

Тема: «Строение и свойства твёрдых тел. Строение и свойства жидкостей. Поверхностное натяжение.»

Кристаллические и аморфные тела

Вещество может находиться в агрегатных состояниях: твёрдом, жидком и газообразном.

В **газообразном** состоянии взаимодействием между молекулами которого можно пренебречь, а если его нет вообще, то мы имеем дело с идеальным газом свойства которого мы подробно изучили.

Главным свойством газа является способность занимать весь объём.

У **жидкости** расстояния между молекулами сравнимы с размером самих молекул. Поэтому силы взаимодействия начинают играть существенную роль. Это значит, что если мы попытаемся сблизить молекулы жидкости, то возникают силы отталкивания. Поэтому жидкости практически не сжимаемы. Но с другой стороны - если расстояние между молекулами увеличить, то работают силы притяжения и поэтому молекулы не разлетаются, а остаются в так называемой конденсированной фазе. Т.е. у жидкости есть объём.

У твёрдого тела тоже есть свой объём, расстояние между молекулами твёрдого тела почти не отличается от расстояния между молекулами жидкости, а в некоторых случаях даже меньше (например при плавлении). Но у жидкости нет своей формы, а у твёрдого тела своя форма есть.

С чем это связано?

Молекулы жидкости также как и молекулы твёрдого тела непрерывно хаотически движутся, характер этих движений напоминает колебания.

Что такое колебания?

Это движения около некоторого положения равновесия. Т.е. молекулу в жидкости колеблются за счёт отталкивания от соседних молекул, но кинетическая энергия молекул жидкости достаточно большая и поэтому из положения равновесия молекула может легко выскочить.

А куда ей деваться если она выскочила из этого положения равновесия?

В соседние положения равновесия.

А что рождает эти положения равновесия?

Другие частицы. Значит вследствие теплового движения каждая молекула жидкости некоторое время находится в состоянии равновесия – это время называется ВРЕМЯ ОСЕДЛОЙ ЖИЗНИ, оно очень короткое у молекул жидкости. Потом она перескакивает в другое положение, поэтому жидкость обладает текучестью.

А теперь поговорим о том же самом на энергетическом языке. Что можно сказать о потенциальной энергии системы, находящейся в положении устойчивого равновесия?

Она минимальна.

Представьте себе чашу, в которую помещен шарик, где будет находиться шарик. Где именно в этой чаше он будет располагаться?

Правильно именно в центре дна. Такая чаша в физике называется потенциальная яма.

А могут ли молекулы жидкости находиться в потенциальной яме? Да, могут, а что будет создавать эти ямы? Молекулы этой жидкости.

А что должно произойти с жидкостью чтобы она обладала минимумом потенциальной энергии? Потенциальные ямы должны быть расположены рядом друг с другом так чтобы все молекулы обладали минимумом потенциальной энергии. Если понижать температуру жидкости, то молекулы начнут кристаллизоваться около некоторых центров.

Кристаллизация – процесс превращения жидкости в кристаллическое твёрдое тело.

Этот процесс становится возможным, когда кинетическая энергия системы меньше некоторого порогового значения. Но ведь КЭ это тоже самое что и температура, следовательно кристаллизация начинается при строго определённой температуре.

Температура кристаллизации – температура, при которой происходит кристаллизация данного вещества. $T_{кр} = T_{пл}$ это характеристика вещества.

Представьте себе что вы охлаждаете жидкость до некоторой температуры при которой могут образоваться потенциальные ямы, а значит потенциальная энергия значительно снижается, но ведь тогда по закону сохранения энергии увеличивается кинетическая энергия этой молекулы и следовательно молекула может покинуть потенциальную яму. Что нужно сделать, чтобы снизить КЭ молекул? Отобратить какое-то количество теплоты.

Т.Е. при кристаллизации выделяется некоторое количество теплоты. $Q_{кр}^-$ - теплота кристаллизации (скрытая теплота кристаллизации) – температура одна и та же, а теплота всё отдаётся и отдаётся. А значит эта теплота пропорциональна массе.

$$Q_{кр}^- = \lambda m$$

λ =[дж/кг]– удельная теплота кристаллизации

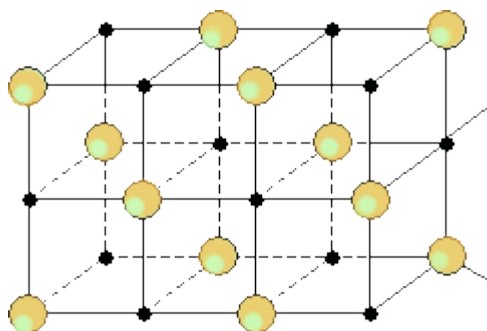
удельная теплота кристаллизации – физическая величина равная количеству теплоты, которая выделяется при кристаллизации одного килограмма вещества.

Она в точности равна теплоте плавления (удельная теплота фазового перехода)

Что же образуется после кристаллизации?

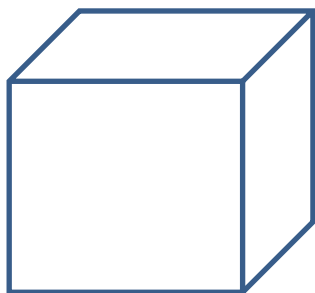
Верно – кристаллы.

Кристалл - твёрдые тела, в которых атомы расположены закономерно, образуя трёхмерно-периодическую пространственную укладку — кристаллическую решётку.

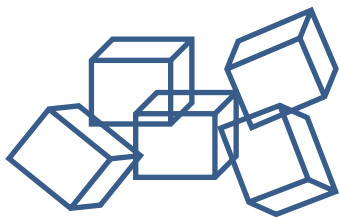


Выделяют 2 основных вида кристаллов

Монокристалл - одиночные кристаллы (кварц, слюда).



Поликристалл - твердые тела, состоящие из большого числа маленьких кристалликов.



Большинство кристаллических тел – поликристаллы.

Кристаллы имеют плоские грани. Их частицы расположены правильными, симметричными периодически повторяющимися рядами, сетками, решетками.

Многие кристаллы по-разному проводят теплоту и электрический ток в различных направлениях. От направления зависят и оптические свойства кристаллов.

Например, кусок слюды легко расслаивается в одном из направлений на тонкие пластины, но разорвать его в направлении перпендикулярном пластинам гораздо труднее.

Легко расслаиваются в одном направлении кристаллы графита.

Свойства кристаллов

1. Симметрия
2. Анизотропия
3. Полиморфизм (способность образования кристаллов с различными свойствами из одних и тех же молекул и атомов)

Анизотропия кристаллов.

Основной характерной особенностью кристалла является его внутреннее строение, его закономерная структура.

*Зависимость физических свойств от направления внутри кристалла называется - **анизотропией**.*

Различные кристаллы в своем составе имеют одинаковые молекулы, но резко отличаются по физическим свойствам

Например графит и алмаз – это чистый углерод (С), но графит мягок, легко расслаивается, непрозрачен, проводит электрический ток. Алмаз необычайно твёрд, прозрачен, не проводит электроток, обработанные алмазы в быту известны как бриллианты. Как вы думаете, в чём причина такого различия?

Причина в типах кристаллических решеток .

При определённых условиях возможен переход вещества из одной кристаллической модификации в другую.

Все кристаллические тела анизотропные .

Они имеют правильную геометрическую форму и постоянную температуру плавления.

Аморфные тела

Но существуют вещества, которые при охлаждении не образуют кристаллическую структуру. Это такие вещества как стекло, канифоль, янтарь. Они становятся всё гуще и гуще, но кристаллической решётки в них так и не образуется. Это аморфные вещества.

Аморфные вещества фактически это густые жидкости, и у них нет температуры плавления, а значит они будут постепенно при повышении температуры становиться всё мягче, пока не станут жидкими.

АМОРФНЫЕ – не имеющие формы. («а» – как частица, имеющая смысл отрицания; «морфе» — от греческого слова – *форма*.)

аморфные тела — это переохлажденные жидкости

свойства аморфных тел:

1. Не имеют определенной температуры плавления
2. По разным направлениям все свойства одинаковы, **т.е. изотропность**

ВИДЫ ДЕФОРМАЦИЙ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Твердые тела сохраняют форму, но под действием сил, приложенных к ним, форма тел меняется, т. е. происходит деформация. От чего она зависит? Какие виды деформаций существуют?

Деформация твердого тела.

Деформацией называется изменение формы или объема тела.

Растяните резиновый шнур за концы. Очевидно, участки шнура сместятся друг относительно друга; шнур окажется деформированным — станет длиннее и тоньше. Деформация возникает всегда, когда различные части тела под действием сил перемещаются неодинаково.

Шнур после прекращения действия на него сил возвращается в исходное состояние. Деформации, которые полностью исчезают после прекращения действия внешних сил, называются упругими. Кроме резинового шнура, упругие деформации испытывают пружина, стальные шарики при столкновении и т. д.

Теперь сожмите кусочек пластилина. В ваших руках он легко примет любую форму. Первоначальная форма пластилина не восстановится сама собой. Пластилин «не помнит», какая форма у него была раньше. Деформации, которые не исчезают после прекращения действия внешних сил, называются пластическими. Пластическую деформацию при небольших, но не кратковременных воздействиях испытывают глина, воск, свинец.

Деформация сдвига. Возьмем резиновый брусок с начерченными на его поверхности горизонтальными и вертикальными линиями и закрепим на столе. Сверху к бруску прикрепим рейку и приложим к ней горизонтальную силу. Слои бруска ab , cd и др. сдвинутся, оставаясь параллельными, а вертикальные грани, оставаясь плоскими, наклонятся на угол γ .

Деформацию, при которой происходит смещение слоев тела друг относительно друга, называют деформацией сдвига.

Если силу $F \rightarrow$ увеличить в 2 раза, то и угол γ увеличится в 2 раза. Опыты показывают, что при упругих деформациях угол сдвига γ прямо пропорционален модулю F приложенной силы.

Наглядно деформацию сдвига можно показать на модели твердого тела, которое состоит из ряда параллельных пластин, соединенных между собой пружинами. Горизонтальная сила сдвигает пластины друг относительно друга без изменения объема тела. У реальных твердых тел при деформации сдвига объем также не меняется.

Деформациям сдвига подвержены все балки в местах опор, заклепки и болты, скрепляющие детали, и т. д. Сдвиг на большие углы может привести к разрушению тела — срезу. Срез происходит при работе ножниц, долота, зубила, зубьев пилы.

Изгиб и кручение. Более сложными видами деформаций являются изгиб и кручение. Деформацию изгиба испытывает, например, нагруженная балка. Кручение происходит при закручивании болтов, вращении валов машин, сверл и т. д. Эти деформации сводятся к неоднородному растяжению или сжатию и неоднородному сдвигу.

Все деформации твердых тел сводятся к растяжению (сжатию) и сдвигу. При упругих деформациях форма тела восстанавливается, а при пластических не восстанавливается.

Диаграмма растяжения. Механические свойства твердого тела рассмотрим на примере деформации растяжения. Но сначала введем величину, которая характеризует состояние деформированного тела,— механическое напряжение.

В любом сечении деформированного тела действуют силы упругости, препятствующие разрыву этого тела на части. Напряжением или, точнее, механическим напряжением называют отношение модуля силы упругости F к площади поперечного сечения S тела:

$$\sigma = F/S \quad (1)$$

В СИ за единицу напряжения принимается $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$, как и для давления.

Закон Гука. Опыт показывает: при малых деформациях напряжение σ прямо пропорционально относительному удлинению ε . Эта зависимость, называемая законом Гука, записывается так:

$$\sigma = E|\varepsilon| \quad (2)$$

Относительное удлинение ε в формуле взято по модулю, так как закон Гука справедлив как для деформации растяжения, так и для деформации сжатия, когда $\varepsilon < 0$.

Коэффициент пропорциональности E , входящий в закон Гука, называется модулем упругости или модулем Юнга. Модуль Юнга определяют по формуле (2), измеряя напряжение σ и относительное удлинение ε при малых деформациях.

Для большинства широко распространенных материалов модуль Юнга определен экспериментально. Так, для хромоникелевой стали $E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Па}$, а для алюминия $E = 7 \cdot 10^{10} \text{ Па}$. Чем больше модуль Юнга, тем меньше деформируется стержень при прочих равных условиях (одинаковых F , S , l_0). Модуль Юнга характеризует сопротивляемость материала упругой деформации растяжения или сжатия.

Закон Гука, записанный в формуле (2), легко привести к виду, известному из курса физики IX класса.

Действительно, подставив в формулу (5.2) $\sigma = F/S$ и $\varepsilon = |\Delta l|/l_0$, получим:

$$F/S = E |\Delta l| / l_0$$

Отсюда

$$F = SE / l_0 |\Delta l|$$

Обозначим $SE / l_0 = k$, тогда

$$F = k |\Delta l|$$

Таким образом, жесткость k стержня прямо пропорциональна произведению модуля Юнга на площадь поперечного сечения стержня и обратно пропорциональна его длине.

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).

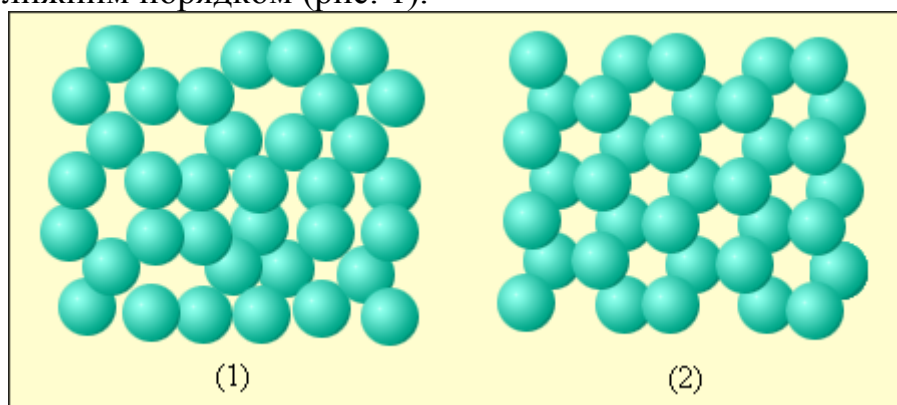


Рисунок 1.

Пример ближнего порядка молекул жидкости и дальнего порядка молекул кристаллического вещества: 1 – вода; 2 – лед

Рис. 2 иллюстрирует отличие газообразного вещества от жидкости на примере воды. Молекула воды H_2O состоит из одного атома кислорода и двух атомов водорода, расположенных под углом 104° . Среднее расстояние между молекулами пара в десятки раз превышает среднее расстояние между

молекулами воды. В отличие от рис. 1, где молекулы воды изображены в виде шариков, рис. 2 дает представление о структуре молекулы воды.

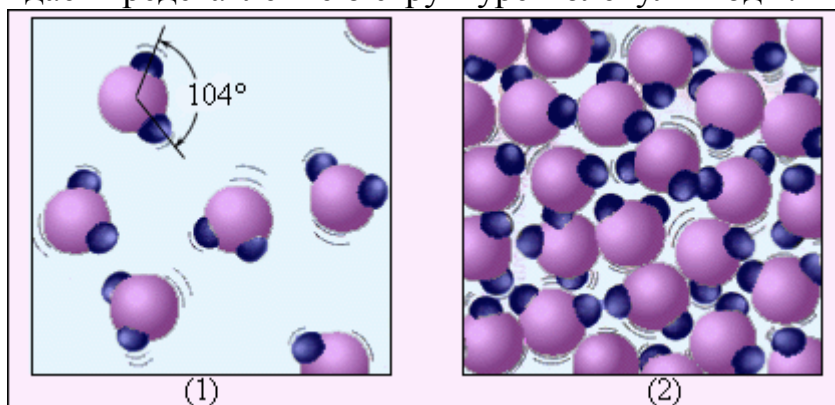


Рисунок 2.

Водяной пар (1) и вода (2). Молекулы воды увеличены примерно в $5 \cdot 10^7$ раз. 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. Например, для изменения объема воды на 1 % нужно увеличить давление приблизительно в 200 раз. Такое увеличение давления по сравнению с атмосферным достигается на глубине около 2 км.

Жидкости, как и твердые тела, изменяют свой объем при изменении температуры. Для не очень больших интервалов температур относительное изменение объема $\Delta V / V_0$ пропорционально изменению температуры ΔT :

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \beta \Delta T.$$

Коэффициент β называют температурным коэффициентом объемного расширения. Этот коэффициент у жидкостей в десятки раз больше, чем у твердых тел. У воды, например, при температуре 20 °С $\beta_w \approx 2 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$, у стали $\beta_{ст} \approx 3,6 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$, у кварцевого стекла $\beta_{кв} \approx 9 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$.

Тепловое расширение воды имеет интересную и важную для жизни на Земле аномалию. При температуре ниже 4 °С вода расширяется при понижении температуры ($\beta < 0$). Максимум плотности $\rho_w = 103 \text{ кг/м}^3$ 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 жизнь может существовать 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. Поверхностные молекулы силами межмолекулярного притяжения втягиваются внутрь жидкости. Но все молекулы, в том числе и молекулы пограничного слоя, должны находиться в состоянии равновесия. Это равновесие достигается за счет некоторого уменьшения расстояния между молекулами поверхностного слоя и их ближайшими соседями внутри жидкости. Как видно из рис. 2, при уменьшении расстояния между молекулами возникают силы отталкивания. Если среднее расстояние между молекулами внутри жидкости равно r_0 , то молекулы поверхностного слоя упакованы несколько более плотно, а поэтому они обладают дополнительным запасом потенциальной энергии по сравнению с внутренними молекулами (см. рис.2). Следует иметь ввиду, что вследствие крайне низкой сжимаемости наличие более плотно упакованного поверхностного слоя не приводит к сколь-нибудь заметному изменению объема жидкости. 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), внешние силы должны совершить положительную работу $\Delta A_{\text{внеш}}$, пропорциональную изменению ΔS площади поверхности:

$$\Delta A_{\text{внеш}} = \sigma \Delta S.$$

Коэффициент σ называется **коэффициентом поверхностного натяжения** ($\sigma > 0$). 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 ($1 \text{ Н/м} = 1 \text{ Дж/м}^2$).

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

$$E_p = A_{\text{внеш}} = \sigma S.$$

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. 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.

Некоторые жидкости, как, например, мыльная вода, обладают способностью образовывать тонкие пленки. Всем хорошо известные мыльные пузыри имеют правильную сферическую форму – в этом тоже проявляется действие сил поверхностного натяжения. Если в мыльный раствор опустить проволочную рамку, одна из сторон которой подвижна, то вся она затянется пленкой жидкости (рис. 3).

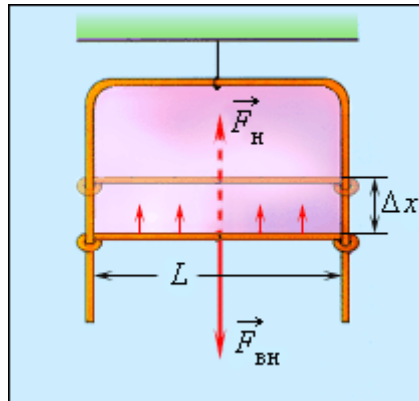


Рисунок 3.

Подвижная сторона проволочной рамки в равновесии под действием внешней силы и результирующей сил поверхностного натяжения

Силы поверхностного натяжения стремятся сократить поверхность пленки. Для равновесия подвижной стороны рамки к ней нужно приложить внешнюю силу. Если под действием силы перекладина переместится на Δx , то будет произведена работа $\Delta A_{ВН} = F_{ВН} \Delta x = \Delta E_p = \sigma \Delta S$, где $\Delta S = 2L\Delta x$ – приращение площади поверхности обеих сторон мыльной пленки. Так как модули сил и одинаковы, можно записать:

$$F_H \Delta x = \sigma 2L \Delta x \quad \text{или} \quad \sigma = \frac{F_H}{2L}.$$

Таким образом, коэффициент поверхностного натяжения σ может быть определен как модуль силы поверхностного натяжения, действующей на единицу длины линии, ограничивающей поверхность.

Из-за действия сил поверхностного натяжения в каплях жидкости и внутри мыльных пузырей возникает избыточное давление Δp . Если мысленно разрезать сферическую каплю радиуса R на две половинки, то каждая из них должна находиться в равновесии под действием сил поверхностного натяжения, приложенных к границе разреза длиной $2\pi R$ и сил избыточного давления, действующих на площадь πR^2 сечения (рис. 4). **Условие равновесия** записывается в виде

$$\sigma 2\pi R = \Delta p \pi R^2.$$

Отсюда избыточное давление внутри капли равно

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{R}$$

капля дождя

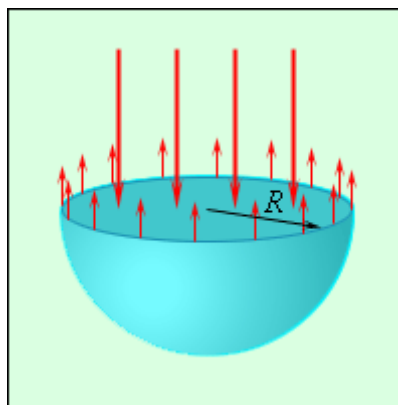


Рисунок 4.

Сечение сферической капли жидкости

Избыточное давление внутри мыльного пузыря в два раза больше, так как пленка имеет две поверхности:

$$\Delta p = \frac{4\sigma}{R}$$

мыльный пузырь

Вблизи границы между жидкостью, твердым телом и газом форма свободной поверхности жидкости зависит от сил взаимодействия молекул жидкости с молекулами твердого тела (взаимодействием с молекулами газа (или пара) можно пренебречь). Если эти силы больше сил взаимодействия между молекулами самой жидкости, то жидкость смачивает поверхность твердого тела. В этом случае жидкость подходит к поверхности твердого тела под некоторым острым углом θ , характерным для данной пары жидкость – твердое тело. Угол θ называется краевым углом. Если силы взаимодействия между молекулами жидкости превосходят силы их взаимодействия с молекулами твердого тела, то краевой угол θ оказывается тупым (рис. 5). В этом случае говорят, что жидкость не смачивает поверхность твердого тела. При полном смачивании $\theta = 0$, при полном несмачивании $\theta = 180^\circ$.

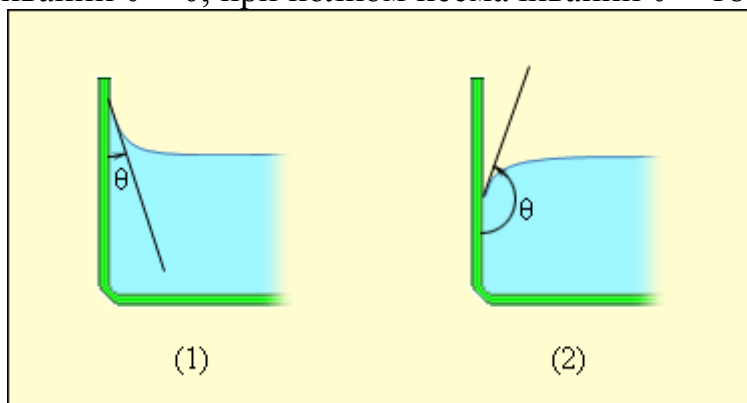


Рисунок 5.

Краевые углы смачивающей (1) и несмачивающей (2) жидкостей

Капиллярными явлениями называют подъем или опускание жидкости в трубках малого диаметра – капиллярах. Смачивающие жидкости поднимаются по капиллярам, несмачивающие – опускаются.

На рис. 6 изображена капиллярная трубка некоторого радиуса r , опущенная нижним концом в смачивающую жидкость плотности ρ . Верхний конец капилляра открыт. Подъем жидкости в капилляре продолжается до тех пор, пока сила тяжести действующая на столб жидкости в капилляре, не

станет равной по модулю результирующей F_H сил поверхностного натяжения, действующих вдоль границы соприкосновения жидкости с поверхностью капилляра: $F_T = F_H$, где $F_T = mg = \rho h \pi r^2 g$, $F_H = \sigma 2\pi r \cos \theta$.

Отсюда следует:

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

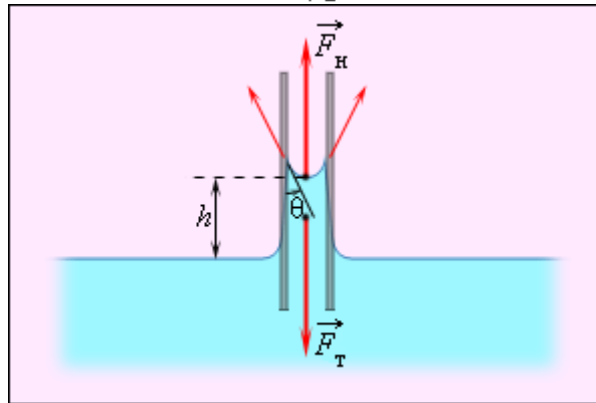


Рисунок 6.

Подъем смачивающей жидкости в капилляре

При **полном смачивании** $\theta = 0$, $\cos \theta = 1$. В этом случае

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

При **полном несмачивании** $\theta = 180^\circ$, $\cos \theta = -1$ и, следовательно, $h < 0$. Уровень несмачивающей жидкости в капилляре опускается ниже уровня жидкости в сосуде, в которую опущен капилляр.

Вода практически полностью смачивает чистую поверхность стекла. Наоборот, ртуть полностью не смачивает стеклянную поверхность. Поэтому уровень ртути в стеклянном капилляре опускается ниже уровня в сосуде.