

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**имени М. В. Ломоносова**

---

**Физический факультет  
кафедра общей физики и физики конденсированного состояния**

**Методическая разработка  
по общему физическому практикуму**

**Лаб. работа № 37**

**ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ  
КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО  
НАТЯЖЕНИЯ РАСТВОРА ОТ ЕГО  
КОНЦЕНТРАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА  
РЕБИНДЕРА  
(ПО МЕТОДУ МАКСИМАЛЬНОГО  
ДАВЛЕНИЯ В ПУЗЫРЬКЕ)**

**Описание составил доцент Гуло Д.Д.**

**Москва - 2012**

Подготовил методическое пособие к изданию доц. Авксентьев Ю.И.

# ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ РАСТВОРА ОТ ЕГО КОНЦЕНТРАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА РЕБИНДЕРА (ПО МЕТОДУ МАКСИМАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ В ПУЗЫРЬКЕ)

**Цель работы** — определение коэффициента поверхностного натяжения раствора при различных концентрациях.

## ВВЕДЕНИЕ

Существуют два эквивалентных определения коэффициента поверхностного натяжения жидкости  $\sigma$ :

1) как величины, численно равной коэффициенту пропорциональности в соотношении между поверхностной энергией  $W$  и площадью поверхности  $S$ :

$$W = \sigma S \quad (1)$$

(другими словами, как поверхностной энергии, отнесенной к единице площади);

2) как величины, численно равной коэффициенту пропорциональности в соотношении между силой поверхностного натяжения  $F$ , действующей на некотором отрезке любой линии на поверхности жидкости, и длиной отрезка  $l$ :

$$F = \sigma l \quad (2)$$

(другими словами, как силы поверхностного натяжения, отнесенной к единице длины. Эта сила касательна к поверхности и направлена перпендикулярно к рассматриваемому элементу линии).

Для экспериментального определения коэффициента поверхностного натяжения применяются различные методы. Метод, используемый в настоящей задаче, основан на явлении дополнительного давления под изогнутой поверхностью жидкости, обусловленного силами поверхностного натяжения.

Опыт и наблюдения показывают, что поверхностный слой жидкости по своим свойствам во многом напоминает растянутую эластичную пленку. В том и другом случае действуют поверхностные силы: в одном случае — силы поверхностного натяжения, в другом — силы упругости. Те и другие силы представляют собой силы сцепления, действующие со стороны одной части слоя (пленки) на другую, и обусловлены взаимным притяжением

молекул, находящихся по разные стороны линии, разделяющей обе части (рис. 1).

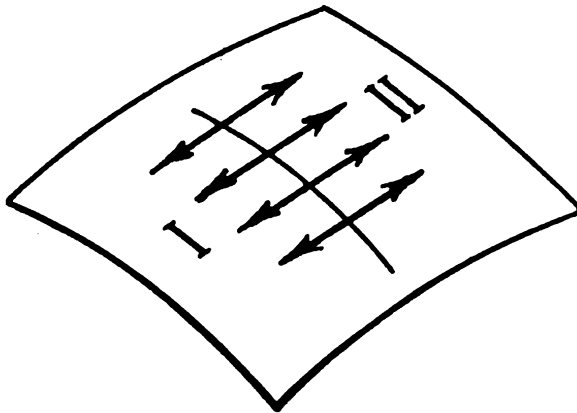


Рис. 1

Всякая изогнутая (выпуклая или вогнутая) растянутая упругая пленка, ограниченная плоским контуром, стремится выпрямиться, стать плоской. Также ведет себя и поверхностный слой жидкости. Будучи по каким-либо причинам изогнутым, он оказывает на жидкость

давление, которое испытывает жидкость с плоской поверхностью. В последнем случае силы поверхностного натяжения направлены вдоль

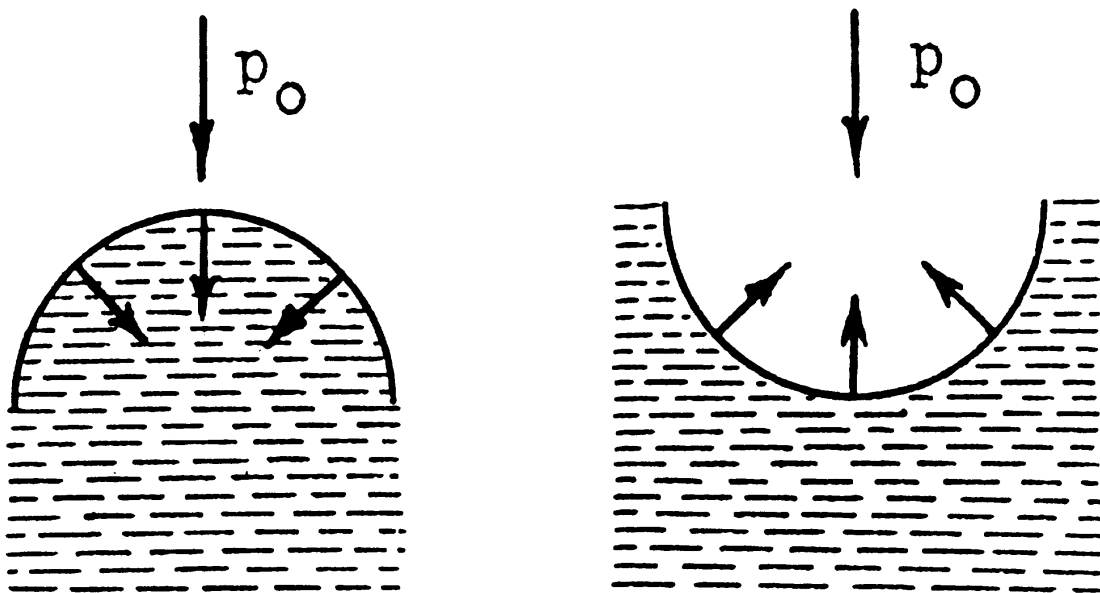


Рис. 2

поверхности и не создают дополнительного давления — давление под поверхностью равно внешнему давлению  $P$ . Если поверхность жидкости искривлена, давление под поверхностью будет отличаться от внешнего давления: давления по разные стороны поверхности оказываются различными. В случае выпуклой поверхности (рис. 2, а) дополнительное давление прибавляется к давлению, которое испытывает жидкость под

плоской поверхностью, т.е. является положительным  $-P = P_0 + \Delta P$ . В случае вогнутой поверхности (рис. 2,б) давление, испытываемое жидкостью, будет меньше, чем под плоской поверхностью, т.е. дополнительное давление является отрицательным  $-P = P_0 - \Delta P$ .

Величина дополнительного давления  $\Delta P$  зависит от степени искривленности поверхности. В случае, когда поверхность жидкости является сферической (т.е. представляет собой часть сферы радиуса  $r$ )

$$\Delta P = \frac{2\sigma}{r} \quad (3)$$

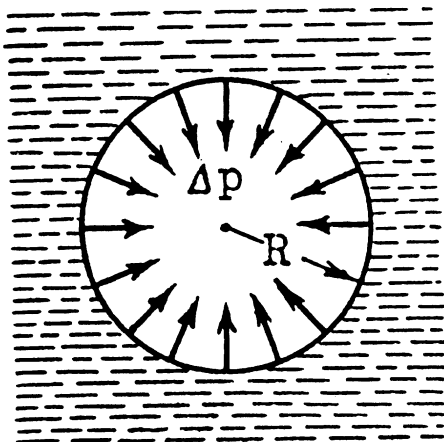


Рис. 3

Формула (3) определяет избыточное давление в каплях сферической формы и в пузырьках газа, находящихся внутри жидкости. В обоих случаях избыточное давление направлено к центру кривизны сферы (рис.3). Величина давления, как следует из формулы (3), тем больше, чем меньше радиус сферы. Эту зависимость хорошо иллюстрирует опыт, схематически изображенный на рис.4. На концах

стеклянной трубки выдуваются два мыльных пузыря *A* и *B* разных размеров. Краны *C* и *D* позволяют выдувать оба пузыря отдельно и затем сообщать их друг с другом (при закрытом кране *D*). При сообщении пузырей воздух в меньшем пузыре окажется под большим давлением и начнет по трубке перетекать в больший пузырь. В результате малый пузырь будет становиться все меньше, пока полностью не стянется, большой же пузырь будет увеличиваться, “съедая” маленький.

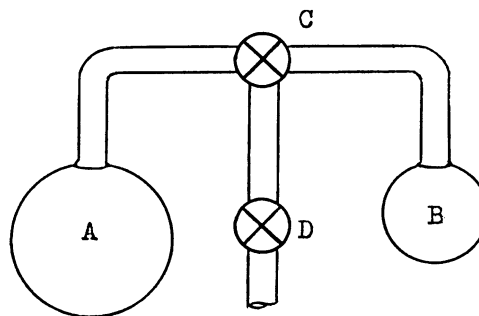


Рис.4

Метод максимального давления в пузырьке, используемый в задаче, основан на измерении максимального давления при образовании воздушного пузырька, выдавливаемого из капиллярного кончика в жидкость. На рис. 5 показан простейший вариант прибора, позволяющего реализовать идею метода. Нажимая на резиновую грушу, мы создаем внутри трубки, кончик которой соприкасается с поверхностью жидкости, повышенное давление по сравнению с атмосферным, под которым находится жидкость в сосуде. В результате

воздушный столбик прогибает поверхность жидкости, что, в свою очередь, вызывает появление добавочного давления, уравнивающего (при

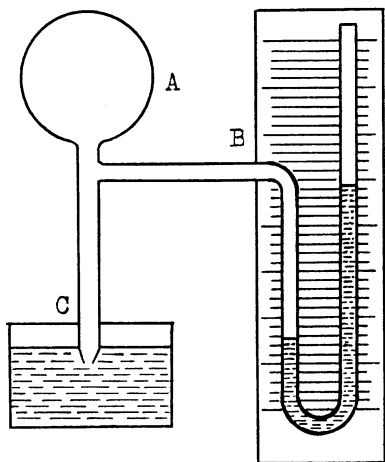


Рис. 5

медленном процессе) избыток давления в трубке. Разность давлений измеряется жидкостным манометром. Как видно из рис.6, по мере увеличения разности давлений возникающий на кончике трубки воздушный пузырек увеличивается, но его радиус вначале уменьшается (рис.6,а). Это уменьшение прекращается, как только радиус пузырька  $r$  становится равным радиусу отверстия кончика  $r_0$ . В этот момент пузырек имеет форму полусферы радиусом  $r_0$  (рис.6,в). В дальнейшем радиус пузырька увеличивается (рис.6,г). Таким образом, радиус пузырька не может быть меньше радиуса отверстия трубки  $r_0$ . Следовательно, максимально возможное

давление в пузырьке, обязанное силам поверхностного натяжения, определяется величиной

$$\Delta P_{пнтmax} = \frac{2\sigma}{r_0}. \quad (4)$$

Отсюда максимальное избыточное давление в трубке, которое компенсируется поверхностным натяжением и измеряется разностью высот уровней жидкости в манометре, также будет равно

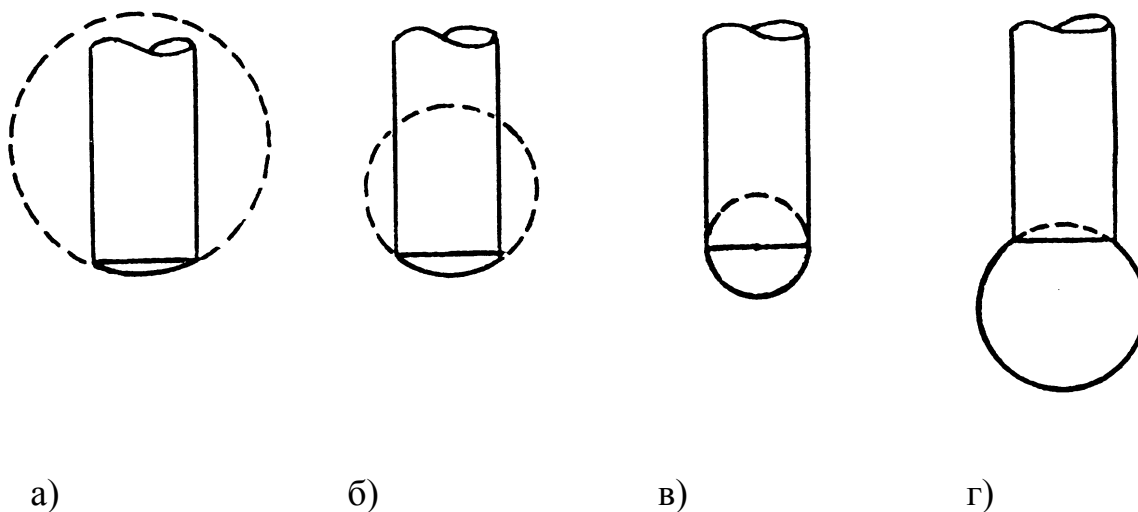


Рис. 6

$$\Delta P_{max} = \frac{2\sigma}{r_0}. \quad (5)$$

Это обстоятельство объясняет название метода измерений — метод максимального давления в пузырьке. Определение коэффициента поверхностного натяжения производится с помощью формулы (5).

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

**Принадлежности:** прибор Ребиндера, *U*-образный манометр, исследуемые жидкости, стаканы.

Идея метода, описанного выше, реализована в несколько другой форме в приборе Ребиндера, используемом в настоящей задаче (рис.7). Исследуемая жидкость помещается в стеклянном сосуде *B*. Стеклянная трубка, оттянутый кончик которой соприкасается с жидкостью, выведена через пробку наружу и сообщается с атмосферой. Трубка своим верхним концом может быть впаяна в верхнюю часть сосуда, в этом случае пробка не нужна. В отличие от рассмотренного выше примера, перепад давлений, необходимый для образования пузырьков воздуха, создается не повышением давления в трубке, а разрежением воздуха в сосуде *B*, т.е. понижением давления воздуха над жидкостью. Разрежение создается с помощью *аспиратора* *A*, наполненного водой сосуда, из которого при открытом кране *E* по каплям вытекает вода. При этом уровень жидкости в аспираторе понижается, объем воздуха в системе “аспиратор - сосуд *B* - соединительные трубки” увеличивается, а давление падает, как этого требует закон Бойля-Мариотта. При определенной степени разрежения пузырьки воздуха, возникающие на кончике трубки, начинают проходить через жидкость. Разность давлений атмосферного воздуха и воздуха в сосуде *B* измеряется разностью высот уровней жидкости в коленах манометра *M*.

Аспиратор сверху закрыт пробкой, открывая которую можно сообщать систему с атмосферой. Сосуд *B* может быть сверху закрыт колпачком.

Для определения коэффициента поверхностного натяжения с помощью формулы (5) необходимо знать радиус отверстия кончика  $r_0$ . Прямое измерение этой величины представляется затруднительным прежде всего потому, что трубка обычно бывает не вполне круглой. Поэтому предпочтительно рассматривать  $r_0$  как величину, определяемую из предварительного опыта с “эталонной” жидкостью (например, с дистиллированной водой), коэффициент поверхностного натяжения которой  $\sigma_0$  хорошо известен.

Введя обозначение  $k = r_0/2$ , формулу (5) можно переписать в виде

$$\sigma = k \Delta P_{max}. \quad (6)$$

Для “эталонной” жидкости, коэффициент поверхностного натяжения которой известен и равен  $\sigma_0$ , а разность давлений в момент отрыва воздушного пузырька, определяемая из опыта, равна  $\Delta P_{max}$ , соотношение (6) запишется в виде

$$\sigma_0 = k \Delta P_{0max}. \quad (7)$$

Отсюда величина  $k$ , которую называют постоянной прибора, поскольку она зависит от размеров “кончика”, определится следующим образом:

$$k = \frac{\sigma_0}{\Delta P_{0max}}. \quad (8)$$

Определив постоянную прибора  $k$ , можно приступить к определению коэффициента поверхностного натяжения любой жидкости в соответствии с формулой

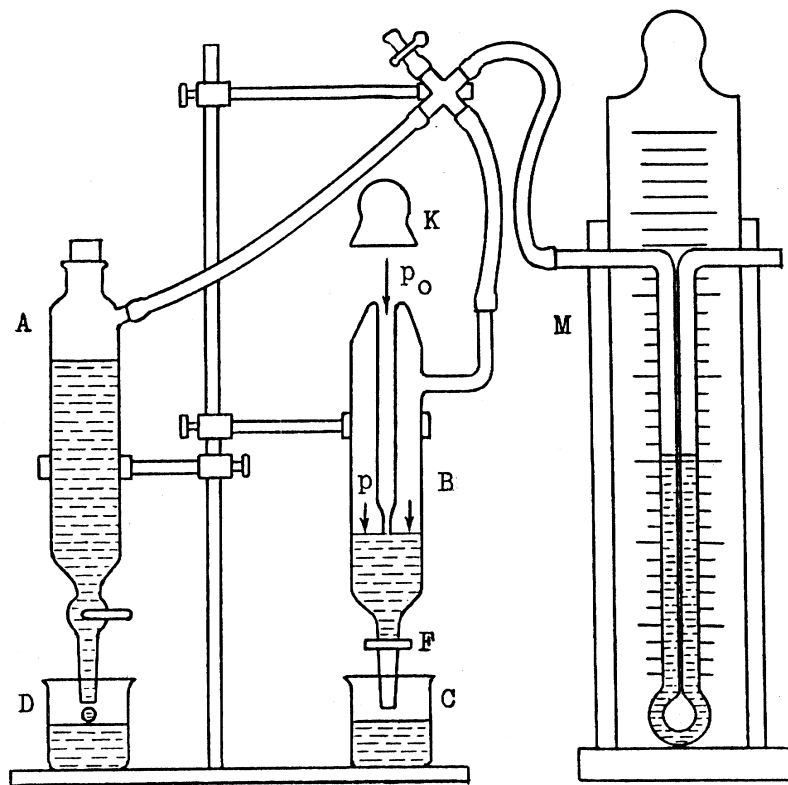


Рис. 7



$$\sigma = \frac{\sigma_0}{\Delta P_{0max}} \Delta P_{max}. \quad (9)$$

Поскольку разность давлений атмосферного воздуха и воздуха в сосуде  $B$  пропорциональна разности высот уровней жидкости в коленах манометра  $H$ , можно формулы (8) и (9) записать в виде

$$k = \frac{\sigma_0}{H_0}, \quad (10)$$

$$\sigma = \frac{\sigma_0}{H_0} H. \quad (11)$$

## Подготовка установки к измерениям

Наливают в аспиратор воду (водопроводную) до уровня бокового отростка и закрывают его пробкой. Заполняют сосуд  $B$  дистиллированной водой. Для этого сначала наполняют водой стакан, расположенный под сосудом так, чтобы нижняя часть сосуда была погружена в воду. Открывают кран  $F$ . Сверху сосуд  $B$  закрывают колпачком. Приоткрывают кран аспиратора  $E$ , при этом вода начинает по каплям вытекать из него и уровень воды понижается. В пространстве над водой и в соединенных с ним верхней части сосуда и левом колене манометра образуется разрежение. Под влиянием разности давлений — атмосферного, действующего на жидкость в стакане  $C$ , и пониженного в сосуде  $B$ , жидкость постепенно всасывается в сосуд  $B$  до уровня, находящегося несколько выше кончика стеклянной трубки. Кран  $F$  сосуда  $B$  и кран  $E$  аспиратора закрывают, и колпачок с сосуда  $B$  снимается. Приоткрыв кран  $F$ , сливают избыток жидкости в сосуде до тех пор, пока кончик стеклянной трубки не соприкоснется с поверхностью жидкости. После этого кран  $F$  закрывается. Установка готова к измерениям.

## Измерения

**1. Определение постоянной прибора.** Открывают пробку аспиратора, устанавливая внутри системы атмосферное давление. При этом уровни жидкости в коленах манометра выравниваются. Передвигая шкалу манометра, устанавливают нулевое деление на общий уровень жидкости в обоих коленах. Закрыв аспиратор пробкой, разобщают систему с атмосферой. Приоткрыв кран аспиратора, следует проследить за образованием и отрывом пузырьков в сосуде  $B$ . Открывают кран так, чтобы

изменение давления происходило достаточно медленно и можно было легко отсчитывать высоты уровней в манометре в момент отрыва пузырьков. Отсчеты проводят для 10-12 пузырьков, записывая значения  $H_0$  в таблицу.

Таблица										
№№ отсчета	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$H_0$										
$\Delta H_0$										

Подставив в формулу (10) среднее значение  $H_{0\text{ ср}}$  и взятое из таблиц значение  $\sigma_0$ , находят постоянную прибора  $k$ .

## **2. Определение зависимости коэффициента поверхностного натяжения от концентрации раствора**

Вылив воду из сосуда  $B$ , наполняют его раствором метилового спирта наименьшей концентрации. Предварительно следует прополоскать сосуд и особенно “кончик” этим раствором. Следуя методике, описанной выше, определяют величину  $H$  и по формуле (11) находят значение  $\sigma$  для раствора данной концентрации. Измерения повторяют для ряда растворов известной концентрации и по полученным данным строят график зависимости  $\sigma$  от концентрации. Оценивают погрешность измерений.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Савельев И.В. Курс физики, т.1. М.: Наука, 1989, глава 15 – Твердое и жидкое состояния, § 93 – Поверхностное натяжение, § 94 – Капиллярные явления .
2. Савельев И. В. Курс общей физики: уч. пособие. в 5 кн. кн. 3. Молекулярная физика и термодинамика. М. Наука Физматлит, 1998. Глава 5. Жидкое состояние.. § 5.2 Поверхностное натяжение. § 5.3 Давление под изогнутой поверхностью жидкости.