# Лабораторная работа

# ИЗМЕРЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТЕЙ

**Цель работы**

*Углубить теоретические представления о механизмах возникновения внутреннего трения в жидкости. Освоить методы измерения вязкости жидкостей.*

**1. Теоретическая часть**

Макроскопическое движе­ние (течение), возникшее в жидкости или газе под действием внешних сил, посте­пенно прекращается. Очевидно, что это происходит под действием сил сопротивления, существующих внутри жидкостей и газов. Силы такого *внут­реннего* трения присущи всем реальным жидкостям и газам и составляют основу понятия *вязкости.*

**1.1**. **Вязкость жидкостей**

Причину возникновения сил вязкого трения в жидкостях можно пояснить с помощью рисунка 1.

*z*

*v1*

*F2*

*F1*

*v2*

Рис.1. Механизм возникновения

внутреннего трения в жидкости

Пусть два слоя жидкости, середины которых отстоят друг от друга на расстоянии *dz,* имеют скорости *v1* и *v2.* Co стороны слоя, который движется быстрее, на слой, который движется медленнее, действует ускоряющая сила *F1.* Наоборот, на быстрый слой действует тормозящая сила *F2* со стороны медленного слоя. Эти силы, направленные по касательной к слоям, называются *силами внутреннего трения.* И. Ньютон предложил для их расчета следующую формулу

, (1)

где *dv/dz-* градиент скорости движения слоев в направлении, перпендикулярном тру­щимся слоям, *S -* площади соприкасающихся слоев, *η - динамическая вязкость* жидкости или газаили *коэффициент внутреннего трения.* Динамическая вязко­сть - характеристика данного вещества, численно она равна силе трения, возникающей между двумя слоями этой жидкости площадью по 1 м2 каждый при градиенте скорости, равном 1 м/с на метр. Размерность коэффициента вязкости . В некоторых случаях принято пользоваться так называемой *кинематической вязкостью,* равной динами­ческой вязкости жидкости, деленной на плотность жидкости .

В жидкостях внутреннее трение обусловлено действием межмолекулярных сил - рас­стояния между молекулами жидкости сравнительно невелики[[1]](#footnote-1), а потому силы взаимодействия значительны. Молекулы жидкости, подобно молекулам твердого тела, колеблются око­ло положений равновесия, но эти положения не являются постоянными. По истечении некоторого интервала времени молекула скачком переходит в новое положение. Это время назы­вается *временем «оседлой жизни» молекулы.*

Силы межмолекулярного взаимодействия зависят от рода жидкости. Вещества с малой вязкостью - текучи, и наоборот, сильно вязкие вещества могут иметь значительную механическую твердость, как, например, стекло. Вязкость существенно зависит от количества и состава примесей, а также от температуры. С повышением температуры время *«оседлой жизни»* уменьшается, что обуславливает рост подвижности жидкости и уменьшение ее вязко­сти.

**1.2. Движение твердого тела в жидкости**

При движении тел в вязкой жидкости возникают силы сопротивления. Происхождение этих сил можно объяснить двумя разными механизмами. При небольших скоростях, когда за телом нет вихрей (*ламинарное течение, идеальное обтекание*), сила сопротивления обуславливается только вязкостью жидкости. В этом случае прилегающие к телу слои жидкости движутся вместе с телом. Но граничащие с ними слои также увлекаются в движение силами молекулярного сцепления. Так создаются силы, тормозящие относительное движение твердого тела и жидкости. Величину этих силы трения можно рассчитать с использованием формулы Ньютона (1).

*р2<p1*

*v2 v1*

*р1*

*v2<v1*

*v*

Рис. 2. Образование вихрей при движении тела в вязкой среде

Второй механизм возникновения сил сопротивления связан с образованием вихрей и различием скоростей движения жидкости перед телом и за ним (рис.2). Давление в стационарном потоке жидкости меняется в зависимости от скорости потока так, что в области вихрей оно существенно уменьшается (уравнение Бернулли *p1+ρv12/2=p2+ρv22/2*). Разность давлений *Δp=ρ(v12 –v22)/2 в* областях перед телом и за ним создает силу «лобового» сопротивления (*F=ΔpS*) и тормозит движение тела. Часть работы, совершаемой силами трения при движении тела в жидкости, идет на образование вихрей, энергия которых пере­ходит затем в теплоту.



Рис. 3.

Если движение тела в жидкости происходит медленно, без образования вихрей, то сила сопротив­ления создается только по первому из описанных механизмов. Для тел сферической формы ее величину определяют по *формуле Стокса*:

*Fc=6πηrv* (2)

где *r-* радиус шарика; *v -* скорость его *равномерного* движения; *η* - вязкость жидкости.

**2. Определение вязкости жидкости по методу Стокса**

***2.1. Теория метода***

Надвижущийся шарик в жидкости действуют трисилы: силатяжести - *FТ*, выталки­вающая архимедова сила *Fв*  и сила сопротивления *Fc.* Силу тяжести и выталкивающую силу можно определить через объем шарика, плотность *ρ*  шарика и плотность *ρ0*  жидкости:

*FТ =4πr3ρg/3*(3)

*Fв=4πr3ρo g/3* (4)

Сила тяжести и выталкивающая сила постоянны. Сила сопротивления *Fc* прямо пропорциональна этой скорости и поэтому на начальном этапе она меньше силы тяжести и шарик падает равноускоренно. При этом сила сопротивления увеличивается и наступает момент, когда все три силы уравновешиваются. Шарик начинает двигаться равномерно:

*FТ =Fв + Fc*  или *4πr3ρg/3=* *4πr3ρo g/3+6πηrv*, (5)

откуда

 (6)

***2.2. Экспериментальная установка***

Для определения вязкости жидкости по методу Стокса берется высокий цилиндрический сосуд с исследуемой жидкостью (рис.3). На сосуде имеются две кольцевые метки *А* и *В*. Метка *А* находится несколько ниже уровня жидкости и соответствует той высоте, где силы, действующие на шарик, уравновешивают друг друга и движение становится равномерным. Нижняя метка *В* нанесена для удобства отсчета времени в момент падения шарика.

Бросая шарик в сосуд, отмечают по секундомеру время *t* прохождения шариком расстояния *l = АВ* между двумя метками.

Если в формулу (6) подставить выражение для скорости движения *v=l/t* и вместо радиуса *r* ввести диаметр шарика *d*, то окончательная расчетная формула приобретает вид:

 ( 7)

***2.3.Ход выполнения работы***

1. Измеряют расстояние между метками *А* и *В.*

2. При необходимости измеряют с помощью ареометра плотность жидкости *ρ0[[2]](#footnote-2).*

3. Измеряют микрометром или штангенциркулем диаметр *d* шарика.

4. Бросив шарик в сосуд с жидкостью, измеряют время *t* прохождения шариком рас­стояния между метками *А* и *В.*

5. По формуле (7) вычисляют вязкость жидкости *η*.

6. Аналогичные измерения проделывают с пятью шариками. Результаты измерений и вычислений заносят в таблицу 1 отчета.

7. По результатам всех пяти опытов находят среднее значение вязкости *η.*

8. Для оценки систематической погрешности измерения вязкости используют расчетную формулу (7). Из нее выводят формулу для вычисления относительной погреш­ности измерения. При этом считают, что табличные величины, входящие в формулу, не имеют погрешностей, а погрешности измеренных величин ***l***, ***d****,* ***t*** и ***ρ*** опре­деляются точностью приборов, использованных для их измерения.

9. Полученное значение вязкости сравнивают с табличной величиной для дан­ной жидкости. При объяснении причин расхождения указывают, какой из используемых измерительных приборов вносит в окончательный результат наибольшую погрешность.

**Отчет по лабораторной работе №1**

**«Вязкость жидкостей »**

выполненной ……………………………………………. ……….

**Определение вязкости жидкости по методу Стокса**

Жидкость....................

Расстояние между метками А и В *l* =…....... ±..... …*см*

Плотность жидкости *ρ0 = ……± …… г/см3*

Плотность материала шарика *ρ = … …± …… г/см3*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *№ п/п* | *Диаметр шарика*  *d, мм* | *Время движения шарика t, с* | *Вязкость жидкости*  *η, Па⋅ с* |
| *1* |  |  |  |
| *2* |  |  |  |
| *3* |  |  |  |
| *4* |  |  |  |
| *5* |  |  |  |
| ***Среднее значение вязкости жидкости*** | | | |

Формулы для расчета и расчет погрешности измерения вязкости жидкости1:

Вывод: ……………………………………………………………………………………………..

***Дополнительное задание:***

Используя полученные значения вязкости, рассчитайте, а затемпроверьте экспериментально скорость установившегося движения контрольного тела, выданного вам преподавателем.

Размеры, форма и масса тела:

Материал – Форма -

Диаметр - Масса -

Формула и расчёт скорости движения шарика:

Экспериментальные данные о движении шарика:

Длина пути

Время движения

Скорость движения

***Вывод по итогам выполнения задания:***

# Лабораторная работа №2

# ВЯЗКОСТЬ ГАЗОВ

**Цель работы**

*Углубить теоретические представления о механизмах возникновения, о величине внутреннего трения в газах, о её связи с микрокинетическими параметрами газа. Освоить методы измерения вязкости газов.*

**1. Теоретическая часть**

Вязкость газов, в отличие от жидкостей, увеличивается при повышении температуры. Различный характер зави­симости вязкости газов и жидкостей от температуры указывает на различный механизм их возникновения, хотя формула Ньютона - **-**одинаково справедлива и для обоих этих состояний.

*Z х*

*v1*

*F2 F1*

*v2*

Рис.1. Возникновение трения в газах

Рассмотрим, как возникает внутреннее трение в газах. В отличие от жидкостей здесь силы внутреннего трения возникают в результате *микрофизического процесса* *передачи импульса* от одного слоя газа к другому. Переносчиками импульса выступают молекулы газа.

-*Δpx2* *р2*

*Δpx1 р1*

Выделим в движущемся потоке газа вдоль вектора скорости два параллельных соприка­сающихся слоя. Пусть скорости ***v***их движения по величине и направлению тако­вы, как показано на рисунке. В тепловом движении импульсы *р* молекул и их проекции *рx* в рассмат­риваемых слоях неодинаковы. Молекулы, находящиеся в более медленном, «нижнем» слое, имеют меньшую составляющую импульса *рx* и, по­пав в «верхний» слой, затормаживают его. *Δрх* – изменение импульса - направлено навстречу движению этого слоя. «Верхние»же молекулы, наоборот, перено­сят вниз импульс больший, чем имеют молекулы «нижнего» слоя, и поэтому ускоряет нижний слой.

По второму закону Ньютона *Δрх/Δt=F* – сила сопротивления движению. Она зависит от массы молекул, их концентрации (частота переноса импульсов) и температуры (скорость молекул). Таким образом, вязкость газов тем больше, чем больше их молекулярная масса. Она увеличивается также с повышением давления, поскольку при этом растёт концентрация газа. Отсюда также становится понятным, что чем выше температура газа, тем больше скорость теплового движения и интенсивней обмен молекулами ме­жду его слоями, а, следовательно, тем больше коэффициент вязкости этого газа.

**2. Определение вязкости воздуха по методу Пуазейля**

***2.1. Теория метода***

При ламинарном движении жидкостей и газов по гладким цилиндрическим трубам расход *Q* (объем жидкости или газа, протекающих через поперечное сечение трубы за время *Δt*), зависит от ее вязкости, диаметра трубы, ее длины и разности давления на ее концах. Соответствующее соотношение было выведено Пуазейлем и носит его имя.

***Q=Δpπr4Δt/8ηl*** , (1)

В нее входят перепад давления *Δp* на концах трубы, её радиус *r* , длительность течения *Δt*, коэффициент вязкости *η*, длина трубы *l*.

На основании этого соотношения разработан и широко применяется метод измерения вязкости жидкостей и газов - метод Пуазейля. [[3]](#footnote-3)

Для газов метод предполагает измерение расхода газа при его ламинарном протекании по гладкому, тонкому, капиллярному каналу с известными размерами и при контролируемой разности давлений. В данной работе по методу Пуазейля определяется вязкость неосушенного и неочищенного воздуха. Хотя известно, что эти параметры оказывают большое влияние на величину вязкости газов. В установках для точных измерений воздух перед поступлением в капилляр осушают различными, чаще всего химическими осушителями. Важно также помнить, что вязкость газов в большой степени зависит от их температуры, что также предусмотрено в лабораторных приборах.

***2.2. Экспериментальная установка***

Экспериментальная установка для определения воздуха (рис. 2) состоит из сосуда - 1 со сливным шлангом - 2, капилляра -3*,* мерительного стакана -4 и жидкостного манометра - 5*.* Перед опытом сосуд заполняется водой. При опущенном шланге 2 вода из сосуда вытекает и давление становится ниже атмосферного. Так создается перепад давлений воздуха на концах *А* и *В* капилляра 3. Он измеряется манометром 5*.* Этот перепад давлений создает поток воздуха через капилляр, при этом объем вытекшей воды равен объему воздуха, прошедшего через капилляр.

Расчетная формула для определения коэффици­ента вязкости по методу Пуазейля имеет вид:



Рис.2

***η=Δpπr4Δt/8lQ*** , (2)

где *–* *r* радиус капилляра, *l* - его длина, *Q-* объем прошедшего через капилляр воздуха (равен объему вы­текшей из сосуда жидкости), *Δр -* перепад давле­ний на концах капилляра (показание манометра), *Δt* - время протекания воздуха через капилляр.

**Ход выполнения работы**

1. Закрепите сливной шланг в верхнем по­ложении. Заполните сосуд 7 водой и плотно закрепите пробку с капилляром в его горловине.

2. Опустите сливной шланг вниз, подставив под него мерный сосуд. Измерьте секундомером время *t,* в течение которого из сосуда вытечет объем *Q=200 см3* воды.

3. Измерьте в это же времени перепад давлений *Δр* по манометру.

*Примечание:* При постепенном понижении уровня воды в сосуде скорость истечения уменьшается. Это приводит к изменению перепада давлений воздуха на концах капил­ляра. Поэтому необходимо брать среднее за время опыта значение *Δр.*

4. По формуле (2) вычислите вязкость воздуха.

5. Опыт повторите не менее пяти раз. Результаты занесите в таблицу 2 отчета.

6. Оцените относительную погрешность измерения вязкости воздуха. Погрешности измерений диаметра и длины капилляра возьмите из «паспорта» прибора.

9. В выводе сравните полученное значение вязкости воздуха с табличным значением (*η=* *1,8⋅10-5 Па⋅с при 18оС)*

***Дополнительное задание***

1. Вычислите плотность воздуха по формуле *ρ=pM/RT,* где *М* = *0,029 кг/моль –* молярная масса воздуха, *R -* универсальная газовая постоянная, давление *р* и температуру *Т* измерьте по приборам в лаборатории.

2. Вычислите среднюю арифметическую скорость *νср* молекул воздуха при данных условиях.

3. Вычислите среднюю длину свободного пробега молекул воздуха при нормаль­ных условиях, исходя из формулы связи ее с коэффициентом вязкости .

4. Исходя из формулы *р* = *nkT ,* вычислите концентрацию *п* молекул воздуха в лаборатории *(k -* постоянная Больцмана – равна 1.38∙10-23 Дж/К).

5. Вычислить среднее число столкновений молекул, испытываемых одной молекулойза одну секунду .

6. Выполните ряд заданий (см. бланк отчета) практического характера с использование полученных экспериментальных результатов.

**Отчет по лабораторной работе №2**

**«Вязкость газов»**

выполненной ……………………………………………………………..

**Определение вязкости воздуха по методу Пуазейля**

Диаметр капилляра *d =…… ± …… мм*; Длина капилляра *I =…... ± ...... мм*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *№ п/п* | *Объем*  *прошедшего*  *через капилляр*  *воздуха Q,*  *см3 (или мл)* | *Перепад*  *давлений, Δh,*  *см вод. ст.* | *Перепад*  *давлений Δр,*  *Па* | *Время*  *протекания воздуха через капилляр t,*  *с* | *Вязкость воздуха*  *η×10-5 , Па⋅с* |
| *1* |  |  |  |  |  |
| *2* |  |  |  |  |  |
| *3* |  |  |  |  |  |
| *4* |  |  |  |  |  |
| *5* |  |  |  |  |  |
| *Среднее значение вязкости воздуха* | | | | | |

Формулы для расчета и расчет погрешности измерения вязкости воздуха[[4]](#footnote-4):

Вывод: ……………………………………………………………………………………………..

**Дополнительное задание**

Лабораторные условия: *p = …… мм рт. ст.= …… Па; T = …… К*

Результаты расчетов:

1. Плотность воздуха: *ρ = …… кг/м3*

2. Средняя арифметическая скорость молекул воздуха: ν = ………….м/с

3. Средняя длина свободного пробега молекул воздуха: *λ = ………….м*

4. Концентрация молекул воздуха: *n =………… 1/м3*

5. Среднее число столкновений молекул воздуха *z = …………с-1.*

6. По формуле Стокса с использованием результатов работы рассчитайте:

а) максимальную скорость падения в воздухе шарика настольного тенниса диаметром 3 см и массой 0.2 г;

б) диаметр парашюта для парашютиста массой 60 кг, если безопасная скорость приземления равна 5 м/с;

в) максимальный диаметр капелек воды, находящихся во взвешенном состоянии (туман).

# Лабораторная работа №3

# ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ В ЖИДКОСТЯХ

Цель работы: углубление представлений о свойствах поверхности жидкости, о силах натяжения и добавочном давлении под искривленной поверхностью, а также экспериментальное наблюдение и измерение некоторых параметров и соотношений, характеризующих это явление.

Оборудование: набор из трех экспериментальных установок; вода, моющие средства.

1. ***Теоретическая часть***

***1.1. Поверхностное натяжение***

Силы межмолекулярного сцепления быстро убывают с расстоянием, – их действие практически прекращается на расстояниях порядка 10-7см. Потенциальная энергия каждой молекулы в основном зависит только от её взаимодействия *с ближайшими* соседями.

Молекулы, из которых состоит тело, можно разделить на два класса: «*внутренние*» молекулы, имеющие полный набор соседей, и молекулы, находящиеся «*на поверхности*» - молекулы с неполным набором соседей. Потенциальную энергию «внутренних» молекул примем за начало отсчёта энергии. Рассмотрим теперь «наружные» молекулы. Их взаимодействие приводит к «уплотнению» поверхностного слоя, поскольку молекулы пара этого вещества и иные молекулы, находящиеся вне тела, существенно удалены от них.

Чтобы вывести на поверхность новые молекулы жидкости из внутренних слоев надо разорвать связи между наружными молекулами, то есть совершить работу по увеличению площади поверхности. Такую работу следует считать отрицательной, т.е. требующей затраты внешней работы. И наоборот, переход наружных молекул вовнутрь жидкости сопровождается положительной работой – сокращение площади поверхности жидкости энергетически выгодно, поскольку приводит к уменьшению потенциальной энергии. Эта энергия носит название поверхностной энергии. Обозначим эту энергию через ***W***, а площадь поверхности через ***S***. Тогда согласно сказанному,

***W=σS*** (1)

Коэффициент пропорциональности между энергией и площадью поверхности ***σ*** называется *коэффициентом поверхностного натяжения*. Величина этого коэффициента зависит от рода граничных сред, образующих поверхность. Как нетрудно убедиться, ***σ*** имеет размерность энергии, отнесённой к единице поверхности *Дж/м2*, или размерность силы, деленной на длину *F=Н/м.*

Наличие поверхностной энергии существенно влияет на поведении жидкостей. В частности, форма - шар, которую принимает свободная жидкость (жидкость, находящаяся вне сосуда, не ограниченная его формой), соответствует минимуму потенциальной энергии поверхностного.

Рисунок 1

При расчётах вместо энергии поверхностного натяжения нередко пользуются «силой поверхностного натяжения», которая выводится следующим образом. Для изотермического увеличения поверхности жидкости на величину ***ΔS=*** ***L∙Δx*** (см. рис.1)необходимо затратить энергию, равную работе силы поверхностного натяжения ***F=σL*** на пути  ***Δx***

Рисунок 2

***A= ΔW =σΔS*** = ***σΔxL*** (2)

Последнее соотношение можно понимать так: увеличение поверхности происходит вследствие её «растяжения» на величину ***Δх*** в направлении, перпендикулярном ***L***. Сила поверхностного натяжения лежит в плоскости, касательной к поверхности, и направлена так, что стремится сократить площадь этой поверхности.

***1.2. Давление под искривленной поверхностью.***

Если поверхность жидкости искривлена, то, как видно из рисунка 2 поверхностные силы, как касательные к этой поверхности, создают *нескомпенсированные* силы, направленные внутрь кривизны поверхности. Как показал французский физики Лаплас, эти силы создают добавочное («лапласово») давление, величина которого определяется по упрощенной формуле

***рл =σ (1/R1 + 1/R2)*** (3)

где  ***R1*** и ***R2*** - максимальный и минимальный радиусы кривизны поверхности жидкости. Для сферической поверхности формула принимает вид

***рл = 2σ/R***  (4)

Если жидкость находится в контакте с твёрдым телом, то она в какой-то мере растекается по его поверхности, смачивает её. Краевой угол смачивания ***β*** характеризует особенности взаимодействия тройки граничащих конкретных веществ - «жидкость-жидкость», «жидкость-твердое тело» и «жидкость-воздух». Возможные варианты этих взаимодействий приведены на рисунке 3 Говорят, что жидкость «смачивает» поверхность твердого тела, если краевой угол ***β*** острый, если же величина краевого угла больше 90о, то жидкость не смачивает поверхность. В любом из этих случаев «лапласово» давление направлено внутрь кривизны. Именно этим давлением объясняются так называемые *капиллярные* явления. В каналах малых размеров за счет смачивания стенок жидкостью она просачивается на большие расстояния, в том числе поднимается вертикально, преодолевая силу тяготения. При отсутствии смачивания она из этих каналов так же эффективно «выдавливается» (см. рис. 4).

Рисунок 4

Рисунок 3

**2. Экспериментальная часть**

**2.1. Измерение коэффициента поверхностного натяжения**

**жидкости капиллярным методом**

Сила поверхностного натяжения вызывает поднятие жидкости в капиллярах при условии, если она смачивает стенки этого капилляра.. При расчёте равновесного положения жидкости в капилляре следует помнить, что полная потенциальная энергия ссистемы зависит в этом случае от работы силы тяжести и от поверхностной энергии на границе жидкость–стенки капилляра, на границе жидкость–воздух и на границе стенки капилляра–воздух.

Рисунок 5

Проще всего и в этом случае использовать для расчёта не энергию, а силы поверхностного натяжения. При небольших диаметрах капилляров высота столба жидкости под её мениском мало зависит от того, как далеко от оси трубки находится рассматриваемая точка мениска. В этих условиях во всех точках мениска давление жидкости можно считать постоянным, а форму мениска – сферической. Как видно из рисунка 5 радиус ***r*** сферы может быть определен через радиус капилляра и краевой угол смачивания по формуле ***r=R/cosβ,***  тогда формула (4) лапласова давления для одной сферической поверхности преобразуется к виду  ***рл =2σcosβ /R***

Рисунок 6

Рассмотрим теперь равновесие столба жидкости (рис.6) , ограниченного сверху мениском, а снизу – поверхностью жидкости в сосуде. Давление *р* столба жидкости (гидростатическое давление) можно определить по формуле

***р*=*ρgh0***, (5)

где ***ρ*** плотность жидкости. В стационарном состоянии это давление уравновешивается давлением под искривленной поверхностью жидкости. В свою очередь, это давление для случая сферической поверхности рассчитывается по формуле Лапласа

***р=2σcosβ/R*,** (6)

где ***σ***- коэффициент поверхностного натяжение жидкости, *R* – внутренний радиус капилляра, *β*- краевой угол смачивания данной жидкости и материала капилляра.

Из равенств (5) и (6) получаем для коэффициента поверхностного натяжения

***σ= Rρgh0 /2cosβ*** (7)

Последнее выражение лежит в основе «капиллярного» метода измерения коэффициента поверхностного натяжения жидкости. Для этого достаточно иметь капилляр с известным радиусом, знать краевой угол смачивания и измерить высоту *h0* поднятия жидкости под действием капиллярных сил. Погрешность измерения высоты столба при малом диаметре капилляра незначительна, даже если ее измерять до нижней кромки мениска.

Как видно из (7), в расчётную формулу входит краевой угол *β*. Величина этого угла зависит, как известно, от соотношения между поверхностными энергиями на границах жидкость – воздух, жидкость - стенка и стенка – воздух. В нашем случае, когда в качестве жидкости используется водопроводная вода, а капилляр изготовлен из стекла, *cosβ* может принимать значения от 0.9 до 1,0.

Формула (7) не вполне точна, несколько более точная формула имеет вид

***σ = Rρg (ho + R/3)***  (8)

(Поскольку высота поднятия жидкости в капилляре невелика, то можно повысить чувствительность метода установив капилляр наклонно под углом *φ=*30о. В этом случае жидкость продвинется по капилляру на большее расстояние L . Высоту можно определить по формуле *ho= Lsinφ*, а «лапласово» давление по формуле ***рл =αcosβ(1/R1 + 1/R2)*** , приняв R2 равным R1/cos30o)

**Измерения.**1. Все исследуемые капилляры и внутреннюю поверхность кюветы промойте сначала спиртом, а потом водой.

2. При помощи измерительного микроскопа определите диаметр и радиус капилляра.

3. Погрузите капилляр в кювету так, чтобы под водой оказался конец трубки длиной не менее 5мм. Внимательно следите за тем, чтобы внутрь поднимающегося столба воды не попали пузырьки воздуха.

4. При помощи отсчётного устройства определите величину h0 . Воспользовавшись известными значениями ускорения свободного падения (g = 9,8 м/с2) и плотности воды (***ρ*** = 103 кг/м3) определите коэффициент поверхностного натяжения воды.

5. Для сравнения измерьте коэффициент поверхностного натяжения слабого водного раствора сахара, соли, мыла или иного моющего средства. (После этого следует промыть капилляр в проточной воде, чтобы эти опыты не сказались на опытах с чистой водой)

**2.2. Измерение коэффициента поверхностного натяжения**

**жидкости в клиновидном слое**

Экспериментальная установка состоит из двух стеклянных пластин, устанавливаемых в коробку с исследуемой жидкостью, и отрезков тонкой проволоки.

Этот метод является разновидностью капиллярного и состоит в следующем. Вместо капиллярной трубки применяется система из двух плоских стекол и калиброванной проволоки, сложенных таким образом, что между стеклами образуется тонкий клиновидный воздушный промежуток (рис.7).

Опустив систему основанием клина в воду можно наблюдать продвижение жидкости в сторону большей толщины клина. Если система выставлена вертикально, то подъем прекращается тогда, когда гидростатическое давление столба ***p = ρgho***выровняется с «лапласовым» давлением мениска. В данном случае поверхность имеет цилиндрическую форму, поэтому один из радиусов в формуле ***рл = σcosβ(1/R1 + 1/R2)***  можно принять равным бесконечности. Следовательно, в данном методе для определения коэффициента поверхностного натяжения следует пользоваться формулой

Рисунок 7

***σ=Rρgh0 /cosβ*** (9)

Как видно из рисунка радиус этой цилиндрической поверхности с незначительной погрешностью можно определить из геометрических соображений по формуле ***R = Dho/2L***

**Измерения**. 1. Тщательно очистите салфеткой рабочие (внутренние) поверхности стеклянных пластин.

2. Измерьте микрометром диаметр ***D*** проволоки, выпрямите ее и вложите между пластинами на расстоянии 0,5-1,0 см от края пластины параллельно ему.

3. Закрепите соединенные пластины прищепкой и измерьте линейкой расстояние ***L*** от основания клина до проволоки.

4. Установив пластины в коробку с жидкостью, проследите за тем, как жидкость поднимается по капиллярному клину. Жидкости в коробке должно быть так мало, чтобы основание клина только-только касалась её поверхности.

5. Когда подъем жидкости прекратится, измерьте высоту столба ***h0***.

6. Приняв ***cosβ*** = 0.9, вычислите величину коэффициента поверхностного натяжения.

7. Опустив пластины основанием на сухую салфетку можно за счет капиллярных её свойств уменьшить высоту столба жидкости в клине, после чего опыт с измерением ***h0*** можно повторить.

8. Проделайте не менее 5 опытов, и после математической обработки сделайте вывод из экспериментальных наблюдений.

***Дополнительное задание:***  Разберите клин и соберите вновь «грязными» сторонами внутрь. Повторите измерение ***h*** и определите коэффициент поверхностного натяжения. Сделайте вывод из этих наблюдений и объясните причины.

**2.3. Измерение коэффициента поверхностного натяжения**

**жидкости методом капель**

Особым образом «лапласово» давление проявляет себя при формировании капель жидкости. Рисунок 8 иллюстрирует формирование и рост капли до момента ее отрыва в поле силы тяжести. Очевидно, что отрыву предшествует выравнивание двух сил – силы тяжести и силы поверхностного натяжения:

Рисунок 8

***mg = σ2πr,***

куда входят: масса капли, радиус капилляра и коэффициент поверхностного натяжения. Отсюда имеем формулу и метод определения коэффициента поверхностного натяжения:

***σ = mg/2πr*** (10)

Суть метода сводится к тому, чтобы определить массу одной медленно «выросшей» капли и измерить длину окружности по границе поверхностного слоя в самой узкой части «шейки» капли в момент обрыва. Эта длина совпадает с длиной окружности наружной цилиндрической части трубки, из которой вытекает капля.

Экспериментальная установка для измерения коэффициента поверхностного натяжения методом капель состоит из основания, на котором закреплена трубка бюретки, проградуированная в миллилитрах (кубических сантиметрах). Цена деления 0,2 мл. Гибким шлангом трубка соединяется с одной из двух инъекционных игл, концы которых отпилены перпендикулярно оси. Шланг снабжен зажимом, при помощи которого можно регулировать скорость истечения жидкости из бюретки.

**Измерения.** 1.Изучите конструкцию экспериментальной установки. При помощи измерительного микроскопа определите наружные радиусы инъекционных игл.

2. Зажимом перекройте шланг (верхнее положение колесика) и заполните бюретку исследуемой жидкостью, подставьте под иглу стакан для сбора жидкости.

3. Проверьте соединение нижнего конца шланга с иглой и, медленно открывая зажим, создайте такой поток, когда капли следуют друг за другом с интервалом не менее 5 секунд.

4. По делениям бюретки определите количество ***N*** капель, составляющих 1 мл жидкости. Опыт проделайте не менее 5 раз.

5. Используя плотность жидкости, определите массу одной капли: ***m=*** ***ρ/N***. Плотность воды принять равной 1 г/мл.

6. Усредните экспериментальные результаты и по формуле (10) рассчитайте величину коэффициента поверхностного натяжения исследуемой жидкости.

**Отчет по лабораторной работе №3**

**«Поверхностное натяжение в жидкостях»**

выполненной ……………………………………………………………..

**1. Измерение коэффициента поверхностного натяжения**

**жидкости капиллярной трубкой**

***σ = Rρg (ho + R/3)***

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Радиус капилляра, мм* |  |  |  |  |  |
| *Плотность жидкости, г/см3* |  |  |  |  |  |
| *Значение* ***g***, *см/с2* |  |  |  |  |  |
| *Высота столба в капилляре, см* |  |  |  |  |  |
| *Величина коэффициента* ***σ,*** *Н/м* |  |  |  |  |  |

Заключение о проделанных измерениях. 1. ***σ= σср ± Δ σ*** *Н/м.* ***σ=………±……...****Н/м*

2. Сравнение с табличными значениями

**2. Измерение коэффициента поверхностного натяжения**

**жидкости в клиновидном слое**

***σ=Rρgh0 /cosβ*** ***R = Dho/2L***

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Диаметр проволоки D, мм* |  |  |  |  |  |
| *Расстояние L, мм* |  |  |  |  |  |
| *Высота подъема ho, мм* |  |  |  |  |  |
| *Плотность жидкости, г/см3* |  |  |  |  |  |
| *Значение cosβ* |  |  |  |  |  |
| *Величина коэффициента* ***σ,*** *Н/м* |  |  |  |  |  |

Заключение о проделанных измерениях. 1. ***σ=………±……...****Н/м*

2. Сравнение с табличными значениями

**3. Измерение коэффициента поверхностного натяжения**

**жидкости методом капель**

***σ = mg/2πr*** ***m= ρ/ N***

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Радиус иглы* ***r****, мм* |  |  |  |  |  |
| *Плотность жидкости, г/см3* |  |  |  |  |  |
| *Объём вытекшей жидкости, мл* |  |  |  |  |  |
| *Масса вытекшей жидкости, г* |  |  |  |  |  |
| *Число капель,* *N* |  |  |  |  |  |
| *Масса одной капли, г* |  |  |  |  |  |
| *Величина коэффициента* ***σ,*** *Н/м* |  |  |  |  |  |

Заключение о проделанных измерениях. 1. ***σ=………±……...****Н/м*

2. Сравнение с табличными значениями

1. В жидкостях и твёрдых телах оно примерно в 10 раз меньше, чем в газах при нормальном давлении. [↑](#footnote-ref-1)
2. Плотность жидкости можно уточнить по справочным таблицам её теплового расширения. [↑](#footnote-ref-2)
3. При турбулентном течении жидкости в трубах любого сечения скорость потока, как и расход жидкости, пропорциональны не первой степени, а корню квадратному из перепада давления. [↑](#footnote-ref-3)
4. Оценка погрешности измерения производится по данным первого опыта с указанием погрешностей всех величин, входящих в расчетную формулу. В окончательный результат вносится среднее по всем опытам значение вязкости. [↑](#footnote-ref-4)