

КАК УТОПИТЬ СТАКАН

*Я никогда не гадаю. Очень дурная привычка: действует губительно на способность логически мыслить.
(Шерлок Холмс¹).*

– Что сегодня интересного было в школе? – любопытствовала сестрёнка у старшего брата.

Несколько дней она из-за лёгкой болезни не ходила в школу, и явно скучала по общению и новостям.

– На уроке физики топили стакан! – оторвался тот от чтения любимого Конан Дойля.

– Как так?

– Учитель показал стеклянный цилиндрический сосуд (объёмом 200мл и массой 100г) и предложил придумать как можно больше способов его затопления при нормальном атмосферном давлении².

– *Элементарно, Ватсон!* – поспешила с предложением сестрёнка. – Надо ткнуть его молоточком, а осколки сыпать в воду...

– Не так всё просто, – отложил братишка книгу. – Стакан и осколки не одно и то же физическое тело, поэтому, строго говоря, условие нарушено, задание не выполнено.

– Согласна! Но если подумать, то можно предложить не один способ.

– Вот мы и предлагали варианты, а затем выбирали среди них самый красивый.

– Но как можно оценить их красоту?

– Понятие это не абсолютное, а относительное. Зависит от понимания физических законов, которыми она создаётся.

– Я физику только начала изучать, так что будь проще, – попросила сестра.

– Тогда бери листок, карандаш и записывай свои предложения – превратился в учителя брат.

Лучше фантазировать, чем не иметь вовсе никаких мыслей.

Через некоторое время они уже обсуждали свои находки.

Силой мысли стаканчик был превращён в кораблик и отправлен в плавание. «Утопить» – значит нарушить условие плавания тела и сделать так, чтобы вес стакана превысил действующую на него выталкивающую силу.

Многообразие вариантов свелось к небольшому количеству способов.

1. Надавить сверху на плавающий стакан, чтобы уровень воды поднялся выше его края.

2. Увеличивать массу груза (камешков, воды) в кораблике-стакане.

3. Уменьшить среднюю плотность воды, насытив её пузырьками воздуха (можно использовать воздушный компрессор для аквариума).

4. Ронять стакан в воду дном вниз, постепенно увеличивая высоту его подъёма.

5. Опустить перевёрнутый стакан с воздухом на критическую глубину.

Самым красивым (и оригинальным) был признан способ со стаканом-батискафом, который на малой глубине стремился к всплытию, а на большой – к затоплению!

Законное желание – подобрать среди кухонной посуды стакан, наполнить ванну водой и увидеть чудо своими глазами. Но...

Решить проблему – не значит её объяснить.

– Сначала мы оценим критическую глубину погружения стакана, – взялся за просвещение новоявленный учитель.

Строить предположения, не зная всех обстоятельств дела – крупнейшая ошибка. Это может повлиять на дальнейший ход рассуждений.

– Внимание, погружение в тему и жидкость начинается...

¹ Здесь и далее, курсивом будут выделены замечания великого сыщика.

² $p_1 \approx 10^5 \text{Па}$.

Воздух внутри стакана постепенно сжимается (из-за увеличения гидростатического давления), а выталкивающая сила Архимеда (F_A) уменьшается (так как зависит от объёма). Когда же сила тяжести (F_T) превысит выталкивающую силу, стакан утонет.

Для великого ума мелочей не существует.

Сделаны допущения: стакан – **тонкостенный** (предполагается, что выталкивающая сила действует только на воздух, запёртый в нём); масса воздуха в сравнении с массой стакана – **пренебрежимо мала**; стакан погружается **медленно** (при сжатии воздух должен нагреваться, но этого не происходит, потому что он успевает отдавать воде³ излишки тепла, и температура газа остаётся неизменной).

Записаны уравнения законов...

$$F_A = F_T$$

$$F_A = \rho_{\text{воды}} \times g \times V_2$$

$$F_T = m \times g$$

$$p_1 \times V_1 = p_2 \times V_2 \text{ (закон Бойля-Мариотта)}$$

$$p_2 = \rho_{\text{воды}} \times g \times H$$

...и «царица всех наук и служанка физики»⁴ выдаёт расчётную формулу:

$$H = \frac{p_1 \times V_1}{m \times g}$$

Любопытно, но искомая глубина не зависит от плотности жидкости!?!... (Это ещё предстоит осознать).

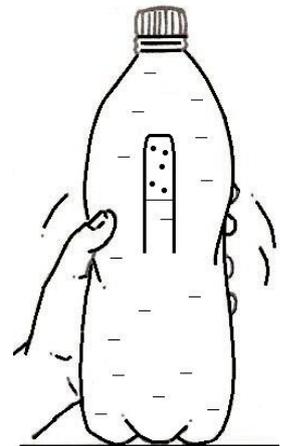
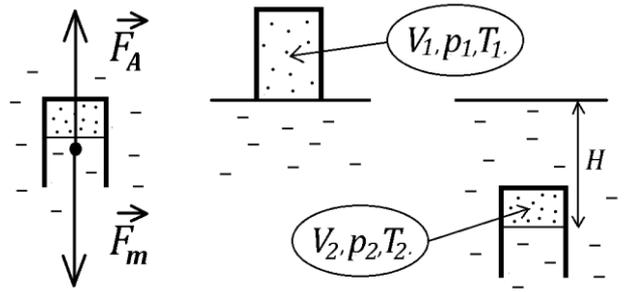
Подстановка данных даёт... **ДВАДЦАТЬ метров!!!**

– Ванна мелковата, – расстроилась сестрёнка, ей так хотелось посмотреть на предсказанное чудо.

Нет ничего более стимулирующего, чем случай, когда всё идёт против вас.

– Эврика! – нашёл на кухне пластиковую бутылку братишка.

Наполнил её водой, и запустил внутрь «картезианского водолаза» – перевернутую пробирку, частично заполненную водой. Водолаз, имея малую плавучесть, завис в верхней части бутылки, под крышкой. Но стоило сжать её рукой, как давление жидкости внутри повысилось, и воздух в поплавке сжался до критического объёма... *Таков закон природы.* И полная аналогия с тонущим стаканом! Сестрёнке понравилось.



13.09.23

³ Вода играет роль термостата.

⁴ Математика.