|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Содержание**  Введение | |  |
|  |
| Тема 1 | Динамика как раздел механики Лабораторная работа 1.1 Определение коэффициентов трения  Лабораторная работа 1.2 Изучение и проверка законов сохранения импульса и энергии на примере соударения шаров |  |
|  |
|  |
| Тема 2 | Динамика вращательного движения твердого тела  Лабораторная работа 2.1 Определение момента инерции тела и проверка теоремы Штейнера методом крутильных колебаний  Лабораторная работа 2.2 Проверка основного закона динамики вращательного движения |  |
|  |
|  |
| Тема 3 | Механические свойства жидкостей и газов  Лабораторная работа 3 Определение коэффициента внутреннего трения жидкости по методу Стокса |  |
|  |
| Тема 4 | Колебания и волны в механике  Лабораторная работа 4 Изучение колебательного движения математического и физического маятников |  |
|  |
| Тема 5 | Описание состояний молекул в молекулярно–кинетической теории вещества  Лабораторная работа 5 Определение среднего коэффициента линейного расширения твердых тел |  |
|  |
| Тема 6 | Первое начало термодинамики  Лабораторная работа 6 Определение удельной теплоемкости твердых тел |  |
|  |
| Тема 7 | Поверхностное натяжение жидкостей, испарение и кипение жидкостей  Лабораторная работа 7.1 Определение коэффициента поверхностного натяжения методом отрыва проволочного контура  Лабораторная работа 7.2 Определение влажности воздуха |  |
|  |
|  |
| Тема 8 | Постоянный электрический ток  Лабораторная работа 8 Градуировка шкалы гальванометра |  |
|  |
| Тема 9 | Методы расчета электрических цепей постоянного тока  Лабораторная работа 9.1 Измерение сопротивления проводников мостиком Уитстона .  Лабораторная работа 9.2 Изучение работы двухэлектродной электронной лампы |  |
|  |
|  |
| Тема 10 | Магнитное поле и его свойства  Лабораторная работа 10 Определение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля земли тангенс–гальванометром |  |
|  |
| Тема 11 | Электромагнитная индукция  Лабораторная работа 11 Проверка закона Ома для переменного тока |  |
|  |
| Тема 12 | Фотометрия  Лабораторная работа 12 Изучение основных законов фотометрии |  |
|  |
| Тема 13 | Интерференция волн  Лабораторная работа 13 Определение длины световой волны с помощью колец Ньютона |  |
|  |
| Тема 14 | Дифракция волн  Лабораторная работа 14 Изучение дифракции света при помощи газового лазера |  |
|  |
| Тема 15 | Поляризация волн  Лабораторная работа 15 Изучение вращения плоскости поляризации оптически активными растворами |  |
|  |
| Тема 16 | Тепловое излучение  Лабораторная работа 16 Изучение основных характеристик вакуумного фотоэлемента |  |
|  |
| Тема 17 | Атом и атомное ядро  Лабораторная работа 17 Изучение спектральных закономерностей в атоме водорода и определение постоянной Ридберга |  |
|  |
| Литература | |  |

# **Введение**

В соответствии с учебным планом специальности 1–51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» изучение курса «Физика» сопровождается лабораторными работами. Для проведения работ в практикуме используется типовое оборудование, а также оборудование, разработанное в лабораториях университета.

Описание и методика проведения этих работ даны в настоящем практическом пособии. Каждая работа содержит краткое изложение сущности изучаемых явлений, сведения об экспериментальной методике, положенной в основу лабораторной работы, подробное описание проведения измерений, дается описание используемых приборов.

Выполнение каждой лабораторной работы связано с необходимостью предварительного изучения определенной теоретической части курса. Необходимо помимо данного пособия ознакомиться с соответствующим разделом учебника и конспектом лекций, т. е. разобраться в том, какое явление изучается, какие величины измеряются.

Работа в лаборатории является одним из основных элементов процесса изучения физики, поскольку учит самостоятельно воспроизводить и анализировать важнейшие физические явления, получать правильные числовые значения измеряемых величин, сопоставлять их с имеющимися теоретическими соотношениями.

Каждая лабораторная работа рассчитана на одно занятие продолжительностью два академических часа.

Данное практическое пособие написано авторами на основании многолетнего опыта проведения лабораторных работ по курсу «Физика».

# **Тема 1**

# **Динамика как раздел механики**

1. Законы Ньютона в классической механике
2. Силы трения
3. Закон сохранения импульса

# **Основные понятия по теме**

Во всех реальных механических системах имеют место силы трения, движение которых в большинстве случаев связано с превращением механической энергии в тепловую. Силы трения делят на силы внешнего трения и силы внутреннего трения.

Сила внутреннего трения – это сила сопротивления, возникающая при перемещении слоев жидкой и газообразной среды относительно друг друга.

Внешнее трение делят на статическое (трение покоя), возникающее между неподвижными взаимодействующими телами и кинетическое, возникающее при перемещении тел относительно друг друга.

Если твердое тело скользит по поверхности, то между телом и поверхностью возникает сила трения скольжения. Сила трения действует на это тело в направлении, противоположном направлению скольжения. Если соприкасающиеся поверхности достаточно гладкие, то сила трения скольжения *тс* пропорциональна силе давления и практически не зависит от скорости. В этом случае выполняется закон Амонтона-Кулона:

  . (1.1)

Безразмерный множитель называется коэффициентом трения.

Если твердое тело лежит на поверхности, то оно может оставаться в покое и в том случае, когда на тело действуют достаточно малые силы вдоль поверхности. В этом случае между телом и поверхностью возникает сила трения покоя, которая компенсирует приложенную силу.

При возрастании внешней силы увеличивается и сила трения покоя. Однако сила трения покоя не может расти бесконечно. Существует максимальная сила трения покоя, которая для достаточно гладких поверхностей пропорциональна силе нормального давления. Максимальная сила трения покоя  несколько меньше , но для достаточно гладких поверхностей это отличие может быть несущественным. Если внешняя сила превысит , то тело начнет скользить по поверхности.

При движении тела в воздухе или жидкости возникает еще один вид трения – «жидкое». Для достаточно малых скоростей и обтекаемых форм (шар) эту силу трения можно считать пропорциональной скорости и направленной против скорости движения тела.

В случае несимметричной формы тела может возникнуть момент силы, действующей со стороны среды на тело.

При достаточно больших скоростях и определенных формах тела может возникнуть сила, перпендикулярная движению (подъемная сила крыла самолета). Составляющую силы, направленную против движения, в этом случае называют силой лобового сопротивления. В широком интервале достаточно больших скоростей силу сопротивления можно считать пропорциональной квадрату скорости.

Трение качения возникает, например, при перекатывании цилиндра или шара по твердой поверхности тела. Возникновение трения качения можно объяснить деформациями цилиндра и плоскости, имеющими место в реальных случаях.

Рассмотрим цилиндр, катящийся по горизонтальной плоскости с постоянной скоростью (рисунок 1.1). Из–за деформации поверхностей перед катящимся цилиндром возникает своеобразная «ступенька».

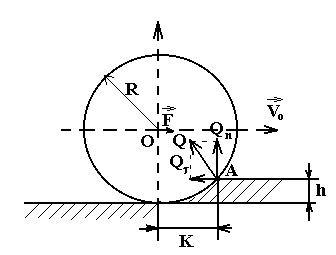


Рисунок 1.1 – Цилиндр, катящийся по горизонтальной плоскости с постоянной скоростью

Пусть – сила реакции со стороны «ступеньки». Нормальная составляющая силы реакции равна силе нормального давления цилиндра на плоскость:

*n=*.

Тангенциальная составляющая представляет собой силу трения, препятствующую качению цилиндра.

Для того чтобы цилиндр двигался по плоскости равномерно, необходимо:

а) наличие внешней силы , компенсирующей действие силы трения *=*;

б) равенство нулю суммарного момента сил, действующих на цилиндр.

Запишем уравнение моментов относительно мгновенной оси вращения цилиндра, проходящей через точку :

  , (1.2)

где – плечо силы .

При записи (1.2) учтено, что высота «ступеньки» много меньше радиуса цилиндра ().

Учитывая, что , из (1.1) для силы трения качения получаем следующее выражение

  . (1.3)

Величину называют коэффициентом трения качения. В отличие от коэффициента статического трения коэффициент , являясь плечом силы тяжести, имеет размерность длины.

В данной работе коэффициент трения качения определяется методом наклонного маятника, представляющий из себя шарик, подвешенный на нити и катящийся по наклонной плоскости (рисунок 1.2). Затухание такого маятника обусловлено главным образом трением качения.

Расчетную формулу для определения можно получить, приравняв работу сил трения и энергию, рассеянную за полных колебаний маятника.

За полных колебаний при переходе их положения в положение маятник теряет энергию:

,

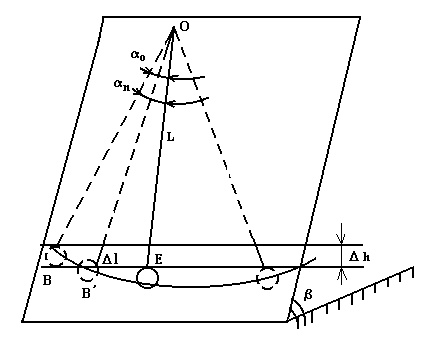
равную работе сил сопротивления на пройденном пути :

  , (1.4)

где – работа силы трения,

– работа по преодолению сопротивления среды и трения в подвесе маятника,

– потеря высоты центром тяжести шара.

Рисунок 1.2 – Наклонный маятник

Пренебрегая ввиду ее малости, имеем:

  . (1.5)

После геометрических преобразований, очевидных из рисунка 1.2, получим:

  , (1.6)

откуда для получаем:

  , (1.7)

где – радиус шара.

.

Если  – угол отклонения маятника в начальный момент,  – угол отклонений после полных колебаний, – длина маятника, то путь, который проходит центр тяжести маятника за колебаний:

,

где .

Считая углы и малыми (), окончательно для коэффициента трения получаем:

  , (1.8)

где и − значения углов в радианах.

Законы сохранения являются основными законами природы и составляют основу современной физики. К ним относятся: закон сохранения импульса (количества движения), закон сохранения энергии. Закон сохранения момента импульса, закон сохранения электрического заряда и др.

Импульсом материальной точки называется произведение массы материальной точки на его скорость:

  . (1.9)

Импульс – векторная величина. Его направление совпадает с направлением скорости. Единица измерения в системе СИ .

Импульс системы материальных точек является аддитивной величиной, т.е. равен сумме импульсов тел, входящих в данную систему:

.

В замкнутой системе (в которой тела системы взаимодействуют только друг с другом и не взаимодействуют с телами, не входящими в выделенную систему тел) имеет место закон сохранения импульса – полный импульс системы тел сохраняется, хотя импульс каждого тела может изменяться:

  , (1.10)

или

  , (1.11)

где – импульс-го тела, входящего в систему.

Смысл закона сохранения импульса можно выразить и в иной форме. Если импульс системы не изменяется, то изменение импульса равно нулю:

,

где – изменение импульса,

– полный импульс системы до взаимодействия или прекращения процессов в системе,

– полный импульс системы после взаимодействия или прекращения процессов в системе.

В дифференциальном виде закон сохранения импульса имеет вид:

.

В незамкнутых системах закон сохранения импульса выполняется в следующих случаях:

1. Внешние силы действуют, но их результирующая равна нулю ;
2. Проекция внешних сил на какое-то направление равна нулю (система частично замкнута), следовательно, проекция импульса на это направление сохраняется, хотя сам вектор импульса не остается постоянным;
3. Внешние силы много меньше внутренних сил . Изменение импульса каждого из тел практически равно ;
4. Закон сохранения импульса применяется также к системам, в которых время взаимодействия настолько мало, что возникающие в системе силы во много раз превосходят внешние силы, и поэтому действием внешних сил можно пренебречь (например, силами, возникающими при выстреле, взрыве, ударе и др.).

Внутренние силы, действующие в системе, не могут изменить полного импульса системы, а позволяют лишь отдельным телам системы частично или полностью обмениваться импульсами.

Закон сохранения импульса справедлив для любых замкнутых систем тел в любой инерциальной системе координат.

Изменение импульса тела постоянной массы может произойти только в результате изменения скорости и всегда обусловлено действием внешней силы.

,

т.к. , то:

  . (1.12)

– называется импульсом силы. Он численно равен изменению импульса (количества движения) тела. Формула (1.12) справедлива только в том случае, когда сила постоянна в течение времени действия силы. В дифференциальном виде закон изменения импульса запишется в виде:

.

Кинетической энергией тела называется энергия его механического движения. В ньютоновской механике и выражение для кинетической энергии материальной точки имеет вид:

.

Кинетическая энергия механической системы равна сумме кинетических энергий всех частей этой системы:

.

Потенциальной энергией называется часть энергии механической системы, зависящая от взаимного расположения всех частиц (материальных точек) системы и от их положении во внешнем потенциальном поле:

*.*

Потенциальная энергия деформированного тела:

.

Закон сохранения и превращения энергии утверждает, что при любых процессах, протекающих в изолированной системе, ее полная энергия не изменяется. Возможно только превращение энергии из одной формы в другую.

  . (1.13)

*.* (1.13/)

где – кинетическая энергия,

– потенциальная энергия,

– внутренняя энергия.

Если в замкнутой системе действуют неконсервативные силы (силы трения, сопротивления), то полная механическая энергия системы не сохраняется и ее изменение равно работе неконсервативных (диссипативных) сил.

,

где – работа диссипативных сил.

Работа этих сил, превращаясь в тепло, не изменяет потенциальную энергию системы:

  , (1.14)

где – работа сил трения, действующих в системе,

и – кинетическая и потенциальная энергии системы до взаимодействия,

и – кинетическая и потенциальная энергии системы после взаимодействия.

Силы трения направлены в сторону, противоположную перемещению тела, и, следовательно, работа, совершаемая ими, оказывается отрицательной. Таким образом, и в замкнутой системе убывает. Механическая энергия – сумма потенциальной и кинетической энергий.

Если система не является замкнутой, то ее энергия может изменяться (уменьшаться или увеличиваться) при одновременном увеличении или уменьшении энергии взаимодействующих тел, и изменение полной энергии системы при переходе из одного состояния в другое равно работе, совершаемой при этом внешними силами.

Превращение кинетической энергии в потенциальную и обратно наблюдается при абсолютно упругом ударе. Ударом называется явление конечного изменения скорости твердых тел за весьма малый промежуток времени, возникающее при столкновении движущихся тел.

В большинстве случаев возникающие при ударе мгновенные (ударные) силы достаточно большие по величине. Для системы соударяющихся тел они являются внутренними и за время удара их импульсы много больше импульсов внешних сил за то же время. Поэтому в процессе удара влиянием внешних сил можно пренебречь и считать, что система соударяющихся тел является замкнутой, следовательно, в ней выполняются законы сохранения количества движения и момента количества движения.

Абсолютно упругим ударом называется такой удар, при котором сумма кинетических энергий соударяющихся тел сохраняется; абсолютно неупругим называется такой удар, после которого соударяющиеся тела движутся с одинаковой скоростью, образуя одно целое.

Различают удар прямой и косой, центральный и нецентральный. Если скорости центров инерции соударяющихся тел перед ударом лежат на линии удара или параллельны линии удара, то удар называется прямым, в противном случае – косым (общая нормаль к поверхности соударяющихся тел в точке их соприкосновения называется линией удара). Если при ударе центры масс лежат на линии удара, то удар называется центральным.

При абсолютном упругом ударе шаров относительная скорость меняет свое направление на противоположное, оставаясь неизменной по величине. При частично упругом соударении скорости тел вследствие потери энергии будут меньше, чем после абсолютно упругого соударения.

Для количественной оценки уменьшения относительной скорости вводится коэффициент восстановления по скорости:

  . (1.15)

Посредством можно характеризовать упругие свойства того или иного материала.

При упругом соударении сумма энергий соударяющихся тел не изменяется, а при неупругом – большая часть полной энергии затрачивается на деформацию тел. Оба этих процесса представляют собой идеализированные частные случаи.

Поэтому наряду с коэффициентом восстановления относительной скорости вводят коэффициент восстановления кинетической энергии:

  , (1.16)

где  – суммарная кинетическая энергия тел до удара,

– суммарная кинетическая энергия тел после удара.

Коэффициент восстановления характеризует рассеяние механической энергии при ударе.

В настоящей работе изучается прямой центральный удар шаров, подвешенных на нитях, причем один из шаров (левый) до удара покоится. В процессе колебаний шары будут испытывать сопротивление окружающей среды, однако конструкция установки и условия работы таковы, что этим фактором можно пренебречь.

Рассмотрим взаимодействие шаров, подвешенных на нитях при отклонении одного из них от положения равновесия.

Весь процесс условно делится на три этапа:

1. При отклонении правого шара массой его центр масс поднимается на некоторую высоту , а шар при этом приобретает потенциальную энергию . Если шар отпустить, то он, возвращаясь в положение равновесия, приобретает скорость, при этом его потенциальная энергия уменьшается, переходя в кинетическую. Т.к. нить, на которой подвешен шар, невесомая и нерастяжимая, то проекция силы натяжения на направление уравновешивается силой тяжести. Силой трения в данном случае можно пренебречь, то систему, состоящую из правого шара можно считать «замкнутой» по направлению . В этом случае применяется закон сохранения механической энергии – в верхней точке при наибольшем отклонении вся энергия состоит из потенциальной, в низшей точке траектории вся потенциальная энергия полностью переходит в кинетическую и можно записать закон сохранения механической энергии для правого шара:

  . (1.17)

1. Перейдя в низшее положение, шар массой приобретает горизонтальную составляющую скорости  и сталкивается с левым покоящимся шаром. При этом силы натяжения уравновешиваются силами тяжести, трением можно пренебречь, а время взаимодействия шаров достаточно мало. В этом случае представим систему из двух взаимодействующих шаров, для которой законы сохранения импульса и энергии примут вид:

  . (1.18)

  , (1.19)

где  и – скорости шаров после удара.

В скалярном виде с учетом направления скоростей шаров формула (1.19) запишется:

  . (1.20)

1. После удара кинетическая энергия обоих шаров будет переходить в потенциальную, максимальное значение которой определяется максимальной высотой подъема центров масс шаров и .

Закон сохранения энергии для обоих шаров после удара запишется:

для первого шара:

  , (1.21)

для второго шара:

  , (1.22)

где  – высота начального положения ударяющего (правого) шара,

– высота, на которую поднимается ударяющий (правый) шар после соударения,

– высота, на которую поднимается ударяемый (левый) шар после соударения.

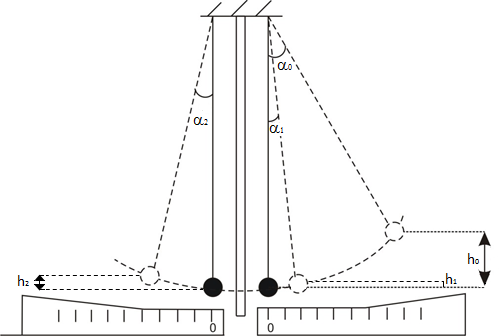


Рисунок 1.3 – Схема установки для проверки законов сохранения импульса и энергии

Т.о. в данной работе проявляется закон сохранения энергии (1.17), (1.18), (1.21), (1.22) и закон сохранения импульса (1.19), которые мы должны экспериментально проверить и убедиться в их справедливости.

В данном виде законы проверить нельзя, т.к. мы не можем измерить скорость и затруднительно определить высоту, поэтому задача сводится к тому, чтобы выразить искомые величины через те, которые легко определяются экспериментальными измерениями. Решив (1.17), (1.21), (1.22) относительно , и получаем:

, (1.23)

где – скорость правого шара в момент удара,

и – скорости шаров после удара.

В данной работе проще и точнее измерить не высоту подъема, а дугу или угол, на который был отклонен шар, для чего выразим их через высоту *h*. Высоту *h*, в свою очередь, выразим через наибольшие углы отклонения правого и левого шаров до и после удара *,*  ( – начальное положение правого шара).

Из рисунка 1.3 следует:

.

Подставив выражения для *, ,* , соответствующие углам , , в формулу (1.23), а полученные выражения для , и в формулу (1.20).

Тогда проверяемые равенства (1.17)–(1.20) можно заменить выражением:

  . (1.24)

А выражение (1.7) и (1.8) можно привести к виду:

  . (1.25)

  . (1.26)

В эти выражения входят величины, которые легко можно измерить экспериментально и проверить справедливость выражения (1.24).

Таким образом, проверив равенство (1.24), мы докажем справедливость закона сохранения импульса и энергии на примере соударения шаров (1.17) – (1.22).

А по формуле (1.25) и (1.26) можно охарактеризовать степень упругости удара этих шаров.

**Вопросы для самоконтроля**

1. Виды сил трения. Их характеристика.
2. Зависимость сил трения от скорости движения.
3. Закон Амонтона-Кулона.
4. Укажите основные источники погрешности измерения коэффициентов трения в выполненной работе.
5. Что называется количеством движения (импульсом) материальной точки?
6. Как определяется импульс физического тела, системы тел?
7. Сформулируйте закон сохранения импульса системы тел и условия его применения.
8. Сформулируйте закон сохранения энергии в механике и условия его применения.
9. Какими количественными параметрами характеризуется удар твердых тел?
10. Примените законы сохранения импульса и механической энергии к заданной в работе задаче о соударении шаров.

**Лабораторная работа 1.1**

**Определение коэффициентов трения**

**Цель работы:** 1) ознакомиться с методом определения коэффициента статического трения; 2) ознакомиться с методом определения коэффициента трения качения с помощью наклонного маятника; 3) вычислить коэффициент статического трения и коэффициент трения качения шарика по металлической поверхности.

**Приборы и принадлежности:** установка, набор тел, набор поверхностей.

**Ход работы**

**Упражнение 1. Определение коэффициента статического трения.**

Рисунок 1.4 – Тело, помещенное на наклонную плоскость

Если тело поместить на горизонтальную поверхность, а затем начать ее наклонять, то при некотором угле наклона тело начнет скользить. При этом на тело действуют три силы (рисунок 1.4): – сила тяжести , сила нормального давления и сила трения скольжения .

1. Установить плоскость установки, изображенной на рисунке 1.4, в горизонтальном положении и положить на нее брусок из исследуемого материала.
2. Плавно наклоняя плоскость, определить угол , при котором брусок начинает скользить по плоскости. По формуле  рассчитать .
3. Опыт провести для данной пары трения не менее трех раз. Исследование провести с другими парами трения.
4. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Результаты измерений

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер опыта | Пара  трения | , град | , град |  |  |  |  |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |

,

где – половина наименьшего деления измерительной шкалы.

**Упражнение 2. Определение коэффициента трения качения с помощью наклонного маятника.**

Наклонный маятник – шарик на нити, который в процессе колебаний катается по металлической пластине (рисунок 1.2). Угол наклона плоскости можно регулировать.

1. Установить пластинку из заданного материала в специальное крепление. На нить подвесить шарик. При вертикальном положении нити шарик должен находиться против нулевого деления шкалы.
2. Установить наклонную плоскость на заданный угол (250–600).
3. Отклонить шарик от положения равновесия на угол  и без толчка отпустить. Через 7–10 полных колебаний заметить угол отклонения маятника .
4. Результаты измерений занести в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Результаты измерений

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер опыта | Пара трения | Угол  наклона  маятника, град | , град |  | , град | ,  см |  |  |  |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |

Измерения повторить 3 раза при тех же *,,* и .

1. Измерить штангенциркулем или микрометром диаметр шарика и определить его радиус .
2. По формуле (1.8) вычислить коэффициент трения качения.
3. Повторить п.п. 3–6, измерив угол с той же парой трения.
4. Повторить п.п. 3–6 для других пар трения при том же угле , меняя пластины и шарики.
5. Сделать выводы.

**Лабораторная работа 1.2**

**Изучение и проверка законов сохранения импульса и энергии на примере соударения шаров**

**Цель работы:** 1) изучить законы сохранения импульса и энергии и условия их применения, 2) проверить выполнимость законов сохранения импульсов и энергии на примере соударения шаров, 3) определить количественные характеристики процесса соударения шаров.

**Приборы и принадлежности:** установка, набор шаров, весы.

**Описание установки**

В работе используется установка, представляющая собой два маятника равной длины с массами в виде шаров. Установка состоит из треноги 1 (рисунок 1.5), на трех подъемных винтах 2 трубы 3, несущей подвески шаров 4. Бифилярный подвес 5 имеет возможность перемещаться, изменяя тем самым расстояние. При изменении межцентрового расстояния левую шкалу 6 необходимо сместить.

Электромагнит 7, удерживающий шар, укреплен на штанге 8 и может перемещаться вдоль шкалы 9.

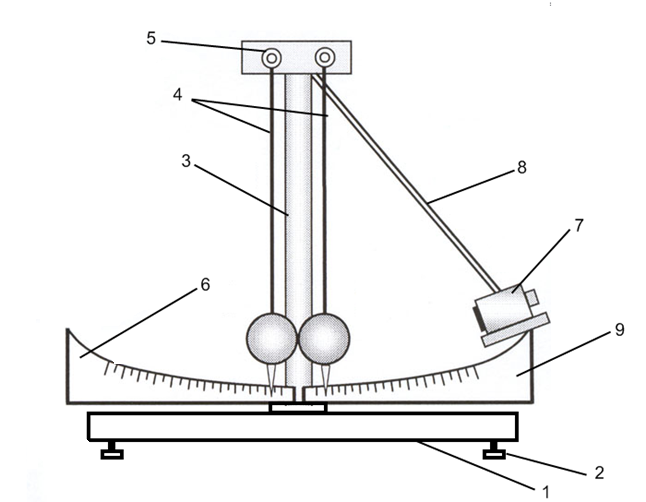


Рисунок 1.5 – Установка для проверки законов сохранения импульса и энергии

**Ход работы**

1. Определить на технических весах массы шаров с точностью до 1г (см. правила взвешивания).
2. Закрепить шары на нитях подвеса. При этом шар большей массы поместить слева. В положении равновесия шары должны касаться друг друга.
3. Проверить совпадение нулевых отметок шкал с указателями положения шаров.
4. Отвести правый шар от положения равновесия.
5. Сделав пробный пуск правого шара, устранить неточности движения шаров.
6. Зафиксировав начальный угол  начального отклонения правого шара, произвести им удар по покоящемуся в положении равновесия левому шару и сделать отсчет первого отклонения обоих шаров  и  (рисунок 1.3).
7. При том же значении угла проверить опыт не менее 10 раз. Полученные значения отклонений и занести в таблицу 1.1. Определить средние значения *1* и *2*.

Таблица 1.3 – Результаты измерений

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Начальное положение правого шара, | Отклонение шаров | Номер опыта | | | | | | | | | | Средние  значения  *1* и *2* |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. Подставить средние значения и в выражение (1.24), произвести вычисления и убедиться в его справедливости.
2. По формулам (1.25) и (1.26) вычислить коэффициенты восстановления относительной скорости и кинетической энергии соответственно.
3. Определить абсолютную и относительную ошибку найденных величин.
4. Сформулировать выводы о выполнимости закона сохранения импульса и энергии; о степени упругости удара.
5. По указанию преподавателя повторить эксперимент при другом значении начального угла отклонения или для шаров других масс.

**Тема 2**

**Динамика вращательного движения твердого тела**

1 Момент инерции твердого тела.

2 Момент импульса твердого тела.

# **Основные понятия по теме**

Момент инерции является мерой инертности тела по отношению к вращательному движению; он играет роль, аналогичную роли массы при поступательном движении.

Момент инерции материальной точки относительно какой–нибудь оси вращения называется величина:

  , (2.1)

где – масса материальной точки,

– расстояние точки от оси вращения.

Единица измерения в системе

Момент инерции твердого тела относительно некоторой оси вращения равен сумме моментов инерции элементарных масс, составляющих данное тело:

  , (2.2)

при непрерывном распределении масс:

  . (2.2/)

Таким образом, момент инерции тела зависит от его массы и распределения массы относительно данной оси вращения. Сумма моментов инерций определяется общей массой тела и распределением массы относительно оси вращения: – полое тело или сплошное; как проходит ось вращения относительно тела – через центр масс или нет, или вообще не проходит через тело; параллельно, перпендикулярно или под углом к основанию; однородное тело или нет).

Моменты инерции однородных тел правильной геометрической формы относительно оси, проходящей через центр масс тела, вычисляются дифференциально–интегральным методом и приводятся в справочных таблицах. Некоторые из них приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Моменты инерции различных тел

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Твердое тело | Положение  оси вращения | Момент инерции |
| Сплошной однородный цилиндр (диск) радиуса | совпадает с осью симметрии **┴**основанию |  |
| Тонкий однородный диск | совпадает с диаметром диска |  |
| Полый однородный цилиндр (диск) радиуса с внешним радиусом и внутренним радиусом | совпадает с осью симметрии **┴**основанию |  |
| Тонкое кольцо (окружность) | совпадает с осью симметрии **┴** плоскости кольца |  |
| –«»– | совпадает с диаметром кольца |  |
| Стержень | через центр стержня ┴ его длине |  |
| –«»– | через конец стержня ┴ его длине |  |
| –«»– |  |  |
| Полый шар с тонкими стенками | через центр шара |  |
| Сплошной однородный шар | через центр шара |  |

Вычисление момента инерции твердого тела произвольной формы относительно какой-либо оси представляет собой довольно сложную математическую задачу, иногда нерешаемую. Момент инерции системы тел является аддитивной величиной:

  , (2.3)

где – моменты инерции тел, составляющих данную систему.

Моменты инерции твердых тел могут быть определены экспериментально.

Одним из методов определения момента инерции твердых тел является *метод крутильных колебаний*.

Платформа, имеющая форму диска, может совершать крутильные колебания относительно вертикальной оси, проходящей через ее середину. При этом центр тяжести платформы перемещается вдоль оси вращения.



Рисунок 2.1 – Установка для определения момента инерции методом крутильных колебаний*.*

Пусть платформа массы , вращаясь в некотором направлении, поднялась на высоту (рисунок 2.1) от положения равновесия. Тогда ее потенциальная энергия равна:

,

где – ускорение силы тяжести.

Предоставленная самой себе платформа возвращается в положение равновесия. При этом ее потенциальная энергия переходит в кинетическую.

Возвратившись в положение равновесия, платформа будет иметь максимальную угловую скорость и кинетическую энергию:

,

где – момент инерции платформы относительно оси вращения, перпендикулярной основанию платформы.

Пренебрегая работой сил трения, на основании закона сохранения механической энергии запишем:

  . (2.4)

Определим и , подставим в (2.4).

При малой амплитуде колебания платформы можно считать гармоническими. Следовательно, зависимость углового смещения от времени описывается формулой:

  , (2.5)

где – амплитуда, т.е. – максимальный угол поворота платформы,

– период колебаний.

Угловую скорость , как функцию времени, можно найти согласно определению углового ускорения:

.

Подставим и получим:

*.*

Максимальное значение угловой скорости , соответствующее моменту времени, когда платформа проходит через положение равновесия и :

  . (2.6)

Полученное значение максимальной угловой скорости подставим в выражение (2.4). Высоту будем искать из геометрических соображений.

Пусть – длина нитей подвеса (рисунок 2.2), – расстояние от центра платформы до точек крепления нитей на ней, – радиус окружности, на которой лежат точки крепления нитей к основанию.

Вr

r

r

А1

Рисунок 2.2 – Схема трифилярного подвеса

Из рисунка 2.2 видно, что:

,

но:

,

.

Поэтому:

.

При малых углах смещения :

.

Учитывая это, будем иметь:

  . (2.7)

Подставив (2.6) и (2.7) в (2.4), получим «рабочую» формулу:

  , (2.8)

которая отражает суть метода крутильных колебаний.

В выражении (2.8) величины – постоянные, а период колебаний зависит от массы тела и платформы.

Если на платформу положить тело массы , то период колебаний изменится. Измерив период колебаний, и, зная массу тела, можно определить и момент инерции тела.

При этом следует учитывать, что момент инерции системы (платформа + тело) равен сумме моментов инерции платформы и момента инерции тела :

  , *.* (2.9)

Основное уравнение динамики вращательного движения выражается уравнением:

  , (2.10)

где –суммарный момент сил, приложенный к телу или системе тел,

–момент инерции тела,

*–* угловая скорость вращения тела.

Т.к. момент инерции не зависит от времени, то его можно вынести из-под знакапроизводной, а производная угловой скорости по времени есть угловое ускорение . Тогда основное уравнение будет иметь вид:

  . (2.11)

Перепишем (2.11) в виде:

  . (2.12)

Отсюда следует, что угловое ускорение , которое тело приобретает под действием приложенного к нему вращающего момента прямопропорционально величине момента силы  и обратно пропорционально моменту инерции тела .

Уравнение (2.12) выражает физический смысл основного уравнения динамики вращательного движения. Уравнения (2.10) и (2.11) являются его математическим выражением.

Целью этой работы является проверка этой зависимости (2.12). Но т.к. экспериментально величины, входящие в выражение (2.12), непосредственно какими–либо приборами измерить нельзя, то необходимо выполнить эту проверку косвенным путем, т.е. выразить величины , и через какие–либо другие физические величины, значения которых несложно измерить экспериментально и показать зависимость между измеренными значениями, которая должна носить такой же характер, как и между величинами в формуле (2.12).

Моментом вращающей силы называется векторная величина **,** модуль которой равен произведению модуля силы на плечо , т.е. величину перпендикуляра, опущенного из точки приложения силы на ось вращения:

  . (2.13)

На вращающуюся часть установки (спица, катушка, диск) действуют 4 силы: сила тяжести, сила реакции опоры, сила натяжения нити и сила трения нити о катушку и воздух (рисунок 2.3).

Силой трения в данной задаче можно пренебречь. Момент силы тяжести и силы реакции опоры равен нулю, следовательно, вращающей силой будет сила натяжения **,** момент которой равен:

Рисунок 2.3 – Схема установки для проверки основного закона динамики вращательного движения

  , (2.14)

где – радиус катушки, на которую наматывается нить.

Т.к. нить в данной задаче можно считать невесомой и нерастяжимой, то сила натяжения во всех точках нити одинакова.

Если груз опускается с ускорением , то можно считать, что сила натяжения численно равна силе тяжести груза, подвешенного на нить:

,

тогда

  . (2.15)

Момент инерции физического тела, имеющего форму диска, определяется по формуле:

  , (2.16)

где – масса диска,

**–** радиус диска.

Т.к. момент инерции одного диска величина постоянная, то момент инерции одинаковых дисков возрастает пропорционально числу дисков:

  . (2.17)

Если груз опускается с высоты за время , то уравнение его движения:

,

отсюда

  . (2.18)

Угловое ускорение связано с тангенциальным через радиус окружности, который в данном случае является радиусом катушки:

.

Если нить нерастяжимая, то ускорение любой ее точки одинаковое, в том числе ускорение, с которым опускается груз, будет равно тангенциальному ускорению, с которым нить разматывается с катушки , то:

.

Подставим (2.5):

  . (2.19)

Подставим (2.15), (2.17 ), (2.19) в (2.12) получим:

  . (2.20)

В формуле (2.20) радиус катушки , ускорение свободного падения , масса диска,радиус диска – величины постоянные. Если задавать одинаковую высоту опускания груза , то зависимость (2.12) будет такой же, как и:

  . (2.21)

Эта зависимость может быть легко проверена экспериментально, т.е. определяют зависимость при одинаковом числе дисков (), а затем при одинаковом числе грузов на подвесе ().

**Вопросы для самоконтроля**

1. Определение момента инерции материальной точки. Момент инерции тела правильной геометрической формы цилиндра, полого и сплошного диска.
2. Теорема Гюйгенса-Штейнера.
3. Кинетическая энергия вращающегося тела, совершающего поступательное и вращательное движение.
4. Центр масс, центр тяжести.
5. Уравнение гармонических колебаний платформы.
6. Основное уравнение динамики вращательного движения.
7. Понятие момента силы.
8. Момент инерции материальной точки. Момент инерции физического тела. Момент инерции тела правильной геометрической формы.
9. Кинематические характеристики движения: перемещение, скорость и ускорение. Нормальное и угловое ускорения. Векторы угловой скорости и углового ускорения. Связь линейных и угловых величин.

**Лабораторная работа 2.1**

**Определение момента инерции тела и проверка теоремы Штейнера методом крутильных колебаний**

**Цель работы:** 1) ознакомиться с понятием момента инерции и методами его определения; 2) изучить метод крутильных колебаний для определения момента инерции тела; 3) применить метод колебаний для экспериментального определения момента инерции твердого тела; 4) проверить теорему Гюйгенса-Штейнера методом крутильных колебаний.

**Приборы и принадлежности:** установка, секундомер, штангенциркуль, линейка, образцы для измерений.

**Описание установки**

Установка для определения момента инерции тела, которая применяется в данной работе (рисунок 2.4), состоит из круглой платформы 1, подвешенной на трех симметрично расположенных длинных нитях 2 (трифилярный подвес). Наверху эти нити прикреплены к основанию 3, имеющему три симметрично расположенных выступа. Основание с помощью болта 5 и упругой пластины 6 соединено с кронштейном 4.



5

1

2

3

4

6

Рисунок 2.4 – установка для определения момента инерции тела

**Подготовка и проведение измерений**

**Упражнение 1. Определение момента инерции платформы.**

1. Убедитесь в том, что платформа расположена горизонтально.

2. Измерить (масса платформы = (0,815 ± 0,0005)кг).

3. Путем несильного нажатия на край основания 3(1–3 закреплены) (рисунок 2.4) сообщить платформе вращательный импульс, относительно оси вращения, перпендикулярной платформе. При помощи секундомера измерить время 10–15 полных колебаний (время определять с точностью до погрешности прибора). Опыт повторить 3–5 раз.

4. Найти период  этих колебаний и по формуле (2.8) определить момент инерции платформы . Результаты занести в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты измерений

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер опыта | *,* кг |  | *,* с | , с | , с | *,* кг.м2 |
| 1 |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |
| 3 |  |  |

5. Платформу нагрузить исследуемым телом, предварительно определив его массу . Определить период колебаний системы (тело + платформа); масса системы () и момент инерции системы (в формулу (2.8) подставляется масса системы). Величина момента инерции тела найдется как разность . Опыт повторить 3–5 раз, результаты измерений занести в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Результаты измерений

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер опыта | *,* кг | *,* кг |  | *,* с | , с | , с | *,*кг.м2 | *,* кг.м2 |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |

6. По формуле, взятой из таблицы 2.1, вычислить теоретическое значение момента инерции тела *,* измерив предварительно радиус цилиндра, и сравнить его со значением , полученным экспериментально.

7. Сделать вывод о возможности определения момента инерции тела произвольной формы методом крутильных колебаний.

**Упражнение 2. Проверка теоремы Штейнера.**

Если сместить ось вращения так, чтобы она не проходила через центр масс, то тело будет участвовать одновременно в двух движениях: относительно оси, проходящей через центр масс, и относительно смещенной оси. Чтобы найти момент инерции тела относительно произвольной оси вращения , надо к моменту инерции  относительно оси, проходящей через центр инерции на расстояние от заданной оси вращения и параллельному заданному направлению , прибавить произведение массы тела на квадрат расстояния :

  (2.22)

– теорема Штейнера.

Теорему Штейнера можно проверить с помощью метода крутильных колебаний. Так, если поместить тело в центр платформы, то ось вращения будет проходить через центр масс тела. Измерив период колебаний по формулам (2.8) и (2.9), определим момент инерции тела относительно оси, проходящей через центр масс . Если поместить тело на платформе на расстоянии *a* от центра платформы, то ось вращения не будет проходить через центр масс тела. Следовательно, измерив период колебаний, и определив момент инерции по формулам (2.8) и (2.9), получим момент инерции относительно произвольной оси . Подставив и в (2.22), убедимся в справедливости выражения (2.22), т.е. теоремы Штейнера.

1. Взять два одинаковых тела и положить тело одно на другое в центре платформы так, чтобы центры масс тел лежали на одной вертикали с центром масс платформы. Определить период колебаний системы (два тела + платформа); массу системы () и момент инерции системы (в формулу (2.8) подставляется масса системы). Момент инерции относительно оси будет равен ( находится из выражения ). Результаты занести в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Результаты измерений

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер опыта | , кг | *,*кг |  | *,* с | , с | , с | , кг.м2 | *,* кг.м2 |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |

2. Расположить два тела на некотором расстоянии друг от друга симметрично относительно центра платформы.

3. Определить расстояние от оси вращения до центра масс одного из тел и его момент инерции  относительно новой оси. Для этого из опыта мы находим момент инерции системы *,* анаходят из выражения . Результаты измерений занести в таблицу 2.5.

Таблица 2.5 – Результаты измерений

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер опыта | , кг | *,*кг |  | *,* с | , с | , с | , кг.м2 | *,* кг.м2 |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |

4. Применив теорему Штейнера, найти

  , (2.23)

где  *–* момент инерции тела, полученный в первой части упражнения 2.

Сделать вывод.

5. Вычислить момент инерции для цилиндра относительно оси вращения, смещенной на расстояние от центра инерции по формуле (2.22), вычислив предварительнопо таблице 2.1.

6. Сравнить значение , полученное теоретически по формуле (2.23) и *,* полученное экспериментально методом крутильных колебаний. Сделать вывод.

7. Найти ошибки экспериментального определения , .

**Лабораторная работа 2.2**

**Проверка основного закона динамики вращательного движения**

**Цель работы:** 1) исследовать зависимость углового ускорения от величины действующего момента силы; 2) исследовать зависимость углового ускорения от момента инерции системы.

**Приборы и принадлежности:** набор грузов и дисков, секундомер.

**Описание установки**

Установка (рисунок 2.5) представляет собой стальную иглу 3, вращающуюся в игольчатых подшипниках 2. На иглу насажена катушка 4, на которую наматывается нить 5. Нить проходит через прорезь 7 и перебрасывается через блок 8, вращающийся на подшипнике 9. На конце нити подвешена платформа для грузов 6, стальная игла помещается в скобу 1, укрепленную на штативе со шкалой. На стальную иглу насаживаются диски 10, служащие для изменения момента инерции системы.

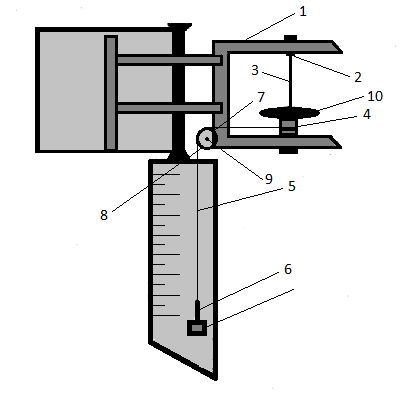


Рисунок 2.5 – Установка для проверки основного закона динамики вращательного движения

**Подготовка и проведение измерений**

**Упражнение 1. Исследование зависимости углового ускорения от момента силы при постоянном моменте инерции.**

1. Освободив гайку 11, отклонить иглу 3 и насадить на нее один или два диска (по указанию преподавателя). Закрепить гайку 11 так, чтобы игла свободно вращалась.

2. На платформу 6 поместить груз массы и поднять его на высоту , наматывая нить на катушку 4 путем ее вращения.

3. Отпустить груз и одновременно включить секундомер. Измерить время , за которое груз пройдет высоту .

4. Повторить пп.2–3, поместив на платформу два груза массой (число дисков остается постоянным). Затем три груза и т.д.

5. Результаты измерений занести в таблицу 2.6.

Таблица 2.6 – Результаты измерений

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , м | *,* кг | *, c* | *, c* | *, c* | *, c* | , с–2 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

6. Построить график зависимости от .

7. На основании анализа графика и (2.21) сделать вывод о зависимости от *.*

**Упражнение 2. Исследование зависимости углового ускорения от момента инерции при постоянном моменте силы.**

Постоянство момента силы обеспечивается тем, что груз, накладываемый на платформу, остается постоянным.

1. Положить на платформу заданное число грузов. На иглу насадить один диск.

2. Поднять груз на высоту .

3. Отпустить груз и измерить время его опускания .

4. Повторить пп.2–3 для различного числа дисков на игле.

5. Результаты занести в таблицу 2.7.

Таблица 2.7 – Результаты измерений

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ,м | Число дисков | *, c* | *, c* | *, c* | *, c* | , с–2 |
|  | 1 |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |  |

Построить график зависимости от *,* где  *–* момент инерции, выраженный в относительных единицах.

7. На основании данных графика и (2.21) сделать выводы о зависимости от .

8. Сделать общий вывод о справедливости закона (2.12).

# **Тема 3**

**Механические свойства жидкостей и газов**

1. Ламинарное и турбулентное течение жидкостей и газов
2. Вязкость жидкостей и газов
3. Определение коэффициентов внутреннего трения жидкостей и газов

# **Основные понятия по теме**

При движении жидкости все молекулы могут иметь одинаковую скорость, как по величине, так и по направлению. Такое течение называется стационарным. Если молекулы жидкости имеют скорости, одинаковые по направлению, но различные по величине (жидкость движется параллельными слоями), то такое движение называется ламинарным. При больших скоростях молекулы жидкости могут изменять направления, переходя из одного слоя в другой, образуя вихри. Такое движение называется турбулентным. При ламинарном течении различные слои жидкости при ее движении имеют различную скорость, т.к. между двумя слоями действуют силы внутреннего трения. Внутреннее трение или вязкость – это свойство жидкости сопротивляться перемещению ее частиц под действием приложенной к ней силы. Различают динамическую, кинематическую условную вязкость. Динамическая вязкость характеризует силу, которую необходимо приложить для взаимного перемещения двух слоев жидкости определенной поверхности на определенное расстояние и с определенной скоростью.

Ньютон опытным путем установил, что сила внутреннего трения пропорциональна величине площади соприкосновения движущихся слоев и градиенту скорости (градиентом скорости называется изменение скорости на единицу длины в направлении, перпендикулярном направлению скорости (рисунок 3.1).

  (3.1)

– уравнение Ньютона, где коэффициент пропорциональности называется коэффициентом внутреннего трения или динамической вязкостью.

Рисунок 3.1 – Ламинарное течение

# Из формулы (3.1) следует, что:

  , (3.1/)

т.е. коэффициент внутреннего трения равен силе внутреннего трения , возникающей между двумя соседними слоями, имеющие площадь соприкосновения, равную единице, и движущимися относительно друг друга так, что градиент скорости равен единице. В системе СИ .

Динамическая вязкость зависит от внешней силы, хотя эта зависимость не всегда существенна. Для обычных жидкостей при не очень больших значениях внешних сил эта зависимость не существенна. Она достаточно хорошо описывается формулой:

  , (3.2)

где и определяются свойствами жидкостей.

При повышении температуры динамическая вязкость жидкостей уменьшается в отличие от газов, у которых вязкость с повышением температуры увеличивается. Динамическая вязкость обычных, не очень вязких жидкостей, имеет порядок 1 мПа**˙**с. У вязких жидкостей динамическая вязкость возрастает в тысячу раз.

Кинематическая вязкость – это отношение динамической вязкости жидкости к ее плотности при одинаковой температуре:

  . (3.3)

В системе СИ: .

Условная вязкость – это отношение времени истечения определенного объема исследуемой жидкости ко времени истечения такого же объема дистиллированной воды при температуре 200С.

Явление внутреннего трения имеет большое практическое значение. Например, смазка трущихся поверхностей в различных механизмах позволяет заменить внешнее (сухое) трение значительно меньшим внутренним трением масла. Вязкость является важной физико–химической характеристикой для оценки качества продуктов, соков, масел, сиропов, других пищевых продуктов, продуктов крови и т.д.

Определение вязкости нашло широкое применение при изучении седаментации (оседания) зернистых порошковых пищевых продуктов, крахмала, порошка какао, сахара и т.д.

Для определения коэффициентов внутреннего трения жидкостей и газов применяются приборы, называемые вискозиметрами.

Основными методами определения коэффициентов внутреннего трения являются: 1) метод Стокса; 2) метод капиллярных трубок; 3) метод затухающих колебаний, совершаемых диском или шаром, подвешенным на упругой нити в исследуемой среде; 4) метод двух вращающихся цилиндров, установленных коаксиально; если внешний цилиндр приводится во вращение, то внутренний цилиндр, подвешенный на упругой нити, поворачивается под действием силы внутреннего трения на некоторый угол, величина которого измеряется. Во всех случаях измерения вязкости скорость движения самой жидкости или тел, движущихся относительно нее, должна быть небольшой, чтобы в жидкости не образовывались вихри.

В данной работе изучается метод Стокса и метод капиллярных трубок для определения коэффициента внутреннего трения жидкостей.

**Метод Стокса (абсолютный метод).**

По методу Стокса при определении коэффициента внутреннего трения бросают маленький твердый шарик радиуса *r* в исследуемую вязкую жидкость. Слой жидкости, непосредственно касающийся поверхности шарика и прилипший к нему, далее движется вместе с ней. Шарик при падении встречает сопротивление среды. Это сопротивление возникает вследствие трения между слоями жидкости, прилегающими к прилипшему к поверхности шарика слою, т.е. сопротивление среды определяется внутренним трением жидкости.

На падающий в жидкость шарик действуют три силы: сила тяжести , сила выталкивания (закон Архимеда) и сила внутреннего трения (закон Стокса),

где – плотность шарика, – плотность исследуемой жидкости, – коэффициент внутреннего трения.

При падении в вязкую среду шарик, двигаясь ускоренно, приобретает такую скорость, при которой силы, действующие на него, взаимно уравновешиваются. В этом случае имеет равенство:

  , (3.4)

или

  . (3.5)

При равновесии всех сил, действующих на шарик, его дальнейшее движение становится уравновешенным.

Решая уравнение (3.5) относительно коэффициента внутреннего трения *η*, получаем следующую формулу для его расчета:

  . (3.6)

Коэффициент внутреннего трения при помощи указанного метода можно измерить на вискозиметре Стокса. Он представляет собой стеклянный цилиндр , заполненный исследуемой жидкостью (рисунок 3.2).

##### Рисунок 3.2 – Вискозиметр Стокса

Вверху и внизу цилиндра имеются две метки: и . Падающий шарик вначале движется ускоренно, далее равномерно. Метка ставится в том месте, где движение шарика становится равномерно. Измеряя секундомером время движения шарика от метки до метки  и расстояние между этими метками, вычисляют скорость падения шарика. Если шарик падает в цилиндрическом сосуде, наполненном жидкостью, то поверхность жидкости дно сосуда оказывают влияние на скорость падения шарика, заметное вблизи границ, а в средней части им можно пренебречь. Формула Стокса справедлива при медленном падении шарика (это условие выполняется при малых размерах шарика). Если цилиндр недостаточно велик по сравнению с размерами шарика, то при измерениях коэффициента внутреннего трения методом Стокса в формулу (3.6) вносятся поправки на влияние близости стенок цилиндра и его дна. С внесением указанных поправок формула (3.6) имеет вид:

  , (3.6/)

где – радиус цилиндра,

*h* – высота жидкости в цилиндре.

Вискозиметр Стокса применяется для измерения вязкости сравнительно вязких жидкостей, например, масел.

**Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое вязкость жидкости?
2. Какое течение жидкости называется ламинарным, турбулентным?
3. Что такое динамическая вязкость? Единицы измерения.
4. Что такое кинематическая вязкость? Единицы измерения.
5. Что такое градиент скорости? Единицы измерения.
6. В чем заключается сущность определения динамической вязкости методом Стокса?
7. Как зависит вязкость жидкостей от температуры?

**Лабораторная работа 3**

**Определение коэффициента внутреннего трения жидкости по методу Стокса**

# **Цель работы**: 1) изучить явления внутреннего трения в жидкостях; 2) ознакомиться с различными методами определения вязкости жидкостей; 3) научиться определять вязкость жидкости с помощью вискозиметра.

**Приборы и принадлежности**: микроскоп (микрометр), миллиметровая линейка, секундомер, стеклянные цилиндры с исследуемыми жидкостями, шарики, вискозиметры ВПЖ–1, ВПЖ–2, термометр, исследуемые жидкости.

**Ход работы**

1. Измерить с помощью микроскопа или микрометра диаметр шарика:

а) поместить металлический шарик на предметное стекло и получить его четкое изображение;

б) измерить диаметр шарика как разность маленьких делений шкалы окулярного микрометра между левой и правой стороной шарика ;

в) умножить измеренный диаметр, выраженный в делениях шкалы, на цену деления окулярного микрометра , получив тем самым значение диаметра в мм. (Цена деления окулярного микрометра  *=* ). Диаметр измерить три раза, повернув окуляр вокруг оси так, чтобы изображение измерительной шкалы окуляра проходило через изображение шарика по трем различным направлениям как можно ближе к центру шарика. Результаты занести в таблицу 3.1. Вычислить среднее значение диаметра шарика.

1. Опустить шарик в жидкость как можно ближе к оси цилиндра (рисунок 3.2). Глаз наблюдателя должен быть установлен на уровне меток и так, чтобы их противоположные стороны сливались в одну прямую. Измерить секундомером время прохождения шариком пути (от верхней метки до нижней).
2. Миллиметровой линейкой измерить расстояние между метками и .
3. Измерить высоту жидкости в цилиндре .
4. Вычислить коэффициент динамической вязкости по формуле (3.6) и (3.6/). Скорость *v* вычисляется, исходя из измерений расстояния и времени .
5. Выполнить опыт 3–5 раз, каждый раз измеряя диаметр шариков. Определить среднее значение коэффициентов вязкости и .
6. Вычислить величину кинематической вязкости . Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 3.1. Сравнить значения и между собой и с табличными значениями. Сделать выводы о влиянии стенок и дна сосуда на точность определения коэффициента вязкости жидкости.
7. Определить относительную погрешность измерения при определении коэффициента вязкости методом Стокса, если не учитывать поправок на ограниченность объема жидкости, в которой происходит падение шариков:

.

Дополнительные данные:

свинец (шарик) =11,34∙103 кг/м3;

вакуумное масло =1,212∙103 кг/м3.

Таблица 3.1 – Результаты данных

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер опыта | Отсчет по шкале окулярного микроскопа | | Диаметр шарика | | Время падения  *t*, с | Динамическая вязкость  Па∙с | | Кинематическая вязкость  , м2/с |
| слева | справа | дел. | мм |  |  |  |  |
| 1  2  3 |  |  |  |  |  |  |  |  |

# 

# **Тема 4**

**Колебания и волны в механике**

1. Математический маятник
2. Физический маятник
3. Основные величины колебательного движения

# **Основные понятия по теме**

*Математическим маятником* называется материальная точка, прикрепленная к концу нерастяжимой и невесомой нити, верхний конец которой закреплен неподвижно. Из элементарного курса физики известно, что если угловая амплитуда колебаний мала, период колебаний математического маятника длины *l* равен:

  , (4.1)

где *-* ускорение силы тяжести места наблюдения.

Зная длину маятника и период его колебаний, можно из формулы (4.1) найти ускорение силы тяжести:

  .(4.2)

За математический маятник на практике можно принять маленький тяжелый шарик, подвешенный на длинной нерастяжимой нити. При этом вес нити должен быть достаточно мал по сравнению с весом шарика, а размеры шарика малы по сравнению с длиной нити. Период не зависит от массы тела.

Математический маятник совершает гармонические колебания, если угол отклонения не превышает 8–10°. В этих пределах период не зависит от амплитуды.

Уравнение гармонических колебаний отражает смещение математического маятника от положения равновесия в зависимости от времени движения:

  , (4.3)

где  *-* смещение точки от положения равновесия,

– амплитуда колебаний – максимальное отклонение от положения равновесия,

– циклическая частота.

.

Аргумент , определяющий величину смещения в любой момент времени, называется *фазой колебаний.*

Рисунок 4.1 – Математический маятник

– начальная фаза (в частности, она может равняться нулю) характеризует смещение от положения равновесия в начальный момент времени.

*Физическим маятником* называется твердое тело произвольной формы, имеющее возможность качаться под действием собственной силы тяжести вокруг неподвижной горизонтальной оси 0, не проходящей через центр тяжести этого тела и называемой осью качания, т.е. это, маятник с распределенной массой.

0

Рисунок 4.2 – Физический маятник

Период колебаний физического маятника при малых углах отклонения (8˚) определяется по формуле:

  , (4.4)

где – момент инерции маятника относительно оси вращения, проходящей через точку подвеса,

– масса физического маятника,

– длина физического маятника.

*Приведенной длиной физического маятника* называется такая длина математического маятника, при которой периоды обоих маятников одинаковы:

  . (4.5)

**Вопросы для самоконтроля**

1. Физический маятник. Период колебаний физического маятника.
2. Уравнение гармонических колебаний маятника.
3. Уравнение движения физического маятника.
4. Момент инерции системы тел.
5. Центр масс системы материальных точек.
6. Приведенная длина физического маятника.

**Лабораторная работа 4**

**Изучение колебательного движения математического и физического маятников**

**Цель работы:** 1) изучение основных параметров колебательного движения; 2) изучение простейших колебательных систем – математического и физического маятника; 3) определение ускорение силы тяжести с помощью математического маятника; 4) проверка формулы периода колебаний физического маятника; 5) проверка формулы приведенной длины.

**Приборы и принадлежности**: математический маятник, физический маятник, секундомер, линейка.

**Ход работы**

**Упражнение 1. Определение ускорения свободного падения.**

Для определения ускорения свободного падения на данной географической широте нужно знать длину маятника, которая равна расстоянию от точки подвеса до центра тяжести шарика. Эта длина не может быть определена достаточно точно. Тогда можно определить периоды колебаний при разных длинах  и .

Этим длинам соответствуют периоды колебаний:

  , . (4.6)

Решая эти выражения относительно , получим:

  . (4.7)

Прибор для определения представляет собой стальной шарик, подвешенный на нити, которая закреплена на катушке. С помощью катушки можно менять длину математического маятника (рисунок 4.3).

Рисунок 4.3 – Прибор для определения ускорения свободного падения

Порядок выполнения

1. Опустив шарик возможно ниже, определить длину *.* Отвести шарик на угол 6–8° и определить время 10 полных колебаний .
2. Вычислить период .
3. Установить новую длину так, чтобы разность равнялась 40–50 см. Определить время 10 полных колебаний . Вычислить период .
4. По формуле (4.7) вычислить среднее значение ускорения .
5. Сравнить с табличным значением и записать вывод.

**Упражнение 2. Проверка формулы периода колебаний физического маятника.**

Данный физический маятник состоит из стержня и двух дисков (рисунок 4.4). Момент инерции системы тел равен сумме моментов инерции отдельных частей относительно той же оси вращения, т.е. стержня и обоих дисков относительно точки :

  . (4.8)

Моменты инерции тел правильной геометрической формы относительно оси, проходящей через центр масс, представлены в справочных таблицах. Так, для стержня и для диска момент инерции относительно оси, проходящей через центр тяжести, равен:

,.

Рисунок 4.4 – Физический маятник

Согласно теореме Штейнера, момент инерции относительно оси, проходящей через точку :

Для первого диска:

  . (4.9)

Для второго диска:

  . (4.10)

Для стержня:

  , (4.11)

где – масса первого диска,

– масса второго диска,

– радиус первого диска,

– радиус второго диска,

– расстояние от точки подвеса до центра масс дисков,

– масса стержня,

– длина стержня.

Центр масс в механике – это геометрическая точка, характеризующая движение тела или системы частиц как целого.

,

где радиус-вектор центра масс,

радиус-вектор i–й точки системы,

масса i-й точки.

По определению центра масс системы материальных точек длина физического маятника равна:

  , (4.12)

где .

Значения масс:

*=* 2,297 кг,  *=* 3,885 кг*, =* 2,712 кг.

**Проведение измерений**

1. Перемещая диски относительно стержня, установить их в нужном положении и закрепить стопорным винтом (значение задается преподавателем).
2. Вывести маятник из положения равновесия, отклонив его на малый угол (не более 8–10°). Измерить время 10 полных колебаний и определить период колебаний по формуле:

  ,(4.13)

где – число колебаний.

1. Измерить диаметры дисков и , длину стержня *.*
2. По формуле (4.4) с учетом (4.8 – 4.12), вычислить период колебаний маятника . Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты измерений

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *,* м | *,* м | *,* м | *,* кг | *,* м | *,* м | *,* кг∙м2 | *,* с |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

1. Сравнить экспериментальное значение и вычисленное теоретическое (расчетное). Сделать выводы о справедливости формулы (4.4).

**Упражнение 3. Проверка справедливости формулы приведенной, длины.**

1. Вычислить приведенную длину физического маятника по формуле (4.5) *.*
2. Установить длину математического маятника, равную полученному в п.1 значению: *.*
3. Определить период колебаний математического маятника при длине, равной *.*
4. Сравнить полученное значение периода математического маятника с периодом физического маятника при его длине *.*
5. Сделать вывод о справедливости формулы (4.5).

# **Тема 5**

**Описание состояний молекул в молекулярно-кинетической теории вещества**

1. Тепловое расширение тел
2. Коэффициент линейного расширения
3. Коэффициент объемного расширения

# **Основные понятия по теме**

С повышением температуры происходит расширение твердых тел, называемое тепловым расширением.

Узлы кристаллической решетки определяют среднее положение частиц. Сами же частицы (ионы, атомы или молекулы) непрерывно колеблются около этих средних положений, причем интенсивность колебаний растет с температурой. Между частицами существуют силы притяжения или отталкивания. При сближении частиц возрастают силы отталкивания. При повышении температуры увеличивается амплитуда колебаний частиц около положения равновесия, что приводит к возрастанию средних расстояний между частицами и, следовательно, к увеличению размеров и объема тел. По этой причине большинство твердых тел при нагревании расширяется, а при охлаждении сжимается.

При нагревании или охлаждении изменяются все размеры тел. Однако, в некоторых случаях важно знать величину расширения только в одном направлении, например при расширении стержней и проволоки. В связи с этим и говорят о линейном расширении (или сжатии) твердых тел.

Линейное расширение твердого тела зависит от материала, из которого оно изготовлено. Пусть при длина стержня равна , а при нагревании на  она становится равной , т.е. изменяется на величину . Тогда, очевидно, относительное удлинение стержня при его нагревании на равно .

  . (5.1)

Относительное удлинение (сокращение) какого–либо размера тела, находящегося при , при изменении его температуры на  называется коэффициентом линейного расширения. Коэффициент линейного расширения показывает, на какую долю удлиняется (или сокращается) каждая единица длины тела, находящегося при , при изменении его температуры на .

Установим единицу коэффициента линейного расширения в СИ:

.

Учитывая, что , перепишем предыдущую формулу в виде:

. (5.2)

Полученное соотношение позволяет вычислить линейные размеры тела при различных температурах, если известен его размер при 00С.

Если  – первоначальная длина тела, а – удлинение этого тела при нагревании на  градусов, то в этом интервале температур определяется по формуле:

  . (5.3)

Длина нагретого тела равна:

  , (5.4)

где значение зависит от материала и для большинства тел имеет порядок величины 10–5 : 10–6 .

слабо зависит от температуры. Для большинства тел , но существуют исключения. Например, вода при нагревании от 0 до при атмосферном давлении сжимается ()

Зависимость  от температуры наиболее заметна у газов (для идеального газа ), у жидкостей она проявляется слабее. У некоторых веществ в твердом состоянии (кварца, инвара и др.) коэффициент мал и практически постоянен в широком интервале температур. При *, .*

В некоторых случаях приходится учитывать расширение тел, происходящее во всех направлениях, т.е. объемное расширение.

Объем твердого тела при нагревании возрастает при увеличении температуры, по тому же закону, что и линейное расширение:

  , (5.5)

где – первоначальный объем тела,

– средний коэффициент объемного расширения в интервале температур , характеризующий относительное увеличение объема , происходящее при нагревании тела на один градус:

  . (5.6)

В изотропных телах , в анизотропных .

Различие или равенство линейного коэффициента теплового расширения вдоль кристаллографических осей определяется симметрией кристалла.

Тепловое расширение тел учитывается при конструировании всех установок, приборов и машин, работающих в переменных температурных условиях.

При изучении расширения твердых тел достаточно измерить либо коэффициент линейного расширения , либо объемного – . Наиболее просто определяется коэффициент линейного расширения. Часто применяют следующие методы при измерениях температурных коэффициентов  или :

1) метод непосредственного измерения длины твердого тела при повышении температуры, этот метод позволяет найти коэффициент ;

2) метод интерференционный, которым определяют очень точно изменение длины тела при нагревании, а, следовательно, и коэффициент ;

3) метод дилатометра, служащий для определения коэффициента у тел неправильной формы;

4) весовой метод, в котором определяется плотность твердого тела при различных температурах с целью нахождения коэффициента .

# **Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое тепловое расширение тел?
2. Как объясняется тепловое расширение тел?
3. Что такое абсолютное, относительное удлинение тел?
4. Что называется коэффициентом линейного расширения?
5. От чего зависит коэффициент линейного расширения *α*?
6. Как определить объем нагретого тела?
7. Что называется коэффициентом объемного расширения?
8. Каким соотношением связаны между собой коэффициенты линейного и объемного расширения в изотропных и анизотропных веществах?
9. Какие существуют методы измерения температурных коэффициентов?

**Лабораторная работа 5**

**Определение среднего коэффициента линейного расширения твердых тел**

**Цель работы:** 1) изучить тепловые свойства твердых тел; 2) определить коэффициент линейного расширения стержней.

**Приборы и принадлежности:** прибор для определения коэффициента линейного расширения твердых тел, исследуемые образцы, термометр, штангенциркуль.

**Описание установки**

Прибор для определения коэффициента линейного расширения твердых тел изображен на рисунке 5.1. Исследуемый образец С, имеющий вид стержня, нагревается в воде, находящейся в стеклянной пробирке П. Для нагревания служит нагреватель Н, который включается с помощью кнопочного включателя Д, расположенного на панели корпуса прибора. Здесь же расположена контрольная индикаторная лампа Л нагревателя Н. Штепсельная вилка включается в электрическую сеть с напряжением 220 В.

Изменение длины образца при нагревании по сравнению с его начальной длиной при комнатной температуре фиксируется с помощью индикатора часового типа И. Индикатор часового типа крепится на кронштейне и может поворачиваться вокруг своей оси на 900.

### И

### П

### Н

### Д

### Л

### А

Рисунок 5.1 – Установка для определения коэффициента линейного расширения твердых тел

**Подготовка и проведение измерений**

1. Пробирку на 1/2 объема наполнить водой комнатной температуры.
2. Термометром измерить начальную температуру воды в пробирке *.*
3. С помощью штангенциркуля определить начальную длину образца *.*
4. Опустить в пробирку образец так, чтобы сферический конец образца упирался в дно коробки.
5. Индикатор И отвести на четверть оборота в сторону до упора.
6. Пробирку с образцом поместить в прибор так, как показано на рисунке 5.1.
7. Плавно оттянуть шток А индикатора И вверх, установить индикатор над пробиркой и опустить шток в углубление на торце образца С. при работе с индикатором соблюдать осторожность: не допускать резких толчков штока индикатора.
8. Поворотом шкалы Г индикатора И совместить нуль шкалы со стрелкой.
9. Включить питание прибора. При закипании воды в пробирке (через 12–15 минут) по индикатору определить увеличение длины образца . Измерения проводить с точностью до половины шкалы – 0,005 мм. Конечную температуру образца считают равной температуре кипения воды и находят из формулы:

,

где – атмосферное давление во время проведения опыта.

1. Опыт повторить для каждого образца 3–5 раз. Перед повторением опыта образец следует остудить, а установку шкалы индикатора производить в течение не более 30–40 секунд, т.к. прибор нагрет, и длительная установка нуля может привести к неточным результатам.
2. По формуле (5.3) вычислить для каждого образца.
3. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 5.1.
4. Произвести математическую обработку результатов.

Таблица 5.1 – Результаты измерений

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Исследуемый  материал | ,м | *l*,м | ,0С | ,0С | ,град–1 | ,град–1 |
| Сталь  Алюминий  Медь |  |  |  |  |  |  |

**Тема 6**

**Первое начало термодинамики**

1. Теплоемкость тела и ее виды
2. Внутренняя энергия
3. Закон Дюлонга-Пти

# **Основные понятия по теме**

Твердыми телами называются тела, у которых форма и объем постоянны. Твердые тела по своим физическим свойствам разделяются на тела: 1) кристаллические и 2) аморфные.

Кристаллы – твердые тела, имеющие правильное периодическое расположение составляющих их частиц. Кристаллы ограничены плоскими гранями, сходящимися в ребрах и вершинах.

Аморфными веществами называются вещества, не обладающие в конденсированном состоянии кристаллическим строением. Аморфными веществами являются: неорганические стекла, плавленый кварц (пористые аморфные вещества), каучук, резина, органические стекла, смолы (высокополимерные соединения).

Кристаллические тела анизотропны, т.е. их физические свойства (упругость, теплопроводность, электропроводность) по различным направлениям неодинаковы.

Тела, свойства которых одинаковы по всем направлениям, называются изотропными. Изотропными телами являются: газы, почти все жидкости и аморфные тела. Причиной анизотропией служит упорядоченное расположение частиц вещества: атомов, молекул, ионов, из которых они состоят. Упорядоченность расположения частиц кристалла заключается в том, что частицы вещества размещаются в узлах геометрически правильной пространственной решетки.

Твердые тела, кристаллическая структура которых обнаруживается непосредственно по их внешней форме, называются монокристаллами. Монокристаллы имеют форму правильных многогранников. Большинство твердых тел, в том числе и металлы, существуют в виде поликристаллов, т.е. имеют мелкокристаллическую структуру. Поликристаллы состоят из большого числа сросшихся мелких, хаотически расположенных отдельных кристалликов, которые называют кристаллитами, или зернами. Размеры таких зерен в металле порядка 10–5 – 10–3 см, зависят от способа получения и обработки металла.

Взаимное расположение и ориентация отдельных кристаллитов в поликристаллическом веществе обычно хаотическое и поэтому поликристаллы (в размерах больших кристаллов) являются изотропными.

Металлы являются поликристаллами, Тип кристаллической решетки у металлов и соответственно тип кристалла называется металлическим. Во всех узлах металлического кристалла расположены положительные ионы металла. Между ними беспорядочно, подобно молекулам газа, движутся электроны, которые вылетели из атомов при образовании ионов. Эти электроны играют роль «цемента», удерживая вместе положительные ионы.

Большинство металлов имеет вид решеток, показанных на рисунке 6.1: (а – кубическая объемно–центрированная, б – кубически гранецентрированная, в – плотная гексагональная).

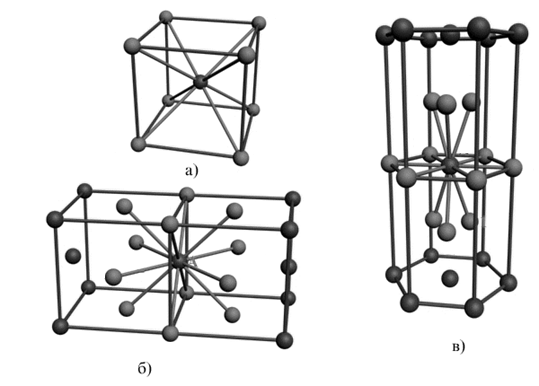


Рисунок 6.1. Виды кристаллических решеток металлов

Для характеристики тепловых свойств химически простого твердого кристаллического тела вводится понятие теплоемкости. Теплоемкостью твердого тела называется количество теплоты, полученное телом при нагревании его на .

Различают удельную теплоемкость, молярную и атомную.

Удельная теплоемкость характеризует количество теплоты, выраженное в джоулях, которое необходимо сообщить 1 кг твердого кристаллического тела, чтобы изменить его температуру на 1 градус.

Молярная теплоемкость  измеряется количеством теплоты, выраженным в джоулях, которое необходимо сообщить 1 молю химически простого твердого кристаллического тела, чтобы изменить его температуру на 1 градус.

Атомная теплоемкость характеризует теплоемкость одного килограмм–атома вещества.

Молярная и удельная теплоемкости связаны между собой следующим соотношением:

  или , (6.1)

где – молярная масса химически простого твердого кристаллического тела.

Частица, располагающаяся в узле кристаллической решетки, беспорядочно колеблется около какого-то среднего положения и обладает запасом кинетической энергии , обусловленной наличием скорости у частиц, и запасом потенциальной энергии , обусловленной проявлением между частицами сил притяжения и сил отталкивания, имеющих электрическую природу. Колебания происходят ангармонично. При повышении температуры кристалла увеличивается энергия теплового движения, т.е. растет амплитуда колебания частиц.

Если бы колебания частиц происходили строго гармонично, то увеличение амплитуды не привело бы к изменению среднего расстояния между частицами. Вследствие ангармонических колебаний частиц расстояния между ними меняются. При сближении частиц силы притяжения и силы отталкивания несимметричны (рисунок 6.2).

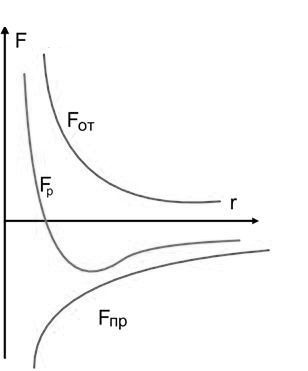


Рисунок 6.2. Зависимость сил притяжения и отталкивания от расстояния между молекулами

*-* сила отталкивания;  *-* сила притяжения;  *-* результирующая сила взаимодействия;

Из рисунка 6.2 видно, что силы отталкивания при уменьшении расстояния между частицами растут много быстрее, чем силы притяжения. Это приводит к тому, что при увеличении температуры рост сил отталкивания между частицами тела преобладает над силами притяжения и тела расширяются.

Средняя энергия частицы складывается из кинетической и потенциальной и. При этом на каждый вид энергии приходится одинаковое ее количество .

  . (6.2)

Т.к. , то:

  . (6.3)

Тепловое движение частиц в узлах кристаллической решетки, в основном, сводится к их колебаниям около положения равновесия. Каждое колебательное движение можно разложить на три прямолинейных колебаний вдоль трех координатных осей. Поэтому следует считать, что колеблющиеся частицы твердого тела имеют три степени свободы.

По классической теории теплоемкости, на одну степень свободы движения частицы, независимо от того, будут они поступательными, вращательными или колебательными, приходится энергия . Следовательно, запас кинетической энергии частицы с степенями свободы движения равен:

.

Т.к. , то:

  . (6.4)

Тогда с учетом (6.3) и (6.4), среднее значение энергии одной частицы:

  , (6.5)

где  *-* температура вещества,

=1,38 10–23 Дж/К – постоянная Больцмана.

На такую величину изменяется энергия частицы (атома, иона, молекулы) при изменении температуры тела (вещества) на один градус.

Один килограмм–атом любого вещества содержит столько же атомов, сколько в 1 моле вещества содержится молекул, т.е. число Авогадро *()* частиц, каждая из которых обладает средней энергией , тогда полная внутренняя энергия 1 моля (одного килограмм–атома или одной килограмм–молекулы) химически чистого простого твердого вещества составляет:

  . (6.6)

,

где= 8,31 Дж/моль∙К – универсальная газовая постоянная.

Согласно (6.6) внутренняя анергия одного моля химически простого твердого кристаллического тела при температуре будет равна , при температуре равна .

По определению молярной теплоемкости:

  . (6.7)

Таким образом:

  .(6.8)

Молярная теплоемкость всех химически простых кристаллических твердых тел приблизительно равна 25 Дж/моль К.

Это утверждение носит название закона Дюлонга-Пти,которыйбыл установлен опытным путем в 1819 году.

Т.к. коэффициенты объемного расширения у твердых тел невелики, то молярные теплоемкости  и твердых тел при постоянном объеме и постоянном давлении практически не различаются. Поэтому вводят понятие только молярной теплоемкости, неуказывая, при каких условияхона определяется.

Закон Дюлонга-Пти достаточно хорошо выполняетсяпри комнатных температурах. Отклонения от этого закона для низких и высоких температур объясняются тем, что не учтено: квантование энергии колебательного движения и то, что в кристалле вследствие взаимодействия между частицами возникают гармонические упругие волны, имеющие, различные частоты.

Однако значения зависят от температуры и свойств кристаллов. При понижении температуры теплоемкость кристаллов быстро убывает и при приближении к абсолютному нулю становится крайне малой. Эйнштейн объяснил это явление, применив квантовую теорию. Дебай установил, что при очень низких температурах внутренняя энергия грамм–атома кристаллического тела пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры, т.е.:

.

где – постоянный коэффициент.

По определению атомной теплоемкости:

  (6.9)

– закон Дебая.

Характеристическая температура , ниже которой закон Дюлонга-Пти не выполняется, определяется по Формуле Дебая:

  , (6.10)

где – постоянная Больцмана,

– наибольшая частота колебаний частиц в узле кристаллической решетки,

*h*=6,625⋅10–34 Дж⋅с – постоянная Планка.

Используя соотношение между и легко получить формулу для теоретического расчета удельной теплоемкости твердого тела , называемую законом Дюлонга-Пти:

  . (6.11)

В задачу данной лабораторной работы входит определение удельной теплоемкости меди, алюминия, железакалориметрическимметодом, основанным на уравнивании теплового балансаи сравненииполучаемых результатов с теоретически рассчитаннымиданными, получаемыми по формуле (6.11).

Опустим однородный цилиндр массой в кипящую воду и будем нагревать в течение 10 мин, при этом цилиндр приобретает температуру кипящей воды . Быстро (чтобы свести к минимуму потери тепла в окружающую среду – помещение) перенести нагретое тело и опустить во внутренний сосуд калориметра, наполненный холодной водой . Тепло от нагретого цилиндра будет передаваться воде, калориметру и термометру.

Количество тепла, отданное цилиндром, определяется по формуле:

  . (6.12)

Количество тепла, полученное водой и калориметром:

  , (6.13)

где – масса воды в сосуде, помещенном в калориметре,

– теплоемкость воды,

– масса внутреннего сосуда калориметра,

*-* удельная теплоемкость калориметра,

– установившаяся температура теплового равновесия.

Пренебрегая потерей тепла в окружающий воздух при опускании нагретого тела в воду калориметра, составим уравнение теплового баланса:

  . (6.14)

Выразим отсюда удельную теплоемкость вещества, из которого изготовлен цилиндр:

  . (6.15)

**Вопросы для самоконтроля**

1. Какие свойства твердых тел характеризует теплоемкость?
2. Виды теплоемкости и их определение. Связь между ними.
3. Чему равна внутренняя энергия одного моля химически простого твердого тела (вещества)?
4. Закон Дюлонга-Пти.
5. Записать уравнение теплового баланса для данногоопыта.
6. Экспериментальное определениеудельной теплоемкости химическипростого твердого вещества.
7. Вычислить на основании закона Дюлонга-Пти удельные теплоемкости меди и железа.

**Лабораторная работа 6**

**Определение удельной теплоемкости твердых тел**

**Цель работы:** 1) изучить тепловые свойства твердых кристаллических тел; 2) вычислить удельную теплоемкость твердых тел; 3) определить удельную теплоемкость твердых тел калориметрическим методом и сравнить с теоретическими расчетами.

**Приборы и принадлежности:** калориметр, электрическая плитка, стакан с водой, технические весы, исследуемые тела (железный, латунный, алюминиевый цилиндры), термометр.

**Ход работы**

1. Налить воду в керамический стакан чуть больше половины и поставить его на включенную в сеть электроплитку.
2. Взвесить на технических весах исследуемый цилиндр , массу калориметра , массу налитой в него воды . Результаты занести в таблицу 6.1.
3. Опустить в горячую воду цилиндр, довести воду до кипения и греть 10–15 минут. Температура определяется по формуле, учитывая барометрическое давление (в мм.рт.ст.):

.

1. Измерить термометром с точностью до 0,10С температуру воды во внутреннем сосуде калориметра *t0* за несколько минут до опускания испытываемого тела.
2. После прогревания цилиндра быстро перенести его в сосуд с водой в калориметре. Осторожно помешивая воду термометром, дождаться, когда температура установится, записать показания термометра. Занести результат в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Результаты измерений

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ,  кг | ,  кг | ,  кг | , | , | ,  К | ,  К | ,  К | , |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. То же самое проделать с другими образцами.
2. Пользуясь уравнением теплового баланса, вычислить удельную теплоемкость образцов по формуле(6.15).
3. Вычислить удельные теплоемкостиданных образцов теоретически, используя формулу (6.11).
4. Сравнить значения удельной теплоемкости образцов,полученных теоретически и методом косвенных измерений.

Дополнительные данные:

= 500  = 4190

**Тема 7**

**Поверхностное натяжение жидкостей, испарение и кипение жидкостей**

1. Понятие поверхностной энергии. Поверхностное натяжение жидкости
2. Коэффициент поверхностного натяжения жидкости и его зависимость от различных факторов
3. Понятие абсолютной, относительной и максимальной влажности. Дефицит влажности. Точка росы
4. Испарение и кипение жидкости

**Основные понятия по теме**

Молекулы жидкости располагаются настолько близко друг к другу, что силы притяжения между ними имеют значительную величину, которая быстро убывает с расстоянием. Начиная с некоторого расстояния, силами притяжения между молекулами можно пренебречь. Каждая молекула испытывает притяжение со стороны всех соседних с ней молекул, находящихся в пределах сферы действия. Равнодействующая всех этих сил для молекулы, находящейся внутри жидкости, в среднем равна нулю.

Молекулы пограничного слоя жидкости окружены молекулами жидкости не со всех сторон. Часть «соседей» поверхностных молекул – это частицы другой среды, с которой граничит жидкость. Эта среда может отличаться от жидкости и природой, и плотностью частиц. Поэтому силы, действующие на каждую молекулу в этом слое, оказываются неуравновешенными. Равнодействующая силы направлена либо в сторону объема жидкости, либо в сторону объема граничащей с ней среды. Вследствие этого перемещение молекулы из поверхностного слоя сопровождается совершением работы.

Перемещаясь из поверхностного слоя внутрь жидкости, молекула совершает положительную работу. Переход молекулы из объема жидкости к поверхности сопровождается отрицательной работой, т.е. требует затраты внешней работы.

Работа, которую необходимо затратить на увеличение поверхности, вычисляется по формуле:

  , (7.1)

где – работа (Дж),

– изменение площади поверхности (м2),

*σ* – коэффициент пропорциональности, называемый коэффициент поверхностного натяжения.

Из (7.1) ясно, что коэффициент поверхностного натяжения численно равен работе, необходимой для увеличения площади поверхности на единицу при постоянной температуре:

  . (7.2)

Таким образом, молекулы поверхностного слоя жидкости обладают избыточной, по сравнению с молекулами, находящимися в объеме жидкости, потенциальной энергией, которая является свободной энергией.

Т.к. работа, требуемая для изменения площади поверхности равна изменению свободной энергии поверхности:

,

то коэффициент поверхностного натяжения жидкости можно определить как свободную энергию единицы площади этой поверхности:

  . (7.3)

Известно, что всякая система при равновесии находится в том состоянии, возможном для нее, при котором ее потенциальная энергия имеет минимальное значение. В данном случае жидкость в равновесии должна иметь минимально возможную площадь поверхности. Это означает, в свою очередь, что существуют силы, препятствующие увеличению поверхности жидкости, т.е. стремящиеся сократить эту поверхность. Эти силы направлены по касательной к поверхности и называются силами поверхностного натяжения.

Рассмотрим проволочный контур (рисунок 7.1), одна из сторон которого АВ неподвижна.

Рисунок 7.1 – Проволочный контур

·

·

·

·

·

А

F

В

ΔХ

Если поместить этот контур в мыльный раствор, то на нем образуется мыльная пленка, представляющая собой слой жидкости с двумя поверхностями. Силы поверхностного натяжения принуждают пленку сокращаться и перемещают перемычку АВ. Чтобы ее удержать в равновесии, необходимо приложить внешнюю силу . Т.к. пленка имеет две поверхности, вдоль каждой из которых действует сила поверхностного натяжения , то:

  . (7.4)

Предположим, что при постоянной температуре перемычка АВ бесконечно медленно перемещается на расстояние (рисунок 7.1). При этом внешняя сила совершает работу:

  . (7.5)

Эта работа пойдет на увеличение свободной энергии поверхности пленки.

  , (7.6)

где – длина перемычки АВ.

Тогда из (7.5) и (7.6) с учетом (11.4) получим:

  . (7.7)

Из формулы (7.7) следует, что коэффициент поверхностного натяжения можно определить как величину, равную силе поверхностного натяжения, действующей на единицу длины разрыва поверхности жидкости.

Коэффициент поверхностного натяжения зависит от химического состава жидкости и граничащей с ней среды, примесей, внешних условий (температуры, давления) и не зависит от размера поверхности жидкости.

Коэффициент поверхностного натяжения зависит от температуры, т.к. при повышении температуры усиливается интенсивность хаотического движения молекул жидкости, что приводит к ослаблению сил молекулярного воздействия.

Существует так называемое критическое состояние вещества, в котором две различные фазы (жидкая и газообразная) находятся между собой в равновесии, становятся тождественными (неразличимыми) по всем физическим свойствам. Такое состояние вещества характеризуется критическими параметрами, одним из которых является критическая температура. При критической температуре коэффициент поверхностного натяжения жидкости становится равным нулю.

На поверхностное натяжение жидкости оказывает большое влияние находящаяся в ней примесь. Добавление к воде небольшого количества органических веществ (мыла, спиртов, жирных кислот) вызывает значительное уменьшение поверхностного натяжения.

Вещества, уменьшающие коэффициент поверхностного натяжения называют поверхностно-активными. У абсолютно чистых жидкостей (вода, этиловый спирт, ацетон) вся толщина жидкой фазы и ее поверхностный слой имеют совершенно одинаковый состав. В растворах поверхностно–активных веществ происходит повышение концентрации этих веществ в поверхностном слое раствора по сравнению с концентрацией этого вещества во всем объеме жидкости, что приводит к повышению коэффициента поверхностного натяжения.

Поверхностное натяжение жидкостных растворов отличается от поверхностного натяжения растворителя при тех же условиях. Это связано с тем, что в поверхностном слое находятся как молекулы растворителя, так и молекулы растворенного вещества.

В общем случае, работа, затрачиваемая на вывод молекул из поверхностного слоя растворенного вещества и растворителя, неодинакова, поэтому поверхностное натяжение растворов зависит от концентрации. Значение коэффициентов поверхностного натяжения растворов занимает промежуточное положение между коэффициентом поверхностного натяжения растворенного вещества и растворителя.

Для количественной характеристики влажности воздуха пользуются понятиями абсолютной и относительной влажности и дефицита влажности.

Под абсолютной влажностью воздуха понимают физическую величину численно равную массе водяного пара, содержащегося в единице объема воздуха при данной температуре. Обычно абсолютную влажность выражают г/м3. Т.к. плотность пара и его давление пропорциональны:

  , (7.8)

где – давление газа (воды) (Па),

– его плотность (кг/м3),

– молярная масса пара (воды) (кг/моль),

–абсолютная температура (К),

– универсальная газовая постоянная 8,31(Дж/моль К).

Таким образом, абсолютную влажность называют упругостью (парциальным давлением) водяного пара и выражают ее в миллиметра ртутного столба (мм.рт.ст.) или в паскалях (Па).

Для каждой температуры существует определенное максимальное значение абсолютной влажности, равное упругости насыщенного водяного пара, при заданной температуре. При определенных условиях возможно перенасыщение водяного пара. Однако состояние перенасыщения является малоустойчивым, практически все излишки пара конденсируются.

Ощущение сухости или сырости воздуха связано не с абсолютной влажностью, а относительной.

Под относительной влажностью понимают отношение абсолютной влажности к ее максимальному значению при данной температуре. Обычно выражают относительную влажность в %:

  . (7.9)

Максимальная влажность – это количество водяного пара, которое соответствовало бы насыщению при данной температуре, отнесенное к объему, в котором оно содержится (количество водяного пара в единице объема).

Разница между максимальной влажностью и абсолютной при той же температуре называется дефицитом влажности:

*.* (7.10)

Температура, при которой водяной пар, имеющийся в воздухе, становится насыщенным, называется точкой росы. Точка росы характеризует начало конденсации водяного пара. Влажность воздуха измеряют гигрометрами и психрометрами.

Испарением называется фазовый переход из жидкого состояния в газообразное. С точки зрения молекулярно–кинетической теории, испарение – это процесс, при котором с поверхности жидкости вылетают наиболее быстрые молекулы, кинетическая энергия которых превышает энергию их связи с остальными молекулами жидкости. Это приводит к уменьшению средней кинетической энергии оставшихся молекул, т. е. к охлаждению жидкости (если нет подвода энергии от окружающих тел).

Испарение может происходить не только с поверхности, но и в объеме жидкости. В жидкости всегда имеются мельчайшие пузырьки газа. Если давление насыщенного пара жидкости равно внешнему давлению (т. е. давлению газа в пузырьках) или превышает его, жидкость будет испаряться внутрь пузырьков. Пузырьки, наполненные паром, расширяются и всплывают на поверхность. Этот процесс называется кипением. Таким образом, кипение жидкости начинается при такой температуре, при которой давление ее насыщенных паров становится равным внешнему давлению.

**Вопросы для самоконтроля**

1. Понятие поверхностной энергии. Поверхностное натяжение жидкости.
2. Коэффициент поверхностного натяжения жидкости и его зависимость от различных факторов.
3. Что такое поверхностно–активные вещества?
4. Понятие абсолютной, относительной и максимальной влажности. Дефицит влажности. Точка росы.
5. Испарение и кипение жидкости.
6. Зависимость температуры кипения от давления.
7. Как изменится разность показаний сухого и влажного термометров в психрометре при понижении температуры воздуха, если абсолютная влажность остается неизменной?
8. Оба термометра в психрометре показывают одинаковую температуру. Какова относительная влажность?

**Лабораторная работа 7.1**

**Определение коэффициента поверхностного натяжения методом отрыва проволочного контура**

**Цель работы**: 1) определить коэффициент поверхностного натяжения жидкости методом отрыва проволочного контура; 2) исследовать влияние на поверхностное натяжение жидкости температуры, поверхностно–активных веществ, концентрации растворов.

**Приборы и принадлежности**: динамометр ДПН, линейные проволочные контуры разных размеров, чаша для жидкости, термометр, электроплитка, исследуемые жидкости.

**Описание установки**

Рисунок 7.2 – Установка для определения коэффициента поверхностного натяжения

Ш

И

Д

А

К

П

В

Ч

Установка для определения коэффициента поверхностного натяжения методом отрыва проволочного контура (рисунок 7.2) состоит из штатива Ш, динамометра ДПН Д, чаши для жидкости Ч, проволочного контура П, который подвешивается на крючок К и винта держателя В. Динамометр Д состоит из пружины измерительной И, шкалы динамометра. Измерительная пружина И заканчивается крючком К.

**Подготовка и проведение измерений**

**Упражнение 1. Определение коэффициента поверхностного натяжения различных жидкостей.**

1. В чашу для исследуемой жидкости Ч налить исследуемую жидкость (по рекомендации преподавателя).
2. На крючок К осторожно подвесить проволочный контур П заданной длины (длина контура задается преподавателем).
3. Перемещая динамометр Д по высоте, проволочный контур с помощью пинцета погрузить в жидкость так, чтобы он полностью покрывал этот контур.
4. Медленно выворачивать винт держателя В до тех пор, пока не разорвется пленка жидкости, тянувшаяся за контуром П. Заметить по шкале динамометра А значение силы , при котором разорвалась пленка (единица измерения силы по динамометру мН).
5. Опыт повторить 3–5 раз.
6. Вычислить среднее арифметическое значение силы , абсолютную и относительную погрешность.
7. П.П. 2–6 повторить для контуров различной длины.
8. Вычислить коэффициент поверхностного натяжения жидкости по формуле:

  , (7.11)

где – сила, приложенная для разрыва пленки (Н),

– длина проволочного контура (м).

1. Результаты вычислений и измерений занести в таблицу 7.1

Таблица 7.1 – Результаты измерений

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Исслед.  жидкость | ,  м | ,  Н | ,  Н | ,  Н | ,  Н/м | ,  Н/м |
|  |  |  |  |  |  |  |

1. Полученные результаты сравнить с табличными значениями.

**Упражнение 2. Влияние поверхностно-активных веществ на поверхностное натяжение жидкости.**

1. Измерить силу поверхностного натяжения заданной жидкости.
2. На поверхность жидкости капнуть несколько капель поверхностно-активного вещества.
3. Определить силу поверхностного натяжения полученного раствора.
4. Вычислить коэффициент поверхностного натяжения для жидкости с поверхностно-активным веществом. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 7.2.

Таблица 7.2 – Результаты измерений

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Исследуемая  жидкость | , м | ,Н | , Н | , Н/м |
|  |  |  |  |  |

5.Сравнить и проанализировать коэффициенты поверхностного натяжения для обоих случаев (п.1 и п.4).

**Лабораторная работа 7.2**

**Определение влажности воздуxa**

**Цель работы:** 1) научиться определять влажность воздуха при помощи психрометра; 2) рассчитать основные физические параметры микроклимата воздушной среды помещения учебной лаборатории.

**Приборы и принадлежности:** психрометр Августа, барометр БМ–2, пипетка с водой.

**Описание установки**

Психрометр Августа состоит из двух термометров: сухого и влажного. Шарик одного из термометров окутан кусочком марли или батиста (рисунок 7.3). Сухой термометр 1 психрометра показывает температуру воздуха , а влажный 2 (в случае, если водяной пар в воздухе не является насыщенным) – температуру , более низкую, зависящую от влажности окружающего воздуха. Разность температур тем больше, чем меньше относительная влажность воздуха.

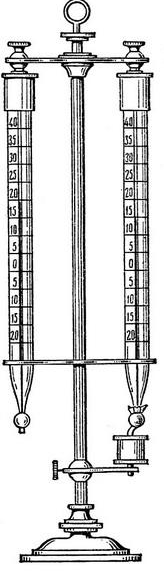


Рисунок 7.3 – Психрометр Августа

При испарении воды с поверхности батиста температура влажного термометра понижается до тех пор, пока количество теплоты , поступающее к термометру из окружающей среды за время, станет равным количеству теплоты , необходимому для испарения, до установления теплового равновесия:

*.*

В случае теплового равновесия температура влажного термометра не изменяется, несмотря на продолжающееся испарение.

Количество теплоты , поступающее из окружающей среды при небольших разностях температур, определяется законом Ньютона:

  , (7.12)

где –величина поверхности шарика влажного термометра,

– коэффициент пропорциональности.

Если за время с поверхности испаряется масса воды , то количество теплоты , необходимое для ее испарения, равно:

  , (7.13)

где – удельная теплота испарения при температуре влажного термометра.

Выразив , получим:

,

где – коэффициент пропорциональности, зависящий, в основном, от скорости протекания воздуха над испаряющейся поверхностью,

*Е* – упругость насыщенного пара при температуре испаряющейся поверхности (температуре влажного термометра) – максимальная влажность,

*е* – абсолютная влажность воздуха,

*Н* – атмосферное давление.

При установившемся режиме испарения *,* т.е.:

  . (7.14)

Из формулы (7.14) следует, что разность температур сухого и влажного термометров пропорциональна разности упругостей насыщенного водяного пара (максимальной влажности) при температуре влажного термометра и абсолютной влажностью (упругостью) водяного пара, находящегося в воздухе при данных условиях.

называется постоянной психрометра и зависит от конструкции психрометра и скорости обтекания воздухом влажного термометра.

Из (7.14) получим так называемую психрометрическую формулу:

  , . (7.15)

На основании этой формулы составляются психрометрические таблицы для определения абсолютной и относительной влажности.

**Ход работы**

1. С помощью пипетки смочить водой батист, которым обернут один из термометров психрометра (рисунок 7.3).

2. Когда показание влажного термометра установится (минут через 10–15), снять показания сухого и влажного термометров и . Опыт повторить 3 раза и вычислить их средние значения.

3. Определить разность показаний сухого и влажного термометров .

4. По психрометрической таблице определить относительную влажность (Таблица находится на психрометре).

5. По таблице "Давление и плотность насыщенных паров воды" определить максимальную влажность для измеренной температуры в помещении.

6. Вычислить абсолютную влажность и дефицит влажности (по формулам (7.9) и (7.10)).

7. По барометру определить атмосферное давление в мм рт.ст. и перевести в Паскали (1 мм рт.ст.=133,317 Па).

8. Вычислить постоянную психрометра *А* по формуле:

  . (7.16)

9. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 7.3.

Таблица 7.3 – Результаты измерений

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер опыта | ,  0С | ,  0С | ,  0С | *f,*  % | , г/м3 | *,*  % | ,  г/м3 | ,  мм рт.ст. | ,  Па | , 0С–1 |
| 1  2  3  среднее |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**Тема 8**

**Постоянный электрический ток**

1. Устройство и принцип работы магнитоэлектрического гальванометра
2. Градуировка гальванометра
3. Законы Кирхгофа

**Основные понятия по теме**

Магнитоэлектрический гальванометр представляет собой проводящую рамку (обычно намотана тонким проводом), закреплённую на оси в магнитном поле постоянного магнита. При отсутствии тока в рамке она удерживается пружиной в некотором нулевом положении. Если же по рамке протекает ток, то рамка отклоняется на угол, пропорциональный силе тока, зависящий от жёсткости пружины и индукции магнитного поля. Стрелка, закреплённая на рамке, показывает значение тока в тех единицах, в которых отградуирована шкала гальванометра. От прочих конструкций магнитоэлектрическая система отличается наибольшей линейностью градуировки шкалы прибора (в единицах силы тока или напряжения) и наибольшей чувствительностью (минимальным значением тока полного отклонения стрелки).

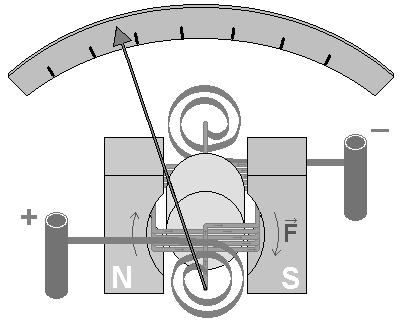


Рисунок 8.1 – Устройство магнитоэлектрического гальванометра

Проградуировать шкалу гальванометра – это значит установить, какой силе тока соответствует то или иное деление шкалы. Зная силу тока и соответствующее отклонение стрелки гальванометра, можно построить кривую . Если эта зависимость представляет собой линейную функцию, то можно определить «цену деления» или еще ее называют «постоянной» гальванометра, понимая под этим термином ту силу тока, которая отклоняет стрелку гальванометра на одно деление шкалы. Величина, обратная цене деления, называется «чувствительностью» гальванометра.

Единица измерения постоянной гальванометра по току: А/дел; мА/дел; мкА/дел.

В данной работе определяется цена деления шкалы гальванометра по току.

Для градуировки гальванометра используется цепь, схема которой дана на рисунке 8.2.

###### Г

###### А

+

Рисунок 8.2 – Электрическая схема установки

где – аккумулятор, питающий цепь,

и – постоянные сопротивления,

– магазин сопротивлений,

– внутреннее сопротивление гальванометра.

Чтобы установить зависимость силы тока, протекающего по гальванометру от параметров цепи, воспользуемся законом Кирхгофа.

Первый закон Кирхгофа является следствием принципа непрерывности электрического тока, в соответствии с которым суммарный поток зарядов через любую замкнутую поверхность равен нулю, т.е. количество зарядов выходящих через эту поверхность должно быть равно количеству входящих зарядов. Основание этого принципа очевидно, т.к. при нарушении его электрические заряды внутри поверхности должны были бы либо исчезать, либо возникать без видимых причин.

Второй закон Кирхгофа: алгебраическая сумма ЭДС вдоль любого замкнутого контура равна алгебраической сумме падений напряжения на резисторах в этом контуре.

Принимая во внимание обозначение и направления токов, данные на рисунке 8.2, напишем следующее уравнение:

для точки *А* (по первому закону Кирхгофа):

  , (8.1)

для контура *АГВЕА* (по второму закону Кирхгофа):

  , (8.2)

для контура *АГВА* (по второму закону Кирхгофа):

  . (8.3)

Решая эти три уравнения, для силы тока , протекающего через гальванометр, получаем выражение:

  . (8.4)

Таким образом, зная ЭДС аккумулятора , сопротивление *, ,*  и , можно вычислить силу тока, протекающего в гальванометре. При неизменных значениях *, , ,* и силу тока в гальванометре можно менять, задаваясь различным значением .

**Вопросы для самоконтроля**

1. Назначение гальванометра. Назовите системы гальванометров.
2. Устройство и принцип действия гальванометра магнитоэлектрической системы.
3. Основные параметры гальванометра. Что такое цена деления по току и по напряжению? Единицы измерения цены деления по току, по напряжению.
4. Сформулируйте законы Кирхгофа для разветвленной цепи.

**Лабораторная работа 8**

**Градуировка шкалы гальванометра**

**Цель работы:**проградуировать шкалу гальванометра и определить цену деления по току.

**Приборы и принадлежности:**Нуль – гальванометр типа ФЭП; постоянное сопротивление (=100 Ом – реостат); постоянное сопротивление (=1000 Ом – реостат); магазин сопротивлений, тип Р–33; источник тока (аккумулятор =4 В); ключ; соединительные провода.

**Ход работы**

1. Познакомиться с приборами и дать полную характеристику на каждый прибор.

2. Заготовить таблицу записи наблюдений.

3. Собрать электрическую цепь по схеме рисунка 8.2.

Правильно и рационально располагайте приборы на рабочем столе.

В качестве постоянных сопротивлений и служат реостаты со скользящим контактом, в качестве переменного сопротивления служит 6-ти декадный магазин сопротивлений Р–33. Перед началом работы сопротивление магазина должно быть минимальным (=0), то есть все декады магазина должны быть выведены.

4. Собрав схему, включают в магазине такое сопротивление (вводить в магазине сопротивление надо с наименьшего), при котором стрелка гальванометра будет отклонена до конца шкалы ( = 10 делений).

5. Записывают значения сопротивлений *, ,* и и деление , на котором стоит стрелка гальванометра, в таблицу наблюдений.

6. Уменьшая сопротивление так, чтобы стрелка гальванометра стояла против некоторого деления, например, 9–го (=9), опять записывают значения сопротивления и . Все данные заносят в таблицу записи наблюдений.

7.Уменьшая сопротивление (при неизменном значении и ) проходят всю шкалу до нуля, делая, таким образом, 10 отсчетов.

8. Проделывают наблюдения в обратном порядке, увеличивая (при неизменном и ) и устанавливают стрелку гальванометра на прежних делениях шкалы.

**Обработка результатов опыта**

1. Из двух значений и , соответствующих одному и тому же отклонению n стрелки гальванометра, находят среднее .
2. Для каждого значения вычисляют по формуле (8.4), при этом  – внутреннее сопротивление гальванометра дается на шкале прибора.
3. Строят градуировочный график , откладывая по оси абсцисс значение , по оси ординат .
4. Определяют цену деления шкалы гальванометра по формуле:

, (А/дел.)

где – номер опыта (измерения).

Необходимо определить 10 значений . После этого вычисляют среднее значение .

График зависимости

Данные для расчетов:

=4 В, =100 Ом, =1000 Ом, =385 Ом .

Таблица 8.1 – Результаты измерений

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ,  дел. | ,  Ом | ,  Ом | ,  Ом | ,  А | ,  А/дел | ,  А/дел |
| 10 |  |  |  |  |  |  |
| 9 |  |  |  |  |  |
| 8 |  |  |  |  |  |
| 7 |  |  |  |  |  |
| 6 |  |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |
| 1 |  |  |  |  |  |

**Тема 9**

**Методы расчета электрических цепей постоянного тока**

1. Мостовые схемы измерения сопротивления
2. Законы Кирхгофа
3. Устройство и принцип работы вакуумного диода
4. Параметры двухэлектродной лампы и их физический смысл

**Основные понятия по теме**

Для определения сопротивлений проводников существуют различные методы. Одним из них является метод мостика постоянного тока – метод мостика Уитстона. Мостовые схемы работают как пара двухкомпонентных делителей напряжения подсоединённых параллельно к источнику напряжения, индикатор нулевого сигнала включён в диагональ моста для определения "баланса" при нулевом сигнале. Метод измерения сопротивления при помощи мостика Уитстона является очень точным и весьма часто применяется в лабораторной практике. Принципиальная схема метода мостика Уитстона дана на рисунке 9.1.

*Е*

*К*

*I*

*I*

*А*

*С*

*В*

*D*

*+*

-

Г

Г

Рисунок 9.1 – Мост Уитстона

Мостик Уитстона представляет собой схему, состоящую из четырех сопротивлений – ''четырехугольник сопротивлений''. В одну диагональ этого четырехугольника включается источник тока и ключ, а в другую – гальванометр, который собственно и является мостиком, перекинутым между двумя параллельно соединенными ветвями и .

При замыкании ключа и при произвольных значениях сопротивлений  , , и через гальванометр будет идти ток того или иного направления. Но можно подобрать такие сопротивления , , и , когда тока в гальванометре не будет (стрелка гальванометра останется на нуле при замыкании ключа). Это произойдет в том случае, когда потенциалы точек и будут равны.

Выясним зависимость между сопротивлениями , , и , тогда в проводнике тока нет.

*Первый закон Кирхгофа* является следствием принципа непрерывности электрического тока, в соответствии с которым суммарный поток зарядов через любую замкнутую поверхность равен нулю, т.е. количество зарядов выходящих через эту поверхность должно быть равно количеству входящих зарядов. Основание этого принципа очевидно, т.к. при нарушении его электрические заряды внутри поверхности должны были бы либо исчезать, либо возникать без видимых причин.

*Второй закон Кирхгофа:* алгебраическая сумма ЭДС вдоль любого замкнутого контура равна алгебраической сумме падений напряжения на резисторах в этом контуре.

На основании первого закона Кирхгофа для точек и могут быть написаны уравнения:

для точки :

  . (9.1)

Для точки :

.

На основании второго закона Кирхгофа имеем:

Для контура :

  . (9.2)

Для контура :

.

Преобразуем эти равенства. Из выражений (9.1) и (9.2) получим:

  . (9.3)

Это последнее выражение и устанавливает связь между сопротивлениями, составляющими “плечи” мостика Уитсона, при отсутствии тока в гальванометре.

Зная три сопротивления, входящие в уравнение (9.3), определяют четвертое.

Измеряемое сопротивление  введено в плечо ; известное сопротивление  в плечо мостика. Двумя другими сопротивлениями и являются части реохорда рисунка 9.2. По проволоке реохорда перемещается подвижной контакт , соединенный с гальванометром . Этот контакт делит струну реохорда на две части и .

Рисунок 9.2 – Схема установки

*Г*

*С*

*А*

*В*

*К1*

*К2*

*D*

+

-

Заменяя в равенстве (9.3) значения  , , получим формулу для определения неизвестного сопротивления:

  . (9.4)

Вследствие того, что проволока реохорда однородная и тщательно калибрована, отношение сопротивления участков цепи и (плеч реохорда) можно заменить отношением соответствующих длин плеч реохорда  и , то есть:

  . (9.5)

Подставив (9.5) в (9.4), получим окончательную формулу для определения сопротивления:

  , (9.6)

где и – длины плеч реохорда при нулевом положении стрелки гальванометра.

Одним из преимуществ использования мостовой схемы для измерения сопротивлений является то, что напряжение источника питания не влияет на измерения. Практически, чем выше напряжение питания, тем легче обнаружить дисбаланс между четырьмя резисторами с помощью индикатора нулевого сигнала, и таким образом повышается чувствительность схемы. Большее напряжение питания ведёт к увеличению точности измерений. Однако из–за уменьшения или увеличения напряжения питания не вносится фундаментальных ошибок в отличие от других схем измерения сопротивлений.

Двухэлектродная лампа (диод) представляет собой вакуумную лампу (давление в ней примерно 10–7 мм рт.ст) с двумя электродами, выполняющими совершенно различные функции – анодом *А* и катодом *К* (рисунок 9.3). Анодом служит полый металлический цилиндр. Катод – источник электронов, представляет собой тонкую металлическую трубку, находящуюся внутри анода. Катод разогревается нитью накала, расположенной внутри трубки. Нить накала и катод электрически изолированы друг от друга. Концы нити накала, катода и анода, включаются в цепь с помощью медных ножек, выведенных через цоколь.

-

К

### А

+

н

н

Рисунок 9.3 – Двухэлектродная лампа

Сущность происходящих в диоде физических процессов состоит в следующем. При нагревании током нити накала вследствие термоэлектронной эмиссии, разогретый катод испускает электроны; наиболее быстрые электроны получают энергию, достаточную для преодоления сил, удерживающих их в металле, и образуют в лампе электронное облако, препятствующее дальнейшему вылету электронов. Если анод и катод соединить вне лампы проводником, то часть электронов, оседающих на аноде, вызовет слабый ток во внешней цепи. Ток, идущий в этой цепи, называется анодным током .

Если же сообщить аноду некоторое положительное напряжение, то к нему стремится большое количество электронов; ток во внешней цепи усилится. Если продолжать увеличивать напряжение на аноде, то ток будет расти, но лишь до определенного предела, пока не окажется, что все, вытекающие из катода электроны, попадают на анод. Этот наибольший ток называется током насыщения .

Анодный ток при постоянной температуре нити накала () зависит от напряжения , приложенного между анодом и катодом:

.

При постоянном напряжении между анодом и катодом () анодный ток насыщения зависит от температуры накала нити катода.

При изучении двухэлектродной лампы снимается зависимость анодного тока  лампы от приложенного между анодом и катодом напряжения , называемая вольтамперной характеристикой двухэлектродной лампы. Такая характеристика показана на рисунке 9.4. Зависимость анодного тока от напряжения между анодом и катодом при постоянной температуре накала катода для участка кривой ОА может быть представлена функцией:

I2нас

0

Рисунок 9.4 – Вольтамперная характеристика диода

,

где – коэффициент пропорциональности, зависящий от размеров и формы анода.

Это уравнение выведено Богуславским и Ленгмюром и часто называется «законом трех вторых».

Физические свойства и область применения двухэлектродной лампы определяются ее параметрами.

Основными параметрами двухэлектродной лампы являются:

а) внутреннее сопротивление лампы;

б) крутизна анодной характеристики.

Внутреннее сопротивление лампы не сохраняется постоянным, как следует из функции зависимости анодного тока от напряжения . Для малых участков крутоподнимающейся характеристики лампы (см. из графика), можно найти среднее значение внутреннего сопротивления *.* Оно равно:

.

Внутреннее сопротивление представляет собой отношение приращения анодного напряжения к приращению анодного тока, при условии постоянства напряжения накала.

Внутреннее сопротивление лампы измеряется в омах.

Величина, обратная внутреннему сопротивлению, называется крутизной анодной характеристики . Крутизна анодной характеристики показывает, насколько изменяется анодный ток лампы при изменении напряжения на аноде на вольт.

.

Крутизна анодной характеристики измеряется в миллиамперах на вольт (мА/В).

**Вопросы для самоконтроля**

1. Какие схемы называются мостовыми? Преимущества мостовых схем для измерения сопротивления.
2. Почему гальванометр, применяемый в мостике Уитстона, должен иметь двухстороннюю шкалу?
3. Объясните, почему при произвольном значении сопротивлений через гальванометр будет протекать ток того или иного направления?
4. Какое преимущество реохорда перед сопротивлениями R3 и R4?
5. Выведите условие равновесия моста, используя законы Кирхгофа.
6. Устройство и принцип работы вакуумного диода.
7. Явление термоэлектронной эмиссии.
8. От чего зависит величина анодного тока в лампе?
9. Как объяснить наличие тока насыщения?
10. Зависимость тока насыщения от температуры катода?
11. Параметры двухэлектродной лампы? Какой физический смысл этих параметров?
12. Работа диода в качестве выпрямителя.

**Лабораторная работа 9.1**

**Измерение сопротивления проводников мостиком Уитстона**

**Цель работы:**научиться измерять электрические сопротивления с помощью моста постоянного тока.

**Приборы и принадлежности:** гальванометр с двухсторонней шкалой; реохорд (калиброванная проволока, натянутая вдоль миллиметрового масштаба); магазин сопротивлений типа Р – 33; измеряемые сопротивления (две катушки); двойной ключ; источник постоянного тока (аккумулятор Е=4 В); соединительные провода.

**Ход работы**

1. Ознакомится с приборами, дать их техническую характеристику. Приготовить таблицу записи наблюдений. Собрать электрическую цепь, как показано на рисунке 9.2. Вместо сопротивления  включить одну из неизвестных катушек .
2. Поместить подвижной контакт посередине проволоки реохорда и подобрать сопротивление в магазине так, чтобы ток в гальванометре почти исчез. Это необходимо делать потому, что точность измерения на мостике зависит от положения контакта ; наибольшая точность получается при  .
3. Окончательно установить гальванометр на нулевое деление путем небольших передвижений контакта и произвести измерения длин плеч реохорда и .
4. Опыт повторить, меняя сопротивление магазина .
5. Подставляя в формулу (9.6) значения , и , взятые из каждого отдельного опыта, вычислить .
6. На место первой катушки в цепь включить вторую катушку . Производя с этой катушкой такие же измерения, как и с первой катушкой , получить значения для второй катушки.
7. Измеренные вышеуказанным способом две катушки и включить в цепь вместе – сначала последовательно, а затем параллельно. Измерить сопротивление этих катушек и по одному разу при последовательном, а потом при параллельном соединении так же, как это делали для этих же катушек, включенных отдельно.
8. Полученные опытным путем результаты последовательного и параллельного соединения сопротивлений необходимо сопоставить с величинами сопротивлений, рассчитанными по формулам последовательного и параллельного соединения сопротивлений, пользуясь значениями сопротивлений катушек и , найденными ранее. Все полученные опытом и вычисленные результаты сводятся в таблицу отчета.
9. Произвести математическую обработку результатов.

Таблица 9.1 – Результаты измерений

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Измеряемое  сопротивление |  |  |  |  |  |  |  |
| Катушка 1 |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Среднее значение | | | |  |  |  | |
| Катушка 2 |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Среднее значение | | | |  |  |  | |
| Катушки 1 и 2, включенные последовательно |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Среднее значение | | | |  |  | ***=*** | |
| Катушки 1 и 2,  включенные параллельно |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Среднее значение | | | |  |  | = | |

**Лабораторная работа 9.2**

**Изучение работы двухэлектродной электронной лампы**

**Цель работы:** по полученной вольтамперной характеристике определить основные параметры двухэлектродной лампы.

**Приборы и принадлежности:** Ва – источник постоянного напряжения 250 вольт (от выпрямителя ВУП–2); Вн – источник переменного напряжения 6,3 вольт (от выпрямителя ВУП–2); Rn – высокоомный потенциометр (реостат порядка 3000 Ом); V – вольтметр многопредельный, тип Э59); Ma – миллиамперметр типа Э59; ключ замыкания для цепи анода; ключ замыкания для цепи накала; двухэлектродная лампа на панели; соединительные провода.

**Ход работы**

**Упражнение 1. Снятие вольтамперной характеристики двухэлектродной электронной лампы.**

1. Ознакомившись с приборами и принадлежностями и приготовив таблицу записи наблюдений, собирают приборы по схеме рисунка 9.5.

#### V

mA

k

A

н

н

KA

Rn

BA

+

+

**\_**

## Kn

## Bn

Рисунок 9.5 – Схема установки

Схема для снятия вольтамперной характеристики диода состоит из двух самостоятельных цепей: цепи накала и цепи анода. Цепь накала (клеммы М и Н) служит для разогрева катода, состоит из последовательно соединенных с источником переменного напряжения (6,3 вольта) нити накала и ключа. Цепь анодного тока питается от источника постоянного напряжения через высокоомный потенциометр. Потенциометр присоединяется к источнику напряжения через ключ. Снимаемое при помощи движка потенциометра напряжение подводится на анод А. Для измерения подаваемого на лампу напряжения в цепь включается вольтметр, а для измерения величины анодного тока включается миллиамперметр.

Начиная опыт, поставить:

а) потенциометр на нуль напряжения;

б) предел измерения вольтметра на 300 вольт;

в) предел измерения миллиамперметра на 10 мА.

Для вольтметра и миллиамперметра рассчитать цену деления

1. Движком потенциометра устанавливают напряжение между анодом и катодом 20 вольт. Одновременно записывают величину анодного тока в лампе (в миллиамперах).
2. Продолжая увеличивать напряжение на аноде через каждые 20 вольт, записывают величину анодного тока в лампе для каждого значения установленного напряжения. Таким образом снимается вольтамперная характеристика двухэлектродной лампы.
3. После этого идут в обратном направлении, уменьшая напряжение через каждые 20 вольт и записывая величину анодного тока. Из двух значений ( и ) анодного тока, соответствующих одному и тому же напряжению, находят среднее значение анодного тока. Данные заносят в таблицу записи наблюдений.

Таблица 9.2 – Вольтамперная характеристика диода

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| , В | , mA | , mA | , mA |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

5.Результаты измерения представить в виде графика, выражающего зависимость анодного тока в лампе от анодного напряжения. По оси абсцисс откладывают  в вольтах, по оси ординат в миллиамперах. По кривой находят величину анодного тока насыщения (при условии, что это выполнимо) и потенциала насыщения. Потенциал насыщения – это такой потенциал, начиная с которого анодный ток в лампе делается током насыщения.

**Упражнение 2. Определение основных параметров двухэлектродной лампы.**

Определить из графика вольтамперной характеристики диода:

а) внутреннее сопротивление лампы ;

б) крутизну анодной характеристики для средней части анодной характеристики, где она приближается к прямой.

Для этого на кривой графика выбирают прямолинейную часть и строят прямоугольный треугольник АВС (рисунок 9.6), находят приращение анодного напряжения  ( прямая АС ) и приращение анодного тока ( прямая ВС ).

B

C

A

0

Рисунок 9.6 – Вольтамперная характеристика диода

**Тема 10**

**Магнитное поле и его свойства**

1. Магнитное поле Земли
2. Закон Био-Савара-Лапласа
3. Принцип работы и устройство тангенс-гальванометра

**Основные понятия по теме**

Земля представляет собой огромный естественный магнит, полюса которого располагаются недалеко (≈ 300 км) от географических полюсов: вблизи северного географического полюса расположен южный магнитный полюс , а вблизи южного географического – северный магнитный полюс .

Рисунок 10.1 – Магнитное поле Земли

Через магнитные полюса Земли можно провести линии больших кругов – магнитные меридианы (рисунок 10.1). По последним данным магнитное поле Земли связано с токами, циркулирующими по поверхности ядра Земли, а отчасти с намагниченностью горных пород и токами в радиационных поясах Земли. Магнитное поле Земли в первом приближении совпадает с магнитным полем диполя (прямого магнита), помещенного в центре Земли.

Если в данной точке Земли свободно подвесить магнитную стрелку (то есть подвесить за центр масс так, чтобы она могла поворачиваться и в горизонтальной и в вертикальной плоскостях), то она установится по направлению напряженности магнитного поля Земли в данной точке.

Магнитное поле Земли удобно характеризовать тремя элементами: горизонтальной составляющей , магнитным склонением (углом между географическим и магнитным меридианами) и магнитным наклонением (угол между вектором и плоскостью горизонта). Знание , и дает возможность определить величину и направление вектора напряженности магнитного поля Земли в данной точке.

Магнитное поле Земли подвержено суточным, годовым, вековым и т.п. колебаниям. Соответственно меняются и элементы земного магнетизма.

Отметим, что магнитная стрелка или рамка с током устанавливается в определенном направлении под действием вектора индукции магнитного поля, а не вектора напряженности. Но в силу установившейся традиции обычно говорят о векторе напряженности.

Если магнитная стрелка может вращаться только около вертикальной оси, то под действием горизонтальной составляющей магнитного поля Земли она устанавливается в плоскости магнитного меридиана. Это свойство магнитной стрелки используется в приборе, который называется тангенс–гальванометр, для определения величин горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля .

Тангенс–гальванометр представляет собой плоскую вертикальную катушку радиуса с числом витков . В центре катушки в горизонтальной плоскости расположен компас. Магнитная стрелка компаса при отсутствии тока в катушке будет располагаться по магнитному меридиану Земли .

*A*

## *B*

Рисунок 10.2 – Схема установки

Поворачивая катушку около вертикальной оси можно добиться совмещения плоскости катушки с плоскостью магнитного меридиана. Если после таковой установки катушки по ней пропустить ток, то магнитная стрелка повернется на некоторый угол . Объясняется это тем, что на магнитную стрелку будет действовать два поля. Внешнее поле – это горизонтальная составляющая напряженности магнитного поля Земли – и второе поле, созданное током  (рисунок 10.2).

Под действием этих двух полей магнитная стрелка займет такое положение, при котором равнодействующая этих полей будет совпадать с линией, соединяющей полюса стрелки.

На рисунке 10.2 – направление магнитного меридиана Земли; и сечения витка катушки горизонтальной плоскостью; – магнитная стрелка компаса, помещенная в центре катушки; – вектор горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли; – вектор напряженности магнитного поля, созданного током в катушке (определяется по правилу буравчика).

В точке ток идет на нас (показан точкой). В точке ток идет от нас (показан крестиком). Магнитное поле тока (вектор ) направлено перпендикулярно и плоскости витков.

Из рисунка 10.2 видно, что

  , (10.1)

откуда

  . (10.2)

Длина магнитной стрелки компаса должна быть намного меньше радиуса катушки, чтобы магнитное поле можно было бы считать однородным в той области, где находится стрелка, а напряженность – равной напряженности в центре катушки.

Магнитное поле тока зависит от геометрии источника магнитного поля, от величины тока, протекающего по проводнику.

Пусть постоянный ток течёт по контуру , находящемуся в вакууме, – точка, в которой ищется поле, тогда индукция магнитного поля в этой точке выражается интегралом:

.

Применяя закон Био–Савара–Лапласа, можно легко найти напряженность магнитного поля в центре кругового тока, имеющего  витков. Получим:

  . (10.3)

Подставляя значения из формулы (10.3) в формулу (10.2), находим:

  . (10.4)

**Вопросы для самоконтроля**

1. Сформулировать закон Био-Савара-Лапласа.
2. В чем заключается принцип измерения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли с помощью тангенс-гальванометра?
3. Почему магнитная стрелка тангенс-гальванометра должна быть намного меньше радиуса витков?

**Лабораторная работа 10**

**Определение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля земли тангенс-гальванометром**

**Цель работы:**определить горизонтальную составляющую земного магнитного поля с помощью прибора, называемого тангенс–гальванометром.

**Приборы и принадлежности:** тангенс–гальванометр (число витков *n=65* витков, радиус витков равен 14 см); миллиамперметр типа ЛМ – 1; реостат со скользящим контактом (200 Ом); аккумулятор; коммутатор; ключ; соединительные провода.

**Ход работы**

1. Соберите установку по схеме, изображенной на рисунке 10.3.

Тангенс-гальванометр необходимо поместить не ближе 1 метра от других приборов, так как магнитное поле приборов может оказывать сильное влияние на магнитную стрелку тангенс-гальванометра.

1. Коммутатор поставить на любое направление тока. Очень часто тангенс–гальванометр имеет установочные винты и уровень. При помощи установочных винтов добиваются того, чтобы стрелка могла свободно вращаться, не задевая шкалу лимба. Такая «свободная» стрелка довольно быстро устанавливается по магнитному меридиану и будет сохранять это положение.

Рисунок 10.3 – Схема установки

***E***

***+***

***R***

***mA***

***ТГ***

***-***

***К***

1. Вращают катушку около вертикальной оси, наблюдая сверху, и придают ей такое положение, чтобы ось магнитной стрелки лежала в плоскости катушки. Тогда плоскость катушки будет совмещена с плоскостью магнитного меридиана. При этом магнитная стрелка указывает на нулевое деление шкалы лимба. Если это не так, то необходимо повернуть компас вокруг вертикальной оси.
2. Задаются пятью значениями токов, пропущенных через витки катушки тангенс–гальванометра в пределах 20–100 мА. Например: 20, 40, 60, 70, 90 мА. Каждой величине тока соответствует свой опыт.
3. Проводя первый опыт, соответствующий току 20 мА, необходимо:

Рисунок 10.4 – Стрелка компаса

1. установить реостат на нужное сопротивление (стрелка миллиамперметра показывает 20 мА) и замыкают ключ *.* Когда стрелка тангенс-гальванометра успокоится, производят измерение острого угла по обоим концам стрелки, как показано на рисунке 10.4.
2. записывают показания миллиамперметра и тангенс-гальванометра.
3. коммутатором меняют направление тока в тангенс-гальванометре.
4. измеряют, как и в первом случае, углы отклонения стрелки, ток должен быть таким же, как и ранее.
5. результаты заносят в таблицу.
6. Проводят второй опыт, соответствующий току 40 мА. И далее со всеми токами. Все результаты заносят в таблицу.
7. Для каждого опыта вычисляют (где – номер опыта) по формуле (10.4), где витков катушки *=65* , а радиус витков *=14 см*.

Результаты измерений и вычислений записывают в таблицу 10.1.

Таблица 10.1 – Результаты измерений

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Направление тока  *→* | Направление тока  *←* |  |  | *10-3*  А | А/м |  |  |  |
|  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Среднее значение величин | | | | |  |  |  |  |

**Тема 11**

**Электромагнитная индукция**

1. Основные параметры переменного тока
2. Активное, индуктивное и емкостное сопротивления
3. Закон Ома для полной цепи

**Основные понятия по теме**

Параметры переменного тока:

1. Мгновенное значение – величина тока соответствующая данному моменту времени
2. Амплитуда – максимальное мгновенное значение (наибольшее значение, которого достигает переменный ток).
3. Период – время в течение которого переменный ток совершает полный цикл своих изменений, возвращаясь к исходной величине.
4. За один период совершается одно колебание переменного тока, т. е. период это время одного колебания. Одно колебание состоит из двух движений тока.
5. Частота – число колебаний переменного тока в секунду
6. По определению период и частота являются взаимно обратными величинами.
7. Фаза – это состояние переменного тока за определенный период времени.

1.Если на зажимах проводника с активным сопротивлением напряжение в каждый момент времени *t* изменяется по закону:

*,* (11.1)

где – значение напряжения в данный момент времени (мгновенное),

– амплитудное значение напряжения,

– круговая частота,

то в нем возникает переменный электрический ток, мгновенное значение силы тока в тот же момент определяется по закону Ома:

  , (11.2)

где .

2.Если же помимо активного сопротивления в цепи имеется индуктивное сопротивление (), характеризуемое индуктивностью *L*, то закон изменения силы тока имеет вид:

  , (11.3)

где

  , (11.4)

а – сдвиг фаз между током и напряжением, определяемый по формуле:

  . (11.5)

Из сопоставления уравнений (11.1) и (11.3) следует, что в этом случае ток отстает по фазе от напряжения.

Величина  носит название полного сопротивления активно – индуктивной цепи, так как она играет в формуле (11.4) ту же роль, что и обычное активное сопротивление , то есть ограничивает силу тока. Величина же  называется индуктивным сопротивлением, которое обусловлено явлением самоиндукции.

3.Если вместо катушки индуктивности в цепь переменного тока включен конденсатор емкости , то величина тока выражается формулой:

  , (11.6)

где

,

а

  . (11.7)

В этом случае фаза изменения тока опережает фазу изменения напряжения. Полное сопротивление для рассматриваемого случая запишется так:

,

где величина  называется емкостным сопротивлением.

1. Наконец, в случае, когда в цепь включены последовательно все три величины: активное сопротивление, индуктивное сопротивление и емкостное сопротивление , величина тока в цепи может быть записана выражением:

,

где

  . (11.8)

Эта формула является математическим выражением закона Ома для цепи переменного тока, состоящей из активного, индуктивного и емкостного сопротивлений, где:

является полным сопротивлением цепи, а:

.

В формулы (11.2), (11.4), (11.6), (11.8) входят и – амплитудные значения токов и напряжений. Но так как измеряемые приборами действующие значения этих величин и связаны с амплитудными (максимальными) посредством формул:

и ,

то, подставляя и в вышеуказанные формулы, получим:

  . (11.9)

  , (1.10)

  . (11.11)

  . (11.12)

Во всех формулах под следует подразумевать сумму всех активных сопротивлений цепи (в том числе и катушки индуктивности), на концах которой измеряется напряжение. Если разность потенциалов измеряется непосредственно на зажимах катушки, то есть сопротивление одной катушки.

**Вопросы для самоконтроля**

1. Назовите параметры переменного тока, охарактеризуйте каждый параметр.
2. Какова природа активного, индуктивного и емкостного сопротивлений?
3. Как зависит индуктивное и емкостное сопротивление от частоты тока? Дайте физическое истолкование этому явлению.
4. От каких параметров зависит индуктивность катушки?
5. Что мы понимаем под действующим значением тока и напряжения

**Лабораторная работа 11**

**Проверка закона Ома для переменного тока**

**Цель работы:** изучить методы измерений индуктивности катушки, емкости конденсатора и экспериментально проверить закон Ома для переменного тока.

**Приборы и принадлежности:** источник регулируемого напряжения (ЛАТР); амперметр тип Э – 59; вольтметр тип Э – 59; катушка индуктивности с сердечником; конденсатор; ключ; соединительные провода.

**Ход работы**

**Упражнение 1. Измерение индуктивности катушки.**

Цепь переменного тока с одним индуктивным сопротивлением практически получить очень трудно. Катушка индуктивности помимо чисто индуктивного сопротивления обладает и активным сопротивлением . Полное сопротивление выразится формулой:

***,*** ,

откуда

  . (11.13)

Из формулы (11.10) следует, что:

  , (11.14)

где – круговая частота,

– активное сопротивление катушки индуктивности.

.

*Примечание.* Активное сопротивление для низких частот (50 Гц) можно приравнять к омическим сопротивлениям, измеренным при постоянном токе.

**Порядок проведения работы**

1.Ознакомившись с приборами, записав их техническую характеристику и заготовив таблицу записи наблюдений, собирают электрическую цепь, согласно рисунок 11.1.

# V

# A

***XL***

***ЛАТР***

***К***

Рисунок 11.1 – Схема установки

2. Перед началом работы необходимо движок ЛАТРА поставить так, чтобы напряжение, снимаемое с ЛАТРА, было минимальным ( ).

3. Измеряют величину активного сопротивления на катушке ( ).

4. Для определения полного сопротивления на катушке, замыкают ключ , и изменяя положение движка ЛАТРА, устанавливают достаточное отклонение стрелки амперметра , соответственно записывая показания вольтметра . Данные заносят в таблицу записи наблюдений.

Таблица 11.1 – Результаты измерений

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

Повторяют все измерения еще не менее чем для двух различных значений токов и напряжений.

1. Определяют при помощи формулы (11.13), по формуле (11.14) значение , а затем при помощи формулы (11.5) значение для различных опытов.

**Упражнение 2. Измерение емкости конденсатора.**

В схеме (рисунок 11.1) индуктивное сопротивление заменяют емкостным *.*

,

где – общее сопротивление емкостного участка,

– активное сопротивление этого участка.

В случае, когда напряжение измеряется непосредственно на обкладках конденсатора, формула эта значительно упрощается, так как активное сопротивление в цепи отсутствует (). В этом случае:

  , (11.15)

при *:*  .

**Порядок проведения работы**

1. В предыдущей цепи заменяют катушку индуктивности конденсатором.

2. Замыкают ключ и движком ЛАТРА устанавливают достаточное отклонение амперметра и вольтметра. Данные заносят в таблицу. Определив по формуле , вычисляют по формуле (11.15) и по формуле (11.7).

3. Измерения повторяют не менее трех раз, изменяя величину тока и напряжения в цепи.

4. Вычисляют .

Таблица 11.2 – Результаты измерений

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

**Упражнение 3. Проверка закона Ома для переменного тока.**

Если цепь состоит из последовательно соединенных активного, индуктивного и емкостного сопротивлений, то общее или полное сопротивление данной цепи будет выражаться формулой:

  . (11.16)

Для проверки этой формулы, подставляют в нее ранее вычисленные значения , и . Вычисляют *.*

С другой стороны, полное сопротивление цепи находят по формуле:

  . (11.17)

Сравнивают эти результаты, тем самым проверяя справедливость формулы закона Ома для переменного тока.

**Порядок проведения работы**

Собрав электрическую цепь (рисунок 11.2), состоящую из последовательно соединенных сопротивлений ,  и  (сопротивление является активным сопротивлением катушки индуктивности), замыкают ключ и при помощи движка ЛАТРА добиваются достаточных показаний приборов, и производят отсчет действующих значений тока и напряжения.

# V

# A

***ЛАТР***

***К***

Рисунок 11.2 – Схема установки

Полученные данные подставляют в формулу (11.17), находят . Измерения проделывают еще для двух значений тока и напряжения.

С другой стороны, определяется после подстановки в формулу (11.16) известных величин ,  и . Значения, и берут как среднее значения ( и ), вычисленные в предыдущих упражнениях.

Сравнивают  и *.* Эти значения должны быть приблизительно равны.

Таблица 11.3 – Результаты измерений

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

**Тема 12**

**Фотометрия**

1. Энергетические и фотометрические величины
2. Основные фотометрические величины и единицы их измерения
3. Закон обратных квадратов. Закон косинусов

**Основные понятия по теме**

Раздел физики, занимающийся измерением характеристик оптического излучения, называется фотометрией. Для прикладной светотехники важна как объективная энергетическая характеристика света, так и мера воздействия света на глаз наблюдателя. Поэтому в фотометрии приходится вводить двойные единицы измерения: энергетические (оцениваемые по объективным энергетическим характеристикам) и фотометрические (оцениваемые по воздействию на глаз). Энергетические и фотометрические величины взаимосвязаны. Основной фотометрической величиной является единица силы света – кандела. Кандела (Кд) – это сила света, излучаемого перпендикулярно поверхности черного излучателя с площади 1/6×10–5м2 при температуре затвердения платины, находящейся под давлением 101 325 Па.

Рассмотрим точечный источник, сила света которого равна *I*, и выделим телесный угол с вершиной в точке нахождения источника (рисунок 12.1).

Рисунок 12.1 – Точечный источник света

  . (12.1)

Величина называется элементарным световым потоком, излучаемым в пространство, ограниченным углом . Единицей светового потока является люмен (1 Лм = 1 Кд × 1 стер.).

Если сила света источника не зависит от направления наблюдения (такой источник называется изотропным), то полный световой поток, излучаемый источником по всем направлениям, равен:

  . (12.2)

На пути светового потока расположим элементарную площадку , образующую угол с направлением распространения света. Отношение светового потока к площади освещаемой поверхности:

  (12.3)

называется освещенностью, которая измеряется в люксах (1 Лк = 1 Лм / м2).

Построим также площадку  , перпендикулярную к направлению наблюдения и находящуюся на том же расстоянии *r* от источника света, что и площадка . Учитывая, что:

  (12.4)

и используя соотношение (12.1), из формулы (12.3) получаем:

  . (12.5)

Таким образом, освещенность поверхности обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника света (закон обратных квадратов) и прямо пропорциональна силе света и косинусу угла падения света на поверхность (закон косинусов).

Если источник света – некоторая поверхность, то для ее характеристики вводятся такие величины, как светимость и яркость.

Пусть площадка излучает свет. Тогда светимость можно определить как световой поток, испускаемый с единицы площади:

  . (12.6)

В свою очередь яркостью называют силу света, испускаемого с единицы видимой поверхности в данном направлении:

  . (12.7)

Из формулы (12.7) следует, что яркость источника может зависеть от угла . Однако существуют источники света, для которых яркость не зависит от направления наблюдения, то есть . Такие источники подчиняются закону Ламберта:

  (12.8)

и для них справедливо соотношение:

  . (12.9)

Если свечение поверхности обусловлено освещением её внешним источником, то светимость связана с освещенностью соотношением:

  , (12.10)

где – коэффициент рассеяния (отражения) света.

**Вопросы для самоконтроля**

1. В чем разница между энергетическим и фотометрическими величинами?
2. Основные фотометрические величины и единицы их измерения.
3. Закон обратных квадратов. Закон косинусов.
4. Какие источники света называются ламбертовскими?

**Лабораторная работа 12**

**Изучение основных законов фотометрии**

**Цель работы:** знакомство с основными фотометрическими понятиями, величинами и экспериментальная проверка законов освещенности.

**Приборы и принадлежности:** фотометрический прибор на основе селенового фотоэлемента, осветитель, набор диафрагм, матовое стекло, линза, микроамперметр, выпрямитель, соединительные провода.

**Описание установки**

Фотометрический прибор состоит из камеры и разъемного корпуса прямоугольной формы. Внутри камеры вмонтирован селеновый фотоэлемент, провода которого выведены на торцевую часть прибора. Фотоэлемент закреплен в специальной оправе, которая может поворачиваться вокруг горизонтальной оси в пределах угла . Отсчет угла поворота осуществляется по угловой шкале, расположенной на лицевой стороне камеры. Селеновый фотоэлемент состоит из металлической подложки, на одной стороне которой нанесен слой селена толщиной около 0,1 мм. Сверху этот слой покрыт прозрачным электродом. Согласно первому закону фотоэффекта, сила фототока насыщения пропорциональна падающему потоку:

  , (12.11)

где – интегральная чувствительность фотоэлемента.

Селеновый фотоэлемент имеет спектральную характеристику чувствительности, близкую к кривой видимости человеческого глаза. Это позволяет использовать фотоэлемент для фотометрирования дневного света.

Внутри прямоугольного корпуса помещается осветитель с электролампочкой, который может перемещаться вдоль продольной оси прибора. Величина перемещения отсчитывается по линейке, закрепленной на лицевой стороне прибора. В набор также входят линзы в оправе, матовое стекло, набор диафрагм, исследуемая электрическая лампочка, реостат. Питание электролампочек осуществляется от выпрямителя типа ВС–24. Величина фототока измеряется с помощью универсального цифрового прибора типа 4323А.

**Ход работы**

1. Подключить микроамперметр к зажимам фотоэлемента. Установить предел измерений – 10 мкА.
2. Лампочку осветителя соединить последовательно с реостатом и выпрямителем.
3. Установить фотоэлемент перпендикулярно оси прибора (ручку – на нулевую отметку угловой шкалы).

**Упражнение 1. Исследование зависимости освещенности от расстояния до источника света.**

1. Установить осветитель на десятом делении шкалы.
2. Для получения параллельного пучка света между источником и фотоэлементом установить линзу в оправе.
3. С помощью реостата подать на лампу такое напряжение, при котором микроамперметр покажет максимальное значение силы тока ().
4. Снять отсчет по шкале микроамперметра.
5. Не меняя напряжения, установить лампу на 20 и 30 делениях шкалы и снять отсчеты и *.*
6. Используя полученные данные, проверить справедливость закона обратных квадратов:

, , .

**Упражнение 2. Исследование зависимости освещенности от угла падения света.**

1. Установить осветитель на десятом делении шкалы прибора.
2. Для получения параллельного пучка света между источником и фотоэлементом установить линзу в оправе.
3. С помощью реостата добиться максимального значения фототока () и снять отсчет .
4. Не меняя напряжения на лампе и расстояние , повернуть фотоэлемент на 300 и 450, и снять отсчеты и *.* по шкале микроамперметра.
5. Используя полученные данные, проверить справедливость закона косинусов:

, .

**Упражнение 3. Исследование зависимости светового потока от площади освещенной поверхности.**

1. Убрать линзу и повернуть фотоэлемент перпендикулярно падающему свету (ручку на нулевую отметку угловой шкалы).
2. Установить осветитель на десятом делении шкалы.
3. С помощью реостата подать на лампу такое напряжение, при котором микроамперметр покажет максимальное значение силы тока ().
4. Поместить между фотоэлементом и световым источником матовое стекло в оправе (при этом площадь открытой поверхности фотоэлемента равна 9 см2). Снять величину фототока по шкале микроамперметра.
5. Установить перед фотоэлементом последовательно диафрагмы с площадью 6 см2 и 3 см2 и снять соответственно показания микроамперметра и *.*
6. Построить график функции и убедиться в линейной зависимости светового потока от площади поверхности при постоянной освещенности.

**Тема 13**

**Интерференция волн**

1. Интерференция волн
2. Полосы равного наклона
3. Полосы равной толщины

**Основные понятия по теме**

Интерференция волн — взаимное усиление или ослабление амплитуды двух или нескольких когерентных волн, одновременно распространяющихся в пространстве. Сопровождается чередованием максимумов и минимумов интенсивности в пространстве. Результат интерференции (интерференционная картина) зависит от разности фаз накладывающихся волн.

**Полосы равного наклона***.*

Особенно важен частный случай интерференции света, отраженного двумя поверхностями плоскопараллельной пластинки, когда точка наблюдения P находится в бесконечности, т.е. наблюдение ведется либо глазом, аккомодированным на бесконечность, либо на экране, расположенном в фокальной плоскости собирающей линзы (рисунок 13.1).

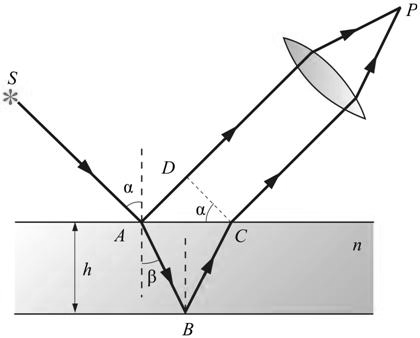


Рисунок 13.1 – Интерференция в тонкой пленке

В этом случае оба луча, идущие от S к P, порождены одним падающим лучом и после отражения от передней и задней поверхностей пластинки параллельны друг другу. Оптическая разность хода между ними в точке P такая же, как на линии DC:

*.*

Здесь – показатель преломления материала пластинки. Предполагается, что над пластинкой находится воздух, т.е. .

*.*

Следует также учесть, что при отражении волны от верхней поверхности пластинки в соответствии с формулами Френеля ее фаза изменяется на π. Поэтому разность фаз δ складываемых волн в точке P равна:

,

где – длина волны в вакууме.

В соответствии с последней формулой светлые полосы расположены в местах, для которых , где – порядок интерференции. Полоса, соответствующая данному порядку интерференции, обусловлена светом, падающим на пластинку под вполне определенным углом . Поэтому такие полосы называют интерференционными *полосами равного наклона*. Если ось объектива расположена перпендикулярно пластинке, полосы имеют вид концентрических колец с центром в фокусе, причем в центре картины порядок интерференции максимален.

**Интерференция от клина. Полосы равной толщины.**

Мы рассмотрели интерференционные опыты, в которых деление амплитуды световой волны от источника происходило в результате частичного отражения на поверхностях плоскопараллельной пластинки. Локализованные полосы при протяженном источнике можно наблюдать и в других условиях. Оказывается, что для достаточно тонкой пластинки или пленки (поверхности которой не обязательно должны быть параллельными и вообще плоскими) можно наблюдать интерференционную картину, локализованную вблизи отражающей поверхности. Возникающие при этих условиях полосы называют полосами равной толщины. В белом свете интерференционные полосы окрашены. Поэтому такое явление называют цветами тонких пленок. Его легко наблюдать на мыльных пузырях, на тонких пленках масла или бензина, плавающих на поверхности воды, на пленках окислов, возникающих на поверхности металлов при закалке, и т.п.

Рассмотрим интерференционную картину, получаемую от пластинок переменной толщины (от клина).

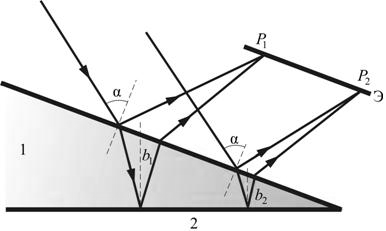


Рисунок 13.2 – Интерференция на клине

Направления распространения световой волны, отраженной от верхней и нижней границы клина, не совпадают. Отраженные и преломленные лучи встречаются, поэтому интерференционную картину при отражении от клина можно наблюдать и без использования линзы, если поместить экран в плоскость точек пересечения лучей (хрусталик глаза помещают в нужную плоскость).

Интерференция будет наблюдаться только во 2–й области клина, так как в 1–й области оптическая разность хода будет больше длины когерентности.

Результат интерференции в точках *P1* и *P2* экрана определяется по известной формуле , подставляя в неё толщину пленки в месте падения луча ( *b1* или *b2* ). Свет обязательно должен быть параллельным: если одновременно будут изменяться два параметра *b* и *α*, то устойчивой интерференционной картины не будет.

Поскольку разность хода лучей, отразившихся от различных участков клина, будет неодинаковой, освещенность экрана будет неравномерной, на экране будут темные и светлые полосы. Каждая из таких полос возникает в результате отражения от участков клина с одинаковой толщиной, поэтому их называют *полосами равной толщины.*

С помощью системы – линза с большим радиусом кривизны и плоскопараллельная пластинка – наблюдаются кольца Ньютона, полученные в результате интерференции световых волн отраженных от границ нижней поверхности линзы и верхней границы пластинки.

Рисунок 13.3 –Линза и плоскопараллельная пластинка

r

R

δ

Из рисунка 13.3 радиус интерференционных колец равен:

,

где  *-* радиус кривизны линзы,

*-* толщина воздушной прослойки.

Геометрическая разность хода между интерференционными лучами равна и учитывая, что , получим:

  . (13.1)

При отражении от границ стекло – воздух и воздух – стекло происходит изменение фазы световой волны, то есть потеря полуволны. Полная разность хода равна:

  . (13.2)

Используя условие минимума освещенности в интерференционной картине:

  , (13.3)

где *m* = 0, 1, 2,…

Принимая во внимание (13.2), получим для радиусов темных колец:

. (13.4)

Зная радиус темных колец Ньютона и можно найти радиус кривизны линзы:

  , (13.5)

где и – радиусы ближайших темных колец,

и – номера колец,

– длина волны.

Откуда длина световой волны равна:

  , (13.6)

где – радиус кривизны линзы.

**Вопросы для самоконтроля**

1.Интерференция в тонких пленках. Полосы равного наклона и равной толщины.

2.Кольца Ньютона, Схема проведения опыта. Рассчитать положение и размеры колец Ньютона.

3.Какой вид будут иметь кольца, если падающий свет не монохроматический?

4. Разность хода лучей. Условие максимума и минимума интенсивности света при интерференции.

**Лабораторная работа 13**

**Определение длины световой волны с помощью колец Ньютона**

**Цель работы:** ознакомиться с явлением интерференции в тонких и прозрачных пластинках, в частности, когда интерференционная картина локализована на поверхности клина (полосы равной толщины).

**Приборы и принадлежности:** микроскоп с окулярным микрометром; объективный микрометр с ценой деления 0,01 мм; плоскопараллельная пластинка и линза в оправе; осветитель; набор светофильтров.

**Ход работы**

**Упражнение 1. Определение цены деления окулярного микрометра.**

Для определения цены деления окулярного микрометра положить на предметный столик объективный микрометр и передвигая тубус микроскопа, добиваемся совпадения делений объективного микрометра и шкалы окулярного микрометра. Тогда цена деления окулярного микрометра равна:

,

где – количество делений окулярного микрометра,

–количество делений объективного микрометра.

**Упражнение 2. Измерение радиуса колец Ньютона.**

Зная цену деления, можно измерить радиус колец Ньютона, для этого поступают следующим образом:

1. Направляют световой поток от осветителя на опак – иллюминатор микроскопа, предварительно положив на столик микроскопа лист черной бумаги (для рассматривания колец Ньютона в отраженном свете). На бумагу помещают систему: плоско-параллельная пластинка и линза в оправе.
2. Передвигая пластинку вместе с линзой, добиваются видимости колец в поле зрения. Фокусируют микроскоп на резкое видение колец, следя за тем, чтобы окулярная шкала расположилась по диаметру колец.
3. В держатели осветителя вставляют красный светофильтр и получают интерференционную картину колец Ньютона при красном свете.
4. Выбрав –тое кольцо (проводят измерения только радиусов темных колец), подсчитывают количество клеточек окулярного микрометра, помещающихся в диаметре –го кольца по вертикали  и по горизонтали .

Средний радиус –гокольца будет равен:

  , (13.7)

а с учетом цены деления:

  . (13.8)

1. Таким же образом определяется радиус –го кольца.
2. Зная длину волны красного светофильтра (*=*700 нм) и радиусы двух близлежащих колец Ньютона, по формуле (13.5) определить радиус кривизны линзы .
3. Зная радиус кривизны линзы , рассчитанный по формуле (13.5), определяют длины волн зеленого и желтого света, для чего:

а) меняют красный светофильтр на зеленый;

б) вычисляют по формуле (13.8) радиусы двух близлежащих темных колец в зеленом свете;

в) определить длину волны зеленого светофильтра по формуле (13.6);

г) те же операции проводят и с желтым светофильтром.

**Тема 14**

**Дифракция волн**

1. Дифракция света
2. Дифракционная картина распределения света. Разность хода лучей
3. Дифракционная решетка и её характеристики

**Основные понятия по теме**

Явление отклонения света от прямолинейного распространения, проявляющееся при наличии препятствий на пути световой волны, известно как дифракция света. В результате дифракции в области за препятствием наблюдается сложное распределение интенсивности света – дифракционная картина. Дифракционная картина представляет собой чередование светлых и темных полос (*max* и *min*), наблюдаемых с помощью экрана.

Простейшим препятствием является узкая щель в непрозрачном экране. Условия дифракции на щели, имеющей ширину :

–условие минимума.

–условие максимума *()*.

В этих формулах положение максимума и минимума характеризуется углом наклона лучей , идущих в соответствующие точки экрана.

Если в качестве препятствия взять экран с одинаковыми параллельными друг другу щелями, то за препятствием образуется более сложное распределение интенсивности света. Дифракционная картина образуется вследствие сложения колебаний от всех щелей, то есть она будет являться результатом интерференции, как от каждой щели, так и от всех щелей. Дифракционная картина будет состоять из чередующихся максимумов и минимумов, а в промежутках между главными соседними максимумами расположены добавочные максимумы и минимумы.

Условия дифракции на многих щелях (дифракционной решетке) определяются условиями:

–главные максимумы

–главные минимумы.

Постоянная дифракционной решетки зависит от расстояния между соседними щелями , где  *–* расстояние между соседними щелями, – ширина каждой щели.

У решеток с большим числом щелей добавочные максимумы столь слабы по сравнению с главными, что главные максимумы оказываются разделенными практически темными промежутками. Особенно важно, что при большом числе щелей в дифракционной решетке главные максимумы становятся чрезвычайно узкими. В зависимости от числа щелей между главными максимумами расположится определенное число – число добавочных максимумов. График распределения интенсивности света изображен на рисунок 14.1.

Дифракционную решётку применяют в спектральных приборах, также в качестве оптических датчиков линейных и угловых перемещений (измерительные дифракционные решётки), поляризаторов и фильтров инфракрасного излучения, делителей пучков в интерферометрах и так называемых «антибликовых» очках.

Рисунок 14.1 – График распределения интенсивности при дифракции

**Вопросы для самоконтроля**

1. Общие понятие дифракции света.
2. Дифракционная картина распределения света. Разность хода лучей.
3. Условие максимума и минимума при интерференции дифрагированных лучей.
4. Дифракционная решетка и её характеристики. Назначение дифракционной решетки.

**Лабораторная работа 14**

**Изучение дифракции света при помощи газового лазера**

**Цель работы:** получение дифракционной картины, определение периода дифракционной решетки и длины волны излучения газового лазера.

**Приборы и принадлежности:** оптический квантовый генератор; дифракционная решетка; экран; линейка, установленная на штативе.

**Описание установки**

Экспериментально можно определить основную характеристику дифракционной решетки – ее период . Экспериментальная установка состоит из источника монохроматического света – лазера (оптического квантового генератора), дифракционной решетки и экрана, установленных на оптической скамье (рисунок 14.2). При помощи лазера удается получить узкий направленный пучок строго монохроматического света большой интенсивности, что связано с когерентностью излучения отдельных атомов, возбуждаемых в газоразрядной трубке 1 лазера с помощью зеркал 2.

В работе используется гелий–неоновый лазер, генерирующий излучение с длиной волны =632,8 нм. Узконаправленный параллельный пучок света лазера *ОКГ* попадает на дифракционную решетку . В пространстве за решеткой с помощью экрана локализуется дифракционная картина, состоящая из чередующихся максимумов и минимумов. Анализируя распределение дифракционных максимумов и, определив расстояние от экрана до дифракционной решетки, можно определить период дифракционной решетки.

### ДР

***2***

***1***

+

-

*анод*

*катод*

***Э***

### ОКГ

Рисунок 14.2 – Схема установки

**Ход работы**

1. Включить лазер (лазер включается только лаборантом) и пронаблюдать на экране появление светового пятна.
2. Установить на оптической скамье между лазером и экраном исследуемую дифракционную решетку на штативе.
3. Перемещая дифракционную решетку, получить отчетливую дифракционную картину и заметить, как она изменяется в зависимости от расстояния между дифракционной решеткой и экраном. Сделать вывод.
4. Зафиксировать определенную дифракционную картину и произвести измерения:

а) определить положения первых трех максимумов, отсчитывая в обе стороны от нулевого (центрального) максимума ;

б) определить расстояние от решетки до экрана ;

1. Определить период дифракционной решетки, используя формулу:

,

где – порядок главного максимума *(.)*,

– угол дифракции, под которым наблюдается *max*, рассчитываемый из значенийи.

Синус угла дифракции рассчитывается по формуле:

.

1. Определить длину волны излучения данного газового лазера по формуле:

,

где – координата наблюдаемого *max* относительно центрального,

*d* – постоянная решетки,

*l* – расстояние от решетки до экрана,

*m* – порядок максимума.

Результаты измерений свести в таблицу. Период дифракционной решетки определить как среднее из трех измерений.

Таблица 14.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Порядок max*,m* | Положение | | ,  мм | ,  мм |  | | ,  мм | , мм |
| cлева | справа |
| *1.* |  |  |  |  |  | |  |  |
| *2.* |  |  |  |  |  | |  |  |
| *3.* |  |  |  |  |  | |  |  |
| Среднее значение | | | | | |  | |  |

Произвести оценку погрешности, результат представить в виде:

.

Относительная погрешность :

100%.

**Тема 15**

**Поляризация волн**

1. Сущность явления поляризации света
2. Способы поляризации.
3. Закон Малюса

**Основные понятия по теме**

В электромагнитной волне вектора электрической и магнитной напряженностей перпендикулярны друг другу и лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны. Во всех процессах взаимодействия света с веществом основную роль играет электрический вектор, поэтому его называют световым вектором. Если при распространении электромагнитной волны световой вектор сохраняет свою ориентацию, такую волну называют линейно поляризованной или плоско поляризованной (термин поляризация волн был введен Малюсом применительно к поперечным механическим волнам). Плоскость, в которой колеблется световой вектор, называется плоскостью колебаний, а плоскость, в которой совершает колебание магнитный вектор – плоскостью поляризации

Если вдоль одного и того же направления распространяются две монохроматические волны, поляризованные в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, то в результате их сложения в общем случае возникает эллиптически поляризованная волна (рисунок 15.1).

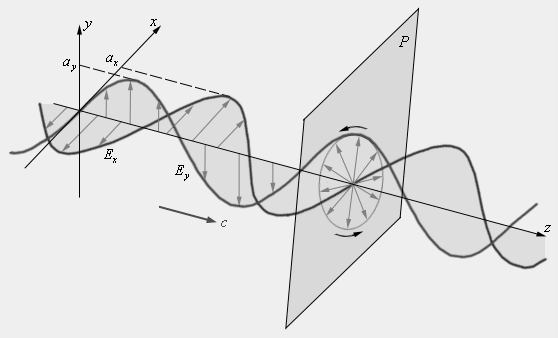


Рисунок 15.1 – Эллиптически поляризованная волна

У многих кристаллов поглощение света сильно зависит от направления электрического вектора в световой волне. Это явление называют дихроизмом. Этим свойством, в частности, обладают пластины турмалина, использованные в опытах Малюса. При определенной толщине пластинка турмалина почти полностью поглощает одну из взаимно перпендикулярно поляризованных волн (например, *Ex*) и частично пропускает вторую волну (*Ey*). Направление колебаний электрического вектора в прошедшей волне называется разрешенным направлением пластинки. Пластинка турмалина может быть использована как для получения поляризованного света (поляризатор), так и для анализа характера поляризации света (анализатор). В настоящее время широко применяются искусственные дихроичные пленки, которые называются поляроидами. Поляроиды почти полностью пропускают волну разрешенной поляризации и не пропускают волну, поляризованную в перпендикулярном направлении. Таким образом, поляроиды можно считать идеальными поляризационными фильтрами.

Рассмотрим прохождение естественного света последовательно через два идеальных поляроида *П1* и *П2* (рисунок 15.2), разрешенные направления которых повернуты друг относительно друга на некоторый угол . Первый поляроид играет роль поляризатора. Он превращает естественный свет в линейно поляризованный. Второй поляроид служит для анализа падающего на него света.

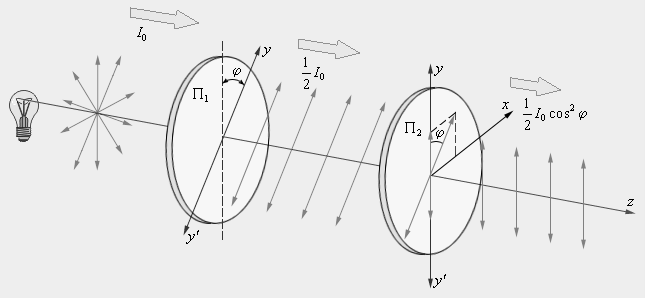


Рисунок 15.2 – Прохождение света через два поляроида

Если обозначить амплитуду линейно поляризованной волны после прохождения света через первый поляроид через , то волна, пропущенная вторым поляроидом, будет иметь амплитуду . Следовательно, интенсивность линейно поляризованной волны на выходе второго поляроида будет равна:

– закон Малюса

Поляризованный свет, распространяясь в некоторых кристаллах (кварц, киноварь и др.) вдоль направлений, параллельных его оптической оси, испытывает вращение плоскости поляризации. Это явление наблюдается не только в кристаллах, но и в некоторых чистых жидкостях (скипидар, нефть и др.), в растворах многих веществ (водный раствор сахара, раствор виннокаменной кислоты и др.). Вещества, вращающие плоскость поляризации света, называются *оптически активными*.

Если смотреть навстречу лучу, то плоскость поляризации оптически активными веществом может быть повернута либо по ходу часовой стрелки, либо против часовой стрелки. Вещества, вращающие плоскость поляризации по часовой стрелке, называются *правовращащими*, а вращающие против часовой стрелки – *левовращающими*.

Вращение плоскости поляризации можно объяснить, если представить плоско поляризованные колебания как результат сложения двух колебаний, поляризованных по кругу с правым и левым направлением вращения, распространяющихся в оптически активной среде с разными скоростями. Тогда угол поворота плоскости поляризации в твердом теле, равный половине угла разности фаз влево и вправо вращающих лучей, можно рассчитать по формуле:

  , (15.1)

где , – коэффициенты преломления лучей право и лево поляризованных по кругу,

– длина волны света в вакууме,

– толщина пронизываемого светом слоя оптически активного вещества,

– коэффициент пропорциональности.

В формуле (15.1) коэффициент принято относить к толщине твердого тела, равной 1 мм.

В случае растворов угол вращения плоскости поляризации, кроме толщины слоя вещества, прямо пропорционален концентрации раствора с, т.е.:

  . (15.2)

Коэффициент в формуле (15.2) называется удельным вращением, которое численно равно углу вращения плоскости поляризации в растворе при концентрации =1г/см3 (т.е. при растворении 100 г. оптически активного вещества в 100см3 раствора) и толщина слоя этого раствора =1дм.

Коэффициент  в формулах (15.1) и (15.2) зависит от температур раствора и от длины волны света. Поэтому всегда необходимо указывать, для какой длины волны света проведены измерения углов вращения плоскости поляризации и температуру исследуемого раствора. Принято удельное вращение определять для желтой линии натрия при температуре =200C. Удельное вращение жидкого оптически активного вещества рассчитывается по формуле:

  , (15.3)

где – плотность жидкости в г/см3.

Приборы, служащие для определения угла вращения плоскости поляризации, называются поляриметрами. Поляриметры, предназначенные для измерения концентрации сахара в растворе, получили название сахариметров.

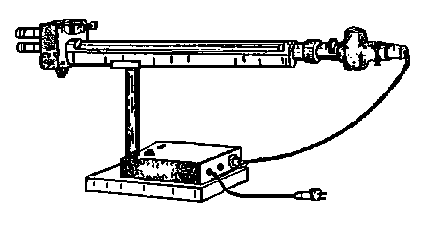
**Устройство и принцип работы сахариметра**

Сахариметр состоит из узла измерительной головки 2 и осветительного узла 9 (рисунок 15.3), соединенных между собой траверсой 6 . Траверса крепится через стойку 17 к основанию18 . На траверсе укреплены кюветное отделение 5 для поляриметрических кювет и оправа 7 с поляризатором и полутеневой пластиной.

С лицевой стороны измерительной головки расположены лупа 1 для отсчета показаний по шкале и зрительная труба 20 . С тыльной стороны измерительной головки находится винт механизма 3 установки нониуса, служащий для совмещения нулевого деления нониуса с нулевым делением шкалы с помощью съемного ключа 4 .

В нижней части измерительной головки расположена рукоятка 19 клинового компенсатора, вращением которой перемещают подвижный кварцевый клин и связанную с ним шкалу. Осветительный узел состоит из патрона с лампой (патрон устанавливается тремя винтами 10) и поворотной обоймы 8 со светофильтром и диафрагмой.

На основании установлены кнопка 15 для включения осветителя и ручка 16 резистора для регулирования яркости поля зрения.



**1**

**2**

**3**

**4**

**5**

**6**

**7**

**8**

**9**

**10**

**16**

**15**

**14**

**13**

**12**

**11**

**17**

**18**

**19**

**20**

Рисунок 15.3 – Схема установки

Внутри основания вмонтирован понижающий трансформатор. На тыльной стороне основания находится винт 11 заземления, вилка 12 разъема для подключения осветителя сахариметра к трансформатору и вставка плавкая 13.

Принцип работы сахариметра основан на способности сахарных растворов вращать плоскость поляризации проходящего через них поляризованного луча света. Угол вращения плоскости поляризации луча света раствором в объеме определенной толщины пропорционален концентрации раствора. На этой зависимости и основана работа сахариметра – визуального оптико–механического прибора.

**Вопросы для самоконтроля**

1. Сущность явления поляризации света.
2. Способы поляризации.
3. Закон Малюса.
4. Принцип работы сахариметра.

**Лабораторная работа 15**

**Изучение вращения плоскости поляризации оптически активными растворами**

**Оптическая схема**

Световой поток, идущий от источника света через светофильтр 2 или диафрагму 3, конденсатор 4 и 5 , проходит через призму–поляризатор 6 , которая преобразует его в поляризованный поток света. Затем поток света проходит через полутеневую пластину 7 (рисунок 15.3), разделяющую его на две половины линией раздела. Анализатор пропускает равные по яркости обе половины светового потока и в поле зрения зрительной трубы наблюдаются две половины поля, состоящей из объектива 13 и окуляра 14,установленного после анализатора, наблюдаются две одинаковой яркости половины поля, разделенные тонкой линией и называемые полями сравнения.

При установке кюветы с раствором между поляризатором и анализатором нарушается равенство яркостей полей сравнения, так как исследуемый раствор поворачивает плоскость поляризации на угол, пропорциональный концентрации раствора.

Для уравнения яркостей полей сравнения в сахариметре применен клиновой компенсатор, состоящий из подвижного кварцевого клина 10 левого вращения и неподвижного контрклина 11 правого вращения. Перемещением подвижного клина относительно неподвижного (подвижную шкалу относительно неподвижной) контрклина устанавливают такую суммарную толщину клиньев по оптической оси, при которой компенсируется угол поворота плоскости поляризации раствора. При этом происходит уравнивание яркостей полей сравнения. Одновременно с подвижным клином перемещается связанная с ним шкала 17. По нулевому нониусу (делению неподвижной шкалы) 18 фиксируют значение подвижной шкалы, соответствующее состоянию одинаковой яркости полей сравнения. Шкала и нониус наблюдаются через лупу 19 и освещаются лампой через отражательную призму 15 и светофильтр 16.

**Ход работы**

1. Произвести подготовку сахариметра к работе в следующем порядке:
2. установить ручку 15 (рисунок 15.3) резистора до упора, вращая против часовой стрелки;
3. установите обойму 8 в положение "с" (светофильтр) при работе с бесцветными и слабоокрашенными растворами, и в положение "д" (диафрагма) при работе с темно–окрашенными растворами;
4. установить окуляр зрительной трубы на максимальную резкость изображения вертикальной линии раздела полей сравнения;
5. установить лупу на максимальную резкость изображения штрихов и цифр шкалы;
6. включить сахариметр в сеть кнопкой 16.
7. Проверить правильность установки нуля в следующем порядке:
8. закройте крышку кюветного отделения без установки в нем кюветы;
9. уравняйте яркость полей сравнения вращением ручки клинового компенсатора, при этом нулевое деление нониуса должно совместиться с нулевым делением шкалы;
10. если нулевой отсчет отличается от нуля не более чем на одно деление нониуса, нуль считается установленным правильно.
11. Поместите кювету с раствором в кюветное отделение и, вращая её вокруг оси, установите в такое положение, чтобы линия раздела полей сравнения делила поле зрения на две равные части, при этом одна часть поля зрения оказывается менее яркой.
12. Вращением рукоятки клинового компенсатора уравняйте яркость полей сравнения и произведите отсчет угла поворота плоскости поляризации по подвижной шкале относительно неподвижной шкалы 3–5 раз. Вычислите среднее арифметическое отсчетов, которое равно углу вращения плоскости поляризации растворов.

Результаты эксперимента свести в таблицу и построить график зависимости угла поворота плоскости поляризации от концентрации сахара .

Таблица 15.1 – Результаты измерений

|  |  |
| --- | --- |
| Концентрация сахара в % () | Угол поворота плоскости  поляризации () |
| = 5 % | = |
| = 10 % | = |
| = 20 % | = |
| = x % | = |

Угол поворота плоскости поляризации определяется экспериментально. Концентрация определяется по графику.

**Тема 16**

**Тепловое излучение**

1. Фотоэффект
2. Законы внешнего фотоэффекта
3. Основные характеристики вакуумного фотоэлемента

**Основные понятия по теме**

Явление испускания электронов веществом под действием падающего света получило название фотоэффекта. Различают внешний фотоэффект, когда испущенные электроны покидают пределы тела и внутренний фотоэффект, когда электроны, потерявшие связь со своими атомами, остаются внутри тела, изменяя его электропроводность. Основные закономерности внешнего фотоэффекта впервые были исследованы русским физиком А.Г.Столетовым в 1888–90 гг. На основании обобщения опытных данных установлены следующие основные законы внешнего фотоэффекта:

1. При неизменном спектральном составе света сила фототока насыщения прямо пропорциональна падающему на катод световом потоку.

2. Максимальная кинетическая энергия вырванных светом электронов линейно растет с увеличением частоты света и не зависит от его интенсивности.

3. Фотоэффект не возникает, если частота света меньше некоторой, характерной для каждого вещества величины называемой красной границей фотоэффекта.

Явление фотоэффекта может быть объяснено только исходя из квантовых представлений о природе света. Развивая квантовую теорию Планка, Эйнштейн выдвинул гипотезу, согласно которой не только испускание и поглощение, но и распространение света происходит порциями (квантами), энергия которых пропорциональна частоте света:

  . (16.1)

Применяя закон сохранения энергии для объяснения явления фотоэффекта, Эйнштейн установил соотношение, которое получило название основного уравнения фотоэффекта:

  , (16.2)

где –работа выхода электрона из вещества,

–кинетическая энергия вырванного электрона,

– постоянная Планка.

Согласно Эйнштейну, каждый фотон взаимодействует только с одним электроном. Энергия фотона полностью передается электрону, при этом часть энергии тратится на совершение работы выхода электрона из вещества, а оставшаяся часть идет на сообщение ему кинетической энергии. Из (16.2) для красной (низкочастотной) границы фотоэффекта имеем:

  . (16.3)

Если подать на фотоэлемент задерживающее напряжение, то электроны будут тормозиться на пути к аноду. При определенной величине задерживающего напряжения будет выполняться соотношение:

  . (16.4)

То есть кинетическая энергия вырванных электронов полностью расходуется на преодоление задерживающего напряжения.

В этом случае даже самые быстрые электроны не достигают анода. Фотопоток перестает существовать, и уравнение Эйнштейна (16.2) с учетом соотношения (16.4) может быть записано в виде:

  . (16.5)

На использовании явления внешнего фотоэффекта основана работа вакуумных и газонаполненных фотоэлементов. Основными характеристиками вакуумного фотоэлемента являются его вольтамперная, световая, спектральная характеристики и интегральная чувствительность. Под вольтамперной характеристикой понимают зависимость силы фототока от приложенного напряжения, т.е. *.* Световой характеристикой называется зависимость силы фототока от величины светового потока, т.е*. .* Световой поток равен:

  , (16.6)

где – сила света источника,

*-* телесный угол, в котором распространяется свет.

Поскольку ***,*** то для светового потока справедливо выражение:

  , (16.7)

где  *-* площадь входного окошка фотоэлемента, на который опирается телесный угол,

*-* расстояние от источника света до фотоэлемента.

Под спектральной характеристикой понимают зависимость силы фототока от длины падающего света, т.е. *.* Интегральной чувствительностью фотоэлемента называется отношение силы фототока к величине светового потока :

  . (16.8)

**Вопросы для самоконтроля**

1. Чем отличается внешний фотоэффект от внутреннего?

2. Сформулировать основные законы внешнего фотоэффекта.

3. Что такое "красная граница" фотоэффекта?

4. Назвать основные характеристики вакуумного фотоэлемента.

5. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.

**Лабораторная работа 16**

**Изучение основных характеристик вакуумного фотоэлемента**

**Цель работы:** изучить основные законы внешнего фотоэффекта и характеристики вакуумного фотоэлемента.

**Приборы и принадлежности*:*** оптическая скамья, осветитель, вакуумный фотоэлемент СЦВ–4, источник постоянного тока, микроамперметр, вольтметр, потенциометр, соединительные провода.

**Описание установки**

Установка для изучения основных характеристик фотоэлемента состоит из оптического рельса, на котором размещаются исследуемый фотоэлемент и источник света. Вакуумный фотоэлемент представляет собой стеклянную колбу, на внутреннюю поверхность которой нанесен слой щелочного металла, служащий катодом. Анод изготовлен в виде металлического кольца. Для питания лампы и фотоэлемента применяют источник постоянного тока. Сила фототока измеряется с помощью чувствительного микроамперметра, напряжение – с помощью вольтметра постоянного тока.

**Ход работы**

**Упражнение 1. Снятие вольтамперной характеристики фотоэлемента.**

1. Разместив на оптическом рельсе источник света и фотоэлемент, собрать электрическую схему согласно рисунку 16.1.

#### R

6В

#### V

300В

Рисунок 16.1 – Схема установки

2. На фотоэлемент, установленный на расстоянии 15 см от лампы, подать напряжение 30 В и измерить силу фототока.

3. Изменяя напряжение с помощью потенциометра, через каждые 10 В (от 30 В до 100 В) фиксировать соответствующие значения силы фототока.

4. Используя результаты измерений, построить вольтамперную характеристику, т.е.  *.*

5. Установить фотоэлемент на расстоянии 20 см от лампы и повторить всю серию измерений. Построить график и сделать выводы.

**Упражнение 2. Снятие световой характеристики фотоэлемента.**

1. Установить фотоэлемент на расстоянии 10 см от источника света и подать на него напряжение 70 В.
2. Открыть фотоэлемент и измерить силу фототока.
3. Поддерживая на фотоэлементе постоянное напряжение 70 В, передвинуть его на расстояние 15, 20, 25 см и т.д., зафиксировать соответствующие значения силы фототока. Вычислить по формуле (16.7) величину светового потока при каждом положении фотоэлемента (=10, 15, 20, 25 см).
4. При этом площадь светочувствительного слоя фотоэлемента S определяем как площадь круга . Диаметр фотоэлемента =39 мм. Сила света источника *=*21 Кд.
5. Построить график зависимости , т.е. световую характеристику.
6. Увеличить напряжение на фотоэлементе до 100 В и повторить всю серию измерений. Построить и в этом случае световую характеристику и сделать выводы.

**Тема 17**

**Атом и атомное ядро**

1. Виды спектров
2. Спектр атома водорода
3. Серия Бальмера, Лаймана и др.

**Основные понятия по теме**

В спектрах твердых тел и жидкостей присутствуют электромагнитные волны практически всех длин (сплошной спектр). Спектры газов состоят из отдельных линий (линейчатый спектр). Спектры паров и молекул представляют собой набор окрашенных полос, отделенных друг от друга темными промежутками (полосатый спектр).

Наиболее простое строение имеет спектр легчайшего химического элемента – водорода. Теория водородного спектра базируется на следующих трех постулатах Бора:

1. Электрон в атоме водорода может находиться лишь на орбитах строго определенного радиуса. На этих орбитах момент количества движения электрона кратен целому числу , т. е.:

  , (17.1)

где – масса электрона (= 9,1∙10–31 кг),

– скорость электрона на -той орбите,

– радиус -той орбиты,

– постоянная Планка (*h* = 6,6×10–34 Дж с),

– квантовое число ( = 1, 2, 3 . . . . ).

1. Движение электрона по стационарным орбитам не сопровождается излучением или поглощением энергии.
2. При переходе электрона с одной стационарной орбиты на другую излучается или поглощается квант энергии, частота которого определяется частотным условием Бора:

  , (17.2)

где и– соответственно энергия электрона-ой и-той орбит.

Согласно теории полная энергия электрона в атоме отрицательна и равна:

  , (17.3)

где – масса электрона,

– порядковый номер элемента в таблице Менделеева,

– заряд электрона, равный 1,6⋅10–19 К,

– номер орбиты, на которой находится электрон.

При из формулы (17.3) получается выражение для стационарных состояний или, как говорят, энергетических уровней электрона в атоме водорода:

  . (17.4)

Введем обозначение:

  . (17.5)

Тогда (17.4) перепишется в виде:

  . (17.6)

Подставляя (17.6) в (17.2), получим:

  . (17.7)

Из (17.7) следует, что частоты всех линий в спектре атома водорода, могут быть представлены в виде разности двух функций от целых чисел и. Эти функции носят название спектральных терминов.

В спектроскопии обычно вместо частоты рассматривают величину:

  , (17.8)

называемую волновым числом. Это число показывает, сколько длин волн укладывается в 1 см.

Вводя в формулу (17.7) вместо его выражение через , получим:

.

Откуда:

  . (17.9)

  . (17.10)

Величина носит название постоянной Ридберга. Численное значение постоянной Ридберга равно = 109 967 см–1. Если в формуле (17.9) , т. е. происходит переход электрона из вышенаходящихся орбит на первую, то атом водорода испускает спектральную серию, которая называется серией Лаймана. Эта серия лежит в ультрафиолетовой области спектра. При наблюдается спектральная серия Бальмера. Она находится в видимой области спектра. Значение соответствует испусканию спектральных серий Пашена, Бреккета, Пфунда. Они находятся в инфракрасной и далекой инфракрасной областях спектра.

**Вопросы для самоконтроля**

1. Спектр атома водорода.
2. Виды спектров (сплошные, полосатые, линейчатые).
3. Квантово–механические аспекты спектров.
4. Серия Бальмера, Лаймана и др.
5. Дисперсия света.

**Лабораторная работа 17**

**Изучение спектральных закономерностей в атоме водорода и определение постоянной Ридберга**

**Цель работы*:*** ознакомить студентов со структурой спектра водорода и определить постоянную Ридберга.

**Приборы и принадлежности:** спектральная ртутная лампа типа ДРК–12 с источником питания, водородная трубка, высоковольтный индуктор, спектроскоп, выпрямитель на 12 В.

**Описание установки**

Установка для выполнения работы состоит из ртутной лампы типа ПРК–1 с источником питания, водородной трубки с высоковольтным индуктором и спектроскопа. Спектроскоп предназначен для исследования различных спектров и определения волн. Спектроскоп (рисунок 17.1) состоит из коллимационной трубы 1, призмы 2 и окуляра 3, которые расположены на столике, закрепленном на подставке.

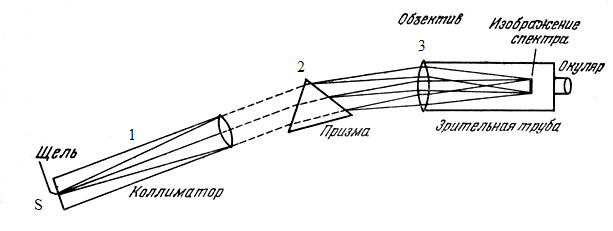


Рисунок 17.1 – Схема установки

Винтовой микрометр служит для определения относительного положения линий в спектре. Коллиматор 1 предназначен для получения параллельного пучка лучей и представляет собой трубу, на одном конце которой имеется регулируемая щель , на другом – линза. Щель находится в фокусе линзы. Призма 2 предназначена для разложения световых лучей в спектр. Окуляр 3 служит для наблюдения спектра. Он имеет вертикальную нить, которую совмещают с той линией спектра, которая исследуется. Дисперсия света — это явление зависимости абсолютного показателя преломления вещества от длины волны (или частоты) света (частотная дисперсия). Вследствие дисперсии света световой луч от источника света разлагается в спектр.

**Ход работы**

**Упражнение 1. Градуировка спектроскопа.**

1. Зажигают ртутную лампу под наблюдением преподавателя или лаборанта.
2. Устанавливают коллимационную трубу спектроскопа против луча света, направленного от ртутной лампы. В поле зрения окуляра спектроскопа наблюдают ряд ярких линий.
3. С помощью микрометрического винта выводят линии на перекрестие нити и снимают отсчет по шкале барабана для каждой из шести линий ртути.
4. Строят график зависимости числа делений микрометрического винта от длины волны , т. е. дисперсионную кривую. Длина волны для соответствующих линий ртути приведена в таблице 17.1.

Таблица 17.1 – Спектр паров ртути

|  |  |
| --- | --- |
| Цвет спектральной линии ртути | Длина волны (нм) |
| Фиолетовая  Синяя  Светло – голубая  Желто – зеленая  Желтая  Ярко – красная | 406,2  435,8  491,6  546,0  573,0  623,4 |

**Упражнение 2. Определение постоянной Ридберга.**

1. Включают в сеть выпрямитель и высоковольтный индуктор, который зажигает лампу.
2. Устанавливают спектроскоп против водородной трубки. В поле зрения окуляра виден спектр водорода – спектральная серия Бальмера.
3. Совмещают основные линии серии с нитью спектроскопа и фиксируют их, начиная с ярко – красной. Основные линии водорода и квантовые числа приведены в таблице 17.2.

Таблица 17.2 – Спектр водорода

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Цвет спектральной линии водорода | Квантовые числа | | Число делений | Длина волны |
|  |  |
| Ярко – красная  Зелено – голубая  Синяя  Слабо – фиолетовая | 2  2  2  2 | 3  4  5  6 |  |  |

1. Для каждой из четырех спектральных линий водорода по дисперсионной кривой из упражнения 1 находят длину волны.
2. Подсчитывают для каждой линии по формуле (17.8) волновые числа.
3. По формуле (17.9) вычисляют для каждой линии постоянную Ридберга, используя для расчета квантовые числа из таблицы 17.2.

**Литература**

1. Матвеев, А.Н. Механика и теория относительности / А.Н. Матвеев. – М.: Высшая школа, 1986.
2. Стрелков,С.П. Механика / С.П.Стрелков. – М.: Наука, 1976. – 560 с.
3. Стрелков, С.П. Сборник задач по общему курсу физики. Механика / С.П.Стрелков, Д.В. Сивухин, В.А.Угаров, И.А.Яковлев. – М.: Наука, 1977. – 288 с.
4. Матвеев, А.Н. Молекулярная физика / А.Н. Матвеев. – М.: Высш. шк., 1981.
5. Сивухин, Д.В. Термодинамика и молекулярная физика / Д.В. Сивухин. – М.: Наука, 1990.
6. Иродов, И.Е. Задачи по общей физике / И.Е. Иродов. – М.: Наука, 1988.
7. Матвеев, А.Н. Электричество и магнетизм / А.Н. Матвеев. – М.: Высш. шк., 1983.
8. Иродов, И.Е. Основные законы электромагнетизма / И.Е. Иродов. – М.: Высш. шк., 1991.
9. Калашников, С.П. Электричество / С.П. Калашников. – М.: Наука, 1985.
10. Сборник задач по общему курсу физики: Электричество и магнетизм / под ред. И.А. Яковлева. – М., 1977.
11. Матвеев, А.Н. Оптика / А.Н. Матвеев. – М.: Высш. шк., 1985.
12. Ландсберг, Г.С. Оптика / Г.С. Ландсберг. – М.: Наука, 1976.
13. Саржевский, А.М. Оптика. Т.1. / А.М. Саржевский. – Мн.: Изд–во «Университетское», 1984.
14. Саржевский, А.М. Оптика. Т.2 / А.М. Саржевский. – Мн.: Изд–во «Университетское», 1986.
15. Сборник задач по общему курсу физики: Оптика / В.Л. Гинзбург [и др.].– М.: Изд–во Наука, 1977.
16. Матвеев, А.Н. Атомная физика / А.Н. Матвеев. – М.: Высш. шк., 1989.
17. Широков, Ю.М. Ядерная физика / Ю.М. Широков, Н.П. Юдин. – М.: Высш. шк., 1980.
18. Сивухин, Д.В. Общий курс физики. Т. 1. Механика / Д.В. Сивухин. – М.:Наука, 1974.
19. Савельев, И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике / И.В.Савельев.–М.: Наука, 1982. – 272с.
20. Кикоин, И.К., Молекулярная физика / И. К. Кикоин, А. К. Кикоин. – М.: Гос. Изд–во физ.–мат. лит., 1963.
21. Сивухин, Д.В. Общий курс физики. Оптика: Учеб. пособие / Д.В. Сивухин. – М.: Наука, 1978.
22. Калитеевский, Н.И. Волновая оптика / Н.И. Калитеевский. – М.: Наука, 1971. – 376 с.
23. Голография. Методы и аппаратура / под ред. В.М. Гинзбург, Б.М. Ступанова. – М.: Изд–во Сов. радио.
24. Ильичева, Е.Н. Методика решения задач оптики / Е.Н. Ильичева, Ю.А. Кудеяров, А.Н. Матвеев. – М.: Изд–во МГУ, 1981.
25. Емельянов, В.А. Методы обработки результатов измерений в лаборатории физпрактикума / В.А. Емельянов, Д.Г. Лин, В.Ф. Шолох. – Минск: ПК ООО "Бестпринт", 1997.
26. Зайдель, А.Н. Погрешности измерений физических величин / А.Н. Зайдель. – Л.: Наука, 1985.