Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»
(КБГУ)

Институт электроники, робототехники и искусственного интеллекта

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ОПОП
_______ Р.Ш. Тешев
«12» февраля 2025 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ
Б1.О.06.01 «ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ»

Специальность
11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Специализация
Радиоэлектронные системы передачи информации

Квалификация (степень) выпускника

Инженер

Форма обучения

Очная

Нальчик 2025

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Таблица 1

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУН)
ОПК-2. Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и применять соответствующий физико-математический аппарат для их формализации, анализа и принятия решения.	**ОПК-2.1.** Способен оперировать научными фактами, опираясь на законы логики **ОПК-2.2.** Способен осознанно выбирать методы и средства изучения объектов и проблем. **ОПК-2.3** Способен применять современные достижения компьютерных технологий для решения практических задач.	**Знать** современное состояние области профессиональной деятельности. **Уметь** искать и представлять актуальную информацию. о состоянии предметной области **Владеть** навыками работы за персональным компьютером, в т.ч. пакетами прикладных программ для разработки и представления документации.
ОПК-4. Способен проводить экспериментальные исследования и владеть основными приемами обработки и представления экспериментальных данных.	**ОПК-4.1.** Способен применять современные методы, средства и оборудование для проведения экспериментальных исследований. **ОПК-4.2.** Способен анализировать и обобщать данные, получаемые в результате экспериментов. **ОПК-4.3.** Способен объективно оценивать полученные результаты экспериментальных исследований и погрешности результатов измерений.	**Знать** основные методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации. **Уметь** выбирать способы и средства измерений и проводить экспериментальные исследования. **Владеть** способами обработки и представления полученных данных и оценки погрешности результатов измерений.

2. Шкала оценивания планируемых результатов обучения

2.1 Текущий контроль

Оценка результатов текущей успеваемости в рамках контрольных точек осуществляется посредством 70-балльной системы, при этом за добросовестное посещение занятий обучающийся может набрать до 10 баллов, за качественное прохождение оценочных мероприятий - до 60 баллов.

Карта распределения рейтинговых баллов в рамках текущего контроля

Таблица 2

№	Оценочное средство	Форма проведения	Порядок проведения	Максимальное количество баллов	Критерии оценивания
1	Лабораторная работа № 1 Определение ускорения силы тяжести при помощи математического маятника	Экспериментальная	Работа выполняется студентами попарно.	4	4- все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 3÷2 - все задания выполнены верно, однако имеются незначительные ошибки в обработке результатов измерений; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено не верно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
1	Лабораторная работа №2 Изучение законов равноускоренного движения и второго закона Ньютона на машине Атвуда	Экспериментальная	Работа включает в себя два задания, выполняется студентами попарно.	4	4- все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 3÷2 - все задания выполнены верно, однако имеются незначительные ошибки в обработке результатов измерений; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено не верно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
3	Лабораторная работа №3 Определение модуля Юнга по изгибу стержня	Экспериментальная	Работа включает в себя три задания, выполняется студентами попарно.	4	4- все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 3÷2 - все задания выполнены верно, однако имеются незначительные ошибки в обработке результатов измерений; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено не верно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
4	Лабораторная работа №4 Определение коэффициента вязкости жидкости методом Стокса	Экспериментальная	Работа включает в себя три задания, выполняется студентами попарно.	4	4 - все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 3÷2 - все задания выполнены верно, однако имеются незначительные ошибки в обработке результатов

					измерений; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено не верно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
5	Лабораторная работа №5 Изучение вращательного движения твердого тела	Экспериментальная	Работа включает в себя два задания, выполняется студентами попарно.	4	4- все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 3÷2 - все задания выполнены верно, однако имеются незначительные ошибки в обработке результатов измерений; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено не верно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
6	Лабораторная работа №6 Определение скорости движения пули методом баллистического маятника	Экспериментальная	Работа включает в себя два задания, выполняется студентами попарно.	4	4- все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 3÷2 - все задания выполнены верно, однако имеются незначительные ошибки в обработке результатов измерений; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено не верно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
11	Тесты по 1 контрольной точке	С применением ДТ	Студент проходит компьютерное тестирование в ЭИОС.	9	Количество баллов пропорционально количеству правильных ответов
12	Тесты по 2 контрольной точке	с применением ДТ	Студент проходит компьютерное тестирование в ЭИОС.	9	Количество баллов пропорционально количеству правильных ответов
14	Коллоквиум по 1 контрольной точке	письменная	Студенты отвечают письменно на вопросы коллоквиума	9	9 – ответы полные, точные, демонстрируют глубокое понимание темы, аргументация логична; 7÷8 – ответы в основном правильные, но содержат

					незначительные ошибки; 4÷6- ответы недостаточно полные; 1÷3 – ответы частичные, содержат ошибки или требуют наводящих вопросов; 0 – ответы отсутствуют или полностью неверные.
	Коллоквиум по 2 контрольной точке	письменная	Студенты отвечают письменно на вопросы коллоквиума	9	9 – ответы полные, точные, демонстрируют глубокое понимание темы, аргументация логична; 7÷8 – ответы в основном правильные, но содержат незначительные ошибки; 4÷6- ответы недостаточно полные; 1÷3 – ответы частичные, содержат ошибки или требуют наводящих вопросов; 0 – ответы отсутствуют или полностью неверные.
	Итого:			**60**	

Карта распределения баллов в рамках промежуточной аттестации

Таблица 3

№	Оценочное средство	Форма проведения	Порядок проведения	Максимальное количество баллов	Критерии оценивания
1	Экзаменационный билет	Смешанная	Билет содержит 2 теоретических вопроса. На теоретические вопросы студент должен ответить устно, после письменной подготовки.	Теоретические вопросы – 30 баллов.	**Критерии оценивания теоретических вопросов:** 25 до 30 баллов: Глубокий уровень владения материалом, точное знание ключевых концепций, способность анализировать и интерпретировать факты, грамотно строить высказывания, привести примеры, свободно оперировать терминологией. От 19 до 24 баллов: Базовое владение предметом, умение последовательно раскрыть основную мысль вопроса, грамотное применение терминов, наличие существенных элементов анализа и обобщений, но недостаточное развертывание или отдельные неточности. От 13 до 18 баллов: Частичное освоение материала, попытка объяснить основной смысл вопроса, использование некоторых базовых терминов, но отсутствие глубокого понимания сложных моментов, логические недостатки изложения, отсутствие выводов.

					От 7 до 12 баллов: Ошибочные представления, слабо выраженное владение основными понятиями, значительные затруднения в интерпретации вопросов, существенные фактологические ошибки, отсутствие обоснованных выводов и примеров. От 0 до 6 баллов: Полное непонимание темы, неспособность сформулировать адекватный ответ, грубые ошибки, несоответствие требованиям задания.

3. Оценочные материалы для текущего и промежуточного контроля успеваемости
3.1. Оценочные материалы для текущего контроля

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Определение ускорения силы тяжести при помощи математического маятника

Цель работы. Определить значение ускорения силы тяжести. Выяснить от чего зависит период колебаний математического маятника.

Приборы и принадлежности: математический маятник, секундомер, линейка, штангенциркуль.

Краткая теория к лабораторной работе

Тяжелая материальная точка (тело малых размеров), подвешенная на длинной нити, растяжением и весом которой можно пренебречь, называется математическим маятником. Период колебания математического маятника T определяется известной формулой:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{\mathrm{g}}}, \qquad (1.1)$$

где l – длина маятника (расстояние от точки подвеса до центра тяжести тела, g – ускорение силы тяжести.

Для определения ускорения силы тяжести из формулы (1) будет иметь

$$g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2} \qquad (2.2)$$

Очевидно, что $l = l_0 + r$ где l_0 – длина нити, а r – радиус шара, если в качестве груза мы имеем тело, имеющее форму шара. Период колебаний маятника $T = \frac{t}{n}$, где t – время, в течении которого математический маятник совершает n полных колебаний.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Измерить длину нити маятника линейкой, а диаметр d шарика штангенциркулем. Измерения повторить 3-5 раз.
2. Отвести шарик маятника от положения равновесия на расстояние, равное 5-8 см, и отпустить. Если колебания совершаются в одной плоскости, то пропустив несколько колебаний, пустить секундомер. Отсчитав 50-100 полных колебаний, остановить секундомер. Определить по секундомеру время t, соответствующее отсчитанным колебаниям. Измерение t повторить 3-5 раз.
3. Пункты 1 и 2 повторять для двух разных длин нити маятника l_1, l_2.
4. Ускорение силы тяжести рассчитать по формуле (2.2).
5. Провести математическую обработку косвенных измерений g.
6. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.
7. Сравнить экспериментальные значения g с табличными и сделать вывод.

Вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы

1. Что называется математическим маятником?
2. Как определить период математического маятника?
3. Как определить длину маятника?
4. Как определить период одного колебания?
5. Что такое полное колебание и период колебания?
6. Зависит ли период колебания Т от массы тела?
7. Зависит ли период от амплитуды?
8. Какие измерения надо проводить для определения g?

Вопросы для защиты лабораторной работы

1. Вывести формулу линейного нониуса.
2. Какими величинами характеризуется точность измерений в случае ограниченного числа опытов?
3. Что такое доверительная вероятность и доверительный интервал?
4. Как определить доверительный интервал?
5. Что такое относительная погрешность? С какой целью ее определяют?
6. Механика как раздел физики. Кинетика, динамика, статика.
7. Физические величины и их измерения. Основные и производные физические величины.
8. Система единиц измерения СИ.
9. Прямые измерения. Оценка точности прямых измерений.
10. Погрешности результатов измерений (систематические, случайные и промахи)
11. Классы точности приборов.
12. Гравитационная и инерционная массы. Вес тела. Невесомость.
13. Плотность и удельный вес. Принцип эквивалентности.
14. Релятивистская масса.

15. Математический маятник и период его колебаний.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Изучение законов равноускоренного движения и второго закона Ньютона на машине АТВУДА

Цель работы. Изучение законов равнопеременного движения. Изучение динамики поступательного движения связанной системы тел с учетом силы трения.

Приборы и принадлежности: машина Атвуда, счетчик-секундомер, выпрямитель, перегрузки, выключатель.

Краткая теория

Неравномерное движение, при котором скорость изменяется во времени по линейному закону, принято называть равнопеременным, то есть скорость за любые равные промежутки времени изменяется на одинаковую величину. Величиной, характеризующей быстроту изменения скорости по численному значению и направлению, является ускорение

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} - \frac{d\vec{v}}{dt} \quad \text{или} \quad a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{dS}{dt}\right) = \frac{d^2 S}{dt^2}$$

Ускорение есть вектор, равный первой производной от вектора скорости по времени и совпадающий по направлению с вектором изменения скорости dv за малый интервал времени dt.

Из определения ускорения следует, что $d\vec{v} = \vec{a} \cdot dt$. Интегрируя по t левую и правую части этого выражения и учитывая, что $a = const$, получим:

$$\vec{v} = \int \vec{a} \cdot dt = \vec{a}t + C.$$

Постоянная интегрирования C определяется из начального условия: при $t = 0$, скоростьυ $v = v_0$. Закон изменения скорости примет вид:

$$\vec{v} = \vec{v_0} + \vec{a}t\,. \tag{2.1}$$

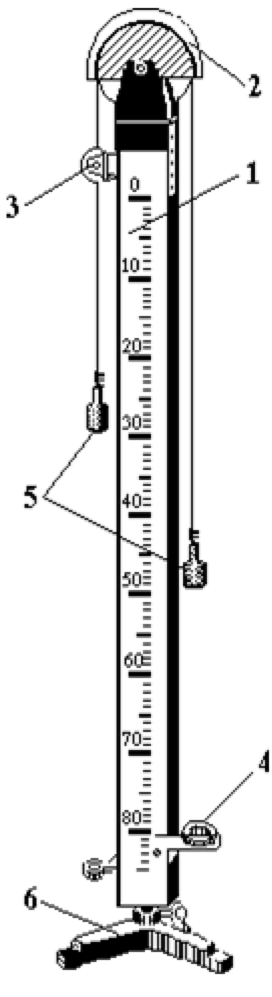
Тогда путь равнопеременного движения будет $d\vec{S} = (\vec{v_0} + \vec{a}t) \cdot dt$.

Интегрируя это выражение при $t = 0$, получим:

$$\vec{S} = \vec{v_0}t + \frac{\vec{a}t^2}{2}\,. \tag{2.2}$$

Если тело начинает движение из состояния покоя $(v_0 = 0)$, то

$$s = \frac{at^2}{2}\,. \tag{2.3}$$



Из формулы (2.3) имеем:

$$a = \frac{2s}{t^2}\,. \tag{2.4}$$

Как известно из динамики, причиной, вызывающей изменение движения тела, является действие сил. Основные законы динамики - законы Ньютона:

Первый закон Ньютона: всякая материальная точка (тело) сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока воздействие со стороны других тел не заставит ее изменить это состояние.

Стремление тела сохранять состояние покоя или равномерного прямолинейного движения называется инертностью. Поэтому первый закон Ньютона называют также законом инерции.

Второй закон Ньютона: ускорение, приобретаемое материальной точкой (телом), пропорционально вызывающей его силе, совпадает с нею по направлению и обратно пропорционально массе материальной точки (тела).

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \qquad (2.5)$$

или

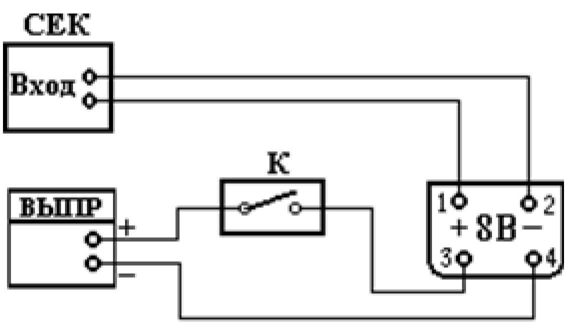
$$\vec{F} = m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a} \qquad (2.6)$$

Третий закон Ньютона: всякое действие материальных точек (тел) друг на друга носит характер взаимодействия; силы, с которыми действуют друг на друга материальные точки, всегда равны по модулю, противоположно направлены и действуют вдоль прямой, соединяющей эти точки: $\vec{F_1} = -\vec{F_2}$

Для изучения законов равноускоренного движения и второго закона Ньютона (2.5), используется машина Атвуда.

Устройство прибора

Прибор состоит из следующих узлов и деталей: корпуса, узла блока, пускателя, приемного столика, грузов, подставки (рис. 2.2).



Корпус 1 с сантиметровыми делениями, градуированная часть которого составляет 850 мм, имеет на обратной стороне паз с двумя токоведущими шинами, через которые с помощью приемного столика включается и выключается счетчик-секундомер. В нижней части корпуса имеется колодка, клеммы 1 и 2 которой служат для

подключения секундомера, а клеммы 3 и 4 - для подключения выпрямителя. В верхней части корпуса имеются гнезда для подключения пускателя. Узел блока 2 состоит из блока, диаметром 140 мм и кронштейна. По диаметру блока имеется проточка, по которой при проведении опытов с системой грузов перемещается леска. Электромагнитный пускатель 3 служит для пуска и остановки груза. Приемный столик 4 предназначен для разрыва цепи счетчика-секундомера и прекращения отсчета времени в момент удара груза. Набор грузов состоит из двух грузов, соединенных леской. Подставка 6 состоит из двух опор, которые крепятся к корпусу с помощью винта и гайки. Для отсчета времени используется счетчик-секундомер типа ССЭШ. Питание электромагнитного пускателя осуществляется от выпрямителя типа ВС-24-М. Блок-схема соединения прибора с секундомером показана на рис.3. Перед проведением опытов прибор надо выставить строго в вертикальном положении с помощью ножек-винтов подставки. Для контроля установки прибора в вертикальном положении служат грузы. Регулировка считается достаточной в том случае, если правый груз располагается в центре чашки столика.

Порядок выполнения работы

Упражнение 1

Если на правый груз положить перегрузок, имеющий массу m_1 (например 4г) и выключить ток в обмотке электромагнита, то вся система начнет двигаться равноускоренно под действием веса перегрузка. С помощью секундомера определяем время падения груза. Опыт проводим три раза, и данные заносим в таблицу. Ускорение можно найти по формуле (2.4). По второму закону Ньютона ускорение тела зависит от силы, действующей на тело и от его массы. Чтобы убедиться в справедливости уравнения движения (2.4), следует определить a для нескольких различных расстояний $s(s_1, s_2, s_3)$ при одной той же перегрузке.

Результаты эксперимента занести в следующую таблицу

M = 300 г

№	S_1= 80 см; m_1 = 4 г			S_2= 60 см; m_1= 4 г			S_3= 40 см; m_1= 4 г		
	t_1	a_1	Δa_1	t_2	a_2	Δa_2	t_3	a_3	Δa_3
1.									
2.									
3.									
	$a_{1ср}$ =			$a_{2ср}$ =			$a_{3ср}$ =		

Каждый раз в начальном положении нижний край правого груза должен находиться против того деления шкалы, который мы задаем от приемного столика. При одном и том же перегрузке ускорение системы с постоянной массой будет одинаковым. Поэтому должно иметь место соотношение (в пределах ошибки измерения $a = a_0 \pm \Delta a_i$):

$$a = \frac{2S_1}{t_1^2} = \frac{2S_2}{t_2^2} = \frac{2S_3}{t_3^2}, \quad \text{т.е.} \quad a_{1ср} = a_{2ср} = a_{3ср}.$$

Упражнение 2. Проверка второго закона Ньютона

1) Проверка зависимости ускорения от силы

Оставляем массу (*M* = 300 г) системы и высоту падения (*S*=80 см) постоянными (*M*=const, *S*=const) и изменяем перегрузки m_1 (8г, 16г) т.е. изменяем силу, действующую на систему. Тогда имеем:

$$a_1 = \frac{F_1}{M}; \qquad a_2 = \frac{F_2}{M}.$$

Взяв отношения ускорений, получим:

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{F_2}{F_1} \qquad (2.6)$$

С помощью секундомера определяем время падения груза. Опыт проводим три раза, и данные заносим в таблицу. Вычисляем ускорение по формуле (4).

2) Проверка зависимости ускорения от массы

Оставляем *F*=const и *S*=const и изменяем массу системы (*M*). Берем перегрузок 8г. Массу системы уменьшаем в 2 раза. Для этого через блок перекидываем нить с грузами одинаковой массы, но меньше в 2 раза, чем первоначальная, т. е. *M*=150г. (если первоначально на блоке находятся меньшие массы, то рассуждения вести наоборот). Тогда имеем:

$$a_1 = \frac{F}{m_1}; \qquad a_2 = \frac{F}{m_2}.$$

Делением этих выражений, соответственно, получим:

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{m_1}{m_2}. \qquad (2.7)$$

С помощью секундомера определяем время падения груза. Опыт проводим три раза, и данные заносим в таблицу. Ускорение вычисляем по формуле (4). Повторить для перегрузка в 16г.

Результаты измерений и расчетов занести в следующую таблицу.

№	*M=300г; S=80см*	*M=150г; S=80см*

	m_1=8г т.е. $F_1=m_2g$		m_2=16г т.е. $F_2=m_2g$		m_1=8г т.е. $F_1=m_2g$		m_2=16г т.е. $F_2=m_2g$	
	t_1	a_1	t_2	a_2	t_1	a_1	t_2	a_2
1								
2								
3								
	$a_{1ср}$ =		$a_{2ср}$ =		$a_{1ср}$ =		$a_{2ср}$ =	

Используя результаты полученных средних значений ускорений проверить выполнение формул (2.6) и (2.7).

Контрольные вопросы

1. Понятие о материальной точке.

2. Путь и перемещение. Скорость, ее величина и направление.

3. Ускорение. Законы пути для равноускоренного и равномерного движения.

4. От каких факторов зависит ускорение?

5. Законы Ньютона.

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ЮНГА ПО ИЗГИБУ СТЕРЖНЯ

Приборы и принадлежности: стойка, набор исследуемых стержней, грузы, линейка, штангенциркуль, индикатор малых перемещений.

Краткая теория

Все реальные тела деформируемы. Под действием приложенных сил они меняют форму или объем. Различают два вида деформации: упругие и пластические.

При деформации происходят смещения частиц, находящихся в узлах кристаллических решеток твердых тел, из первоначальных положений равновесий в новые. Этому смещению препятствуют силы взаимодействия между частицами. В результате в деформированном теле возникают внутренние упругие силы.

Если после прекращения действия сил, вызывающих деформацию, восстанавливаются прежние форма и размеры тела, то такую деформацию называют упругой.

Неупругие деформации твердого тела сопровождаются необратимой перестройкой его кристаллической решетки. В этом случае наблюдаются остаточные, или пластические деформации тела.

Упругие деформации имеют место тогда, когда внешние силы, вызывающие деформацию, не превосходят определенного для каждого конкретного тела предела, называемого пределом упругости.

При установившейся упругой деформации результирующая внутренних упругих сил, возникающих в теле, в любом сечении тела уравновешивает внешние силы, действующие на тело. Поэтому при упругой деформации величина внутренних сил может быть определена по величине внешних сил, приложенных к телу. Величину внутренних упругих сил, характеризуют механическим напряжением σ, численно равным отношению результирующей упругих сил к площади сечения тела S:

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

Когда сила F направлена по нормали к поверхности S, напряжение называют нормальным, если же сила направлена по касательной к этой поверхности, то напряжение называют тангенциальным.

Мерой деформации является относительная деформация ε, равная отношению абсолютной деформации Δl к первоначальному значению величины l_0, характеризующий размеры или объем тела:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Упругие деформации твердых тел подчиняются закону Гука, выражающему пропорциональность между напряжением и величиной относительной деформации, т.е.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \, ,$$

где E– модуль упругости.

Величина модуля упругости зависит от материала, из которого изготовлено тело. Модуль упругости называют модулем Юнга.

Связь между деформацией и напряжением представляется в виде диаграммы напряжений (рис. 3.1)

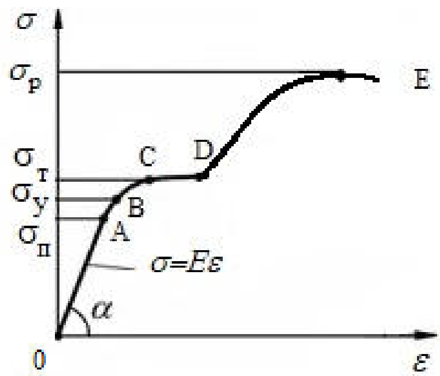


Рис.3.1 Диаграмма напряжения

Диаграмма растяжения представляет собой график зависимости механического напряжения σ, возникающего в твердом теле при одностороннем растяжении, от относительного удлинения ε, которое находится как отношение удлинения образца к его первоначальной длине. Участок ОА диаграммы соответствует области упругих деформаций, где справедлив закон Гука.

Максимальное механическое напряжение $\sigma_п$, при котором еще выполняется закон Гука, называют пределом пропорциональности. На диаграмме растяжения пределу пропорциональности соответствует точка А. При увеличении нагрузки деформация становится нелинейной. Однако при небольших нелинейных деформациях после снятия нагрузки форма и размеры тела практически восстанавливаются (участок АВ диаграммы).

Величина $\sigma_у$ определяет предел упругости — максимальное механическое напряжение, при котором еще не возникают остаточные деформации в теле (точка В). При достижении некоторого значения $\sigma_т$ (точка С) удлинение происходит практически без увеличения нагрузки. Это явление называется текучестью материала (участок CD диаграммы). Напряжение, при котором появляется заметная остаточная деформация называется пределом текучести.

Далее при растяжении образца напряжение начинает возрастать и в точке Е достигает максимального значения $\sigma_р$, называемого пределом прочности. Предел прочности – максимальное механическое напряжение, которому соответствует наибольшая нагрузка, выдерживаемая телом перед его разрушением. Значение предела прочности зависит от материала образца и качества его обработки. При дальнейшем растяжении происходит разрушение образца.

Для определения модуля упругости (модуля Юнга) широкое распространение получил метод изгиба стержня, положенного на две опоры (рис. 3.2).

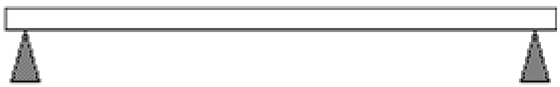


Рис.3.2 Стержень расположенный на двух опорах

К середине стержня подвешивают груз известной массы. В данном случае величина деформации будет характеризоваться стрелой прогиба (величиной прогиба) *h*. Стрелой прогиба называется расстояние, на которое опускается точка приложения силы, действующей на стержень (рис.3.3).

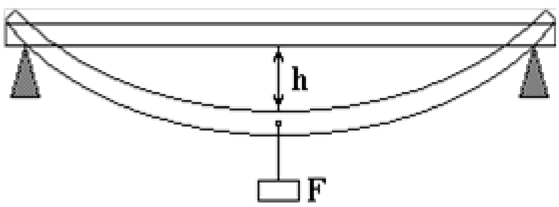


Рис.3.2 Стержень к которому подвешен груз

На основании экспериментальных исследований установлено, что стрелу прогиба призматического стержня можно определить по формуле:

$$h = \frac{F \cdot x^3}{4Ea \cdot b^3}. \qquad (3.1)$$

где *F=mg* сила, вызывающая деформацию изгиба, т.е. вес груза;

следовательно

$$E = \frac{mgx^3}{4hab^3}, \qquad (3.2)$$

m - масса груза;

x– длина стержня (расстояние между опорами);

E– модуль упругости(Юнга);

a– ширина стержня;

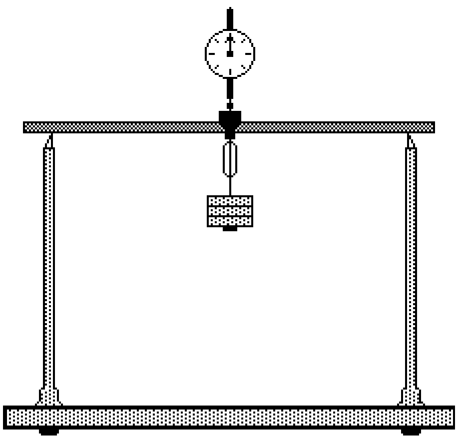
b– толщина стержня

h– величина прогиба (по индикатору).

Порядок выполнения работы

1.Измерить толщину и ширину поперечного сечения стержня штангенциркулем.

2.Испытуемый предмет расположить на двух опорах (рис.4) Измерить масштабной линейкой расстояние между точками опоры (x).



3.Постепенно нагружать стержень дополнительными грузами (m1, m2, ...) и выполнить измерения h1, h2,…(по индикатору) и по этим данным вычислить E1, E2, и т.д.

4. Результаты измерений занести в таблицу.

5.По формуле (3.2) рассчитать модуль Юнга и определить погрешности измерений.

6. Сравнить полученные результаты с табличными данными

$$\varepsilon = \frac{\lfloor E \rfloor - \lfloor E_T \rfloor}{E_T} 100\%$$

№	*m*, *кг*	*x*, *м*	*a*, *м*	*b* *м*	*h* *м*	*E* *Н/м*^{2}	*Eср* *Н/м*^{2}	Δ*E* *Н/м*^{2}	Δ*Eср* *Н/м*^{2}	$\varepsilon = \frac{\Delta E_{cp}}{E_{cp}} 100\%$
1 2 3										

Контрольные вопросы

1. Деформация тел. Упругие и неупругие виды деформаций.

2.Механическое напряжение. Закон Гука для упругих деформаций. Физический смысл модуля Юнга.

3. Диаграмма растяжения. Основные механические свойства твердого тела.

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ СТОКСА

Приборы и принадлежности: сосуды с жидкостями, секундомер, шарики, микрометр, измерительная лента.

Краткая теория

Всем реальным жидкостям и газам присуща вязкость (внутреннее трение). *Вязкость (внутреннее трение)* - это свойство реальных жидкостей оказывать сопротивление перемещению одной части жидкости относительно другой. При перемещении одних слоев реальной жидкости относительно других возникают силы внутреннего трения, направленные по касательной к поверхности слоев. Действие этих сил проявляется в том, что со стороны слоя, движущегося быстрее, на слой, движущийся медленнее, действует ускоряющая сила. Со стороны же слоя, движущегося медленнее, на слой, движущийся быстрее, действует тормозящая сила. Сила внутреннего трения F тем больше, чем больше рассматриваемая площадь поверхности слоя S (рис. 4.1), и зависит от того, насколько быстро меняется скорость течения жидкости при переходе от слоя к слою.

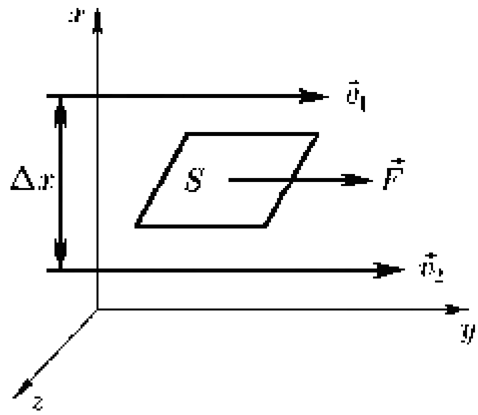


Рис. 4.1

На рисунке 1 представлены два слоя, отстоящие друг от друга на расстоянии Δx и движущиеся со скоростями $\vec{\upsilon}_1$ и $\vec{\upsilon}_2$. При этом $\vec{\upsilon}_1 - \vec{\upsilon}_2 = \Delta\vec{\upsilon}$. Направление, в котором отсчитывается расстояние между слоями, перпендикулярно скорости течения слоёв. Величина $\frac{\Delta\upsilon}{\Delta x}$ показывает, как быстро меняется скорость при переходе от слоя к слою в направлении x, перпендикулярном направлению движения слоев, и называется градиентом скорости. Таким образом, модуль силы внутреннего трения

$$F = \eta \left| \frac{\Delta \upsilon}{\Delta x} \right| S, \qquad (4.1)$$

где коэффициент пропорциональности η, зависящий от природы жидкости, называется динамической вязкостью (или просто вязкостью).

Единица вязкости – Паскалъ-секуда (Па·с): 1 Па·с равен динамической вязкости среды, в которой при ламинарном течении и градиенте скорости с модулем, равным 1 м/с на 1 м, возникает сила внутреннего трения 1 Н на 1 м^2 поверхности касания слоев (1 Па с = 1 Н с/м^2).

Чем больше вязкость, тем сильнее жидкость отличается от идеальной, тем большие силы внутреннего трения в ней возникают. Вязкость зависит от температуры, причем характер этой зависимости для жидкостей и газов различен (для жидкостей и с увеличением температуры уменьшается, у газов, наоборот, увеличивается), что указывает на различие в них механизмов внутреннего трения. Особенно сильно от температуры зависит вязкость масел. Например, вязкость касторового масла в интервале 18 – 40°С падает в четыре раза. Российский физик П.Л. Капица (1894 – 1984; Нобелевская премия 1978 г.) открыл, что при температуре 2,17 К жидкий гелий переходит в сверхтекучее состояние, в котором его вязкость равна нулю.

Существует два режима течения жидкостей. Течение называется ламинарным (слоистым), если вдоль потока каждый выделенный тонкий слой скользит относительно соседних, не перемешиваясь с ними, и турбулентным (вихревым), если вдоль потока происходит интенсивное вихреобразование и перемешивание жидкости (газа).

Ламинарное течение жидкости наблюдается при небольших скоростях ее движения. Внешний слой жидкости, примыкающий к поверхности трубы, в которой она течет, из-за сил молекулярного сцепления прилипает к ней и остается неподвижным. Скорости последующих слоев тем больше, чем больше их расстояние до поверхности трубы, и наибольшей скоростью обладает слой, движущийся вдоль оси трубы.

При турбулентном течении частицы жидкости приобретают составляющие скоростей, перпендикулярные течению, поэтому они могут переходить из одного слоя в другой. Скорость частиц жидкости быстро возрастает по мере удаления от поверхности трубы, затем изменяется довольно незначительно. Так как частицы жидкости переходят из одного слоя в другой, то их скорости в различных слоях мало отличаются. Из-за большого градиента скоростей у поверхности трубы обычно происходит образование вихрей. Профиль усредненной скорости при турбулентном течении в трубах отличается от параболического профиля при ламинарном течении более быстрым возрастанием скорости у стенок трубы и меньшей кривизной в центральной части течения. Характер течения зависит от безразмерной величины, называемой числом Рейнольдса:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho\langle\upsilon\rangle d}{\eta} = \frac{\langle\upsilon\rangle d}{\nu}, \tag{4.2}$$

где ρ — плотность жидкости; $\langle\upsilon\rangle$ — средняя по сечению трубы скорость жидкости; d — характерный линейный размер, например диаметр трубы; $\nu = \frac{\eta}{\rho}$ – кинематическая вязкость.

При малых значениях числа Рейнольдса ($R_e \leq 1000$) наблюдается ламинарное течение, переход от ламинарного течения к турбулентному происходит в области $1000 \leq R_e \leq 2000$, а при $R_e = 2300$ (для гладких труб) течение турбулентное. Если число Рейнольдса одинаково, то режим течения различных жидкостей (газов) в трубах разных сечений одинаков.

Чем больше вязкость, тем сильнее жидкость отличается от идеальной, тем бо́льшие силы внутреннего трения в ней возникают. Вязкость зависит от температуры, причем характер этой зависимости для жидкостей и газов различен (для жидкостей η с увеличением температуры уменьшается, у газов, наоборот, увеличивается), что указывает на различие в них механизмов внутреннего трения. Особенно сильно от температуры зависит вязкость масел. Например, вязкость касторового масла в интервале 18–40^{0}С падает в четыре раза.

Существует много различных методов определений вязкости жидкости, в том числе метод Стокса, который основан на измерении скорости медленно движущихся в жидкости небольших тел сферической формы.

На шарик, падающий в жидкости вертикально вниз, действуют три силы: сила тяжести F_T, сила Архимеда F_A и сила сопротивления, эмпирически установленная Дж. Стоксом F_C (рис.4.2) и зависящая от скорости.

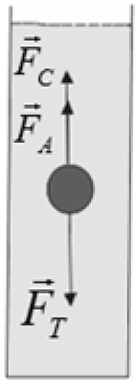


Рис.4.2 Силы действующие на шарик, находящийся в жидкости

В начале движения скорость шарика будет возрастать, но по мере увеличения скорости, а значит и силы сопротивления, наступит момент, когда сила тяжести будет равна сумме силы Архимеда и силы сопротивления, т.е. равнодействующая сила будет равна нулю и движение станет равномерным.

При равномерном движении шарика:

$$F_T + F_A + F_C = 0, \qquad (4.3)$$

Или в проекциях на ось Y:

$$F_T = F_A + F_C. \qquad (4.4)$$

Подставим в формулу (4.4) выражения для силы тяжести $F_T = mg = \rho Vg = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$, силы Архимеда $F_A = \rho' gV = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho' g$ и силы Стокса $F_C = 6\pi\eta r\upsilon$, где *r* – радиус шарика, υ - его скорость, ρ – плотность шарика, ρ′ – плотность жидкости, $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ - объем шарика.

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho' g + 6\pi\eta r\upsilon \qquad (4.5)$$

Проведем несложные математические преобразования выражения (4.5) и будем иметь:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 g(\rho-\rho') = 6\pi\eta r\upsilon \qquad (4.6)$$

Из (4.6) получается искомое выражение для динамической вязкости:

$$\eta = \frac{2}{9}\cdot\frac{(\rho-\rho')gr^2}{\upsilon}\,. \qquad (4.7)$$

Так как движение шарика является равномерным, то его скорость можно найти по формуле

$$\upsilon = h/t\,,$$

где t - время падения шарика; h - расстояние между кольцами.

Порядок выполнения работы

1. Измеряют расстояние между кольцами h, где движение шарика равномерное.
2. Измеряют радиус шарика r штангенциркулем.
3. Наблюдают падение шарика в жидкости и засекают время движения t между кольцами. Вычисляют скорость движения υ.
4. Вычисляют коэффициент вязкости η по формуле (4.7).
5. Измеряют температуру жидкости (комнатная температура).
6. Результаты вычислений и измерений заносят в таблицу.

7. Повторить измерения еще для двух шариков.

№	h (м)	r (м)	t (с)	υ (м/с)	η (Па·с)	$\eta_{ср}$ (Па·с)	$\Delta\eta$ (Па·с)	$\Delta\eta_{ср}$ (Па·с)	$\frac{\Delta\eta_{ср}}{\eta_{ср}}\cdot 100\%$
1. 2. 3.									

Такие же измерения выполнить и для другой жидкости.

<u>Примечание</u>:

плотность глицерина 1,26 г/см^3 = 1,26·10^3 кг/м^3;

плотность касторового масла 0,87 г/см^3= 0,87·10^3 кг/м^3;

плотность свинцового шарика 11,2 г/см^3= 11,2·10^3 кг/м^3.

Контрольные вопросы

1. Динамическая вязкость (внутреннее трение). Формула Ньютона для вязкости.
2. Физический смысл коэффициента динамической вязкости.
3. Единицы измерения вязкости.
4. Метод Стокса. Вывод расчетной формулы.

Лабораторная работа № 5

ИЗУЧЕНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Цель работы. Изучение динамики вращательного движения, оценка влияния трения на точность результатов проведенных измерений.

Приборы и принадлежности: маятник Обербека, набор сменных грузов, измерительная лента, штангенциркуль.

Теоретический материал. Вращательное движение твердого тела. Момент силы. Момент инерции. Теорема Штейнера-Гюйгенса. Уравнение движения твердого тела. Второй закон Ньютона. Угловая скорость и ускорение. Векторы угловой скорости и ускорения. Нормальное и тангенциальное ускорения. Связь тангенциального ускорения с угловым ускорением.

Указания по технике безопасности

1. Приступайте к выполнению работы только после предварительного собеседования с преподавателем.
2. Не прикасайтесь и не наклоняйтесь к вращающейся части установки.
3. Во избежание соскальзывания грузов в момент вращения, надежно закрепите их на спицах.

Краткая теория к лабораторной работе

В работе изучается динамика вращательного движения. В частности, экспериментально проверяется уравнение моментов для вращения вокруг неподвижной оси:

$$I\dot{\omega} = M_{внешн} \tag{6.1}$$

где I - момент инерции тела; $\dot{\omega}$ - угловое ускорение; $M_{внешн}$ - сумма проекций на ось вращения моментов внешних сил.

На рис. 1 показан внешний вид лабораторной установки, на рис. 2 схематически показан прибор, с помощью которого удобно исследовать уравнение (1). Он называется маятником Обербека. Четыре спицы укреплены на втулке под прямым углом. На спицах находятся грузы массой $m_{гр}$ каждый. Втулка и два шкива радиусами r_1 и r_2 насажены на общую ось. Ось закреплена в подшипниках, так что вся система может вращаться вокруг горизонтальной оси. Передвигая грузы по спицам, можно легко изменять момент инерции I тела. На шкив намотана нить, к которой привязана платформа известной массы. На платформу кладется груз, нить натягивается и создает вращающий момент

$$M = Tr_i, \tag{6.2}$$

где T - сила натяжения нити, r_i - радиус шкива (r_i равен r_1 или r_2). Силу T можно найти из уравнения движения платформы с грузом:

$$mg - T = ma, \tag{6.3}$$

где m - масса платформы с грузом, a - ее ускорение. Ускорение a связано с угловым ускорением $\varepsilon - \dot{\omega}$ соотношением

$$\varepsilon = a/r. \tag{6.4}$$

Из уравнений (2) и (3) получаем, что момент силы натяжения нити

$$M = Tr = m(g - a)r.$$

(6.5)

Кроме того, на маятник действует момент силы трения в оси $M_{тр}$. С учетом этого уравнения (1) имеет вид

$$m(g - a)r - M_{тр} = I a/r. \tag{6.6}$$

В уравнение (6) входит ускорение a платформы. Это ускорение можно довольно просто определить.

Действительно, измеряя время t, в течение которого платформа с грузом опускается на расстояние h, можно найти ускорение a:

$$a = 2h/t^2. \qquad (6.7)$$

Тогда

$$a = \frac{gmr^2 - M_{тр}r}{I + mr^2}. \qquad (6.8)$$

Формула (6.8) дает связь между ускорением g, которое можно измерить вентным путем, и моментом инерции I. В формулу (6.8) входит неизвестная величина – момент силы трения $M_{тр}$. Хотя интуитивно понятно, что момент силы трения мал, тем не менее он не настолько мал, чтобы им в (6.8) можно было полностью пренебречь. Если положить $M_{тр} = 0$, то можно убедиться, что результаты опыта будут отличаться от зависимости (6.8). Можно по порядку величины экспериментально определить $M_{тр}$ и это нужно, конечно, сделать в начале работы. Для этого, с помощью нескольких грузов, увеличивая силы натяжения T нити, найдите минимальное значение массы m_0, при которой маятник начнет вращаться. Дальнейшие измерения нужно проводить с грузами массой $m \geq 10\, m_0$. На первый взгляд относительную роль момента силы трения можно уменьшить, если взять грузы массой $m \gg m_0$. Допустим, груз $m = 10^3\, m_0$. Однако это не так по двум причинам. Первая - увеличение массы груза приводит к увеличению силы давления N на ось, а значит, и к росту момента силы трения $M_{тр} = \mu N r$, где μ - коэффициент трения, r - плечо силы трения. Вторая причина состоит в том, что увеличение m уменьшает время падения t, а значит, ухудшает точность измерения ускорения a.

Момент инерции, входящий в (8), согласно теореме Штейнера-Гюйгенса, может быть записан в виде

$$I = I_0 + 4m_{гр}R^2.$$

(6.9)

Здесь R - расстояние центров грузов $m_{гр}$, от оси вращения. $I = I_0(R = 0)$, т.е. равен моменту инерции системы при $R = 0$. В (8) входит также отношение

$$\frac{mr^2}{I} = \frac{mr^2}{I_0 + 4m_{гр}R_2}.$$

В условиях опыта оно меньше или порядка 10^{-2} . Пренебрегая этой величиной в знаменателе выражения (8), получаем формулу, которую можно проверить экспериментально:

$$\varepsilon = \frac{a}{r} = \frac{1}{I}\left(mgr - M_{тр}\right).$$

(6.10)

Измерения

Процесс измерения включает экспериментальное исследование двух зависимостей:

Первая - зависимость углового ускорения ε от момента внешней силы $M = mgr$ при условии, что момент инерции I остается постоянным.

Если на оси ординат откладывать угловое ускорение ε, а на оси абсцисс - mgr, то, согласно (10) экспериментальные точки должны ложиться на прямую. Из (10) видно, что наклон этой прямой равен $1/I$, а точка пересечения с осью абсцисс дает $M_{тр}$.

Если экспериментальные данные подтверждают линейную зависимость ε от mgr, то можно приступить к изучению второй зависимости - зависимости момента инерции I от расстояния R грузов $m_{гр}$, до оси вращения маятника (рис. 2).

Согласно теореме Штейнера-Гюйгенса, $I(R) = I_0 + 4m_{гр}R^2$.

Выясним, как проверить эту зависимость экспериментально. Для этого преобразуем соотношение (10), пренебрегая в нем малой величиной (моментом силы трения $M_{тр}$) по сравнению с моментом mgr. Из (10) имеем

$$\varepsilon = \frac{a}{r} = \frac{1}{I}\left(mgr - M_{тр}\right) \approx \frac{mgr}{I_0 + 4m_{гр}R^2}.$$

Следовательно,

$$\frac{g}{a} = \frac{I_0 + 4m_{гр}R^2}{mr^2} = \frac{I_0}{mr^2} = 4\frac{m_{гр}}{m}\left(\frac{R}{r}\right)^2. \qquad (6.11)$$

Из (6.11) понятно, как экспериментально проверить зависимость (11): нужно, выбрав постоянную массу m груза, измерять ускорение a при различных положениях R грузов $m_{гр}$ на спицах. Результаты измерений удобно изобразить в виде точек на координатной плоскости ХОУ, где $x = (R/r)^2, y = g/a$.

Если экспериментальные точки в пределах точности измерений ложатся на прямую, то это подтверждает зависимость (11), а значит, и формулу

$$I(R) = I_0 + 4m_{гр}R^2.$$

Отметим, что при выводе формулы (6.11) мы пренебрегли моментом сил трения, т. е. считали, что $M_{тр} \ll mgr$. Значение $M_{тр}$ получено из графика зависимости $\varepsilon = \varepsilon(mgr)$ при $R = const$. Это и позволяет выбрать массу перегрузка так, чтобы неравенство $mgr \gg M_{тр}$ заведомо выполнялось.

Роль момента сил трения можно оценить и иначе. Для этого заметим, что если маятник в начальный момент вращается с угловой скоростью ω_0, то к моменту остановки он повернется на угол φ, определяемый из соотношения

$$1/2\, I\omega_0^2 = A_{тр} = M_{тр}\varphi, \qquad (6.12)$$

где $1/2\, I\omega_0^2$ - начальная кинетическая энергия вращающегося маятника, $A_{тр}$ - работа сил трения. В (12) предполагается, что момент сил трения является постоянной величиной и связан с угловым ускорением соотношением

$$I\varepsilon_0 = M_{тр}\varphi, \qquad (6.13)$$

где ε_0 - ускорение, определяемое только моментом сил трения. Из (6.12) и (6.13) находим

$$\omega_0^2 = 2\varepsilon_0\varphi. \qquad (6.14)$$

Пусть n - полное число оборотов, которое делает маятник до остановки, а T_0 - период вращения маятника в начале движения. Тогда $\varphi = 2\pi n$, $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$ и из (6.14) получаем

$$\varepsilon_0 = \frac{\pi}{nT_0^2}. \qquad (6.15)$$

Отсюда ясно, как на опыте определить ε_0: нужно измерить время T_0, за которое совершается первый оборот, и полное число n оборотов маятника до остановки. Во всех дальнейших измерениях нужно следить, чтобы выполнялось неравенство $\varepsilon_0 \ll \varepsilon$.

Порядок выполнения работы

1. Сбалансируйте маятник. Для этого оставьте на крестовине два груза на двух противно находятся груза разных расстояниях от оси вращения. Спицы, на которых находится грузы, соединятся со втулкой резьбой. Вращая спицы в резьбе, добейтесь равновесия. Затем точно сбалансируйте второй паре спиц на таком же расстоянии от оси вращения.

Полезно несколько раз привести маятник во вращение, каждый раз давая ему возможность остановиться. Подумайте, как на основании этих опытов определить, хорошо ли сбалансирован маятник.

2. Определите приближенно минимальную массу m_0, при которой маятник начинает вращаться, и оцените момент сил трения из соотношения

$$M_{тр} = m_0 g r,$$

где r - радиус шкива, на котором подвешен груз m_0.

3. Оцените ускорение ε_0, возникающее под действием момента сил трения. Для этого приведите маятник во вращение, измерьте время T_0, за которое он совершает первый оборот, и полное число оборотов n маятника до

полной остановки. Затем по формуле (6.15) вычислите ε_0. Измерения повторите три раза и сравните соответствующие им значения ε_0.

4. Определите экспериментально зависимость углового ускорения ε маятника от момента приложенной силы mgr. В этой серии измерений момент инерции маятника должен оставаться постоянным: $I = const$.

Для определения зависимости $\varepsilon = \varepsilon(mgr)$ измерьте время t, за которое груз m опускается на расстояние h. Измерение времени t для каждого груза при постоянном значении h повторите три раза. Затем найдите среднее значение времени падения груза по формуле

$$\bar{t} = \frac{1}{3}(t_1 + t_2 + t_3).$$

Эти измерения и вычисления повторите для пяти значений массы m груза, причем для всех m должно выполняться неравенство $m \gg m_0$, где m_0 - масса перегрузка, страгивающего маятник (см. п. 2).

Результаты измерений запишите в табл. 1.

Таблица 1

t_1	t_2	t_3	$\bar{t}$	Δt	h	Δh	$\bar{\varepsilon}$	$\Delta\varepsilon$	mgr

$r =$ $\Delta mgr =$

5. Время Δt определяется из соотношения

$$\Delta t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(t_i - \bar{t})^2}{n(n-1)}}, \quad n = 3.$$

6. Угловое ускорение находится по формуле в $\varepsilon = \frac{a}{r}$.

7. Δm определяется с точностью, с которой известна масса грузов m.

8. Полученные экспериментально точки отложите в координатной плоскости $x = mgr$, $y = \varepsilon$ *и по ним постройте график зависимости.

9. Проверьте экспериментально зависимость (6.11). Для этого, взяв постоянную массу груза $m \gg m_0$, определите ускорение a груза m при пяти различных положениях R и на спицах грузов $m_{гр}$.

В каждом положении R измерения времени падения t груза m с высоты h повторите три раза. Результаты измерений занесите в табл. 2, где $\bar{t}, \Delta t, \Delta h$ определяются так же, как в табл. 1.

Таблица 2

R	r	$\left(\frac{R}{r}\right)^2$	$m_{гр}$	t_1	t_2	t_3	$\bar{t}$	Δt	$\bar{h}$	Δh	$\bar{a}$	$g/\bar{a}$

Вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы

1. Что называется моментом силы? Как направлен момент силы? Чему равна его величина?

2. Что такое плечо силы? Моменты каких сил действуют на систему в данной работе?

3. Как в работе определяется момент силы трения?

4. Что такое момент инерции? Каков его физический смысл? Запишите основное уравнение динамики вращательного движения применительно к системе, рассматриваемой в работе.

5. Как определить силу натяжения нити, на которой подвешен груз? Изменяется ли сила натяжения, если маятник вместе с грузом затормозить?

6. При каком условии по ускорению груза, подвешенного на нити, можно определить угловое ускорение системы?

Вопросы для защиты лабораторной работы

1. Выведите основное уравнение динамики вращательного движения твердого тела вокруг неподвижной оси. Между какими величинами устанавливается связь в этом уравнении?

2. Сформулируйте и докажите теорему Штейнера-Гюйгенса. Применяя теорему Штейнера-Гюйгенса, выведите расчетную формулу для момента инерции системы.

3. Движение материальной точки по окружности и его характеристики (линейная и угловая скорости, нормальное, тангенциальное и угловое ускорения, полное ускорение, период, частота вращения).

4. Абсолютно твердое тело. Степени свободы. Углы Эйлера. Мгновенная ось вращения. Теорема Эйлера.

5. Уравнение движения твердого тела. Замкнутость системы уравнения движения для твердого тела.

6. Момент инерции. Момент инерции различных тел.

7. Кинетическая энергия твердого тела.

8. Основной закон динамики вращательного движения твердого тела.

9. Момент количества движения и закон сохранения количества движения

10. Момент силы. Уравнение моментов.

11. Поступательное и вращательное движения в сравнении.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ ПОЛЕТА ПУЛИ С ПОМОЩЬЮ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Цель работы: Определить скорость полета пули с целью практического применения закона сохранения момента импульса, закона сохранения энергии в процессе неупругого удара.

Приборы и принадлежности: баллистический маятник, пружинная пушка, шкала для отсчёта, набор снарядов.

Теоретический материал

№13 Закон сохранения энергии

Выведем закон сохранения энергии. Для этого рассмотрим замкнутую систему материальных точек массами m_1, m_2, ..., m_n движущихся со скоростями V_1, V_2, ..., V. Пусть F'_1, F'_2, ..., F'_n - равнодействующие внутренних консервативных сил, действующих на каждую из этих точек, а F_1, F_2, ..., F_n - равнодействующие внешних сил. При v<<c массы материальных точек постоянны и уравнения второго закона Ньютона для этих точек следующие:

$$m_1 \frac{dv_1}{dt} = F_1' + F_1$$

$$m_2 \frac{dv_2}{dt} = F_2' + F_2$$

. . . .

$$m_n \frac{dv_n}{dt} = F_n' + F_n$$

Пусть все точки за какой-то интервал времени dt совершают перемещения dx_1, dx_2, ..., dx_n Умножим каждое из уравнений скалярно на соответствующее перемещение, и, учитывая, что $dx_i = v_i dt$ получим

$$m_1(v_1 dv_1) - (F'_1 + F_1)dx_1 = 0$$

$$m_2(v_2 dv_2) - (F'_2 + F_2)dx_2 = 0$$

. . . .

$$m_n(v_n dv_n) - (F'_n + F_n)dx_n = 0$$

Сложив эти уравнения и учитывая, что система замкнута т. е.

$$F_1 + F_2 + \ldots + F_n = 0$$

Получим

$$\sum_{i=1}^{n} m_i v_i dv_i - \sum_{i=1}^{n} F'_i \, dx_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^{n} m_i v_i dv_i - \sum_{i=1}^{n} d(m_i v^2{}_i / 2) = dT \text{ ,} \qquad (6.1)$$

dT есть бесконечно малое изменение кинетической энергии всей системы а $\sum_{i=1}^{n} F'_i \, dx_i = d\Pi$ бесконечно малая работа всех действующих в системе внутренних консервативных сил, взятая с обратным знаком, т. с., согласно (12.2), бесконечно малое изменение потенциальной энергии системы dП. Следовательно, для всей системы в целом

$$dT + d\Pi = 0$$

Откуда полная механическая энергия замкнутой системы:

$$T + \Pi = E' = const \, . \qquad (6.2)$$

Выражение (6.2) представляет собой закон сохранения механической энергии: в замкнутой системе тел, между которыми действуют только консервативные силы, механическая энергия сохраняется, т. е. не изменяется со временем.

Закон сохранения механической энергии связан с однородностью времени, т. е. с инвариантностью физических законов относительно выбора начала отсчета времени. Например, при свободном падении тела в поле сил тяжести его скорость и пройденный путь зависят лишь от начальной скорости и продолжительности свободного падения тела, а не зависят от того, когда тело начало падать.

В замкнутой системе тел, силы взаимодействия между которыми консервативны, взаимные превращения механической энергии в другие виды отсутствуют. Такие системы называются замкнутыми консервативными системами Существует еще один вид систем - диссипативные системы - такие системы, в которых механическая энергия постепенно уменьшается за счет преобразования в другие (немеханические) формы энергии. Этот процесс получил название диссипации (и ли рассеяния (энергии. Строго говоря, все системы в природе являются диссипативными.

При движении тела в замкнутой консервативной системе происходит непрерывное превращение кинетической его энергии в потенциальную и обратно в эквивалентных количествах, так что полная энергия остается неизменной. Поэтому, как указывает Ф. Энгельс, этот закон не есть просто закон количественного сохранения энергии, а закон сохранения и превращения энергии, выражающий и качественную сторону взаимного превращения различных форм движения друг в друга. Закон сохранения и превращения энергии - фундаментальный закон природы, он справедлив как для систем макроскопических тел, так и для систем микротел.

В замкнутой системе, в которой действуют силы трения, полная механическая энергия системы при движении убывает.

Следовательно, в этих случаях закон сохранения механической энергии несправедлив. Однако при «исчезновении» механической энергии всегда возникает эквивалентное количество энергии другого вида. Таким образом, энергия никогда не исчезает и не появляется вновь, она лишь превращается из одного вида в другой. В этом и заключается физическая сущность закона сохранения и превращения энергии - сущность неуничтожимости материи и ее движения.

Кинетическая и потенциальная энергии

Кинетическая энергия тела является мерой его механического движения и определяется работой, которую необходимо совершить, чтобы вызвать данное движение тела. Если сила F действует на покоящееся тело и вызывает его движение со скоростью v, то она совершает работу, а энергия движущегося тела возрастает на величину затраченной работы. Таким образом, работа силы F на пути, который тело прошло за время возрастания скорости от 0 до v, идет на увеличение кинетической энергии тела, т. е.

$$dA + dT = 0$$

Используя скалярную запись второго закона ньютона $F = m\frac{dv}{dt}$ и умножая обе части равенства на перемещение ds получим

$$m\frac{d\upsilon}{dt}ds = Fds = dA$$

Так как $\upsilon = \frac{ds}{dt}$, то

$$dA = m\upsilon d\upsilon = dT$$

$$T = \int_0^{\upsilon} m\upsilon d\upsilon = m\upsilon^2$$

Таким образом для тела массой m, движущегося со скоростью u кинетическая энергия

$$T = \frac{m\upsilon^2}{2}. \qquad (6.3)$$

Из формулы (6.3) видно, что кинетическая энергия зависит только от массы и скорости тела, т. е. кинетическая энергия системы есть функция состояния ее движения.

При выводе формулы (6.3) предполагалось, что движение рассматривается в • инерциальной системе отсчета, так как иначе нельзя было бы использовать закон Ньютона. В разных инерциальных системах отсчета, движущихся друг относительно друга, скорость тела, а следовательно, и его кинетическая энергия будут неодинаковы. Таким образом, кинетическая энергия зависит от выбора системы отсчета.

Потенциальная энергия - часть общей механической энергии системы, определяемая взаимным расположением тел и характером сил взаимодействия между ними.

Пусть взаимодействие тел осуществляется посредством силовых полей (например, поля упругих сил, поля гравитационных сил), характеризующихся тем, что работа, совершаемая действующими силами при перемещении тела из одного положения в другое, не зависит от того, по какой траектории это перемещение произошло, а зависит только от начального и конечного положений. Такие поля называются потенциальными, а силы, действующие в них, — консервативными. Если же работа, совершаемая силой, зависит от траектории перемещения тела из одной точки в другую, то такие силы называются диссипативными; примером их являются силы трения.

Тело, находясь в потенциальном поле сил, обладает потенциальной энергией П, которая определяется с точностью до некоторой произвольной постоянной. Это, однако, не отражается на физических законах, так как в них входит или разность потенциальных энергий в двух положениях тела, или производная П по координатам. Поэтому потенциальную энергию какого-то определенного положения тела считают равной нулю (выбирают нулевой уровень отсчета), а энергию других положений отсчитывают относительно нулевого уровня.

Потенциальная энергия тела обычно определяется работой, которую совершили бы действующие на него внешние силы, преодолевающие консервативные силы взаимодействия, перемещая его из конечного состояния, где потенциальная энергия равна нулю, в данное положение.

Работа консервативных сил, приложенных к телу, равна изменению потенциальной энергии этого тела, взятому с обратным знаком, т. е.

$$dA = -d\Pi \tag{6.4}$$

так как работа совершается за счет убыли потенциальной энергии.

Поскольку работа dA есть скалярное произведение силы F на перемещение dr, то выражение (6.4) можно записать в виде

$$Fdr = -d\Pi \tag{6.5}$$

Следовательно, если известна функция П(r), то (6.5) полностью определяет силу F по модулю и направлению.

В случае консервативных сил

$$F_x = -\frac{\partial П}{\partial x}, F_y = -\frac{\partial П}{\partial y}, F_z = -\frac{\partial П}{\partial z}$$

Или в векторном виде

$$F = -gradП, \tag{6.6}$$

Где символом grad П обозначена сумма

$$gradП = \frac{\partial П}{dx} i + \frac{\partial П}{dy} j + \frac{\partial П}{dz} k, \tag{6.7}$$

где i, j, k - единичные векторы координатных осей. Вектор, определяемый выражением (6.7), называется градиентом скаляра П. Для него наряду с обозначением grad П применяется также обозначение $\nabla П$. ∇ («набла») означает символический вектор, называемый оператором Гамильтона или намбла-оператором

$$\nabla = \frac{\partial}{dx} i + \frac{\partial}{dy} j + \frac{\partial}{dz} k \tag{6.8}$$

Конкретный вид функции П зависит от характера силового поля. Например, потенциальная энергия тела массой т, поднятого на высоту и над поверхностью

Земли, равна

$$П = mgh \tag{6.9}$$

где h - высота, отсчитанная от нулевого уровня, для которого $П_0 = 0$. Выражение (6.9) вытекает непосредственно из того, что потенциальная энергия равна работе силы тяжести при падении тела с высоты h на поверхность Земли.

Полная механическая энергия системы –энергия механического движения и взаимодействия

$E = T + \Pi$

2. Упругое и неупругое соударения тел.

При соударении тел друг с другом они претерпевают деформации. При этом кинетическая энергия, которой обладали тела перед ударом, частично или полностью переходит в потенциальную энергию упругой деформации и в так называемую внутреннюю энергию тел. Увеличение внутренней энергии тел сопровождается повышением их температуры.

Существуют два предельных вида удара: абсолютно упругий и абсолютно неупругий. Абсолютно упругим называется такой удар, при котором механическая энергия тел не переходит в другие, немеханические, виды энергии. При таком ударе кинетическая энергия переходит полностью или частично в потенциальную энергию упругой деформации. Затем тела возвращаются к первоначальной форме, отталкивая друг друга. В итоге потенциальная энергия упругой деформации снова переходит в кинетическую энергию, и тела разлетаются со скоростями, величина и направление которых определяются двумя условиями – сохранением полной энергии и сохранением полного импульса системы тел.

Абсолютно неупругий удар характеризуется тем, что потенциальной энергии деформации не возникает; кинетическая энергия тел полностью или частично превращается во внутреннюю энергию; после удара столкнувшиеся тела либо движутся с одинаковой скоростью, либо покоятся. При абсолютно неупругом ударе выполняется лишь закон сохранения импульса, закон же сохранения механической энергии не соблюдается: имеет место закон сохранения суммарной энергии различных видов – механической и внутренней.

Рассмотрим вначале абсолютно неупругий удар двух частиц (материальных точек), образующих замкнутую систему. Пусть массы частиц равны m1 и m2, а скорости до удара v10 и v20. В силу закона сохранения суммарный импульс частиц после удара должен быть таким же, как и до удара:

$$m_1 v_{10} + m_2 v_{20} = m_1 v + m_2 v = (m_1 + m_2) v \quad (1)$$

(v — одинаковая для обеих частиц скорость после удара). Из (1) следует, что

$$v = \frac{m_1 v_{10} + m_2 v_{20}}{m_1 + m_2}. \quad (2)$$

Для практических расчетов нужно спроектировать соотношение (2) на соответствующим образом выбранные направления.

Рассмотрим абсолютно упругий удар, причем ограничимся случаем центрального удара двух однородных шаров. Удар называется центральным, если шары до удара движутся вдоль прямой, проходящей через их центры. При центральном ударе соударение может произойти, если: 1) шары движутся навстречу друг другу (рис. 1, *а)* и 2) один из шаров догоняет другой (рис. 1, б).

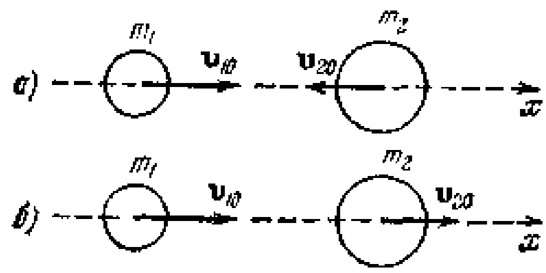


Рис. 1

Будем предполагать, что шары образуют замкнутую систему или что внешние силы, приложенные к шарам, уравновешивают друг друга. Кроме того, будем считать, что вращение шаров отсутствует.

Обозначим массы шаров m_1 и m_2, скорости шаров до удара v_{10} и v_{20} и, наконец, скорости после удара v_1 и v_2. Напишем уравнения сохранения энергии и импульса:

$$\frac{m_1 v_{10}^2}{2} + \frac{m_2 v_{20}^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2}, \quad (3)$$

$$m_1 v_{10} + m_2 v_{20} = m_1 v_1 + m_2 v_2 \ . \quad (4)$$

Учитывая, что разность квадратов двух чисел равно произведению суммы и разности этих чисел:

$$a^2 - b^2 = (a+b)(a-b)$$

приведем (3) к виду

$$m_1(v_{10} - v_1)(v_{10} + v_2) = m_2(v_{20} - v_2)(v_{20} + v_2).$$

(5)

Соотношение (4) преобразуем следующим образом:

$$m_1(v_{10} - v_1) = m_2(v_2 - v_{20}).$$

(6)

Из соображений симметрии можно утверждать, что скорости шаров после удара будут направлены вдоль той же прямой, вдоль которой двигались центры шаров перед ударом. Следовательно, все векторы в (5) и (6) коллинеарны. Для коллинеарных вектор **a,** Ь, **c** из ab=ac следует, что Ь= с. Поэтому, сопоставив (5) и (6) можно заключить, что.

$$\upsilon_{10} + \upsilon_1 = \upsilon_2 + \upsilon_{20}.$$

(7)

Умножив (7) на *m2* и вычтя результат из (6), а затем умножив (7) на *m1* и сложив результат с (6), получим скорости шаров после удара:

$$\upsilon_1 = \frac{2m_2\upsilon_{20} + (m_1 - m_2)\upsilon_{10}}{m_1 + m_2}, \qquad \upsilon_2 = \frac{2m_1\upsilon_{10} + (m_2 - m_1)\upsilon_{20}}{m_1 + m_2}.$$

(8)

Для численных расчетов нужно спроектировать соотношения (8) на ось x, вдоль которой движутся шары (см, рис. 1).

Отметим, что скорости шаров после абсалютно упругого удара не могут одинаковыми. В самом деле, приравняв друг другу выражения (8) для v1 и v2 и произведя преобразования, получим

$$v_{10} = v_{20}.$$

Следовательно, для того чтобы скорости шаров после удара оказались одинаковыми, необходимо, чтобы они были одинаковыми и до удара, но в этом случае соударение не может произойти. Отсюда следует, что условие равенства скоростей шаров после удара несовместимо с законом сохранения энергии. Таким образом при неупругом ударе механическая энергия не сохраняется – она частично переходит во внутреннюю энергию соударяющихся тел, что приводит к их нагреву.

Рассмотрим случай, когда массы соударяющихся шаров равны: $m_1=m_2$. Из (8) следует, что при этом условии

$$v_1 = v_{20}, \qquad v_{20} = v_{10}.$$

т. е. шары при соударении обмениваются скоростями. В частности, если один из шаров одинаковой массы, например, второй, до соударения покоится, то после удара он движется с такой же скоростью, какую имел первоначально первый шар, первый же шар после удара оказывается неподвижным.

С помощью формул (8) можно определить скорость шара после упругого удара о неподвижную или движущуюся стенку (которую можно рассматривать как шар бесконечно большой массы m_2 и бесконечно большого радиуса). Деля числитель и знаменатель выражений (8) на m_2 и пренебрегая членами, содержащими множитель m_1/m_2 получаем:

$$v_1 = 2v_{20}-v_{10}, \qquad v_2=v_{20}.$$

Как следует из полученного результата, скорость стенки остается неизменной. Скорость же шара, если стенка неподвижна ($v_{20}=0$), меняет направление на противоположное; в случае движущейся стенки изменяется также величина скорости шара (возрастает на $2v_{20}$, если стенка движется навстречу шару, и убывает на $2v_{20}$, если стенка «уходит» от догоняющего ее шара).

Краткая теория к лабораторной работе

Настоящая задача представляет собой один из примеров практического использования процесса неупругого удара для определения скорости полета пули методом баллистического маятника.

$$r = r_i + \frac{D}{2}$$

$$R = r + a$$

Баллистический маятник представляет собой массу M. В нашем случае это цилиндр, частично наполненный пластилином, подвешенный на длинных лёгких нитях. В маятник стреляют по горизонтальному направлению снарядом, имеющим массу m и скоростью υ, снаряд входит в пластилин и сообщает общей массе системы M+m некоторую скорость υ. Маятник отклоняется, и высоту подъёма h измеряют.

Если время t соударения пули с маятником мало по сравнению с периодом T колебания маятника, то маятник не успеет заметно отклониться от исходного положения за время соударения. Это значит, что во время ударения возникает силы, стремящейся вернуть маятник в исходное положение.

Поэтому в таком случае систему снаряд-маятник можно рассматривать, как замкнутую и применять к ней законы сохранения количества движения. В условиях нашей задачи $t \ll \mathrm{T}$. Следовательно, можно записать:

$$m\upsilon = (M+m)\upsilon' \qquad (1)$$

Применения здесь к удару пули о маятник закон сохранения количества движения в системе снаряд-маятник является вполне строгим приёмом решения задачи, но совсем не универсальным для задач в соударении двух твёрдых тел, из которых одно имеет неподвижную ось. Возможность использования закона сохранения количества движения связано в данном случае с тем, что размеры маятника малы по сравнению с длинной нет и подвеса, т.е. данный маятник можно рассматривать как математический, и тогда, как легко показать, уравнение, выражающее закон сохранения момента количества движения.

Действительно, закон сохранения момента количества движения для системы пуля-маятник запишется в виде:

$$m\upsilon r = I\omega \qquad (2)$$

где ***mvr***-момент количества движения пули до удара, *I*-момент инерции маятника с пулей относительно оси вращения

$$I = (M + m)r^2$$

r – расстояние от центра тяжести до точки подвеса. Подставляя это значение в формулу (2), получим:

$$m\upsilon r = (M + m)r^2 \frac{\upsilon'}{r}; \quad \text{или}$$

$$m\upsilon = (M + m)\upsilon'$$

т.е. соотношение, выражающее закон сохранения количества движения. В общем случае при ударе снаряда в маятник произвольной конфигурации для решения задачи нужно пользоваться законом сохранения количества движения. Однако, для любого маятника существует некоторые центр удара, совпадающей с центром удара маятника, при ударе в который никакого взаимодействия между маятником и осью в момент удара не происходит. В этом случае при ударе пули в центр качения уравнения закона сохранения момента количества движения вполне эквивалентно уравнению закона сохранения количества движения.

Если массы *M* и *m* и скорость υ определены на опыте, то скорость υ может быть вычислена из соотношения (1). Очевидно, массы *M* и *m* можно определить путем взвешивания. Что касается скорости υ, то она может быть определена из следующих соображений. После удара маятника повернётся вокруг горизонтальной оси, и его центр тяжести поднимается на высоту h. Закон сохранения механической энергии после удара запишется в этом случае:

$$\frac{(M+m)\upsilon'^2}{2}=(M+m)gh$$

откуда: $\upsilon'=\sqrt{2gh}$

(3)

Величина h может быть определена из измерений отклонений маятника из положения равновесия (рис.1). Длина нитей, на которых подвешен маятник l_0, считается заданной.

Обозначим через l-расстояние от центра тяжести маятника до точки подвеса.

$h=l-l\cos a=2l\sin^2\frac{a}{2}$

$$h=l-l\cos a=2l\sin^2\frac{a}{2} \qquad (4)$$

где a – угол отклонения маятника от положения равновесия. В свою очередь

$\mathrm{tg}\,a=\frac{S}{R}$

$$tga=\frac{S}{R}$$

угол a может быть определён из условия , где S-смещение нити отсчетной рамки в горизонтальном направлении,

R-расстояние этой рамки до точки подвеса $R=l+a$ $R=l+a$ (l – расстояние от точки подвеса до центра тяжести маятника a=52мм.). Для малых углов

$$tga\approx\sin a=\frac{S}{R} \qquad (5)$$

Учитывая формулы (1), (3), (4) выражение для скорости полёта снаряда запишется в виде:

$$\upsilon = \frac{M+m}{m} 2\sin\frac{a}{2}\sqrt{gl}$$

С учетом приближения (5) окончательно для скорости полета снаряда получим формулу

$$\upsilon = \frac{M+m}{m} \cdot \frac{S}{R}\sqrt{gl} \qquad (6)$$

где M=575 г, D=27 мм, l=2м

Порядок выполнения работы

Сначала взвешивают снаряды и цилиндрическое тело маятника. Затем подвешивают тело маятника на нити. Регулируют длину нитей так, чтобы направление оси цилиндра было горизонтальной и перпендикулярной к линии, соединяющий обе точки подвеса. При этом надо следить за тем, чтобы нити подвеса не перекручивались. Устанавливают шкалу, предназначенную для определения отклонения маятника, параллельно отсчётной рамки маятника на расстоянии примерно 5-6мм от неё. Приготавливают пушку к выстрелу. Для этого рычаг отводят в крайне правое положение. Вставляют снаряд в дуло пушки и задвигают его шомполом до отказа. Тщательно убедившись в том, что снаряд, вылетевший из пушки, может попасть только в маятник, проводят выстрел. Для этого отводят курок. Проводят отсчёт отклонения маятника по шкале.

Для каждого снаряда проводят не менее 5 выстрелов. По этим данным находят среднее значение отклонения S. Подставляют значения в формулу (6) и определяют скорость полета.

Опыт производится с 3 снарядами.

Вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы

1. На основе каких законов определяют скорость полета пули?
2. Следует ли проводить измерения, если пуля отскочила от мишени, не застряла в ней

3. Останется ли постоянной механическая энергия системы пуля-маятник в результате попадания пули?
4. К каким состояниям системы пуля-маятник применим закон сохранения механической энергии? Какие допускаются при этом вводятся

Вопросы для защиты лабораторной работы.

1. Вывести расчетную формулу для скорости полета пули.
2. Математическая сущность механических законов сохранения.
3. Потенциальные силы, работа, мощность, потенциальная и кинетическая энергии. Работа в потенциальном поле.
4. Работа сил тяжести, сил упругости, сил тяготения.
5. Момент импульса и момент силы. Законы сохранения момента импульса. Уравнение моментов.
6. Закон сохранения импульса и энергии в нерелятивистском и релятивистском случаях.
7. Центр масс. Система центра масс.
8. Столкновения и законы сохранения при столкновениях
9. Упругие и неупругие столкновения.

<u>Вопросы для тестирования</u>

I:
S: Векторные величины – это:
-: величины, значение которых определяется только численными значениями;
-: величины, значение которых определяется только направлением;
+: величины, значение которых определяется не только численными значениями, но и направлением;
-: величины, значение которых определяется направлением вдоль осей координат.
I:
S: Что такое материальная точка?
-: тело, состояние которого учитывается в данной задаче
-: физическое тело, движущееся равномерно и прямолинейно
+: тело, размерами которого в данной задаче можно пренебречь

-: тело, на которое действуют внешние силы
I:
S: В каком из ответов все величины являются векторными:
-: момент количества движения, ускорение, импульс, работа, момент инерции;
+: скорость, напряженность поля, ускорение, импульс, момент импульса;
-: сила, масса, заряд, импульс, скорость;
-: момент силы, момент инерции, перемещение, время, скорость.
I:
S: Момент инерции тела относительно оси вращения является аналогом
+: массы при поступательном движении
-: силы при поступательном движении
-: импульса при поступательном движении
-: скорости при поступательном движении
I:
S: Скорость течения жидкости вдоль трубки тока
+: обратно пропорциональна площадям поперечного сечения
-: пропорциональна площадям поперечного сечения
-: не зависит от площади поперечного сечения
-: пропорциональна квадрату площади поперечного сечения
I:
S: Если равнодействующая всех приложенных сил к телу массой 2кг равна 4Н, то скорость его движения
-: 2 м/с
-: 4 м/с
-: 0 м/с
+: может быть любой
I:
S: Шарик, летящий под углом к горизонту, упруго ударяется о стенку. При отражении шарика изменяется
+: x-компонента импульса и y-компонента импульса
-: x-компонента импульса
-: y-компонента импульса
-: ничего не изменяется
I:
S: Система отсчета:
-: система координат, связанная с телом отсчета;
+: система координат, связанная с телом отсчета и отсчитывающими время часами;
-: совокупность подвижных относительно друг друга тел, по отношению к которым рассматривается движение, и, отсчитывающие время, часы;
-: совокупность неподвижных относительно друг друга тел, по отношению к которым рассматривается движение.

I:
S: Период колебания математического маятника с поднятием его над поверхностью Земли изменяется по закону
+: линейному
-: параболическому
-: экспоненциальному
-: не изменяется
I:
S: Частица движется в вакууме со скоростью с. Это означает, что
+: ее масса равна нулю
-: она разгонялась очень долго
-: ее импульс равен нулю
-: ее полная энергия равна нулю
I:
S: В каком случае проекция силы на ось равна нулю
-: если направление силы противоположно направлению оси
+: если направление силы перпендикулярно к оси
-: если направление силы совпадает с направлением оси
-: если направление силы находится под углом к оси
I:
S: От чего зависит скорость течения времени в классической механике?
+: От точности изготовленных для проведения опытов часов.
-: От массы тела, вблизи которого производятся измерения.
-: Таких причин нет.
-: От того, в какой системе отсчета (инерциальной или неинерциальной) происходят измерения.
I:
S: Как связаны между собой пространство и время в классической механике?
-: Пространство и время неразрывно связаны между собой; они являются формой существования материи.
-: Пространственно-временная связь определяет структуру нашего мира, и этим они связаны друг с другом.
-: Пространство и время связаны причинно-следственной связью, нарушаемой очень сильной гравитацией.
+: Связь отсутствует.
I:
S: Уравнение средней угловой скорости
+: $=\Delta\varphi/\Delta t$
-: $=\Delta\varepsilon/\Delta t$
-: $=\Delta\varphi\ \Delta t$
-: $=\Delta\ \upsilon^2\ \Delta t$
I:

S: Смещение осциллятора относительно положения равновесия в гармонической волне (уравнение волны):
-: y=A/cos(ω t-k x);
+: y=A cos(ω t-k x);
-: y=A+cos(ω t-k x);
-: y= A-cos(ω t-k x);
I:
S: Внешние силы – это?
-: силы взаимодействия внутри системы между ее материальными точками
+: силы с которыми тела действуют на данную систему
-: силы, которые не изменяют состояние системы
-: силы взаимодействия молекул
I:
S: Что такое волна?
-: процесс изменения колебаний во времени;
-: процесс изменения положения осцилляторов в среде во времени;
+: процесс распространения колебаний в среде с конечной скоростью;
-: процесс перемещения осцилляторов в среде с конечной скоростью.
I:
S: Какая волна называется поперечной?
+: при которой осциллятор испытывает смещение в направлении перпендикулярном направлению распространения волны; +
-: при которой осциллятор испытывает смещение в направлении распространения волны; -: при которой осциллятор испытывает смещение в направлении перпендикулярном направлению взгляда наблюдателя;
-: любая.
I:
S: По какому правилу определяется направление момента силы?
+: по правилу буравчика.
-: по правилу левой руки
+: по правилу правой руки
-: по уравнению моментов силы
21) Укажите правильное уравнение моментов силы
+: M=F*L
-: M=dN/dt
-: N=(R*P)
-: M=(R*F) I:
S: Можно ли какой-либо сигнал передать со скоростью большей скорости света по теории Эйнштейна:
-: да
+: нет
-: вопрос не позволяет дать однозначного ответа
-: затрудняюсь ответить

I:
S: Скорость света по Эйнштейна:
-: зависит от системы отсчета в которой ее определяют
+: не зависит от системы отсчета в которой ее определяют, она везде постоянна
-: затрудняюсь ответить
-: равна нулю
I:
S: Скорость света в вакууме равна:
-: $3*10^8$ км/ч
+: $3*10^8$ м/с
-: $3*10^6$ м/с
-: $2*10^8$ м/с

Вопросы, выносимые на коллоквиум

Коллоквиум 1

1. Кинематическое описания движения. Материальная точка.
2. Основные кинематические характеристики движения частиц. Путь и перемещение частиц. Среднее и мгновенная скорость. Ускорение.
3. Скорость и ускорение при прямолинейном движении.
4. Угловая скорость, угловое ускорение.
5. Скорость и ускорение при криволинейном движении.
6. Некоторое сведение о векторах.
7. Ускорение нормальное и тангенциальное.
8. Кинематика вращательного движения.
9. Классическая механика. Границы ее применимости.
10. Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета.
11. Масса и импульс тела.
12. Второй закон Ньютона.
13. Единицы и размерности физических величин. Третий законы Ньютона
14. Принцип относительности Галлилея.
15 Силы в механике. Фундаментальные и не фундаментальные силы
16. Сила тяжести и вес. Невесомость.
17. Практическое применение законов Ньютона.
18. Сила упругости. Упругие деформации и напряжения. Закон Гука.
19. Деформация растяжения и сдвига. Модуль Юнга.
20. Силы трения. Силы сухого трения. Силы внутреннего трения.

21. Интегралы движения (сохраняющиеся физические величины). Закон сохранения и симметрия пространства и времени.

Коллоквиум 2

1. Кинетическая энергия.
2. Работа и мощность. Единицы измерения работы и мощности.
3. Закон сохранения импульса. Центр инерции. Закон движения центра инерции.
4. Упругое и неупругое соударение тел.
5. Момент импульса. Момент силы. Закон сохранения момента импульса.
6. Консервативные и не консервативные силы.
7. Потенциальная энергия точки во внешнем поле.
8. Движение частиц в центральном поле сил Энергия тел взаимодействующих сил.
9. Задача двух тел.
10. Описание движения в неинерциальных системах отсчета. Силы инерции.
11. Центробежная сила инерции.
12. Сила Кориолиса.
13. Законы сохранения в не инерциальных системах отсчета.
14. Вращение твердого тела вокруг неподвижной оси. Момент инерции (теорема Штейнера - вывод) для некоторых тел (стержня, диска, шара).
15. Законы Кеплера. Закон всемирного тяготения
16. Поле тяготения и его напряженность. Работа в поле тяготения. Потенциал поле тяготения.
17. Сила тяжести и вес. Невесомость.
18. Космические скорости.
19. Элементы специальной теории относительности (СТО).
20. Преобразования Галилея. Механический принцип относительности.
21. Постулаты специальной теории относительности.

Оценочные материалы для промежуточной аттестации

Экзамен проводится по билетам. В каждом билете 2 теоретических вопроса.

Экзаменационные вопросы

1. Кинематическое описания движения. Материальная точка.
2. Основные кинематические характеристики движения частиц. Путь и перемещение частиц. Среднее и мгновенная скорость. Ускорение
3. Скорость и ускорение при прямолинейном движении.
4. Угловая скорость, угловое ускорение.
5. Скорость и ускорение при криволинейном движении.
6. Некоторое сведение о векторах.
7. Ускорение нормальное и тангенциальное.
8. Кинематика вращательного движения.
9. Классическая механика. Границы ее применимости.
10. Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета.
11. Масса и импульс тела.
12. Второй закон Ньютона.
13. Единицы и размерности физических величин. Третий законы Ньютона
14. Принцип относительности Галлилея.
15 Силы в механике. Фундаментальные и не фундаментальные силы
16. Сила тяжести и вес. Невесомость.
17. Практическое применение законов Ньютона.
18. Сила упругости. Упругие деформации и напряжения. Закон Гука.
19. Деформация растяжения и сдвига. Модуль Юнга.
20. Силы трения. Силы сухого трения. Силы внутреннего трения.
21. Интегралы движения (сохраняющиеся физические величины). Закон сохранения и симметрия пространства и времени.
22. Кинетическая энергия.
23. Работа и мощность. Единицы измерения работы и мощности.
24. Закон сохранения импульса. Центр инерции. Закон движения центра инерции.
25. Упругое и неупругое соударение тел.
26. Момент импульса. Момент силы. Закон сохранения момента импульса.
27. Консервативные и не консервативные силы.
28. Потенциальная энергия точки во внешнем поле.
29. Движение частиц в центральном поле сил Энергия тел взаимодействующих сил.
30. Задача двух тел.
31. Описание движения в неинерциальных системах отсчета. Силы инерции.
32. Центробежная сила инерции. Сила Кориолиса.

33. Законы сохранения в не инерциальных системах отсчета.
34. Вращение твердого тела вокруг неподвижной оси. Момент инерции (теорема Штейнера - вывод) для некоторых тел (стержня, диска, шара).
35. Законы Кеплера. Закон всемирного тяготения
36. Поле тяготения и его напряженность. Работа в поле тяготения. Потенциал поле тяготения.
37. Сила тяжести и вес. Невесомость. Космические скорости.
38. Элементы специальной теории относительности (СТО).
39. Преобразования Галилея. Механический принцип относительности.
40. Постулаты специальной теории относительности