



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Рубцовский индустриальный институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова»

В.В. Борисовский

СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ (теория и практика)

Методическое пособие
для студентов всех направлений

Рубцовск 2014

УДК 530.1

Борисовский В.В. Свойства жидкостей (теория и практика): Методическое пособие для студентов всех направлений/ Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2014.- 24 с.

Пособие представляет собой краткую теорию свойств жидкостей. Особое внимание обращено на поверхностное натяжение жидкости. Приведенные примеры из повседневной жизни, природы и техники рассматривают свойства вещества, находящегося в жидком состоянии.

Пособие предназначено для студентов всех направлений и может быть использовано старшеклассниками и преподавателями физики.

Рассмотрено и одобрено на заседании
НМС Рубцовского индустриального
института
Протокол № 7 от 07.10.2014г.

Рецензент:

к.т.н., доцент П.А. Люкшин

© Рубцовский индустриальный институт, 2014

Содержание

I. Жидкость и ее свойства	4
1.1. Поверхностное натяжение жидкости	4
1.2. Явления смачивания и несмачивания	5
1.3. Избыточное давление под изогнутой поверхностью жидкости	6
1.4. Капиллярные явления	7
II. Вопросы и задачи	9
III. Подсказки	14
IV. Ответы	16

I. Жидкость и ее свойства

Плотность жидкости примерно в 1700 раз больше плотности ее пара. Отсюда следует, что молекулы жидкости расположены на сравнительно близких расстояниях одна от другой. Поэтому характер движения жидкости и многие свойства ее в значительной степени определяются силами взаимодействия между молекулами. Силы отталкивания проявляются при сжатии (жидкости почти не сжимаются), а силы притяжения – при разрыве жидкости.

Русский физик Я.И. Френкель установил, что за одну секунду молекула в жидкости перемещается с места на место 10^{10} - 10^{11} раз, совершая в местах кратковременной остановки около 100 колебаний. Таким образом, в малых областях молекулы жидкости некоторое время сохраняют неизменное взаимное расположение. Существование этих областей обуславливает основное свойство жидкостей – *текучесть*. Жидкость приобретает форму сосуда, в котором она находится, а при отсутствии сил тяжести или, если взять жидкость в малых количествах, обретает форму шара или близкую к нему.

Жидкое состояние вещества является промежуточным между газообразным и твердым и имеет сходство как с тем, так и с другим. Около критической температуры свойства жидкостей близки к свойствам плотного пара, а в условиях затвердевания сходны со свойствами твердого тела.

1.1. Поверхностное натяжение жидкости

На молекулу жидкости действуют силы притяжения со стороны окружающих молекул. Если молекула находится внутри жидкости и удалена от ее поверхности на расстояние, превышающее радиус сферы молекулярного действия, то силы, действующие на молекулу, в среднем уравниваются. Равнодействующая сила непрерывно изменяет свою величину и направление, что вызывает постоянный дрейф молекулы внутри жидкости.

Молекулы поверхностного слоя жидкости в энергетическом отношении отличаются от молекул, находящихся внутри жидкости. Молекула, находящаяся на поверхности, испытывает притяжение со стороны молекул жидкости, лежащих внутри жидкости, и со стороны молекул газа и паров самой жидкости вне жидкости. Поскольку концентрация молекул газа и паров гораздо меньше концентрации молекул жидкости, то на молекулу поверхностного слоя действует сила, направленная внутрь жидкости перпендикулярно ее поверхности. Поэтому для извлечения молекулы из внутренних частей жидкости на ее поверхность требуется затрата работы. *Работа, которую надо затратить, чтобы изотермически и квазистатически увеличить поверхность жидкости на единицу при сохранении ее объема неизменным, называется коэффициентом поверхностного натяжения или просто поверхностным натяжением σ .*

Под действием силы поверхностного натяжения часть молекул жидкости уходит с поверхности внутрь жидкости. Поверхностный слой при этом сокращается и находится в состоянии своеобразного натяжения. Поверхностный

слой жидкости ведет себя как растянутая эластичная пленка, следовательно, молекулы поверхностного слоя жидкости обладают избытком потенциальной энергии по сравнению с энергией молекул внутри жидкости. Эту энергию называют *поверхностной энергией*. Она пропорциональна площади свободной поверхности S :

$$W = \sigma S, \quad (1)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения. Величина σ зависит от температуры жидкости (меняется среднее расстояние между молекулами) и от ее природы. Результаты измерений поверхностных натяжений некоторых жидкостей приведены в таблице:

Жидкость	Температура, °С	Поверхностное натяжение, Н/м
Вода (чистая)	20	0,073
Раствор мыла	20	0,040
Спирт	20	0,022
Эфир	20	0,013
Ртуть	20	0,470
Золото (расплавленное)	1130	1,102
Жидкий кислород	-253	0,0021
Жидкий гелий	-269	0,00012

Из таблицы видно, что у легкоиспаряющихся жидкостей (эфира, спирта) поверхностное натяжение меньше, чем у нелетучих жидкостей, например, у ртути. Очень мало поверхностное натяжение у жидкого водорода и особенно у жидкого гелия. У жидких металлов поверхностное натяжение, наоборот, очень велико.

За счет поверхностного натяжения поверхностный слой жидкости стремится перейти в состояние с минимальной энергией, то есть площадь свободной поверхности должна быть наименьшей. Поверхностный слой, стремясь сократиться, действует на длину l своей границы (длина по периметру) с силой:

$$F = \sigma l. \quad (2)$$

Если жидкость совершенно свободна, т.е. не ограничена стенками сосуда и не подвержена действию внешних силовых полей, то в состоянии равновесия свободная энергия системы должна быть минимальной. Тогда под действием сил поверхностного натяжения жидкость будет принимать *форму шара*, так как из всех тел заданного объема шар имеет наименьшую поверхность, а поэтому и наименьшую поверхностную свободную энергию.

1.2. Явления смачивания и несмачивания

При рассмотрении молекул жидкости, расположенных на поверхности, разделяющей жидкость и газ (воздух или иной пар этой жидкости), они почти

не притягиваются молекулами газа (концентрация молекул газа слишком мала). Если же жидкость граничит с твердым телом, то результат получается иным.

На границе жидкость-твердое тело уже нельзя не считаться с силами притяжения между молекулами жидкости и твердого тела. Если сила притяжения между молекулами жидкости и твердого тела оказывается больше силы притяжения между молекулами самой жидкости, то в этом случае про жидкость говорят, что она *смачивает* твердое тело. Если силы притяжения между молекулами жидкости больше сил притяжения молекул твердого тела и молекул жидкости, то такая жидкость называется *несмачивающей*.

Отличить смачивающую жидкость от несмачивающей очень просто. Для



Рис. 1

этого достаточно нанести каплю жидкости на поверхность твердого тела. Если жидкость смачивает тело, то капля растекается по поверхности, несмачивающая жидкость не растекается (рис.1).

Различие сил взаимодействия между молекулами жидкости, с одной стороны, и молекулами твердого тела и жидкости – с другой, обуславливает искривление поверхности жидкости у стенок сосуда. При смачивании силы взаимодействия между молекулами твердого тела и жидкости немного приподнимают жидкость у стенок сосуда и поверхность жидкости получается вогнутой, а угол θ между касательной к поверхности жидкости и твердым телом на границе трех сред (жидкости, твердого тела и газа) отсчитываемый внутрь жидкости

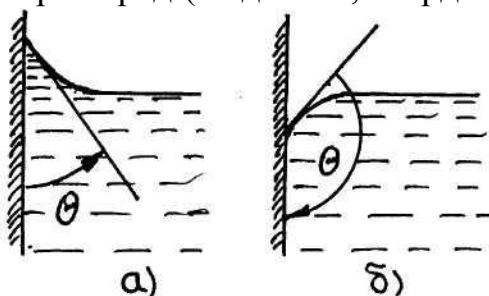


Рис 2.

(краевой угол), острый (рис.2, а). В случае несмачивания силы взаимодействия между молекулами жидкости, направленные внутрь жидкости, отодвигают ее от стенок сосуда и поверхность жидкости получается выпуклой и краевой угол θ будет тупой (рис.2, б). В случае полного смачивания $\theta=0^\circ$, а полного несмачивания – $\theta=180^\circ$.

1.3. Избыточное давление под изогнутой поверхностью жидкости

Если поверхность жидкости – искривленная, то при равновесии давления по разные стороны будут неодинаковыми. Это обусловлено силами поверхностного натяжения. Рассмотрим сначала случай, когда при сближении двух параллельных пластин

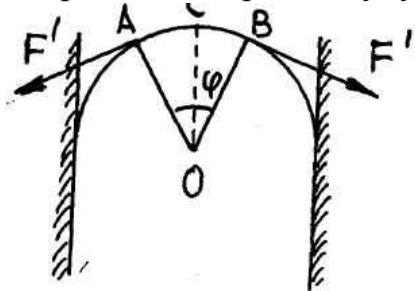


Рис.3

поверхность жидкости становится изогнутой в виде цилиндра с краевым углом $\theta=180^\circ$ (рис.3). Выделим на его поверхности участок бесконечно малой ширины АВ длиной l , который стягивается центральным углом φ . На его боковые стороны действуют касательные силы поверхностного натяжения $F' = \sigma l$. Равнодействующая этих сил направлена па-

параллельно радиусу CO цилиндра и равна $F = 2\sigma l \sin\varphi/2$, или $F = \sigma l\varphi$, так как угол φ бесконечно малый. Если радиус цилиндра R , то $\varphi = \frac{AB}{R}$ и тогда

$$F = \frac{\sigma}{R} S, \quad (3)$$

где $S = AB \cdot l$ – площадь бесконечно малого прямоугольного участка. Разделив силу F на площадь S , находим разность давлений внутри и снаружи жидкости:

$$p_2 - p_1 = \frac{\sigma}{R}. \quad (4)$$

Обобщим формулу (4) на случай, когда жидкость ограничена поверхностью с двойной кривизной. На поверхность в направлении кривизны радиусом R_1 сила, нормальная к поверхности жидкости, равная $F_1 = \frac{\sigma}{R_1} S$, в направлении кривизны радиусом R_2 действует сила $F_2 = \frac{\sigma}{R_2} S$. Результирующие силы F_1 и F_2 совпадают по направлению, и тогда

$$F = F_1 + F_2 = \sigma S \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right). \quad (5)$$

Разделив полученную формулу (5) на S , получим искомую разность давлений:

$$p_2 - p_1 = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right). \quad (6)$$

Формула (6) называется формулой Лапласа. Величины R_1 и R_2 – радиусы кривизны двух взаимно перпендикулярных нормальных сечений поверхности жидкости. Радиус кривизны считается положительным, если соответствующее нормальное сечение вогнуто в сторону жидкости. В противном случае он считается отрицательным.

Если поверхность жидкости сферическая, то $R_1=R_2=R$ и формула (6) переходит в:

$$p_2 - p_1 = \frac{2\sigma}{R}. \quad (7)$$

Для мыльного пузыря разность давлений воздуха внутри и вне пузыря вдвое больше по сравнению с тем, что дает формула (7), т.е.

$$p_2 - p_1 = \frac{4\sigma}{R}. \quad (8)$$

Это связано с тем, что оболочка пузыря имеет две поверхности: наружную и внутреннюю. Она действует как пленка с удвоенным поверхностным натяжением.

1.4. Капиллярные явления

Явления смачивания и несмачивания отчетливо проявляются в узких трубках очень малого сечения – капиллярах. В узких трубках наблюдается подъем или опускание жидкости по сравнению с уровнем жидкости в широких трубках. Эти процессы получили название – капиллярные явления. Смачивающая жидкость (например, вода в стеклянной трубке) поднимается выше, а несмачивающая (например, ртуть в стеклянной трубке) – ниже уровня жидкости в широком сосуде.

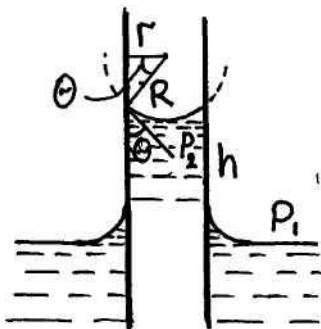


Рис. 4

Применим формулу Лапласа для расчета высоты поднятия жидкости в цилиндрическом капилляре радиуса r (рис.4). Пренебрегаем изменением давления жидкости при изменении высоты на величину порядка r . В этом приближении разность давлений $p_2 - p_1$ будет одной и той же во всех точках мениска в капилляре. То же относится к средней кривизне $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$, как это следует из формулы Лапласа (6). Кроме того, ввиду симметрии $R_1=R_2=R$. Поэтому в рассматриваемом приближении мениск можно считать сферическим. Его радиус кривизны равен $R = r/\cos\theta$, где θ – краевой угол. В рассматриваемом случае p_1 – атмосферное давление, а p_2 – давление жидкости на уровне мениска. Эти давления связаны соотношением $p_1 - p_2 = \rho gh$, где h – высота поднятия, а ρ – плотность жидкости. Сравнивая эту формулу с формулой (8), получим:

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g R} = \frac{2\sigma}{\rho h r} \cdot \cos\theta. \quad (9)$$

Высота поднятия обратно пропорциональна радиусу капилляра. Когда угол θ – тупой, т.е. мениск – выпуклый, величина h отрицательна, т.е. имеет место не поднятие, а опускание жидкости в капилляре.

II. Вопросы и задачи

1. **Высота деревьев.** Высота деревьев ограничивается тем, что слишком высокое дерево не выдержит собственной тяжести. Расчеты показывают, что максимальная высота деревьев может составлять примерно 100 м (см. «Силы в механике»). Однако есть еще одно ограничение возможной высоты дерева - высота должна быть такой, чтобы вода и соки могли подняться по стволу до самых верхних веток. Что заставляет соки и воду подниматься вверх?

2. **Живая клетка.** Как вода поступает внутрь животных и растений, обеспечивая тем самым их жизнедеятельность?

3. **Кусок мела и губка.** Если взять кусок мела и губку, то можно провести с ними следующий эксперимент. Возьмем мокрую губку и на нее положим кусок мела, через некоторое время мел намочнет. А теперь сделаем наоборот, возьмем сухую губку и положим на мокрый мел. Казалось бы, какая разница. Однако в этом случае губка останется сухой. Почему?

4. **Вода в решете.** Когда делают бесполезную работу, то говорят, что это все равно, что воду в решете носить. Однако при каких условиях можно все-таки действительно переносить воду в решете, не проливая ее по дороге? Какой максимальной высоты слой воды можно нести в решете, если диаметр отверстия решета 0,6 мм? Можно ли будет воду, налитую в решето с такими отверстиями, вылить через край решета?

5. **Брезентовая палатка во время дождя.** Почему брезентовая палатка хорошо защищает от дождя, но если во время дождя к потолку палатки дотронуться рукой, потолок начинает протекать?

6. **Капля жидкости в коническом капилляре.** В тонком, горизонтально расположенном капилляре конической формы находится капля жидкости. В какую сторону капилляра будет двигаться капля смачивающей жидкости и в какую сторону будет двигаться капля несмачивающей жидкости?

7. **Сушка дров.** Свежесрубленное дерево было распилено на короткие бревна, которые были оставлены для просушивания. Бревна были расположены так, что один конец находился на солнце, другой – в тени. При сушке с теневой стороны бревна выступили капельки воды. Почему?

8. **Удаление жирных пятен.** Для удаления с материи парафиновых и иных жирных пятен обычно применяют проглаживание материи горячим утюгом через бумагу.

Почему при этом парафин или жир впитываются в бумагу, а не расходятся по материи? Какую бумагу следует брать для проглаживания – мелованную или немелованную?

Можно удалить жирные пятна, пользуясь горячим утюгом и другим способом. Горячим утюгом проглаживают непосредственно само пятно на материи, с противоположной стороны которого находится кусок холодной ткани. Почему в этом случае выводится пятно жира с материи?

9. **Какая фильтровальная бумага лучше?** Из нескольких сортов фильтровальной бумаги нужно выбрать тот, в котором поры меньше. Как это сделать, не используя никаких приборов?

10. **Культивация почвы.** Почему посевные земли в полузасушливых районах часто подвергают культивации (перепашивают верхний слой почвы, измельчая землю)? Если на культивированной земле остается след ноги, то земля в этом месте становится сухой и твердой. Почему?

11. **«Закорачивание» кирпичной стены.** Кирпичные стены часто промокают, особенно у земли (если плохая гидроизоляция). Один из способов предотвратить этот процесс заключается в том, что стену заземляют, соединяя ее проводом с забитым в землю металлическим стержнем. При этом не используют никаких батарей или других источников тока – только провод и стержень. Как такое «замыкание накоротко» может избавить стену от промокания?

12. **Энергия капиллярных явлений.** В узких трубках – капиллярах наблюдается подъем или опускание жидкости по сравнению с уровнем жидкости в широком сосуде. За счет какой энергии возможны такие капиллярные явления?

13. **Капли лекарства.** Больному прописали лекарство, которое необходимо принимать в виде определенного количества капель. Как нужно изменить их число, если капли отсчитываются в жарко натопленном помещении?

14. **Налить воду в сосуд с узким горлышком.** Налить воду из стакана в сосуд с очень узким горлышком довольно сложно. А как это можно сделать с помощью тонкой проволоки?

15. **«Умные» спички.** Если налить в хорошо вымытый неглубокий сосуд чистую прокипяченную воду и набросать на ее поверхность несколько спичек с отломанными серными головками, то спички будут находиться в покое.

Если теперь коснуться воды в промежутке между спичками кусочком сахара, то спички, словно желая полакомиться сладким, подплывают к сахару поближе. Но стоит коснуться воды между спичками мылом, как спички стремительно разбегаются от него во все стороны. Как объяснить столь «разумное» поведение неодушевленных предметов?

16. **Куда поплывет спичка.** Спичка с отломанной головкой плавает на поверхности воды. Куда начнет двигаться спичка, если в воду с одного края осторожно налить керосин?

17. **Столбик воды в горизонтальном капилляре.** В тонкой стеклянной трубке, расположенной горизонтально, в ее центральной части находится столбик воды. Что произойдет со столбиком воды, если один конец трубки подогреть?

18. **Стакан воды в невесомости.** В чистом стеклянном стакане налито некоторое количество воды. Как она расположится, если стакан с водой попадает в условия невесомости?

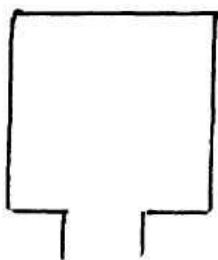


Рис. 5.

19. **Легкая рамка в воде.** Легкая незамкнутая жесткая рамка из непромокаемой бумаги в форме квадрата плавает на поверхности воды (рис.5). Что будет происходить с рамкой, если внутрь ее капнуть мыльным раствором? Какая сила и в каком направлении будет действовать на рамку?

20. **Капля жидкости в космическом корабле.** Какую форму примет капля жидкости в космическом корабле?

21. **Удаление жирного пятна бензином.** При удалении с поверхности ткани жирного пятна рекомендуется смачивать пропитанной бензином ваткой края пятна, а не само пятно. Почему?

22. **Разрыв струи воды на капли.** Почему падающая струя воды всегда разрывается на капли? Нельзя ли, устранив возможные сотрясения и пустив воду в вакууме, неограниченно увеличить длину сплошной струи?

23. **Водяные брызги при ураганном ветре.** Песок в три раза тяжелее воды. Почему же тогда сравнительно слабый ветер поднимает в пустыне тучи тяжелого песка, в то время как сильнейший ураганный ветер на море дает гораздо меньше водяных брызг?

24. **Кусочки пробки в воде.** Если бросить два кусочка пробки в какой-либо сосуд с водой на расстоянии 10-12 мм друг от друга, то они будут притягиваться. Почему? Ведь пробка не обладает магнитными свойствами.

25. **Капиллярные явления и «вечный» двигатель.** Капиллярные явления в основном обусловлены тем, что благодаря действию сил поверхностного натяжения давление внутри жидкости может отличаться на некоторую величину от внешнего давления газа или пара над поверхностью жидкости (см. «Избыточное давление под изогнутой поверхностью жидкости»).

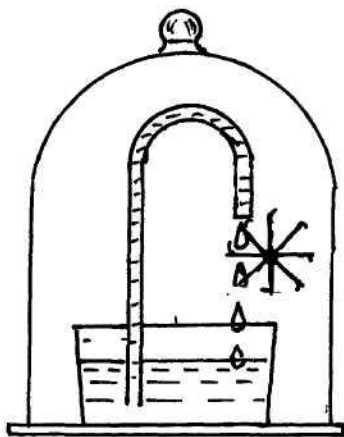


Рис. 6

Так, пользуясь свойствами капилляров, можно, очевидно, осуществить вечное движение.

Погрузив в сосуд с водой очень тонкую изогнутую капиллярную трубку, можно заставить воду подняться до изгиба, а затем под действием силы тяжести она потечет по нисходящей ветви и по каплям будет стекать в сосуд. Для устранения испарения воды помещают прибор под колпак (рис.6). Этот процесс протекал бы неопределенно долго. Энергию падающей жидкости можно использовать, подставив на пути падающих капель турбинку с изогнутыми рабочими лопатками. В чем ошибочность рассуждения о таком вечном двигателе?

26. **Мыльные пузыри.** Коэффициент поверхностного натяжения мыльной пленки почти в два раза меньше, чем у чистой воды. Почему же мыльная вода образует такие прочные пузыри и пленки, какие из чистой воды получить невозможно?

27. **Пленка на поверхности жидкости.** Поверхностный слой жидкости часто уподобляют растянутой тонкой резиновой пленке. В каком отношении эта аналогия не соответствует действительности?

28. **Молекулы на поверхности жидкости.** Если на молекулу, находящуюся на поверхности жидкости, действует со стороны соседей направленная вниз сила, то почему эта молекула не движется с ускорением вглубь жидкости?

29. **Мыльные пузыри разного диаметра.** На концах трубки выдувают два мыльных пузыря разных диаметров с помощью устройства, изображенного на рис.7. Сначала открывают краны 1 и 3 и выдувают пузырь на конце трубки В.

Затем кран 3 закрывают и открывают кран 2, выдувают пузырь на конце трубки А. После этого закрывают кран 1 и открывают кран 3. Таким образом, концы трубки А и В соединяются, и постепенно меньший пузырь начинает сжиматься, а больший расширяться. Почему?

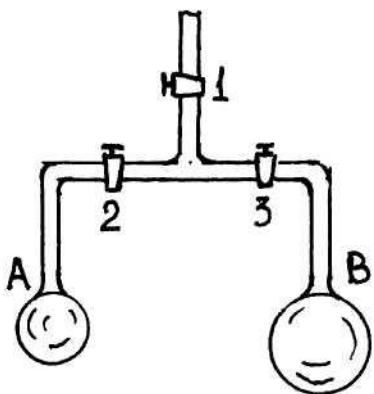


Рис. 7

30. **Поведение мыльных пузырей.** В детстве многие любили выдувать мыльные пузыри, но очень редко обращали внимание на особенности в их поведении. Однако при внимательном рассмотрении в поведении мыльных пузырей можно обнаружить много интересного. Выдутый мыльный пузырь поднимается вверх и уменьшается в объеме, когда он из теплого помещения попадает в холодное. Попадая из холодной комнаты в теплую, мыльный пузырь, наоборот, раздувается.

Почему мыльный пузырь взлетает вверх? В каком помещении он поднимается быстрее – в холодном или в теплом? Почему меняется объем пузыря при изменении температуры в помещении?

31. **Давление внутри мыльного пузыря.** Отличается ли давление внутри мыльного пузыря от атмосферного?

32. **Спички на поверхности воды.** Если две деревянные спички с обломанными серными головками бросить в воду недалеко друг от друга, то они быстро притягиваются. Если одну из спичек смазать парафином, то они начинают отталкиваться, то есть удаляться на некоторое расстояние друг от друга. Если же парафином смазаны обе спички, то они снова начинают притягиваться. Какие силы вызывают это притяжение (или отталкивание) и как объяснить это явление?

33. **Атмосферное давление.** Два мыльных пузыря радиусами r_1 и r_2 сливаются в один пузырь радиусом r_3 . Найти атмосферное давление, если коэффициент поверхностного натяжения мыльной пленки равен σ .

34. **Спички, наполовину покрытые парафином, в воде.** На поверхности воды плавают два спички, которые предварительно до половины были опущены в парафин. Оказалось, что как чистые, так и покрытые парафином концы спичек притягиваются между собой, а разноименные концы отталкиваются. Почему?

35. **Пробки плавают в вертикальном положении.** Если налить в сосуд воду и бросить туда несколько пробок, то все они будут плавать на боку. Если же пробки основаниями плотно прижать друг к другу, погрузить глубоко в воду и, продолжая держать пробки рукой, поднять их до поверхности воды и отпустить руку, то пробки будут плавать в вертикальном положении. Почему?

36. **Шарообразный сосуд с жидкостью в невесомости.** Шарообразный стеклянный сосуд, наполовину заполненный водой, привели в состояние невесомости. Что произойдет с водой? А если вместо воды взять ртуть?

37. **Бутылка с водой в космическом корабле.** Космонавт после выхода корабля на орбиту обнаружил, что в закупоренной стеклянной бутылке с водой

весь воздух, находящийся в бутылке, собрался внутри воды в виде шара, а вода заполнила бутылку до самой пробки. Чем это объясняется?

38. **Стеклышко на мокрой поверхности.** Стеклышко небольших размеров положили на мокрую горизонтальную поверхность стекла и слегка прижали. После этого попытались стеклышко оторвать от поверхности мокрого стекла. Оказалось, что снять стеклышко, отрывая его в вертикальном направлении, очень трудно. Но довольно легко снять стеклышко, сдвигая его в сторону вдоль поверхности мокрого стекла. Почему стеклышко, положенное на мокрое стекло, легко снять, сдвигая в сторону, и трудно снять, отрывая вертикально?

39. **Почему стекло не всплывает?** Известно, что плотность стекла меньше плотности ртути. Вот почему стеклянная пластинка, опущенная в банку с ртутью, не тонет. Но если в сосуд сначала положить пластинку, а потом налить ртуть, то стекло не всплывет. Почему?

40. **Иголка не тонет.** Если в сосуд с водой опустить кусочек папиросной бумаги так, чтобы он лег на воду, затем положить на плавающую папиросную бумагу небольшую иголку, то через некоторое время бумага потонет, а иголка будет свободно держаться на воде. Но ведь кусочек бумаги имеет меньшую плотность, чем вода, а стальная иголка – большую. В чем здесь дело?

41. **Как смазывать лыжные ботинки?** Для того, чтобы мазь лучше впитывалась в смазываемые лыжные ботинки (и вообще в любую кожаную обувь), их нагревают. Как нужно нагревать ботинки: снаружи или изнутри?

42. **Температурный интервал вытекания воды.** В сосуд с водой опускают П-образный капилляр радиуса $r=0,75$ мм (рис.8). Температурный ход коэффициента поверхностного натяжения показан на рис.9.

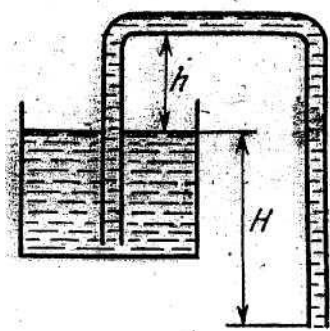


Рис. 8

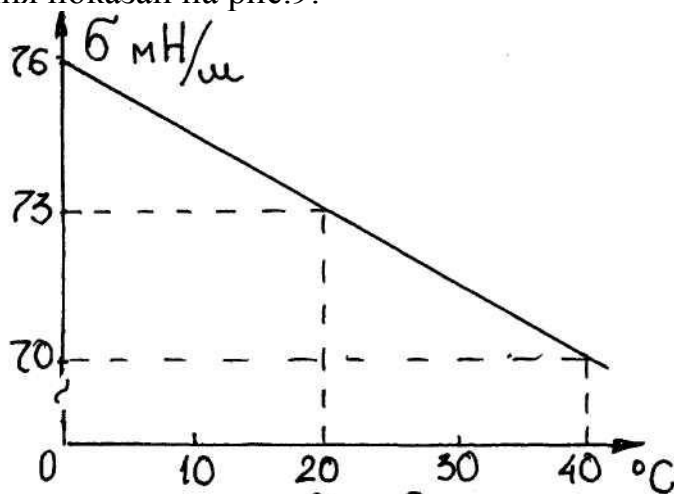


Рис. 9

В каком диапазоне значений температуры вода вытечет из сосуда, если $h=2$ см и $H=1,9$ см?

III. Подсказки

1. Питание деревьев и растений осуществляется с помощью капилляров и осмотического давления.
2. Вода поступает в живые клетки через мембраны за счет осмотических процессов.
3. У мела капилляры имеют меньший диаметр, чем у губки.
4. Следует учесть капиллярные явления для несмачивающей жидкости.
5. Брезентовая ткань – это решето с очень маленькими ячейками.
6. Давление всегда меньше с той стороны, куда направлена выпуклость жидкости.
7. Повышение температуры уменьшает коэффициент поверхностного натяжения.
8. При меньшем размере капилляра сильнее проявляются силы поверхностного натяжения.
9. Необходимо учесть капиллярные явления.
10. Чем плотнее почва, тем тоньше капилляры.
11. Заземление кирпичной стены снимает положительный заряд в области повышенной концентрации солей.
12. Между молекулами в жидкости существуют силы притягивания и отталкивания.
13. Смотри подсказку к задаче 7.
14. Поверхностное натяжение удерживает поверхностной пленкой воду на проволоке.
15. У сахарного раствора воды коэффициент поверхностного натяжения больше, чем у чистой воды, а у мыльного раствора – меньше, чем у чистой воды.
16. Коэффициент поверхностного натяжения у воды больше, чем у керосина.
17. С повышением температуры уменьшается коэффициент поверхностного натяжения.
18. Происходит полное смачивание водой при отсутствии веса.
19. Коэффициент поверхностного натяжения чистой воды больше, чем у мыльного раствора.
20. Любая система в природе стремится к минимальному значению энергии.
21. У чистого бензина и бензина, в котором растворен жир, разные коэффициенты поверхностного натяжения.
22. Чем ниже слой воды в струе, тем больше ее скорость и тоньше струя, на которую действуют силы поверхностного натяжения.
23. На поверхность воды действуют силы поверхностного натяжения.
24. На легкие кусочки пробки действуют силы поверхностного натяжения.
25. Силы поверхностного натяжения необходимо сравнить с силами тяжести, действующими на столб жидкости.

26. Вязкость мыльного раствора больше, чем у чистой воды.
27. Сила растяжения резиновой пленки зависит от деформации, а пленка на поверхности жидкости не зависит от деформации.
28. Между молекулами действуют одновременно силы отталкивания и притяжения.
29. Чем меньше радиус шара, тем сильнее поверхностная пленка сжимает воздух внутри него.
30. Возникает подъемная сила Архимеда. Объем мыльного пузыря зависит от давления окружающего воздуха.
31. Из-за поверхностного натяжения давление увеличивается.
32. При смачивании или несмачивании спичек меняется давление за спичками и между ними.
33. После слияния двух мыльных пузырей масса воздуха не изменится, а давление внутри пузыря будет больше атмосферного на $4\sigma/r$.
34. Смотри подсказку к задаче 32.
35. Пробки в воде будут смачиваться и удерживаться силами поверхностного натяжения.
36. Вода смачивает стекло, а ртуть нет.
37. Происходит смачивание поверхности бутылки, шаровая форма воздушного пузырька определяет поверхностную энергию.
38. При отрыве стеклышка вертикально вверх необходимо преодолевать силу поверхностного натяжения, при сдвиге в сторону – силу трения.
39. Стекло не смачивается ртутью.
40. Папиросная бумага пористая, а стальная иголка не смачивается водой.
41. Повышение температуры уменьшает коэффициент поверхностного натяжения.
42. В двух коленах П-образного капилляра наблюдается явление смачивания, в результате которого вода поднимается на определенную высоту.

IV. Ответы

1. Соки могут подниматься по стволу дерева, а точнее, по камбию, за счет капиллярных явлений. Однако, чтобы вода поднималась на высоту хотя бы 10 м, необходим капилляр радиусом 1,5 мкм. Капилляр такого малого размера обрывается в камбии очень редко, поэтому кроме капиллярных явлений соки заставляют подниматься вверх осмотическое давление, которое в деревьях составляет примерно 0,1-1 МПа (или 1-10 атм.). Под таким давлением вода поднимается на высоту 10-100 м, - это и есть максимально возможная высота деревьев.

Попробуем разобраться, что такое осмотическое давление и когда оно возникает. Рассмотрим сосуд, разделенный на две половины полупрозрачной пленкой (рис.10, а), которая пропускает молекулы растворителя (воды), но не пропускает молекулы растворенного вещества. В левую половину налита вода, в правую, например, раствор сахара. Такая система термодинамически неравновесная. Естественно, она будет стремиться к равновесию, то есть к выравниванию концентрации сахара в обеих половинах сосуда. Поэтому и начнется односторонняя диффузия молекул воды из левой половины в правую, то есть вода как бы стремится уменьшить концентрацию раствора. Такая односторонняя диффузия (пленка полупроницаемая) приводит к прогибанию пленки влево (рис.10, б). При неко-

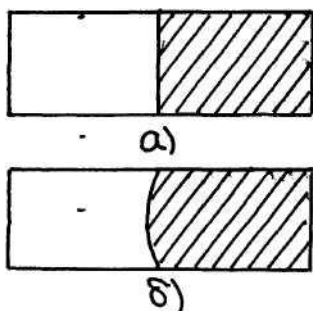


Рис. 10

тором прогибе пленки процесс диффузии прекратится. Создается впечатление, что упругая сила прогнувшейся пленки уравнивает некую силу, давящую на пленку справа. Давление, обусловленное этой силой, и получило название осмотического давления, а само явление называется осмосом.

Природу осмотического давления объяснил нидерландский физико-химик Я.Х. Вант-Гофф в 1887 г. Он уподобил молекулы сахара, движущиеся в растворителе, молекулам идеального газа, движущимся в вакууме. Ударяясь о перегородку, молекулы сахара создают давление на нее. Вант-Гофф показал, что при относительно небольших концентрациях раствора осмотическое давление описывается точно такой же формулой, что и давление идеального газа: $p = \frac{\nu RT}{V}$. Здесь ν – число молей растворенного вещества, T – температура по шкале Кельвина, R – универсальная газовая постоянная. Для 4% раствора сахара при комнатной температуре осмотическое давление равно 0,3 МПа (1 МПа=10⁶ Па=9,8 атм.). Если же взять 50% раствор сахара, то осмотическое давление оказывается равным 10 МПа – это сто атмосфер.

Теперь можно вернуться к вопросу о высоте дерева. Причина, заставляющая подниматься соки внутри ствола дерева, - осмотическое давление. Роль раствора выполняют растворы различных химических соединений (неорганических и органических). Диффузия происходит через различные растительные полупроницаемые пленки, которые в мире живой природы называют мембранами. Таким образом, соки поднимаются по стволу деревьев за счет осмоса и капиллярных явлений.

2. Питание живой клетки водой происходит через внешнюю мембрану (см. «Высота деревьев») в результате односторонней диффузии. В процессах взаимодействия клеток с окружающей средой, а также во внутриклеточных процессах явление осмоса играет основную роль. С ним связано не только наполнение клеток водой, но и выведение воды и солей из организма, а также задержание и перераспределение их внутри организма.

3. У мела и губки имеется множество пор, которые действуют подобно капиллярным трубкам, но размеры капилляров и мела и губки разные. У мела капилляры имеют меньший диаметр, чем у губки, и поэтому у мела капиллярные явления выражены сильнее. Таким образом, если положить кусок мела на мокрую губку, то он намокнет. Если же сухую губку положить на мокрый мел, то она останется практически сухой, так как воде проще перемещаться по мелким порам мела, чем по крупным порам губки.

4. Вода в решете не будет выливаться при соблюдении двух условий. Первое условие – нити решета не должны смачиваться водой (если это условие не будет выполняться, то вода будет выливаться в любом случае). Второе условие – высота слоя воды в решете не должна превышать величины $h = \frac{2\sigma}{\rho g r} = 5 \text{ см}$ (см. «Капиллярные явления»).

Если высота решета меньше h , то воду из решета вылить можно; если больше h , то при наклоне решета у его нижнего края образуется слой воды, превышающий по высоте h , и вода начнет проливаться сквозь ячейки сетки решетки.

5. Брезентовую ткань можно представить себе как решето с очень мелкими ячейками. Сквозь такое решето капли воды не протекают (см. «Вода в решете»), так как их удерживает сила поверхностного натяжения (рис.11). Эти капли будут срываться, если толщина h слоя воды такова, что $\rho g h > \frac{2\sigma}{(\frac{a}{2})}$, т.е. $h > \frac{4\sigma}{\rho g a}$.

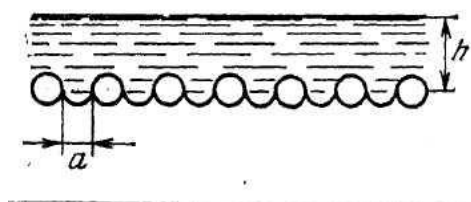


Рис. 11

Если прикоснуться к мокрой ткани рукой, то несколько капель сливаются в одну – значительно большего радиуса. Эти капли уже не удерживаются капиллярными силами (сила поверхностного натяжения, удерживающая каплю, при увеличении радиуса капли растет пропорционально радиусу, а масса капли – пропорционально квадрату радиуса капли, т.е. значи-

тельно быстрее). Потолок палатки начинает протекать.

6. Для определения направления движения капли жидкости в коническом капилляре сначала рассмотрим, как возникает избыточное давление жидкости за счет сил поверхностного натяжения. В жидкости на небольшом расстоянии $2R$ друг от друга опущены две параллельные вертикальные смачивающие пластины (рис.12, а) шириной l . На столбик жидкости, поднятый между ними на высоту h , действует вверх сила поверхностного натяжения $F = 2\sigma l$, где σ - коэффициент поверхностного натяжения, уравновешивающая силу тяжести $mg = \rho 2Rlhg$, где ρ – плотность жидкости, $V = 2Rlh$ - объем поднявшейся

жидкости между пластинами. Приравнивая эти силы, находим $h = \frac{\sigma}{\rho Rg}$. Следовательно, давление в жидкости под поверхностью цилиндрического мениска меньше атмосферного на $\Delta p = \rho gh = \frac{\sigma}{R}$.

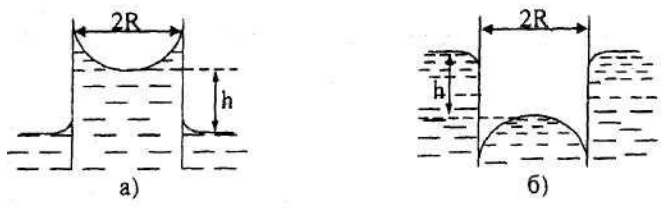


Рис. 12

В круглом капилляре, опущенном в жидкость, возникает полусферический мениск. В этом случае условие равновесия столбика жидкости имеет вид $\sigma 2\pi R = \rho \pi R^2 h g$, откуда $\Delta p = \rho gh = \frac{2\sigma}{R}$. В

случае несмачивания давление под

выпуклой поверхностью мениска увеличивается на Δp (рис.12, б). Таким образом, давление всегда меньше с той стороны мениска, куда обращена выпуклость (поверхность жидкости ведет себя в этом отношении как упругая пленка). Избыточное давление под искривленной поверхностью жидкости называют *лапласовским давлением*.

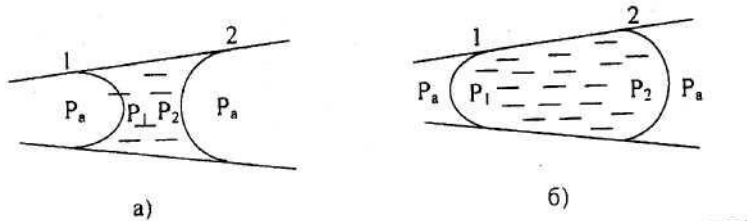


Рис. 13

Теперь рассмотрим, что происходит с каплей жидкости в коническом капилляре. Капля смачивающей жидкости имеет форму, показанную на рис.13, а. Радиусы кривизны двух сферических менисков

связаны соотношением $R_1 < R_2$. Давления жидкости у каждого из менисков равны соответственно $p_1 = p_a - \frac{2\sigma}{R_1}$ и $p_2 = p_a - \frac{2\sigma}{R_2}$ (p_a – атмосферное давление). Жидкость будет стремиться перетекать в сторону более низкого давления p_1 , то есть втягиваться в более узкую часть капилляра.

В случае несмачивания (рис.13, б) $p_1 = p_a + \frac{2\sigma}{R_1}$ и $p_2 = p_a + \frac{2\sigma}{R_2}$. Капля будет перемещаться в более широкую часть капилляра, так как $p_1 > p_2$.

7. Часть бревна, которая находилась в тени, холоднее той части, которая находилась на солнце. Поэтому силы поверхностного натяжения в капиллярах с холодной стороны больше и перемещают воду в этом направлении. Дело в том, что коэффициент поверхностного натяжения уменьшается при повышении температуры.

8. Когда жирное пятно проглаживают горячим утюгом через немелованную бумагу, то расплавленный жир впитывается в бумагу быстрее потому, что капиллярные каналы в бумаге значительно меньше, чем в материи. Чем меньше капилляры, тем сильнее проявляются силы поверхностного натяжения.

Если же с противоположной стороны материи с жирным пятном положить кусок холодной ткани, то при проглаживании горячим утюгом пятна жир расплавится и капиллярные силы будут перемещать его на поверхность холодной ткани (см. «Сушка дров»), так как в холодной материи больше коэффициент поверхностного натяжения.

9. Для выбора фильтровальной бумаги с меньшими порами необходимо определить капиллярные свойства пор. Вырезав из всех сортов бумаги узкие полоски, следует погрузить их концы в воду. В той полоске, где поры имеют меньшие размеры, вода поднимется на большую высоту.

10. Землю вспахивают, чтобы она лучше удерживала влагу. В слежавшейся земле имеется множество маленьких пор, которые действуют подобно капиллярным трубкам. Вода по ним поднимается на поверхность и испаряется. В культивируемой почве диаметр таких пор больше, поэтому капиллярные эффекты выражены слабее и потеря влаги будет меньше.

11. Благодаря капиллярным эффектам вода поднимается по стене на некоторую высоту. При испарении воды растворенные в ней соли откладываются в этом месте и за счет осмотического давления (см. «Высота деревьев») подталкивают воду выше по стене. Короткое замыкание снимает положительный заряд, возникающий в области повышенной концентрации солей, и устраняет осмотическое давление.

12. Подъем и опускание уровня жидкости в капиллярах происходит за счет энергии взаимодействия молекул жидкости и твердого тела стенок сосуда.

13. Коэффициент поверхностного натяжения убывает при повышении температуры. Поэтому масса капли, отрывающейся от пипетки в жарко натопленной комнате, будет меньше, чем в прохладной. Поэтому в жаркой комнате необходимо увеличить число капель.

14. Налить воду из стакана в сосуд с очень узким горлышком с помощью тонкой проволоки можно следующим образом. Один конец проволоки нужно опустить в сосуд, а другой приложить к краю стакана. Вода стечет по проволоке в сосуд, так как ее удержит пленка, обусловленная поверхностным натяжением.

15. Раствор сахара в воде имеет коэффициент поверхностного натяжения больше, чем чистая вода. Вследствие этого поверхность, занимаемая раствором сахара, стремится сократиться, увлекая за собой спички к кусочку сахара. При растворении мыла коэффициент поверхностного натяжения мыльного раствора будет меньше, чем у чистой воды. Натяжение мыльной воды уменьшается (кстати, с этим связано моющее действие мыла), поверхность, занятая мыльным раствором, увеличивается, и спички уходят вслед за границей с чистой водой к стенкам сосуда.

16. Плотность керосина меньше плотности воды, поэтому керосин будет расплываться по поверхности воды. Когда граница раздела керосин-вода достигнет плавающей спички, на спичку начнет действовать сила поверхностного натяжения, которая зависит от коэффициента поверхностного натяжения. Так как коэффициент поверхностного натяжения у воды в три раза больше, чем у керосина, то и сила, действующая на спичку, со стороны воды будет в три раза больше, чем со стороны керосина. Следовательно, спичка будет двигаться в сторону воды.

17. С повышением температуры коэффициент поверхностного натяжения воды уменьшается. Вследствие этого сила поверхностного натяжения у холод-

ного конца будет больше, чем у горячего, и столбик воды начнет перемещаться в сторону холодного конца капилляра.

18. Вследствие полного смачивания водой стенок стакана и отсутствия весомости вода покрывает все стенки стакана как внутри, так и снаружи.

19. Коэффициент поверхностного натяжения чистой воды σ_1 больше, чем

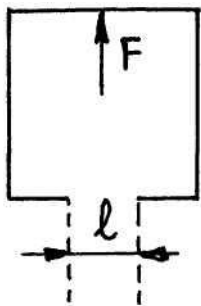


Рис. 14

у мыльного раствора σ_2 , поэтому со стороны воды поверхностное натяжение будет сильнее. На рамку в первые моменты будет действовать сила $F = (\sigma_1 - \sigma_2)l$, где l – величина разрыва рамки (рис.14). Рамка начнет двигаться в направлении, противоположном стороне с разрывом.

20. Молекулы поверхностного слоя жидкости обладают избытком потенциальной энергии по сравнению с энергией молекул внутри жидкости, так как расстояние между молекулами поверхностного слоя больше. Эту энергию называют поверхностной энергией. Она пропорциональна площади поверхности.

Любая система стремится перейти в состояние с минимальной энергией. Поэтому в отсутствие внешних сил, как это наблюдается в космическом корабле, поверхность жидкости стремится принять такую форму, чтобы ее площадь при данном объеме была минимальна – это шар.

21. Поверхностное натяжение чистого бензина меньше, чем поверхностное натяжение бензина, в котором растворен жир. Поэтому при смачивании бензином краев пятна оно стягивается к центру и растворенный в бензине жир по капиллярам в ватке начнет подниматься вверх. При смачивании же самого пятна оно будет расплываться по ткани, хотя частично жир будет удаляться.

22. Рассмотрим две капли воды в момент, когда одна из них только что вышла из трубки, из которой вытекает струя, а другая уже опустилась на некоторое расстояние, двигаясь ускоренно под действием земного притяжения. Следовательно, скорость нижней капли будет больше, чем скорость верхней. Если так, то расстояние между каплями возрастает. Струя воды становится все тоньше, пока силы поверхностного натяжения не создадут в ней перемычку и затем разорвут ее на капли.

23. Брызги с трудом отрываются от поверхности воды, потому что этому препятствует поверхностное натяжение.

24. Кусочки пробки, попадая в воду, смачиваются, и поверхностное натяжение воды притягивает их друг к другу.

25. Вечное движение осуществить невозможно. В установке, изображенной на рис.6, вода из капиллярной изогнутой трубки вытекать не будет, так как вес стремящейся упасть воды оказывается меньше, чем сила поверхностного натяжения водяной пленки.

26. Кроме свойства жидкости создавать поверхностное натяжение, у нее есть еще одно свойство – вязкость. У мыльного раствора вязкость во много раз больше, чем у чистой воды. Устойчивость мыльной пленки как раз и обусловлена большой вязкостью мыльного раствора.

27. Аналогия резиновой пленки и поверхностного слоя жидкости не соответствует действительности, так как при растяжении упругой резиновой пленки

сила натяжения зависит от величины деформации пленки, в то время как сила поверхностного натяжения жидкости определяется только свойствами самой жидкости и не меняется с увеличением ее поверхности.

28. Молекулярные силы притяжения действительно тянут находящиеся на поверхности молекулы вглубь жидкости, но эти силы уравниваются силами отталкивания со стороны молекул, находящихся непосредственно под поверхностным слоем. Поэтому молекулы поверхностного слоя не могут двигаться с ускорением.

29. Сферическая пленка мыльного пузыря создает давление, равное $4\sigma/R$ (см. формула (8)), где σ – коэффициент поверхностного натяжения, R – радиус сферы. Следовательно, чем меньше радиус сферы, тем больше давление поверхностной пленки сжимает воздух внутри него, т.е. со стороны меньшего пузыря давление будет больше, и он начнет сжиматься, а большой – расширяться.

30. Мыльный пузырь поднимается вверх при переносе из теплого помещения в холодное, так как наполняется теплым воздухом из легких человека. Этот воздух легче окружающего комнатного воздуха, и точно так же, как поднимается воздушный шар, наполненный горячим воздухом, поднимается вверх мыльный пузырь. Сила Архимеда, действующая на пузырь, направлена вертикально вверх и равна весу вытесненного воздуха, а так как холодный воздух тяжелее горячего, то сила Архимеда больше силы тяжести пузыря, и пузырь поднимается вверх. Теперь легко ответить на вопрос – в какой комнате пузырь поднимается быстрее? В холодной комнате воздух тяжелее, чем в теплой, соответственно, в холодной комнате больше сила Архимеда и мыльный пузырь будет подниматься быстрее, чем в теплой.

31. Давление внутри мыльного пузыря больше атмосферного, так как кроме атмосферного на воздух внутри пузыря действует поверхностное натяжение пленки, которое стремится его сжать. При этом следует обратить внимание на то, что у пленки две поверхности (внешняя и внутренняя) и на воздух внутри действуют обе.

32. Для упрощения поведения спичек на поверхности воды будем изображать спички в виде пластин. Спички, не покрытые парафином, смачиваются водой, и вода между ними поднимается (рис.15, а). Давление в поднявшейся части воды становится меньше давления окружающей атмосферы на величину $\Delta p = \rho gh$, где ρ – плотность воды, g – ускорение свободного падения, h – высота столба жидкости между пластинами. Атмосферное давление стремится прижать пластинки (спички) друг к другу. В случае несмачивания, когда обе спички покрыты парафином, давление воды снаружи пластинок (спичек) больше давления воздуха между ними. Появляющаяся разность давлений также стремится сблизить пластинки (рис.15, б).

Рассмотрим теперь случай, когда левая пластинка (не покрытая парафином спичка) смачивается водой, а правая (покрытая парафином спичка) не смачивается (рис.15, в). Если пластинки расположены достаточно близко друг к другу, то поверхность воды между ними ни в одной точке не становится горизонтальной. Она имеет точку перегибы где-то между пластинами. Вследствие этого вода между пластинками поднимается выше у левой пластинки и опу-

стится ниже у правой пластинки, чем наружная вода. С этим обстоятельством и связано появление отталкивания между пластинками. Давление воды между пластинками в точке А равно давлению наружной воды p_3 на той же высоте.

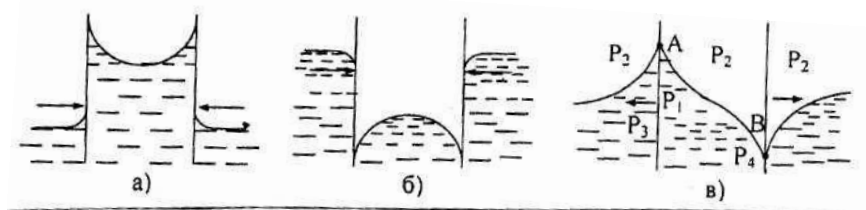


Рис. 15.

Давление воздуха p_2 больше p_1 , так как поверхность воды у левой пластинки обращена к воздуху вогнутой стороной. Давление p_3 убывает с высотой, тогда как p_2 остается практически постоянным. Поэтому разность давлений $p_1 - p_3$ стремится переместить левую пластинку влево. В точке В давление воды p_4 больше p_2 , так как поверхность воды в этой точке обращена к воздуху выпуклой стороной. Тем более это справедливо для давлений ниже этой точки. В результате разность давлений $p_4 - p_2$ будет перемещать правую пластинку вправо. Действием рассматриваемых сил объясняется концентрация в кучи пузырьков воздуха, листьев, мелких щепок и прочих смачиваемых тел, плавающих на поверхности воды в стоячих водоемах.

33. При решении этой задачи исходим из того, что после слияния двух мыльных пузырей в один суммарная масса воздуха в них не изменяется:

$$m_3 = m_1 + m_2. \quad (1)$$

Из уравнения состояния идеального газа $pV = \frac{m}{\mu}RT$ (воздух при комнатных температурах можно считать идеальным) масса воздуха в мыльном пузыре равна

$$m = \frac{pV\mu}{RT}, \quad (2)$$

где $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ – объем пузыря, μ – молярная масса воздуха, T – температура (она равна температуре окружающего воздуха и одинакова для всех трех пузырей) и R – газовая постоянная.

Записываем условие равновесия пузыря:

$$p = p_0 + \Delta p = p_0 + \frac{4\sigma}{r}, \quad (3)$$

где $\Delta p = \frac{4\sigma}{r}$ – добавочное давление под сферической поверхностью мыльной пленки радиуса r , p_0 – атмосферное давление.

Используя соотношения (2) и (3), можно записать:

$$m_1 = p_0 + \frac{4\sigma}{r_1} \cdot \frac{4}{3}\pi r_1^3 \frac{\mu}{RT}, \quad m_2 = p_0 + \frac{4\sigma}{r_2} \cdot \frac{4}{3}\pi r_2^3 \frac{\mu}{RT},$$

$$m_3 = p_0 + \frac{4\sigma}{r_3} \cdot \frac{4}{3}\pi r_3^3 \frac{\mu}{RT}.$$

Найденные выражения для m_1 , m_2 и m_3 подставим в равенство (1) и найдем p_0 :

$$p_0 = \frac{4\sigma(r_3^2 - r_1^2 - r_2^2)}{r_1^3 + r_2^3 - r_3^3}.$$

34. Смотри ответ на вопрос к задаче 32.

35. Вода, смочив плотно прижатые друг к другу пробки, удерживает их друг возле друга силой своего поверхностного натяжения.

36. Вода стекло смачивает, поэтому она в состоянии невесомости растекается по всей внутренней поверхности шарообразного сосуда, а в центре образуется пузырек воздуха. Ртуть же стекло не смачивает и образует в центре большую сферическую каплю.

37. В чистой стеклянной бутылке, в которой налита вода, происходит полное смачивание водой стенок бутылки. Поэтому вода в условиях невесомости (возникающей после выхода корабля на орбиту) растекается по стенкам, а поверхность жидкости на границе раздела вода-воздух принимает шарообразную форму, так как площадь свободной поверхности воды должна быть минимальной при данном объеме воздуха. Полное смачивание внутренней поверхности бутылки и сокращения до минимума свободной поверхности жидкости соответствует минимуму поверхностной энергии, что соответствует устойчивости состояния системы (подобно тому, как для тяжелого тела устойчивым является его наинизшее положение).

38. Поверхность жидкости представляет собой как бы растянутую пленку, которая стремится сократиться, и при искривленной поверхности возникает добавочное давление под поверхностью жидкости. Если мениск выпуклый, то добавочное давление положительно и направлено внутрь жидкости; если мениск вогнутый, добавочное давление отрицательно.

Добавочное давление под искривленной поверхностью жидкости определяется по формуле французского физика и математика П.Лапласа (1749-1827):

$$p = \sigma \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2},$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения, R_1 и R_2 – радиусы кривизны в точке O линий AOB и COD (рис.16). Эти линии получаются пересечением поверхности жидкости двумя взаимно перпендикулярными плоскостями, проведенными через нормаль к поверхности жидкости в точке O .

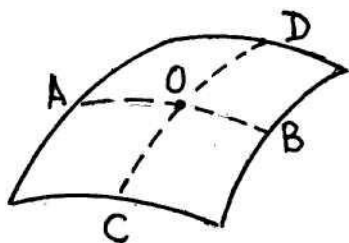


Рис. 16

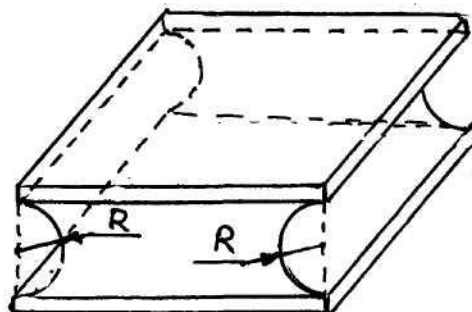


Рис. 17

Если поверхность жидкости плоская, кривизна ее равна нулю, и тогда $p=0$. Если поверхность жидкости сферическая, то $R_1=R_2=R$ (радиус сферы), тогда $p = 2\sigma/R$. Когда между двумя твердыми, близко расположенными парал-

лельными пластинами может образоваться мениск в форме цилиндрической поверхности (рис.17), и тогда $p = \sigma/R$.

В нашем случае между стеклянными пластинками образуется жидкость в виде цилиндрической поверхности. Таким образом, для отрыва пластинок друг от друга в вертикальном направлении необходимо преодолеть дополнительное давление $p = \sigma/R$. Легко снять стеклышко, сдвигая его вдоль поверхности мокрого стекла, так как в этом случае приходится преодолевать только силу трения стекла по воде. Коэффициент трения стекла по воде не превышает значение 0,01, и поэтому сила трения стекла по воде примерно в 100 раз меньше, чем сжимающая сила (в нашем случае – это сила тяжести и сила поверхностного натяжения).

39. Стекло имеет плотность меньше, чем ртуть, поэтому стекло, опущенное на поверхность ртути, не тонет. Если же стеклянная пластинка лежит на дне сосуда и сверху налита ртуть, то стекло не всплывет, так как оно не смачивается ртутью.

40. Папиросная бумага, положенная на поверхность воды, тонет потому, что в ее поры входит вода, вытесняющая оттуда воздух. Небольшая иголка может держаться на поверхности, так как она не смачивается, поверхностное натяжение воды ее удерживает и она не тонет.

41. Внутри кожи имеется большое количество капилляров. Внутри капилляра постоянного сечения капелька смачивающей жидкости будет находиться в равновесии. Нагревание жидкости уменьшает поверхностное натяжение. Поэтому жидкость втягивается в сторону холодной части капилляра, так как там больше поверхностное натяжение. Мазь будет втягиваться внутрь кожи при нагревании ботинок снаружи.

42. Обозначим через l высоту поднятия жидкости в капилляре: $l = \frac{2\sigma}{\rho gr}$, где σ – коэффициент поверхностного натяжения, ρ – плотность жидкости (воды), g – ускорение свободного падения, r – радиус капилляра. Чтобы вода могла подняться по капилляру, нужно, чтобы было $l > h$, а для того, чтобы она начала вытекать через нижний конец, $H > l$. Тогда получаем, что жидкость будет вытекать, если $\frac{\rho grh}{2} < \sigma < \frac{\rho grH}{2}$. Подставляя данные, получим $0,07 \text{ Н/м} < \sigma < 0,0736 \text{ Н/м}$. Отсюда диапазон температур $16^{\circ}\text{C} < t < 40^{\circ}\text{C}$.

Борисовский Василий Васильевич

СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ
(теория и практика)

Методическое пособие для студентов всех направлений

Редактор Е.Ф. Изотова

Подписано к печати 13.11.14. Формат 60x84/16.

Усл. печ. л. 1,5. Тираж 50 экз. Зак. 141314. Рег. № 118.

Отпечатано в РИО Рубцовского индустриального института
658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6.