

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тамбовский государственный технический университет»

И. Т. СТЕПАНЕНКО

ФИЗИКА

МЕХАНИКА. ЗАКОНЫ ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. ОПТИКА

Утверждено Учёным советом университета
в качестве практикума для студентов-иностранцев,
проходящих предвузовскую подготовку



Тамбов
• Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ» •
2013

УДК 53(075.8)
ББК В3я73-5
С79

Рецензенты:

Доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий кафедрой общей физики
ФГБОУ ВПО «ТГУ им. Г. Р. Державина»
В. А. Фёдоров

Доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
О. С. Дмитриев

Степаненко, И. Т

С79 Физика. Механика. Законы идеальных газов. Постоянный электрический ток. Оптика : практикум для студентов-иностранцев, проходящих предвузовскую подготовку / И. Т. Степаненко. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 80 с. – 100 экз.

ISBN 978-5-8265-1228-9

Рассматриваются краткая история развития метрологии, объекты и виды контроля, эталоны и системы единиц физических величин, а также теория по различным разделам физики для соответствующих лабораторных работ. Представлены тематика, задания и методические указания по выполнению лабораторных работ по физике в соответствии с требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников факультетов и отделений предвузовского обучения иностранных граждан. Даны адаптированные описания лабораторных установок, позволяющие студентам-иностранцам усвоить терминологическую лексику курса физики, приведён порядок выполнения работ.

Предназначено для студентов-иностранцев, проходящих предвузовскую подготовку.

УДК 53(075.8)
ББК В3я73-5

ISBN 978-5-8265-1228-9

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «ТГТУ»), 2013

ВВЕДЕНИЕ

Настоящий практикум предназначен для работы со студентами-иностранцами, которые проходят обучение на подготовительном факультете в рамках курса «Физика».

Изучение физики способствует развитию физического мышления студентов, освоению ими современной физической картины мира, формированию научного мировоззрения и тем самым закладывает фундамент для изучения специальных дисциплин. Её роль в становлении инженера чрезвычайно велика.

При изучении физики присутствуют все атрибуты процесса научного познания, такие как анализ и синтез; абстрагирование, идеализация, обобщения и ограничения; аналогии, моделирование, формализация; историческое и логическое; индукция и дедукция; аксиоматика. Это обстоятельство придаёт физике особую интеллектуальную привлекательность.

В физической лаборатории студенты самостоятельно решают ряд экспериментальных задач. Студенты должны научиться самостоятельно воспроизводить и анализировать основные физические явления, а также получить при этом некоторые элементарные навыки работы в физической лаборатории.

1. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

Метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Основными задачами метрологии являются:

- установление единиц физических величин, государственных эталонов и образцовых средств измерения (СИ);
- разработка теории, методов и СИ и контроля;
- обеспечение единства измерений;
- разработка методов оценки погрешностей, состояния СИ и контроля;
- разработка методов передачи размеров единиц от эталонов или образцовых СИ рабочим СИ.

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ МЕТРОЛОГИИ

Потребность в измерениях возникла в незапамятные времена. Для этого в первую очередь использовались подручные средства. Например, единица веса драгоценных камней – *карат*, что в переводе с

языков древнего юга-востока означает «семя боба», «горошина»; единица аптекарского веса – *гран*, что в переводе с латинского, французского, английского и испанского означает «зерно». Многие меры имели антропометрическое происхождение или были связаны с трудовой деятельностью человека. Так, в Киевской Руси применялись в обиходе *вершок* – длина фаланги указательного пальца; *лядь* – расстояние между концами вытянутых большого и указательного пальцев; *локоть* – расстояние от локтя до конца среднего пальца; *сажень* – от «сягать», «достигать», т.е. можно достать; *косая сажень* – предел того, что можно достать: расстояние от подошвы левой ноги до конца среднего пальца вытянутой вверх правой руки; *верста* – от «верти», «поворачивая» плуг обратно, длина борозды.

Древние вавилоняне установили *год, месяц, час*. Впоследствии 1/86 400 часть среднего периода обращения Земли вокруг своей оси (суток) получила название секунды.

В Вавилоне во II в. до н. э. время измерялось в *минах*. Мина равнялась промежутку времени (равному примерно двум астрономическим часам), за который из принятых в Вавилоне водяных часов вытекала «мина» воды, масса которой составляла около 500 г. Затем мина сократилась и превратилась в привычную для нас *минуту*. Со временем водяные часы уступили место песочным, а затем более сложным маятниковым механизмам.

Важнейшим метрологическим документом в России является Двинская грамота Ивана Грозного (1550). В ней регламентированы правила хранения и передачи размера новой меры сыпучих веществ – *осьмины*. Её медные экземпляры рассылались по городам на хранение выборным людям – старостам, соцким, целовальникам. С этих мер надлежало сделать клеймёные деревянные копии для городских померщиков, а с тех, в свою очередь, – деревянные копии для использования в обиходе.

Метрологической реформой Петра I к обращению в России были допущены английские меры, получившие особенно широкое распространение на флоте и в кораблестроении, – *футы, дюймы*. В 1736 году по решению сената была образована Комиссия весов и мер под председательством главного директора Монетного двора графа М. Г. Головкина. В состав комиссии входил Леонард Эйлер. В качестве исходных мер комиссия изготовила *медный аршин* и *деревянную сажень*, за меру веществ было принято ведро московского Каменномостского питейного двора. Важнейшим шагом, подытожившим работу комиссии, было создание русского *эталонного фунта*.

Идея построения системы измерений на десятичной основе принадлежит французскому астроному Г. Муто́ну, жившему в XVII в. Позже было предложено принять в качестве единицы длины $1/40\,000\,000$ часть земного меридиана. На основе единственной единицы – *метра* – строилась вся система, получившая название *метрической*.

В России указом «О системе Российских мер и весов» (1835) были утверждены эталоны длины и массы – *платиновая сажень* и *платиновый фунт*.

В соответствии с международной Метрологической конвенцией, подписанной в 1875 г., Россия получила платиново-иридиевые эталоны единицы массы № 12 и 26 и эталоны единицы длины № 11 и 28, которые были доставлены в новое здание Депо образцовых мер и весов. В 1892 году управляющим Депо был назначен Д. И. Менделеев, в 1893 г. он преобразует его в Главную палату мер и весов – одно из первых в мире научно-исследовательских учреждений метрологического профиля.

Метрическая система в России была введена в 1918 г. декретом Совета народных комиссаров «О введении Международной метрической системы мер и весов». Дальнейшее развитие метрологии в России связано с созданием системы и органов служб стандартизации.

Развитие естественных наук привело к появлению всё новых и новых средств измерений, а они, в свою очередь, стимулировали развитие наук, становясь всё более мощным средством исследования.

Объекты и виды контроля

Измерения – один из способов познания материального мира. Объектами измерений являются физические объекты и процессы окружающего мира. В свою очередь, достижения науки и техники способствуют совершенствованию методов и средств измерений.

В качестве примера можно указать следующие области и виды измерений.

1. Измерение геометрических величин: длин, отклонений формы поверхностей, параметров сложных поверхностей, углов.

2. Измерения механических величин: массы, силы, крутящих моментов, напряжений и деформаций, параметров движения, твёрдости.

3. Измерение параметров потока, расхода уровня, объёма веществ: массового и объёмного расхода жидкостей в трубопроводах, расхода газов, вместимости, параметров открытых потоков, уровня жидкости.

4. Теплофизические и температурные измерения: температуры, теплофизических величин.

5. Измерения физических и магнитных величин на постоянном и переменном токе: силы тока, количества электричества, электродвижущей силы, напряжения, мощности и энергии, угла сдвига фаз, электрического сопротивления, проводимости, ёмкости, индуктивности и добротности электрических цепей, параметров магнитных полей, магнитных характеристик материалов и др.

Успешное решение задач, стоящих перед метрологией, возможно лишь при условии единства применяемой терминологии. Поскольку измерения проникли во все сферы человеческой деятельности, то при их выполнении необходимо однозначное взаимопонимание. При построении системы определений основных понятий метрологии исходят из того, что исследование любых явлений материального мира связано с изучением физической величины.

Вся современная физика может быть построена на семи основных величинах, которые характеризуют фундаментальные основы материального мира. К ним относятся: длина, масса, время, сила электрического тока, термодинамическая температура, количество вещества и сила света. С помощью этих величин образуется всё многообразие производных физических величин и обеспечивается описание свойств физических объектов и явлений.

Физическая величина – свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта.

Так, например, все тела обладают массой и температурой, но для каждого из них эти параметры различны. Поскольку все объекты различаются между собой по количественному содержанию отображаемого физического вещества, то вводится понятие «значение физической величины» как количественной оценки этой величины в виде некоторого числа принятых для неё единиц.

Измерение – совокупность операций по применению системы измерений для получения значения измеряемой физической величины. Или, по-другому, нахождение значения физической величины опытным путём с помощью специальных технических средств.

Следовательно, измерением какой-либо физической величины устанавливают её числовое соотношение с некоторой другой однородной величиной, называемой единицей измерения физической величины.

Исходя из этого определения, обозначив через X измеряемую величину, через $[X]$ – единицу её измерения и через k – числовое значение измеряемой величины в принятых единицах измерения, получим

$$X = k[X]. \quad (1)$$

Уравнение (1) часто называют основным уравнением измерения. Его правая часть представляет собой значение физической величины X или результат измерения. Как следует из определения измерения, оно осуществляется с помощью специальных технических средств.

Техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства, называется *средством измерения*.

Точность измерений – близость результатов измерений к истинному значению измеряемой величины.

Истинное значение измеряемой величины – значение, свободное от погрешности.

Действительное значение физической величины – это значение, найденное экспериментальным путём и настолько приближающееся к истинному значению, что может быть использовано вместо него.

Единство измерений – такое состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах, и погрешности измерений известны с заданной вероятностью. Оно необходимо для того, чтобы сопоставить результаты измерений, выполненные в разное время, в разных местах и различными средствами измерений.

Наблюдение – единичная измерительная операция.

Контроль – это процесс получения и обработки информации об объекте (параметре детали, механизма, процесса и т.д.) с целью определения нахождения параметров объекта в заданных пределах.

Различают: неразрушающий и разрушающий контроль; непрерывный, периодический и летучий контроль; самоконтроль, контроль мастером, контроль ОТК и инспекционный контроль; входной, операционный и приёмочный контроль; активный и пассивный контроль; подвижный и стационарный контроль; однократный и многократный контроль; сплошной и выборочный контроль.

Эталоны и системы единиц физических величин

Системой единиц физических величин называется совокупность основных и производных единиц, образованная в соответствии с принятыми принципами.

В настоящее время в метрологии и других науках используют Международную систему единиц – СИ (система интернациональная). Она принята в октябре 1960 г. XI Генеральной конференцией по мерам и весам, в России была введена с 1 января 1980 г. стандартом СЭВ 1052–78.

В этой системе принято семь основных и две дополнительных единицы. Основными единицами являются: метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, моль, кандела.

Дополнительные единицы предназначены для измерения плоского (радиан) и телесного (стерадиан) углов.

Все остальные физические величины могут быть получены как производные основных. В 1995 году XX Генеральная конференция мер и весов ГКМВ (резолюция 8) постановила исключить класс дополнительных единиц в СИ, а радиан и стерадиан считать безразмерными производными единицами СИ (имеющими специальные наименования и обозначения), которые могут быть использованы или не использованы в выражениях для других производных единиц СИ (по необходимости). Основные единицы системы СИ по ГОСТ 8.417–2002 приведены в табл. 1.

Таблица 1

Величина наименование	Единица			
	размерность	наименование	обозначение	
международное			русское	
Основные				
Длина	<i>L</i>	Метр	m	М
Масса	<i>M</i>	Килограмм	kg	К
Время	<i>T</i>	Секунда	s	С
Сила электрического тока	<i>I</i>	Ампер	A	А
Термодинамическая температура	θ	Кельвин	K	К
Количество вещества	<i>N</i>	Моль	mol	Моль
Сила света	<i>J</i>	Кандела	cd	Кд

В качестве эталона единицы длины утверждён *метр*, который равен длине пути, проходимого светом в вакууме за $1/299\,792\,458$ долю секунды.

Эталон единицы массы – *килограмм* – представляет собой цилиндр из сплава платины (90%) и иридия (10%), у которого диаметр и высота примерно одинаковы (около 30 мм).

За единицу времени принята *секунда*, равная 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

Эталоном единицы силы тока принят *ампер* – сила не изменяющегося во времени электрического тока, который, протекая в вакууме по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади круглого поперечного сечения, расположенным один от другого на расстоянии 1 м, создаёт на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия $2 \cdot 10^7$ Н.

Единицей термодинамической температуры является *кельвин*, составляющий $1/273,16$ часть термодинамической температуры тройной точки воды.

За эталон количества вещества принят *моль* – количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов частиц, сколько атомов содержится в 12 г углерода-12 (1 моль углерода имеет массу 2 г, 1 моль кислорода – 32 г, а 1 моль воды – 18 г).

Эталон единицы силы света – *кандела* – представляет собой силу света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср.

Плоский угол измеряется в радианах (рад), размерность которого равна $m \cdot m^{-1} = 1$.

Радиан является производной единицей. Он равен углу между двумя радиусами окружности, дуга между которыми по длине равна радиусу.

Телесный угол измеряется встерадианах (ср) с размерностью $m^2 \cdot m^{-2} = 1$.

Стерадиан равен телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, по длине равной радиусу сферы.

В ряде случаев системные единицы оказываются либо слишком большими, либо слишком малыми по сравнению с измеряемыми значениями величин, что практически неудобно. Международной системой СИ

Таблица 2

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

введены кратные и дольные единицы, которые образуются умножением исходных единиц СИ на число 10^n , где $n = (-18...18)$. В таблице 2 приведены основные кратные и дольные единицы от единиц СИ.

Кроме вышеназванных единиц измерения, для количественной оценки отношения двух однородных физических величин широко используется логарифмическая единица – децибел (дБ). По определению

$$N_{\text{дБ}} = 10 \lg \frac{P_2}{P_1}, \quad (2)$$

где P_1 и P_2 – сравниваемые мощности или другие энергетические уровни.

В международной системе единиц СИ, как и в других системах единиц физических величин, важную роль играет размерность.

Размерностью называют символьное (буквенное) обозначение зависимости производных величин (или единиц) от основных. Размерность измеряемой величины является качественной её характеристикой и обозначается символом *dim*. Размерность основных физических величин обозначается соответствующими заглавными буквами. Например, $\dim l = L$, $\dim m = M$, $\dim t = T$.

При определении размерности производных величин руководствуются следующими правилами:

1. Размерности левой и правой частей уравнения не могут не совпадать, так как сравниваться между собой могут только одинаковые свойства.

2. Алгебра размерностей мультипликативна, т.е. состоит из единственного действия – умножения.

Пусть какая-либо физическая величина X выражается через длину L , массу M и время T (являющихся основными величинами в системе единиц) формулой

$$X = L^p M^q T^r. \quad (3)$$

В этом случае принято говорить, что размерность (*dimension*) величины X выражается формулой

$$\dim X = [L^p][M^q][T^r]. \quad (4)$$

Важнейшим условием обеспечения единства измерений является тождественность единиц, в которых проградуированы все средства измерений одной и той же физической величины. Эта тождественность реализуется с помощью эталонов.

Условие тождественности единиц, в которых проградуированы СИ, реализуется точным воспроизведением и хранением установленных единиц физических величин и передачей их размеров применяемым СИ. Воспроизведение, хранение и передачу размеров единиц осуществляют с помощью эталонов и образцовых СИ.

Высшим звеном в метрологической цепи передачи размеров единиц измерений являются *эталон*.

Эталон – СИ (комплекс СИ), обеспечивающее воспроизведение и (или) хранение единиц для передачи её размера нижестоящим по поверочной схеме СИ, выполненное по особой спецификации и официально утвержденное в установленном порядке в качестве эталона.

Эталон воспроизводится с наивысшей метрологической точностью, достигаемой при данном состоянии науки и техники.

Он должен отвечать трём основным требованиям: неизменности, воспроизводимости и сличаемости.

Согласно ГОСТ 16263.82 эталоны подразделяют на первичные, вторичные, государственные, специальные, эталоны-свидетели, эталоны копии, эталоны сравнения, рабочие эталоны.

Первичный эталон (ПЭ) – обеспечивающий воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами той же единицы) точностью. Официально утверждённый в качестве исходного для страны первичный или специальный эталон называется *государственными* эталонами.

ПЭ основной единицы воспроизводит единицу в соответствии с её определением.

Вторичный эталон (ВЭ) – эталон, значение которого устанавливают по первичному эталону.

Рабочий эталон – применяемый для передачи размера единицы образцовым СИ высшей точности и в отдельных случаях наиболее точным рабочим СИ.

Государственные эталоны Российской Федерации сосредоточены в метрологических институтах страны.

Вторичные эталоны используются в метрологических институтах и других крупных органах ГМС.

Кроме национальных, существуют международные эталоны, хранящиеся в Международном бюро мер и весов. Программой деятельности Международного бюро предусмотрены систематические сличения национальных эталонов с международными и между собой.

Передача размеров единиц от эталонов рабочим СИ осуществляется посредством образцовых СИ.

Образцовые СИ – меры, измерительные приборы или измерительные преобразователи, предназначенные для проверки и градуировки по ним других СИ и в установленном порядке утверждённые в качестве образцовых.

Образцовые СИ подлежат тщательному хранению, а их поверку производят настолько часто, чтобы была обеспечена требуемая точность и достоверность результата измерения.

Стандартная схема измерений. Классификация измерений

Процесс измерения количественно оценивается понятиями «точность» и «погрешность».

Точность – это такое качество измерений, которое отражает близость их результатов к истинному значению измеряемой величины.

Погрешность измерений характеризует отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

В общем случае процедура измерения соответствует схеме (рис. 1).

Из неё следует, что на результат измерения оказывает влияние ряд факторов, каждый из которых может быть причиной погрешности.

Результат измерения величины X в целом ряде случаев можно записать следующим образом:

$$A = X_{\text{ист}} + \Delta, \quad (5)$$

где $X_{\text{ист}}$ – истинное значение, Δ – погрешность измерения физической величины X . Уместно отметить, что величина X в силу многообразия

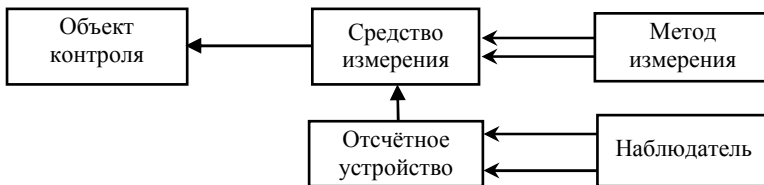


Рис. 1

причин её возникновения является случайной величиной, поэтому и результат измерения также является величиной случайной.

Таким образом, результат любого измерения отличается от истинной величины на некоторое значение, зависящее от точности выбранного метода и средства измерения, квалификации оператора, условий проведения эксперимента и т.д.

Так как истинное значение физической величины определить опытным путём нельзя, то погрешность измерения принципиально неизбежна.

Измерение является сложным многооперационным процессом взаимодействия физической величины (сигнала) и средства измерения. Для более глубокого понимания и анализа его особенностей вводится классификация измерений.

По способу получения результата измерения различают следующие виды измерений, представленные на рис. 2.

Прямые – измерения, при которых искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных. Этот вид измерений самый простой и наиболее распространённый в практике измерений.

Косвенные – измерения, при которых искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям, например измерения скорости при прямых измерениях пути и времени.

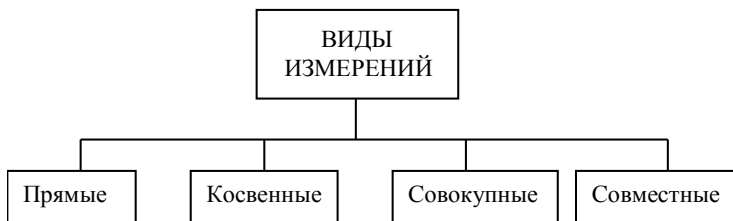


Рис. 2

Совокупные – это производимые одновременно измерения нескольких одноимённых величин, при которых искомые значения величин находят решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин.

Совместные – это производимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для нахождения зависимости между ними.

Погрешность измерений

Классификация погрешностей

Классификация погрешностей измерения по наиболее важным признакам представлена на рис. 3.

По месту возникновения погрешности разделяют на инструментальные, методические, личные и внешние.

Инструментальные – такие составляющие погрешностей измерений, которые обусловлены несовершенством СИ.

Методические – такие составляющие погрешностей измерений, которые обусловлены несовершенством методов измерений.

Личные – такие составляющие погрешностей измерений, которые обусловлены физиологическими особенностями наблюдателя.



Рис. 3

Внешние – такие составляющие погрешностей измерений, которые обусловлены влиянием на СИ внешних факторов (температура, давление, нестабильность питающего напряжения и т.д.).

По способу выражения погрешности подразделяются на абсолютные, относительные и приведенные.

Абсолютная погрешность прибора равна разности между результатом измерения и истинным значением измеряемой величины.

$$\Delta = A - X_{\text{ист}} \approx A - X_{\text{д}}, \quad (6)$$

где $X_{\text{д}}$ – действительное значение измеряемой величины.

Из (6) видно, что абсолютная погрешность выражается в единицах измеряемой величины.

Относительная погрешность измерения определяется как отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеренной величины.

Выражается в относительных единицах или процентах

$$\delta = \frac{A - X_{\text{ист}}}{X_{\text{ист}}} = \frac{\Delta}{X_{\text{ист}}} \approx \frac{\Delta}{X_{\text{д}}}. \quad (7)$$

Так как истинное значение физической величины в (7) неизвестно, то при выражении относительной погрешности в эти уравнения подставляют действительное значение $X_{\text{д}}$, найденное с помощью образцовых СИ.

По характеру проявления погрешности делят на систематические $\Delta_{\text{с}}$, случайные $\Delta_{\text{сл}}$ и грубые. Поэтому, в свою очередь, погрешность, определяемая выражениями (6) и (7), является результирующей суммой погрешностей, различающихся по характеру проявления и запишется в виде

$$\Delta = \Delta_{\text{с}} + \Delta_{\text{сл}}. \quad (8)$$

Систематические (СП) – такие составляющие погрешности измерения, которые при повторном измерении одной и той же величины остаются постоянными или изменяются по известному закону.

Случайные – такие составляющие погрешности измерения, которые при повторном измерении одной и той же величины изменяются случайным образом.

Грубые – погрешности измерения, существенно превышающие ожидаемые при данных условиях.

Следовательно, в некоторых случаях результат отдельного измерения резко отличается от результатов других измерений, выполненных в одних и тех же условиях.

В зависимости от значения измеряемой величины погрешности подразделяются на *аддитивные* (не зависящие от изменения измеряемой величины) и *мультипликативные* (зависящие от изменения измеряемой величины).

Также рассматривают погрешности, обусловленные квантованием измеряемых величин. Такие погрешности можно отнести к методическим.

Таким образом, рассмотренная классификация погрешностей по указанным признакам позволяет найти причины, оказывающие наибольшее влияние на появление тех или иных погрешностей в результатах измерений и разработать эффективные методы их устранения из результата измерения или уменьшить их влияние на результат измерения.

Причины систематических погрешностей

Проводимые измерения будут правильными, если систематические погрешности в их результатах будут близкими к нулю. Следовательно, исключение или уменьшение влияния СП на результат измерения является важным этапом процесса измерений.

Оставаясь постоянной для данного экземпляра СИ, систематическая погрешность различна для СИ всего вида. Следовательно, систематическая погрешность для данного вида СИ – величина случайная.

В большинстве областей измерений известны важнейшие источники систематической погрешности, разработаны методы их обнаружения и устранения.

Основными причинами систематических погрешностей являются следующие:

1. Изменения метрологических характеристик СИ (погрешности градуировки, неточность балансировки, старения схемных элементов, сдвиг шкалы и т.д.).

2. Несовершенство метода измерений (методическая систематическая погрешность).

3. Несовершенство установки, обусловленное неправильным взаимным расположением СИ, несогласованность метрологических характеристик объекта контроля и т.д.

4. Индивидуальная особенность оператора.

Сохранение метрологических характеристик СИ гарантируется для нормальных условий измерений (табл. 3).

Таблица 3

Влияющая величина	Номинальное значение величины
Температура для всех видов измерений	293 К (20 °С)
Давление окружающего воздуха для измерения ионизирующих излучений, теплофизических, температурных, магнитных, электрических, параметров движения	100 кПа (750 мм рт. ст.)
То же для остальных измерений	101,3 кПа (760 мм рт. ст.)
Относительная влажность воздуха для измерений: линейных, угловых, массы и спектроскопии	58 %
То же для измерений электрического сопротивления	55 %
То же для измерений температуры, силы твёрдости, переменного электрического тока, ионизирующих излучений, параметров движения	65 %
То же для остальных видов измерений	60%
Плотность воздуха	1,2 кг/м ³
Ускорение свободного падения	9,8 м/с ²
Магнитная индукция и напряжённость электростатического поля для измерений параметров движения, магнитных и электрических величин	0
То же для остальных видов измерений	Соответствует характеристикам поля Земли в данном районе

Обработка результатов многократных измерений

Она производится в следующей последовательности:

1. Проводится многократное измерение, в результате которого получаем значения физической величины в виде: $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Обработку результатов рекомендуется начать с проверки на отсутствие промахов (грубых погрешностей). Промач – это результат x_n отдельного наблюдения, входящего в ряд наблюдений, который для данных условий измерений резко отличается от остальных результатов этого ряда. Если оператор в ходе измерения обнаруживает такой результат и достоверно находит причину, он вправе его отбросить и провести при необходимости дополнительное наблюдение взамен отброшенного.

2. Вычисляют среднее арифметическое значение \bar{x} результатов наблюдений x_i по формуле

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (9)$$

3. Вычисляют отклонение результата i -го измерения от \bar{x}

$$\alpha_i = x_i - \bar{x}. \quad (10)$$

4. Вычисляют оценку среднеквадратического отклонения (СКО) результата наблюдения

$$S(x) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (11)$$

5. За результат измерения принимают среднее арифметическое \bar{x} результатов наблюдений x_i . Погрешность \bar{x} содержит случайную и систематическую составляющие. Случайную составляющую, характеризующую СКО результата измерения, оценивают по формуле

$$S(\bar{x}) = \frac{1}{\sqrt{n}} S(x) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}.$$

6. Для $n \geq 20$ принадлежность результатов наблюдений x_i к нормальному закону распределения проверяют, применив правило 3σ . Для других n используют коэффициент Стьюдента $t(P, n)$.

7. Вычисляют доверительный интервал ε , задаваясь доверительной вероятностью P (например, $P = 0,95$). По её значению и количеству измерений n предварительно по таблице определяют коэффициент Стьюдента – t (табл. 4).

8. Записывают результат вычислений: $x = \bar{x} \pm \varepsilon$, $P = 0,95$

$$\varepsilon(P) = t(P, n) S(\bar{x}). \quad (12)$$

Таблица 4

<i>n</i>	<i>P</i>									
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,995
2	0,16	0,51	1,00	2,0	3,1	6,3	12,7	31,8	63,7	636,7
3	0,14	0,45	0,82	1,3	1,9	2,9	4,3	7,0	9,9	31,6
4	0,14	0,42	0,77	1,3	1,0	2,4	3,2	4,5	5,8	12,9
5	0,13	0,41	0,74	1,2	1,5	2,1	2,8	3,7	4,6	8,6
6	0,13	0,41	0,73	1,2	1,5	2,0	2,6	3,4	4,0	6,9
7	0,13	0,40	0,72	1,1	1,4	1,9	2,4	3,1	3,7	6,0
8	0,13	0,40	0,71	1,1	1,4	1,9	2,4	3,0	3,5	5,4
9	0,13	0,40	0,71	1,1	1,4	1,9	2,3	2,9	3,4	5,0
10	0,13	0,40	0,70	1,1	1,4	1,8	2,3	2,8	3,3	4,8

Форма представления результатов измерения

Результат измерения представляется в виде значения измеряемой величины и показателей точности. ГОСТ 8. 011–72 установлены четыре формы записи результата. Наиболее часто из них встречаются следующие:

1. При однократных измерениях (как правило, в процессе эксплуатации):

а) если известна абсолютная погрешность $\pm\Delta$, то представление результата

$$x = (x \pm \Delta) \text{ [размерность]}.$$

Например, $I = (50 \pm 5) \text{ мА}$;

б) если известна относительная погрешность δ , то

$$x = x \text{ [размерность]} + \delta.$$

Например, $I = 50 \text{ мА} \pm 2\%$.

2. При многократных измерениях (как правило в процессе исследований, испытаний), форма записи следующая:

$$m_x \text{ [размерность]}, \Delta, \text{ от } x_n \text{ до } x_b, P,$$

где m_x – среднее значение; Δ – абсолютная погрешность; x_n и x_b – нижняя и верхняя границы интервала; P – доверительная вероятность нахождения абсолютной погрешности в данном интервале.

2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ РАВНОУСКОРЕННОГО ДВИЖЕНИЯ

Цель работы: исследовать зависимость от времени координаты тела при его прямолинейном неравномерном движении; экспериментально подтвердить, что при равноускоренном прямолинейном движении пути, проходимые телом за последовательные равные отрезки времени, соотносятся как непрерывный ряд нечётных чисел; исследовать зависимость от времени скорости тела при его прямолинейном равноускоренном движении.

Оборудование: секундомер; жёлоб; стальной шарик; металлический брусок; опора жёлоба; укладочный пенал.

Общие сведения и методические указания

Основу экспериментальной установки составляет прямой жёлоб, один конец которого закреплён выше другого. Его кладут на крышку укладочного пенала (рис. 4).

Под один его конец подкладывают опору и регулируют его положение так, чтобы верхний конец жёлоба оказался выше на 3–4 мм.

Объектом наблюдения является стальной шарик.

Для определения координаты шарика используют брусок и внутреннюю шкалу на поверхности жёлоба. Брусок кладут в жёлоб на пути движения шарика. Шарик, скатываясь по жёлобу, ударится о брусок. Координату шарика определяют по положению грани бруска, которой он коснётся в момент удара.

Шарик движется неравномерно, равноускоренно.

В соответствии с выводами теории шарик, двигаясь равноускоренно из состояния покоя по прямой траектории, за два одинаковых

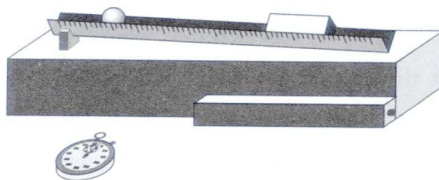


Рис. 4

отрезка времени, которые следуют друг за другом, должен совершить перемещения, которые соотносятся как 1:3:5 Этот вывод проверяют в работе.

Также при выполнении работы необходимо экспериментально проверить справедливость утверждения о том, что скорость тела, движущегося равноускоренно по прямой, увеличивается прямо пропорционально времени движения.

Из определения ускорения следует, что скорость v тела, движущегося прямолинейно с постоянным ускорением, спустя некоторое время t после начала движения может быть определена из уравнения

$$v = v_0 + at. \quad (13)$$

Если тело начало двигаться, не имея начальной скорости, т. е. при $v_0 = 0$, это уравнение становится более простым

$$v = at. \quad (14)$$

Отсюда следует, что тело, двигаясь из состояния покоя с постоянным ускорением a , спустя время t_1 , с момента начала движения, будет иметь скорость $v_1 = at_1$, спустя время t_2 , его скорость будет $v_2 = at_2$, и т.д. Причём, можно утверждать, что

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{t_2}{t_1}. \quad (15)$$

Справедливость данного равенства проверяют путём проведения опытов.

Объектом исследования в работе является стальной шарик. Его прямолинейное равноускоренное движение обеспечивается наклонным желобом.

Проводят две серии экспериментов. В первой серии определяют скорость, которая будет у шарика при достижении им **средней** части желоба, во второй определяют скорость шарика при достижении им **нижней** части желоба.

Скорость в заданной точке траектории можно определить, зная перемещение тела из состояния покоя до этой точки и время движения. Действительно, при движении из состояния покоя ($v_0 = 0$) с постоянным ускорением перемещение определяется по формуле

$$a = \frac{2S}{t^2}. \quad (16)$$

После подстановки формулы (16) в (14)

$$v = \frac{2S}{t^2} t$$

и сокращения на t получаем

$$v = \frac{2S}{t} . \quad (17)$$

Таким образом, скорость тела в данной точке траектории можно определить, если измерить перемещение до этой точки и время, за которое оно совершено.

Порядок выполнения работы

1. Исследование соотношения перемещений при равноускоренном движении.

Работу начинают с определения начальной координаты шарика.

Установите брусок и шарик в 2–3 см от верхнего края на жёлоб. Шарик должен располагаться выше бруска. Начальную координату определите по положению точки соприкосновения шарика и бруска. Для этого достаточно заметить деление шкалы, рядом с которым находится основание бруска, которого касается шарик.

Определите начальную координату, шарик удерживайте рукой в исходном положении, а брусок сместите вниз по поверхности жёлоба. По основанию бруска, о которое ударится шарик, определите координату (расстояние) шарика в нужной точке. По звуку удара шарика о брусок остановите секундомер и считайте показания секундомера.

Определите время, за которое шарик совершит перемещение в 12 см. Измерения проведите несколько раз и вычислите среднее значение времени. Данные занесите в табл. 5.

Таблица 5

Время, с	$S = 12$ см
t_1	
t_2	
t_3	
t_4	
t_5	
$t_{\text{ср, } s = 12 \text{ см}}$	

Таблица 6

Время, с	$S = 48$ см
t_1	
t_2	
t_3	
t_4	
t_5	
$t_{\text{ср, } s = 48 \text{ см}}$	

Измерьте время перемещения шарика из той же точки на расстояние 48 см и найдите его среднее значение. Данные занесите в табл. 6.

Движение на отрезке длиной 48 см состоит из двух этапов. Первый включает движение на отрезке 12 см, время которого уже известно. Второй этап – на оставшемся отрезке длиной в 36 см (втрое длиннее первого).

Предложенные для выполнения задания величины отрезков рекомендованы с учётом конструктивных особенностей лабораторного оборудования и никак не влияют на общность полученных результатов.

Определите, какое время затратил шарик на движение по участку в 36 см.

$$t_{\text{ср, } s = 36 \text{ см}} = t_{\text{ср, } s = 48 \text{ см}} - t_{\text{ср, } s = 12 \text{ см}}$$

Сравните $t_{\text{ср, } s = 12 \text{ см}}$ и $t_{\text{ср, } s = 36 \text{ см}}$.

Сделайте выводы о соотношении перемещений за одинаковые промежутки времени равноускоренного движения.

2. Исследование изменения скорости тела при равноускоренном движении.

Определите начальную координату шарика по тому делению шкалы жёлоба, напротив которого будет находиться основание бруска с прикоснувшимся шариком. Придерживая шарик рукой, переместите брусок в среднюю часть жёлоба и снова заметьте деление шкалы, напротив которого расположится его основание. Так определяют координату шарика, которую он будет иметь в момент удара о брусок. По разности измеренных координат найдите перемещение S_1 , совершённое шариком до столкновения с бруском. Время его движения t_1 , измерьте секундомером. Включите секундомер одновременно с пуском шарика, а остановите по звуку удара о брусок. Для исключения

Таблица 7

№ опыта	X_1 , мм	X_2 , мм	S , м	t_1 , с	t_{1cp} , с	v_{1cp} , м/с

Таблица 8

№ опыта	X_1 , мм	X_2 , мм	S , м	t_2 , с	t_{2cp} , с	v_{2cp} , м/с

случайных погрешностей опыт проводите несколько раз и вычислите среднее значение t_{1cp} . По формуле (17), куда подставляют среднее значение времени t_{1cp} , вычислите среднюю скорость v_{1cp} шарика, которую он развил при движении от верхнего края жёлоба до его **средней** части. При повторении опытов следите за тем, чтобы основание бруска располагалось каждый раз напротив одних и тех же делений шкалы.

Данные измерений и вычислений в каждой серии опытов занесите в табл. 7.

Аналогично определите скорость, которую будет иметь шарик за время движения от верхнего до нижнего края жёлоба. Данные измерений занесите в таблицу 8.

Определите средние значения скоростей v_{1cp} и v_{2cp} .

Сравните отношение v_{2cp} / v_{1cp} с отношением t_{2cp} / t_{1cp} .

Сделайте выводы о значениях v_{2cp} / v_{1cp} и t_{2cp} / t_{1cp} .

Контрольные вопросы

- Что называют скоростью?
- Какое направление имеет скорость?
- Какие единицы скорости вы знаете?
- Что называется ускорением? Назовите его единицы измерения.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЕСА ТЕЛА ПРИ ЕГО ДВИЖЕНИИ С УСКОРЕНИЕМ

Цель работы: экспериментально доказать утверждение о том, что при движении тела с ускорением, направленным вверх, его вес увеличивается.

Оборудование: груз 100 г; динамометр; штатив с муфтой и лапкой; нить; укладочный пенал.

Общие сведения и методические указания

Объектом изучения является груз, подвешенный нитью к динамометру (рис. 5).

При неподвижном грузе динамометр показывает его вес $P = mg$.

Если у груза появится ускорение a , направленное вверх, его вес изменится на величину ma и станет равным

$$P = m(g + a). \quad (18)$$

Ускорение грузу можно сообщить, если привести его в движение по окружности. Для этого груз отводят в сторону, пока нить не займёт горизонтальное положение, но останется натянутой, и отпускают. Отпущенный груз станет двигаться по дуге окружности.

В момент прохождения положения равновесия центростремительное ускорение груза направлено вверх и равно

$$a_{\text{цс}} = \frac{v^2}{R}. \quad (19)$$

Величину ускорения можно определить, воспользовавшись законом сохранения энергии. При отклонении груза в сторону, как указано выше, он получает запас потенциальной энергии

$$mgh = mgL, \quad (20)$$

где L – длина подвеса (точнее расстояние от центра груза до точки крепления подвеса к динамометру). В момент прохождения положения равновесия этот запас

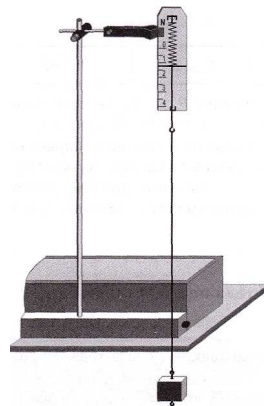


Рис. 5

энергии перейдёт в кинетическую энергию груза $m \cdot v^2 / 2$. Но по закону сохранения механической энергии

$$mgL = mv^2 / 2, \quad (21)$$

откуда

$$v^2 = 2gL.$$

Тогда центростремительное ускорение с учётом, что $R = L$, равно $a_{\text{цс}} = 2g$. После подстановки ускорения в формулу (18) следует, что вес отклонённого горизонтально груза при прохождении им положения равновесия должен увеличиться в три раза:

$$P = m(g + 2g) = 3mg. \quad (22)$$

Это следствие и проверяется в работе.

Порядок выполнения работы

Динамометр закрепите лапкой штатива вертикально. Укладочный пенал разместите на рабочем столе так, чтобы динамометр выступал на 5...6 см за пределы поверхности стола. Из нити изготовьте подвес с петлями на концах длиной 50...60 см. На нём подвесьте к динамометру груз массой 100 грамм. По показанию динамометра определите вес покоящегося груза P_0 .

Груз отведите в сторону так, чтобы нить приняла горизонтальное положение и не провисала. Отпустив груз, заметьте показание динамометра в момент прохождения грузом нижней точки траектории P_a .

Пуски груза повторите 8 – 10 раз, каждый раз записывая показания динамометра.

Данные измерений занесите в табл. 9.

Вычислите среднее значение $P_{a \text{ ср}}$ и отношение $P_{a \text{ ср}} / P_0$, которое в соответствии с формулой (22) должно равняться 3.

Полученный результат справедлив для грузов любой массы. Замените груз массой 100 г на груз массой 50 г и повторите опыт.

Таблица 9

№ опыта	P_0 , Н	P_a , Н	$P_{a \text{ ср}}$, Н	$P_{a \text{ ср}} / P_0$
1				
2				
3				
⋮				

Определите причину возможного увеличения расхождения результата эксперимента с теорией при использовании груза меньшей массы.

Контрольные вопросы

- Какое направление имеет ускорение равноускоренного движения, если скорость тела: а) увеличивается, б) уменьшается?
- Какое направление имеет центростремительное ускорение?
- Что называется весом тела?
- Что называется потенциальной энергией?

Лабораторная работа № 3

ИЗУЧЕНИЕ «ЗОЛОТОГО ПРАВИЛА» МЕХАНИКИ

Цель работы: доказать, что при подъёме груза с помощью рычага, выигрыша в работе не получают.

Оборудование: штатив с муфтой; рычаг; динамометр; груз 100 г (1 шт.); жёлоб прямой; измерительная лента; укладочный пенал.

Общие сведения и методические указания

Перед проведением эксперимента повторите формулу для вычисления механической работы, совершаемой при подъёме груза на определённую высоту.

Монтаж экспериментальной установки начинайте с того, что в брусоч пенала вверните стержень штатива (рис. 6).

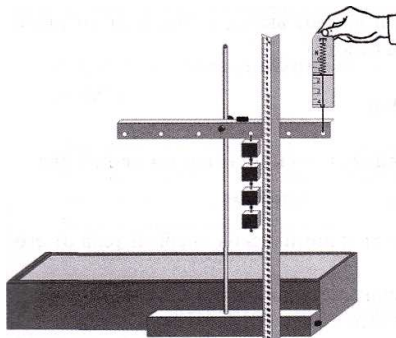


Рис. 6

Муфту закрепите на стержне штатива на высоте около 20 см от поверхности стола. Крепёжный винт вставьте в центральное отверстие рычага и вверните в торцевую часть муфты, следя за тем, чтобы рычаг мог вращаться с минимальным трением. Рычаг уравновесьте балансиром.

Порядок выполнения работы

К первому отверстию справа от оси рычага подвесьте груз, измерив предварительно динамометром действующую на них силу тяжести F_1 .

К третьему отверстию с той же стороны рычага прикрепите с помощью разогнутой скрепки крючок динамометра.

Динамометр удерживайте рукой вертикально так, чтобы рычаг оставался в горизонтальном положении.

Значение силы тяжести F_1 и показание динамометра F_2 занесите в табл. 10.

Сила F_2 приложена к рычагу со стороны динамометра и уравнивает действие силы тяжести грузов. С помощью внешней шкалы прямого жёлоба заметьте высоту грузов и динамометра относительно стола.

Медленно перемещая динамометр вверх, поднимите грузы на высоту 2–3 см. Перемещение грузов измерьте с помощью жёлоба (обозначаем как S_1). Кроме того, измерьте и перемещение S_2 , совершённое динамометром. Перед занесением в таблицу измеренные значения перемещений переведите в метры.

Опыт повторите, подвесив грузы ко второму отверстию и оставив динамометр, прикреплённым к третьему. Данные измерений занесите во вторую строчку таблицы.

В третий раз опыт проведите, прикрепив два груза к третьему отверстию, а динамометр – ко второму. Данные этого опыта занесите в третью строчку табл. 10.

Таблица 10

№ опыта	F_1 , Н	S_1 , М	F_2 , Н	S_2 , М	A_1 , Дж	A_2 , Дж
1						
2						
3						

Для каждого опыта вычислите работу A_1 , совершённую рычагом по подъёму грузов, и работу A_2 , совершённую динамометром по поднятию грузов рычагом. Учитывая, что при равномерном подъёме со стороны рычага на грузы действует сила F , равная по величине действующей на них силе тяжести F_1 , то $A_1 = F_1 S_1$. Работа $A_2 = F_2 S_2$.

Сравнивая значения работ A_1 и A_2 , сделайте вывод о том, даёт ли такой простой механизм, как рычаг, выигрыш в работе.

Контрольные вопросы

- Какую силу называют силой тяжести?
- Что называется механической работой?
- В каких единицах измеряется работа?

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ ОТ ГЛУБИНЫ ПОГРУЖЕНИЯ. ИЗМЕРЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Цель работы: экспериментально проверить утверждение о том, что давление, которое жидкость оказывает на погружённое в неё тело, прямо пропорционально зависит от глубины погружения; оценить значение атмосферного давления методом изотермического сжатия воздуха в трубке.

Оборудование: трубка-резервуар с двумя кранами; мерный цилиндр; измерительная лента; стержень штатива с муфтой и лапкой; укладочный короб.

Дополнительное оборудование: сосуд с водой комнатной температуры.

Общие сведения и методические указания

Исследуемой жидкостью в работе является отстоянная вода комнатной температуры, при этом давление воды оценивают по её действию на воздух, находящийся внутри прозрачной трубки-резервуара.

Работа может проводиться на качественном уровне при изучении вопросов гидростатики. Однако более осознанно учащиеся смогут её выполнить только после того, как изучат изотермический закон.

1. Исследование зависимости давления жидкости от глубины погружения.

Эксперимент проводят в следующей последовательности. Мерный цилиндр заполняют водой так, чтобы её уровень не доходил до верхнего края примерно на 15 мм (рис. 7). Воздушный кран на одном из концов трубки-резервуара закрывают, кран на другом конце оставляют открытым.

Конец трубки с открытым краном медленно погружают в цилиндр и наблюдают, как меняется объём воздуха в трубке по мере увеличения глубины погружения. После того, как учащиеся убедятся на качественном уровне в том, что о величине давления в жидкости можно судить по степени сжатия воздуха в трубке, переходят к количественным измерениям.

Формула для расчёта давления воды по изменению объёма воздуха в трубке может быть получена из следующих рассуждений. Поскольку один из кранов трубки открыт, то до её погружения в воду давление воздуха в ней p_1 равнялось атмосферному: $p_1 = p_{\text{атм}}$; объём воздуха V_1 равнялся объёму внутренней полости трубки. Длина этой полости L , площадь поперечного сечения S . Поскольку при проведении опыта сечение не меняется, то изменение объёма воздуха будет происходить только за счёт изменения длины его столба. Поэтому изменение объёма удобнее производить в условных единицах, принимая за такую единицу длину воздушного столба, т.е. $V_1 \sim L$.

При погружении трубки давление воздуха в ней увеличивается до значения

$$p_2 = p_{\text{атм}} + p_{\text{в}}, \quad (23)$$

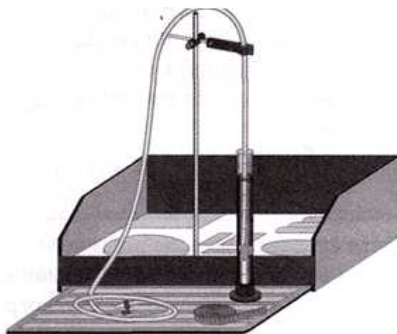


Рис. 7

где p_b – давление воды на воздух в трубке. Объем воздуха уменьшится до значения $V_2 = V_1 - \Delta V$, где ΔV – объем вошедшей в трубку воды или, в условных единицах,

$$L_2 = L - \Delta L, \quad (24)$$

где ΔL – длина столбика воды, вошедшей в трубку.

Так как при проведении опыта температуры воздуха в помещении и воды одинаковы, то можно считать, что сжатие воздуха происходит изотермически. Тогда из закона Бойля–Мариотта следует, что

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad \text{или} \quad p_1 L_1 = p_2 L_2.$$

С учетом (23) и (24),

$$p_{\text{атм}} L = (p_{\text{атм}} + p_b)(L - \Delta L).$$

Раскрывая скобки, получают выражение

$$p_{\text{атм}} L = p_{\text{атм}} L + p_b L - p_{\text{атм}} \Delta L - p_b \Delta L,$$

которое после упрощения принимает вид

$$p_b = \frac{p_{\text{атм}} \Delta L}{L - \Delta L}. \quad (25)$$

С другой стороны, теория утверждает, что давление жидкости на погружённое тело зависит от глубины погружения H , ускорения свободного падения g и плотности жидкости ρ , т.е.

$$p_b = \rho g H. \quad (26)$$

Если формула (26) справедлива, то

$$\frac{p_{\text{атм}} \Delta L}{L - \Delta L} = \rho g H,$$

откуда получаем

$$\frac{\Delta L}{(L - \Delta L)H} = \frac{\rho g}{p_{\text{атм}}}. \quad (27)$$

Так как за время проведения опыта изменением атмосферного давления можно пренебречь, отношение, стоящее в правой части равенства (27), можно считать постоянной величиной. Из этого следует, что при любой глубине погружения трубки величина отношения

$$\frac{\Delta L}{(L - \Delta L)H} \quad \text{так же не должна меняться, т.е.}$$

$$\frac{\Delta L_1}{(L - \Delta L_1)H_1} = \frac{\Delta L_2}{(L - \Delta L_2)H_2} = \frac{\Delta L_3}{(L - \Delta L_3)H_3}. \quad (28)$$

Это равенство и проверяют экспериментально.

2. Измерение атмосферного давления.

Во втором эксперименте для определения значения атмосферного давления используют ту же экспериментальную установку, основными частями которой являются трубка-резервуар и мерный цилиндр.

Формулу для расчёта давления атмосферы получают, используя связь между изменением объёма и давления воздуха в трубке до и после погружения. В данной работе, как и в других, где используется трубка-резервуар, объём воздуха в ней измеряют в условных единицах по длине его столба в трубке ($V \sim L$). Так как в ходе опыта температура воздуха в трубке не изменяется, то можно утверждать, что

$$p_1 L_1 = p_2 L_2, \quad (29)$$

где p_1 , L_1 – давление и объём воздуха в трубке до погружения; p_2 , L_2 – эти же параметры после погружения.

Учитывая, что

$$p_1 = p_{\text{атм}}; \quad p_2 = p_{\text{атм}} + \rho g H \quad \text{и} \quad L_1 = L_1 - \Delta L,$$

равенство (29) можно записать в виде

$$p_{\text{атм}} L_1 = (p_{\text{атм}} + \rho g H)(L_1 - \Delta L).$$

Раскрывая скобки, получают равенство вида

$$p_{\text{атм}} L_1 = p_{\text{атм}} L_1 + \rho g H L_1 - p_{\text{атм}} \Delta L - \rho g H \Delta L.$$

После преобразований получаем

$$p_{\text{атм}} = \frac{\rho g H (L_1 - \Delta L)}{\Delta L}. \quad (30)$$

Из (30) следует, что значение атмосферного давления можно определить, зная величины L_1 , H и ΔL .

Порядок выполнения работы

1. Исследование зависимости давления жидкости от глубины погружения.

Определите измерительной лентой длину L . Затем конец трубки с открытым краем медленно погрузите в воду до тех пор, пока разность

Таблица 11

№ измерения	$H \cdot 10^{-3}$, м	L , м	$\Delta L \cdot 10^{-3}$, м	$\frac{\Delta L}{(L - \Delta L)H}$
1				
2				
3				

уровней в цилиндре и трубке не составит 5 см. Измерьте длину ΔL столбика воды в трубке, соответствующей этой разности. Проведите измерение ΔL при разности в 10 и 15 см.

Результаты занесите в табл. 11.

Если числа в правой колонке таблицы окажутся внутри границ интервала допустимых значений отношения $\frac{\Delta L}{(L - \Delta L)H}$, то справедливость формулы (26) можно считать доказанной.

Границы интервала допустимых значений указанного отношения определяют, как обычно, методом оценки границ погрешностей с учётом инструментальных погрешностей используемых измерительных приборов и возможных погрешностей отсчёта их показаний.

2. Измерение атмосферного давления.

Закройте один из кранов трубки, второй оставьте открытым. Измерительной лентой определите длину воздушного столба L_1 как расстояние внутри трубки от одного крана до другого.

Мерный цилиндр наполните водой так, чтобы её уровень не доходил на 15 мм до его верхнего края (рис. 7). Конец трубки с открытым краем погрузите в воду, пока кран не окажется на дне цилиндра. Для определения атмосферного давления измерьте уровень H воды в цилиндре и определите длину столбика воды, вошедшей в трубку.

Данные измерений занесите в табл. 12.

Таблица 12

ρ , кг/м ³	g , м/с ²	L_1 , м	$H \cdot 10^3$, м	$\Delta L \cdot 10^{-3}$, м	$p_{\text{атм}} \cdot 10^2$, Па

Паскаль равен давлению (механическому напряжению), вызываемому силой, равной одному ньютону, равномерно распределённой по нормальной к ней поверхности площадью один квадратный метр.

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2 = 1 \text{ Дж/м}^3 = 1 \text{ кг/(м}\cdot\text{с}^2\text{)}.$$

$$\text{Гектопаскаль} = 1 \cdot 10^2 \text{ Па} = 1 \text{ гПа} = 1 \text{ hPa}.$$

$$1 \text{ hPa} = 0.75006375541921 \text{ mmHg}. \quad 1 \text{ mmHg} = 1.33322 \text{ hPa}.$$

Сопоставьте значение давления, полученное опытным путём, с показаниями барометра-анероида. Перед считыванием показаний барометра необходимо слегка постучать по его корпусу.

Контрольные вопросы

- Что называется уравнением состояния?
- В каких агрегатных состояниях вещества находятся в природе?
- Какие процессы называются изотермическими?
- Какому закону подчиняется изотермический процесс?
- Что называется абсолютной температурной шкалой?

Лабораторная работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОПРОЦЕССОВ

Цель работы: экспериментально установить взаимосвязь объёма и давления газа определённой массы в различных его состояниях; экспериментально установить взаимосвязь объёма и температуры газа определённой массы в различных его состояниях; экспериментально установить взаимосвязь давления и температуры газа определённой массы в различных его состояниях.

Оборудование: трубка-резервуар с двумя кранами; термометр; манометрическая трубка; мерный цилиндр с водой; калориметр; линейка; измерительная лента; лоток, стержень штатива с муфтой и лапкой; укладочный короб.

Дополнительное оборудование: барометр-анероид, линейка.

Общие сведения и методические указания

Изопроцессами называются термодинамические процессы, протекающие в системе с неизменной массой при постоянном значении одного из параметров состояния системы.

Изохорическим (изохорным) процессом называется термодинамический процесс, протекающий при постоянном объёме системы ($V = \text{const}$).

Изобарическим (изобарным) называется процесс, при котором давление сохраняется постоянным ($p = \text{const}$).

Изотермическим (изотермным) называется термодинамический процесс, протекающий при неизменной температуре ($T = \text{const}$).

Изотермический процесс в идеальном газе подчиняется *закону Бойля–Мариотта*: для данной массы газа при неизменной температуре произведение численных значений давления и объёма есть величина постоянная:

$$pV = \text{const}.$$

В термодинамической диаграмме p – V изотермический процесс изображается кривой, называемой *изотермой*.

Для изобарного процесса в идеальном газе справедлив *закон Гей-Люссака*: при постоянном давлении объём данной массы газа прямо пропорционален его термодинамической температуре.

$$\text{Так как } T = t + 1 / \alpha_V = t + 273,15,$$

$$V = V_0(1 + \alpha_V t) = V_0[1 + \alpha_V(T - 1 / \alpha_V)] \text{ или } V = \alpha_V V_0 T = V_0 T / T_0,$$

где V_0 – объём идеального газа при температуре $T_0 = 273,15$ К, $\alpha_V = 1 / T_0 = 1 / 273,15$ град⁻¹ – *термический коэффициент объёмного расширения*, который считается одинаковым для всех идеальных газов.

Из формулы $\alpha_V = V / (V_0 T)$ следует, что α_V характеризует относительное увеличение объёма газа при изменении его температуры на один градус. В диаграмме V – T изобарный процесс изображается отрезком прямой. Прямая не может быть проведена в области низких абсолютных температур, близких к температуре вырождения газа.

Изохорный процесс в идеальном газе описывается *законом Шарля*: при постоянном объёме давление данной массы газа прямо пропорционально его термодинамической температуре:

$$p = p_0(1 + \alpha_p t), \text{ или } p = \alpha_p p_0 T = p_0 T / T_0,$$

где p_0 – давление газа при температуре $T_0 = 273,15$ К, $\alpha_p = p / (p_0 T)$ – *термический коэффициент давления*, который характеризует относительное увеличение давления газа при нагревании его на один градус.

В диаграмме p – T изохорный процесс изображается отрезком прямой, которую нельзя продолжить в область низких температур, близких к температуре вырождения, где законы идеальных газов неприменимы.

1. Исследование изотермического процесса.

Объектом изучения в работе является воздух, находящийся внутри прозрачной эластичной трубки-резервуара. В исходном состоянии он имеет следующие параметры. Давление равно атмосферному. Объём равен объёму внутренней полости трубки. Температура соответствует температуре воздуха в помещении. Второе состояние получают путём сжатия. Для этого кран на одном конце трубки закрывают. Второй кран остаётся открытым. Конец трубки с открытым краном погружают в мерный цилиндр, в который предварительно налили воду комнатной температуры, так, чтобы её уровень не доходил до края цилиндра на 15...20 мм. Необходимо подчеркнуть, что вода должна быть обязательно **комнатной температуры**. В противном случае, в результате теплообмена с водой, температура воздуха в трубке изменится и процесс не будет изотермическим. Кран погружают до дна цилиндра.

Через открытый кран в трубку заходит вода и сжимает воздух до тех пор, пока его давление не сравняется с внешним давлением. Таким образом, во втором состоянии параметры воздуха окажутся следующими. Объём будет равен объёму внутренней полости за вычетом объёма воды, вошедшей в трубку. Давление возрастёт на величину гидростатического давления столба воды в цилиндре. Температура не изменится.

Общий вид экспериментальной установки для выполнения работы показан на рис. 8.

Объём внутренней полости трубки определяется произведением площади поперечного сечения на длину. Поскольку поперечное сечение трубки не меняется, объём воздуха удобно измерять в условных единицах. За условную единицу принимают единицу длины воздушного столба.

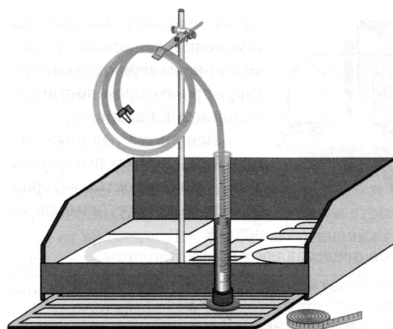


Рис. 8

Гидростатическое давление $p = \rho gh$

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н} / 1 \text{ м}^2; 1 \text{ Н} = 1 \text{ кг м/с}^2;$$

$$1 \text{ мм рт. ст.} = 101325/760 \text{ Па.}$$

2. Исследование изобарного процесса.

Исходное положение приборов перед проведением эксперимента показано на рис. 9.

Объектом изучения является воздух внутри прозрачной эластичной трубки, на концах которой установлены два крана. В ходе работы наблюдают его изобарное сжатие при охлаждении.

Измерив объём и температуру воздуха до и после охлаждения, определяют отношение объёма к температуре в двух состояниях и делают вывод о том, насколько наблюдаемое изменение параметров газа соответствует закону Гей-Люссака.

При подготовке опыта трубку укладывают виток к витку в наружный стакан калориметра. Кран на нижнем конце трубки предварительно закрывают. Кран, который после укладки окажется сверху, должен оставаться открытым. Затем в стакан наливают воду, нагретую до температуры 55...60 °С. Чтобы вода не остыла, разливать её следует только после того, как трубка размещена в калориметре. Количество воды должно быть таким, чтобы она заполнила стакан калориметра до уровня, при котором верхний конец незакрытого крана оказался бы погружённым не более, чем на 5...10 мм. При использовании стандартного калориметра на это потребуется примерно 350 мл воды. Холодную воду для второй части опыта берут непосредственно из водопровода.

Благодаря протяжённой поверхности трубки, воздух в ней быстро прогреется по всему объёму. При этом он будет расширяться, и из открытого крана станут выделяться пузырьки. Образовываться они будут до тех пор, пока температуры воды и воздуха в трубке не сравняются. При указанных значениях температуры теплой воды это произойдёт примерно через полторы – две минуты.

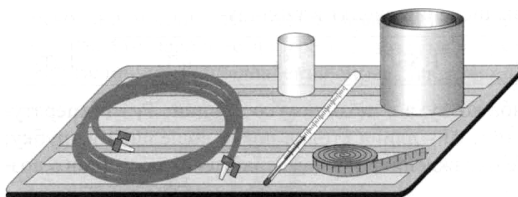


Рис. 9

После охлаждения холодной водой второй раз определяют параметры воздуха в трубке. При охлаждении объём воздуха уменьшится, и внутри трубки будет втянуто некоторое количество воды. Уровень воды в стакане должен быть таким, как и в первом нагретом состоянии, а значит и давление остаётся прежним.

3. Исследование изохорного процесса.

В ходе работы определяют давление и температуру определённого количества газа в двух его состояниях. Причём во второе состояние газ переводят из первого путём охлаждения при постоянном объёме. Сравнивая отношения давления к температуре в двух состояниях, убеждаются в том, что изохорное изменение параметров происходит в соответствии с законом Шарля.

Предварительная подготовка к работе сводится к закреплению лапки штатива на стержне на высоте около 35 см от поверхности стола.

Исследуемым газом является нагретый воздух, находящийся внутри эластичной трубки-резервуара с кранами. Один кран трубки закрывают, другой оставляют открытым. Для нагревания трубку помещают в стакан калориметра. Укладывают её начиная концом с закрытым краном виток к витку, вплотную к стенке стакана. Затем в калориметр наливают тёплую воду. Уровень воды должен располагаться не более чем в 5...10 мм над концом с открытым краном.

Низкий уровень воды над краном необходим для того, чтобы в дальнейшем можно было пренебречь величиной гидростатического давления воды при определении давления воздуха в трубке. Температура тёплой воды не должна превышать комнатную температуру более чем на 10 – 12 градусов. При большей разнице температур изменение давления воздуха в трубке-резервуаре будет столь значительным, что длины манометрической трубки не хватит для его измерения.

При контакте с тёплой водой воздух в трубке станет прогреваться. Протяжённая поверхность трубки обеспечит равномерный прогрев всего воздушного столба за полторы – две минуты. При нагреве объём воздуха будет увеличиваться, и из крана станут выходить пузырьки. Образовываться они будут, пока температура в трубке не сравняется с температурой воды. Как только выделение пузырьков прекратится, кран закрывают.

Воздух, оставшийся в трубке, и будет исследуемым газом в исходном или первом состоянии. Его температуру определяют по температуре воды в стакане.

Давление при образовании последнего пузырька равно сумме атмосферного давления и давления столба воды над краном. Но так как

уровень воды всего на несколько миллиметров выше крана, вторым слагаемым можно пренебречь и считать, что давление прогретого воздуха в трубке равно атмосферному давлению. Величину этого давления определяют по барометру-анероиду.

Второе термодинамическое состояние воздуха получают путём его охлаждения. Верхний кран закрывают, трубку извлекают из воды и в виде бухты вешают на лапку штатива (рис. 10). Одновременно из воды вынимают и термометр. При контакте с более холодным воздухом класса воздух в трубке станет остывать. Поскольку разность температур по условию проведения опыта небольшая, процесс охлаждения займёт 6–7 мин. Это время можно использовать для оформления результатов первой части эксперимента.

Затем трубку-резервуар соединяют с манометрической трубкой, соблюдая следующую последовательность действий. Под лапку штатива ставят мерный цилиндр, куда предварительно надо налить 10 – 15 мл воды комнатной температуры.

Свободный конец манометрической трубки опускают до дна цилиндра.

В верхней части трубку зажимают лапкой штатива, но так, чтобы её внутренний канал не закрылся полностью, а нижний конец остался бы погружённым в воду.

Только после этого манометрическую трубку с помощью патруб-ка соединяют с краном трубки-резервуара.

Кран плавно открывают. Давление остывшего воздуха стало меньше атмосферного, поэтому в манометрическую трубку будет втягиваться вода до тех пор, пока давление водяного столба не скомпенсирует уменьшение давления в трубке.

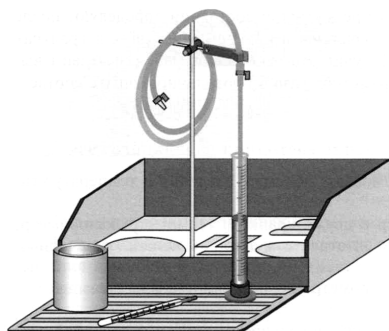


Рис. 10

О выравнивании температур воздуха снаружи и внутри трубки-резервуара можно судить по поведению поверхности воды, втянутой в манометрическую трубку. Если с течением времени её уровень не меняется, это означает, что достигнуто температурное равновесие и можно приступать к измерению параметров во втором состоянии.

Температура воздуха определяется по показанию термометра, а давление – по разности атмосферного давления и давления водяного столба, которое рассчитывают, измерив разницу уровней воды в манометрической трубке и цилиндре.

Отношение давления к температуре в каждом состоянии определяют после того, как данные измерений будут выражены в СИ: температура – в градусах Кельвина, давление в Паскалях. Получив эти отношения, делают вывод о том, насколько изменение параметров газов в проделанном опыте соответствует закону Шарля.

Порядок выполнения работы

1. Исследование изотермического процесса.

В исходном состоянии определите давление по показаниям барометра-анероида, а объём – измерительной лентой по длине внутренней полости трубки.

Во втором состоянии закройте кран на одном конце трубки, а второй оставьте открытым. В мерный цилиндр налейте воду комнатной температуры так, чтобы её уровень не доходил до края цилиндра на 15 – 20 мм. Конец трубки с открытым краном погрузите в мерный цилиндр.

Давление воздуха во втором состоянии равно сумме атмосферного и гидростатического давлений. Линейкой измерьте разность уровней воды в мерном цилиндре и в трубке. По формуле для расчёта гидростатического давления жидкости вычислите давление столба воды.

Для определения объёма воздуха во втором состоянии линейкой измерьте длину столба воды, вошедшей в трубку. Из измеренной ранее длины трубки вычтите длину столба воды.

Данные измерений занесите в табл. 13.

Таблица 13

p_1 , Па	l_1 , мм	h_b , мм	p_b , Па	p_2 , Па	l , мм	$p_1 l_1$	$p_2 l_2$

В таблице: p_1 – давление воздуха в исходном состоянии; l_1 – длина воздушного столба в исходном состоянии; h_b – разность уровней воды в цилиндре и трубке; p_b – дополнительное давление столба воды; p_2 – давление воздуха во втором состоянии; l – длина столба воды в трубке; l_2 – длина воздушного столба после сжатия.

Найдите произведения давления на объём воздуха в первом и втором состояниях.

Сравните полученные числа.

Сделайте вывод о справедливости закона Бойля–Мариотта.

2. Исследование изобарного процесса.

Определите объём внутренней полости трубки.

Уложите трубку виток к витку в калориметр. Нижний кран закройте, а верхний оставьте открытым. Налейте воду, нагретую до 55...60 °С так, чтобы верхний конец незакрытого крана был погружён не более, чем на 5 – 10 мм. Подождите 1,5 – 2 мин.

В качестве исходных параметров принимают объём и температуру прогретого воздуха в трубке. Температуру воздуха определите по температуре воды, измерив её лабораторным термометром сразу после прекращения выделения пузырьков. Объём воздуха в этот момент равен объёму внутренней полости трубки. Изменение длины самой трубки из-за нагрева не превысит 1% и на точности полученных результатов практически не скажется.

Параметры во втором состоянии газа измеряют после его охлаждения. Для этого тёплую воду слейте, придерживая трубку внутри стакана, и налейте такое же количество холодной воды. При замене воды верхний кран тоже закройте, а затем откройте. После смены воды подождите полторы – две минуты. За это время в сосуде вновь установится тепловое равновесие. Затем снова определите температуру воздуха по температуре воды. После второго измерения температуры верхний кран закройте, холодную воду слейте, а трубку извлеките из калориметра. Объём охлаждённого воздуха определите по разности объёмов полости трубки и воды в ней, которая втянута внутрь трубки при охлаждении.

Результаты измерений занесите в табл. 14.

Таблица 14

l_1 , мм	T_1 , К	Δl , мм	l_2 , мм	T_2 , К	l_1/T_1	l_2/T_2

В таблице: l_1 – длина столба воздуха в исходном состоянии; T_1 – температура воздуха в исходном состоянии; Δl – длина столба воды, вошедшей в трубку; l_2 – длина столба воздуха после охлаждения; T_2 – температура охлаждённого воздуха.

Определите отношение объёма к температуре в двух состояниях.

Сделайте вывод о том, насколько наблюдаемое изменение параметров газа соответствует закону Гей-Люссака.

3. Исследование изохорного процесса.

Закрепите лапки штатива на стержне на высоте около 35 см от поверхности стола.

Закройте один кран трубки-резервуара, а другой оставьте открытым. Поместите трубку-резервуар в стакан калориметра. Уложите трубку-резервуар в калориметр. Налейте в калориметр тёплую воду так, чтобы уровень воды располагался на 5 – 10 мм над концом трубки-резервуара с открытым краном.

После прекращения выделения пузырьков закройте и второй кран трубки-резервуара. Определите давление воздуха в трубке-резервуаре по барометру-анероиду. Определите температуру воздуха в трубке-резервуаре по температуре воды.

Извлеките трубку-резервуар из воды и подвесьте её на лапке штатива. В мерный цилиндр налейте 10...15 мл воды комнатной температуры. Свободный конец манометрической трубки опустите на дно цилиндра. Жазмите манометрическую трубку лапкой штатива в верхней части. Соедините манометрическую трубку с краном трубки-резервуара.

Плавно откройте кран.

Измерьте температуру воздуха. Измерьте уровни воды в манометрической трубке и цилиндре.

Результаты измерений занесите в табл. 15.

В таблице p_1 – давление воздуха в исходном состоянии; T_1 – температура воздуха в исходном состоянии; h_b – высота подъёма воды в манометрической трубке; p_b – гидростатическое давление столба воды в манометрической трубке; p_2 – давление воздуха во втором состоянии; T_2 – температура воздуха во втором состоянии.

Таблица 15

p_1 , Па	T_1 , К	h_b , мм	p_b , Па	p_2 , Па	T_2 , К	p_1/T_1	p_2/T_2

Вычислите давление воздуха в трубке-резервуаре как разность атмосферного давления и давления водяного столба (разность уровней воды в манометрической трубке и цилиндре)

Найдите отношения давления к температуре в каждом состоянии.

Сделайте вывод о том, насколько наблюдаемое изменение параметров газа соответствует закону Шарля.

Контрольные вопросы

- Какие процессы называют изопроцессами?
- Сформулируйте закон Бойля–Мариотта.
- Сформулируйте законы Гей-Люссака и Шарля.
- Укажите связь между температурой по шкале Кельвина и шкале Цельсия?

Лабораторная работа № 6

СБОРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ. ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКАХ ЦЕПИ

Цель работы: формирование умений монтажа электрических цепей и измерения силы тока амперметром; формирование умений монтажа электрических цепей и измерения напряжения вольтметром.

Оборудование: выпрямитель ВС-4,5; амперметр; вольтметр; соединительные провода; элементы планшета № 1: резистор R_1 , переменный резистор R_n , ключ.

Общие сведения и методические указания

Приступая к сборке электрической цепи, необходимо открыть откидывающуюся крышку внутри корпуса минолаборатории и извлечь из отсека необходимое количество соединительных проводов, а также другие детали, необходимые для проведения опыта. Невостребованные провода и детали возвращаются в отсек, после чего он закрывается крышкой. На крышке размещают измерительные приборы, которые должны быть использованы в эксперименте. Источник электропитания во время опыта, как и при хранении, остаётся в левой нише корпуса.

Сначала в лабораторной работе необходимо собрать электрическую цепь, схема которой показана на рис. 11, большинство элементов этой схемы закреплено на планшете.

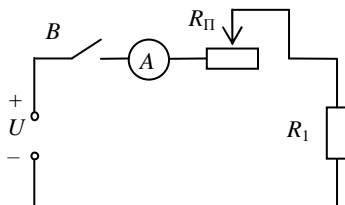


Рис. 11

Внимательно рассмотрите планшет и определите, какие элементы электрических цепей на нём представлены. Ключ перед сборкой цепи необходимо разомкнуть. Средний вывод переменного резистора соединён с его подвижным контактом, перемещая который можно менять электрическое сопротивление между средним и крайними выводами. Гнёзда, расположенные рядом с каждым из элементов, используются для подключения этого элемента в цепь. Установите, какие штекеры используются для соединения с элементами планшета, измерительными приборами и источником электропитания.

Поймите смысл знаков «+» и «-», нанесённых на верхнюю панель источника питания рядом с гнёздами. Убедитесь, что сразу после подключения вилки к розетке, загорается индикаторная лампочка на его корпусе.

Свечение этой лампы указывает на то, что гнёзда источника находятся под напряжением. Если после подключения вилки лампа не загорелась, необходимо обратиться к преподавателю. После того, как электрическая цепь полностью собрана и проверена преподавателем, источник электропитания подключите к электросети. Сразу после завершения опыта источник отключите от электросети.

Ознакомьтесь с устройством лабораторного амперметра. Поймите значение знаков, нанесённых на корпусе рядом с клеммами на шкале прибора. Клемма красного цвета, помеченная знаком «+», должна подключаться к тому участку цепи, который соединён с положительным полюсом источника электропитания. Рассмотрите шкалу амперметра, определите цену её деления. Определите, в каких единицах измеряет прибор силу тока, каково максимальное значение силы тока, которое может измерить данный прибор.

Ознакомьтесь с устройством вольтметра. Вначале рассмотрите вольтметр и по знакам, нанесённым на корпусе, определите клемму, которой прибор соединяется с концом участка цепи, более близким к положительному полюсу источника тока, и ту, которой он соединяется с концом участка, более близким к отрицательному полюсу источника.

Рассмотрите шкалу вольтметра и объясните значение знаков, нанесённых на ней, определите цену её деления. Установите, в каких единицах прибор измеряет напряжение, каково максимальное значение напряжения, которое может измерить данный прибор. Отметьте, в чём разница подключения амперметра и вольтметра к исследуемой цепи.

Порядок выполнения работы

1. Измерение силы тока.

Соберите электрическую цепь (рис. 11).

Движок переменного резистора переведите в одно из крайних положений. После проверки собранной цепи подключите источник к розетке и, убедившись в наличии напряжения на его гнездах, замкните ключ, определите и запишите показание амперметра. Результаты занесите в табл. 16.

Разомкните ключ и измените электрическую цепь так, чтобы измерить силу тока на участке между резистором и переменным резистором (рис. 12).

Разомкните ключ и измените электрическую цепь так, чтобы измерить силу тока на участке между резистором и источником питания (рис. 13).

Таблица 16

№ схемы	I , А (1-е крайнее положение)	I , А (среднее положение)	I , А (2-е крайнее положение)
1			
2			
3			

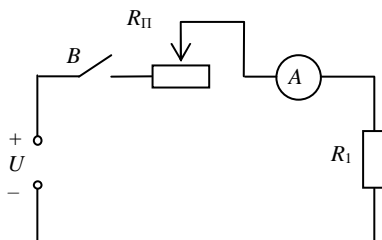


Рис. 12

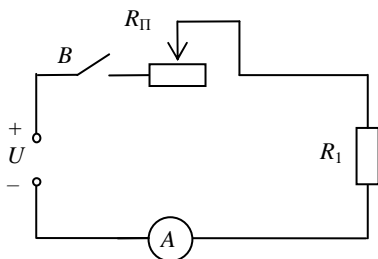


Рис. 13

Сравните результаты трёх измерений и сделайте вывод о том, как соотносятся значения тока на различных участках последовательной цепи.

Движок переменного резистора переведите в среднее положение и повторите измерения тока в тех же точках цепи. Движок переменного резистора переводите в другое крайнее положение. Повторите измерения тока.

2. Измерение напряжения.

Соберите цепь, показанную на рис. 14.

Источник электропитания подключается к электросети только тогда, когда монтаж завершён и проверен преподавателем. После замыкания ключа установите такой режим работы цепи, при котором напряжение на лампе составит 2 В.

Регулировку режима производят изменением сопротивления переменного резистора. Запишите значение напряжения на лампе, измерьте и запишите напряжение на переменном резисторе (между точками 2 и 3 схемы), а затем общее напряжение, приложенное к цепи (между точками 1 и 3). Вычислите сумму напряжений U_{12} и U_{23} и сравните её со значением напряжения U_{13} .

Проведите ещё две серии измерений, изменив напряжение на лампе вначале до 2,5 В, а затем до 3 В. Результаты занесите в табл. 17.

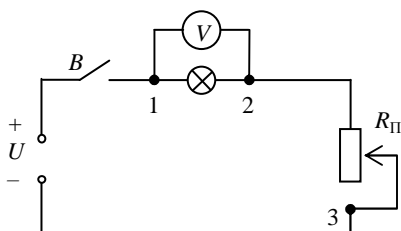


Рис. 14

Таблица 17

$U_n, В$	$U_{12}, В$	$U_{23}, В$	$U_{13}, В$
2			
2,5			
3			

Сформулируйте правило подключения вольтметра к тому участку цепи, напряжение на котором необходимо измерить, а также обобщите данные измерений напряжения на различных участках цепи для трёх режимов работы.

Контрольные вопросы

- Какие виды зарядов существуют в природе?
- Сформулируйте закон взаимодействия точечных зарядов?
- Что называется электрическим током?
- Что называется силой тока?
- Какой ток называют постоянным?
- Что называется напряжением на участке цепи?
- Как формулируется закон Ома?
- Что называется сопротивлением проводника, в каких единицах оно измеряется?
 - Как зависит сопротивление проводника от его длины, площади поперечного сечения и материала?

Лабораторная работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО, ПАРАЛЛЕЛЬНОГО И СМЕШАННОГО СОЕДИНЕНИЙ ПРОВОДНИКОВ

Цель работы: экспериментально доказать утверждения о том, что:

- в последовательной цепи значение силы тока одинаково на любом участке. Общее напряжение, приложенное к цепи, равно сумме напряжений на отдельных участках;
- в параллельной цепи общее значение силы тока равно сумме значений силы тока в каждой из ветвей. Напряжение на каждой из параллельных ветвей цепи одинаково.

Сформировать практические умения по исследованию разветвлённых электрических цепей.

Оборудование: выпрямитель ВС-4,5; амперметр; вольтметр; соединительные провода; элементы планшета № 1: ключ, постоянные резисторы R_1 и R_2 , переменный резистор $R_{\text{п}}$.

Общие сведения и методические указания

В лабораторной работе проводится исследование последовательного (рис. 15), параллельного (рис. 16) и смешанного (рис. 17) соединения проводников. Измеряется напряжение и ток в различных участках цепи. При исследовании смешанного соединения анализируется схема и выделяется на ней участок с параллельным подключением элементов. В данной схеме таким участком является часть цепи, содержащая резисторы R_1 и R_2 . Затем замечают, что последовательно с этим участком соединён другой участок, содержащий переменный резистор $R_{\text{п}}$. Исследование этой разветвлённой цепи в данной работе сводится к измерению силы тока в точках 1, 2 и 3, а также силы тока, протекающего через резисторы R_1 и R_2 . Кроме того, нужно измерить напряжение между точками 1–2, 2–3 и 1 – 3.

Порядок выполнения работы

Работа проводится в три этапа.

1. В ходе первого исследуют закономерности распределения напряжений и тока в последовательной цепи. Схема экспериментальной установки для этой части работы показана на рис. 15.

Измерьте напряжение U_1 на резисторе R_1 , напряжение U_2 на резисторе R_2 и общее напряжение U , приложенное к двум резисторам. Отключите вольтметр и измерьте амперметром значение силы тока на

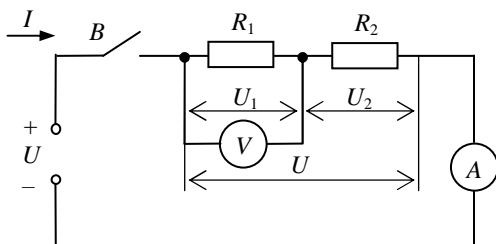


Рис. 15

Таблица 18

$I_1, \text{ A}$	$I_2, \text{ A}$	$I_3, \text{ A}$	$U_1, \text{ B}$	$U_2, \text{ B}$	$U_1 + U_2, \text{ B}$	$U, \text{ B}$

трёх участках цепи: между резистором и отрицательным полюсом источника электропитания (I_1), между двумя резисторами (I_2), а также между резистором и положительным полюсом источника (I_3). Данные измерений занесите в табл. 18.

По итогам измерений и вычислений сделайте вывод о справедливости утверждений, проверка которых являлась целью данной работы.

2. Изучение закономерностей параллельной цепи.

Соберите установку по схеме, показанной на рис. 16.

Измерьте значение общей силы тока I .

Соедините амперметр последовательно с резистором R_1 и определите силу тока I_1 в этой ветви.

Измените схему и определите силу тока I_2 в ветви с резистором R_2 .

Запишите показания вольтметра U_1 , подключив его непосредственно к выводам резистора R_1 (как показано на схеме), потом к резистору R_2 (U_2) и к гнездам, на которые подаётся напряжение от источника электропитания (U). Данные измерений занесите в табл. 19.

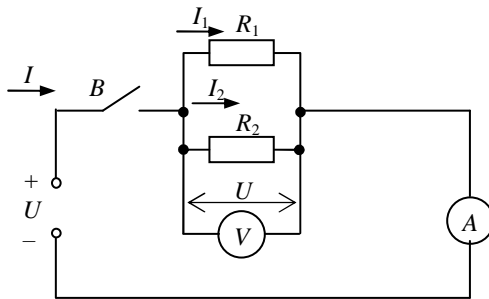


Рис. 16

Таблица 19

$I_1, \text{ A}$	$I_2, \text{ A}$	$I_1 + I_2, \text{ A}$	$I, \text{ A}$	$U_1, \text{ B}$	$U_2, \text{ B}$	$U, \text{ B}$

Вычислите суммарное значение напряжений на двух участках цепи для первой серии опытов и суммарное значение силы тока в двух ветвях цепи во второй серии.

По итогам измерений и вычислений сделайте вывод о справедливости утверждений, проверка которых являлась целью данной работы.

3. Исследование смешанного соединения проводников.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 17.

Ручку переменного резистора установите в положение, при котором его сопротивление максимальное.

Измерьте силу тока в точках 1 (I_1), 2 (I_2) и 3 (I_3), а также силу тока, протекающего через резисторы R_1 (I_4) и R_2 (I_5). Кроме того, измерьте напряжение между точками 1–2, 2–3 и 1 – 3.

Данные измерений занесите в табл. 20.

Поверните ручку переменного резистора примерно на 1/3 её полного хода, уменьшая сопротивление участка цепи между точками 1–2, и повторите измерения тока и напряжения в тех же точках.

Данные измерений занесите в таблицу.

Проведите опыт ещё раз, вновь уменьшив примерно на 1/3 сопротивление переменного резистора.

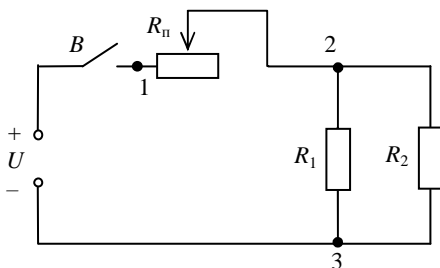


Рис. 17

Таблица 20

№ опыта	I_1, A	I_2, A	I_3, A	I_4, A	I_5, A	U_{12}, B	U_{23}, B	U_{13}, B
1								
2								
3								

Проанализируйте результаты, полученные в каждом из опытов. Сопоставьте между собой значения токов I_1 , I_2 и I_3 , а также сравните эти значения с суммой $I_4 + I_5$. Кроме того, сравните между собой значения напряжений U_{12} , U_{23} и U_{13} .

Контрольные вопросы

- Какая электрическая цепь является разветвлённой?
- Что называется узлом разветвлённой цепи?
- Что называется сопротивлением проводника, в каких единицах оно измеряется?
- Чему равна сила тока при последовательном (параллельном) соединении проводников?
- Чему равно напряжение при последовательном (параллельном) соединении проводников?
- Чему равно сопротивление при последовательном (параллельном) соединении проводников?

Лабораторная работа № 8

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА, СВЕТОДИОДА И ФОТОРЕЗИСТОРА

Цель работы: исследовать зависимость силы тока полупроводникового диода от величины и полярности приложенного к нему напряжения; определить основные параметры светодиода.

Оборудование: выпрямитель ВС-4,5; миллиамперметр; вольтметр; соединительные провода; элементы планшета № 2: ключ, резистор R , переменный резистор $R_{\text{п}}$, диод D_1 , светодиод D_2 , фоторезистор $R_{\text{ф}}$.

Общие сведения и методические указания

В первой части работы закрепляются и получают экспериментальное подтверждение теоретические знания об особенностях протекания электрического тока в полупроводниковом диоде.

Для получения прямой (рис. 18) и обратной (рис. 19) ветвей вольтамперной характеристики диода используются различные схемы. Резистор R ограничивает ток диода, чем обеспечивает его сохранность. Так как сопротивления диода при прямом и обратном включениях существенно отличаются, то применяются разные схемы подключения миллиамперметра.

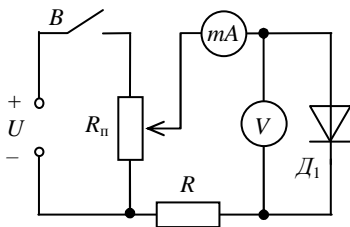


Рис. 18

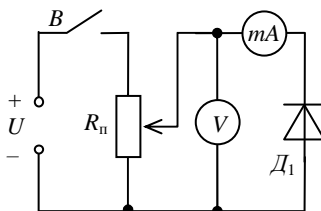


Рис. 19

Значение обратного тока диода не превышает цены деления шкалы миллиамперметра. Поэтому исследуется только **прямая** ветвь вольтамперной характеристики диода. Исследование обратной ветви вольтамперной характеристики диода проводится только на качественном уровне.

При исследовании светодиода основными параметрами светодиода является потребляемый ток и напряжение, при котором происходит свечение светодиода. Светодиоды являются полупроводниковым прибором, в которых электрическая энергия преобразуется в световую энергию. Они изготавливаются на основе арсенида-фосфида галлия, а не на основе кремния или германия, как выпрямительные диоды.

Эти диоды излучают свет при протекании через них прямого тока. Цвет свечения зависит от типа светодиода. Яркость свечения для некоторых светодиодов может достигать очень большой величины.

Светодиоды широко применяются в современной технике: для индикации в измерительных приборах и бытовой технике, в быстродействующих системах связи. Преобразуя электрический сигнал в световые импульсы (модулируя яркость свечения светодиода), можно передавать информацию по оптоволоконному кабелю.

Схема исследования светодиода представлена на рис. 22. Свечение диода наблюдается только при прямой полярности приложенного напряжения.

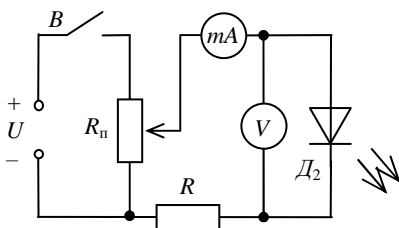


Рис. 20

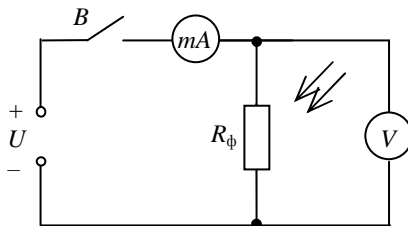


Рис. 21

Исследование зависимости сопротивления фоторезистора от освещённости проводят на качественном уровне, наблюдая за изменением тока в цепи при изменении светового потока, проникающего в окно фоторезистора. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 21.

Порядок выполнения работы

1. Исследование полупроводникового диода.

Соберите установку по схеме рис. 18. Ручку переменного резистора установите в крайнее левое положение. Изменяя напряжение от минимального до максимального через 0,2 В, измерьте значения напряжения и тока. Результаты измерений занесите в табл. 21.

Соберите установку по схеме рис. 19. Изменяя напряжение от минимального до максимального, измерьте значения напряжения и тока. Результаты занесите в тетрадь.

Сравните результаты, полученные при прямом и обратном включении диода. Сделайте вывод о том, как влияет полярность приложенного к диоду напряжения на силу тока, протекающего через диод.

Постройте график зависимости силы тока от напряжения для прямого включения диода.

2. Исследование светодиода.

Соберите установку по схеме рис. 20. Плавно меняя напряжение на светодиоде с помощью потенциометра R_n , установите, при каком

Таблица 21

U , В							
I , мА							

значении напряжения U и силе тока I начинается свечение. Результат измерений занесите в тетрадь. Увеличивая напряжение, сделайте вывод о влиянии силы тока, протекающего через диод, на яркость его свечения.

3. Исследование фоторезистора.

Соберите установку по схеме рис. 21. Замкните ключ и измерьте показания тока в пределах 0...5 мА. Затем окно фоторезистора перекройте листочком чёрной бумаги. Убедитесь в том, что сила тока в цепи с фоторезистором тем больше, чем больше освещённость его светочувствительного слоя. Сделайте вывод о причине изменения тока, о влиянии освещённости на сопротивление фоторезистора.

Контрольные вопросы

- Что происходит в контакте полупроводников n - и p -типов?
- Для чего используется полупроводниковый диод?
- Что называется пороговым напряжением светодиода?
- Что называется внутренним фотоэлектрическим эффектом?

Лабораторная работа № 9

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЙ ОТРАЖЕНИЯ И ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА

Цель работы: установить зависимость угла отражения света от угла падения на зеркало; экспериментально проверить утверждение о том, что отношение синусов углов падения и преломления есть величина постоянная для двух данных сред.

Оборудование: пластина с параллельными гранями; коврик; булавки (3 шт.).

Дополнительное оборудование: транспортир; остро отточенный карандаш; лист бумаги; линейка.

Общие сведения и методические указания

При выполнении работы экспериментально подтверждается один из основных законов геометрической оптики – закон отражения света. Ход падающего и отражённого лучей в пространстве определяют с помощью булавок. Метод использует свойство света распространяться в земных условиях прямолинейно. Если в оптически однородном про-

странстве удаётся определить две точки, через которые проходит световой луч, то можно утверждать, что этот луч распространяется вдоль прямой линии, соединяющей эти точки. Точки пространства, через которые проходит световой луч до отражения и после отражения от зеркала, фиксируют с помощью булавок, которые втыкают в коврик из пористого материала.

Также в работе исследуется явление преломления света при его распространении из оптически менее плотной среды в среду, более плотную.

В качестве преломляющей среды в данной работе рассматривается вещество, из которого изготовлена прозрачная пластинка с параллельными гранями. Направления распространения падающего и преломлённого лучей определяют, используя булавки, втыкаемые в коврик из пористого материала.

Порядок выполнения работы

1. Исследование явления отражения света.

В качестве плоского зеркала в работе используется зеркальный слой основания пластины с параллельными гранями (рис. 22).

Пластину установите на коврик из пористого материала на одну из боковых граней так, чтобы её зеркальная поверхность была обращена к наблюдателю.

Опыт проводят в следующей последовательности.

Коврик накройте листом бумаги и установите на нём пластину на удалении 2–3 см от одного из краёв, зеркальным слоем в сторону наблюдателя. Вдоль отражающей поверхности зеркала на листе проведите линию.

Вплотную к зеркалу в средней его части воткните в бумажный лист булавку. На возможно большем удалении от первой воткните вторую булавку. Линия, соединяющая булавки, должна быть направлена под острым углом к поверхности зеркала.

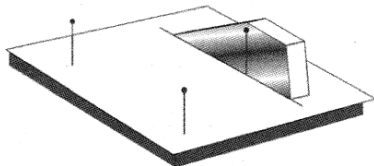


Рис. 22

Таблица 22

Угол отражения, град.				
Угол падения, град.				

Рассматривая поверхность зеркала так, чтобы взгляд скользил вдоль поверхности бумаги, найдите положение, при котором изображение второй булавки в зеркале окажется закрытым первой булавкой. Сохраняя найденное направление взгляда, воткните третью булавку так, чтобы она закрыла собой первую. Добившись этого результата, отметьте на листе точки, куда были воткнуты булавки. Затем булавки и зеркало удалите с бумажного листа. В точке, где находилась первая булавка, восстановите перпендикуляр к линии, вдоль которой располагалась отражающая поверхность зеркала, а также соедините линиями положения первой и второй булавки, а потом первой и третьей.

Измерьте транспортиром углы падения и отражения. Значения углов занесите в табл. 22.

Опыт повторите 3–4 раза, меняя положение второй булавки так, чтобы угол между поверхностью зеркала и линией, соединяющей первую и вторую булавки, каждый раз был другим.

Сравните значения углов отражения и падения, полученные в каждом из опытов, и сделайте вывод об их равенстве. При необходимости обратите внимание на факторы, влияющие на расхождение экспериментальных результатов с теорией.

Сделайте вывод о справедливости закона отражения света.

2. Исследование явления преломления света.

Последовательность действий, рекомендуемая для выполнения экспериментальной части работы.

1. Коврик накройте бумажным листом и положите на его середину прозрачную пластину.

2. Обведите карандашом контур основания пластины. В дальнейшем, выполняя опыт, следите за тем, чтобы пластина не смещалась за пределы контура.

3. Воткните булавку вплотную к середине одной из параллельных граней.

4. Воткните вторую булавку по ту же сторону от пластины на удалении 5 – 7 см от первой так, чтобы линия, соединяющая обе булавки, оказалась направленной под углом примерно 60° относительно грани пластины.

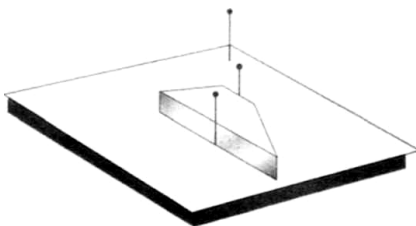


Рис. 23

5. Наблюдайте булавки сквозь противоположную грань пластины. Воткните третью булавку вплотную к этой противоположной грани пластины так, чтобы она закрыла собой первую и вторую. Расположение булавок и пластины на листе на этом этапе опыта должно соответствовать рис. 23.

6. Удалите вторую и третью булавки и пометьте на листе места, где они были воткнуты.

7. Повторите опыт дважды, втыкая вторую булавку так, чтобы линия, соединяющая её с первой булавкой, была направлена к грани сначала под углом около 45° , а затем около 30° .

8. Удалите с бумажного листа пластину и булавки и соедините линиями положения булавок во всех трёх опытах.

9. Восставьте перпендикуляры по обе стороны контура пластины в той точке, где была воткнута первая булавка.

10. Измерьте транспортиром и занесите в табл. 23 значения углов падения и преломления, полученные при проведении каждого из трёх опытов.

11. Вычислите значения синусов углов.

12. Найдите отношения синусов углов падения к синусам углов преломления.

Таблица 23

№ опыта	α , град	β , град	$\sin \alpha$	$\sin \beta$	$\sin \alpha / \sin \beta$
1					
2					
3					

Сравните полученные отношения и сделайте вывод о справедливости утверждения о том, что отношение синусов углов падения и преломления есть величина постоянная для двух данных сред.

В случае значительного расхождения полученных значений в последнем столбце таблицы укажите причины, которые могли повлиять на точность измерений.

Контрольные вопросы

- Что называется абсолютным показателем преломления среды?
- Что называется относительным показателем преломления?
- Что называется углом падения?
- Что называется углом отражения?
- Что называется углом преломления?
- Сформулируйте законы отражения света.
- Сформулируйте законы преломления света.

3. ЖУРНАЛ ОТЧЁТОВ ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ РАВНОУСКОРЕННОГО ДВИЖЕНИЯ

Цель работы:

Оборудование:

Ход работы

1. Исследование соотношения перемещений при равноускоренном движении.

Таблица 1

Время, с	$S = 12$ см
t_1	
t_2	
t_3	
t_4	
t_5	
$t_{\text{ср}}, s = 12$ см	

Таблица 2

Время, с	$S = 48$ см
t_1	
t_2	
t_3	
t_4	
t_5	
$t_{\text{ср}}, s = 48$ см	

Выводы:

2. Исследование изменения скорости тела при равноускоренном движении.

Таблица 3

№ опыта	X_1 , мм	X_2 , мм	S , м	t_1 , с	t_{1cp} , с	v_{1cp} , м/с

Таблица 4

№ опыта	X_1 , мм	X_2 , мм	S , м	t_2 , с	t_{2cp} , с	v_{2cp} , м/с

Выводы:

Ответы на контрольные вопросы:

Лабораторная работа № 2

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЕСА ТЕЛА
ПРИ ЕГО ДВИЖЕНИИ С УСКОРЕНИЕМ**

Цель работы:

Оборудование:

Ход работы

1. Масса груза 100 г.

Таблица 1

№ опыта	P_0 , Н	P_a , Н	$P_{a\text{ ср}}$, Н	$P_{a\text{ ср}} / P_0$

2. Масса груза 50 г.

Таблица 2

№ опыта	P_0 , Н	P_a , Н	$P_{a\text{ ср}}$, Н	$P_{a\text{ ср}} / P_0$

Выводы:

Ответы на контрольные вопросы:

Лабораторная работа № 3

ИЗУЧЕНИЕ «ЗОЛОТОГО ПРАВИЛА» МЕХАНИКИ

Цель работы:

Оборудование:

Ход работы

Таблица 1

№ опыта	F_1 , Н	S_1 , М	F_2 , Н	S_2 , М	A_1 , Дж	A_2 , Дж
1						
2						
3						

Выводы:

Ответы на контрольные вопросы:

Лабораторная работа № 4

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ
ОТ ГЛУБИНЫ ПОГРУЖЕНИЯ. ИЗМЕРЕНИЕ
АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ**

Цель работы:

Оборудование:

Дополнительное оборудование:

Ход работы

1. Исследование зависимости давления жидкости от глубины погружения.

Таблица 1

№ измерения	$H \cdot 10^{-3}$, м	L , м	$\Delta L \cdot 10^{-3}$, м	$\frac{\Delta L}{(L - \Delta L)H}$
1				
2				
3				

Выводы:

2. Измерение атмосферного давления.

Таблица 2

ρ , кг/м ³	g , м/с ²	L , м	$H \cdot 10^3$, м	$\Delta L \cdot 10^{-3}$, м	$p_{\text{атм}} \cdot 10^2$, Па

Выводы:

Ответы на контрольные вопросы:

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОПРОЦЕССОВ

Цель работы:

Оборудование:

Дополнительное оборудование:

Ход работы

1. Исследование изотермического процесса.

Таблица 1

p_1 , Па	l_1 , мм	h_v , мм	p_v , Па	p_2 , Па	l , мм	$p_1 l_1$	$p_2 l_2$

Выводы:

2. Исследование изобарного процесса.

Таблица 2

l_1 , мм	T_1 , К	Δl , мм	l_2 , мм	T_2 , К	l_1/T_1	l_2/T_2

Выводы:

3. Исследование изохорного процесса.

Таблица 3

p_1 , Па	T_1 , К	h_B , мм	p_B , Па	p_2 , Па	T_2 , К	p_1/T_1 ,	p_2/T_2

Выводы:

Ответы на контрольные вопросы:

СБОРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ. ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКАХ ЦЕПИ

Цель работы:

Оборудование:

Ход работы

1. Измерение силы тока.

Таблица 1

№ схемы	I , А (1-е крайнее положение)	I , А (среднее положение)	I , А (2-е крайнее положение)
1			
2			
3			

Выводы:

2. Измерение напряжения.

Таблица 2

U_1 , В	U_{12} , В	U_{23} , В	U_{13} , В
2			
2,5			
3			

Выводы:

Ответы на контрольные вопросы:

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО,
ПАРАЛЛЕЛЬНОГО И СМЕШАННОГО СОЕДИНЕНИЙ
ПРОВОДНИКОВ**

Цель работы:

Оборудование:

Ход работы

1. Исследование закономерностей распределения напряжений и тока в последовательной цепи.

Таблица 1

I_1, A	I_2, A	I_3, A	U_1, B	U_2, B	$U_1 + U_2, B$	U, B

Выводы:

2. Изучение закономерностей параллельной цепи.

Таблица 2

I_1, A	I_2, A	$I_1 + I_2, A$	I, A	U_1, B	U_2, B	U, B

Выводы:

3. Изучение закономерностей смешанной цепи.

Таблица 3

№ опыта	I_1, A	I_2, A	I_3, A	I_4, A	I_5, A	U_{12}, B	U_{23}, B	U_{13}, B
1								
2								
3								

Выводы:

Ответы на контрольные вопросы:

Лабораторная работа № 8

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА,
СВЕТОДИОДА И ФОТОРЕЗИСТОРА**

Цель работы:

Оборудование:

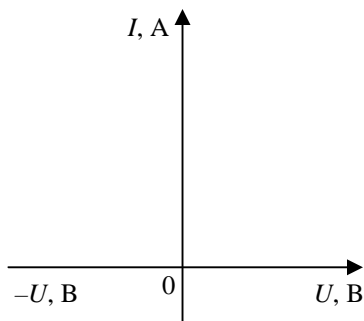
Ход работы

1. Исследование полупроводникового диода.

Таблица 1

$U, В$							
$I, мА$							

График зависимости силы тока от напряжения.



Выводы:

2. Исследование светодиода.

$$U = \text{ В}; I = \text{ мА}.$$

Выводы:

3. Исследование фоторезистора.

Выводы:

Ответы на контрольные вопросы:

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЙ ОТРАЖЕНИЯ И
ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА**

Цель работы:

Оборудование:

Дополнительное оборудование:

Ход работы

1. Исследование явления отражения света.

Таблица 1

Угол отражения, град.				
Угол падения, град.				

Выводы:

2. Исследование явления преломления света.

Таблица 2

№ опыта	α , град	β , град	$\sin \alpha$	$\sin \beta$	$\sin \alpha / \sin \beta$
1					
2					
3					

Выводы:

Ответы на контрольные вопросы:

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящее пособие, предназначенное для работы со студентами-иностранцами на подготовительном факультете, включает в себя: основы метрологии; краткий теоретический курс по различным разделам физики; руководство по выполнению лабораторных работ, содержащее общие сведения и методические указания, порядок выполнения работ, таблицы для записи экспериментальных данных, контрольные вопросы для каждой лабораторной работы; журнал отчётов по лабораторным работам.

Вдумчивая постоянная работа с материалами учебного пособия позволит студентам научиться понимать и грамотно использовать физическую терминологию, понять роль эксперимента в физике, научит делать правильные выводы из сопоставления теории и эксперимента; научит выделять главное, существенное, отвлекаться от несущественного, второстепенного; понимать роли идеализации; научит находить безразмерные параметры, определяющие данное явление; научит делать качественные выводы при переходе к предельным условиям; узнать фундаментальные физические постоянные и численные значения величин, характерные для данного раздела физики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Детлаф, А. А.** Курс физики : учеб. пособие для втузов / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – 4-е изд., испр. – Москва : Высшая школа, 2002. – 718 с.
2. **Степанов, С. В.** Методические рекомендации к лабораторным работам по механике / С. В. Степанов, Евстигнеев В. Е. – Москва : ООО «Химлабо», 2009. – 68 с.
3. **Степанов, С. В.** Методические рекомендации к лабораторным работам по молекулярной физике и термодинамике / С. В. Степанов, Евстигнеев В. Е. – Москва : ООО «Химлабо», 2009. – 44 с.
4. **Степанов, С. В.** Методические рекомендации к лабораторным работам по оптике / С. В. Степанов, Евстигнеев В. Е. – Москва : ООО «Химлабо», 2009. – 44 с.
5. **Степанов, С. В.** Методические рекомендации к лабораторным работам по электродинамике / С. В. Степанов, В. Е. Евстигнеев – Москва : ООО «Химлабо», 2009. – 40 с.
6. **Физика.** Книга 1. Учебник для иностранных студентов / Д. Г. Арсеньев и др. / под ред. Д. Г. Арсеньева. – Санкт-Петербург : Полторак, 2011. – 350 с.
7. **Механика** : учеб. пособие по физике для студентов-иностранцев подготовительных факультетов / А. П. Ефремов и др. – Москва : РУДН, 2008. – 219 с.
8. **Общая физика.** Электричество, термодинамика, оптика : методические указания к лабораторным работам. – Санкт-Петербург : СПбГПУ, 2006. – 53 с.
9. **Димов, Ю. В.** Метрология, стандартизация и сертификация : учебник для вузов / Ю. В. Димов. – 3-е изд. – Санкт-Петербург : Питер, 2010. – 464 с.
10. **Яворский, Б. М.** Справочное руководство по физике для поступающих в вузы и для самообразования / Б. М. Яворский, Ю. А. Селезнёв. – 4-е изд., испр. – М. : Наука.– Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 576 с.
11. **Трофимова, Т. И.** Физика. Сборник задач: учебное пособие для ссузов / Т. И. Трофимова, А. В. Фирсов. – Москва : Дрофа, 2007. – 303 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Основные физические постоянные	
Скорость света в вакууме	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Нормальное ускорение	$g = 9,81 \text{ м/с}^2$
Гравитационная постоянная	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$
Постоянная Авогадро	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Молярная газовая постоянная	$R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль})$
Постоянная Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Элементарный заряд	$e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса покоя электрона	$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Масса покоя протона	$m_p = 1,672 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса покоя нейтрона	$m_n = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Удельный заряд электрона	$e / m_e = 1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$
Постоянная Стефана–Больцмана	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Постоянная Вина	$b = 2,90 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Постоянная Планка	$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Постоянная Ридберга	$R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ $R' = 1,10 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$
Первый боровский радиус	$a_0 = 5,28 \cdot 10^{-11} \text{ м}$
Комптоновская длина волны	$\lambda_C = 2,43 \cdot 10^{-12} \text{ м}$
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ $1/(4\pi\epsilon_0) = 9 \cdot 10^9 \text{ м/Ф}$
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$

Некоторые внесистемные величины

1 сут = 86 400 с	$1'' = 4,85 \cdot 10^{-6}$ рад
1 год = 365,25 сут = $3,16 \cdot 10^7$ с	1 мм рт. ст. = 133,3 Па
$1^\circ = 1,75 \cdot 10^{-2}$ рад	1 эВ = $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж
$1' = 1,91 \cdot 10^{-4}$ рад	

Астрономические величины

Радиус Земли	$6,37 \cdot 10^6$ м
Масса Земли	$5,98 \cdot 10^{24}$ кг
Средняя плотность Земли	$5,50 \cdot 10^3$ кг/м ³
Радиус Солнца	$6,95 \cdot 10^8$ м
Масса Солнца	$1,98 \cdot 10^{30}$ кг
Радиус Луны	$1,74 \cdot 10^6$ м
Масса Луны	$7,33 \cdot 10^{22}$ кг
Расстояние от центра Земли до центра Солнца	$1,49 \cdot 10^{11}$ м
Расстояние от центра Земли до центра Луны	$3,83 \cdot 10^8$ м
Период обращения Луны вокруг Солнца	$2,36 \cdot 10^6$ с

Ускорение силы тяжести для различных широт на уровне моря

Широта, град.	$g, \text{ м/с}^2$	Широта, град.	$g, \text{ м/с}^2$
0 (экватор)	9,78030	50	9,81066
10	9,78186	55 (Москва)	9,81504
20	9,78634	60	9,81914
30	9,79321	70	9,82606
40	9,80166	80	9,83058
45 (Одесса)	9,80616	90 (полюс)	9,83216

Греческий алфавит

Α, α – альфа

Β, β – бэта

Γ, γ – гамма

Δ, δ – дельта

Ε, ε – эpsilon

Ζ, ζ – дзэта

Η, η – эта

Θ, ϑ, θ – тэта

Ι, ι – йота

Κ, κ – каппа

Λ, λ – лямбда

Μ, μ – мю

Ν, ν – ню

Ξ, ξ – кси

Ο, ο – омикрон

Π, π – пи

Ρ, ρ – ро

Σ, σ – сигма

Τ, τ – тау

Υ, υ – ипсилон

Φ, φ, ϕ – фи

Χ, χ – хи

Ψ, ψ – пси

Ω, ω – омега

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ	3
2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ	20
Лабораторная работа № 1. Исследование равноускоренного движения	20
Лабораторная работа № 2. Исследование изменения веса тела при его движении с ускорением	25
Лабораторная работа № 3. Изучение «золотого правила» механики	27
Лабораторная работа № 4. Исследование зависимости давления жидкости от глубины погружения. Измерение атмосферного давления	29
Лабораторная работа № 5. Исследование изопротессов	34
Лабораторная работа № 6. Сборка электрической цепи. Измерение силы тока и напряжения на различных участках цепи	43
Лабораторная работа № 7. Исследование последовательного, параллельного и смешанного соединений проводников	47
Лабораторная работа № 8. Исследование полупроводникового диода, светодиода и фоторезистора	51
Лабораторная работа № 9. Исследование явлений отражения и преломления света	54
3. ЖУРНАЛ ОТЧЁТОВ ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ	59
Лабораторная работа № 1. Исследование равноускоренного движения	59
Лабораторная работа № 2. Исследование изменения веса тела при его движении с ускорением	61
Лабораторная работа № 3. Изучение «золотого правила» механики	62
Лабораторная работа № 4. Исследование зависимости давления жидкости от глубины погружения. Измерение атмосферного давления	63

Лабораторная работа № 5. Исследование изопротессов	65
Лабораторная работа № 6. Сборка электрической цепи. Измерение силы тока и напряжения на различных участках цепи	67
Лабораторная работа № 7. Исследование последовательного, параллельного и смешанного соединений проводников	68
Лабораторная работа № 8. Исследование полупроводникового диода, светодиода и фоторезистора	70
Лабораторная работа № 9. Исследование явлений отражения и преломления света	72
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	73
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	74
ПРИЛОЖЕНИЕ	75

Учебное издание

СТЕПАНЕНКО Игорь Тимофеевич

ФИЗИКА
МЕХАНИКА. ЗАКОНЫ ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ.
ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК.
ОПТИКА

Практикум

Редактор И. В. Калистратова
Инженер по компьютерному макетированию О. М. Гурьянова

ISBN 978-5-8265-1228-9



Подписано в печать 29.10.2013.
Формат 60×84 /16. 4,65 усл. печ. л.
Тираж 100 экз. Заказ № 481

Издательско-полиграфический центр
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14
Тел. 8(4752) 63-81-08;
E-mail: izdatelstvo@admin.tstu.ru

