

**Автономная некоммерческая общеобразовательная
организация "Физтех-лицей"
(АНОО «Физтех-лицей» им. П.Л. Капицы)**

XX научно-практическая конференция

«Старт в инновации»

**Исследование влияния различных параметров на
проявление Cheerios effect**

Выполнили:
Харанжевский Н. 10А
Руководитель:
Харанжевский Е.В.

Московская область, г. Долгопрудный

2021 г.

ВВЕДЕНИЕ

При наблюдении за хлопьями, плавающими по поверхности молока в тарелке, был обнаружен необычный эффект: одни прилипали друг к другу, другие - к тарелке. Данный эффект связан с явлением поверхностного натяжения, и называется Cheerios эффект.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Хоть и явление поверхностного натяжения уже давно известно, но связанные с ним явления были открыты совсем недавно, поэтому существует очень мало технологий, основанных на этом явлении. Тем не менее, есть много способов их применения. Например, небольшие роботы, которые, как водомерки, могут перемещаться по воде и собирать разлитые в водоем вредные вещества, брать образцы воды, наблюдать за водной поверхностью и т.д..



ГИПОТЕЗА

Существуют параметры, которые влияют на данное явление.

ЦЕЛЬ

Целью исследования является изучение влияния различных факторов на проявления этого эффекта (зависимость от свойств жидкости и плавающего в ней твердого тела)

ЗАДАЧИ

Таким образом, мы должны:

1. Изучить уже существующие материалы и статьи по этому эффекту
2. На основании их сделать предположения о поведении объектов эксперимента
3. Проверить предположения на опыте

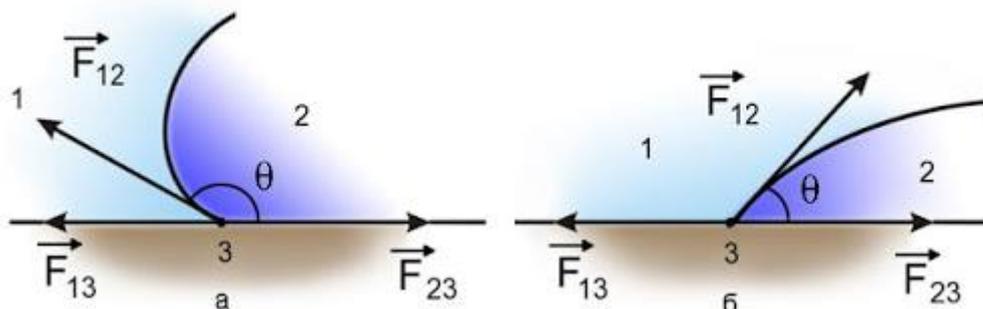
ПРИРОДА ЯВЛЕНИЯ

Поверхностное натяжение — это явление, при котором силы притяжения между молекулами на поверхности жидкости удерживают их от движения за ее пределы.

На молекулу, находящуюся в глубине жидкости, действуют силы притяжения со стороны других молекул, и они уравнивают друг друга. А на молекулу, находящуюся в поверхностном слое жидкости, действуют силы притяжения как со стороны других молекул

жидкости, так и со стороны газа. Вторые силы значительно меньше первых. Равнодействующая сила притяжения направлена внутрь жидкости, из-за чего удерживаются молекулы на ее поверхности.

Сила поверхностного натяжения — это сила, действующая на границу раздела 2 сред, направленная по касательной к поверхности раздела фаз, в направлении сокращения площади поверхности.



\vec{F}_{12} - сила, действующая на границу раздела жидкости и газа
 \vec{F}_{23} - сила, действующая на границу раздела жидкости и твердого тела
 \vec{F}_{13} - сила, действующая на границу раздела твердого тела и газа
 θ - угол смачивания

Экспериментально было установлено, что сила поверхностного натяжения пропорциональна длине L контура, ограничивающего поверхность соприкосновения жидкости с одной из фаз.

$$F = \sigma l$$

Чтобы капля покоилась, сумма сил должна быть равна 0:

$$\vec{F}_{12} + \vec{F}_{23} + \vec{F}_{13} = 0$$

$$F_{12} \cos(\theta) + F_{23} - F_{13} = 0$$

$$\sigma_{12} \cos(\theta) + \sigma_{23} = \sigma_{13}$$

В зависимости от значения угла смачивания различают разные типы **смачивания**:

1. $\theta < \frac{\pi}{2}$, ограниченное смачивание поверхности твердого тела жидкостью (как в случае, изображенном на Рис. а, жидкость растекается по поверхности твердого тела до наступления динамического равновесия сил);
2. $\sigma_{13} > \sigma_{12} + \sigma_{23}$ - равновесие капли невозможно, краевой угол не устанавливается и жидкость растекается по поверхности твердого тела, покрывая ее тонкой пленкой, это явление называется полным смачиванием (растеканием);

3. $\theta > \frac{\pi}{2}$, жидкость не смачивает поверхность твердого тела;

4. $\theta \approx \pi$, полное несмачивание.

При увеличении поверхности площади поверхности жидкости некоторое число молекул из объема жидкости должно быть поднято в поверхностный слой. Для этого внешние силы должны совершить работу против сил сцепления молекул жидкости.

$$\partial A = \sigma dS$$

$$A = \sigma S$$

Это значит, что поверхность раздела 2 фаз обладает свободной энергией $A = \sigma S$. Любая система стремится к минимуму затрачиваемой энергии, а значит и площадь поверхности жидкости стремится к минимальному значению.

Таким образом, у нас есть 4 типа плавающих объектов:

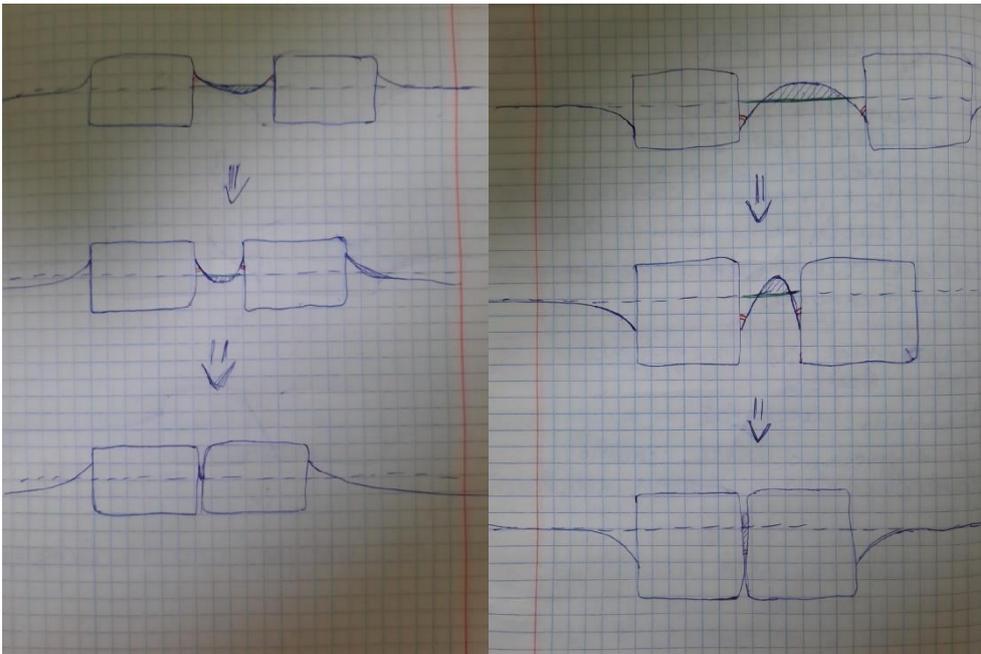
1. Плавает и смачивается (мюсли, дерево, ...)
Угол < 90 , т.е. образуется “горка”
2. Плавает и не смачивается (парафин)
Угол > 90 , т.е. образуется “ямка”
3. Тонет, но смачивается (скрепки, мел, некоторые металлы)
Плотность тела больше плотности воды, значит, сила поверхностного натяжения должна иметь положительную вертикальную проекцию, т.е. угол > 90 , и тело находится в “ямке”
4. Тонет, но не смачивается (покрытые парафином металлы)
Как и не смачивающийся парафин, такое тело должно находиться в “ямке”, но его плотность не должна быть сильно больше плотности воды, т.к. вертикальная проекция силы поверхностного натяжения сильно ограничена.

Объекты поделились на 2 группы: образующие “горку” и “ямку”.

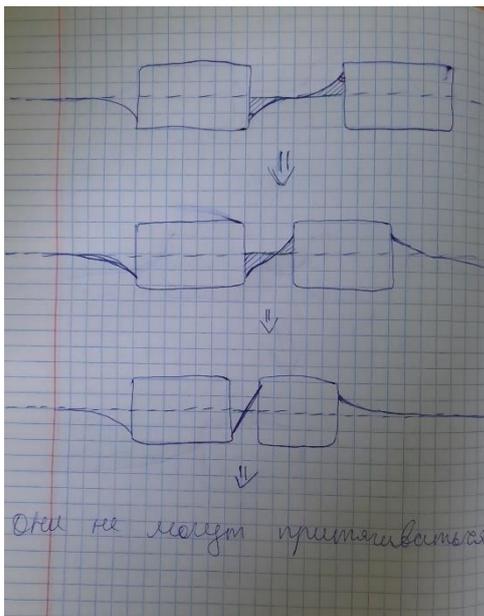
Как мы выяснили, поверхность жидкости стремится занять наименьшую площадь. Теперь попробуем предсказать поведение 2 тел из одной и разных групп.

При сближении тел одной группы площадь поверхности воды между ними будет постепенно снижаться, и при контакте будет примерно равна 0, значит тела из одной группы будут друг к другу притягиваться.

Стеклянные или фарфоровые тарелки тоже смачиваются водой, и образуют “горку”. Поэтому легкие и смачивающиеся хлопья притягиваются друг к другу и к краям тарелки.



При сближении тел разных групп, площадь поверхности жидкости будет постоянно увеличиваться со сближением тел. Это энергетически невыгодно системе тел тарелка - вода - тело, а значит это происходить не будет, т.е. они будут, наоборот отталкиваться. Поэтому тела, образующие ямку, отталкиваются от краев тарелки.



Все это подтверждается опытом, представленном на фото ниже.



Стоит отметить, что искривление поверхности жидкости практически незаметно невооруженным взглядом, поэтому большинство фотографий были сделаны в затемненном помещении с помощью светового поляризатора. из-за этого фотографии имеют блики и имеют плохое качество.

Видеозаписи экспериментов находятся в отдельном файле.

Поверхностное натяжение — это характеристика двух тел, а значит, зависит и от свойств жидкости. Проследим за изменяемыми параметрами жидкости - плотность и температура. Проведем 2 эксперимента:

1. В кастрюлю нальем воду при комнатной температуре. На поверхность жидкости положим тело, которое держится на воде за счет сил поверхностного натяжения (скрепку). Постепенно будем нагревать воду в кастрюле. Заметим, что при температуре, близкой к температуре кипения, скрепка тонет. Это значит, что сила поверхностного натяжения уменьшается с повышением температуры, значит, уменьшается и коэффициент поверхностного натяжения.

$$\sigma(t)' \neq 0$$

2. В кастрюлю нальем воду при комнатной температуре. На поверхность жидкости положим тело, которое держится на воде за счет сил поверхностного натяжения (скрепку). Будем постепенно добавлять мыло, пока скрепка не утонет. Поэтому сила, а значит, и коэффициент поверхностного натяжения, зависит от наличия примесей.

$$\sigma(\rho)' \neq 0$$

Два тела, находящиеся на поверхности, либо притягиваются, либо отталкиваются, значит, на них действует какая-то сила. Чтобы ее измерить, достаточно знать массу тел, расстояние, на котором они начинают притягиваться, и время взаимодействия:

$$F = ma ; l = \frac{at^2}{2} \Rightarrow a = \frac{2l}{t^2}$$

$$F = \frac{2ml}{t^2} = 2m \cdot \frac{l}{t^2}$$

Для опыта возьмем 2 практически одинаковых кусочка парафина. взвесим их на сверхточных весах. $2m = (1 \pm 0,5) \text{ г}$

$\frac{l}{t^2}$

Величину $\frac{l}{t^2}$ нельзя найти с помощью графика, поэтому мы составим таблицу результатов опытов, и найдем среднее значение.

Для нахождения одновременно и расстояния, на котором они начинают притягиваться, и времени взаимодействия, нужно записать видео эксперимента. Чтобы найти реальное расстояние, нужно иметь в кадре эталон длины (линейку). тогда с помощью масштаба реальное расстояние/расстояние на экране можно найти длину L. Чтобы найти время. Таблица соотношения расстояние / время:

Номер эксперимента	Расстояние l , см	Время t , с	$\frac{l}{t^2}$, см/с ²
1	1,67	0,8	2,61
2	1,625	0,75	2,89
3	1,8	1,3	1,1
4	1,7	1,4	0,87
5	1,5	1,55	0,63
6	1,6	1,2	1,12

Погрешность измерения длины равна погрешности линейки, т.е. 0,5 см.

Погрешность измерения времени равна удвоенной цене деления видеоредактора, т.е. 0,2 с.

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$$

$$0,5/1,65 + 0,2/1,167 = 0,5$$

$$\frac{l}{t^2} = (1,54 \pm 0,77) \cdot \frac{\text{см}}{\text{с}^2}$$

$$F = 2m \cdot \frac{l}{t^2} = 1g \cdot 1,54 \cdot \frac{\text{см}}{\text{с}^2} = 10^{-3} \text{ кг} \cdot 1,54 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 1,54 \cdot 10^{-5} \text{ Н}$$

$$\varepsilon = \frac{0,25}{0,5} + 0,5 = \frac{2}{2} = 1$$

$$F = (1,54 \cdot 10^{-5} \pm 1,54 \cdot 10^{-5}) \text{ Н}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании уже существующих исследований явления поверхностного натяжения и конкретно Cheerios эффекта были выдвинуты гипотезы о поведении тел и проявлении эффекта в зависимости от разных параметров. Все гипотезы были проверены качественными опытами, а также было подсчитана сила взаимодействия двух плавающих кусков парафина.

Выявленные зависимости могут помочь при конструировании аппаратов, использующих этот эффект.

ДАЛЬНЕЙШАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Планы моей дальнейшей работы — это построить теоретическую модель данного эффекта, поставить эксперименты с другими жидкостями, такими как масло. Качественные эксперименты заменить количественными и выявить зависимости коэффициента поверхностного натяжения от внешних факторов.

Список используемой литературы:

[1] Vella, Dominic, and L. Mahadevan. “The “Cheerios effect”, 2008

[2] Изучение явления поверхностного натяжения, 2011
<http://genphys.phys.msu.ru/rus/lab/mol/Lab204.pdf>

[3] Сивухин Д. В. Термодинамика и молекулярная физика. — 5-е изд., испр. — М.: Физматлит, 2005