

Краевой конкурс учебно-исследовательских и проектных работ учащихся
«Прикладные вопросы математики»

Прикладные вопросы математики

Описание явлений поверхностного натяжения

Кононенко Алена,
МОУ «Лицей №1» г. Перми, 11 кл.
Имакаев Виктор Раульевич,
д.ф.н., профессор

Цель

Цель данной работы заключается в получении и сравнении формулы колебания плоского предмета, находящегося в слое поверхностно-активного вещества, с данными, получившимися в ходе экспериментов.

Так же планируется узнать экспериментально, от каких параметров зависит период колебания и рассчитать радиус кривизны мыльной пленочки.

Этапы эксперимента

- 1.Создание условий для эксперимента(подбор мыльного раствора, рамки, грузика, выбора места для эксперимента)
- 2.Нахождение коэффициента поверхностного натяжения.
- 3.Нахождение периода колебаний.
- 4.Сравнение экспериментальных данных с данными, полученными теоретически.
- 5.Расчет погрешности.
- 6.Изменение некоторых параметров и нахождение соответствующих колебаний.
- 7.Нахождение толщины пленочки.
- 8.Нахождение радиуса кривизны пленочки.

Применение поверхностно-активных веществ

Поверхностно-активные вещества (ПАВ)— химические соединения, которые, концентрируясь на поверхности раздела фаз, вызывают снижение поверхностного натяжения.

Типичные ПАВ. - органические соединения дифильного строения, т. е. содержащие в молекуле атомные группы, сильно различающиеся по интенсивности взаимодействия с окружающей средой (в наиболее практически важном случае - водой). Так, в молекулах ПАВ. имеются один или несколько углеводородных радикалов, составляющих олео-, или липофильную, часть (она же - гидрофобная часть молекулы), и одна или несколько полярных групп - гидрофильная. Слабо взаимодействующие с водой олеофильные (гидрофобные) группы определяют стремление молекулы к переходу из водной (полярной) среды в углеводородную (неполярную). Гидрофильные группы, наоборот, удерживают молекулу в полярной среде или, если молекула ПАВ. находится в углеводородной жидкости, определяют её стремление к переходу в полярную среду. То есть поверхностная активность ПАВ растворённых в неполярных жидкостях, обусловлена гидрофильными группами, а растворённых в воде - гидрофобными радикалами.

Моющие средства. Основное применение ПАВ— в качестве активного компонента моющих и чистящих средств-мыла для ухода за помещениями, посудой, одеждой, вещами, автомобилями и пр.

Косметика. Основное использование ПАВ в косметике — шампуни, где содержание ПАВ может достигать десятков процентов от общего объёма. Также ПАВ используются в небольших количествах в зубной пасте, лосьонах, тониках и других продуктах.

Текстильная промышленность. ПАВ используются в основном для снятия статического электричества на волокнах синтетической ткани.

Кожевенная промышленность. Защита кожаных изделий от лёгких повреждений и слипания.

Лакокрасочная промышленность. ПАВ используются для снижения поверхностного натяжения, что обеспечивает лёгкое проникновение красочного материала в маленькие углубления на обрабатываемой поверхности и их заполнение с вытеснением при этом оттуда другого вещества (например, воды).

Бумажная промышленность. ПАВ используются для разделения чернил и варёной целлюлозы при переработке использованной бумаги. Молекулы

ПАВ адсорбируются на пигменте чернил. Пигмент становится гидрофобным. Далее воздух пропускается через раствор пигмента и целлюлозы. Пузырьки воздуха адсорбируются на гидрофобной части ПАВ и частички пигмента чернил всплывают на поверхность.

Металлургия. Эмульсии ПАВ используются для смазки прокатных станов. Снижают трение. Выдерживают высокие температуры, при которых стораает масло.

Защита растений. ПАВ широко используются в агрономии и сельском хозяйстве для образования эмульсий. Используются для повышения эффективности транспортировки питательных компонентов к растениям через мембранные стенки.

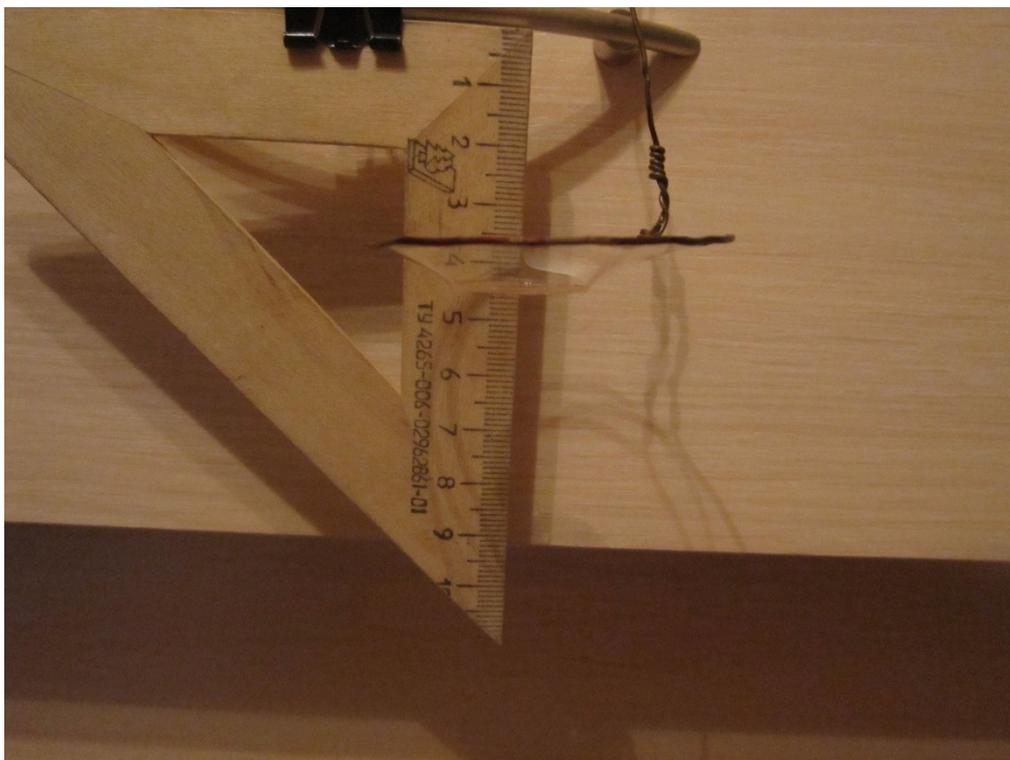
Пищевая промышленность. ПАВ применяется в мороженом, шоколаде, взбитых сливках и соусах для салатов и других блюд.

Нефтедобыча. ПАВ применяются для гидрофобизации призабойной зоны пласта (ПЗП) с целью увеличения нефтеотдачи.

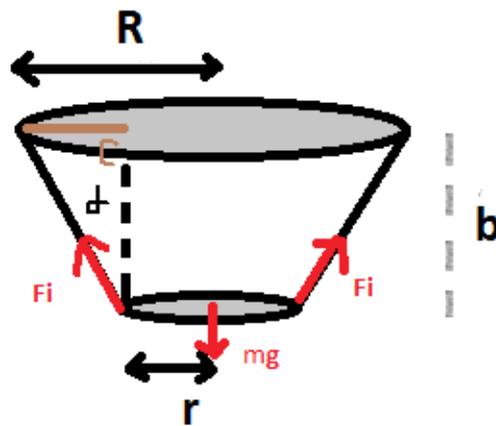
Медицина. Катионные и анионные ПАВ применяют в хирургии в качестве антисептиков. Например, четвертичные аммониевые соединения приблизительно в 300 раз эффективнее фенола по губительному действию в отношении микроорганизмов. Антимикробное действие ПАВ связывают с их влиянием на проницаемость клеточных мембран, а также ингибирующим действием на ферментативные системы микроорганизмов. Неионогенные ПАВ практически не обладают противомикробным действием.

В нашей работе мы хотим исследовать некоторые свойства ПАВ, которые ранее мало были изучены. Возможно, в будущем, это будет очень полезным, так как выше показан большой спектр применения, и ПАВ продолжит внедряться в различные области все дальше.

Общие сведения об эксперименте



Имеется кольцо из проволоки. При опускании этого кольца в поверхностно-активное вещество на нем остается пленочка из мыльного раствора. На эту пленочку можно положить грузик. Происходит это за счет сил поверхностного натяжения. Зная некоторые параметры, можно найти коэффициент поверхностного натяжения.



Известно:

R -радиус рамки из проволоки

r -радиус плоского грузика

m -масса плоского грузика

b -высота провиса

$$F_{\square} = \sum_{i=1}^n F_i = 2\pi r \sigma$$

$$F_p = ma$$

Так как система находится в положении равновесия, то

$$F_p = 0$$

$$mg + F_{\square} = 0$$

У мыльной пленки 2 крайних слоя, следовательно, силы натяжения будет две. А так как толщиной пленки мы пренебрегаем, то эти две силы считаем равными.

Записываем 2 закон Ньютона для грузика

$$X: \quad mg - 4\pi r \sigma \cos \alpha$$

$$\sigma = mg / 4\pi r \cos \alpha$$

$$c=R-r$$

$$\cos\alpha = \frac{b}{\sqrt{b^2+c^2}}$$

$$F = \frac{mgb^2+c^2}{4\pi r b}$$

$$F = \frac{mgb^2+(R-r)^2}{4\pi r b}$$

Данные по опытам:

$$R=(2.55\pm 0.05)\text{см}$$

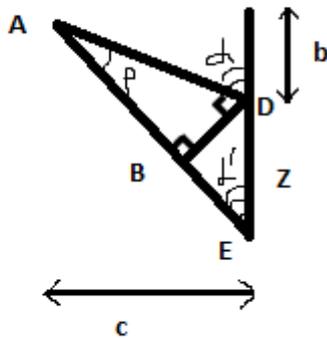
$$r=(1\pm 0.05)\text{см}$$

$$b=(1.1\pm 0.05)\text{см}$$

$m=0.35$ г (большая погрешность)

$$F = \frac{(0.00035 \cdot 10 \cdot \sqrt{0.011^2 + (0.0255 - 0.01)^2})}{(4 \cdot 3.14 \cdot 0.01 \cdot 0.011)} = (0.048 \pm 0.1) \text{ Н/м}$$

Теперь можно определить период колебаний грузика в мыльной пленке.



$$mz = mg - 2F \cos\alpha_0$$

$$mz = mg - 2 \frac{mgb^2+c^2}{4\pi r b} \frac{b}{\sqrt{b^2+c^2}}$$

$$mg = 4\pi r F \cos\alpha$$

$$mz = 4\pi r F \cos\alpha - 2F \frac{b}{\sqrt{b^2+c^2}}$$

$$mz = 4\pi r F (\cos\alpha - \cos\alpha_0)$$

$$mz = -8\pi r \sin\alpha + \alpha^2 \sin\alpha - \alpha^2$$

Можно считать, что $\alpha \approx \alpha_0$ а $\varphi = \alpha - \alpha_0^2$

$$mz = -8\pi r \sin\alpha \sin\varphi$$

Мы считаем колебания малыми, угол φ бесконечно мал по сравнению с углом α , следовательно углы ABD и ADB стремятся к 90 градусам.

$$\sin\varphi b^2 + c^2 = z \sin\alpha$$

$$mz = -F \sin\alpha \times \sin\alpha (b^2 + c^2) = -2F \sin^2\alpha (b^2 + c^2) z$$

$$T = 2\pi (b^2 + c^2) m^2 F \sin\alpha$$

$$\sin\alpha = \frac{mg(b^2 + c^2)}{4\pi r b}$$

$$F \sin\alpha = 2\pi r \sin\alpha$$

$$T = 2\pi b g \sin\alpha$$

$$\sin\alpha = 1 - \cos^2\alpha = 1 - \frac{b^2}{b^2 + c^2} = \frac{c^2}{b^2 + c^2}$$

$$T = 2\pi b \frac{c^2}{b^2 + c^2} g$$

$$c = R - r$$

$$T = 2\pi b g \left(1 + \frac{b^2}{(R-r)^2}\right)$$

$$T = 2 * 3.140.01110 (1 + 0.01120.0255 - 0.012) = 0.25c$$

Описание

Взят обычный раствор из мыльных пузырей, сначала был добавлен глицерин(в пропорции мыльный раствор:глицерин-2:1),так как предполагалось, что сила поверхностного натяжения будет больше, в дальнейшем опыты проводились без добавления глицерина. Этот раствор налит в емкость, которую удобно подносить к рамке.

Простую проволоку сначала выпрямили плоскогубцами, а потом сформировали из нее окружность так, чтоб один конец проволоки был длиннее и за него можно было держать или вешать рамку.

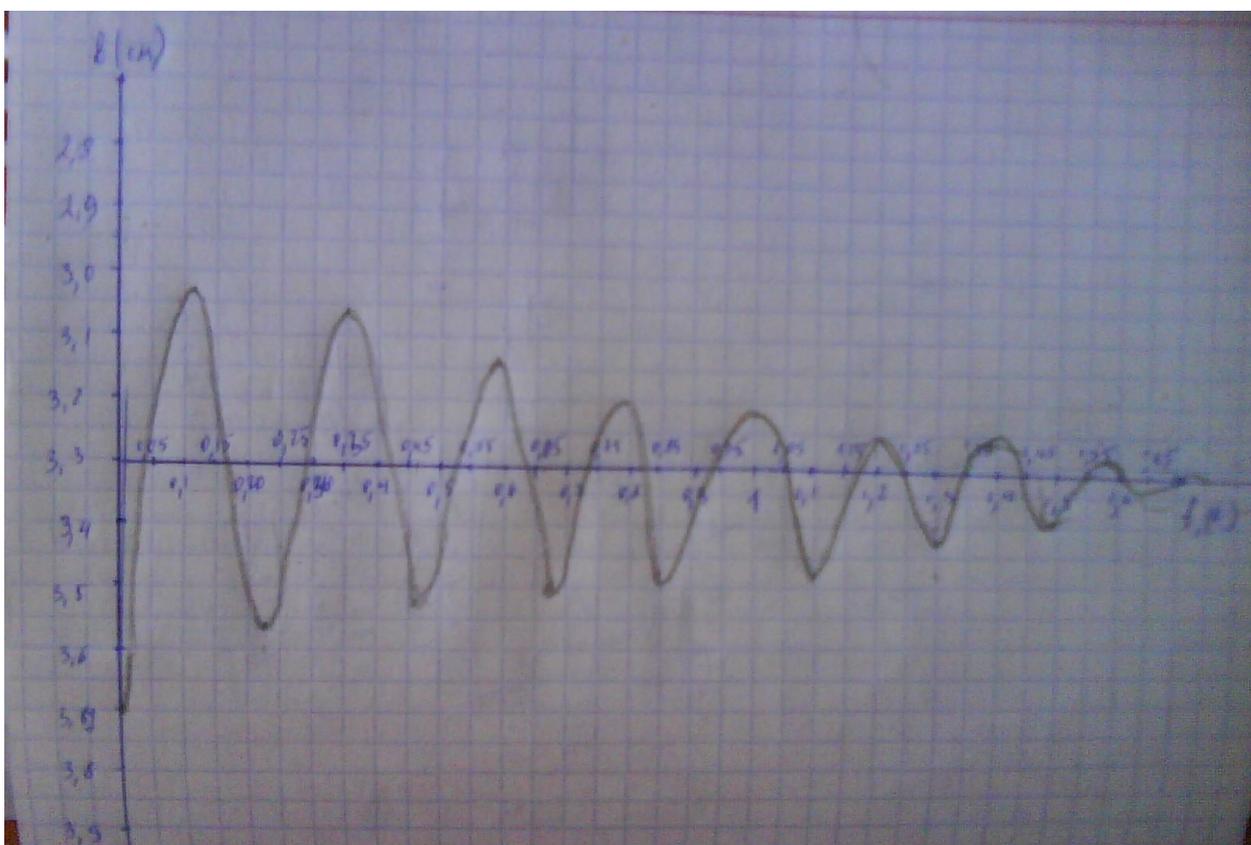
Сложность в выборе грузика заключается в том, чтобы подобрать оптимальный вес (если он будет мал, то провис будет мал или вообще отсутствовать. Если вес будет большой, то пленочка порвется). Так же важно, чтоб грузик был плоской формы и имел не острые края. Сначала были сделаны опыты с кружками, вырезанными из картона, но картон со временем промокал в растворе и его масса становилась больше. Был сделан кружок из пластмассы, а его края его подточены, чтобы края его были гладкие. Грузик был не достаточно тяжел и пришлось увеличить его массу (тонкий слой пластилина сверху). Массу грузика измерили с помощью рычажных весов. Они сделаны из проволоки, противовесом грузику стала однокопеечная монета, вес которой 1,6 грамм.

Когда приступаешь к самому опыту, нужно создать благоприятные условия для него: все хорошо закрепить, чтобы в дальнейшем удобно работать с инвентарем. Сначала вся конструкция была привешена на ручку окна, но чтобы измерить высоту провиса и период не хватало линейки, которую некуда было повесить. Так конструкция переместилась на часть от отдвижного шкафа. Линейку с помощью прищепки подвесили на ручку, а рамку, на конце имеющую форму крючка, подвесили на верхний край шкафа. Чтобы на рамке появилась пленочка, нужно поднести емкость с раствором к рамке. Соприкосаться грузик с пленкой нужно очень аккуратно. Сначала грузик просто ложился сверху, но края рвали пленку. Потом грузик вводился сбоку, но и тут одна крайняя часть грузика сильно проседала, пока другой край находился на рамке, в следствие чего пленка тоже рвалась. Оптимальным вариантом было подводить грузик снизу. Когда грузик уже прилепился к пленочке, он не отлипает от пальца, но если его поддеть ногтем, он спокойно отлипает. Также ногтем удобно выводить систему из состояния равновесия.

Когда все устойчиво закреплено можно начинать находить коэффициент поверхностного натяжения и период колебаний.

Опыты снимались 2 цифровыми фотоаппаратами. Когда видео с колебаниями грузика были доступны для просмотра на компьютере, можно было замедлить съемку. Было посчитано, что одна секунда замедленного видео равна 8 реальным секундам. Следовательно, можно посчитать период таким образом: запустили секундомер, когда начались колебания на видео, посчитали время некоторого количества колебаний, это время поделили на количество колебаний и на 8.

По показаниям замедленного видео можно построить график колебаний и увидеть их характер.



Цена деления: 0.1 см, 0.05 с

Возьмем время 7 колебаний и поделим на 7

$$T = 1.48 / 7 = 0.211 \text{ (с)}$$

$$\text{С погрешностью: } T = (1.48 \pm 0.05) / 7 = (0.211 \pm 0.075) \text{ с}$$

Сделав несколько подсчетов периода, можно узнать средний период колебаний

№	T	T-T _{cp}
1	0.193	0.02
2	0.231	-0.018
3	0.224	-0.011
4	0.198	0.015
5	0.206	0.007
6	0.227	-0.014

T_{cp}=0.213 ε=0.014

T=(0.213±0.014)c

Итог

Мы смогли экспериментально подтвердить теоретические выводы формул для периода колебаний некоторого груза в слое поверхностно-активного вещества. Результаты эксперимента и теоретического вывода точно не сходятся, но очень похожи. Причиной этого могут служить несколько факторов: во-первых, человек на глаз не может сделать точных вычислений, во-вторых, у самих вычислительных приборов есть своя погрешность. Погрешность была в вычислении радиусов рамки и грузика, высоты прогиба, массы грузика, при наблюдении колебаний грузика была погрешность в измерениях. Малейшее дрожание рамки могло повлиять на результат.