определение поверхностного натяжения молока»

Поверхностное натяжение молока зависит от температуры, химического состава, состояния белковой и жировой фаз, активности липаз, продолжительности хранения, режимов технологической обработки.

*Цель работы*: определить качество молока по его поверхностному натяжению.

1. Повторил эксперимент с одним из образцов салфеток, заменив воду молоком.
2. Рассчитал поверхностное натяжение молока по формуле:

В вычислениях использовал расчетный радиус капилляра, полученный в предыдущем эксперименте.

*ρ* – плотность молока (1,03х103 кг/м3);

1. Результаты занес в таблицу 2.

*Таблица 2. Результаты измерений. Расчет поверхностного натяжения.*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование производителя | Вид молока | Высота поднятия жидкости, 10 -2 м | Среднее значение высоты поднятия жидкости, 10 -2 м | Расчетное поверхностное натяжение молока, 10-3 Н/м |
| ООО «Русская бумага АЛЛ Продукция» г. Брянск | 2,5% | 1,11,01,11,15 | 1,09 | 36,42 |
| 3,2% | 0,80,70,550,5 | 0,64 | 27,04 |

# Выводы и заключения

1. В результате проведенной работы получена объективная оценка качества салфеток бумажных различных производителей.
2. Наилучшие результаты показали образцы следующих производителей: ООО «Русская бумага АЛЛ Продукция» г. Брянск и ИП Китайкин А.Б. г. Новошахтинск Ростовская обл.
3. Худшими оказались салфетки ООО «Новые технологии» г. Краснодар, изготовленные для сети магазинов «Магнит».
4. Лучшие салфетки могут быть рекомендованы для использования в столовой лицея №43.
5. Поверхностное натяжение молока 3,2% оказалось ниже, чем молока 2,5%.
Более низкое поверхностное натяжение молока объясняется большим наличием в нём поверхностно активных веществ (ПАВ) в виде белков плазмы молока, оболочек жировых шариков, фосфолипидов и жирных кислот.

# Библиографический список

1. Физическая энциклопедия. <http://enc-dic.com/enc_physics/Kapilljarne-javlenija-911.html>
2. Свойства жидкостей <http://physics.kgsu.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=161&Itemid=72#q3>
3. Капиллярные явления. <http://seaniv2006.narod.ru/1191.html> (03.12.12)
4. Богатова О.В., Догарева Н.Г. Химия и физика молока: Учебное пособие. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. 137 с.
5. Молоко. https://ru.wikipedia.org/wiki.