

Краевая научно-практическая конференция
учебно-исследовательских работ учащихся 9-11 классов
«Прикладные и фундаментальные вопросы математики»

Прикладные вопросы математики

Поверхностное натяжение жидкостей

Кошелев Арсений Александрович,
Морозов Дмитрий Леонидович,

10 кл., МБОУ «Лицей №1», г. Пермь,
Гольдштейн Инна Григорьевна,

учитель физики.

Пермь. 2014.

Поверхностное натяжение имеет двойной физический смысл — энергетический и силовой. Энергетическое определение: поверхностное натяжение — это удельная работа увеличения поверхности при её растяжении при условии постоянства температуры. Силовое (механическое) определение: поверхностное натяжение — это сила, действующая на единицу длины линии, которая ограничивает поверхность жидкости.

Молекулы, находящиеся на поверхности жидкости, имеют избыток потенциальной энергии и поэтому стремятся втянуться внутрь так, что при этом на поверхности остается минимальное количество молекул. За счет этого вдоль поверхности жидкости всегда действует сила, стремящаяся сократить поверхность. Это явление в физике получило название поверхностного натяжения жидкости.

Поверхностное натяжение является одним из важных параметров воды. Оно определяет силу сцепления между молекулами воды, а также форму поверхности жидкости. Например, из-за сил поверхностного натяжения формируется капля, лужица, струя и т.д. Летучесть (испаряемость) жидкости тоже зависит от сил сцепления молекул. Чем меньше поверхностное натяжение, тем более летуча жидкость. Самым низким поверхностным натяжением обладают спирты и растворители. Это, в свою очередь, определяет их активность, т.е. способность взаимодействовать с другими веществами.

Если бы вода имела низкое поверхностное натяжение, она бы улетучилась или испарилась. При выливании воды из сосуда с широким горлом на поверхности воды на мгновение образуется выпуклость, и определенное время она удерживается силами межмолекулярного сцепления. Потом происходит разрыв «верхней пленки» и жидкость выливается. Зрительно поверхностное натяжение можно представить следующим образом: если медленно наливать в чашку чай до краев, то какое-то время он не будет выливаться через край и в проходящем свете можно увидеть, что над поверхностью жидкости образовалась тончайшая пленка, которая не дает чаю выливаться. Она набухает по мере доливания, и только при, как говорится, «последней капле» жидкость выливается через край.

Существуют способы снижения поверхностного натяжения. Это нагревание, добавление биологически активных веществ (стиральных порошков, мыла, паст и т.д.) Степень поверхностного натяжения определяет «жидкость» воды. Образно говоря, вода бывает более «густая» и более «жидкая». Поверхностное натяжение — это степень сцепления молекул воды друг с другом. Этот параметр определяет степень усвояемости воды организмом.

Желательно, чтобы в организм поступала более «жидкая» вода, тогда клеткам не надо будет тратить энергию на преодоление поверхностного натяжения. Вода с

низким поверхностным натяжением более биологически доступна. Она легче вступает в межмолекулярные взаимодействия.



Среди существующих в природе жидкостей поверхностное натяжение воды уступает только ртути. С поверхностным натяжением воды связано ее сильное смачивающее действие (способность «прилипать» к поверхности многих твердых тел). Кроме того, вода является универсальным растворителем. Теплота ее испарения выше теплоты испарения любых других жидкостей, а теплота кристаллизации уступает лишь аммиаку.



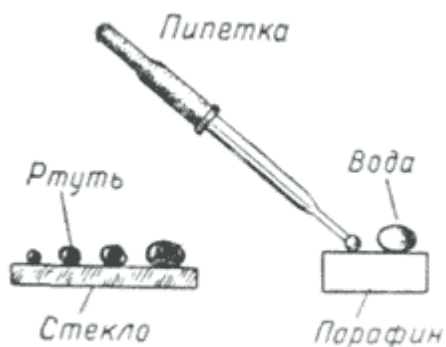
Вы видите его проявление всякий раз, когда наблюдаете, как вода медленно капает из водопроводного крана. Из крана появляется водяная пленка и начинает растягиваться, словно тонкая резиновая оболочка, под тяжестью заключенной в ней жидкости. Эта пленка, прикрепленная к отверстию крана, постепенно удлиняется, пока ее вес не станет вдруг слишком большим. Пленка, однако, не рвется, как порвалась бы резинка при перегрузке. Вместо этого она "соскальзывает" с копки крана и, как бы охватив небольшое количество воды, образует свободно падающую капельку. Несомненно, вы не раз наблюдали, что падающие капельки принимают почти шарообразную форму. Если бы не было внешних сил, они были бы строго шарообразны. То, что вы наблюдаете, является одним из проявлений необычной способности воды "стягиваться", или, другими словами, ее способность к сцеплению. Капля воды, капающая из крана, стягивается в крошечный шар, а шар из всех возможных геометрических тел обладает наименьшей поверхностью при данном объеме.

Вследствие сцепления на поверхности воды образуется натяжение, и для того, чтобы разорвать поверхность воды, требуется физическая сила, причем, как это ни странно, довольно значительная. Ненарушенная водная поверхность может удерживать на себе предметы, которые значительно "тяжелее" воды, например стальную иголку или лезвие бритвы, или некоторых насекомых, которые скользят по воде, словно это не жидкость, а твердое



тело.

Внутри жидкости притяжение молекул друг к другу уравновешено. А на поверхности нет. Молекулы воды, которые лежат глубже, тянут вниз самые верхние молекулы. Поэтому капля воды как бы стремится максимально сжаться. Стягивают ее силы поверхностного натяжения.



Физики точно рассчитали, какую гирю надо подвесить к столбику воды толщиной в три сантиметра, чтобы разорвать его. Гиря потребуется огромная - больше ста тонн! Но это когда вода исключительно чистая. В природе такой воды нет. Всегда в ней что-то растворено. Пусть хоть немного, но чужеродные вещества разрывают звенья в прочной цепи молекул воды, и силы сцепления между ними уменьшаются.

Если нанести на стеклянную пластинку капли ртути, а на парафиновую - капли воды, то очень маленькие капельки будут иметь форму шара, а более крупные окажутся слегка сплюснутыми под действием силы тяжести.

Подобное явление объясняется тем, что между ртутью и стеклом, а также между парафином и водой возникают силы притяжения меньшие, чем между самими

молекулами. При соприкосновении воды с чистым стеклом, а ртути с металлической пластинкой мы наблюдаем почти равномерное распределение того и другого вещества на пластинках, так как силы притяжения между стеклом и молекулами воды, металлом и молекулами ртути больше, чем притяжение между отдельными молекулами воды и ртути. Такое явление, когда жидкость равномерно располагается на поверхности твёрдого тела, называется смачиванием. Значит, вода смачивает чистое стекло, но не смачивает парафин. Смачиваемость в частном случае может показать степень загрязнённости поверхности. Например, на чисто вымытой тарелке вода растекается ровным слоем, в чисто вымытой колбе стенки. Равномерно покрываются водой, если же вода на поверхности принимает форму капель, то это указывает, что поверхность посуды покрыта тонким слоем вещества, которое не смачивает вода, чаще всего жиром то водородные связи с поверхностью образовываться не будут, и вода соберется в капельки под воздействием внутренних водородных связей, обуславливающих поверхностное натяжение.



Одним из следствий эффекта поверхностного натяжения является то, что для увеличения площади поверхности жидкости — ее растяжения — нужно проделать механическую работу по преодолению сил поверхностного натяжения. Следовательно, если жидкость оставить в покое, она стремится принять форму, при которой площадь ее поверхности окажется минимальной. Такой формой, естественно, является сфера — вот почему дождевые капли в полете принимают почти сферическую форму. По этой же причине капли воды на кузове покрытого свежим воском автомобиля собираются в бусинки.

Силы поверхностного натяжения используются в промышленности — в частности, при отливке сферических форм, например ружейной дроби. Каплям расплавленного металла просто дают застывать на лету при падении с достаточной для этого высоты, и они сами застывают в форме шариков, прежде чем упадут в приемный контейнер.

Можно привести много примеров сил поверхностного натяжения в действии из нашей будничной жизни. Под воздействием ветра на поверхности океанов, морей и озер образуется рябь, и эта рябь представляет собой волны, в которых действующая вверх сила внутреннего давления воды уравнивается действующей вниз силой поверхностного натяжения. Две эти силы чередуются, и

на воде образуется рябь, подобно тому, как за счет попеременного растяжения и сжатия образуется волна в струне музыкального инструмента.

Сила поверхностного натяжения направлена по касательной к поверхности жидкости, перпендикулярно к участку контура, на который она действует и пропорциональна длине этого участка. Коэффициент пропорциональности σ — сила, приходящаяся на единицу длины контура — называется коэффициентом поверхностного натяжения. Он измеряется в ньютонах на метр. Но более правильно дать определение поверхностному натяжению, как энергии (Дж) на разрыв единицы поверхности. В этом случае появляется ясный физический смысл понятия поверхностного натяжения.

В 1983 году было доказано теоретически и подтверждено данными из справочников, что понятие поверхностного натяжения жидкости однозначно является частью понятия внутренней энергии (хотя и специфической: для симметричных молекул близких по форме к шарообразным). Приведенные в этой журнальной статье формулы позволяют для некоторых веществ теоретически рассчитывать значения поверхностного натяжения жидкости по другим физико-химическим свойствам, например, по теплоте парообразования или по внутренней энергии.

Поверхностное натяжение может быть на границе газообразных, жидких и твёрдых тел. Обычно имеется в виду поверхностное натяжение жидких тел на границе «жидкость — газ». В случае жидкой поверхности раздела поверхностное натяжение правомерно также рассматривать как силу, действующую на единицу длины контура поверхности и стремящуюся сократить поверхность до минимума при заданных объёмах фаз.

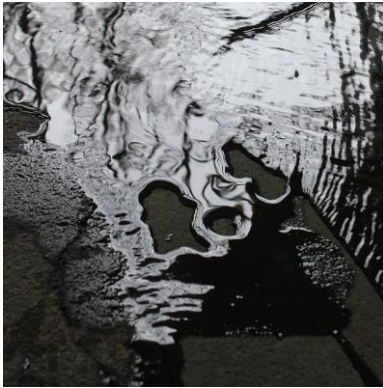


В общем случае прибор для измерения поверхностного натяжения называется тензиометр.

Водомерка на поверхности воды.

Так как появление поверхности жидкости требует совершения работы, каждая среда «стремится» уменьшить площадь своей поверхности:

- 1) в невесомости капля принимает сферическую форму (сфера имеет наименьшую площадь поверхности среди всех тел одинакового объёма).
- 2) струя воды «слипается» в цилиндр.



- 3) маленькие объекты с плотностью, большей плотности жидкости, способны «плавать» на поверхности жидкости, так как сила тяготения меньше силы, препятствующей увеличению площади жидкости.
- 4) некоторые насекомые (например, водомерки) способны передвигаться по воде, удерживаясь на её поверхности за счёт сил поверхностного натяжения.

На многих поверхностях, именуемых несмачиваемыми, вода (или другая жидкость) собирается в капли.

Зависимость от температуры

С увеличением температуры величина поверхностного натяжения уменьшается и равна нулю при критической температуре.

Таблица Поверхностное натяжение жидкостей на границе с воздухом

Вещество

Температура °С

Поверхностное натяжение(10^{-3} Н/м)

Хлорид натрия 6.0М водный раствор

20

82,55

Хлорид натрия

801

115

Глицерин

30

64,7

Олово

400

518

Азотная кислота 70 %

20

59,4

Анилин

20

42,9

Ацетон

20

23,7

Бензол

20

29,0

Вода

20

72,86

Глицерин

20

59,4

Нефть

20

26

Ртуть

20

486,5

Серная кислота 85 %

20

57,4

Спирт этиловый

20

22,8

Уксусная кислота

20

27,8

Эфир этиловый

20

16,9

Раствор мыла

20

40

σ

1

F

$$1) 40 \times 10^{-3} \text{ Н/м}$$

$$P(l) = (30 + 24) \times 2 = 108 \text{ см}$$

$$0,04 \times 1,08 = 0,0432 \text{ Н/м}$$

$$2) 40 \times 10^{-3} \text{ Н/м}$$

$$P(l) = (11,5 + 24) \times 2 = 71 \text{ см}$$

$$0,04 \times 0,71 = 0,0284 \text{ Н/м}$$

$$3) 40 \times 10^{-3} \text{ Н/м}$$

$$P(l) = 2\pi R = 2 \times 3,14 \times 2 = 12,57 \text{ см}$$

$$0,04 \times 0,1257 = 0,005028 \text{ Н/м}$$

Расчетная формула: $F = 2l \times \sigma$ $\sigma = F/l$ Расчетная таблица
СИ 1) 108 см = 1,08 м 2) 71 см = 0,71 м 3) 12,57 см = 0,1257 м

F_{тяж}

F

F_{пов. натяж.}

1Н

$$F_1 = 1,01 \text{ Н}$$

$$F = 1,01 \text{ Н} - 1 \text{ Н} = 0,1 \text{ Н}$$

1Н

$$F_2 = 1,03 \text{ Н}$$

$$F = 1,03 \text{ Н} - 1 \text{ Н} = 0,3 \text{ Н}$$

1Н

$$F_3 = 1,02 \text{ Н}$$

$$F=1,02H-1H=0,2H$$

$$1H$$

$$F_4=1,01H$$

$$F=1,01H-1H=0,1H$$

$$1H$$

$$F_5=1,01H$$

$$F=1,01H-1H=0,1H$$

I)

$$\text{II) } \sigma = F_{\text{cp}} \div L = 0,016 / 0,274 = 0,058 (\text{H/м})$$

$$F_{\text{cp}} = (0,01 + 0,03 + 0,02 + 0,01 + 0,01) \div 5 = 0,016 (\text{H})$$

$$L = 27,4 (\text{см}) = 0,274 (\text{м})$$

$$\text{III) } F = 0,05 (\text{H}) \quad L = 0,0005 (\text{м})$$

$$\begin{aligned} \text{Е } \sigma \text{ (относительная погрешность)} &= F \div F_{\text{cp}} + L \div L = 0,05 \div 0,274 + 0,0005 \div 0,016 = \\ &= 0,213 (\text{H/м}) \end{aligned}$$

$$\sigma \text{ (абсолютная)} = \sigma \times E = 0,058 * 0,213 = 0,012 (\text{H/м})$$

$$\sigma = \sigma \pm \sigma = 0,058 (\text{H/м}) \pm 0,012 (\text{H/м}) = 58 \times 10^{-3} (\text{H/м}) \pm 12 \times 10^{-3} (\text{H/м})$$

Вывод: Поверхностное натяжение – незаменимое явление в физике, основанное на молекулярном строении, без которого наша жизнь не имела бы смысла. Это основа всех жидкостных явлений. Она несёт много прекрасных воспоминаний (космос невесомость) связанных с природой.

Список литературы:

1. <http://www.akvadizain.ru/chemicals/catalog/209/217>
2. http://ru.wikipedia.org/wiki/%CF%E2%E5%F0%F5%ED%E2%E1%F2%ED%E5_%ED%E0%F2%FF%E6%E5%ED%E8%E5
3. <http://all-about-water.ru/surface-tension.php>
4. <http://elementy.ru/trefil/21213>