

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО"

Университет ИТМО

Физико-технический факультет

ОБЩАЯ ФИЗИКА ЛЕКЦИОННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Методические рекомендации
к проведению лекционных демонстраций по разделам:
механика, термодинамика, электромагнетизм, оптика, атомная физика

Санкт-Петербург, 2020

1 Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Метастабильные состояния. Критические параметры. Внутренняя энергия реального газа. Агрегатные состояния. Диаграмма состояний. Фазовые переходы. Термодинамические потенциалы. Поверхностное натяжение жидкости.

1.1 Силы поверхностного натяжения. Мыльные пленки на каркасах

1.1.1 Теория

На молекулу жидкости действуют силы притяжения со стороны окружающих молекул. Если молекула находится внутри жидкости и удалена от ее поверхности на расстояние, превышающее радиус сферы молекулярного действия, то эти силы в среднем уравниваются. Если же молекула находится в приграничном слое, толщина которого равна радиусу сферы молекулярного действия, то появляется результирующая сила, направленная внутрь жидкости, поэтому для извлечения молекулы из внутренних частей жидкости на ее поверхность требуется затрата работы. *Работа, которую надо затратить, чтобы изотермически и квазистатически увеличить поверхность жидкости на единицу при сохранении ее объема неизменным – поверхностное натяжение.*

Изотермическая работа равна убыли свободной энергии системы. Свободная энергия жидкости, на которую не действуют внешние силы:

$$\psi = \psi_{ob} + \psi_{rov} \quad (1)$$

где ψ_{ob} – объемная составляющая свободной энергии, а ψ_{rov} – поверхностная. Первая составляющая пропорциональна объему, вторая – поверхности жидкости (при условии, что плотность жидкости и ее температура поддерживаются постоянными). При увеличении объема жидкости (когда форма ее остается неизменной) отношение поверхности к объему убывает и в пределе обращается в нуль. Если объем жидкости V достаточно велик, то поверхностной частью свободной энергии можно пренебречь и вычислить объемную плотность свободной энергии по формуле:

$$\phi_{ob} = \frac{\psi_{ob}}{V} = \frac{\psi}{V} \quad (2)$$

Величина ϕ_{ob} не зависит от объема жидкости, а только от ее плотности и температуры. Если же объем жидкости не велик, то величина $\phi_{ob}V$ уже не будет равна всей свободной энергии жидкости ψ . Оставшаяся часть $\psi - \phi_{ob}V$ и даст величину поверхностной свободной энергии.

На основании определения, введенного выше:

$$\psi_{rov} = \delta F \quad (3)$$

где F – площадь поверхности жидкости, а δ – поверхностное натяжение. Как итог, поверхностное натяжение определяется как свободная поверхностная энергия жидкости, приходящаяся на единицу ее поверхности.

В одном предельном случае, когда жидкость существует в форме тонких пленок, мыльных, например, можно полностью пренебречь объемной частью свободной энергии и наблюдать явления, связанные с поверхностным натяжением, в наиболее простом и чистом виде, поскольку на них не накладываются эффекты, обусловленные объемными свойствами тел [1].

1.1.2 Ход демонстрации

Для демонстраций явлений на мыльных пленках, объясняющихся поверхностным натяжением, а именно для демонстрации стремления жидкости к сокращению площади своей поверхности используются мыльный раствор и каркасы.

- Кубический каркас окунается в мыльный раствор. Площадь образующихся мыльных пленок минимальна при заданной форме каркаса (рис. 1) [2].
- Каркасы с привязанными к ним нитяными перемычками окунают в мыльный раствор, нить не натянута и свободно лежит на поверхности мыльной пленки, приняв форму неправильной кривой линии. Но если уничтожить



Рис. 1: Кубический каркас для наблюдения явлений, связанных с поверхностным натяжением

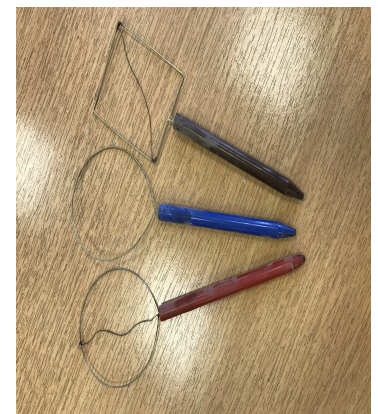


Рис. 2: Каркасы с нитяными перемычками для демонстраций

проколом часть пленки по одну сторону нити, то под действием поверхностного натяжения оставшейся части пленки нить принимает форму дуги окружности (рис. 2).

Список литературы

- [1] Д.В.Сивухин, ОБЩИЙ КУРС ФИЗИКИ, ТЕРМОДИНАМИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА, стр. 414
- [2] Демонстрация мыльной пленки на кубическом каркасе