

Поверхностное натяжение методом отрыва кольца (метод Дю Нуи)



Физика

Механика

Механика жидкостей и газов

Прикладные науки

Инженерные
специальности

Прикладная механика

Гидродинамика и
аэродинамика

Уровень сложности

средний



Кол-во учеников

2



Время подготовки

45+ Минут



Время выполнения

45+ Минут

This content can also be found online at:

<http://localhost:1337/c/5f6b00e375b05a00031eb165>

PHYWE

Общая информация



Описание

PHYWE



Лобовое стекло автомобиля

Поверхностное напряжение рассматривается во многих природных явлениях и областях техники, связанных с водой. Например:

- водомерки умеют перемещаться по поверхности воды,
- капли воды прикрепляются к листьям растений;
- для автомобильных стекол используются специальные гидрофобные покрытия для улучшения видимости в дождливые дни. Данные покрытия стекол должны быть спроектированы так, чтобы не запотевали стекла и вода могла с них быстро стекать

Дополнительная информация (1/2)

PHYWE

предварительные знания



На границе раздела жидкость-воздух молекулы жидкости взаимодействуют с другими молекулами жидкости только с одной стороны. На молекулы внутри жидкости силы притяжения других молекул действуют со всех сторон и поэтому взаимно уравнивают друг друга. Следовательно, результирующая сила будет равна нулю. Молекулы же на поверхности жидкости не имеют соседей снаружи, и результирующая сила притяжения направлена внутрь жидкости. В итоге вся поверхность воды стремится стянуться под воздействием этих сил.

Научный принцип



Для определения поверхностного натяжения в жидкость погружают кольцо, которое крепится с помощью шелковой нити к торсионному динамометру. В момент подъема кольца из жидкости, уровень жидкости понижается, и измеряется сила, действующая на кольцо непосредственно перед разрывом пленки жидкости. Поверхностное натяжение можно рассчитать по диаметру кольца и силе отрыва.

Дополнительная информация (2/2)

PHYWE

Цель обучения



Учащиеся должны исследовать влияние температуры жидкости и концентрации жидкости на ее поверхностное натяжение.

Задачи



1. Определите поверхностное натяжение оливкового масла в зависимости от температуры.
2. Определите поверхностное натяжение смесей воды/этанола в зависимости от соотношения вода/этанол.

Инструкции по технике безопасности

PHYWE

Для этого эксперимента применяются общие инструкции по безопасному проведению экспериментов при преподавании естественных наук.

Надевайте защитные перчатки, чтобы защитить руки от нагретых жидкостей.

Теория (1/4)

PHYWE

На молекулу внутри жидкости действуют силы со стороны всех окружающих ее молекул; результирующая сила которых равна нулю. Результирующая сила, действующая на молекулу в пограничном слое на поверхности жидкости, не равна нулю и направлена внутрь жидкости. Это действие или свойство взаимного притяжения одинаковых молекул называется когезией. Именно эта сила удерживает молекулы жидкости вместе.

Каждая жидкость стремится уменьшить площадь своей поверхности, чтобы поверхностная энергия была как можно меньше. Именно поэтому, когда никакие другие силы не действуют, каждая жидкость принимает сферическую форму, поскольку для данного объема эта форма с наименьшей площадью поверхности. Чтобы увеличить поверхность жидкости на единицу площади ΔA необходимо выполнить определенную работу ΔE : $\epsilon = \frac{\Delta E}{\Delta A}$ (1)

где ϵ - удельная поверхностная энергия. Она совпадает с коэффициентом поверхностного натяжения:

$$\gamma = \frac{F}{l} \quad (2)$$

Теория (2/4)

PHYWE

где сила F действует вдоль кромки длины l , касательной к поверхности, чтобы удерживать пленку жидкости.

Когда используется кольцо радиуса r , длина кромки равна

$$l = 2 \cdot 2\pi r \quad (3)$$

При сравнении коэффициентов поверхностного натяжения следует рассматривать поверхности, на которых находится 1 моль молекул. 1 моль занимает объём V_m и состоит из N_0 молекул, каждая из которых занимает пространство равное V_m/N_0 .

Считая этот объем кубической формы, длина каждой стороны которой равна $(V_m/N_0)^{1/3}$, а площадь грани - $(V_m/N_0)^{2/3}$. Таким образом, получаем, что в объеме $V_m^{2/3}$ находится всегда одно и то же количество молекул $N_0^{2/3}$.

Теория (3/4)

PHYWE

Следовательно, поверхностное натяжение связано с этой поверхностью, и эта величина называется молярным поверхностным натяжением γ_m .

$$\gamma_m = \gamma \cdot V_m^{2/3} \quad (4)$$

Когда жидкость нагревается, кинетическая энергия молекул увеличивается. Это приводит к ослаблению сил когезии. Поверхностное натяжение линейно уменьшается и для всех жидкостей достигает значения 0 при критической температуре. T_K .

$$\gamma_m = k_\gamma (T'_K - T) \quad (5)$$

где T'_K - температура, близкая к критической T_K , а k_γ - температурный коэффициент, одинаковый почти для всех жидкостей (уравнение Этвеша): $k_\gamma = 2.1 \cdot 10^{-7} \text{ Дж/К}$

Теория (4/4)

PHYWE

Отклонения указывают на ассоциацию или образование двойных молекул. При расчете температурного коэффициента предполагается, что одно и то же количество молекул $N_0^{2/3}$ содержится в объеме $V_m^{2/3}$. Для веществ, которые связываются, это число меньше, поэтому температурный коэффициент также должен быть меньше.

При смешивании двух жидкостей, жидкость с более низким поверхностным натяжением обогащается по площади поверхности. Поверхностное натяжение γ_m раствора с концентрацией c определяется из уравнения Шишковского:

$$\gamma_0 - \gamma_c = \alpha \ln(1 + bc),$$

где α и b - константы, зависящие от вещества.

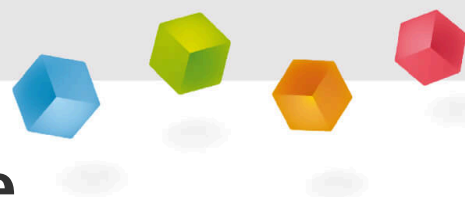
Поверхностное натяжение таких смесей имеет нелинейную зависимость от соотношения компонентов смеси.

Оборудование

Позиция	Материал	Пункт No.	Количество
1	Магнитная мешалка MR Hei-Тес, с нагревателем	35752-93	1
2	Торсионный динамометр, 0,01 Н	02416-00	1
3	Кольцо для определения поверхностного натяжения	17547-00	1
4	Подставка для штатива Бунзена, 210x130 мм, h=750 мм	37694-00	1
5	Штативный стержень, нерж. ст., l=500 мм, резьба M10.	02022-20	1
6	Магнитная мешалка, цилиндрическая, 30 мм	46299-02	1
7	Универсальный зажим	37715-01	2
8	Прямоугольный зажим	37697-00	2
9	Прямоугольный зажим	02054-00	1
10	Кристаллизационная чашка, 150 mm	46245-00	2
11	Кристаллизационная чашка, 125 mm	46244-00	2
12	нить	02412-00	1
13	Стеклянные трубки, прямые, d=8 мм, l=150 мм, 10 шт.	36701-64	1
14	Запорный кран, 1- ходовой, прямой, стеклян.	36705-00	1
15	Силиконовые трубки, внутренний d=7 мм	39296-00	2
16	Мерная пипетка, 10 мл	36578-00	1
17	Мерная пипетка, 20 мл	36579-00	1
18	Шаровая пипетка	36592-00	1
19	Лоток для пипеток	36589-00	1
20	Мерный цилиндр, 100 мл	36629-00	1
21	Этиловый спирт, абсолютный, 500 мл	30008-50	1
22	Оливковое масло, чистое, 100 мл	30177-10	5
23	Вода, дистиллирован., 5 л	31246-81	1

PHYWE

Подготовка и выполнение работы



Подготовка

PHYWE



Экспериментальная установка

Обезжирьте измерительное кольцо спиртом, промойте его дистиллированной водой и высушите.

С помощью шелковой нити прикрепите кольцо к левому рычагу торсионного динамометра.

Установите индикатор на «0» и компенсируйте вес кольца с помощью задней регулировочной ручки так, чтобы плечо рычага находилось в белой области между отметками.

Выполнение работы (1/3)

PHYWE

Задача 1:

Налейте исследуемую жидкость в кристаллизатор емкостью 1000 мл, а с помощью пипетки заполните этой жидкостью иммерсионную трубку и силиконовую трубку. Кольцо должно быть полностью погружено в воду.

Включите магнитную мешалку и настройте электронный регулятор температуры на заданную температуру. Когда температура стабилизируется, выключите мешалку и дайте жидкости остыть.

Затем откройте запорный кран, который соединен с иммерсионной трубкой через силиконовую трубку, и дайте жидкости медленно вытечь из кристаллизатора объемом 1000 мл в меньшую емкость. Постоянно регулируйте торсионный динамометр, пока жидкость вытекает, чтобы плечо рычага оставалось в белой области между двумя отметками.

Остановите измерение в момент, когда пленка жидкости оторвется от кольца, и считайте последнее значение, установленное на торсионном динамометре. Вылейте жидкость, собранную в небольшом кристаллизаторе, обратно в кристаллизатор на магнитной мешалке и повторите описанную выше процедуру с интервалами 5 ° C в диапазоне температур от 20 ° C до 130 ° C.

Выполнение работы (2/3)

PHYWE

Задача 2:

Для определения поверхностного натяжения различных соотношений этанол-вода, повторите предыдущую процедуру без нагревания, используя следующие соотношения концентраций:

Этанол,мл	Вода,мл	Этанол / %
90	-	100
90	10	90
90	20	81.8
90	50	64.3
90	70	56.3
90	90	50

концентрация этанола

Выполнение работы (3/3)

Задача 2:

Проведите дополнительную серию экспериментов, как описано выше, но начните с чистой воды:

Вода,мл	Этанол,мл	Этанол / %
90	-	0
90	10	10
90	20	18.2
90	50	35.7
90	70	43.7
90	90	50

концентрация этанола

Выполнение работы (3/3)

PHYWE

Задача 2:

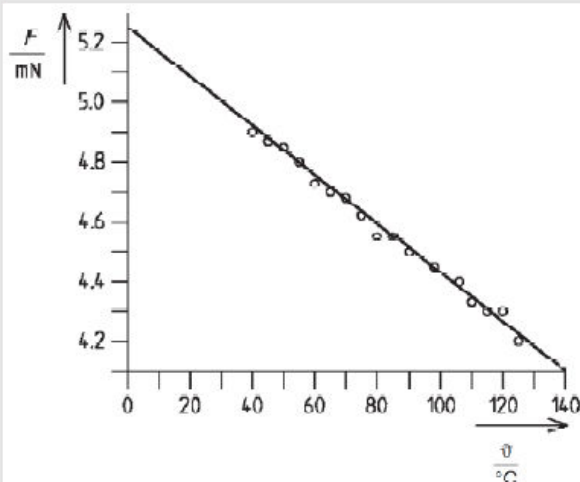
Проведите дополнительную серию экспериментов, как описано выше, но начните с чистой воды:

Вода,мл	Этанол,мл	Этанол / %
90	-	0
90	10	10
90	20	18.2
90	50	35.7
90	70	43.7
90	90	50

концентрация этанола

Оценка (1/4)

PHYWE



Зависимость поверхностного натяжения
оливкового масла от температуры

Диаметр измерительного кольца, используемого в данном примере, составляет $2r = 19.65 \text{ мм}$ из уравнения 3, получаем: $l = 122.90 \text{ мм}$

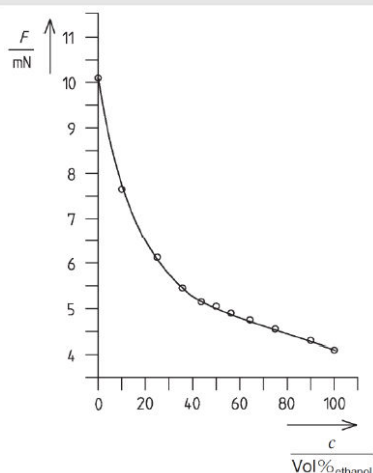
Задача 1:

Полученные результаты измерений для оливкового масла показывают обратную линейную зависимость от температуры. Поверхностное натяжение оливкового масла, рассчитанное по уравнениям (2) и (3), равно:

$$\gamma_{\text{ол.масло}} = 40 \frac{\text{мН}}{\text{м}}$$

Оценка (2/4)

PHYWE



Поверхностное натяжение смеси вода-этанол в
зависимости от концентрации этанола

Задача 2:

Показана нелинейная зависимость между поверхностным натяжением и соотношением компонентов смеси в случае смесей вода / этанол.

табличные значения поверхностного натяжения этанола и воды при (25 °C):

$$\gamma_{\text{вода}} = 72.8 \frac{\text{мН}}{\text{м}} \quad \text{и} \quad \gamma_{\text{этанол}} = 21.97 \frac{\text{мН}}{\text{м}}$$

Экспериментальные значения (рассчитанные из (2) и (3)):

$$\gamma_{\text{вода}} = 82.0 \frac{\text{мН}}{\text{м}} \quad \text{и} \quad \gamma_{\text{этанол}} = 33 \frac{\text{мН}}{\text{м}}$$

Оценка (3/4)

PHYWE

Что из следующего является причиной поверхностного натяжения?

☐ Силы когезии☐ Адиабатический процесс☐ Силы адгезии☒ Проверить

При критической температуре поверхностное натяжение жидкости равно

☐ бесконечность☐ максимум☐ ноль☒ Проверить

Оценка (4/4)

PHYWE

Поверхностное натяжение жидкости зависит от

☐ Площади поверхности жидкости☐ Примесей, присутствующих в жидкостях☐ Температуры жидкости☒ Проверить

Капля воды