

ПОВЕРХНОСТНОЕ ЗНАКОМСТВО

*А боги смеялись всё утро и вечер –
Смешила их фраза: «Случайная встреча»...
Они от души, аж до слёз хохотали:
Наивные люди! Вам шанс просто дали!¹..*

Неслучайная случайность свела меня с прекрасной «незнакомкой» – водяной капелькой на несмачиваемом жидкостью листочке. Был ею очарован.



А справочник сухо представил: «Капля – это небольшой объём жидкости, ограниченный поверхностью, определяемой преимущественно действием сил поверхностного натяжения».

– Откуда же ты взялась, красавица, и в чём секрет твоей формы? – жажду понимания. И не я один.

– Все любознательные, присоединяйтесь!

«Откуда» – не один вариант. Капли образуются: а) при стекании жидкости с края поверхности или из малых отверстий; б) при конденсации пара; в) при распылении жидкости; г) при эмульгировании². Выбор очевиден...

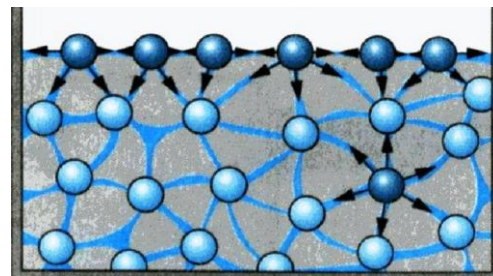
С «формой» – сложнее. Чем капля крупнее, тем меньше она похожа на шарик.

Интересно проверить физикой гармонию – оценить критический радиус, превышение которого приводит к нарушению сферичности.

В борьбе за форму наблюдается единоборство двух сил: тяжести (она плющит) и поверхностного натяжения (собирает в шарик). Исходя из того, что «энергия – это способность к совершению работы», сравним потенциальную энергию сферической капли, находящейся в поле силы тяжести³ и энергию её поверхностного слоя⁴.

– Откуда она, эта поверхностная энергия берётся? И почему идеал капли шарик, а не кубик?

Присмотримся к двум молекулам. Первая находится внутри жидкости, со всех сторон её окружают близнецы-сёстры (берём в расчёт лишь ближнее окружение) и каждая тянет её к себе. Результирующая этих сил равна нулю и молекула находится в покое (в состоянии безразличного равновесия). Вторая молекула из поверхностного слоя, резуль-



¹ Строки стихотворения Ирины Булановой.

² В процессе смешивания двух или более несмешиваемых жидкостей (например, масла и воды).

³ $E = mgR = V\rho gR = \frac{4\pi R^3}{3}\rho gR$, где: V – объём капли; ρ – плотность воды; g – ускорение свободного падения; R – радиус капли.

⁴ $U = \sigma S = \sigma 4\pi R^2$, где S – площадь поверхности капли; σ – коэффициент поверхностного натяжения воды.

тирующая сила тянет её вглубь⁵. Получается, что жидкость стремится к уменьшению количества поверхностных молекул. Известно⁶, что минимальную площадь поверхности (и количество поверхностных молекул) при данной массе имеет шар, вот и стремится жидкость к такому состоянию.

О том же, но по-другому: чтобы вытащить молекулу с глубины на поверхность, надо, противодействуя результирующей силе, совершить работу и сообщить ей энергию. Поэтому-то молекулы внешнего слоя жидкости, обладают поверхностной энергией, а та всегда стремится к минимуму. Не верите?.. Тогда поднимите камень, совершив работу против силы тяжести, увеличьте его механическую энергию... А затем отпустите...

Вернёмся к расчёту. Из равенства двух энергий найдём критический радиус⁷ – 1,5мм. Похоже на правду!

В качестве приложения – несколько капель информации про капли:

- в невесомости можно встретить суперкапли. Догадайтесь, кстати, как в одной из них появились два изображения космонавта?

- в фармацевтике мерой капли принято считать объём в 0,05мл – такую порцию воды выдаёт аптечная пипетка. В 1мл – ровно 20 таких капель⁸. И эти капельки по моим прикидкам (можете проверить и вычислите размер) – не шарики.

- радиус дождевых (падающих) капель варьируется от 0,05 до 4,5мм. (Капли больших размеров, как правило, распадаются).

- очень мелкие водяные капли, настолько «идеальны», что могут даже жить на поверхности воды, не поглощаясь ею. Удивительное зрелище! Последний раз наблюдал их, когда они срывались с весла лодки, под большим углом падали на водную гладь и, подпрыгивая, убегали от меня вдаль (или я от них).

- голландский учёный-самоучка Антони ван Левенгук – первый на свете человек, увидевший микроорганизмы. Для этого ему пришлось изготовить самую мощную линзу своего времени – малюсенький стеклянный шарик, увеличивающий предметы в 275-500 раз. Предполагается, что Левенгук плавил на горелке тонкую стеклянную нить, пока на ней за счёт сил поверхностного натяжения не появлялась капля...

В продолжение знакомства – соревнование «Кто больше».

Реквизит готов: монетка (10руб); пипетка аптечная и стаканчик с водой.

Задача участников – с помощью пипетки разместить как можно больше капель на поверхности монетки. Хитрости приветствуются. Как утверждала одна, переполнившая чашу, капля: «Мелочей не бывает»!

Моя первая попытка (разминочная) – 15 капель.



⁵ Притяжение к молекулам пара (газа) в расчёт не берём, так как расстояние до них велико.

⁶ Убедитесь в этом, рассчитав и сравнив площади поверхностей шарика и кубика одинаковых масс.

⁷ $R = \sqrt{\frac{3\sigma}{\rho g}}$.

⁸ В 1мл спирта и спиртового раствора количество капель в два раза больше.

Стать победителем у меня есть неплохой шанс, ведь я понимаю физику процесса – ведаю тайны «пипеточных» и «монетных» капель⁹ (а значит, могу использовать эти знания). Но не будем забегать вперёд, ваш подход...

В развитие темы – классика жанра занимательной науки – «Бездонный бокал»¹⁰.

Сосуд (на фото – прозрачная кружка) до краёв наполнен водой. У зрителей обычно спрашивают: «Сколько монет можно погрузить в воду, пока она не прольётся?».

Результат, как правило, обескураживает.

– Куда же делась, вытесненная монетами жидкость?..

Собралась поверх в большую «каплю» – водяную выпуклость (как в соревновании «Кто больше»)!

Предлагаю вам повторить эксперимент, но с научным предсказанием – так интереснее.

Бокал (в нашем случае диаметр его верхней части – 80мм) – на стол. Воды – по край. Вместо монет для погружения – канцелярские (металлические) скрепки¹¹.

Развернём одну скрепку в прямую проволочку и измерим её¹²: диаметр – 1мм; длина – 90мм. Объём изделия¹³ – около 70мм³.

Предположим, что водяной слой, имеющий форму цилиндра, возвысится над краями бокала на 2-3мм. Объём¹⁴ такой выпуклости – не менее 10000мм³.

Деление большего объёма на меньший даёт количество необходимых для опыта скрепок. Невероятное количество – 145 штук. Полторы стандартной пачки!

Остаётся проверить на практике... и подивиться «бездонности» бокала.

Шанс использован, знакомство, хоть и поверхностное, состоялось!



27.08.23

⁹ Имеются в виду: зависимость коэффициента поверхностного натяжения воды от её температуры и примесей; связь размеров капель с диаметром отверстия пипетки; способ повышения несмачиваемости монеты.

¹⁰ См. кн. 1 «Занимательная физика» Я. Перельмана.

¹¹ Можно использовать цепочку с небольшими звеньями.

¹² Воспользуемся штангель циркулем.

¹³ $V_1 = S_1 \times L = \frac{\pi d^2}{4} \times L$, где S_1 – площадь поперечного сечения проволоки, L – длина проволоки, d – диаметр проволоки.

¹⁴ $V_2 = S_2 \times h = \frac{\pi D^2}{4} \times h$, где S_2 – площадь круга, D – диаметр круга, h – высота цилиндра.