

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению практических занятий
по дисциплине «Физика»

Направление подготовки	<u>09.03.02 Информационные системы и технологии</u>
Направленность (профиль)	<u>Информационные системы управления технологическими и сервисными процессами</u>
Год начала обучения	<u>2026</u>
Форма обучения	<u>заочная</u>
Реализуется в семестре	<u>1</u>

Введение	3
Техника безопасности при выполнении лабораторных работ	4
Методика обработки измерений	6
Тема 1. Основы кинематики. Основы динамики поступательного движения.	13
Лабораторная работа 1. Равноускоренное движение.	
Кинематическое описание механического движения	20
Тема 2. Механика	
Лабораторная работа 2. Вращательное движение с равномерным ускорением	26
Тема 3. Колебания и волны.	
Лабораторная работа 3. Исследование законов механических колебаний с помощью крутильного маятника поля	35
Тема 4. Молекулярная физика и основы термодинамика.	
Лабораторная работа 4. Увеличение внутренней энергии за счет механической работы.	40
Лабораторная работа 5. Исследование идеальных газов	48
Список литературы	

ВВЕДЕНИЕ

Назначение: оценивание уровня сформированности компетенций обучающихся, определенных программой дисциплины «Физика».

Настоящее издание является методическими указаниями для студентов бакалавриата и предназначено для организации их практической работы по разделам курса ФИЗИКА, разделы: «Механика», «Колебания и волны», «Молекулярная физика и основы термодинамики», «Электромагнетизм», «Оптика. Квантовая природа излучения», «Элементы квантовой физики», «Элементы физики атомного ядра и элементарных частиц». В методических указаниях приведены основные формулы и законы, примеры решения задач, задачи для самостоятельного решения, варианты задач для работы на аудиторных занятиях, рекомендованная литература.

Если студент испытывает затруднения в освоении теоретического или практического материала, то он может получить устную или письменную консультацию у преподавателя.

Компетенции обучающегося, формируемые в результате изучения и выполнения всех практических работ. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать: основные физические законы и принципы, которые лежат в основе различных теоретических и экспериментальных исследований, принципах действия различных физико-математических аппаратов, а также физическую сущность разнообразных природных процессов и явлений.

Уметь: применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при изучении студентов по направлению «Электроэнергетика и электротехника».

Владеть: навыками натуральных экспериментов с последующей обработкой их результатов, методами математического, компьютерного и физического моделирования, методами решения технических задач, расчета производственных процессов и конструирования сооружений, машин и технологического оборудования.

Последовательность лабораторных занятий соответствует логической структуре их прохождения. Предлагаемое учебное пособие содержит материал, который рекомендуется использовать студентам при осуществлении лабораторных работ.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА ДЛЯ УЧАЩИХСЯ ПРИ РАБОТЕ В ЛАБОРАТОРИИ

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Соблюдение требований настоящей инструкции обязательно для всех учащихся, работающих в лаборатории.

2. Учащиеся могут находиться в кабинете только в присутствии преподавателя; пребывание учащихся в помещении лаборантской не допускается.

3. Присутствие посторонних лиц в лаборатории во время эксперимента допускается только с разрешения учителя.

4. В лаборатории запрещается принимать пищу и напитки.

5. Учащимся запрещается выносить из лаборатории и вносить в нее любое оборудование без разрешения учителя.
6. Не допускается загромождение проходов портфелями и сумками.
7. Во время работы в лаборатории учащиеся должны соблюдать чистоту, порядок на рабочем месте, а также четко следовать правилам техники безопасности.
8. Учащимся запрещается бегать по лаборатории, шуметь и устраивать игры.
9. Не допускается нахождение учащихся в лаборатории во время его проветривания.
10. Учащимся запрещается производить самостоятельно, без лаборанта (инженера, преподавателя), сборку (разборку), включение (отключение) схем, приборов, оборудования;

II. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕД НАЧАЛОМ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. На рабочем месте должно находиться только оборудование для конкретной работы. Беспорядок на рабочем месте недопустим.
2. В лаборатории одежда сотрудника и студента должна быть застегнута на все застёжки так, чтобы не было развевающихся концов. Длинные волосы должны быть убраны под головной убор. Работать в легкой обуви (тапочки, босоножки), особенно в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных запрещено.
3. Убрать посторонние и неиспользуемые в данной работе предметы (оборудование), не загромождать ими проходы, освободить подходы к электрическим силовым щитам и другой аппаратуре, своевременно очищать помещение от отходов и мусора;
4. Учащиеся, имеющие длинные волосы, не должны оставлять их в распушенном виде, чтобы исключить возможность их соприкосновения с лабораторным оборудованием, реактивами и тем более — с открытым огнем.
5. Прежде, чем приступить к выполнению эксперимента, учащиеся должны по методическим указаниям изучить и уяснить порядок выполнения предстоящей работы.
6. Учащиеся обязаны внимательно выслушать инструктаж преподавателя по технике безопасности в соответствии с особенностями предстоящей работы. Текущий инструктаж по технике безопасности перед практической работой регистрируется, собственноручно учащимися в тетрадях для практических работ. Текущий инструктаж перед лабораторной работой не регистрируется.
7. Приступать к проведению эксперимента учащиеся могут только с разрешения преподавателя.

III. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВО ВРЕМЯ РАБОТЫ

1. Во время работы в лаборатории учащиеся должны быть максимально внимательными, дисциплинированными, строго следовать указаниям преподавателя, соблюдать тишину, поддерживать чистоту и порядок на рабочем месте.
2. Во время демонстрационных опытов учащиеся должны находиться на своих рабочих местах или пересечь по указанию преподавателя на другое, более безопасное место.
3. Следует выполнять только ту работу, на выполнение которой получено разрешение, а также выполнять требования Правил пожарной безопасности и надписей (знаков) безопасности.
4. Никакие вещества в лаборатории нельзя пробовать на вкус! Нюхать вещества можно, лишь осторожно направляя на себя их пары или газы лёгким движением руки, а не наклоняясь к сосуду и не вдыхая полной грудью.

5. При выполнении лабораторных работ учащиеся должны точно повторять действия преподавателя, показывающего, как нужно правильно проводить эксперимент.

6. Подготовленный к работе прибор учащиеся должны показать преподавателю или лаборанту.

7. По первому требованию преподавателя учащиеся обязаны немедленно прекратить выполнение работы (эксперимента). Возобновление работы возможно только с разрешения преподавателя.

8. Учащимся запрещается самостоятельно проводить любые опыты, не предусмотренные в данной работе.

9. Обо всех неполадках в работе оборудования, водопровода, электросети и т.п. учащиеся обязаны сообщить учителю или лаборанту. Учащимся запрещается самостоятельно устранять неисправности.

10. При получении травм (порезы, ожоги и т.п.), а также при плохом самочувствии учащиеся должны немедленно сообщить об этом преподавателю или лаборанту.

11. Во время работы учащимся запрещается переходить на другое рабочее место без разрешения преподавателя.

12. Учащимся запрещается брать вещества и какое-либо оборудование с незадействованных на данный момент рабочих мест.

13. Недопустимо во время работы перебрасывать друг другу какие-либо вещи (учебники, тетради, ручки и др.).

14. Запрещается оставлять без присмотра включенные нагревательные приборы, а также зажигать горелки и спиртовки без надобности.

IV. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПО ОКОНЧАНИИ РАБОТЫ

1. Уборка рабочих мест по окончании работы производится в соответствии с указаниями преподавателя.

2. Учащиеся должны привести в порядок свое рабочее место, сдать преподавателю или лаборанту дополнительные реактивы и оборудование.

3. По окончании лабораторной и практической работ учащиеся обязаны вымыть руки с мылом.

V. АВАРИЙНЫЕ СИТУАЦИИ

При возникновении аварийных ситуаций во время занятий в лаборатории (пожар, появление посторонних запахов), не допускать паники и подчиняться только указаниям преподавателя.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ОБОРУДОВАНИЕМ

При эксплуатации оборудования необходимо соблюдать следующие правила безопасности:

- К обслуживанию оборудования допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности.

- Перед началом эксплуатации оборудования необходимо убедиться, что оборудование находится в выключенном состоянии.

- При обнаружении любых повреждений и неисправностей оборудования, а также при появлении дыма, искрения или специфического запаха перегретой изоляции, немедленно обесточьте оборудование.

- ЗАПРЕЩАЕТСЯ неисправное оборудование.

- ЗАПРЕЩАЕТСЯ использовать изделие и его отдельные компоненты не по назначению.

- ЗАПРЕЩАЕТСЯ вскрывать изделие.
- ЗАПРЕЩАЕТСЯ видоизменять принципиальную схему и общие функции работы изделия.
- После хранения оборудования в холодном помещении или после перевозки в зимних условиях включать его в сеть можно не раньше, чем через 6 часов пребывания при комнатной температуре в распакованном виде.
- Изделие эксплуатировать только в помещении без повышенной опасности по степени поражения электрическим током.
- Во избежание поражения электрическим током и выхода из строя элементов изделия, при работе запрещается использовать внешние источники питания.
- Не устанавливайте оборудование в непосредственной близости от легковоспламеняющихся и распространяющих огонь предметов.
- Не оставляйте оборудование включенным без присмотра.
- Не допускайте попадания жидкости внутрь оборудования.
- Не оставляйте оборудование в режиме ожидания на длительное время (более 12 часов)
- Во избежание поломки оборудования не прикладывайте чрезмерных усилий при манипуляциях с органами управления.

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ИЗМЕРЕНИЙ

Физика – наука экспериментальная. Каждый эксперимент заканчивается измерением, где под «измерением» понимается процесс сравнения данной величины с другой, принятой за единицу измерения (эталон).

В результате эксперимента подтверждаются или опровергаются физические теории, накапливаются знания в той или иной области науки, выявляются физические закономерности в различных процессах и явлениях.

Вследствие этого лабораторный практикум по физике является неотъемлемой частью учебного процесса при изучении общего курса физики в высшем учебном заведении. Первая задача лабораторного практикума – студенты должны познакомиться с применением экспериментальных методов для изучения фундаментальных законов физики, для решения некоторых прикладных задач.

Второй, не менее важной, задачей лабораторного практикума по физике является обучение студентов работе с различными измерительными приборами, обработке результатов, полученных при измерениях, а также оценке точности или достоверности полученного результата, выбору правильного метода проводимых измерений.

По окончании изучения курса физики студент не только получит базовые знания для изучения других дисциплин, но и навыки работы с достаточно сложным оборудованием, знания и навыки, необходимые специалисту с высшим образованием в его производственной деятельности.

ВИДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения, при которых получают непосредственно значения измеряемой величины, называются прямыми.

Пример: линейкой измеряют длину предмета; с помощью весов измеряют массу предмета.

Если для определения искомой величины требуется провести математические действия над результатами прямых измерений, то такие измерения называются косвенными.

Пример: определение скорости по известному пути и времени; определение плотности тела по известной массе и объему (измерение объема может являться и прямым, и косвенным измерением).

Виды ошибок при измерениях

Как непреложную истину следует запомнить: физическую величину нельзя измерить абсолютно точно. При измерении мы всегда допускаем большую или меньшую ошибку. Поэтому при физических измерениях важно определить не только физическую величину, но и ошибку, допускаемую при ее определении.

Ошибки систематические, случайные, промахи

Какие же ошибки могут быть допущены при измерениях? Различают три основных типа ошибок: систематические, случайные, промахи.

Систематические ошибки – ошибки, обусловленные действием какого-либо постоянного фактор (неточность изготовления приборов, неправильный выбор метода измерений).

Пример. При измерениях не учитывается тепловое расширение тел, дефект при изготовлении приборов (штрихи на линейке нанесены неравномерно). При вычислениях с числом "П" считают, что число "П" равно: 3,14; 3,14159265.

Таким образом, систематические ошибки вызваны действием вполне определенных факторов, которые могут быть учтены и исключены. Но на практике решение этой проблемы оказывается достаточно сложным делом.

Случайные ошибки — ошибки, связанные с действием внешних факторов, которые не одинаковы для каждого опыта и не могут быть учтены,

Пример. При считывании показаний по шкале величина считываемого результата зависит от положения глаза наблюдателя по отношению к стрелке, которое может изменяться в каждом эксперименте.

Случайные ошибки нельзя учесть, но их действие можно уменьшить, проводя не одно, а несколько измерений, и чем более точно мы хотим провести измерение, тем большее число опытов мы должны проделать. При этом следует иметь в виду, что если случайная ошибка окажется значительно меньше систематической, то не имеет смысла уменьшать случайную ошибку.

Промахи – ошибки, допущенные экспериментатором вследствие недостатка внимания. Этот вид ошибок исчезает при тщательной и аккуратной записи результатов, их обработке и при внимательном считывании показаний приборов.

Приборная ошибка

Особо следует отметить понятие "приборная ошибка" – это ошибка, вносимая прибором в измерение. Эта ошибка может быть как систематической (неправильная установка прибора, неверный режим использования, класс прибора, влияние какого-либо постоянного внешнего фактора), так и случайной (воздействие случайных внешних факторов – сотрясение, нерегулярно проявляющиеся внутренние особенности данного прибора, например, при плавном изменении силы тока прибор покажет одно значение, а при скачкообразном (вследствие трения) – возможно другое значение). Поэтому при всех измерениях необходимо учитывать приборную ошибку, в особенности необходимо обращать внимание на класс точности прибора. Класс точности определяет минимально возможную ошибку (следовательно, максимально возможную точность) при работе с данным прибором.

Абсолютная и относительная ошибки

При проведении физических экспериментов в научных лабораториях требуется достижение наибольшей возможной точности. Поэтому обработке результатов уделяется большое внимание. Существуют сложные теоретические расчеты, позволяющие достаточно точно определить точность измерения. Они используют методы математической статистики и теории вероятностей. В студенческом лабораторном практикуме не требуется высокой точности, поэтому использование сложных методов

расчета ошибок не имеет смысла. Мы будем пользоваться упрощенной схемой расчета ошибок, которая, тем не менее, использует фундамент более сложных методов.

Итак, в силу того, что физическую величину нельзя измерить абсолютно точно, мы должны получить не число, а некоторый ряд чисел, среди которых с большой долей вероятности находится истинное значение определяемой величины. Пусть A – истинное значение измеряемой величины. При измерении были получены значения: $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$. Тогда результат каждого измерения отличается от истинного значения на величину

$$\begin{aligned}\Delta A_1 &= |A - A_1| \\ \Delta A_2 &= |A - A_2| \\ &\dots\dots\dots \\ \Delta A_n &= |A - A_n|\end{aligned}$$

Суммируя левые и правые части, получим

$$\sum_{i=1}^n \Delta A_i = n \cdot A - \sum_{i=1}^n A_i$$

Введем важное предположение о том, что если ошибки ΔA_i случайны, то суммарная ошибка измерения равна нулю, т.к. в одном эксперименте мы, равновероятно, можем получить как положительную, так и отрицательную ошибку. Тогда при большом количестве измерений $\langle A \rangle \rightarrow A$, где $\langle A \rangle$ – среднее значение измеряемой величины.

$$\langle A \rangle = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n A_i$$

Так как в студенческом лабораторном практикуме нет достаточно времени для проведения большого числа экспериментов, то будем считать, что $\langle A \rangle = A$ при $1 \leq n \leq 6$. Тогда ошибка при каждом измерении запишется в виде

$$\Delta A_n = |\langle A \rangle - A_n|$$

ΔA_n называется абсолютной ошибкой измерений. Более точно: абсолютной ошибкой измерения называется именованное (т.е. имеющее размерность) число, показывающее максимально возможное отличие истинного значения измеряемой величины от полученного в эксперименте

$$\langle A \rangle - \Delta A_n \leq A \leq \langle A \rangle + \Delta A_n.$$

Интервал, в который попадает истинное значение измеряемой величины, называется доверительным интервалом. Следовательно, при записи результатов измерений мы будем записывать доверительный интервал

Так как в каждом измерении мы допускаем свою ошибку, то необходимо определить, какую ошибку мы запишем как итоговую ошибку всего эксперимента.

В случае небольшого числа измерений будем считать, что ошибка эксперимента — среднее арифметическое ошибок, допущенных при измерениях

$$\langle \Delta A \rangle = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta A_i$$

Тогда итоговый результат запишется в виде

$$A = \langle A \rangle \pm \langle \Delta A \rangle, \text{ или } A = A_{\text{ср}} \pm \Delta A_{\text{ср}}.$$

Если число измерений три или менее трех, то ошибка эксперимента – наибольшая из полученных ошибок измерений.

Пример; $\Delta A_1 = 0,2$, $\Delta A_2 = 0,1$, $\Delta A_3 = 0,3$, тогда ошибка эксперимента: $\Delta A = 0,3$.

Абсолютная ошибка дает сведения только об интервале, в котором лежит значение измеряемой величины, но ничего не говорит о точности измерений.

Пример. При некоторых измерениях мы допускаем ошибку $\Delta A = 1$ см. Если эта ошибка допускается при измерении расстояния от Ставрополя до Невинномысска, то это высокая точность. Если же эта ошибка допускается при измерении размеров коробка спичек, то это низкая точность.

Сведения о точности измерений дает относительная ошибка.

Относительная ошибка – это отношение абсолютной ошибки к значению измеряемой величины (в дальнейшем мы опускаем слово "средний").

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A} \cdot 100\%$$

То есть относительная ошибка показывает, какую долю составляет абсолютная ошибка от значения измеряемой величины. Она измеряется или в процентах, или остается величиной безразмерной, если ее не умножать на 100 %.

Относительная ошибка служит также для сравнения точности разноименных измерений.

Пример. Пусть длина стержня составляет $a = 25,2 \pm 0,8$ см, а его масса $m = 315 \pm 4$ г. Что измерено точнее?

Для ответа на этот вопрос найдем относительную ошибку каждого измерения.

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta a}{a} = \frac{0,8}{25,2} \cdot 100\% = 3\%$$

$$\varepsilon_m = \frac{\Delta m}{m} = \frac{4}{315} \cdot 100\% = 1,3\%$$

Видно, что массу стержня мы измерили точнее. Поэтому при записи результатов эксперимента мы должны указать не только величину абсолютной, но и величину относительной ошибки.

Методика обработки прямого и косвенного измерения

Прямое измерение

1. Делаем серию измерений (5 – 7) измеряемой величины.
2. Находим среднее значение измеряемой величины

$$A_{cp} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n A_i$$

3. Находим абсолютную ошибку каждого измерения

$$\Delta A_n = |A_{cp} - A_n|$$

4. Находим среднюю абсолютную ошибку

$$\Delta A_{cp} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta A_i$$

5. Находим относительную ошибку

$$\varepsilon = \frac{\Delta A_{cp}}{A_{cp}} \cdot 100\%$$

6. Записываем ответ в виде

$$A_{cp} \pm \Delta A_{cp} = \dots$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta A_{cp}}{A_{cp}} \cdot 100\% = \dots$$

Во всех случаях записи именованных величин нужно указать их размерность.

Косвенное измерение

При обработке косвенных измерений будем считать, что при небольшом количестве измерений ошибки накапливаются, т.е. ошибка косвенного измерения — сумма ошибок величин, входящих в косвенное измерение.

Производя измерения, надо стремиться к тому, чтобы точность измерений приближалась к точности прибора. При этом выполняется ряд правил, которые мы сейчас докажем.

Пусть имеются величины $(A \pm \Delta A)$ и $(B \pm \Delta B)$, где A, B — измеренные значения этих величин, ΔA и ΔB — абсолютные ошибки, допущенные при измерении этих величин.

Правило 1

Если $C = A + B$ или $C = A - B$, то $\Delta C = \Delta A + \Delta B$.

Доказательство: $C = A + B$ или $C = A - B$,

тогда: $C \pm \Delta C = A \pm \Delta A + B \pm \Delta B$ или $C \pm \Delta C = A \pm \Delta A - B \pm \Delta B$.

Вычитая из второго равенства первое, получим:

$$\pm \Delta C = \pm \Delta A \pm \Delta B.$$

Для небольшого числа измерений считаем, что ошибки накапливаются, следовательно: $\Delta C = \Delta A + \Delta B$.

Правило 2

Если $C = A \cdot B$ или $C = \frac{A}{B}$ то $\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B}$

Доказательство: Пусть $C = A \cdot B$, тогда

$$C \pm \Delta C = (A \pm \Delta A) \cdot (B \pm \Delta B) = A \cdot B \pm A \cdot \Delta B \pm B \cdot \Delta A \pm \Delta A \cdot \Delta B.$$

Пренебрегаем $(\Delta A \cdot \Delta B)$, тогда:

$$C \pm \Delta C = (A \pm \Delta A) \cdot (B \pm \Delta B) = A \cdot B \pm A \cdot \Delta B \pm B \cdot \Delta A.$$

$$\rightarrow \Delta C = A \cdot \Delta B \pm B \cdot \Delta A$$

$$\rightarrow \frac{\Delta C}{C} = \frac{A \cdot \Delta B \pm B \cdot \Delta A}{A \cdot B} = \frac{\Delta B}{B} \pm \frac{\Delta A}{A} \text{ или } \frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B}$$

Если $C = \frac{A}{B}$, то $\Delta C = \Delta \left(\frac{A}{B} \right)$,

или $\Delta C = A \cdot (B^{-1}) + \Delta A \cdot (B^{-1})$, но $\Delta(B^{-1}) = -B^{-2} \cdot \Delta B$

$$\rightarrow \Delta C = \frac{B \cdot \Delta A + A \cdot \Delta C}{B^2}$$

$$\text{Разделим обе части на } C = \frac{A}{B} \rightarrow \frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B}.$$

То есть, в случае косвенного измерения, в котором проводятся действия вычитания и сложения, удобно сначала искать абсолютную ошибку, а затем относительную, если же проводятся действия умножения, деления, а также возведения в степень, то сначала удобно искать относительную ошибку, а затем уже абсолютную.

В общем случае для нахождения относительной ошибки поступают следующим образом

1) логарифмируют выражение;

2) дифференцируют полученное выражение;

3) заменяют "d" на "Δ" и "-" на "+" между ошибками (так как $d(\ln x) = dx/x$ или $\Delta(\ln x_{\text{cp}}) = \Delta x / x_{\text{cp}}$).

Пример

$$A = \frac{k \cdot \sqrt{p}}{(a-b)^3}, \text{ ищем } \frac{\Delta A}{A}.$$

$$1) \ln A = \ln k + (1/2) \cdot \ln p - 3 \cdot \ln(a-b);$$

$$2) \frac{dA}{A} = \frac{dk}{k} + \frac{dp}{2 \cdot p} - 3 \frac{d(a-b)}{a-b};$$

$$3) \frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta k}{k} + \frac{\Delta p}{2 \cdot p} + 3 \frac{\Delta a + \Delta b}{a-b}.$$

Как учесть приборную ошибку

Приборная ошибка указывается на приборе или в паспорте к нему. Может быть указана как абсолютная ошибка, даваемая прибором (например, цена деления на линейке 1 мм), так и относительная ошибка. Величина относительной ошибки определяется классом точности прибора.

Различают классы точности: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Класс точности указывается на лицевой панели прибора, При этом возможны два случая.

1. Класс точности дается в виде числа, не заключенного в кружок. В этом случае указывается величина приведенной ошибки, то есть ошибки, выраженной в процентах от верхнего предела измерений или от длины шкалы. Например, если имеется амперметр, рассчитанный на измерение 100А, с классом точности 0,5, это означает, что приборная ошибка $\Delta I_{приб}$ определяется по формуле

$$\Delta I_{приб} = \frac{0,5}{100} \cdot I_{max} ,$$

Где $I_{max} = 100А$.

Тогда $\Delta I_{приб} = 0,5А$, т.е. абсолютная приборная ошибка измерений составляет 0,5А, в любом диапазоне изменений прибора. А относительная ошибка будет наибольшей в начале шкалы прибора, а наименьшей – в конце шкалы.

2. Класс точности дается в виде числа, заключенного в кружок. В этом случае относительная ошибка указывается в процентах от измеряемой величины. Абсолютная ошибка измерения определяется по формуле

$$\Delta I_{приб} = \frac{k}{100} \cdot I ,$$

Где k – класс точности;

I – измеряемое значение тока.

Пусть амперметром с классом точности 0,5 измерили величину тока и получили $I = 20А$. Тогда приборная ошибка будет

$$\Delta I_{приб} = \frac{0,5}{100} \cdot 20 = 0,1 А, \varepsilon = 0,5\% .$$

В случае измерений, проводимых несколькими приборами, приборная ошибка эксперимента – сумма ошибок, даваемых каждым прибором в отдельности. Очевидно, что экспериментальная ошибка не может быть меньше приборной ошибки, поэтому всегда из двух возможных ошибок записываем большую – как более реальную.

Как правильно произвести вычисления и записать ответ

Конечным итогом любого эксперимента является получение некоторого численного значения какой-либо величины: неправильность итоговой записи результата может дать неверные сведения о точности измерения и о значении самой измеряемой величины. Поэтому условимся, что при косвенных измерениях количество значащих цифр в конечном результате может быть лишь на 1 больше, чем среднее арифметическое количества значащих цифр всех величин, входящих в данное измерение, (напомним, что значащие цифры – все цифры, кроме "0", стоящего в начале числа).

Пример: $\frac{100}{3} = 33,3$;

100 – три значащих цифры;

3 – одна значащая цифра;

$N_{ср} = (3 + 1) / 2 = 2$;

33,3 – три значащие цифры $\rightarrow 3 > 2$ на единицу.

При записи ошибки измерения необходимо руководствоваться двумя правилами.

Первое правило: при записи ошибки измерения (абсолютной или относительной) условимся, что если первая значащая цифра в ошибке "1" или "2", то можем оставить две значащие цифры, если же "3" или выше – одну значащую цифру.

Пример: 2,5 – верно 2,51 – неверно
 0,3 – верно 0,32 – неверно
 7 – верно 7,0 – неверно

Второе правило: при записи ошибки разряд, до которого определена ошибка, должен совпадать с разрядом, до которого определена измеряемая величина, или абсолютная ошибка должна заканчиваться в том же разряде, что и результат.

Пример: 27,5 ± 0,12 –
 неверно;
 27,5 ± 0,1 – верно.

Применение этих двух правил необходимо выполнять в той последовательности, в которой они даны в изложении.

Приведем ряд примеров. Пусть были произведены измерения, определены их ошибки, сделаны записи

- 1) $27,12 \pm 0,18$;
- 2) $27,12 \pm 1,8$;
- 3) $27,12 \pm 0,018$;
- 4) $27,12 \pm 3,1$;
- 5) $27,12 \pm 0,31$;
- 6) $27,12 \pm 0,031$;
- 7) $27,12 \pm 3$.

Применяя эти два правила, проверим правильность записи ответов, и если они верны – оставим их без изменений, а если неверны – запишем их правильно

- 1) оба правила выполнены.
- 2) правило 1 выполнено, 2 – нет → правильный ответ: $27,1 \pm 1,8$;
- 3) 1 – выполнено, 2 – нет → $27,12 \pm 0,02$;
- 4) 1 – не выполнено, 2 – не выполнено → 27 ± 3 ;
- 5) 1 – не выполнено → $27,12 \pm 0,3$, теперь 2 – не выполнено → $27,1 \pm 0,3$;
- 6) 1 – не выполнено, 2 – не выполнено, поэтому верно $27,12 \pm 0,03$;
- 7) 1 – выполнено, 2 – нет → 27 ± 3 .

Пользуясь вышеуказанными правилами, мы можем грамотно оформить работу, причем результаты этой работы будут понятны любому, кого они заинтересуют.

Окончанием работы должен служить ответ, записанный в виде:

$$X \pm \Delta X = \dots$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta X}{X} \cdot 100\% = \dots$$

ТЕМА 1. ОСНОВЫ КИНЕМАТИКИ. ОСНОВЫ ДИНАМИКИ

ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ.

Лабораторная работа 1. Равноускоренное движение

Цель работы: Измерение зависимости мгновенной скорости от пройденного расстояния.

Формируемые компетенции или их части:

Теоретическая часть

На движущуюся тележку действует сила тяжести, сила реакции опоры, сила трения качения, и сила сопротивления воздуха. В случае малых скоростей, когда силой сопротивления воздуха можно пренебречь, это движение является равноускоренным без начальной скорости. Следовательно, его можно описать законом:

$$S = \frac{at^2}{2} \quad (1.1)$$

где S – путь, a – ускорение, t – время.

Для проверки этого закона можно использовать следующий метод. Так как движение тележки равноускоренное, то при любых S , при прочих равных условиях, ускорение будет неизменным, т.е.

$$\frac{2S_1}{t_1^2} = \frac{2S_2}{t_2^2} = \dots = const \quad (1.2)$$

Если это так, значит закон справедлив. Таким образом, задача эксперимента состоит в измерении t для соответствующих S и проверки условия 1.2.

Однако ряд причин случайного характера (например, неточность начального расположения тележки, инерционность при пуске, застойные явления в подшипниках оси блока и т.п.) усложняют эту зависимость.

Введем параметр τ – случайную величину, характеризующую неопределенность моментов начала и конца движения. Тогда,

$$S(t, \tau) = \frac{a(t + \tau)^2}{2} \quad (1.3)$$

Преобразовав это выражение, получим:

$$S(t, \tau) = \frac{a\tau^2}{2} + a\tau t + \frac{at^2}{2} \quad (1.4)$$

Если распределение случайной величины τ симметрично относительно значения $\bar{\tau}$ (то есть положительные и отрицательные значения τ равновероятны), то $\bar{\tau} = 0$, $\bar{\tau}^2 \neq 0$, следовательно, введя обозначения $B \equiv \frac{a}{2}$ и $S_0 \equiv \frac{a\bar{\tau}^2}{2}$, можно записать:

$$S(t) = S_0 + Bt^2 \quad (1.5)$$

Этот закон содержит два параметра: S_0 – начальное смещение и B – величину, равную половине ускорения. Эти параметры определяются по измеренным значениям пройденного пути S_i и сериям значений промежутков времени $t_{i,j}$ методом наименьших квадратов

Метод наименьших квадратов

Пусть в результате эксперимента мы получили ряд измерений величины y : $y_1, y_2, \dots, y_n$ соответствующих значениям аргумента $t_1, t_2, \dots, t_n$, которые могут быть представлены на графике в виде точек (рисунок 1.1). Нам необходимо установить эмпирическую зависимость между y и t .

Очевидно, если соединить последовательно эти точки, то получим ломаную линию, не имеющую ничего общего с искомой зависимостью $y = f(t)$. Это следует хотя бы из того, что форма этой ломаной линии не будет воспроизводиться при повторных измерениях.

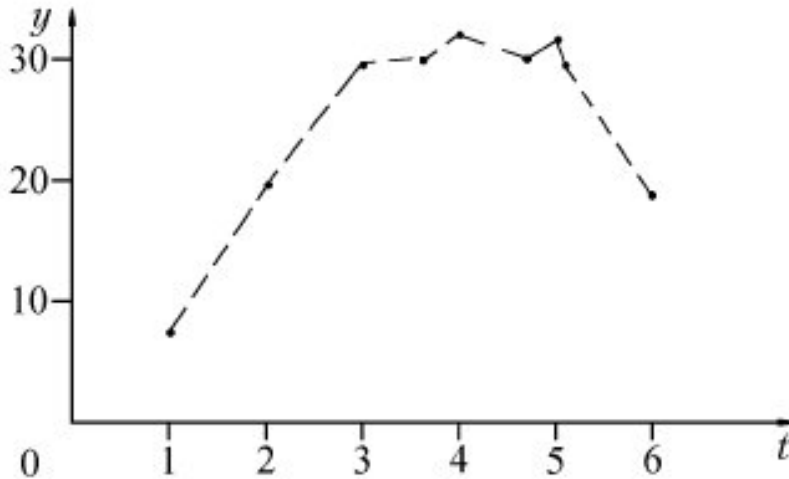


Рисунок 1.1

Измеренные значения y_i будут в общем случае смещены относительно искомой кривой как в сторону больших, так и в сторону меньших значений, вследствие статистического разброса (рисунок 1.2).

Задача состоит в том, чтобы по данным экспериментальным точкам найти гладкую кривую (или прямую), которая проходила бы как можно ближе к графику “истинной” функциональной зависимости $y = f(t)$.

Теория вероятностей показывает, что наилучшим приближением будет такая кривая (или прямая) линия, для которой сумма квадратов расстояний по вертикали от экспериментальных точек до этой кривой будет минимальной.

Этот метод нахождения эмпирической зависимости получил название *метода наименьших квадратов*. Сущность этого метода состоит в следующем.

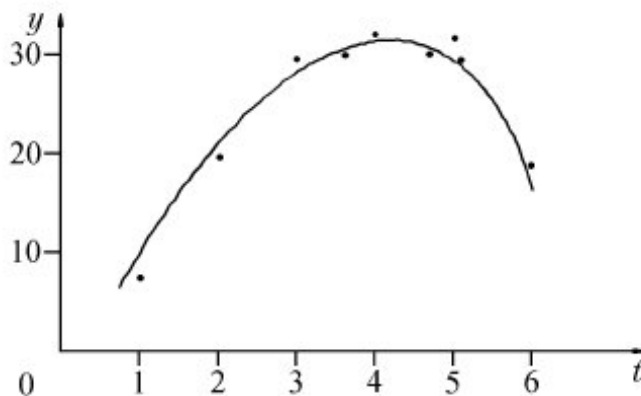


Рисунок 1.2

Предположим, что искомая зависимость выражается функцией $y = f(t, A_1, A_2, \dots, A_m)$, где $A_1, A_2, \dots, A_m$ — параметры. Значения этих параметров определяются так, чтобы точки y_i располагались по обе стороны этой кривой, как можно

ближе к последней, то есть, чтобы сумма квадратов отклонений измеренных значений y_i от функции $y = f(t)$ была наименьшей. (Это соответствует предположению, что разброс точек относительно кривой $y = f(t)$ подчиняется закону нормального распределения.)

Мерой этого разброса является дисперсия σ^2 или ее приближенное выражение $(\Delta S_n)^2$ – средний квадрат отклонений:

$$(\Delta S_n)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y_i - y(t_i)]^2 \quad (1.6)$$

Этот средний квадрат отклонений и должен принять минимальное значение. Как известно, функция $f(A)$ принимает минимальное значение при $A = A_{min}$, если ее первая производная равна нулю, а вторая производная положительна при значении $A = A_{min}$. Для функции многих переменных эти условия заменяются требованием, чтобы частные производные, то есть производные по параметру A_i удовлетворяли вышеупомянутым условиям (при этом остальные параметры $A_k (k = i)$ при вычислении производных считаются постоянными).

Таким образом, из условий минимума мы получаем систему уравнений для определения наилучших значений параметров. Рассмотрим применение метода наименьших квадратов на примере отыскания эмпирической зависимости пути, проходимого тележкой по направляющей, от времени.

Полагая, что “истинная” зависимость пути от времени имеет вид

$$S(t) - S_0 = Bt^2 \quad (1.7)$$

можно рассмотреть случайные отклонения:

$$(\Delta \bar{S})_i = S_i - S(t_i) \quad (1.8)$$

где S_i – измеренные положения тележки в моменты времени t_i .

Запишем квадратичную форму

$$F = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - S_0 - Bt_i^2)^2 \quad (1.9)$$

и потребуем, чтобы эта квадратичная форма, описывающая сумму квадратов отклонений точек S_i от искомой кривой, была минимальной:

$$F(S_0, B) = \min \quad (1.10)$$

Тогда из равенства нулю частных производных от F по параметрам S_0 и B получим два уравнения

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial S_0} = -2 \sum_{i=1}^n (S_i - S_0 - Bt_i^2) = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial B} = -2 \sum_{i=1}^n (S_i - S_0 - Bt_i^2) \cdot t_i^2 = 0 \end{cases} \quad (1.11)$$

Эти уравнения можно переписать в виде

$$nS_0 + B \sum_{i=1}^n \bar{t}_i^2 = \sum_{i=1}^n S_i \quad (1.12)$$

$$S_0 \sum_{i=1}^n \overline{t_i^2} + B \sum_{i=1}^n \overline{t_i^4} = \sum_{i=1}^n S_i \overline{t_i^2} \quad (1.13)$$

Решение этой системы позволяет найти значения S_0 и $B = \frac{a}{2}$, а затем определить ускорение a .

(В уравнениях 1.11 – 1.14 индекс i соответствует усредненному значению данного параметра соответствующей серии измерений в таблицах 1.1 и 1.2)

Оборудование и материалы

1. Лабораторная установка «Равноускоренное движение»
2. Цифровой секундомер
3. Набор гирь

Описание экспериментальной установки

Схема учебно–лабораторного оборудования «Равноускоренное движение» представлена на рисунке 1.3.

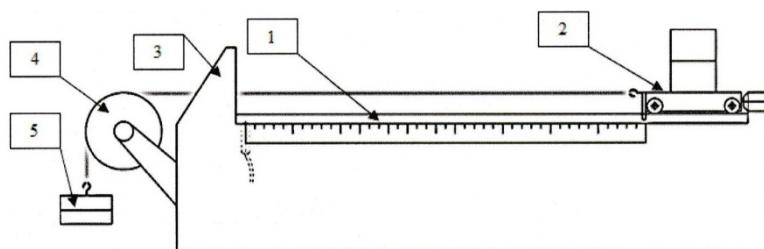


Рисунок 1.3 – Конструкция изделия

Оборудование конструктивно представляет собой, горизонтально расположенную направляющую (1), по которой, в прямолинейном направлении, может катиться тележка (2). С одной стороны дорожка оснащена упором (3) для остановки тележки и вращающимся блоком (4). Через блок перекинута легкая капроновая нить, одним концом соединенная с тележкой, а другим, со свободно подвешенным цилиндрическим грузом (5). В исходном положении тележку удерживает электромагнит, отпускающий тележку по запуску секундомера. При освобождении тележки, груз приходит в движение, придавая ей поступательное, равноускоренное движение. На самой тележке так же предусмотрена возможность установки грузов для изменения ее массы и следовательно характера ускорения при проведении опытов.

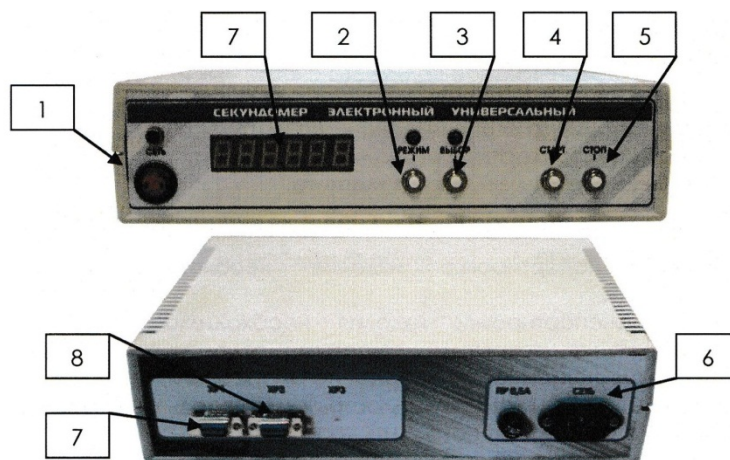


Рисунок 1.4 – Панель управления цифрового секундомера

Оборудование «Цифровой секундомер» предназначено для измерения интервалов времени и позволяет определять значения до тысячных секунд. Вреязадающим устройством секундомера является кварцевый генератор. Сигнал стабилизированной частоты с кварцевого генератора поступает на вход микроконтроллера, обеспечивающего следующие функции: приём командных сигналов от кнопочных переключателей и внешних датчиков; обработку сигналов в программе, в соответствии с установленным режимом работы, и выдачу результатов обработки на устройства цифровой индикации и светодиоды. Требуемый режим работы задаётся нажатием соответствующей кнопки выбора режима. После нажатия кнопки (1), происходит включение прибора и загорается электронный дисплей (7) на котором отображаются значения измерений при работе.

Кнопка «РЕЖИМ», позволяет выбрать нужный режим, для получения нужных временных значений.

Кнопка «ВЫБОР» подтверждает выбранный ранее режим.

Кнопка «СТОП», нажатием кнопки «СТОП» осуществляется включение магнита (если он используется в установках, где есть магнит)

Кнопка «СТАРТ», при нажатии кнопки происходит счет импульсов, после формирования 6-ти импульсов, счет импульсов останавливается.

Режим "Г" данный режим позволяет определить время от начала отсчета до каждого сформировавшегося импульса. Секундомер работает в пяти режимах:

Режим "1" – данный режим позволяет определить время от начала отсчета до каждого сформировавшегося импульса. Максимальное количество импульсов: 6. Нажимая кнопку «ВЫБОР» можно просмотреть время до каждого из импульсов.

Режим "2" – данный режим позволяет определить интервал между данным и последующим импульсом. При нажатии кнопки «ВЫБОР» можно просмотреть время между интересующими нас импульсами. Максимальное количество считаемых импульсов: 6.

Режим "3" – данный режим позволяет определить время от начала отсчета до 1-го сформированного импульса.

Режим "4" – стандартный режим секундомера.

Режим "5" – режим включения магнита.

Указания по технике безопасности

При эксплуатации оборудования необходимо соблюдать следующие правила безопасности:

- К обслуживанию оборудования допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности.
- Перед началом эксплуатации оборудования необходимо убедиться, что оборудование находится в выключенном состоянии.
- При обнаружении любых повреждений и неисправностей оборудования, а также при появлении дыма, искрения или специфического запаха перегретой изоляции, немедленно обесточьте оборудование.
- ЗАПРЕЩАЕТСЯ неисправное оборудование.
- ЗАПРЕЩАЕТСЯ использовать изделие и его отдельные компоненты не по назначению.
- ЗАПРЕЩАЕТСЯ вскрывать изделие.
- ЗАПРЕЩАЕТСЯ видоизменять принципиальную схему и общие функции работы изделия.
- После хранения оборудования в холодном помещении или после перевозки в зимних условиях включать его в сеть можно не раньше, чем через 6 часов пребывания при комнатной температуре в распакованном виде.
- Изделие эксплуатировать только в помещении без повышенной опасности по степени поражения электрическим током.

- Во избежание поражения электрическим током и выхода из строя элементов изделия, при работе запрещается использовать внешние источники питания.
- Не устанавливайте оборудование в непосредственной близости от легковоспламеняющихся и распространяющих огонь предметов.
- Не оставляйте оборудование включенным без присмотра.
- Не допускайте попадания жидкости внутрь оборудования.
- Не оставляйте оборудование в режиме ожидания на длительное время (более 12 часов)
- Во избежание поломок оборудования не прикладывайте чрезмерных усилий при манипуляциях с органами управления.

Задания

1. Замерьте расстояния вдоль направляющей между вертикальной металлической шпилькой тележки, установленной в начальное положение и датчиками Д1; Д2; Д3; Д4; Д5; Д6.
2. Полученными значениями в таблице 1.1 заполните графы – Пройденное расстояние S_i .
3. Установите на тележку груз массой 1000 грамм.
4. Закрепите на свободный конец капроновой нити груз массой 50 грамм.
5. Включите электронный секундомер, убедитесь, что секундомер работает в 1–м режиме (цифра на крайнем правом индикаторе), если нет – нажимая кнопку «Режим» выберите 1 режим работы.
6. Придерживая правой рукой груз, закрепленный на нити, переместите тележку по направляющей в крайнее левое положение до упора и нажмите кнопку «Стоп» для включения электромагнита.
7. Нажмите кнопку «Старт», электромагнит выключится, после чего грузик и тележка начнут двигаться, одновременно запустится секундомер, а на табло мелькать цифры – отсчет времени.
8. После прохождения тележкой всего пути до упора в конце направляющей – секундомер остановит отсчет автоматически.
9. В таблицу 1.1 для значения пути $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ занесите значение промежутка времени $t_{1,i}$ в секундах. После останова секундомера на табло будет отображаться значение времени для S_1 , последовательно нажимая кнопку «Выбор», запишите значения для $S_2 - S_6$.
10. Затем проведите измерения еще четыре раза, повторяя пункты 6 – 9 и вписывая в таблицу 1.1 значения $t_{2,i}, t_{1,3}, t_{4,i}, t_{6,i}$.

Таблица 1.1

№ п/п	Пройденное расстояние $S_{i,m}$	ПРОМЕЖУТКИ ВРЕМЕНИ						Среднее значение $\bar{t}_i, c$
		$t_{1,i}, c$	$t_{2,i}, c$	$t_{3,i}, c$	$t_{4,i}, c$	$t_{5,i}, c$	$t_{6,i}, c$	
1								
2								
3								
4								
5								

11. После выполнения измерений выключить секундомер.

Обработка результатов измерений

В каждой серии измерений промежутков времени найдите среднее значение $\bar{t}_i$ с двумя цифрами после запятой. Данные запишите в таблицу 1.1.

Для нахождения параметров S_0 и B методом наименьших квадратов следует внести в таблицу 1.2 следующие данные, предварительно рассчитав недостающие:

$$S_i, \bar{t}_i, \bar{t}_i^2, t_i^4, S_i t_i^2$$

(Здесь i – номер серии измерения)

Подсчитайте суммы по всем сериям измерений указанных данных (i изменяется от 1 до 5): $\sum_{i=1}^5 S_i$, $\sum_{i=1}^5 \bar{t}_i$, $\sum_{i=1}^5 \bar{t}_i^2$, $\sum_{i=1}^5 \bar{t}_i^4$ и $\sum_{i=1}^5 S_i \bar{t}_i^2$ и так же внести в таблицу 1.2.

Решите систему уравнений 1.14 относительно параметров S_0 и B используя числа, взятые из последней строчки таблицы:

$$\begin{cases} 5S_0 + B \sum_{i=1}^5 \bar{t}_i^2 = \sum_{i=1}^5 S_i \\ S_0 \sum_{i=1}^5 \bar{t}_i^2 + B \sum_{i=1}^5 \bar{t}_i^4 = \sum_{i=1}^5 S_i \bar{t}_i^2 \end{cases} \quad (1.14)$$

Таблица 1.2

i	S_i	$\bar{t}_i$	$\bar{t}_i^2$	$\bar{t}_i^4$	$S_i \bar{t}_i^2$
1					
2					
3					
4					
5					
$\sum_{i=1}^5$					

Определите значения S_0 и B , необходимо на миллиметровой бумаге построить график зависимости пути от времени $S(t) = S_0 + Bt^2$ в виде сплошной линии. Затем на этом же графике отметить значения $\bar{t}_i$ и S_i в виде отдельных точек.

Рассчитайте погрешность измерений по общим правилам

Содержание отчёта

Отчёт по лабораторной работе должен содержать следующие основные разделы:

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Описание экспериментальной методики.
4. Порядок проведения работы, таблицы результатов прямых и косвенных измерений.
5. Определение погрешности измерения.
6. Выводы.
7. Ответ.

Контрольные вопросы

1. Какие величины характеризуют прямолинейное движение?
2. Какое движение называется равномерным, ускоренным?
3. В чем состоит принцип метода наименьших квадратов?
4. Начертите график зависимости пути от времени для равноускоренного движения без начальной скорости, с начальной скоростью; график пути для равнозамедленного движения.
5. Объясните смысл и происхождение слагаемого S_0 и величины B в законе пути, полученном в результате работы.
6. С какой целью применяется метод наименьших квадратов?

Тема 2. Механика.

Лабораторная работа 2. Вращательное движение с равномерным ускорением

Цель и содержание работы:

Целью работы является изучение законов вращательного движения тела при равномерном угловом ускорении.

Содержание работы состоит в определении и зависимости углового ускорения от массы тела и массы ускоряющего груза.

Формируемые компетенции или их части:

ОПК-2 – способностью применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

Теоретическая часть

В настоящей работе определяется зависимость углового перемещения от времени для равноускоренного движения при помощи учебного стенда «Вращательное движение с равномерным ускорением», схема которого представлена на рисунке 2.3. Движение шкива можно принять равноускоренным, если считать, что момент силы трения постоянен ($M_{\text{тр}} = \text{const}$) и что нить нерастяжима и не проскальзывает по шкиву. Используя известную формулу для координаты тела при равноускоренном движении с нулевой начальной скоростью:

$$x = a \frac{t^2}{2} \quad (2.1)$$

с учетом соотношения $a = \varepsilon \frac{D}{2}$ – получаем формулу для косвенного измерения углового ускорения при полном обороте:

$$\varepsilon = \frac{2 \times 2\pi}{t^2} \quad (2.2)$$

Зависимость углового ускорения шкива от массы m ускоряющего груза

Основное уравнение динамики вращательного движения твердого тела относительно фиксированной оси вращения в приближении невесомой нити имеет вид:

$$I_e = M_{\text{рез}} = T \frac{D}{2} - M_{\text{тр}} \quad (2.3)$$

Уравнение выписано в проекции на ось вращения; I – момент инерции шкива относительно неподвижной оси; ε – проекция углового ускорения шкива на ось вращения; $M_{\text{рез}}$ – проекция результирующего момента всех сил на ось вращения, складывающаяся из момента силы натяжения нити T и момента силы трения $M_{\text{тр}}$ тормозящего вращение шкива.

Силу натяжения нити T можно определить из второго закона Ньютона для массы m , его проекция на направление движения груза m имеет вид:

$$ma = mg - T \quad (2.4)$$

где a – ускорение движения массы m .

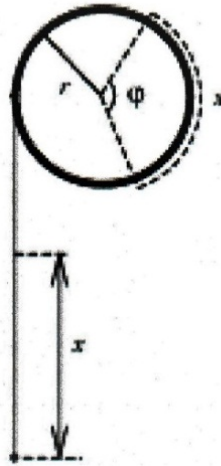


Рисунок 2.1 – Схема блока с натянутой капроновой нитью

В приближении нерастяжимой нити по рисунку 2.1 получаем соотношения, связывающие поступательное движение массы m с вращением шкива.

$$\frac{x}{r} = \varphi, V = \frac{dx}{dt} = \frac{d\varphi}{dt} r = \omega r; a = \frac{ds}{dt} = \frac{d\omega}{dt} r = \varepsilon r = \varepsilon \frac{D}{2} \quad (2.5)$$

Здесь φ (рад) – угол поворота шкива радиусом r при опускании груза на расстояние x ; V и φ – соответствующие линейная и угловая скорости; D – диаметр шкива.

С учетом уравнений 2.4 и 2.5 из уравнения 2.3 находим угловое ускорение шкива:

$$\varepsilon = \frac{mg \frac{D}{2} - M_{\text{тр}}}{I + m \frac{D^2}{4}} \quad (2.6)$$

Очевидно, что при $M_{\text{тр}} = \text{const}$ (момент сил трения постоянен) вращение шкива является равноускоренным.

Из полученной формулы видно, что маятник будет вращаться с $\varepsilon > 0$ лишь при выполнении условия:

$$m > m_0 = \frac{2M_{\text{тр}}}{gD} \quad (2.7)$$

т. е. при массе груза m , достаточной для того чтобы был преодолен момент сил трения, препятствующий вращению шкива.

Формула 2.6 упрощается при выполнении неравенства

$$I \gg m \frac{D^2}{4} \quad (2.8)$$

зависимость углового ускорения ε от массы опускающегося груза при этом становится линейной:

$$\varepsilon = \frac{mgD}{2I} - \frac{M_{\text{тр}}}{I} \quad (2.9)$$

График зависимости $\varepsilon(m)$ при выполнении неравенства 2.8 приведён сплошной линией на рисунке 2.2. Штриховой линией показана точная зависимость 2.6. Штриховая горизонтальная прямая – асимптота при $m \rightarrow \infty$.

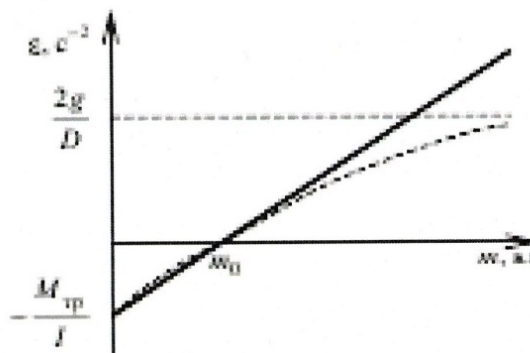


Рисунок 2.2 – График зависимости величин

Примечание. Если момент сил трения зависит от времени, то вращение маятника не будет равноускоренным. Возможен случай, когда момент сил трения пропорционален угловой скорости:

$$M_{\text{тр}} = M_0 + A\omega \quad (2.10)$$

где A – коэффициент пропорциональности;

$M_0 = m_0 g \frac{D}{2}$ – момент сил трения покоя при $\omega = 0$. Заметим, что при $m < m_0 = \frac{M_0}{Dg}$ (сравните с формулой 2.7) вращение шкива не происходит. Решая дифференциальное уравнение 2.6 с учетом выражения 2.10, можно показать, что угловое ускорение ε в момент времени t дается формулой:

$$\varepsilon = \frac{(m - m_0)gD}{2(I + m\frac{D^2}{4})} \cdot e^{-\frac{A}{I + m\frac{D^2}{4}} \cdot t} \quad (2.11)$$

Оценка стандартного отклонения s производится по формуле

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}{n}} \quad (2.12)$$

Оборудование и материалы

1. Установка «Крутильный маятник Поля»
2. Цифровой секундомер

Описание экспериментальной установки

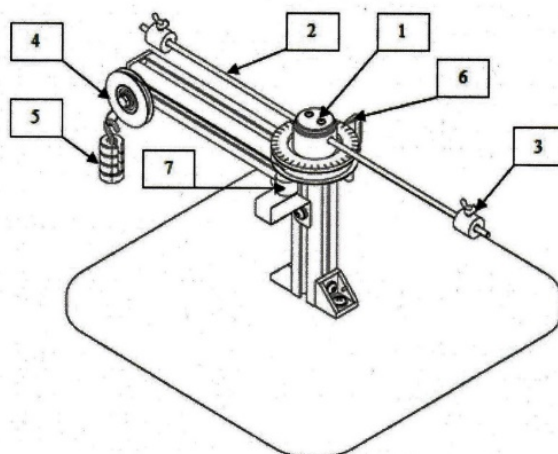


Рисунок 2.3 – Конструкция изделия:

1 – металлический шкив; 2 – стержень; 3 – регулируемые грузы; 4 –

блок; 5 – цилиндрические грузы; 6–датчик; 7– электромагнит.

Схема лабораторной установки показана на рисунке 2.3. и конструктивно представляет собой, металлический шкив (1), горизонтально закрепленный на вертикальной опоре при помощи подшипников вращения. К верхней плоскости шкива присоединен металлический маховик, меньшего диаметра, на котором радиально закреплены два симметричных стержня (2). На каждом из стержней расположен груз (3) при этом имеется возможность регулировки расстояния установки груза относительно центра вращения маховика. К вертикальной опоре, ниже шкива, горизонтально прикреплен металлическая рейка, на конце которой в вертикальной плоскости установлен блок (4), который свободно вращается в собственных подшипниках. Через блок перекинута тонкая капроновая нить. Нить намотана на основной шкив и закреплена на нем, а свободным концом привязана к подвесному цилиндрическому грузу (5). Металлический шкив (1) может быть удержан от вращения при помощи металлического флажка и электромагнита (7). Если не удерживать шкив, то под действием опускающегося груза, нить разматывается и приводит шкив в ускоренное вращение. Время периода вращения шкива измеряется электронным секундомером. Для этого на стенде установлен индукционный датчик (6), который фиксирует каждый оборот шкива в определенной точке и передает сигнал в секундомер. Длина нити подобрана так, что при полной ее размотке, шкив успевает сделать шесть полных оборотов вокруг оси вращения. Следовательно, при проведении опыта секундомер будет фиксировать шесть периодов вращения.

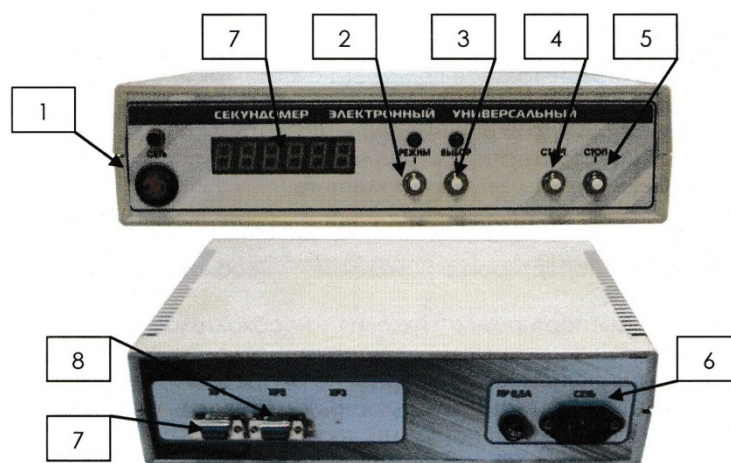


Рисунок 2.4 – Панель управления цифрового секундомера: 1 – кнопка включения прибора; 2 – кнопка «РЕЖИМ»; 3 – кнопка «ВЫБОР»; 4 – кнопка «СТАРТ»; 5 – кнопка «СТОП»; 6 – разъем для сетевого кабеля; 7 – дисплей(на первом рисунке) разъем XI (на втором рисунке, магнит); 8 – разъем X2(датчик)

Оборудование «Цифровой секундомер» предназначено для измерения интервалов времени и позволяет определять значения до тысячных секунд. Вреязадающим устройством секундомера является кварцевый генератор. Сигнал стабилизированной частоты с кварцевого генератора поступает на вход микроконтроллера, обеспечивающего следующие функции: приём командных сигналов от кнопочных переключателей и внешних датчиков; обработку сигналов в программе, в соответствии с установленным режимом работы, и выдачу результатов обработки на устройства цифровой индикации и светодиоды. Требуемый режим работы задаётся нажатием соответствующей кнопки выбора режима. После нажатия кнопки(1), происходит включение прибора и загорается электронный дисплей (7) на котором отображаются значения измерений при работе.

Кнопка «РЕЖИМ», позволяет выбрать нужный режим, для получения нужных временных значений.

Кнопка «ВЫБОР» подтверждает выбранный ранее режим.

Кнопка «СТОП», нажатием кнопки «СТОП» осуществляется включение магнита (если он используется в установках, где есть магнит)

Кнопка «СТАРТ», при нажатии кнопки происходит счет импульсов, после формирования 6-ти импульсов, счет импульсов останавливается.

Режим "Г" данный режим позволяет определить время от начала отсчета до каждого сформировавшегося импульса. Секундомер работает в пяти режимах:

Режим "1" – данный режим позволяет определить время от начала отсчета до каждого сформировавшегося импульса. Максимальное количество импульсов: 6. Нажимая кнопку «ВЫБОР» можно просмотреть время до каждого из импульсов.

Режим "2" – данный режим позволяет определить интервал между данным и последующим импульсом. При нажатии кнопки «ВЫБОР» можно просмотреть время между интересующими нас импульсами. Максимальное количество считаемых импульсов: 6.

Режим "3" – данный режим позволяет определить время от начала отсчета до 1-го сформированного импульса.

Режим "4" – стандартный режим секундомера.

Режим "5" – режим включения магнита.

Указания по технике безопасности

При эксплуатации оборудования необходимо соблюдать следующие правила безопасности:

- К обслуживанию оборудования допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности.
- Перед началом эксплуатации оборудования необходимо убедиться, что оборудование находится в выключенном состоянии.
- При обнаружении любых повреждений и неисправностей оборудования, а также при появлении дыма, искрения или специфического запаха перегретой изоляции, немедленно обесточьте оборудование.
- ЗАПРЕЩАЕТСЯ неисправное оборудование.
- ЗАПРЕЩАЕТСЯ использовать изделие и его отдельные компоненты не по назначению.
- ЗАПРЕЩАЕТСЯ вскрывать изделие.
- ЗАПРЕЩАЕТСЯ видоизменять принципиальную схему и общие функции работы изделия.
- После хранения оборудования в холодном помещении или после перевозки в зимних условиях включать его в сеть можно не раньше, чем через 6 часов пребывания при комнатной температуре в распакованном виде.
- Изделие эксплуатировать только в помещении без повышенной опасности по степени поражения электрическим током.
- Во избежание поражения электрическим током и выхода из строя элементов изделия, при работе запрещается использовать внешние источники питания.
- Не устанавливайте оборудование в непосредственной близости от легковоспламеняющихся и распространяющих огонь предметов.
- Не оставляйте оборудование включенным без присмотра.
- Не допускайте попадания жидкости внутрь оборудования.
- Не оставляйте оборудование в режиме ожидания на длительное время (более 12 часов)
- Во избежание поломок оборудования не прикладывайте чрезмерных усилий при манипуляциях с органами управления.

Задания

1. Закрепить на свободном конце капроновой нити груз массой m .

2. Установите грузы на штангах шкива с расстоянием R от центра вращения. Расстояния R задаются преподавателем.
3. Включить электронный секундомер, убедиться, что секундомер работает в 1-ом режиме (цифра на крайнем правом индикаторе), если нет – нажимая кнопку «Режим» выбрать 1 режим работы.
4. Придерживая правой рукой груз, закрепленный на нити, намотать оставшуюся ее часть на шкив.
5. Вращая шкив рукой, установить металлический флажок прямо над электромагнитом.
6. Нажать кнопку «Стоп» на секундомере, убедившись, что шкив удерживается от проворачивания (следить, чтобы флажок не смещался относительно электромагнита), после этого нажать кнопку «Старт» на секундомере, электромагнит выключится.
7. Подвешенный груз начнет движение вниз, маховик начнет вращаться, а на табло начнется отсчет времени.
8. После прохождения грузиком всего пути – секундомер остановится автоматически.
9. После останова секундомера на табло будет отображаться значение времени периода вращения 1-го полуоборота T_1 , последовательно нажимая кнопку «Выбор», записать значения для $T_2 - T_6$.
10. Затем провести измерения еще два раза, повторяя пункты 3 – 9. Записать значения.
11. Заменить груз подвеса на другой, массой $m = \text{xxx}$. И провести опыт для этого груза повторяя пункты 3 – 10.
12. Вычислите значения ε для всех значений m и R предыдущих пунктов.
13. Вычислите оценки стандартных отклонений s для всех значений ε при обоих грузах m .
14. Постройте зависимость ε от m при двух значениях R на одном и том же графике с учетом оценок стандартных отклонений. По полученным графикам сделайте оценки момента сил трения и момента инерции.
15. Проверьте, используя оценку момента инерции I в пункте 14, выполнение неравенства $I \gg m \frac{D^2}{4}$ –, при котором справедлива линейная зависимость углового ускорения от массы m ускоряющего груза, для различных значений массы m из проведенных опытов.
16. Рассчитайте ошибку измерений по общим правилам

Содержание отчета

Отчёт по лабораторной работе должен содержать следующие основные разделы:

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Описание экспериментальной методики.
4. Порядок проведения работы, таблицы результатов прямых и косвенных измерений.
5. Определение погрешности измерения.
6. Выводы.
7. Ответ.

Контрольные вопросы

1. Какова цель лабораторной работы? Какие величины в работе измеряются непосредственно?
2. Как направлены векторы угловой скорости $\vec{\omega}$, углового ускорения $\vec{\varepsilon}$, результирующего момента сил и момента сил трения в случае ускоренного вращения?

3. Как вы записываете уравнение динамики вращательного движения маятника в данной работе?
4. Какова модель нити? Как свойства идеальной нити влияют на вид кинематических и динамических уравнений?
5. Покажите на рисунке все силы, действующие на шкив. Почему в уравнении динамики вращательного движения 1.3 не учтены моменты некоторых из этих сил?
6. Перечислите все допущения, при которых получается линейная зависимость углового ускорения ε от массы m .
7. Выведите зависимость углового ускорения ε от массы m опускающегося груза t в приближении линейной зависимости $\varepsilon(m)$.
8. Как в данной работе рассчитать оценку стандартного отклонения величины ε ?
9. Подтверждается ли измерениями линейная теоретическая зависимость углового ускорения ε от массы ускоряющего груза m ?

Тема 3. Колебания и волны.

Лабораторная работа 3. Исследование законов механических колебаний с помощью крутильного маятника поля

Цель работы: изучить понятие о резонансной частоте, колебаниях, вращательном движении, свободных и вынужденных колебаниях.

Формируемые компетенции или их части:

ОПК-2 – способностью применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

Теоретическая часть

Рассмотрим движение твердого тела произвольной формы и размеров относительно связанной с ним закрепленной точки O (рисунок 3.1). Точку крепления тела назовем точкой подвеса. Такое закрепленное в точке подвеса твердое тело представляет собой физический маятник. Опыт показывает, что физический маятник, будучи выведенным из положения равновесия, совершает колебательное движение.

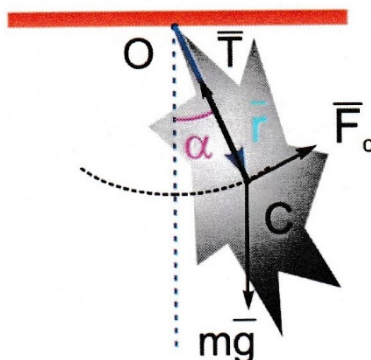


Рисунок 3.1 – Физический маятник и действующие на него силы.

Согласно основному закону динамики вращательного движения произведение момента инерции физического маятника на его угловое ускорение равно равнодействующему моменту внешних сил: силы тяжести $m\vec{g}$, силы сопротивления $\vec{F}_c$ и силы упругой деформации $\vec{T}$ твердого тела. Момент силы $\vec{T}$ равен нулю, поскольку

деформация растяжения тела в любой момент времени параллельна радиус-вектору $\vec{r}$, определяющему положение центра масс тела относительно точки подвеса. Следовательно,

$$I\ddot{a} = \overline{M} + \overline{M}_c \quad (3.1)$$

где $a(t)$ – угол отклонения маятника, отсчитываемый от положения равновесия;
 $\overline{M}$ – момент силы тяжести, стремящийся возвратить систему в положение равновесия; $\overline{M}_c$ – момент силы сопротивления.

Будем считать, что для случая малых колебаний момент силы тяжести, пропорционален углу отклонения маятника от положения равновесия, а момент силы сопротивления – скорости его движения, т. е.

$$M = -mgr \sin(a) = -k \sin(a)$$

где M – проекция момента силы тяжести на ось вращения (для малых колебаний $M = -ka$); $M_c = -h\dot{a}$ – проекция момента сил сопротивления на ось вращения (выражение справедливо для малых скоростей).

Тогда, спроецировав уравнение 3.1 на направление оси вращения, получим:

$$I\ddot{a} = M + M_c = -ka - h\dot{a} \quad (3.2)$$

где k и h – размерные константы; I – момент инерции маятника.

Поделив левую и правую части уравнения 3.2 на I и перенеся все слагаемые в левую часть, получим дифференциальное уравнение, описывающее динамику собственных затухающих колебаний физического маятника.

$$\ddot{a} + 2\beta\dot{a} + \omega_0^2 a = 0 \quad (3.3)$$

где $\beta = h/2I$ – коэффициент затухания; $\omega_0 = (\frac{k}{I})^{1/2}$ – собственная частота колебаний маятника.

Решение уравнения 3.3 для случая малого сопротивления $\omega_0 > \beta$ имеет вид:

$$a(t) = a_0 e^{-\beta t} \sin(\omega t + \varphi) \quad (3.4)$$

где ω – частота свободных затухающих колебаний маятника.

Как видно из уравнения (3.4) амплитуда углового смещения a_m будет уменьшаться (затухать) с течением времени по экспоненциальному закону:

$$a_m(t) = a_0 e^{-\beta t} \quad (3.5)$$

Коэффициент затухания определяет быстроту этого процесса. Он равен промежутку времени, по истечении которого амплитуда колебаний уменьшается в $e = 2.73$ раз.

Колебания при наличии затухания не являются гармоническими и даже периодическими. Условно, за период слабо затухающих колебаний можно принять минимальный промежуток времени между двумя ближайшими локальными максимумами или минимумами функции $a(t)$ – углового смещения маятника относительно положения равновесия (рисунок 3.2).

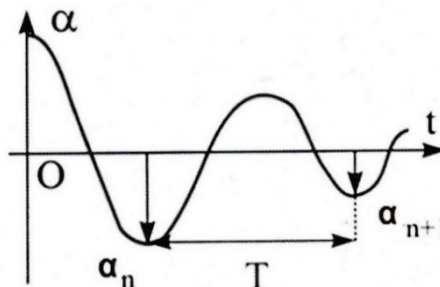


Рисунок 3.2 – Затухающие колебания при малом сопротивлении

Для характеристики интенсивности затухания используют понятие логарифмического декремента затухания. Пусть, T – условный период затухающих колебаний a_n и a_{n+1} – амплитудные значения отклонения маятника от положения равновесия для двух его соседних максимумов или минимумов (рисунок 3.2). Величина d , равная

$$d = \ln\left(\frac{a_n}{a_{n+1}}\right) \quad (3.6)$$

Называется логарифмическим декрементом затухания.

Можно показать, что $d = \beta T$, а величина $1/d$ равна числу колебаний, по истечении которых их амплитуда уменьшается в e раз.

В случае большого трения, когда $\omega_0 = \beta$ решение уравнения 3.3 имеет вид

$$a(t) = (a_0(1 + \beta t) + \dot{a}(0)t) e^{-\beta t} \quad (3.7)$$

где a_0 и $a(0)$ – начальное угловое смещение и начальная угловая скорость соответственно.

Примерный вид зависимостей $a(t)$ при разных начальных условиях для случая $\omega_0 = \beta$ приведен на рисунке 3.3а. Особенностью таких колебаний, называемых критическими, является то, что описывающая их зависимость $a(t)$ пересекает ось времени не более одного раза.

При очень сильном трении, когда $\beta > \omega_0$ решение уравнения 3.3 представляет собой сумму двух убывающих с течением времени экспонент. При этом система колебаний как таковых не совершает (рисунок 3.3 б). В целом, кинетика процесса затухания похожа на зависимость 2, приведенную на рисунке 3.3 а, однако, поскольку трение больше, чем в критическом режиме, то возврат к положению равновесия происходит медленнее другими словами, будучи выведенной из положения равновесия, система без осцилляций очень медленно возвращается в равновесное состояние. Такой режим колебаний называется аperiодическим или закритическим.

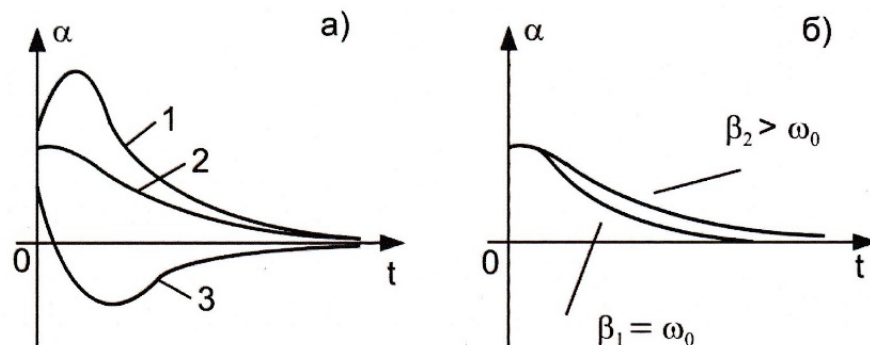


Рисунок 3.3 – Вид критических и ангармонических колебаний

а) критические колебания при различных начальных условиях

б) критические и аperiодические колебания при одинаковом начальном условии $\dot{a}(0) = 0$

Для возбуждения в системе незатухающих колебаний, необходимо за счет внешних сил компенсировать потери энергии, обусловленные наличием сопротивления среды. Колебания, которые совершает система под действием внешней периодической силы, называются вынужденными.

Характер движения системы при этом зависит от особенностей внешней силы. Наиболее важным является случай гармонической внешней силы, а в случае крутильных

колебаний – гармонического момента сил. Пусть на физический маятник, кроме возвращающего момента и момента сил сопротивления действует момент внешней силы, изменяющийся по гармоническому закону:

$$M = M_0 \cos(\omega t) \quad (3.8)$$

где M_0 – амплитуда момента внешней силы; ω – частота изменения момента внешней силы.

Согласно основному закону динамики вращательного движения имеем:

$$I\ddot{a} = -ka - h\dot{a} + M_0 \cos(\omega t) \quad (3.9)$$

Общее решение уравнения (2.9) можно представить в виде:

$$a(t) = A_0 \cdot e^{-\beta t} \cdot \cos \left[\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} \cdot t + \varphi \right] + a_m \cdot \cos(\omega t + \psi) \quad (3.10)$$

где A_0 и φ – постоянные величины, определяемые из начальных условий, т. е. начальных значений углового смещения и угловой скорости физического маятника; a_m , ψ – постоянные величины (параметры вынужденных колебаний), которые определяются свойствами системы и внешним воздействием.

Первое слагаемое в выражении 3.10 описывает собственные затухающие колебания системы, а второе – гармонические колебания с амплитудой a , совершающиеся с частотой вынуждающей силы. Наложение этих колебаний создает результирующее движение, имеющее характер «биений». Биения проявляются в том, что колебания совершаются с изменяющейся амплитудой.

Графики биений имеют вид, представленный на рисунке 3.4.

Поскольку первое слагаемое в уравнении 3.10 экспоненциально затухает с течением времени, то через определенный временной интервал, называемый временем установления колебаний, собственные колебания системы прекратятся. Колебания, которые устанавливаются в системе после затухания амплитуды собственных колебаний, называются установившимися вынужденными колебаниями.

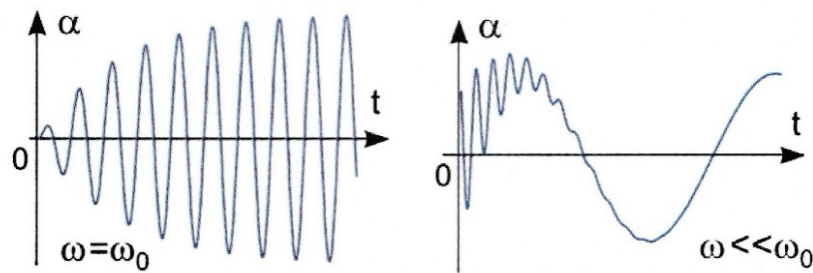


Рисунок 3.4 – Графики вынужденных колебаний для случаев $\omega = \omega_0$ и $\omega \ll \omega_0$

Установившиеся вынужденные колебания описываются уравнением:

$$a(t) = a_m \cos(\omega t + \psi) \quad (3.11)$$

где a_m – амплитуда установившихся вынужденных колебаний; ψ – сдвиг фаз между угловым смещением физического маятника и вынуждающей силой.

Из уравнения 3.8 и 3.11 следует, что движение физического маятника в установившемся режиме представляют собой гармонические колебания с частотой, равной частоте вынуждающей силы. Параметры вынужденных колебаний определяются, исходя из следующих уравнений:

$$a_m = \frac{M_0}{(I\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2\omega^2})} \quad (3.12)$$

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{-2\beta\omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)} \quad (3.13)$$

Амплитуда a_m и фаза вынужденных колебаний существенно зависят от отношения между частотой ω изменения внешнего момента сил $\bar{M}$ и собственной частотой ω_0 колебаний системы. На рисунке 3.5 изображены зависимости амплитуды углового смещения от частоты вынуждающей силы, соответствующие разным значениям коэффициентов затухания β . Из рисунка 3.5 видно, что при определенном значении частоты вынуждающей силы ω_p амплитуда вынужденных колебаний достигает своего максимального значения, равного ω_p . Такое явление называется резонансом, а частота, при которой оно происходит – резонансной частотой. Зависимость $a_m = f(\omega)$ называется амплитудной резонансной кривой или амплитудно–частотной характеристикой маятника.

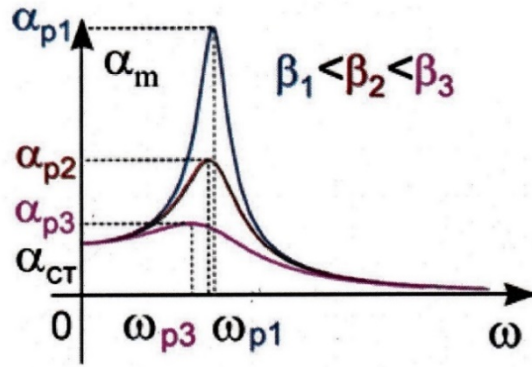


Рисунок 3.5 – Амплитудно–частотная характеристика

a_m – амплитуда, a_p – резонансная амплитуда

Приравняв производную выражения 3.12 к нулю $\frac{da_m}{d\omega} = 0$, получим, что при малом сопротивлении среды амплитуда углового смещения a_p в резонансе равна

$$a_p = M_0/(2I\beta_0) \quad (3.15)$$

Из уравнения 3.12 следует, что

$$\omega_p = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2} \quad (3.14)$$

т.е. ω_p зависит от свойств среды, в которой совершаются колебания.

Если $\omega = 0$, то амплитуда вынужденных колебаний оказывается равной величине статистического углового смещения $a_{ст}$ системы под действием постоянного момента внешней силы. При частоте ω , стремящейся к бесконечности, все амплитудные кривые асимптотически приближаются к нулю, так как в данном случае система не успевает отреагировать на действие вынуждающего момента внешних сил и остается в состоянии равновесия.

Как следует из уравнения (3.13), сдвиг по фазе между силой и угловым смещением зависит от соотношения частот собственной и вынуждающей силы, а также от

коэффициента затухания (рисунок 3.6). При $\omega = \omega_0$ смещение отстает от силы на $\pi/2$. Это означает, что в момент времени, когда момент внешней силы достигает своего максимального значения, угловое смещение равно нулю.

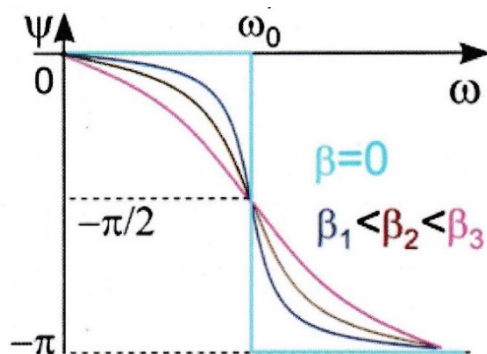


Рисунок 3.6 – Фазовые резонансные кривые маятника

С увеличением частоты изменения момента внешней силы отставание углового смещения от величины момента силы растет и при очень больших частотах ω приближается к $-\pi$, т. е. момент силы и угловое смещение колеблются в противофазе.

Фазовые соотношения между угловым смещением и моментом внешней силы позволяют понять сущность явления резонанса с точки зрения энергетических соображений. Покажем, что при $\omega = \omega_0$ угловое смещение отстает по фазе от вынуждающего момента гармонической силы на $\pi/2$, т. е.

$$M = M_0 \cos(\omega_0 t); a = a_m \sin(\omega_0 t) \quad (3.16)$$

Согласно выражению 2.16 зависимость угловой скорости физического маятника от времени имеет вид:

$$\dot{a} = a_m \omega_0 \cos(\omega_0 t) \quad (3.17)$$

Из соотношений 3.16 и 3.17 видно, что скорость и внешняя сила колеблются в фазе. Следовательно, мощность, развиваемая внешней силой, положительна в любой момент времени, а энергия, передаваемая системе от внешнего источника максимальна (угловая скорость маятника при частоте вынуждающей силы, равной собственной частоте колебаний, максимальна). Работа внешнего момента сил в случае $\omega = \omega_0$ направлена на преодоление сил трения.

Оборудование и материалы

1. Стенд «Крутильный маятник Поля»

Описание установки

Симметричное тело (тонкий металлический диск) (2) скрепляется со спиральной пружиной (3). Диск отводится от положения равновесия, сжимая или растягивая пружину, после чего диск начинает совершать колебательное движение с периодом, зависящим от величины момента инерции диска и коэффициента затухания.

Вынужденные гармонические колебания диска создаются в системе путем соединения стрелки, на которую насажена пружина со скрепленным с ней диском, с двигателем (4) через штангу с валом, частоту оборотов которого можно изменить. (рисунок 3.7).

Коэффициент затухания в системе изменяется путем пропускания постоянного электрического тока через катушки индуктивности, в зазоре между которыми перемещается маятник (металлический диск). При движении диска в магнитном поле в

нем индуцируются токи Фуко, что в итоге приводит к появлению дополнительного тормозящего момента сил.

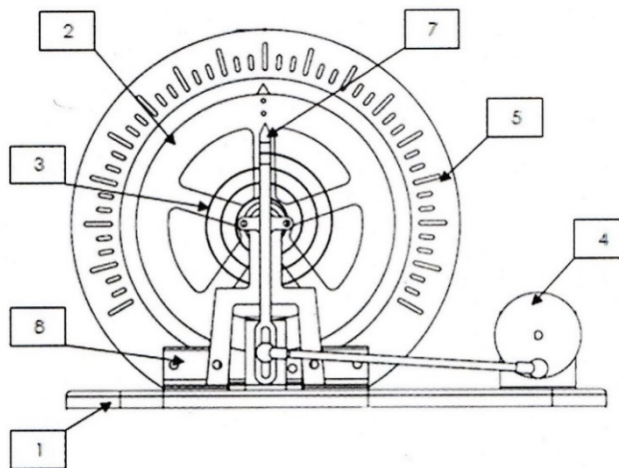


Рисунок 3.7 – Общий вид экспериментальной установки
1 – основание; 2 – колесо Поля; 3 – возвратная пружина; 4 – электродвигатель; 5 – линейка; 7 – стрелка; 8 – магниты

Указания по технике безопасности

При эксплуатации оборудования необходимо соблюдать следующие правила безопасности:

- К обслуживанию оборудования допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности.
- Перед началом эксплуатации оборудования необходимо убедиться, что оборудование находится в выключенном состоянии.
- При обнаружении любых повреждений и неисправностей оборудования, а также при появлении дыма, искрения или специфического запаха перегретой изоляции, немедленно обесточьте оборудование.
- ЗАПРЕЩАЕТСЯ неисправное оборудование.
- ЗАПРЕЩАЕТСЯ использовать изделие и его отдельные компоненты не по назначению.
- ЗАПРЕЩАЕТСЯ вскрывать изделие.
- ЗАПРЕЩАЕТСЯ видоизменять принципиальную схему и общие функции работы изделия.
- После хранения оборудования в холодном помещении или после перевозки в зимних условиях включать его в сеть можно не раньше, чем через 6 часов пребывания при комнатной температуре в распакованном виде.
- Изделие эксплуатировать только в помещении без повышенной опасности по степени поражения электрическим током.
- Во избежание поражения электрическим током и выхода из строя элементов изделия, при работе запрещается использовать внешние источники питания.
- Не устанавливайте оборудование в непосредственной близости от легковоспламеняющихся и распространяющих огонь предметов.
- Не оставляйте оборудование включенным без присмотра.
- Не допускайте попадания жидкости внутрь оборудования.
- Не оставляйте оборудование в режиме ожидания на длительное время (более 12 часов)
- Во избежание поломок оборудования не прикладывайте чрезмерных усилий при манипуляциях с органами управления.

Задания

Упражнение 1

1. Соберите электрическую схему.
2. Не подключая источник питания к маятнику Поля, отклоните его на 10–20 делений (относительных единиц) шкалы транспортира, расположенного на установке, а затем отпустите диск маятника. Измерьте три раза период свободных колебаний маятника, а затем рассчитайте циклическую частоту затухающих колебаний.
3. Экспериментальным путем установите зависимость амплитуды углового смещения маятника от времени в режиме свободных колебаний. Для этого измеряйте угловую амплитуду через промежутки времени, кратные периоду колебаний. Результаты измерений занесите в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

	a_1	a_2	a_3	a_{cp}	a_0	,с	$\frac{a_{cp}}{a_0}$	$\ln \frac{a_{cp}}{a_0}$	$t \ln \frac{a_{cp}}{a_0}$	t^2
T										
T										
T										
T										

4. Постройте график зависимости $a_{cp} = f(t)$.
5. Используя МНК, рассчитайте коэффициент затухания маятника Поля для случая минимального коэффициента сопротивления в системе (ток через катушку индуктивности не пропускается) по формуле:

$$\beta = \frac{\sum_i t_i \ln \frac{a_{cpi}}{a_0}}{\sum_i t_i^2}$$

6. Рассчитайте собственную частоту колебаний маятника по формуле: $\omega_0 = (\omega^2 + \beta^2)^{1/2}$
7. Подключите катушки к источнику питания, пропустив через катушки индуктивности постоянный ток, соответствующий напряжениям на источнике питания 4 В, 6 В и 10 В, и повторите пункты 1–5.

Упражнение 2

1. Соберите схему. Напряжение на катушки индуктивности пока не подавайте, тем самым обеспечивая самый малый коэффициент сопротивления в системе. На выходе DC (постоянный ток) источника питания установите напряжение 15 В.
2. Регулируя положение ручек грубой и плавной настройки потенциометров, установите минимальное напряжение на электродвигателе.
3. Выдержите паузу длительностью приблизительно в одну минуту и определите значение периода в режиме установившихся колебаний.

4. Измерьте амплитуду углового смещения, соответствующую данной частоте установившихся колебаний. Амплитуду измеряйте по шкале транспорта в относительных единицах.

5. Повторите пункты 3–4 увеличивая напряжение на электродвигателе. Особенно часто (через 0.05 – 0.1 В) проводите измерения в области резкого изменения амплитуды углового смещения.

6. Постройте амплитудно–резонансную кривую.

7. Повторите пункты 2 – 6 данного упражнения при напряжениях, подаваемых на катушки индуктивности, равных 4 В, 6 В и 10 В, устанавливая тем самым различные коэффициенты затухания.

8. Исходя из амплитудно–резонансных кривых определите резонансную частоту ω_p и значения амплитуды a_p вынужденных колебаний при резонансе статической амплитуды $a_{ст}$. Рассчитайте собственную частоту колебаний согласно формуле 2.14 и сравните ее со значением, полученным в упражнении 1.

9. Рассчитайте добротность системы по формуле $Q = \frac{a_p}{a_{ст}}$

10. Используя формулу 3.13, рассчитайте сдвиг фаз ψ между угловым смещением маятника и вынуждающей силой для каждого значения частоты ω .

11. Постройте фазовые резонансные кривые для различных коэффициентов затухания в системе.

12. Рассчитайте ошибку измерений по общим правилам

Содержание отчета

Отчёт по лабораторной работе должен содержать следующие основные разделы:

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Описание экспериментальной методики.
4. Порядок проведения работы, таблицы результатов прямых и косвенных измерений.
5. Определение погрешности измерения.
6. Выводы.
7. Ответ.

Контрольные вопросы

1. Какие колебания называются свободными?
2. Запишите дифференциальное уравнение затухающих колебаний. проанализируйте его решение.
3. В чем заключается физический смысл коэффициента затухания?
4. Чем определяется собственная частота системы и частота затухающих колебаний?
5. Что такое критический и ангармонический режимы колебаний? Каковы их отличительные особенности?
6. Какие колебания называются вынужденными?
7. Запишите дифференциальное уравнение вынужденных колебаний. Проанализируйте его решение.
8. Что такое переходной и установившийся режим вынужденных колебаний?
9. От чего зависит время установления колебаний?
10. От чего зависят амплитуда и частота установившихся вынужденных колебаний?
11. В чем заключается явление резонанса?
12. Что такое резонансная частота? От каких физических величин она зависит?
13. Чему равно статическое смещение маятника?

14. Дайте определение добротности системы. Как она связана с резонансной амплитудой и статическим смещением?

15. Что представляют собой установившиеся вынужденные колебания, происходящие под действием внешней гармонической силы?

16. Объясните, чему равен сдвиг фаз между смещением и вынужденной силой при резонансе.

ТЕМА 4. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

Лабораторная работа 4. Увеличение внутренней энергии за счет механической работы

Цель работы:

1. Исследование зависимости температуры алюминиевого тела от работы сил трения.
2. Определение удельной теплоемкости алюминия.

Формируемые компетенции или их части:

ОПК-2 – способностью применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

Теоретическая часть

Внутренняя энергия системы (в данном случае алюминиевого тела) – это энергия хаотического (теплого) движения микрочастиц системы (молекул, атомов, электронов) и энергия взаимодействия этих частиц. Внутренняя энергия – однозначная функция термодинамического состояния системы, т.е. в каждом состоянии система обладает вполне определенным значением внутренней энергии. Изменить внутреннюю энергию системы (тела) ΔU можно при теплообмене, сообщая системе количество теплоты Q или совершая работу A' над системой, т.е. можно говорить о двух формах передачи энергии от одних тел к другим: в форме работы и в форме теплоты. Другими словами энергия механического движения может превращаться в энергию теплового движения атомов и молекул и наоборот. При этих превращениях должен выполняться закон сохранения и превращения энергии. Первое начало термодинамики и является законом сохранения энергии применительно к термодинамическим процессам. Первое начало термодинамики – результат обобщения многовековых опытных данных. Многочисленные опыты показывают, что в соответствии с законом сохранения энергии при любом способе перехода системы из состояния с энергией U_1 в состояние с энергией U_2 изменение внутренней энергии $\Delta U = U_2 - U_1$ будет одинаковым и равным разности между количеством теплоты Q , полученным системой, и работой A , совершенной системой против внешних сил:

$$\Delta U = Q - A \quad (6.1)$$

или

$$Q = \Delta U + A \quad (6.2)$$

Уравнение 6.2 представляет собой математическое выражение первого начала термодинамики: теплота, сообщаемая системе, расходуется на увеличение ее внутренней

энергии и на совершение работы против внешних сил. Выражение 6.2 для малого изменения состояния системы будет иметь следующий вид:

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta A \quad (6.3)$$

где ΔU – бесконечно малое изменение внутренней энергии системы. В этом выражении ΔU является полным дифференциалом. ΔQ – бесконечно малое количество теплоты, ΔA – бесконечно малая работа. ΔQ и ΔA не являются полными дифференциалами, поскольку работа и количество теплоты не являются функциями состояния.

В данной лабораторной работе увеличение внутренней энергии алюминиевого тела происходит только за счет внешней механической работы ($Q = 0$). Работа, совершаемая внешней силой A' над системой, будет численно равна работе, совершаемой системой, но взятой с противоположным знаком, т.е. $A' = -A$. Тогда уравнение 6.1 принимает следующий вид:

$$\Delta U = A \quad (6.4)$$

Оборудование и материалы

1. Установка «Увеличение внутренней энергии за счёт механической работы»
2. Цифровой мультиметр
3. Набор грузов

Описание экспериментальной установки

Схема лабораторной установки «Увеличение внутренней энергии за счёт механической работы» показана на рисунке 6.1.

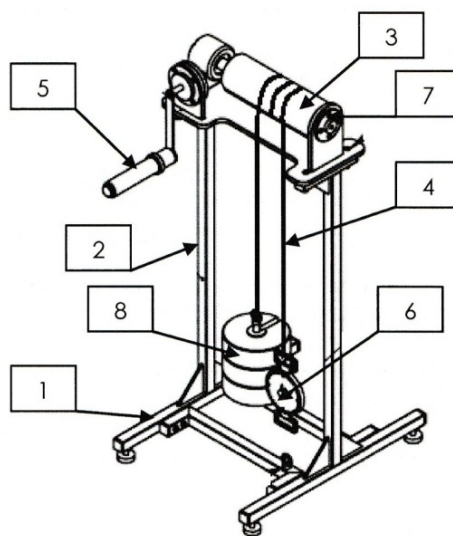


Рисунок 6.1 – Конструкция изделия

К основанию (1) прикреплена рама (2), на верхней балке которой расположена ось с закрепленным исследуемым алюминиевым цилиндрическим телом (3), внутрь которого встроен температурный датчик (7) (термопара), с помощью которого можно измерить температуру исследуемого тела. Бечёвка (4) намотана на цилиндрическое тело. Вращение оси происходит с помощью рукоятки (5). При вращении оси возникает трение бечевки (4), в результате чего происходит нагрев алюминиевого цилиндра. На концах бечевки закреплены грузы (8) для уравнивания силы трения. Измерение возникающей силы возможно за счет установленного динамометра (6). Показания с температурного датчика отображаются на дисплее мультиметра.

Видно, что один конец нити привязан к динамометру, который показывает натяжение нити T_2 . На втором конце нити висит груз массой 2–10 кг, который создает постоянное натяжение нити T_1 (см. рисунок 6.2).

Очевидно, что результирующая этих сил $F = T_2 - T_1$ уравнивается силой трения, поэтому работа, совершаемая для преодоления силы трения за N оборотов алюминиевого цилиндра, составляет

$$A = F \cdot \pi \cdot d \cdot k \cdot N \quad (6.5)$$

где $d = 37$ мм (диаметр цилиндрического тела), k – число витков бечевки, N – число оборотов алюминиевого тела. Работа сил трения переходит во внутреннюю энергию тела, т.е. повышается температура алюминиевого цилиндра с начального значения t_0 до конечного значения t_n . Это соответствует увеличению внутренней энергии на величину

$$\Delta U = m \cdot c_{Al} \cdot (t_n - t_0) \quad (6.6)$$

где m – масса тела, c_{Al} – удельная теплоемкость алюминия.

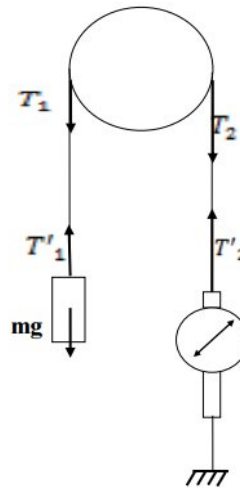


Рисунок 6.2 – Схема установки

На основании закона сохранения энергии можно записать:

$$m \cdot c_{Al} \cdot (t_n - t_0) = F \cdot \pi \cdot d \cdot k \cdot N \quad (6.7)$$

или

$$m \cdot c_{Al} \cdot (t_n - t_0) = A \quad (6.8)$$

Преобразовав выражение 1.8, получим:

$$t_n = t_0 + \frac{1}{m \cdot c_{Al}} \cdot A \quad (6.9)$$

Наличие пропорциональности между изменением температуры системы Δt и совершенной работой является доказательством справедливости первого закона термодинамики. По наклону этой прямой (рисунок 6.3) можно определить также удельную теплоемкость алюминия.

Из формулы 6.9 видно, что

$$c_{Al} = \frac{1}{m} \cdot \frac{A}{\Delta t} = \frac{1}{m} \cdot \frac{1}{\tan \alpha} \quad (6.10)$$

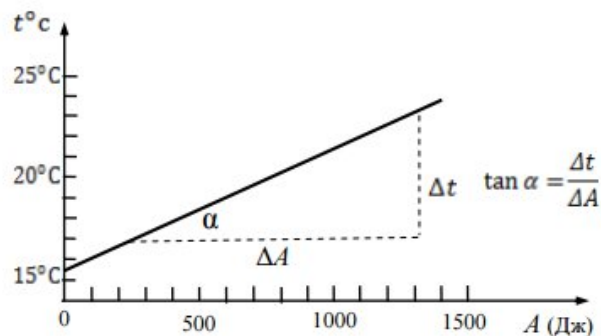


Рисунок 6.3 – График зависимости температуры от совершенной работы

Указания по технике безопасности

При эксплуатации оборудования необходимо соблюдать следующие правила безопасности:

- К обслуживанию оборудования допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности.
- Перед началом эксплуатации оборудования необходимо убедиться, что оборудование находится в выключенном состоянии.
- При обнаружении любых повреждений и неисправностей оборудования, а также при появлении дыма, искрения или специфического запаха перегретой изоляции, немедленно обесточьте оборудование.
- ЗАПРЕЩАЕТСЯ неисправное оборудование.
- ЗАПРЕЩАЕТСЯ использовать изделие и его отдельные компоненты не по назначению.
- ЗАПРЕЩАЕТСЯ вскрывать изделие.
- ЗАПРЕЩАЕТСЯ видоизменять принципиальную схему и общие функции работы изделия.
- После хранения оборудования в холодном помещении или после перевозки в зимних условиях включать его в сеть можно не раньше, чем через 6 часов пребывания при комнатной температуре в распакованном виде.
- Изделие эксплуатировать только в помещении без повышенной опасности по степени поражения электрическим током.
- Во избежание поражения электрическим током и выхода из строя элементов изделия, при работе запрещается использовать внешние источники питания.
- Не устанавливайте оборудование в непосредственной близости от легковоспламеняющихся и распространяющих огонь предметов.
- Не оставляйте оборудование включенным без присмотра.
- Не допускайте попадания жидкости внутрь оборудования.
- Не оставляйте оборудование в режиме ожидания на длительное время (более 12 часов)
- Во избежание поломок оборудования не прикладывайте чрезмерных усилий при манипуляциях с органами управления.

Задания

Определение коэффициента трения покоя

1. Медленно поворачивая рукоятку, добейтесь проскальзывания бечевки, а потом, плавно вращая рукоятку, сделайте 10 оборотов.

2. Во время вращения рукоятки запишите показание динамометра. Надо учесть, что динамометр проградуирован в кГс (килограмм– сила). 1кГс ~ 10 Н.

3. Подождите примерно 1 минуту, пока температура выровняется и показания прибора перестанут изменяться. Запишите эти показания, а затем сделайте еще 10 оборотов, подождите 1 минуту и запишите второе значение. Продолжайте опыт, пока не получите 6–7 значений сопротивления датчика.

4. Результаты измерений занесите в таблице 6.1.

Таблица 6.1

№	Число оборотов шкива N	Показание динамометра T_2	Показание датчика (кОм)	Температура t °C	Работа А

5. Переведите значения сопротивления в температуру.

6. По формуле 6.5 рассчитайте совершаемую работу.

7. Постройте график зависимости температуры t от совершаемой работы А (смотрите рисунок 6.3).

8. Найдите по графику $\tan \alpha$.

9. Зная массу цилиндра и тангенс угла наклона прямой, по формуле 6.10 определите удельную теплоемкость алюминия, где $m = 450$ г (масса алюминиевого цилиндра).

Содержание отчёта

Отчёт по лабораторной работе должен содержать следующие основные разделы:

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Описание экспериментальной методики.
4. Порядок проведения работы, таблицы результатов прямых и косвенных измерений.
5. Определение погрешности измерения.
6. Выводы.
7. Ответ.

Контрольные вопросы

1. Что такое внутренняя энергия тела?
2. От чего зависит внутренняя энергия тела?
3. Как можно изменить внутреннюю энергию тела?
4. В чем отличие внутренней энергии тела U от Q и A ?
5. Как формулируется первый закон термодинамики?
6. Как определяется работа внешних сил в этом опыте?
7. Как осуществляется проверка первого закона термодинамики в этом опыте?
8. Как определяется удельная теплоемкость алюминия?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература:

1. Трофимова, Т. И. Физика: учебник: для студентов вузов, обучающихся по техн. напр. подготовки / Т.И. Трофимова. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Академия, 2013. - 346 с.: ил. - (Высшее профессиональное образование) (Бакалавриат). - Предм. указ.: с. 330-339. - ISBN 978-5-7695-9820

2. Трофимова, Т. И.; Курс физики с примерами решения задач: В 2-х т.: учебник / Т.И. Трофимова, А.В. Фирсов, Т.2. - М. : Кнорус, 2015. - 378 с. - (Бакалавриат). - Прил.: с. 376-378. - ISBN 978-5-406-04428-5.

Дополнительная литература:

1. Повзнер, А. А. Физика. Базовый курс. Часть 1 [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. А. Повзнер, А. Г. Андреева, К. А. Шумихина. — Электрон. текстовые данные. — Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 168 с. — 978-5-7996-1701-1. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/68406.html>

2. Никеров, В. А. Физика. Современный курс [Электронный ресурс]: учебник / В. А. Никеров. — Электрон. текстовые данные. — М.: Дашков и К, 2016. — 454 с. — 978-5-394-02349-1. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/14114.html>

3. Чертов, А. Г. Задачник по физике : [учеб. пособие для втузов] / А. Г. Чертов, А. А. Воробьев. - 8-е изд., перераб. и доп. - М. : Физматлит, 2007. - 640 с. : ил. - Прил.: с. 623-640. - ISBN 5-94052-098-7

Методическая литература:

1. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Физика»: Часть 1. Механика. Молекулярная физика. – Невинномысск, НТИ СКФУ, 2019. - 80 с.

2. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Физика». – Невинномысск, НТИ СКФУ, 2019. - 141 с.

Интернет – ресурсы:

1. <http://www.iprbookshop.ru> – Электронно-библиотечная система IPRbooks;

2. <http://window.edu.ru> – Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам;

3. <http://catalog.ncfu.ru> – электронные каталоги Ассоциации электронных библиотек учебных заведений и организаций СКФО;

4. <https://openedu.ru> – Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование».

Лабораторная работа 5. Исследование идеальных газов

Цель работы: произвести количественный анализ реального газа и определить его точки фазового перехода.

Формируемые компетенции или их части:

Теоретическая часть

Закон идеальных газов

Одним из основных процессов идеального газа является изотермический процесс. Изотермическим процессом называется процесс, протекающий при постоянной температуре T .

Поведение газа, при изотермическом процессе подчиняется закону Бойля – Мариотта: при постоянной температуре и неизменных значениях массы газа и его молярной массы, произведение объема газа на его давление остаётся постоянным.

$$PV = \text{const} \quad (7.1)$$

График изотермического процесса на PV–диаграмме называется изотермой. Полезно знать графики изотермического процесса на VT – и PT – диаграммах (рисунок 7.1)

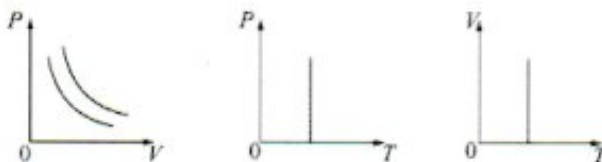


Рисунок 7.1 – Графики изотермического процесса.

Реальный газ – газ, свойства которого зависят от взаимодействия частиц и их собственного объема, что особенно проявляется при высоких давлениях и низких температурах.

Зависимости между его параметрами показывают, что молекулы в реальном газе взаимодействуют между собой и занимают определенный объем. Состояние реального газа часто на практике описывается обобщённым уравнением Клапейрона–Менделеева:

$$pV = Z_r(p,T) \cdot \frac{m}{M} \cdot R \cdot T \quad (7.2)$$

где p – давление; V – объем; T – температура; $Z_r = Z_r(p,T)$ – коэффициент сжимаемости газа; m – масса; M – молярная масса; R – универсальная газовая постоянная.

Отличие реальных газов от идеальных

Реальные газы отличаются от своей модели – идеальных газов – тем, что их молекулы имеют конечные размеры и между ними действуют силы притяжения (при значительных расстояниях между молекулами) и отталкивания (при сближении молекул друг с другом). Характер изменения этих сил взаимодействия в зависимости от расстояния между центрами молекул r показан на рисунке 7.2. На рисунке 7.3 в P–v диаграмме представлена изотерма реального вещества 1–2–3–4 и изотерма идеального газа.

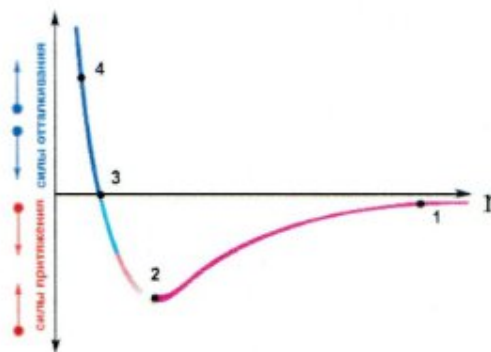


Рисунок 7.2 – Зависимость изменения сил взаимодействия между молекулами от расстояния между их центрами

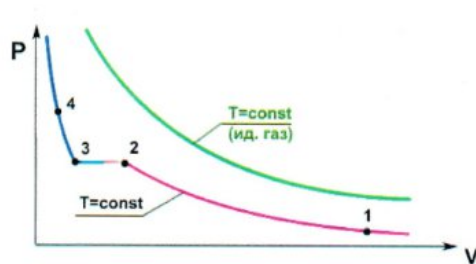


Рисунок 7.3 – Изотермы реального вещества и идеального газа в P, V -диаграмме критические параметры газов

Характер поведения изотермы реального вещества 1–2–3–4 (рисунок 7.3) можно частично объяснить характером изменения сил взаимодействия между молекулами (рисунок 7.2) в зависимости от расстояния между их центрами при изменении давления, считая, что на обоих рисунках линиям 1–2–3–4 соответствует одна и та же изотерма.

В точке 1 при малых давлениях расстояние между молекулами большое (очень), здесь действуют небольшие силы взаимного притяжения молекул. На участке 1–2 при увеличении давления газ сжимается, объем его уменьшается. По мере увеличения давления и уменьшения объема молекулы сближаются, силы притяжения возрастают и достигают максимума в точке 2. Силы взаимного притяжения молекул обуславливают появление внутреннего давления, которое возрастает по мере сближения молекул и приводит к более интенсивному изменению объема газа. Действие сил притяжения молекул в точке 2 аналогично действию пружины, которая полностью растянута.

Далее, начиная с точки 2 и до 3 (рисунок 7.3) газ будет переходить в жидкую фазу, т.е. здесь одновременно существуют газовая и жидкая фазы при одинаковых давлениях и температурах. В отношении двух молекул это динамичный процесс сближения, о двух фазах здесь говорить нельзя (рисунок 7.2), в точке 2 был газ, а в точке 3 стала жидкость. При этом силы взаимного притяжения молекул уменьшаются, и в точке 3, где весь газ вступил в жидкую фазу, силы притяжения уравниваются силами отталкивания (условная пружина находится в свободном состоянии, не сжата и не растянута).

Уменьшение объема на процессе 2–3 (рисунок 7.3) с одной стороны, обусловлено внутренним давлением, которое падает в среднем до нуля в точке 3, а с другой стороны, объясняется образованием жидкой фазы, т.е. по мере увеличения количества капелек жидкости в смеси уменьшается количество газа, для газа объем соответствует точке 2, а для жидкости – точке 3, в результате удельный объем смеси при фазовом переходе уменьшается от точки 2 до 3.

При дальнейшем увеличении давления (процесс 3–4 рисунки 7.2 и 7.3) сжимается только жидкая фаза, при этом расстояния между молекулами настолько малы, что преобладают силы отталкивания, т.к. на сжатие уже оказывает влияние собственный объем молекул, соизмеримый со свободным объемом жидкой фазы. Т.е. собственный объем молекул оказывает противоположное воздействие силам взаимного притяжения (условная пружина полностью сжата). В результате этого воздействия дальнейшее увеличение давления не приводит к значительному уменьшению объема жидкой фазы, т.е. жидкость – плохо сжимаемая фаза вещества.

Фазовые переходы

Переходы вещества из одной фазы в другую при изменении параметров состояния, характеризующих термодинамическое равновесие. Значение температуры, давления или какой-либо другой физической величины, при котором происходят фазовые переходы в однокомпонентной системе, называется точкой перехода.

Критические температура и давление. Газы могут быть превращены в жидкость сжатием при условии, что температура не превышает определенного для каждого газа значения.

Температура, при которой и выше которой данный газ не может быть сжижен никаким повышением давления, называется критический $T_{кр}$.

Давление, при котором и выше которого повышением температуры нельзя испарить жидкость, называется критическим $P_{кр}$.

Объем газа, соответствующий критической температуре, называется критическим $V_{кр}$, а состояние газа, отвечающее критической температуре, критическому давлению и критическому объему – критическим состоянием газа.

При критическом состоянии плотность пара становится равной плотности жидкости.

Точка фазового перехода реального газа характеризуется критической температурой T_c , критическим давлением p_c и критической плотностью ρ_c . Ниже критической температуры вещество находится в газообразном состоянии при больших объемах и в жидком состоянии при маленьких объемах. При промежуточных объемах оно может существовать как смесь жидкости и газа, в которой изменение объема в изотермических условиях вызывает изменение агрегатного состояния: газообразная фракция увеличивается с увеличением объема, а давление смеси остается постоянным. Поскольку жидкость и пары имеют разные плотности, они разделяются в поле тяготения. По мере повышения температуры плотность жидкости уменьшается, а плотность газа возрастает, пока эти две плотности не станут равными одному и тому же значению критической плотности. Выше критической температуры газ невозможно перевести в жидкое состояние. Однако в изотермических условиях газ не подчиняется закону Бойля–Мариотта, пока его температура не поднялась значительно выше критической температуры.

Шестифтористая сера (SF_6) особенно подходит для исследования свойства реальных газов, поскольку ее критическая температура ($T_c = 319\text{ K}$) и ее критическое давление ($p_c = 37,6$ бара) относительно низкие. К тому же она не токсична и совершенно безопасна при использовании в учебном процессе и на практических занятиях.

Устройство для изучения точки фазового перехода состоит из прозрачной измерительной емкости, которая имеет очень толстые стенки и способна выдерживать высокие давления. Внутренний объем емкости можно изменять, крутя штурвал, что позволяет осуществлять тонкую регулировку и снимать показания с точностью до $1/1000$ максимального объема. Давление создается гидравлической системой, в которой используется касторовое масло фармакологического качества. Гидравлическая система отделена от емкости коническим резиновым уплотнением, которое втягивается при изменении объема. Такая конструкция гарантирует, что разницей давлений между измерительной емкостью и масляной частью на практике можно пренебречь. Поэтому вместо непосредственного измерения давления газа манометр измеряет давление масла, что позволяет избежать наличия «мертвого» объема в газовой части системы. Измерительная емкость заключена в прозрачную водяную камеру. В ходе проведения опыта термостатическая водяная ванна поддерживает строго контролируемую и регулируемую постоянную температуру, которая измеряется цифровым термометром.

В ходе наблюдений перехода из газообразного в жидкое состояние и обратного процесса, тот факт, что «мертвый» объем очень мал, позволяет наблюдать образование первой капли жидкости или исчезновение последнего пузырька газа.

Экспериментальный расчет

Зависимость давления от объема измеряется поточно при постоянной температуре, и результаты наносятся на график в виде p – V диаграммы (диаграммы Клапейрона) и pV – p диаграммы (диаграммы Амега). Отклонение от поведения идеального газа сразу же становится явным и очевидным.

По этим диаграммам можно легко определить параметры точки фазового перехода и можно получить четкое экспериментальное подтверждение поведения реального газа.

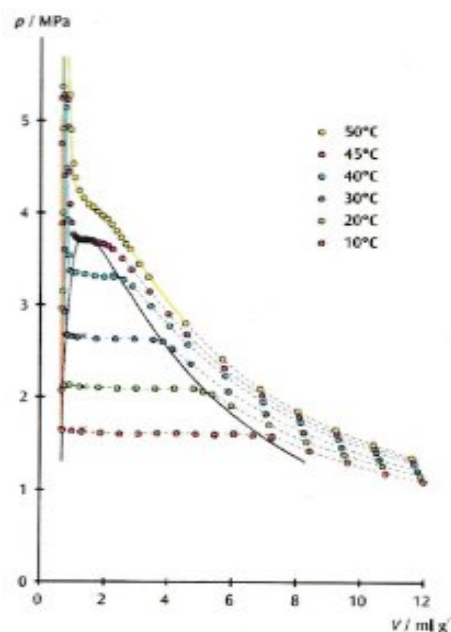


Рисунок 7.4 – p - v диаграмма шестифтористой серы

Оборудование и материалы

1. Навесной термостат
2. Прибор для определения критической температуры
3. Термopapa
4. Цифровой быстродействующий карманный термометр
5. Силиконовая трубка

Описание экспериментальной установки

Состав комплекта оборудования «Реальные газы и точка фазового перехода» представлен на рисунке 7.5.

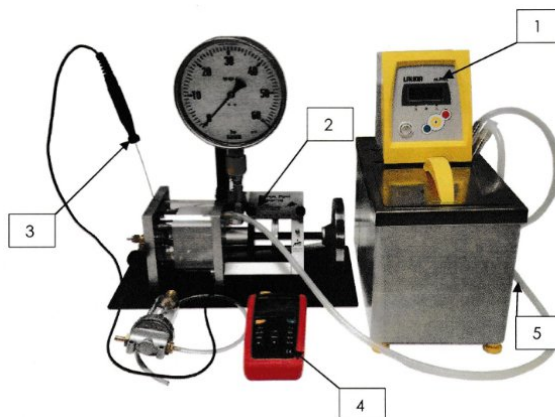


Рисунок 7.5 – Конструкция изделия: 1 – навесной термостат; 2 – прибор для определения критической температуры; 3 – термopapa; 4 – цифровой быстродействующий карманный термометр; 5 – силиконовая трубка;

Прибор для определения критической температуры

Прибор для определения критической температуры позволяет исследовать сжимаемость и сжижение газа. Измерения позволяют определить критическую точку газа, а также получить изотермы для адиабатического процесса p - V (диаграммы Клапейрона). Для испытания используется газ шестифтористая сера (SF_6). SF_6 имеет критическую температуру 318,6 К (45,5 °С) и критическое давление 3,76 МПа (37,6 бара), что позволяет собрать простую установку для проведения опытов.

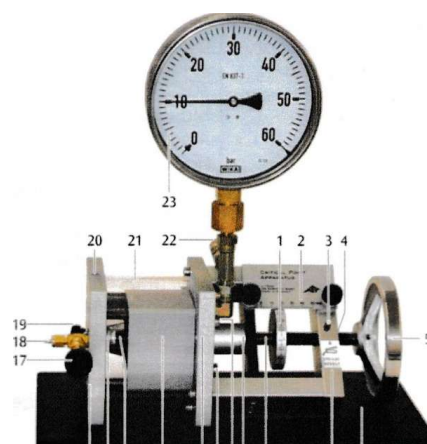


Рисунок 7.6 – Конструкция прибора: 1 – нониусная шкала; 2 – неподвижная шкала; 3 – смазочный ниппель; 4 – резьбовая втулка; 5 – маховичок; 6 – основание; 7 – рама; 8 – резьбовая ось с поршнем; 9 – крышка поршня; 10 – выход теплоносителя; 11 – вход теплоносителя; 12 – концевая пластина; 13 – цилиндр; 14 – коническое уплотнение; 15 – измерительная ячейка; 16 – клапанная пластина; 17 – регулировочный клапан; 18 – арматура 1/8 дюйма по газу; 19 – клапан продувки; 20 – отверстие для термопары; 21 – тепловой корпус; 22 – предохранительный клапан; 23 – манометр (указатель избыточного давления)

Навесной термостат

Навесной термостат Alpha A6 с емкостью с ванной, предназначен для нагрева, перекачивания жидкости и установления температурного режима. Емкость с ванной имеет максимальный объем ванны 6 литров. Рабочая жидкость для навесного термостата – умягченная вода.

Нагревательный термостат оснащен навесным центробежным насосом, привод которого осуществляется однофазного двигателя с расщепленными полюсами. Объемная подача регулируется с помощью дросселя расхода.

Прибор оснащен четырехразрядным зеленым жидкокристаллическим дисплеем для индикации рабочей температуры и заданных значений, а также рабочих состояний.

Датчик температуры Pt100 определяет температуру на входе в ванну. Аналогово-цифровой преобразователь с высоким разрешением обрабатывает результат измерения. Дальнейшая обработка результата измерения производится с помощью специального алгоритма регулирования.

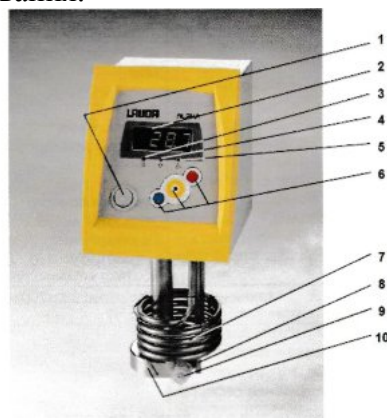


Рисунок 7.7 – навесной термостат Alpha: 1 – сетевой выключатель; 2 – регулятор температуры с четырех разрядным светодиодным указателем; 3 – нагревательное устройство активно (горит желтый светодиод); 4 – устройство охлаждения активно (горит синий светодиод); 5 – сигнал неисправности(мигает красный светодиод); 6 – функции меню, клавиша выбора и ввода; 7 – нагревательный элемент; 8 – датчик температуры Pt100; 9 – отвод насоса с дросселем расхода; 10 – корпус насоса;

Цифровой быстродействующий карманный термометр UNI-TREND модели UT321

Цифровой быстродействующий термометр предназначен для измерения и отображения температуры и используется как температурный датчик К-типа термопар.

Термометр представляет собой микропроцессорное, цифровое устройство.



Рисунок 7.8 – цифровой быстродействующий термометр: 1 – дисплей; 2 – кнопки; 3 – термопара ввода T1; 4 – USB порт; 5 – NTC (компенсация нормальной температуры); 6 – батарейный отсек.

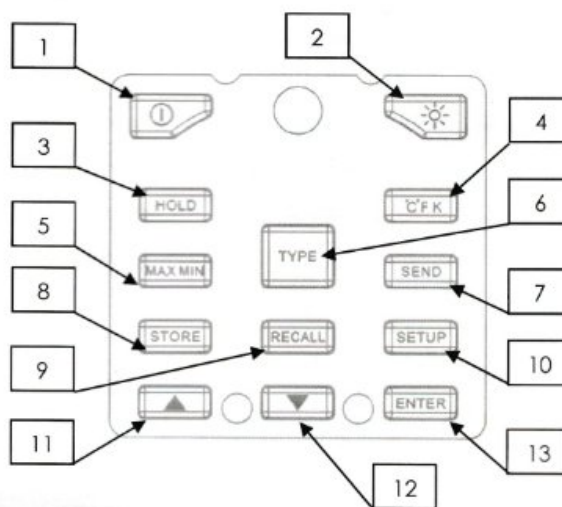


Рисунок 7.9 – описание кнопок на внешней панели прибора: 1 – включение/выключение прибора; 2 – включение/выключение подсветки; 3 – зафиксировать/не фиксировать показания; 4 – переключение единиц температуры в Цельсиях(°C), Фаренгейтах(°F) и Кельвинах (K); 5 – переход к max/min и средним показаниям (нажмите и удерживайте кнопку, чтобы выключить этот дисплей); 6 – переход к K-, J-, T-, E- типам термопары; 7 – для входа в режим USB, значок USB начнет мигать (нажмите еще раз для выхода из USB режима); 8 – запустить/остановить регистрацию; 9 – показать зарегистрированные показания (нажмите еще раз для остановки); 10 – начало или завершение установки (нажмите для прокрутки вариантов установки, которые необходимо изменить); 11 – увеличить отображающиеся настройки; 12 – уменьшить отображающиеся настройки; 13 – подтвердить ранее нажатую кнопку

Порядок измерения температуры

На основании принятого Североамериканского цветового кода ANSI (Американский национальный институт стандартов) каждый тип термопары имеют цветовую маркировку

Тип	Цвет	Тип	Цвет
J	Чёрный	R	Зелёный
K	Жёлтый	S	Зелёный
T	Синий	N	Оранжевый
E	Фиолетовый		

Подключение термопар

- 1.Подключите термопару во входной разъем (рисунок 7.8, позиция 3);
- 2.Нажмите кнопку питания для включения термометра (рисунок 7.9, позиция 1);
- 3.Установите тип термопары, он должен совпадать со штекером в разъеме (рисунок 7.9, позиция 6);

Указания по технике безопасности

При эксплуатации оборудования необходимо соблюдать следующие правила безопасности:

- К обслуживанию оборудования допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности.
- Перед началом эксплуатации оборудования необходимо убедиться, что оборудование находится в выключенном состоянии.
- При обнаружении любых повреждений и неисправностей оборудования, а также при появлении дыма, искрения или специфического запаха перегретой изоляции, немедленно обесточьте оборудование.
- ЗАПРЕЩАЕТСЯ неисправное оборудование.
- ЗАПРЕЩАЕТСЯ использовать изделие и его отдельные компоненты не по назначению.
- ЗАПРЕЩАЕТСЯ вскрывать изделие.
- ЗАПРЕЩАЕТСЯ видоизменять принципиальную схему и общие функции работы изделия.
- После хранения оборудования в холодном помещении или после перевозки в зимних условиях включать его в сеть можно не раньше, чем через 6 часов пребывания при комнатной температуре в распакованном виде.
- Изделие эксплуатировать только в помещении без повышенной опасности по степени поражения электрическим током.
- Во избежание поражения электрическим током и выхода из строя элементов изделия, при работе запрещается использовать внешние источники питания.
- Не устанавливайте оборудование в непосредственной близости от легковоспламеняющихся и распространяющих огонь предметов.
- Не оставляйте оборудование включенным без присмотра.
- Не допускайте попадания жидкости внутрь оборудования.
- Не оставляйте оборудование в режиме ожидания на длительное время (более 12 часов)
- Во избежание поломок оборудования не прикладывайте чрезмерных усилий при манипуляциях с органами управления.

Задания

С помощью комплекта учебно–лабораторного оборудования «Реальные газы и точка фазового перехода» возможно выполнение следующего лабораторного эксперимента:

1. Выполните количественный анализ реального газа и определите его точки фазового перехода.

2. Произведите наблюдение шестифтористой серы, как в жидком, так и в газообразном состоянии;
3. Постройте изотермы на p – V диаграмме и pV – p диаграмме;
4. Произведите наблюдение отличия поведения реальных газов и газов в идеальном состоянии;
5. Определите точки фазового перехода;
6. Постройте кривые давления для насыщенного пара.
7. Рассчитайте погрешность измерений по общим правилам

Содержание отчёта

Отчёт по лабораторной работе должен содержать следующие основные разделы:

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Описание экспериментальной методики.
4. Порядок проведения работы, таблицы результатов прямых и косвенных измерений.
5. Определение погрешности измерения.
6. Выводы.
7. Ответ.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение изотермического процесса
2. В чём заключается отличие реальных газов от идеальных?
3. Что называется точкой фазового перехода?
4. Объясните принцип работы устройства для изучения точки фазового перехода

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература:

1. Трофимова, Т. И. Физика: учебник: для студентов вузов, обучающихся по техн. напр. подготовки / Т.И. Трофимова. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Академия, 2013. - 346 с.: ил. - (Высшее профессиональное образование) (Бакалавриат). - Предм. указ.: с. 330-339. - ISBN 978-5-7695-9820
2. Трофимова, Т. И.; Курс физики с примерами решения задач: В 2-х т.: учебник / Т.И. Трофимова, А.В. Фирсов, Т.2. - М. : Кнорус, 2015. - 378 с. - (Бакалавриат). - Прил.: с. 376-378. - ISBN 978-5-406-04428-5.

Дополнительная литература:

1. Повзнер, А. А. Физика. Базовый курс. Часть 1 [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. А. Повзнер, А. Г. Андреева, К. А. Шумихина. — Электрон. текстовые данные. — Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 168 с. — 978-5-7996-1701-1. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/68406.html>
2. Никеров, В. А. Физика. Современный курс [Электронный ресурс]: учебник / В. А. Никеров. — Электрон. текстовые данные. — М.: Дашков и К, 2016. — 454 с. — 978-5-394-02349-1. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/14114.html>
3. Чертов, А. Г. Задачник по физике : [учеб. пособие для втузов] / А. Г. Чертов, А. А. Воробьев. - 8-е изд., перераб. и доп. - М. :Физматлит, 2007. - 640 с. : ил. - Прил.: с. 623-640. - ISBN 5-94052-098-7

Методическая литература:

1. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Физика»: Часть 1. Механика. Молекулярная физика. – Невинномысск, НТИ СКФУ, 2019. - 80 с.

2. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Физика». – Невинномысск, НТИ СКФУ, 2019. - 141 с.

Интернет – ресурсы:

1. <http://www.iprbookshop.ru> – Электронно-библиотечная система IPRbooks;
2. <http://window.edu.ru> – Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам;
3. <http://catalog.ncfu.ru> – электронные каталоги Ассоциации электронных библиотек учебных заведений и организаций СКФО;
4. <https://openedu.ru> – Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование».

ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ ТАБЛИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Основные и дополнительные единицы СИ

Величина	Наименование	Обозначение
Основные		
Длина	метр	м
Масса	килограмм	кг
Время	секунда	с
Сила электрического тока	ампер	А
Термодинамическая температура	кельвин	К
Сила света	кандела	кд
Количество вещества	моль	моль
Дополнительные		
Плоский угол	радиан	рад
Телесный угол	стерадиан	ср

Множители и приставки для образования десятичных, кратных и дольных единиц и их наименования

Множитель	Приставка		
	Наименование	Обозначение	
		Русское	Международное
10^{18}	экса	Э	E
10^{15}	пета	П	P
10^{12}	тера	Т	T
10^9	гига	Г	G
10^6	мега	М	M
10^3	кило	к	k
10^2	гекто	г	h
10^1	дека	да	da
10^{-1}	деци	д	d
10^{-2}	санتي	с	c
10^{-3}	милли	м	m
10^{-6}	микро	мк	μ
10^{-9}	нано	н	n
10^{-12}	пико	п	p
10^{-15}	фемто	ф	f
10^{-18}	атто	а	a

Основные физические константы

Скорость света в вакууме	$c = 299792458 \text{ м/с}$
Постоянная Авогадро	$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Молярная газовая постоянная	$R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$
Постоянная Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Элементарный заряд	$e = 1,601892 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса покоя электрона	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Удельный заряд электрона	$e/m_e = 1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$
Масса покоя протона	$m_p = 1,007276470 \text{ а.е.м.}$
Масса покоя нейтрона	$m_n = 1,008665012 \text{ а.е.м.}$
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 10^{-9}/36\pi \text{ Ф/м} \gg 8,84 \text{ Ф/м}$
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} \gg 12,57 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$
Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Постоянная смещения Вина	$b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Постоянная Планка	$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Число «пи»	$\pi = 3,14159 \dots$
Основание натуральных логарифмов	$e = 2,71828 \dots$
Связь десятичного и натурального логарифмов	$\ln a \gg 2,3 \lg a; \quad \lg a \gg 0,43 \ln a$

Плотность вещества, кг/м³ (t = 20 °С)

Алюминий	2700	Керосин	820
Бензин	680-720	Глицерин	1284
Никель	8900	Лед при 0°С	917
Латунь (70% Cu, 30% Zn)	8400-8700 8520	Масло касторовое	960
Олово	7300	Золото	19300
Вода при 4 °С	1000	Медь	8930
Воздух при нормальных условиях	1,29	Сталь	7700-7900
Дерево сухое: Береза Дуб Тополь	600-800	Ртуть	13546
	700-1000	Свинец	11342
	300-500		
Железо	7870	Спирт этиловый	789

Греческий алфавит

Печатная буква	Название	Печатная буква	Название
Αα	альфа	Νν	ню
Ββ	бета	Ξξ	кси
Γγ	гамма	Οο	омикрон
Δδ	дельта	Ππ	пи
Εε	эпсилон	Ρρ	ро
Ζζ	дзэта	Σσς	сигма
Ηη	эта	Ττ	тау
Θθ	тэта	Υυ	ипсилон
Ιι	йота	Φφ	фи
Κκ	каппа	Χχ	хи
Λλ	ламбда	Ψψ	пси
Μμ	мю	Ωω	омега

Динамическая вязкость некоторых веществ, Па × с

Вода (0 ⁰ С)	0,001787
(20 ⁰ С)	0,001005
(100 ⁰ С)	0,00028
Воздух (0 ⁰ С)	0,0000181
Глицерин (20 ⁰ С)	1,5
Жир рыбий (20 ⁰ С)	0,046
Кровь (20 ⁰ С)	0,005
Масло касторовое (20 ⁰ С)	0,970
Молоко (20 ⁰ С)	0,0018
Спирт этиловый (0 ⁰ С)	0,001773
(20 ⁰ С)	0,0012

Вязкость водного раствора глицерина, Па × с

t, ⁰ С	60 %	80 %	95 %	100 %
20	0,011	0,062	0,545	1,499
25	0,008	0,045	0,366	0,945
30	0,007	0,034	0,248	0,624

Таблица зависимости от температуры вязкости касторового масла

T, К	283	284	285	286	287	288	289	290
η, Па×с	2,44	2,25	2,05	1,85	1,70	1,55	1,42	1,30

T, К	291	292	293	294	295	296	297
η, Па×с	1,18	1,08	0,987	0,91	0,85	0,78	0,72

Модуль Юнга некоторых веществ (p=0,1 мПа, t=20°C)

Вещество	Модуль Юнга X 10 ¹⁰ Па	Вещество	Модуль Юнга X 10 ¹⁰ Па
Алюминий	7,05	Медь	12,98
Олово	5,43	Никель	20,4
Железо	21,2	Свинец	1,62
Латунь (70% Cu, 30% Zn)	9,7-10,2	Сталь	20,9

*Поверхность натяжения различных жидкостей на границе
«жидкость-воздух» при 20° С, Н/м*

Белок Куриного яйца	0,053	Масло касторовое	0,0364
<i>Бензол</i>	0,03	Молоко	0,042-0,046
Вода при 0° С	0,0756	Раствор мыла	0,04
Вода при 20° С	0,0726	Ртуть	0,05
Бром	0,0442	Скипидар	0,026
Кровь	0,058	Спирт этиловый	0,022

*Максимальная упругость водяного пара
при различных температурах*

°С	Е, мм. рт. ст.	°С	Е, мм. рт. ст.	°С	Е, мм. рт. ст.
0	4,6	13	11,2	26	25,2
1	4,9	14	12,0	27	26,7
2	5,3	15	12,8	28	28,4
3	5,7	16	13,6	29	30,0
4	6,1	17	14,5	30	31,8
5	6,5	18	15,5	31	33,7
6	7,0	19	16,5	32	35,7
7	7,5	20	17,5	33	37,7
8	8,0	21	18,6	34	39,9
9	8,6	22	19,8	35	42,2
10	9,2	23	21,1	36	44,6
11	9,8	24	22,4	37	47,1
12	10,5	25	23,8	38	49,7

ГЛОССАРИЙ

Абсолютно твердое тело – система материальных точек, расстояние между которыми не изменяются в данной задаче. Абсолютно твердое тело обладает только поступательными и вращательными степенями свободы.

Абсолютный показатель преломления света – отношение скорости света в вакууме к фазовой скорости света в данной среде. Абсолютный показатель преломления света показывает во сколько раз скорость света в вакууме больше скорости света в данной среде.

Вес тела – сила, с которой тело, находящееся в силовом (гравитационном) поле, действует на горизонтальную опору или растягивает вертикальный подвес. Значит, вес приложен к опоре, к подвесу, но не к телу.

Видимое излучение – электромагнитное излучение, вызывающее зрительное ощущение и занимающее участок спектра от 380 до 780 нм. Световые излучения различных частот воспринимаются человеком как разные цвета.

Волновая оптика – раздел оптики, изучающий явления, в которых проявляется волновые свойства света.

Геометрическая оптика – раздел оптики, в котором изучаются законы распространения света в прозрачных средах, основанные на представлении о световых лучах. Основными законами геометрической оптики являются: - закон прямолинейного распространения света; - закон независимых световых пучков; - закон отражения; - закон преломления.

Двойное лучепреломление – раздвоение светового луча при прохождении через оптически анизотропную среду, возникающее вследствие зависимости показателя преломления света от его поляризации. В одноосном двоякопреломляющем кристалле, например, в кристалле исландского шпата, падающий луч света расщепляется на два луча, обыкновенный и необыкновенный, имеющие разные показатели преломления и поляризованные в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Дифракция света – отклонение от законов геометрической оптики, выражающееся в огибании светом малых препятствий. Дифракция наблюдается при распространении света в среде с резко выраженными неоднородностями.

Диэлектрик – вещество, обладающее низкой удельной электрической проводимостью. Идеальный диэлектрик вообще не проводит ток, его проводимость равна нулю. К диэлектрикам относятся пьезоэлектрики, сегнетоэлектрики, электреты и др.

Закон отражения света – закон, определяющий взаимное расположение при зеркальном отражении падающего и отраженного лучей, а также перпендикуляра, восстановленного к границе раздела двух сред в точке падения: -1- оба луча и перпендикуляр лежат в одной плоскости; -2- угол падения равен углу отражения.

Закон сохранения момента импульса – физический закон, в соответствии с которым момент импульса замкнутой системы относительно любой неподвижной точки не изменяется со временем. Закон сохранения момента импульса есть проявление изотропности пространства.

Замкнутая система в механике это совокупность физических тел, у которых взаимодействия с внешними телами отсутствуют или скомпенсированы.

Зонная теория твердого тела – квантовая теория энергетического спектра электронов в кристалле. Согласно зонной теории этот спектр состоит из чередующихся зон (полос) разрешенных и запрещенных энергий. Зонная теория хорошо объясняет ряд явлений, в частности разный механизм электропроводности металлов, диэлектриков и полупроводников.

Импульс – произведение массы (точечного) тела на скорость в конкретной системе отсчета. Импульс механической системы равен векторной сумме импульсов всех частей системы. В системе СИ единицей импульса является килограмм-метр в секунду.

Индуктивность – физическая величина, характеризующая связь между скоростью изменения тока в проводнике (катушке) и возникающей при этом ЭДС самоиндукции. Индуктивность проводника (катушки) зависит от его размеров и формы, числа витков, а также от материала магнитопровода. Единицей индуктивности в СИ является 1 Генри.

Инертность – свойство материальных объектов приобретать разные ускорения при одинаковых внешних воздействиях со стороны других тел. Мерой инертности тела в поступательном движении является его масса, а при вращательном движении – момент инерции.

Инерция – явление сохранения скорости прямолинейного равномерного движения или состояния покоя при компенсации внешних воздействий. Инерция присуща всем материальным объектам в одинаковой степени. Движение по инерции – движение тела, происходящее без внешних воздействий.

Интерференция света – оптическое явление, возникающее при сложении двух или нескольких когерентных световых волн, линейно поляризованных в одной плоскости. Интерференция представляет собой устойчивую во времени картину усиления или ослабления результирующих световых колебаний в различных точках пространства.

Источник света – излучатель электромагнитной энергии в видимой части спектра. Источники света подразделяются на естественные (Солнце, Луна и т. д.) и искусственные (лампы накаливания, газоразрядные лампы и др.).

Источник тока – источник электрической энергии, в котором действуют сторонние силы, разделяющие электрические заряды. Источник тока характеризуется электродвижущей силой и внутренним сопротивлением. Источниками тока являются гальванические элементы, аккумуляторы, машины постоянного тока и др.

Квантовая оптика – раздел оптики, изучающий явления, в который обнаруживаются квантовые свойства электромагнитного излучения (света). Это тепловое излучение, фотоэффект, эффект Комптона и др.

Кинетическая энергия – энергия механической системы, зависящая от скоростей ее точек. Если тело массы m движется со скоростью v , то его кинетическая энергия равна $mv^2/2$.

Колебания – это периодически повторяющиеся движения. Колебания, описываемые законом синуса $x = A \sin(\omega t + \varphi)$ или косинуса $x = A \cos(\omega t + \varphi)$, называются гармоническими. Величина, стоящая под знаком гармонической функции $(\omega t + \varphi)$, называется фазой; ω называется круговой (или циклической) частотой; φ – начальной фазой. Колебания разной природы описываются математически совершенно одинаково.

Лазеры (от от первых букв англ. фразы Light amplification by stimulated emission of radiation) – квантовые генераторы света, принцип действия которых основан на явлении вынужденного (стимулированного) излучения. Излучение лазеров поляризовано, обладает монохроматичностью, большой мощностью в узком спектральном диапазоне и малой расходимостью светового пучка. Находят широкое применение в технике и экспериментальной физике.

Магнитное поле – одна из сторон единого электромагнитного поля. Магнитное поле создается движущимися зарядами (током проводимости) и переменным электрическим полем (током смещения). Действует магнитное поле только на движущиеся заряды.

Масса – мера инертных и гравитационных свойств тела. Масса не зависит от скорости. Измеряется в [кг].

Математический маятник – механическая колебательная система, состоящая из материальной точки, подвешенной на тонкой, невесомой и нерастяжимой нити или на невесомом стержне в поле сил тяжести. Период малых колебаний математического маятника не зависит от амплитуды и определяется по формуле: $T = 2\pi\sqrt{l/g}$.

Материальной точкой называется тело, размеры и форма которого в данной задаче не существенны. Материальную точку часто называют телом.

Момент инерции – скалярная величина, характеризующая распределение масс в теле, и являющаяся мерой инертности тела при вращательном движении. Момент инерции тела относительно заданной оси вращения равен сумме произведений элементарных масс всех малых частей (материальных точек) тела на квадраты их расстояний до рассматриваемой оси $I = \sum m_i \cdot r_i^2$.

Неинерциальная система отсчета – система отсчета, в которой не выполняется первый закон Ньютона. Неинерциальная система отсчета движется с ускорением относительно некоторой инерциальной системы отсчета. Важным классом неинерциальных систем являются вращающиеся системы отсчета.

Нормальное ускорение – составляющая ускорения, направленная вдоль нормали к траектории движения в данной точке. Нормальное ускорение характеризует изменение скорости по направлению $a_n = \frac{v^2}{r}$.

Оптика – раздел физики, в котором изучаются закономерности оптических явлений, природа света и его взаимодействия с веществом.

Полупроводниками называется класс веществ, занимающих по своей способности проводить электрический ток промежуточное положение между металлами и диэлектриками. С точки зрения зонной теории твердого тела вещество относится к полупроводникам, если ширина запрещенной зоны, отделяющей валентную зону от зоны проводимости, меньше 2 эВ.

Поляризатор – прибор, предназначенный для получения полностью или частично поляризованного света. Поляризатор можно использовать в качестве анализатора поляризованного излучения.

Поляризация света – ориентация векторов напряженности электрического поля и магнитной индукции световой волны в плоскости, перпендикулярной световому лучу. Обычно поляризация возникает при отражении и преломлении света, а также при распространении света в анизотропной среде. Различают линейную, круговую и эллиптическую поляризацию света.

Постоянным называется электрический ток, не меняющийся с течением времени. В случае постоянного тока при определении силы тока $I = \Delta q / \Delta t$ можно брать любой промежуток времени Δt .

Потенциал электростатического поля ϕ – энергетическая характеристика поля. Определяется как величина, измеряемая работой сил поля по переносу единичного положительного заряда из данной точки в другую, фиксированную точку. В качестве фиксированной часто берут бесконечно удаленную точку. Другими словами, потенциал электростатического поля равен потенциальной энергии единичного положительного заряда, помещенного в эту точку. Единица потенциала в СИ 1 Вольт.

Потенциальная энергия – часть механической энергии тела, зависящая от взаимного расположения ее частей и от их положений во внешнем силовом поле. Численно потенциальная энергия системы в данном состоянии равна работе, которую произведут действующие на систему силы при переходе системы из этого положения в то, где потенциальная энергия условно принимается равной нулю.

Преломление света – явление, заключающееся в изменении направления распространения световой волны при переходе из одной среды в другую, отличающуюся показателем преломления света.

Проводниками называются вещества, содержащие в достаточной концентрации свободные заряды. К проводникам относятся металлы, ионизированные газы, водные растворы электролитов и расплавы солей. В электрическом поле свободные заряды перераспределяются так, что напряженность электрического поля внутри проводника оказывается равна нулю, а потенциал проводника всюду одинаков.

Работа в механике есть мера изменения полной механической энергии систем. Элементарная работа определяется как скалярное произведение *силы* на элементарное *перемещение* $A=F \cdot S$. Измеряется в [Дж].

Равномерное вращательное движение – движение, при котором углы поворота материальной точки за любые равные промежутки времени одинаковы.

Равномерное движение – движение, при котором за любые равные промежутки времени материальная точка проходит одинаковые пути.

Равномерное прямолинейное движение – то же самое, что и Равномерное движение, если траектория тела – прямая линия.

Самоиндукция – явление возникновения электродвижущей силы в проводнике (катушке) при изменении протекающего в ней электрического тока. Величина и знак ЭДС самоиндукции определяются законом электромагнитной индукции.

Сила – мера механического действия на материальную точку или тело других тел или полей. Сила вызывает изменение скорости тела или его деформацию. В механике различают силы, возникающие при непосредственном контакте тел или на расстоянии посредством создаваемых телами полей. Можно показать, что на микроскопическом уровне все силы (например, сила упругости) обусловлены полями. Сила - векторная величина, поэтому в каждый момент времени она характеризуется числовым значением, направлением и точкой приложения. В механике природа сил не рассматривается. Единица силы в СИ – 1 Ньютон.

Силы инерции – фиктивные силы, которые вводятся в неинерциальных системах отсчета, чтобы второй закон Ньютона можно было распространить на неинерциальные системы отсчета. Например, во вращающихся системах отсчета появляются центробежная сила и сила Кориолиса.

Система отсчета – тело отсчета, система координат, связанная с телом отсчета, и часы (прибор для измерения времени движения с указанием на начало его отсчета). Система отсчета используется для определения положения в пространстве физических объектов в различные моменты времени. Различают инерциальные и неинерциальные системы отсчета.

Тело отсчета – тело, относительно которого рассматривается движение всех остальных тел.

Точечный электрический заряд – заряженное тело, размерами которого можно пренебречь в условиях конкретной задачи.

Трансформатором называется устройство для преобразования переменного тока и напряжения. Принцип действия основан на законе электромагнитной индукции.

Физический маятник – абсолютно твердое тело, имеющее ось вращения. В поле тяготения физический маятник может совершать колебания около положения равновесия, при этом массу системы нельзя считать сосредоточенной в одной точке. Период колебаний физического маятника зависит от момента инерции тела и от расстояния от оси вращения до центра масс.

Центр масс – точка тела (или системы тел), которая движется так, как если бы в ней была сосредоточена вся масса тела (системы) и если бы к ней были приложены все внешние силы, действующие на систему. Другое название этой точки – центр инерции. Система отсчета, связанная с центром масс, называется Ц-системой или системой центра масс. В такой системе удобно решать задачи, если нас не интересует движение системы в целом, а только относительное движение ее частиц.

Электрический заряд – физическая величина, характеризующая свойство тел или частиц вступать в *электромагнитное взаимодействие* и определяющая значения сил и энергий при таких взаимодействиях. Электрическим зарядам приписывают положительный или отрицательный знак. Единица заряда в системе СИ – 1 Кл (кулон).

Электрический ток – это направленное (упорядоченное) движение *электрических зарядов*. Различают ток проводимости (движение заряженных микрочастиц движутся внутри макроскопического тела), конвекционный ток (движение заряженных макроскопических тел

или частиц, например, частиц пыли) и ток в вакууме (пучки электронов или ионов в вакууме).

Электродвижущая сила – характеристика источника энергии в электрической цепи. Электродвижущая сила измеряется отношением работы *сторонних сил* по перемещению заряда вдоль цепи к значению этого заряда. Можно сказать, что ЭДС есть удельная работа сторонних сил. ЭДС, как и *потенциал*, измеряется в вольтах $\varepsilon = A \cdot stq$.

Электрон – мельчайшая отрицательно заряженная частица, входящая в состав атомов.

Электростатика – раздел *электродинамики*, изучающий поле неподвижных зарядов и их взаимодействие. Основу электростатики составляет *закон Кулона*.

Элементарный электрический заряд – наименьший положительный или отрицательный электрический заряд, равный по абсолютному значению заряду электрона. Заряд любого тела или частицы есть величина, кратная элементарному заряду. Частицы с дробным зарядом в свободном состоянии не наблюдаются.

Энергия – скалярная физическая величина, являющаяся общей мерой различных форм движения материи и мерой перехода движения материи из одних форм в другие. Основные виды энергии: механическая, внутренняя, электромагнитная, химическая, гравитационная, ядерная. Одни виды энергии могут превращаться в другие в строго определенных количествах.

Энергия, запасенная в *магнитном поле* катушки, равна $W = LI^2/2$, где I – сила тока, L – *индуктивность* катушки (ср. с формулой кинетической энергии!).

Энергия, запасенная в электрическом поле *конденсатора*, равна $W = CU^2/2$, где U – напряжение на конденсаторе, C – *емкость* конденсатора.

Явление сверхпроводимости открыл голландский физик Камерлинг-Оннес (1911): сопротивление ртути при температуре, близкой к абсолютному нулю, скачком уменьшалось до нуля. В дальнейшем сверхпроводимость была обнаружена и у других металлов и сплавов (свинец, олово, железо и др.). Сверхпроводимость, как и электрическое сопротивление, объясняется взаимодействием коллективизированных электронов металла с кристаллической решеткой. В 1986 году обнаружена высокотемпературная сверхпроводимость, теория которой находится в стадии разработки.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ

по дисциплине Физика

Направление подготовки/специальность	09.03.02 Информационные системы и технологии
Направленность (профиль)/специализация	Информационные системы управления технологическими и сервисными процессами
Год начала обучения	2026
Форма обучения	заочна
Реализуется в семестре	1

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 09.03.02 Информационные системы и технологии и других технических специальностей. Они содержат рекомендации по организации самостоятельных работ студента для дисциплины «Физика».

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями ФГОС ВО в части содержания и уровня подготовки выпускников направления 09.03.02 Информационные системы и технологии

Содержание

Введение.....	4
1. Цели и задачи самостоятельной работы студентов	5
2. Перечень планируемых к освоению компетенций и результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	6
3. Знания, умения, навыки и опыт деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций.....	6
4. Базовая самостоятельная работа студентов (изучение лекционного материала).....	7
5. Базовая самостоятельная работа студентов (изучение практического (лабораторного) материала).....	10
6. Базовая самостоятельная работа студентов (подготовка к контролю).....	13
6.1. Вопросы для самостоятельного изучения.....	13
7. Методические рекомендации по подготовке к лекционным занятиям.....	20
8. Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям....	21
9. Методические указания по решению тестовых заданий.....	21
10. Список литературы.....	23

Введение

Настоящее пособие разработано на основе:

- ~ Федерального закона от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»;
- ~ Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (далее ФГОС ВО);
- ~ нормативно-методических документов Минобрнауки России;
- ~ Устава ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»;
- ~ Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утв. Минобрнауки РФ от 5 апреля 2017 г. № 301);
- ~ локальных нормативных актов ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет».

На современном рынке труда конкурентоспособным может стать только квалифицированный работник соответствующего уровня и профиля, компетентный, свободно владеющий своей профессией и ориентированный в смежных областях деятельности, способный к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов и готовый к постоянному профессиональному росту. Самостоятельная работа является неотъемлемой частью обучения студента и направлена на достижение подготовки специалистов-профессионалов, активное включение обучаемых в сознательное освоение содержания образования, обеспечение мотивации, творческое овладение основными способами будущей профессиональной деятельности.

Данная методическая разработка содержит рекомендации по организации, управлению и обеспечению эффективности самостоятельной работы студентов в процессе обучения в целях формирования необходимых компетенций.

Самостоятельная работа студентов является обязательным компонентом учебного процесса для каждого студента и определяется учебным планом. Виды самостоятельной работы студентов определяются при разработке рабочих программ и учебных методических комплексов дисциплин содержанием учебной дисциплины.

Самостоятельная работа определяется как индивидуальная или коллективная учебная деятельность, осуществляемая без непосредственного руководства педагога, но по его заданиям и под его контролем.

Самостоятельная работа – это познавательная учебная деятельность, когда последовательность мышления студента, его умственных и практических

операций и действий зависит и определяется самим студентом. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня, что в итоге приводит к развитию навыка самостоятельного планирования и реализации деятельности.

1. Цели и задачи самостоятельной работы студентов

Целью самостоятельной работы студентов по дисциплине Физика является формирование набора общепрофессиональных и универсальных компетенций будущего бакалавра по направлению подготовки 09.03.02 Информационные системы и технологии, опыта творческой и исследовательской деятельности, путем освоения возможностей:

- демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин и использовать основные закономерности, действующие в процессе изготовления продукции требуемого качества в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;

- выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и способностью привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат.

Задачами самостоятельной работы студентов по дисциплине Физика являются:

- обучение студентов основным физическим методам, необходимым для глубокого изучения общенаучных, инженерных, технических и специальных дисциплин;

- развитие логического и алгоритмического мышления общего уровня физико-математической культуры;

- выработка навыков физико-математического исследования прикладных вопросов, применения соответствующего физико-математического аппарата, методов анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач;

- обучение студентов методам обработки и анализа результатов численных и физических экспериментов, поиску, критическому анализу и синтезу информации, применению системного подхода для решения поставленных задач.

2. Перечень планируемых к освоению компетенций и результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код	Формулировка:
ОПК-1	способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности
УК-1	способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач

На основании компетентного подхода к реализации профессиональных образовательных программ, видами заданий для самостоятельной работы являются:

- *для овладения знаниями*: чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы), составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста, работа со словарями и справочниками, ознакомление с нормативными документами, учебно-исследовательская работа, использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники и информационно-телекоммуникационной сети Интернет и др.

- *для закрепления и систематизации знаний*: работа с конспектом лекции, обработка текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио и видеозаписей), повторная работа над учебным материалом, составление плана, составление таблиц для систематизации учебного материала, ответ на контрольные вопросы, заполнение рабочей тетради, аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, конспект-анализ и др.), завершение аудиторных практических работ и оформление отчётов по ним, подготовка мультимедиа сообщений/докладов к выступлению на семинаре (конференции), материалов-презентаций, подготовка реферата, составление библиографии, тематических кроссвордов, тестирование и др.

- *для формирования умений*: решение задач и упражнений по образцу, решение вариативных задач, выполнение чертежей, схем, выполнение расчетов (графических работ), решение ситуационных (профессиональных) задач, подготовка к деловым играм, проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности, рефлексивный анализ профессиональных умений с использованием аудио- и видеотехники и др.

3. Знания, умения, навыки и опыт деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций

Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций	Формируемые компетенции
Знать: основные законы физики, методы экспериментального исследования. Применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности	ОПК-1
Знать: основные физические законы и принципы, которые лежат в основе различных теоретических и экспериментальных исследований. Осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач сущность разнообразных природных процессов и явлений.	УК-1
Уметь: применять на практике основные законы физики для использования в разных видах профессиональной деятельности, для обработки результатов физического эксперимента	ОПК-1
Уметь: использовать основные формулы теории погрешностей для обработки результатов эксперимента.	УК-1
Владеть: навыками работы с формулами теории погрешностей для обработки результатов эксперимента; навыками, системным подходом для решения поставленных задач	ОПК-1
Владеть: навыками системного подхода для решения поставленных задач; методами, позволяющими осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации в методах решения технических задач.	УК-1

4. Базовая самостоятельная работа студентов (изучение лекционного материала)

При изучении дисциплины Физика практикуются разные виды и формы самостоятельной работы студентов.

Для индивидуализации образовательного процесса СРС можно разделить на базовую и дополнительную.

Базовая СРС обеспечивает подготовку студента к текущим аудиторным занятиям и контрольным мероприятиям. Результаты этой подготовки проявляются в активности студента на занятиях, лекциях дискуссиях, сделанных докладов и других форм текущего контроля.

Базовая СРС по дисциплине Физика включает изучение лекционного материала, предусматривающее проработку конспекта лекций и учебной литературы, в соответствии с рабочей программой дисциплины.

№	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание
1 семестр	
1	Механика. Механическое движение. Структура механики. Система отчета. Виды движения. Траектория, длина пути, вектор перемещения. Второй закон Ньютона, третий закон Ньютона. Закон сохранения импульса. Принцип относительности Галилея.
2	Механика. Основы кинематики. Энергия, работа, мощность. Кинетическая и потенциальная энергия. Закон сохранения и превращения механической энергии. Основы динамики вращательного движения.
3	Колебания и волны. Колебания и их основные характеристики. Механические и гармонические колебания. Маятники. Вынужденные колебания. Свободные затухающие колебания. Волновой процесс. Продольные и поперечные волны. Уравнение плоской и сферической волн. Волновое уравнение для электромагнитного поля. Свойства электромагнитных волн.
4	Молекулярная физика и основы термодинамики. <i>Основы молекулярно-кинетической теории идеальных газов.</i> Основные понятия молекулярно-кинетической теории. Законы идеального газа. Основное уравнение молекулярно – кинетической теории. Закон Максвелла. Распределение Больцмана.
5	Молекулярная физика и основы термодинамики. Первое начало термодинамики. Основные понятия. Внутренняя энергия. Закон о равномерном распределении энергии по степеням свободы. Теплоемкость. Уравнение Майера. Применение первого начала термодинамики к изопроцессам. Адиабатный процесс.
6	Молекулярная физика и основы термодинамики. Молекулярная физика и термодинамика. Второе начало термодинамики. Круговой процесс. (цикл). Энтропия и её статистический смысл. Цикл Карно.

5. Базовая самостоятельная работа студентов (изучение практического материала по лабораторным работам)

Базовая СРС также включает:

- ~ выполнение домашнего задания или домашней контрольной работы, выдаваемых на практических занятиях;
- ~ подготовку к практическим занятиям;
- ~ решение типовых задач.

Самостоятельная работа проводится в виде упражнений при изучении нового материала, упражнений в процессе закрепления и повторения, а также для самоконтроля.

Наименование тем лабораторных работ
1 семестр
Лабораторная работа №1. Методика обработки измерения.
Лабораторная работа №2. Определение плотности вещества твердого тела.
Лабораторная работа №3 Изучение движения тела по наклонной плоскости.
Лабораторная работа №4. Определение скорости пули при помощи баллистического маятника.
Лабораторная работа №5. Изучение свободных затухающих колебаний пружинного маятника
Лабораторная работа №6. Изучение вращательного движения тела.

6. Базовая самостоятельная работа студентов (подготовка к контролю)

Базовая СРС также включает:

- ~ выполнение домашнего задания или домашней контрольной работы, выдаваемых на практических занятиях;
- ~ подготовка к контрольной точке;
- ~ подготовка к тесту;

~
подготовка к экзамену, различным видам аттестации.

Виды заданий для внеаудиторной самостоятельной работы, их содержание и характер могут иметь вариативный и дифференцированный характер, учитывать специфику изучаемой учебной дисциплины, индивидуальные особенности обучающегося.

Контроль внеаудиторной самостоятельной работы и оценка ее результатов организуется как единство двух форм:

1. Самоконтроль и самооценка обучающегося;
2. Контроль и оценка со стороны преподавателя.

6.1. Вопросы для самостоятельного изучения по дисциплине «Физика» 1 Семестр

Тема 1. Механика

Лабораторная работа 1. Методика обработки измерений.

1. Предмет и значение дисциплины физики. Методы физического исследования: опыт, гипотеза, эксперимент, теория. Осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
2. Связь физики с другими науками и техникой. Общая структура и задачи курса физики.
3. Физическое явление.
4. Основные единицы измерения и системы единиц.
5. Погрешности измерений, систематические и случайные ошибки; источники погрешностей измерений.
6. Физический закон.
7. Что представляет собой физическая модель реального объекта или явления.
8. Классификация физических задач.

Тема 2. Основы кинематики.

Лабораторная работа № 2. Определение плотности вещества твердого тела

1. Механика и ее разделы. Осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
2. *Механическое движение и его виды.*
3. Уравнение движения точки.
4. Скалярное поле. Векторное поле.
5. Перемещение, путь, скорость и ускорение точки.
6. Охарактеризуйте понятия: мгновенные значения скорости, ускорения
7. Угловая скорость и угловое ускорение тела.

8. Криволинейное движение точки. Перемещение, путь, скорость и ускорение точки при криволинейном движении.
9. Нормальное и тангенциальное ускорения точки.
10. Поступательное движение твердого тела.
11. Вращение твердого тела вокруг неподвижной оси. Понятие о плоском движении твердого тела.

Тема 3. Колебания и волны.

Лабораторная работа № 3. Изучение свободных затухающих колебаний пружинного маятника

1. Колебания и их основные характеристики.
2. Механические и гармонические колебания.
3. Маятники. Осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
4. Вынужденные колебания.
5. Свободные затухающие колебания.
6. Волновой процесс. Продольные и поперечные волны.
7. Уравнение плоской и сферической волн.
8. Волновое уравнение для электромагнитного поля.

Свойства электромагнитных волн.

Тема 4. Основы молекулярно-кинетической теории идеальных газов.

Лабораторная работа №4. Определение отношения удельной теплоемкости газа методом адиабатического расширения.

1. Динамические и статистические закономерности.
2. Параметры состояния газа.
3. Опытные законы идеального газа.
4. Статистический метод. Применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности
5. Термодинамический метод.
6. Параметры состояния газа.
7. Уравнение Менделеева - Клапейрона.
8. Опытные законы идеального газа.
9. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеальных газов.

Тема 5. Первое начало термодинамики

Лабораторная работа №5. Определение коэффициента поверхностного натяжения жидкости по методу отрывания кольца.

1. Закон Максвелла о распределении молекул идеального газа по скоростям и энергии теплового движения.
2. Распределение Больцмана. Применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности
3. Распределение Гиббса.
4. Броуновское движение.
5. Явления переноса в термодинамических неравновесных системах.
6. Диффузия, теплопроводность, вязкость.
7. Теплоемкость. Работа при различных изопроцессах.
8. Адиабатический процесс. Политропный процесс.
9. Круговой процесс.
10. Обратимые и необратимые тепловые процессы.
11. Статистические распределения.
12. Вероятность и флуктуации.

Тема 6. Молекулярная физика и термодинамика.

Лабораторная работа 6. Увеличение внутренней энергии за счет механической работы

1. Термодинамические функции.
2. Внутренняя энергия, работа и количество теплоты.
3. Первое начало термодинамики.
4. Теплоемкость. Применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности.
5. Работа при различных изопроцессах.
6. Адиабатический процесс.
7. Политропный процесс. Круговой процесс.
8. Обратимые и необратимые тепловые процессы.

Планируемые результаты грамотно организованной СРС предполагают:

- ~ усвоение знаний, формирование профессиональных умений, навыков и компетенций будущего специалиста;
- ~ закрепление знания теоретического материала практическим путем; воспитание потребности в самообразовании;
- ~ максимальное развитие познавательных и творческих способностей личности;
- ~ побуждение к научно-исследовательской работе;
- ~ повышение качества и интенсификации образовательного процесса;

формирование интереса к избранной профессии и овладению ее особенностями;

- ~ осуществление дифференцированного подхода в обучении.

~
применение полученных знаний и практических навыков для анализа ситуации и выработки правильного решения, для формирования собственной позиции, теории, модели.

1. Методические рекомендации по подготовке к лекционным занятиям

Главное в период подготовки к лекционным занятиям – научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения. Четкое планирование своего рабочего времени и отдыха является необходимым условием для успешной самостоятельной работы. В основу его нужно положить рабочие программы изучаемых в семестре дисциплин.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на завтрашний день. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

Слушание и запись лекций – сложный вид вузовской аудиторной работы. Внимательное слушание и конспектирование лекций предполагает интенсивную умственную деятельность студента. Краткие записи лекций, их конспектирование помогает усвоить учебный материал. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное, основное и сделано это самим студентом. Не надо стремиться записать дословно всю лекцию. Такое «конспектирование» приносит больше вреда, чем пользы. Запись лекций рекомендуется вести по возможности собственными формулировками. Желательно запись осуществлять на одной странице, а следующую оставлять для проработки учебного материала самостоятельно в домашних условиях.

Конспект лекций лучше подразделять на пункты, параграфы, соблюдая красную строку. Этому в большой степени будут способствовать пункты плана лекции, предложенные преподавателями. Принципиальные места, определения, формулы и другое следует сопровождать замечаниями «важно», «особо важно», «хорошо запомнить» и т.п. Можно делать это и с помощью разноцветных маркеров или ручек. Лучше если они будут собственными, чтобы не приходилось просить их у однокурсников и тем самым не отвлекать их во время лекции. Целесообразно разработать собственную «маркографию» (значки, символы), сокращения слов. Не лишним будет и изучение основ стенографии. Работая над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть знаниями.

2. Методические рекомендации по подготовке к практическим (лабораторным) занятиям

Практическое занятие – один из самых эффективных видов учебных занятий, на которых студенты учатся творчески работать, аргументировать и отстаивать свою позицию, правильно и доходчиво излагать свои мысли перед аудиторией. Основное в подготовке и проведении практических занятий – это самостоятельная работа студента над изучением темы. Студент обязан точно знать план занятия либо конкретное задание к нему. На занятии обсуждаются узловые вопросы темы, однако там могут быть и такие, которые не были предметом рассмотрения на лекции. Могут быть и специальные задания к той или иной теме.

Готовиться к практическому занятию следует заранее. Необходимо внимательно ознакомиться с планом и другими материалами, уяснить вопросы, выносимые на обсуждение. Затем нужно подобрать литературу и другой необходимый, в т.ч. рекомендованный, материал (через библиотеку, учебно-методический кабинет кафедры и др.). Но прежде всего, следует обратиться к своим конспектам лекций и соответствующему разделу учебника. Изучение всех источников должно идти под углом зрения поиска ответов на выносимые на практико-ориентированные занятия вопросы.

Завершающий этап подготовки к занятиям состоит в выполнении индивидуальных заданий.

В случае пропуска занятия студент обязан подготовить материал и отчитаться по нему перед преподавателем в обусловленное время. Может быть предложено отдельным бакалаврам, ввиду их слабой подготовки, более глубоко освоить материал и прийти на индивидуальное собеседование.

Студент не допускается к экзамену или зачету, если у него есть задолженность по практическим занятиям.

3. Методические указания по решению тестовых заданий

Каждый обучающийся выполняет тесты, что является важной составной частью учебного процесса.

В современном образовательном процессе тестирование как новая форма оценки знаний занимает важное место и требует серьезного к себе отношения. Цель тестирований, в ходе учебного процесса обучающихся, состоит не только в систематическом контроле за знанием точных явлений, но и в развитии умения обучающихся выделять, анализировать и обобщать наиболее существенные связи, признаки и принципы разных юридически значимых явлений и процессов. Одновременно тесты способствуют развитию творческого мышления, умению самостоятельно локализовать и соотносить юридически значимые явления и процессы во времени и пространстве.

Как и любая другая форма подготовки к контролю знаний, тестирование имеет ряд особенностей, знание которых помогает успешно выполнить тест. Можно дать следующие методические указания.

Прежде всего, следует внимательно изучить структуру теста, оценить объем времени, выделяемого на данный тест, увидеть, какого типа задания в нем содержатся. Это поможет настроиться на работу.

Лучше начинать отвечать на те вопросы, в правильности решения которых нет сомнений, пока не останавливаясь на тех, которые могут вызвать долгие раздумья. Это позволит успокоиться и сосредоточиться на выполнении более трудных вопросов.

Очень важно всегда внимательно читать задания до конца, не пытаясь понять условия «по первым словам» или выполнив подобные задания в предыдущих тестированиях. Такая спешка нередко приводит к досадным ошибкам в самых легких вопросах.

Если Вы не знаете ответа на вопрос или не уверены в правильности, следует пропустить его и отметить, чтобы потом к нему вернуться.

Психологи также советуют думать только о текущем задании. Как правило, задания в тестах не связаны друг с другом непосредственно, поэтому необходимо концентрироваться на данном вопросе и находить решения, подходящие именно к нему. Кроме того, выполнение этого указания даст еще один психологический эффект – позволит забыть о неудаче в ответе на предыдущий вопрос, если таковая имела место.

Многие задания можно быстрее решить, если не искать сразу правильный вариант ответа, а последовательно исключать те, которые явно не подходят. Метод исключения позволяет в итоге сконцентрировать внимание на одном-двух вероятных вариантах.

Рассчитывать выполнение заданий нужно всегда так, чтобы осталось время на проверку и доработку (примерно 1/3-1/4 запланированного времени). Тогда вероятность описок сводится к нулю и имеется время, чтобы набрать максимум баллов на легких заданиях и сосредоточиться на решении более трудных, которые вначале пришлось пропустить.

Процесс угадывания правильных ответов желательно свести к минимуму, так как это чревато тем, что обучающийся забудет о главном: умении использовать имеющиеся накопленные в учебном процессе знания, и будет надеяться на удачу. Если уверенности в правильности ответа нет, но интуитивно появляется предпочтение, то рекомендуется доверять интуиции, которая считается проявлением глубинных знаний и опыта, находящихся на уровне подсознания.

При подготовке к тесту не следует просто заучивать, необходимо понять логику изложенного материала. Этому немало способствует составление развернутого плана, таблиц, схем. Большую помощь оказывают опубликованные сборники тестов, Интернет-тренажеры, позволяющие, во-первых, закрепить знания, во-вторых, приобрести соответствующие навыки саморегуляции и самоконтроля. Именно такие навыки не только повышают

эффективность подготовки, позволяют более успешно вести себя во время экзамена, но и вообще способствуют развитию навыков мыслительной работы.

Выполнение тестов способствует углубленному усвоению материала, показывает способности обучающихся к самостоятельной работе над литературой, помогает выработке навыков обобщения материалов практики и правильного применения норм права в практической деятельности.

Тесты должны способствовать углубленному постижению материала.

Выполнение тестов должно помочь внимательному ознакомлению с программой курса, обязательному прочтению учебного материала и усвоению основных понятий.

Выполнению тестов должно предшествовать глубокое изучение всей рекомендованной к теме литературы, законодательства и судебной практики.

При изучении рекомендованной литературы и источников, добытых путем самостоятельной поисковой работы, необходимо делать выписки по каждому вопросу для того, чтобы можно было их использовать при решении теста.

После изучения литературы и ее осмысления можно приступить к решению тестов.

4. Список литературы

1. ГОСТ 7.32–2001. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления. – Введ. 2002-06-30. – М.: Стандартинформ, 2008. – 20 с.

2. ГОСТ 7.82–2001. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов. Общие требования и правила составления. – Введ. 2002–06–30. – Москва: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2001. – 27 с.

3. ГОСТ 7.1–2003. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. – Введ. 2004-07-01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2004. – 48 с.

4. ГОСТ 7.88–2003. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Правила сокращения заглавий и слов в заглавиях публикаций. – Введ. 2005-05-01. - М.: Стандартинформ, 2006. – 8 с.

5. ГОСТ 7.89–2005. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Оригиналы текстовые авторские и издательские. Общие требования. – Введ. 2006-06-30. - М.: Стандартинформ, 2006. – 19 с.

6. Валентей Т.В., Гвозданная Н.В., Колесникова Н.Л., Луканина М.В., Сухова Н.В. Методическое пособие по организации самостоятельной работы студентов: Учебно - методическая литература. - М.: Спутник, 2019. -33 с.

7. Волков Ю.Г., Лубский А.В., Верещагина А.В. Самостоятельная работа студентов: Учебное пособие. - М.: Кнорус, 2019.-142 с.

8. Городнова А.А., под общей редакцией: К. Михеева. Организация самостоятельной работы студентов: Учебно-методическое пособие - Н.Новгород: ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2019.
9. Дубовый В.К., Парамонова Л.Л. Общие требования и правила оформления студенческих работ. Учебное пособие. – СПб, 2019. – 118 с.
10. Куклина Е.Н., Мазниченко М.А., Мушкина И.А. Организация самостоятельной работы студента. Учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во ЮРАЙТ, 2019. – 235 с.
11. Резник С. Д. Студент вуза: технологии и организация обучения: учебное пособие для вузов / С. Д. Резник, И. А. Игошина; под общ.ред. С. Д. Резника. – М.: ИНФРА-М, 2019. – 474 с.
12. Самостоятельная работа студентов: виды, формы, критерии оценки: учеб.-метод. пособие / А. В. Меренков, С. В. Куньщиков, Т. И. Гречухина, А. В. Усачева, И. Ю. Вороткова; под общ. ред. Т. И. Гречухиной, А. В. Меренкова. - Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 80 с.
13. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» № 273-ФЗ от 29 декабря 2012 года с изменениями 2018 года.