

Физический факультет
кафедра общей физики и физики конденсированного состояния

Методическая разработка
по общему физическому практикуму

Лаб. работа № 35

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА
ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ПО
ВЫСОТАМ ПОДНЯТИЯ ЖИДКОСТИ В
КАПИЛЛЯРНЫХ ТРУБКАХ

Москва - 2012

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ПО ВЫСОТАМ ПОДНЯТИЯ ЖИДКОСТИ В КАПИЛЛЯРНЫХ ТРУБКАХ

Принадлежности: 1) горизонтальный микроскоп, 2) микроскоп МИР-12, 3) набор капиллярных трубок разного диаметра, 4) держатель капиллярных трубок, 5) стакан для жидкостей, 6) деревянная подставка, 6) отвес.

ВВЕДЕНИЕ

Если мысленно разрезать поверхность жидкости по какой-либо произвольной линии, то сила сцепления между обеими частями её, вызванная взаимным притяжением молекул, находящихся по обе стороны линии, будет тем больше, чем больше будет длина линии l ; другими словами, сила поверхностного натяжения f будет прямо пропорциональна длине

$$f = \alpha l. \quad (1)$$

Коэффициент пропорциональности α , представляющий собой силу поверхностного натяжения, действующую на единицу длины поверхностной плёнки жидкости, называется *коэффициентом поверхностного натяжения*. Его принято измерять в *дин/см* или в *Н/м*.

Если благодаря соприкосновению с твёрдым телом поверхность жидкости получит некоторую кривизну, то на такой поверхности силы поверхностного натяжения вызывают некоторые дополнительные явления. Эти силы дают при выпуклых и вогнутых поверхностях составляющую, направленную всегда в сторону вогнутой поверхности, и таким образом создают внутри всякой искривлённой поверхности добавочное, вызванное именно кривизной поверхности, давление.

Если поверхность сферическая, то это добавочное давление может быть выражено следующим образом:

$$\Delta p = \frac{2\alpha}{R}, \quad (2)$$

где R - радиус кривизны поверхности. Этим добавочным давлением, т.е. давлением, обусловленным кривизной мениска, вызываются явления поднятия и опускания жидкости в капиллярных трубках. Жидкость поднимается (опускается) в капилляре на столько, чтобы гидростатическое давление столба жидкости уравнило давление, вызванное кривизной поверхности.

Если считать, что жидкость полностью смачивает поверхность трубки, то радиус кривизны R совпадает с внутренним радиусом трубки r , так что

$$\Delta p = \frac{2\alpha}{r} = \rho gh, \quad (3)$$

где ρ - плотность жидкости, h - высота подъема её, g - ускорение силы тяжести. Таким образом, зная радиус капилляра, плотность жидкости и высоту её подъёма

в капилляре, можно по формуле (3) определить коэффициент поверхностного натяжения α .

ИЗМЕРЕНИЯ

Общий вид установки представлен на рис. 1. На рис. 1 не представлены ни горизонтальный микроскоп для измерения высот поднятия жидкости h в капиллярах, ни микроскоп *МИР-12* для измерения радиусов r капилляров. С

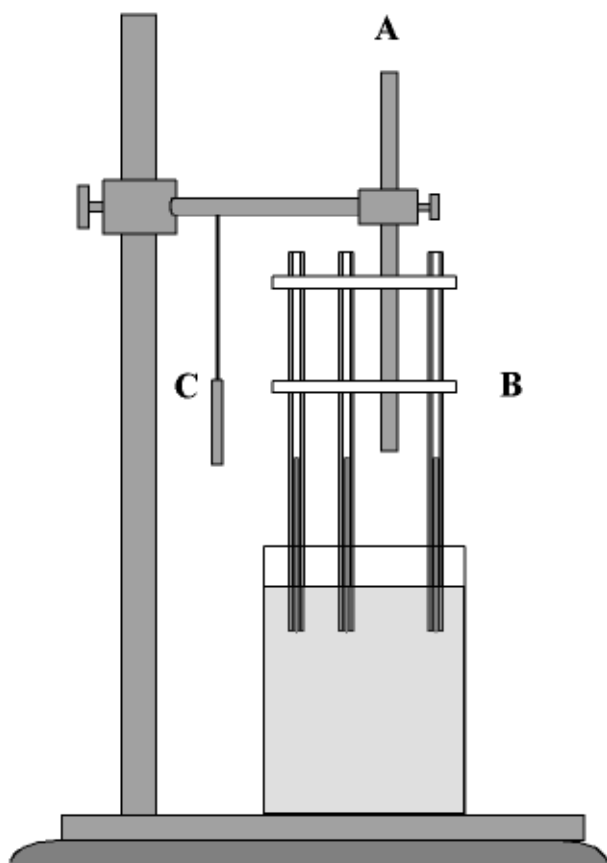


Рис.1

внешним видом и описанием работы этих приборов можно ознакомиться в методической разработке к лабораторной работе № 30 (рис. 2 и рис. 3). Капиллярные трубки перед измерением должны быть чисто вымыты; сначала их промывают раствором двуххромового калия, в серной кислоте, а затем дистиллированной водой и спиртом. Трубки просушиваются пропусканием через них нагретого воздуха. После этого трубки поочередно укрепляют в держателе штатива и микроскопом *МИР-12* тщательно измеряют их внутренние диаметры. Эти измерения необходимо сделать по нескольким направлениям сначала на одном, а затем на другом конце каждой трубки, производя не менее трёх отсчётов величины диаметра для каждого сечения. Из всех полученных измерений берут среднее арифметическое.

Если эти величины сильно отличаются друг от друга для различных сечений, то с трубкой работать не следует - она не цилиндрическая. Если средние значения диаметров отличаются друг от друга на величины, не превышающие ошибки

измерений, то находят среднее арифметическое и принимают его за истинное значение диаметра капилляра цилиндрической трубки.

После этих измерений капиллярные трубки разных внутренних диаметров зажимают в общем держателе *AB* (рис. 1), устанавливают их по отвесу *C* вертикально и погружают в стакан с дистиллированной водой, опустив их на 2-3 см больше, чем это нужно для опыта; оставляют их в этом положении несколько минут, чтобы стенки каналов трубок основательно смочились водой. Затем трубки приподнимают, зажимают их и отсчитывают положения вершин менисков при помощи горизонтального микроскопа (к каждому отсчёту следует ещё прибавить высоту, равную $1/3$ радиуса канала - поправку на мениск). Потом трубки снова опускают глубже и через несколько минут поднимают и повторяют

отсчёты. Повторив измерения не менее трех раз, приступают к вычислению коэффициента поверхностного натяжения.

ВЫЧИСЛЕНИЯ

Если трубки совершенно чисты, то высоты жидкости в трубках должны быть каждый раз одни и те же. Обозначим эти высоты через h_1 , h_2 и h_3 радиусы каналов соответствующих трубок - через r_1 , r_2 и r_3 . Тогда

$$\alpha = \frac{r_1 h_1}{2} \rho g = \frac{r_2 h_2}{2} \rho g = \frac{r_3 h_3}{2} \rho g,$$

отсюда

$$h_1 - h_2 = \frac{2\alpha}{g\rho r_1} - \frac{2\alpha}{g\rho r_2} \text{ и } h_1 - h_3 = \frac{2\alpha}{g\rho r_1} - \frac{2\alpha}{g\rho r_3},$$

следовательно,

$$\alpha = \frac{r_1 r_2}{2(r_2 - r_1)} (h_1 - h_2) \rho g = \frac{r_1 r_3}{2(r_3 - r_1)} (h_1 - h_3) \rho g.$$

Подставляя в эти равенства значения r_1 , r_2 , r_3 , h_1 , h_2 и h_3 , полученные из измерений, и взяв из таблицы значение ρ при температуре наблюдения, находим искомое α .

Таблица.

| $t \text{ } ^\circ\text{C}$ | $\rho \text{ г/см}^3$ |
|-----------------------------|-----------------------|
| 20 | 0,99823 |
| 21 | 0,99802 |
| 22 | 0,99780 |
| 23 | 0,99757 |
| 24 | 0,99732 |
| 25 | 0,99707 |

Контрольные вопросы

1. Какова природа сил поверхностного натяжения?
2. Чем обусловлено стремление жидкостей к сокращению своей поверхности?
3. Что такое капиллярное давление?
4. Как вычисляется средняя кривизна поверхности жидкости в данной точке?

5. Как вычисляется избыточное давление под искривленной поверхностью, если поверхность имеет форму, отличную от сферической?

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.В. Курс физики; 1989 г.
том 1 - Механика, Молекулярная физика;
часть 2 - Основы молекулярной физики и термодинамики;
глава 15 – Твердое и жидкое состояния,
§ 93 – Поверхностное натяжение.
§ 94 – Капиллярные явления.