

Определение поверхностного натяжения методом отрыва кольца (метод дю Нуи) (Item No.: P2140500)

Актуальность учебной программы



Сложность



Средняя

Время подготовки



1 час

Время выполнения



1 час

Рекомендуемый размер группы



2 студента

Дополнительно требуется:
Варианты эксперимента:

Ключевые слова:

Поверхностная энергия, адгезия, поверхностное натяжение, критическая точка, уравнение Этвеша.

Обзор

Краткое описание

Принцип

Для определения поверхностного натяжения жидкости, необходимо погрузить в жидкость кольцо, прикрепленное к торсионному динамометру с помощью шелковой нити. Уровень жидкости снижается и измеряется сила, действующая на кольцо непосредственно перед разрывом жидкой пленки. Поверхностное натяжение можно рассчитать по диаметру кольца и силе отрыва.

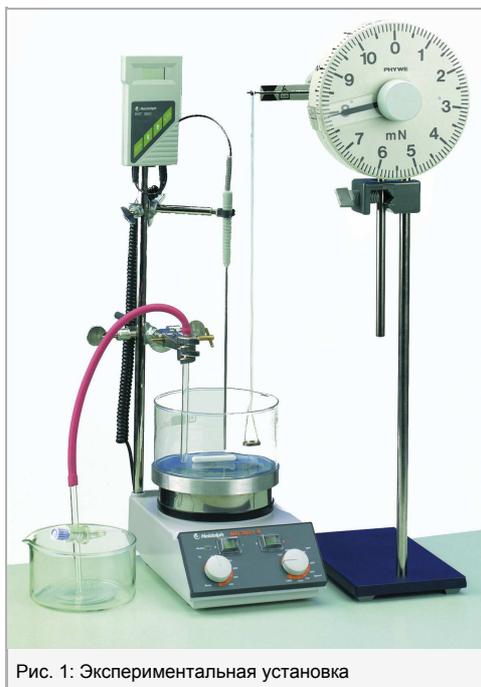


Рис. 1: Экспериментальная установка

Оборудование

№ п/п	Материалы	Номер артикля	Количество
1	Магнитная мешалка с нагреват. MRHei-Tec	35752-93	1
2	Торсионный динамометр, 0,01 Н	02416-00	1
3	Измерит. кольцо для определения натяжен.	17547-00	1
4	Подст. под реторту, 210x130 мм, h=750 мм	37694-00	1
5	Штатив, l=500 мм, резьба M10	02022-20	1
6	Магнитная мешалка, цилиндрич., 30 мм	46299-02	1
7	Универсальный зажим	37715-00	2
8	Прямоугольный зажим	37697-00	2
9	Прямоугольный зажим expert	02054-00	1
10	Кристаллизац. чашка, 900 мл	46245-00	2
11	Кристаллизац. чашка, 500 мл	46244-00	2
12	Нить, l= 200 м	02412-00	1
13	Стеклан. трубки, прямые, l=150 мм, 10 шт.	36701-64	1
14	Запорный кран, 1- ходовой, прямой, стекло	36705-00	1
15	Силиконовые трубки, внутр. d=7 мм, 1 м	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	Градированный цилиндр, 100 мл	36629-00	1
21	Водоструйный насос, пластик	02728-00	1
22	Кристаллизационная чашка, 2000 мл	46246-00	1
	Допол. требуются расходные материалы		
1	Этиловый спирт, абсолютный		
2	Оливковое масло, чистое		
3	Дистиллированная вода		

Задания

1. Определить зависимость коэффициента поверхностного натяжения оливкового масла от температуры.
2. Определить зависимость силы поверхностного натяжения смесей воды/метанола от соотношения компонентов в смеси.

Установка и выполнение работы

Соберите экспериментальную установку, как показано на рисунке 1.

Аккуратно обезжирьте кольцо в спирте, прополощите его в дистиллированной воде и протрите насухо.

Прикрепите кольцо к левому рычагу торсионного динамометра при помощи шелковой нити. Индикатор торсионного динамометра выставите на отметку «0», компенсируйте вес кольца регулировочным винтом так, чтобы плечо рычага находилось в белой зоне между отметками.

Задание 1:

- Налейте исследуемую жидкость в чистую кристаллизационную чашку объемом 1000 мл, а затем наполните погружную трубку и резиновый шланг с помощью пипетки. Кольцо должно быть полностью погружено.
- Включите магнитную мешалку и настройте электронный регулятор температуры на требуемую температуру измерения.
- Когда температура стабилизируется, выключите мешалку и дайте жидкости остыть. Затем для того, чтобы жидкость стала медленно вытекать из кристаллизационной чашки объемом 1000 мл в меньшую кристаллизационную чашку, откройте погруженный в неё однохордовый запорный кран, соединенный с иммерсионной трубкой резиновым шлангом.
- В то время, пока жидкость вытекает, постоянно регулируйте торсионный динамометр, чтобы плечо рычага все время находилось в белой зоне между двумя отметками.
- Остановите измерение в тот момент, когда жидкая пленка срывается из кольца и считайте последнее значение, установившееся на торсионном динамометре.
- Жидкость, собранную в меньшую кристаллизационную чашку, вылейте снова в чашу на магнитной мешалке и аналогично повторите измерения при других температурах. Проводите эксперимент в диапазоне температур 20°C - 130°C с интервалом в 5°C.

Задание 2:

Для определения поверхностного натяжения различных смесей воды с этанолом повторите описанную выше процедуру при комнатной температуре. Постепенно добавляйте воду к чистому этанолу для получения следующих смесей:

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

Проведите дополнительную серию экспериментов, как описано выше, но начиная 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

Теория и оценка результатов

Молекула внутри жидкости подвергается действию сил со стороны окружающих ее молекул; результирующая сила равна нулю. Результирующая сила, действующая на молекулу в пограничном слое поверхности жидкости, не равна нулю и направлена внутрь жидкости. Эта сила называется силой сцепления и благодаря ей молекулы в жидкости удерживаются вместе.

Каждая жидкость стремится уменьшить свою площадь поверхности, так чтобы поверхностная энергия стала как можно меньше. Поэтому, когда на жидкость не действуют никакие другие силы, она принимает сферическую форму, так как это форма с наименьшей площадью поверхности для данного объема. Чтобы увеличить площадь поверхность жидкости ΔA , необходимо выполнить определенную работу ΔE .

$$\varepsilon = \frac{\Delta E}{\Delta A} \quad (1)$$

ε - удельная поверхностная энергия, равная коэффициенту поверхностного натяжения.

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

где сила F действует вдоль края длиной l по касательной к поверхности для удержания пленки. При использовании кольца радиусом r длина края равна:

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

Для того чтобы сравнивать поверхностное натяжение разных жидкостей, необходимо рассматривать поверхности, которые содержит 1 моль молекул. 1 моль занимает объем V_m состоит из молекул N_0 каждая из которых занимает объем V_m/N_0 . Принимая во внимание, что данное пространство имеет кубическую форму, длина каждой стороны равна $(V_m/N_0)^{1/3}$, а площади каждой стороны равны $(V_m/N_0)^{2/3}$. Существует всегда одинаковое количество молекул $N_0^{2/3}$ на поверхности площадью $V^{2/3}$. Таким образом, поверхностное натяжение связано с этой поверхностью, и эта величина называется мольным 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 сцепления. 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 вблизи критической температуры T_K и k_γ температурный коэффициент k_γ одинаков почти для всех жидкостей (уравнение Этвеша):

$$k_\gamma = 2,1 \cdot 10^{-7} \text{ Дж/К} \quad (6)$$

Отклонения указывают на ассоциацию или образование двойных молекул. При расчете температурного коэффициента предполагалось, что такое же количество молекул $N_0^{2/3}$ содержится в области $V_m^{2/3}$.

С веществами, которые ассоциируют, это число меньше, поэтому температурный коэффициент также должен уменьшаться. Когда две жидкости смешиваются, то жидкость с более низким поверхностным натяжением становится обогащенной по площади поверхности. Поверхностное натяжение раствора γ с концентрацией c определяется из уравнения ишковского:

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

где a и b - константы, зависящие от вещества. Поверхностное натяжение таких смесей имеет нелинейную зависимость от соотношения компонентов смешивания.

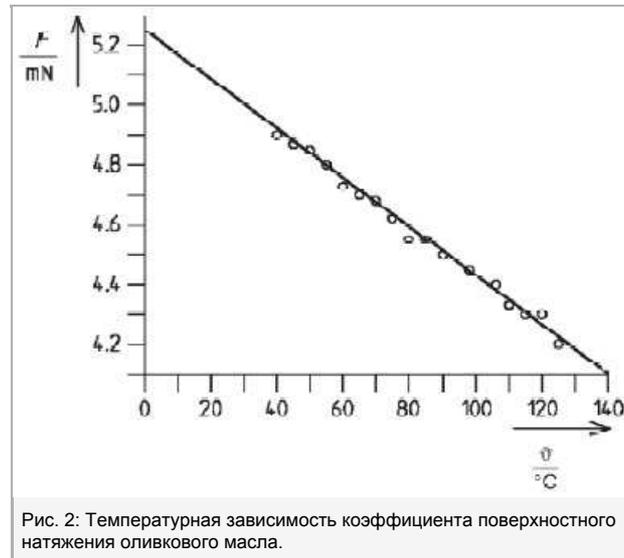
Данные и результаты

Диаметр измерительного кольца, используемый в примере, равен $2r = 19,65$ мм, а из уравнения 3, получаем: $l = 122,9$ мм.

Задание 1:

Результаты измерений, полученные для оливкового масла, показывают обратную линейную зависимость поверхностного натяжения от температуры (рис.2). Значение поверхностного натяжения для оливкового масла, рассчитанное по уравнениям (2) и (3), следующее:

$$\gamma_{\text{oliveoil}} = 40 \text{ мН/м}$$

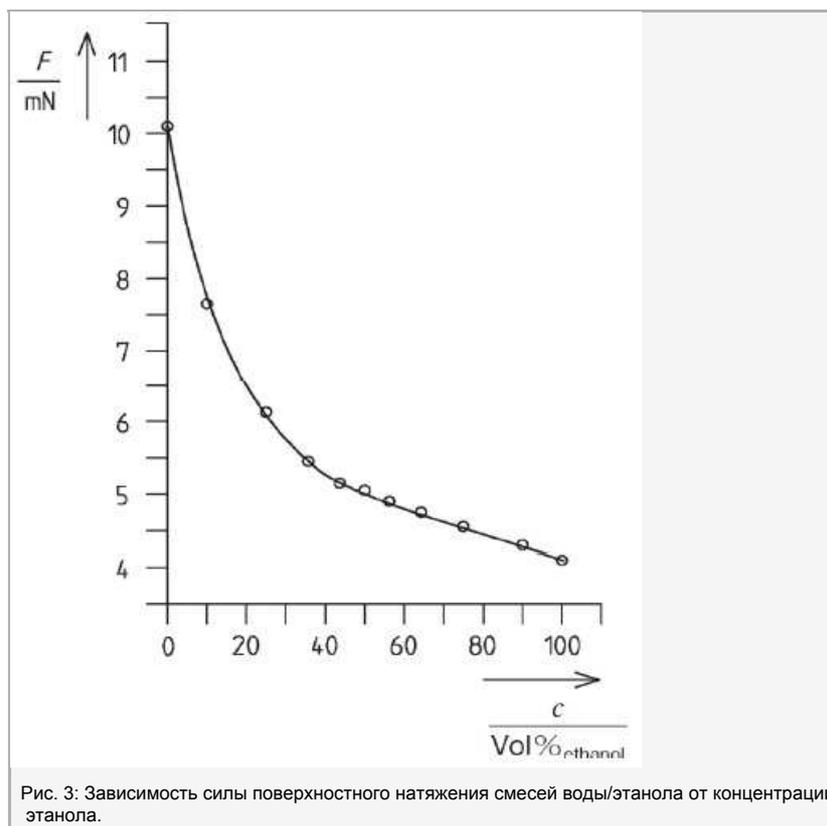
**Задание 2:**

Поверхностное натяжение таких смесей нелинейно и зависит от соотношения компонентов. Результаты измерений в смесях вода/этанол представлены на рис. 3.

Табличные значения поверхностного натяжения для этанола и воды (при температуре 25 °C):

$$\gamma_{\text{water}} = 72,8 \text{ мН/м}$$

$$\gamma_{\text{ethanol}} = 21,97 \text{ мН/м}$$



Экспериментальные значения (рассчитанные по формулам (2) и (3)):

$$\gamma_{\text{water}} = 82 \text{ мН/м}$$

$$\gamma_{\text{ethanol}} = 33 \text{ мН/м}$$