

ЛЕКЦИЯ 7

1. Поверхность жидкости
2. Поверхностный слой
3. Сила поверхностного натяжения
4. Работа силы поверхностного натяжения
5. Собственная форма жидкости
6. Смачивание
7. Значение смачивания
8. Капиллярные явления
9. Учет смачивания в природе и технике

1. Поверхность жидкости

Жидкости занимают промежуточное положение между газами и твердыми телами. До 30-х годов нашего столетия считалось, что жидкости по своей структуре подобны газам, и отличаются от них лишь меньшими расстояниями между частицами и большими силами взаимодействия.

Наиболее характерным свойством жидкого состояния является наличие резкой границы, разделяющей жидкость и ее пар.

Поверхностный слой представляет собой переход от жидкости к пару. Он отличается особыми свойствами.

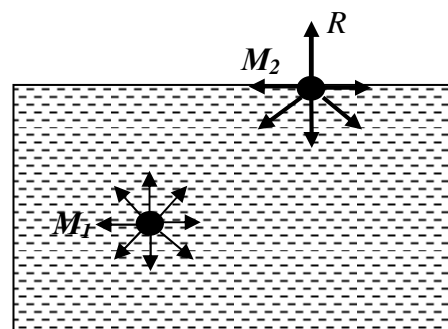
1. Дети хорошо знают, что "куличики" можно построить только из мокрого песка. Сухие песчинки не пристают друг к другу. Не пристают друг к другу песчинки, целиком погруженные в воду.

2. Когда во время купанья человек окунется с головой в воду, его волосы расходятся в воде во все стороны, но стоит высунуть голову из воды, как волосы тотчас лягут на голове слипшимися слоями.

2. Поверхностный слой

На каждую молекулу жидкости действуют силы притяжения к окружающим ее молекулам, удаленным от нее на расстояние порядка 10 нм.

Рассмотрим молекулу M_1 , расположенную внутри жидкости. Со всех сторон эту молекулу окружают такие же молекулы и силы притяжения уравновешиваются. Рассмотрим молекулу M_2 , находящуюся на поверхности жидкости.



Результирующая сила притяжения этой молекулы к молекулам пара меньше результирующей силы её притяжения к молекулам жидкости. Благодаря этому появляется равнодействующая сила, направленная внутрь жидкости, т.е. молекула стремится уйти внутрь жидкости.

Поверхностный слой жидкости напоминает растянутую упругую пленку. Причиной такого свойства - является то, что молекулы в поверхностном слое жидкости обладают дополнительной энергией по сравнению с молекулами внутри жидкости.

1. Если лезвие бритвы аккуратно положить на воду, то поверхностный слой прогнется, но не потонет.
2. А если вспомнить, как прыгают водомерки по поверхности воды.

Стремление жидкости уменьшить свою свободную поверхность хорошо проявляется в различных явлениях и опытах.

1. Прежде всего, об этом говорит шарообразная форма, которую принимают маленькие капли жидкости.
 - а. капельки ртути на горизонтальной поверхности,
 - б. капли воды на раскаленной плите,
 - в. капли воды на пыльной дороге.

2. Если на стеклянной трубке при разламывании образовался острый зубец, то его легко можно оплавить, т.е. сделать круглым, размягчив стекло на пламени.

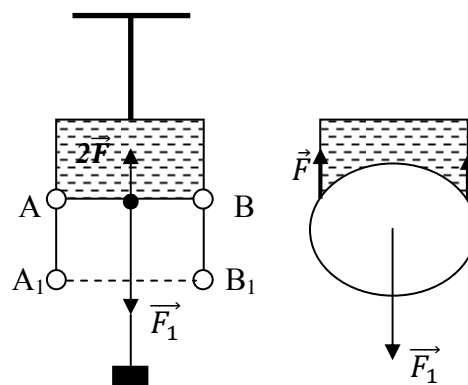
3. Сила поверхностного натяжения

Свойство жидкости сокращаться можно объяснить наличием сил, стремящихся сократить эту поверхность.

Силы, действующие в горизонтальной плоскости, как бы стягивают поверхность жидкости. Эти силы действуют вдоль поверхности жидкости и стремятся сократить поверхность жидкости до минимума. *Эти силы называются силами поверхностного натяжения.*

Рассмотрим один из способов измерения сил поверхностного натяжения.

Если опустить в мыльную воду проволочный каркас, изображенный на рис., то вынув его из воды, легко заметить, что верхняя часть каркаса затянута мыльной пленкой. Если потянуть за подвижную сторону АВ этой рамки вниз, то пленка растянется, а если подвижную сторону отпустить, то пленка сократится.



Пленка, образовавшаяся на рамке, представляет слой жидкости и имеет две свободные поверхности.

Обозначим силу, действующую на подвижную сторону каркаса со стороны поверхностного слоя, через F . Тогда общая сила поверхностного натяжения обоих поверхностных слоев будет равна $2F$. Её можно уравновесить силой упругости F_1 пружины динамометра.

$$2F = -F_1 \rightarrow F = \frac{|F_1|}{2}$$

Если взять проволоку в два раза больше длины, то значение силы поверхностного натяжения окажется вдвое больше.

Отношение $F_{\text{н}}$ к длине есть величина постоянная.

Эту величину называют *коэффициентом поверхностного натяжения.*

$$\sigma = \frac{F_{\text{нат.}}}{l} = \frac{H}{M}$$

Коэффициент поверхностного натяжения различен для разных жидкостей и зависит от температуры.

Обычно коэффициент поверхностного натяжения уменьшается с возрастанием температуры и обращается в нуль при критической температуре, когда исчезает различие между жидкостью и ее насыщенным паром.

Опыт показывает, что сила поверхностного натяжения, несмотря на увеличение поверхности, остается постоянной. Сила $F_{нат.}$ одна и та же при любом значении перемещения перекладины.

Этим поверхность жидкости отличается от упругих, например, резиновых пленок, по мере растяжения которых увеличивается расстояние между молекулами вдоль поверхности и упругая сила возрастает. Поверхностный слой не обладает упругими свойствами.

4. Работа, совершаемая силой поверхностного натяжения

Вернемся к рисунку.

Сила поверхностного натяжения, направленная вверх, равна

$$F = \sigma 2l \quad (l - \text{ширина рамки})$$

$2l$ – берется потому, что силы поверхностного натяжения действуют с обеих сторон пленки.

При сокращении пленки совершается работа

$$\Delta A = F \Delta h, \text{ но } F = \sigma 2l,$$

тогда $A = F 2l \Delta h,$

но $2l \Delta h = \Delta S$ – изменение площади поверхностного натяжения

следовательно $A = \sigma \Delta S,$

или $\sigma = \frac{\Delta A}{\Delta S}$

5. Собственная форма жидкости

Почему жидкость принимает форму шара?

Рассмотрим движение жидкости под действием только силы тяжести. Все частицы жидкости движутся с одинаковым ускорением, а следовательно с одинаковой скоростью. Поэтому расстояния между частицами жидкости не меняются, и жидкость находится в недеформированном состоянии. Т.е., если на жидкость действует одна лишь сила тяжести, то она на форму жидкости не влияет. Действие же молекулярных сил приводит к сокращению поверхности, и свободно падающая жидкость принимает форму шара. Такую форму жидкости наблюдали космонавты.

Шаровая форма-это и есть собственная форма жидкости, которую она принимает под действием межмолекулярных сил.

Почему жидкость всегда принимает форму сосуда?

На жидкость в сосуде, кроме силы тяжести действует сила реакции опоры. Каждый слой жидкости является опорой для вышележащего слоя, поэтому он действует с силой реакции на вышележащий слой, т.е. создает давление на него. Таким образом, внутри жидкости создается давление (гидростатическое), максимальное у нижнего слоя.

По закону Паскаля давление в жидкости на данной высоте одинаково во всех точках, а значит, по всем направлениям.

Почему жидкость на опоре растекается?

Силы гидростатического давления, действующие в горизонтальном направлении, приводят к ее растеканию. По этой причине жидкость на опоре не имеет сферической формы.

Если капля маленькая, сила тяжести мала. Поэтому мала и сила реакции опоры, и гидростатическое давление в капле. Значит, малы и силы давления, вызывающие ее растекание. Поэтому капли росы, ртути, практически сферичны.

Каков же минимальный радиус капли?

Потенциальная энергия капли равна

$$E_1 = mgh = \rho Vgr,$$

где V – объем шара,

ρ – плотность жидкости,

$h = r$ – высота центра тяжести капли над опорой.

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3$$

$$E_1 = \frac{4}{3}\pi r^4$$

Поверхностная энергия этой капли равна

$$E_2 = \sigma S, \quad S = 4\pi r^2, \quad E_2 = 4\pi r^2$$

Рассчитаем радиус капли, при котором вклад обоих видов энергии одинаков

$$E_1 = E_2, \text{ или } \frac{4}{3}\pi\rho gr_k^4 = 4\pi\sigma r_k^2$$

$$r_k = \sqrt{\frac{3\sigma}{\rho g}}$$

Мы видим, что r_k зависит от свойств самой жидкости и от ускорения свободного падения.

Рассчитаем значение радиуса для капли воды, находящейся на опоре в земных условиях

$$g = 9.8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}, \quad \sigma = 7,3 * 10^{-2} \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2}, \quad \rho = 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$r_k = 4,7 * 10^{-3} \text{ м} \approx 5 \text{ мм}$$

Капли, у которых радиус меньше 5 мм, будут иметь форму, близкую к сферической, и тем точнее, чем радиус капли меньше.

Капля, имеющая радиус равный 5 мм будет несколько сплющена, так как при этом вклад обоих видов энергии одинаков.

6.Смачивание

Рассмотрим ряд явлений в поверхностном слое жидкости на границе с твердым телом. Повседневный опыт убеждает, что капля воды растекается по чистой поверхности стола, но не растекается на жирной поверхности, а имеет форму почти правильного шара.

В первом случае говорят, что вода смачивает поверхность, а во втором - не смачивает.

Смачивание - явление, возникающее вследствие взаимодействия молекул жидкости с молекулами твердых тел и приводящее к искривлению поверхности жидкости у поверхности твердого тела.

Форма поверхности зависит от того, какие силы притяжения больше:

- 1 . между молекулами жидкости и твердого тела или
- 2 . между молекулами самой жидкости.

В первом случае жидкость смачивающая, во втором - жидкость не смачивает твердую поверхность.

(Сплюснутость капельки жидкости - результат действия сил тяжести и взаимодействия молекул жидкости с молекулами твердого тела).



Мерой смачивания является угол θ между смачиваемой поверхностью и касательной к поверхности жидкости. Этот угол называют *углом смачивания*.

Если θ - острый - смачивание,
если θ - тупой – несмачивание,
если $\theta = 0^0$ - полное смачивание,
если $\theta = 180^0$ - полное несмачивание.

7.Значение смачивания

Явление смачивание и несмачивания имеет важное значение в быту и технике.

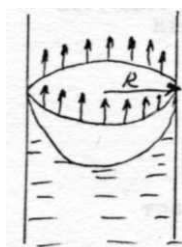
- 1 . Хорошее смачивание необходимо при крашении, стирке, обработке фотоматериалов.
- 2 . Если бы вода не смачивала поверхность нашего тела, был бы бесполезен душ, купание, а процесс умывания был бы возможен только в присутствии моющих средств.
- 3 . Склеивание деревянных, кожаных, резиновых и др. материалов.
- 4 . Со свойством смачивания связана пайка. Чтобы расплавленный припой хорошо растекался на поверхности металлических предметов и прилипал к ним, надо эти поверхности очистить от жира, пыли.
- 5 . Оловянным припоем хорошо паять детали из меди, латуни и др. Но алюминий не смачивается этим припоем. Поэтому для пайки алюминиевых изделий применяют припой из алюминия и кремния.

8. Капиллярные явления

Искривленную поверхность жидкости вблизи границы ее соприкосновения с твердым телом называют *мениском* (от греческого слова "менискос"-полумесяц). Особенно хорошо наблюдается искривление мениска жидкости в тонких трубках, называемых капиллярами ("капилляр"-волос).

Под капиллярными явлениями понимают подъем или опускание жидкости в узких трубках-капиллярах.

Смачивающая жидкость поднимается по капилляру. При этом, чем меньше радиус трубки, тем на большую высоту она поднимается.



В капиллярах изогнутую поверхность жидкости при полном несмачивании можно принять за полушферу радиус которой r .

Вдоль границы поверхностного слоя, имеющей форму окружности, на стенки трубки действует сила поверхностного натяжения направленная вниз.

По III - закону Ньютона такая же сила по модулю действует на жидкость со стороны стенок трубки вверх. Эта сила и заставляет жидкость подниматься.

$$F = \sigma l, (l = 2\pi r); F = 2\sigma\pi r$$

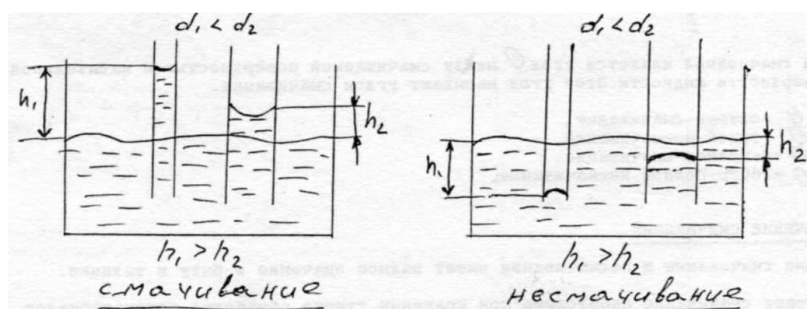
Поднятие жидкости прекращается, когда сила уравновесится силой тяжести.

$$mg = \rho g r = \rho g \pi r^2$$

$$2\sigma\pi r = \rho g h \pi r^2$$

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

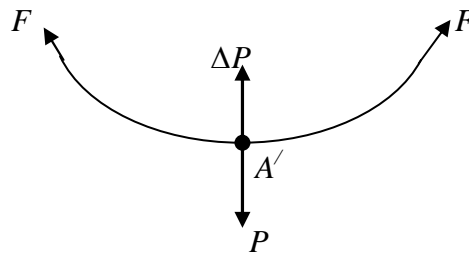
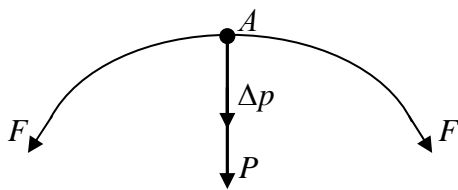
Жидкость, не смачивающая стенки капилляра (напр.ртуть) опускается ниже уровня жидкости. Глубина опускания определяется той же формулой.



Если поверхность жидкости не плоская, а искривленная, то силы поверхностного натяжения создают дополнительное давление на жидкость, которое прибавляется к давлению, с которым поверхностный слой действует на остальную массу жидкости. Добавочное давление, вызванное кривизной поверхности жидкости, определяется формулой Лапласа.

$$\Delta p = \pm \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

где R_1 и R_2 – радиусы кривизны двух взаимно перпендикулярных сечений поверхности жидкости (знак «+» - для выпуклого мениска, знак «-» для вогнутого мениска).



Суммарное давление в точках А и А' равно соответственно

$$P_A = P_{\Pi} + \Delta P; \quad P_{A'} = P_{\Pi} - \Delta P$$

где ΔP – лапласовское или капиллярное давление
 P_{Π} – давление поверхностного слоя

В том случае, когда $R_1 = R_2 = R$ (сферическая поверхность)

$$\Delta P = \frac{2\sigma}{r}$$

Для тонкостенной полой сферы (пузыря)

$$\Delta P = 2 \frac{2\sigma}{R} = \frac{4\sigma}{R}$$

т.к. полая сфера имеет две поверхности – внешнюю и внутреннюю

9.Значение капиллярности

Тела, пронизанные большим числом тонких каналов, активно впитывают в себя воду и другие жидкости - только необходимо, чтобы жидкость смачивала поверхности этих тел.

1. Проникновение влаги из почвы в растения, стебли и листья обусловлено капиллярностью. По капиллярам почвы поднимается вода из глубины слоев в поверхностный слой. Уменьшая диаметр почвенных капилляров путем уплотнения почвы можно усилить приток воды к поверхности почвы, и этим ускорить высушивание почвы. Наоборот, разрыхляя поверхность почвы и разрушая тем самым систему почвенных капилляров, можно задержать приток воды к зоне испарения и замедлить высушивание почвы.

2. Процесс кровообращения также связан с капиллярностью. Кровеносные сосуды являются капиллярами.

3. На явление капиллярности основано использование промокательной бумаги, полотенца.