

РАБОТА 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ВОДЫ МЕТОДОМ РАЗРЫВА ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛЕНКИ

Цель работы: Измерить коэффициент поверхностного натяжения воды методом капиллярных трубок и разрыва поверхностной пленки.

Введение

Молекулы жидкости взаимодействуют друг с другом. Молекулы жидкости располагаются настолько близко друг к другу, что силы притяжения между ними имеют значительную величину. Поскольку взаимодействие быстро убывает с расстоянием, начиная с некоторого расстояния силами притяжения между молекулами можно пренебречь. Радиусом молекулярного действия называется максимальное расстояние, на котором молекулы воздействуют друг на друга. Сфера радиуса равного радиусу молекулярного действия называется, соответственно, сферой молекулярного действия. Радиус молекулярного действия имеет величину порядка нескольких эффективных диаметров молекулы.

Каждая молекула испытывает притяжение со стороны всех соседних с ней молекул, находящихся в пределах сферы молекулярного действия, центр которой совпадает с данной молекулой. Вследствие очень большого числа молекул и их равномерного распределения, равнодействующая всех этих сил для молекулы, находящейся от поверхностного слоя жидкости на расстоянии, превышающем радиус молекулярного действия, в среднем равна нулю (случай А, рис. 4.1).

Иначе обстоит дело, если молекула находится на расстоянии от поверхности, меньшем чем радиус молекулярного действия (случай В, рис. 4.1). Вследствие того, что плотность пара (или газа, с которым граничит жидкость) во много раз меньше плотности жидкости, выступающая за пределы жидкости часть сферы молекулярного действия будет менее заполнена молекулами, чем остальная часть сферы. Таким образом, на каждую молекулу в поверхностном слое жидкости толщиной, равной радиусу молекулярного действия, будет действовать со стороны молекул, находящихся внутри жидкости, сила, направленная внутрь жидкости. Величина этой силы растет в направлении от внутренней к наружной границе слоя. Поэтому молекула стремится уйти с поверхности внутрь жидкости, и площадь поверхности жидкости сокращается. Стремление поверхности жидкости к сокращению приводит к возникновению сил. Эти силы называются силами поверхностного натяжения. Сила поверхностного натяжения направлена по касательной к

поверхности жидкости и перпендикулярно к границе раздела жидкости и твердого тела. Она растет с ростом участка контура, на который действует.

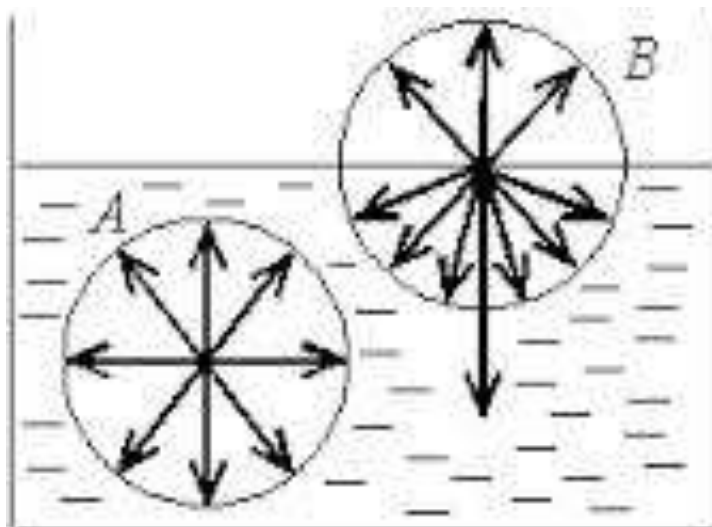


Рис. 4.1. Силы, которые действуют на молекулу внутри жидкости (А) и на расстоянии от поверхности меньше радиуса молекулярного действия (В).

Отношение силы F поверхностного натяжения, действующей на границу участка поверхностного слоя длиной l , к этой длине есть величина постоянная, не зависящая от длины l :

$$\sigma = \frac{F}{l},$$

где σ представляет собой силу поверхностного натяжения, действующую на единицу длины поверхностной пленки жидкости, и называется коэффициентом поверхностного натяжения. Эта же физическая характеристика может быть определена и как отношение приращения поверхностной энергии $U_{\text{пов}} = F\Delta x$ к приращению площади поверхностного слоя $S = l\Delta x$:

$$\sigma = \frac{U_{\text{пов}}}{S}.$$

Примеси сказываются на величине поверхностного натяжения достаточно сильно. Так, например, растворение в воде мыла уменьшает ее коэффициент поверхностного натяжения почти в полтора раза. Растворение в воде NaCl, напротив, приводит к увеличению σ . С повышением температуры различие в плотностях жидкости и ее насыщенного пара уменьшается. В связи с этим уменьшается и коэффициент поверхностного натяжения. Таким образом, коэффициент поверхностного натяжения зависит от температуры жидкости, а для растворов – от концентрации.

Методика выполнения работы

Если на поверхность жидкости поместить петлю из проволоки длиной l так, чтобы петля погрузилась под пленку жидкости, то при отрыве проволочной петли можно с помощью динамометра измерить силу F , при которой разорвется поверхностная пленка жидкости.

На длине петли l границ раздела жидкости и проволоочки две – с одной и другой стороны проволоочки. Поэтому:

$$\sigma = \frac{F}{2l}, \quad (4.1)$$

Приборы и принадлежности	Технические характеристики
Сосуд с водой	
Капилляры с известными диаметрами	
Линейка-шкала	
Держатель капилляров на штативе	
Динамометр ДПН	

Порядок выполнения работы

Задание 1. Измерение коэффициента σ для дистиллированной воды методом разрыва поверхностной пленки жидкости

1. Закрепите динамометр 1 вертикально, центр столика расположите соосно с измерительной пружиной 2 (рис. 4.2).

2. Наденьте на крючок измерительной пружины динамометра петлю 3 известной длины.

3. Придерживая динамометр, отверните стопорный винт динамометра 4 (справа), вращая винт 5 крепления пружины и поднимая его, установите стрелку динамометра параллельно шкале против нулевой отметки и завинтите стопорный винт.

4. Установите стакан с дистиллированной водой на столике на такой высоте, чтобы петля полностью могла погрузиться в жидкость на 1 – 2 мм.

5. Вращая винт 6, медленно опускайте подъемный столик со стаканом 7 до тех пор, пока не разорвется пленка жидкости, тянущаяся за петлей.

6. Заметьте по шкале динамометра, при какой силе F разорвалась пленка. Измерения проведите три раза, и результаты измерений запишите в табл. 4.1.

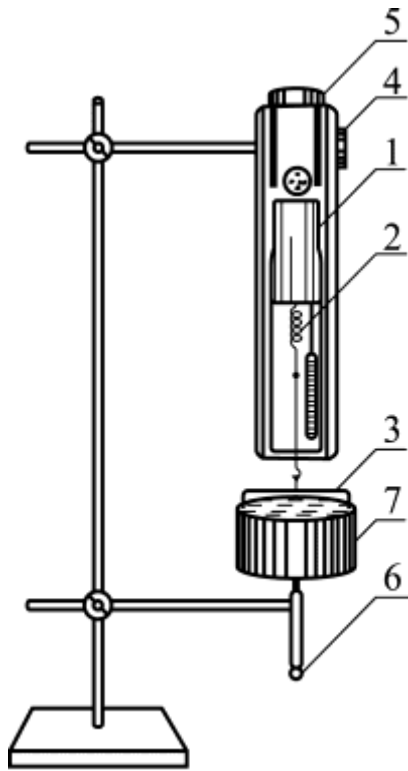


Рис. 4.2.

Таблица 4.1

№ Опыта	Длина петли $l, мм$	$F, мН$	$\sigma, Н/м$	$\langle \sigma \rangle, Н/м$
1				
2				
3				

7. Измерения повторите еще с двумя петлями и результат запишите в табл. 4.1.

8. Для каждой петли по трем измерениям вычислите по формуле (4.1) значение σ и $\langle \sigma \rangle$.

9. Вычислите среднее значение. σ_{cp} и $\Delta\sigma$ по формулам $\sigma_{cp} = \frac{\langle\sigma_{max}\rangle + \langle\sigma_{min}\rangle}{2}$;

$$\Delta\sigma = \frac{\langle\sigma_{max}\rangle - \langle\sigma_{min}\rangle}{2}$$

10. Сравните измеренное значение с табличным (табличное значение для дистиллированной воды при $T = 293\text{ K}$ равно $\sigma_{табл} = 72.88\text{ мН/м}$).

Задание 2. Измерение коэффициента σ для воды, содержащей примеси, методом разрыва поверхностной пленки жидкости

1. Повторите пп. 1 – 3 из задания 1.

2. Возьмите стакан с дистиллированной водой и растворите в ней соль / мел (в зависимости от наличия).

3. Для стакана с полученным раствором повторите пп. 4 – 7 из задания 1. Измерения запишите в табл. 4.2.

Таблица 4.2

№ Опыта	Длина петли $l, \text{мм}$	$F, \text{мН}$	$\sigma, \text{Н/м}$	$\langle\sigma\rangle, \text{Н/м}$
1				
2				
3				

4. Повторите пп. 8 и 9 задания 1.

5. Сравните измеренное значение с полученным в задании 1. Сделайте вывод о влиянии примесей на коэффициент поверхностного натяжения воды.

6. Напишите заключение к работе.

Контрольные вопросы

1. Чем обусловлено существование силы поверхностного натяжения жидкости?
2. Каким методом в данной работе определяют поверхностное натяжение жидкости?
3. Как влияет на коэффициент поверхностного натяжения повышение температуры?
4. Как влияет на коэффициент поверхностного натяжения воды наличие примеси NaCl?
5. Что называется радиусом молекулярного действия? Каков порядок величины радиуса молекулярного действия?
6. Что называется сферой молекулярного действия?
7. Что называется силой поверхностного натяжения?
8. Коэффициент поверхностного натяжения может измеряться в Н/м или в Дж/м². Есть ли противоречие в данном утверждении? Ответ пояснить.

Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики. В 3-х т. Т. 1. Механика. Молекулярная физика. М.: Наука, 1987.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. В 5-ти т. Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука, 1990.
3. Бабичев А.П., Бабушкина Н.А., Братковский А.М. и др. Физические величины. Справочник. Под ред. Григорьева И.С., Мейлихова Е.З. М.: Энергоатомиздат, 1991.