

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 19.06.2023 14:13

Уникальный программный ключ:

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению лабораторных работ

по дисциплине «ФИЗИКА»

для студентов направления подготовки 19.03.04 Технология продукции и

организация общественного питания

Технология и организация ресторанного дела

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

Содержание	Стр.
Введение.	3
Инструкция по технике безопасности	5
Тематический план лабораторных работ	6
Описание лабораторных работ	7
Л.Р.1. Определение момента инерции махового колеса	7
Л.Р.2. Опытная проверка законов теплового излучения.	12
Приложение 1. Справочные материалы по физике	18
Приложение 2. Справочные материалы по математике	26
Учебно - методическое и информационное обеспечение дисциплины.	31

Инструкция по технике безопасности при проведении лабораторных работ.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. При выполнении лабораторных работ студентам запрещается:
 - включать схемы под напряжением без проверки преподавателя;
 - прикасаться к незащищённым изоляцией частям схемы, находящихся под напряжением;
 - определять наличие напряжения на элементах цепи при помощи пальцев; проверка наличия напряжения производится только с помощью вольтметра и в присутствии преподавателя;
 - при работе на лабораторной установке прикасаться одновременно стен, радиаторов системы отопления и других металлических предметов;
 - включать рубильники, нажимать кнопки, прикасаться к электрическому оборудованию, не относящемуся к данной лабораторной работе без ведома преподавателя;
 - производить по ходу выполнения работы переключения в схеме, не обесточив её;
 - бросать соединительные провода на пол и на исследуемую установку;
 - заменять сгоревшие предохранители на рабочих щитах при включённых рубильниках;
 - класть на рабочий стол посторонние предметы;
 - входить в лабораторию в верхней одежде;
 - курение и зажигание огня.
4. Перед включением схемы обязательно предупредить членов бригады: «Осторожно! Включаю!».
5. При работе на установках, в которых может наблюдаться резонанс, соблюдать особую осторожность.
6. При наличии в схеме конденсаторных батарей, необходимо после отключения питания их разрядить под наблюдением преподавателя.
7. При обнаружении каких – либо неисправностей, исчезновения напряжения в сети, а также при несчастном случае, немедленно прекратить работу, отключить установку от электропитания и сообщить преподавателю.
8. Помнить, что при отключении цепей постоянного тока с индуктивностью возможно кратковременное резкое повышение напряжения.
9. Студенты, нарушившие правила техники безопасности, не допускаются к дальнейшей работе в лаборатории и привлекаются к ответственности.

Тематический план лабораторных работ

№ темы	Наименование тем лабораторных работ	Объем часов	Интерактивная форма проведения
1 семестр			
1	Лабораторная работа 1. Определение момента инерции махового колеса	1,5	
2	Лабораторная работа 2. Измерение сопротивления с помощью моста Уитстона	1,5	
Итого за 1 семестр		3	
2 семестр			
3	Лабораторная работа 3. Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли	3	
4	Лабораторная работа 4. Измерение длины световой волны с помощью дифракционной решётки	1,5	
Итого за 2 семестр		4,5	
Итого		7,5	

Описание лабораторных работ

Лабораторная работа № 1

Определение момента инерции махового колеса

Оборудование: маховик, набор грузов, линейка, штангенциркуль, секундомер.

Цель работы: найти момент инерции твердого тела.

Краткая теория

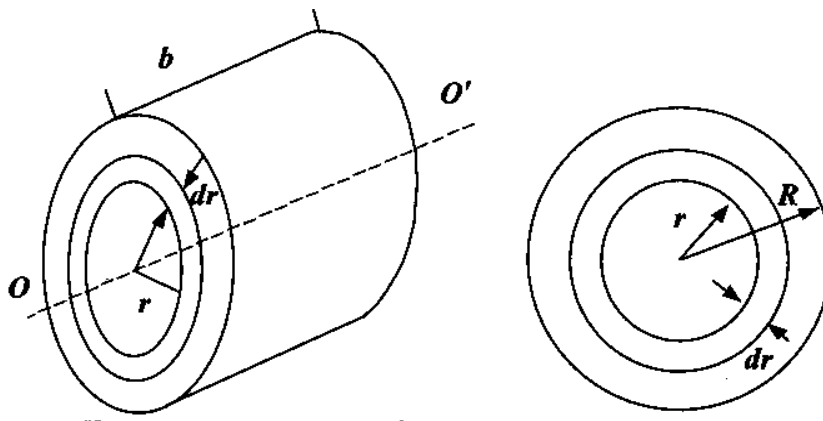
Момент инерции I характеризует инерционные свойства тела во вращательном движении. Для твердого тела I представляет собой сумму моментов инерции всех его точек, т.е.

$$I = \sum_{i=1}^N m_i r_i^2, \quad (1)$$

где m_i – масса i -ой точки тела, r_i – ее расстояние от оси вращения, N – число точек тела.

Вообще говоря, вычисление момента инерции – математическая процедура. Действительно, выделяя в теле элемент объема dV , масса его будет равна $m = \rho dV$, где ρ – плотность вещества. Формула (1) в этом случае приобретает вид

$$I = \int_V \rho r^2 dV \quad \text{Если тело однородное, т.е. } \rho = \text{const, то} \quad I = \rho \int_V r^2 dV \quad (2)$$



Для тела правильной геометрической формы, такой интеграл может быть вычислен.

Так, если тело имеет форму сплошного цилиндра, то, беря в качестве элемента объема цилиндр длиной b , радиуса r и толщиной стенки dr получим

$$dV = b 2\pi r dr.$$

Следовательно,

$$I = \rho \int_0^R r^2 2\pi b \cdot dr = \rho 2\pi b \int_0^R r^3 dr = \rho 2\pi b \frac{r^4}{4} \Big|_0^R = \rho \frac{\pi b R^4}{2}.$$

Так как, $\pi R^2 b = V$ – объем сплошного цилиндра, а $\rho \cdot V = m_0$ – его масса, то окончательно получаем

$$I = \frac{m_0 R^2}{2} \quad (3)$$

Для тел неправильной геометрической формы подобные расчеты могут быть достаточно сложными, поэтому разработаны различные экспериментальные способы определения моментов инерции. Наиболее простой из них предлагается в данной лабораторной работе.

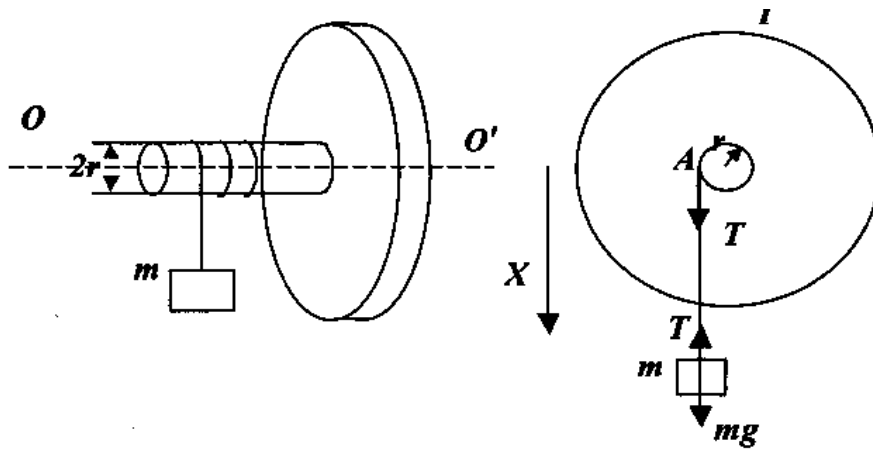


рис.2

На ось (вал) маховика, радиуса r наматывается нить длиной l , к которой прикреплен груз массой m (рис.2). Под действием силы натяжения нити T , маховик раскручивается и спустя время t_1 нить с вала соскальзывает. Далее, вращаясь равнозамедленно, под действием момента сил трения $M_{тр}$ маховик остановится за время t_2 . Измеряя время t_1 и t_2 , зная массу груза m и длину нити l , при известном r можно получить формулу для экспериментального определения момента инерции маховика I .

В первом приближении не будем учитывать трение в течение времени t_1 , то есть при разматывании нити. Мы имеем классическую задачу динамики двух тел: одно из которых (груз) движется поступательно, а другое (маховик) вращается.

Из второго закона Ньютона для поступательного и вращательного

движений имеем:

$$\begin{cases} mg - T = ma, \\ M = I\varepsilon. \end{cases} \quad (4)$$

Здесь a – ускорение, с которым опускается груз. Это же ускорение будет линейным (тангенциальным) ускорением точки A на оси маховика.

ε – угловое ускорение точки A , причем $\varepsilon = \frac{a}{r}$.

T – сила натяжения нити.

$M = Tr$ – момент силы натяжения нити, приложенной к валу маховика. Используя приведенные выше формулы, систему уравнений (4) запишем в виде:

$$\begin{cases} mg - T = ma, \\ T = I \frac{a}{r^2}. \end{cases} \quad (5)$$

Откуда легко получаем формулу для определения I

$$I = mr^2 \left(\frac{g}{a} - 1 \right) \quad (6)$$

Так как груз движется равноускоренно без начальной скорости и за время t_1 проходит путь l (длину нити), то

$$l = \frac{at_1^2}{2} \quad \text{и} \quad a = \frac{2l}{t_1^2}$$

Таким образом, окончательно получаем формулу для определения момента инерции махового колеса, при условии отсутствия трения.

$$I_1 = mr^2 \left(\frac{gt_1^2}{2l} - 1 \right) \quad (7)$$

Определение момента сил трения.

В момент соскальзывания нити с вала маховик приобретает угловую скорость $\omega_1 = \varepsilon_1 = \frac{a}{r} t_1 = \frac{2l}{t_1^2 r} t_1 = \frac{2l}{rt_1}$. Под действием момента сил трения M_{mp} , маховик спустя время $\Delta t = t_2$ остановится. Его момент импульса L изменится от значения $I\omega_1$ до 0. Следовательно, принимая что $M_{mp} = \text{const}$, из закона изменения момента импульса имеем:

$$M_{mp} = \frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{0 - I\omega_1}{t_2} = -\frac{I2l}{rt_1 t_2},$$

Здесь $L = I\omega$ – момент импульса тела.

Считая $I = I_1$, для момента сил трения получим:

$$M_{mp} = \frac{2I_1 l}{rt_1 t_2} \quad (8)$$

(В формуле (7) знак минус для M_{mp} опущен).

Вообще говоря, этот же момент сил трения действует и на раскручивающийся маховик, то есть в течение времени t_1 . Поэтому можно получить более точное значение момента инерции маховика I_2 , с учетом M_{mp} .

В этом случае система уравнений (4) будет иметь вид:

$$\begin{cases} mg - T = ma, \\ M - M_{mp} = I\varepsilon. \end{cases} \quad (9)$$

Учитывая (7) и, что $M = Tr$, $\varepsilon = \frac{a}{r}$, $a = \frac{2l}{t_1^2}$, (см. выше) получим:

$$\begin{cases} mg - T = ma, \\ T - \frac{M_{mp}}{r} = I \frac{a}{r^2} \end{cases} \text{ или } \begin{cases} mg - T = ma, \\ T = I \left(\frac{a}{r^2} + \frac{2l}{r^2 t_1 t_2} \right) = I \left(\frac{a}{r^2} + \frac{a}{r^2} \frac{t_1}{t_2} \right) = I \frac{a^2}{r^2} \left(1 + \frac{t_1}{t_2} \right). \end{cases}$$

Откуда найдем, что

$$I_2 = \frac{mr^2}{1 + \frac{t_1}{t_2}} \left(\frac{gt_1^2}{2l} - 1 \right) = \frac{I_1}{1 + \frac{t_1}{t_2}} \quad (10)$$

Формула (9) более точная экспериментальная формула для определения момента инерции маховика.

Заметим, что если трения пренебрежимо мало и $t_2 \gg t_1$, то $\frac{t_1}{t_2} \approx 0$ и $I_2 \approx I_1$

, т.е. формулы (9) и (6) практически совпадают.

Выполнение работы.

1. Определить и записать значения массы груза m , длины нити l и радиус вала маховика r .
2. Намотать в один слой нить на вал маховика до полного подъема груза.
3. Отпуская груз, включить два секундомера. Один зафиксировать в момент соскальзывания нити, т.е. время t_1 , а другой во время полной остановки маховика, т.е. измерить время $t = t_1 + t_2$. Очевидно $t_2 = t - t_1$.

4. Измерения по п.3 провести несколько раз (минимум 3 раза) и результаты занести в таблицу измерений. Вычислить среднее t_{1cp} и t_{2cp} .

	t_1 (с)	t_2 (с)	t (с)	I_1 (кг·м ²)	$M_{тр}$ (Н·м)	I_2 (кг·м ²)	δI	ΔI (кг·м ²)

5. Используя значения m , l , r и средние значения t_1 , t_2 по формулам (6) и (7) рассчитать экспериментальные значения момента инерции I_1 и момент сил трения $M_{тр}$.
6. Сравнить полученное значение I_1 и теоретическое значение $I_0 = \frac{m_0 R^2}{2}$; m_0 и R приведены на маховике.
7. По формуле (9) вычислить I_2 – момент инерции маховика, определенный с учетом трения.
8. Сравнить значения I_2 и I_0 и сделать вывод.
9. Оценить погрешности проведенных измерений I_1 и I_2 . δI_1 , δI_2 и ΔI_1 , ΔI_2 и занести их в таблицу.
10. Записать полученные результаты в виде:

$$I = I \pm \Delta I.$$

Контрольные вопросы.

1. Какую величину называют моментом инерции? В каких единицах он измеряется? Какое свойство тела он характеризует?
2. Вывести формулу для момента инерции цилиндра.
3. Какой закон положен в основу вывода расчетной формулы (6).
4. Сформулируйте закон изменения момента импульса.
5. Выведите формулу (9) для момента инерции маховика с учетом трения.
6. Почему при выполнении работы рекомендуется наматывать нить на вал в один слой?
7. Получите формулы ошибок для δI_1 , δI_2 .

Лабораторная работа 2. Измерение сопротивления с помощью моста Уитстона

Тема работы. Измерение сопротивления с помощью моста Уитстона.

Цель работы. Целью работы является изучение метода измерения сопротивления проводников с помощью мостовой схемы и определение удельного сопротивления материала проводника.

Формируемые компетенции. Владеет способностью применять соответствующий физико-математический аппарат при решении профессиональных задач.

Теоретическая часть.

Электросопротивление проводника – это скалярная физическая величина, характеризующая его электропроводящие свойства. Сопротивление проводника зависит от его формы, размеров и электропроводящих свойств материала, из которого изготовлен проводник. В простейшем случае однородного проводника с постоянным поперечным сечением, сопротивление проводника определяется следующим образом:

$$R = \rho \frac{\ell}{S}, \quad (1)$$

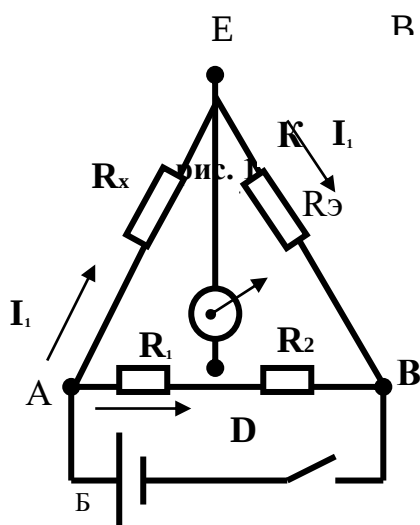
где ρ – удельное сопротивление материала проводника, ℓ – длина проводника; S – площадь его поперечного сечения.

Из формулы (1) можно выразить удельное сопротивление:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{\ell}, \quad (2)$$

откуда видно, что удельное сопротивление численно равно сопротивлению проводника единичной длины, имеющего площадь поперечного сечения, равную единице площади. В системе СИ удельное сопротивление измеряют в омметрах (Ом·м).

Одним из методов измерения сопротивления является метод моста Уитстона.



Мост Уитстона предназначен для измерения сопротивлений. Он состоит из двух резисторов R_1 и R_2 , чувствительного гальванометра G , двух резисторов – эталонного R_3 и неизвестного R_x (рис.1). Рассмотрим схему при условии, что по участку ED ток не протекает. Замкнём ключ K , тогда по участку AB потечёт ток и вдоль него будет наблюдаться падение потенциала от величины φ_A (в точке A) до величины φ_B (в точке B). В цепи AEB пойдёт ток I_1 и будет наблюдаться падение потенциала от φ_A до

φ_E (на резисторе R_X) и от φ_E до φ_B (на резисторе R_3).

Очевидно, потенциал в точке e имеет значение φ_E промежуточное между значениями φ_A и φ_B . Поэтому подбором резисторов R_1 , R_2 и R_3 всегда можно добиться, того что в точке D потенциал φ_D будет равен потенциалу φ_E : $\varphi_D = \varphi_E$. Если между точками D и E включен гальванометр G , то в этом случае ток через него не пойдет, т.к.

$$\varphi_E - \varphi_D = 0.$$

Такое положение называется равновесием моста. Покажем, что условие равновесия определяется соотношением:

$$\frac{R_X}{R_3} = \frac{R_1}{R_2} \quad (1)$$

Действительно, на основании второго закона Кирхгофа для любого замкнутого контура сумма падений напряжений равна сумме электродвижущих сил, действующих в этом контуре:

$$\sum_{i=1}^h I_i R_i = \sum_{i=1}^m E_i \quad (2)$$

Запишем эти уравнения для контуров AED и BED при равновесии моста, т. е. при отсутствии тока на участке ED .

$$\begin{cases} I_1 R_X - I_2 R_1 = 0 \\ I_1 R_3 - I_2 R_2 = 0 \end{cases}$$

Из этих уравнений легко получаем соотношение (1).

Откуда:
$$R_X = R_3 \cdot \frac{R_1}{R_2} \quad (3)$$

Зная, что $R_1 = 270 \text{ Ом}$, $R_2 = 47,6 \text{ Ом}$ и подбирая R_3 , найдем R_X .

Оборудование и материалы.

Мост Уитстона, набор сопротивлений, магазин сопротивлений, гальванометр, источник постоянного тока.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. При выполнении лабораторных работ студентам запрещается:
 - включать схемы под напряжением без проверки преподавателя;
 - прикасаться к незащищённым изоляцией частям схемы, находящихся под напряжением;
 - определять наличие напряжения на элементах цепи при помощи пальцев; проверка наличия напряжения производится только с помощью вольтметра и в присутствии преподавателя;
 - включать рубильники, нажимать кнопки, прикасаться к электрическому

оборудованию, не относящемуся к данной лабораторной работе без ведома преподавателя;

- производить по ходу выполнения работы переключения в схеме, не обесточив её;

- бросать соединительные провода на пол и на исследуемую установку;

- класть на рабочий стол посторонние предметы;

- входить в лабораторию в верхней одежде;

4. Перед включением схемы обязательно предупредить членов бригады: «Осторожно! Включаю!».

5. При наличии в схеме конденсаторных батарей, необходимо после отключения питания их разрядить под наблюдением преподавателя.

6. При обнаружении каких – либо неисправностей, исчезновения напряжения в сети, а также при несчастном случае, немедленно прекратить работу, отключить установку от электропитания и сообщить преподавателю.

7. Помнить, что при отключении цепей постоянного тока с индуктивностью возможно кратковременное резкое повышение напряжения.

8. Студенты, нарушившие правила техники безопасности, не допускаются к дальнейшей работе в лаборатории и привлекаются к ответственности.

Задания.

1. Собрать схему (рис. 1).

2. Подобрать на магазине сопротивлений такое сопротивление R_3 при котором ток через гальванометр равен нулю.

3. Вычислить R_{x1} по формуле (3).

4. Повторить измерения для второго сопротивления R_{x2} , и для третьего R_{x3} .

5. Измерить сопротивления при последовательном и параллельном соединении R_{x1} , R_{x2} и R_{x3} и проверять формулы для последовательного и параллельного соединения сопротивлений:

$$R_{\text{посл}} = R_{x1} + R_{x2} + R_{x3}; \quad \frac{1}{R_{\text{парал}}} = \frac{1}{R_{x1}} + \frac{1}{R_{x2}} + \frac{1}{R_{x3}}$$

6. Определить погрешность измерений.

7. Записать окончательный результат.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;

- цель работы;

- конспект основных законов, определений, понятий, формул;

- основное оборудование, схема установки;

- описание по пунктам выполненной работы;

- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);

- оценка погрешностей;

- ответы на контрольные вопросы;

- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Сформулировать закон Ома.
2. Сформулировать правила Кирхгофа.
3. Вывести условия равновесия моста используя правила Кирхгофа.
4. Изменится ли условие равновесия моста, если гальванометр и источник тока поменять местами?
5. Как определяется удельное сопротивление?

Лабораторная работа 3.

Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли

Тема работы. Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли.

Цель работы. Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли.

Формируемые компетенции. Владеет способностью применять соответствующий физико-математический аппарат при решении профессиональных задач.

Теоретическая часть.

Земля в целом представляет собой огромный шаровой магнит. Поэтому в любой точке пространства, окружающего Землю, и на ее поверхности существует магнитное поле, силовые линии которого изображены на рисунке 1. При этом северный магнитный полюс N находится вблизи южного географического $Ю$ и наоборот. На экваторе магнитные силовые линии направлены горизонтально, а на полюсах - вертикально.

В остальных точках земной поверхности индукция магнитного поля направлена под некоторым углом к плоскости Земли, т.е. имеет и горизонтальную B_z и вертикальную B_v составляющие.

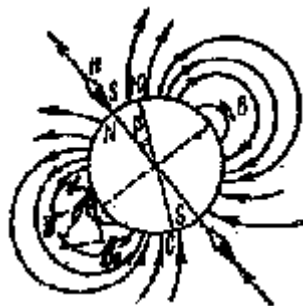
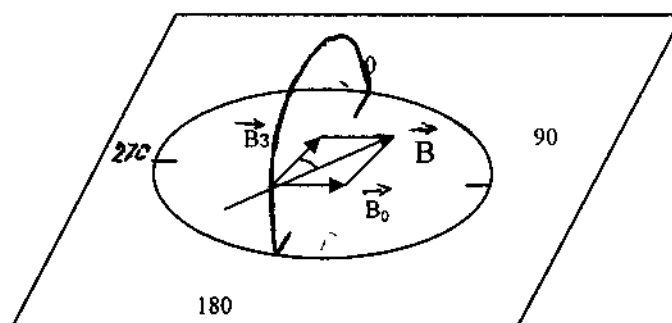


Рис.1.

Направление горизонтальной составляющей принимается за направление магнитного меридиана, т.к. в этом направлении устанавливается стрелка компаса, вращающаяся в горизонтальной плоскости. Целью настоящей работы является измерение величины горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли с помощью тангенс-гальванометра. Тангенс-гальванометр представляет собой вертикально расположенные n круговых витков радиуса R , по которым пропускается постоянный ток силой I . В центре этой совокупности витков (короткой катушки) помещается компас. При



отсутствии тока в витках магнитная стрелка компаса установится по

Рис. 2.

магнитному меридиану. При пропускании тока по виткам стрелка повернется на некоторый угол α , т.к. теперь на нее помимо горизонтальной составляющей магнитного поля Земли будет действовать еще магнитное поле, создаваемое током I в n витках. Если витки сориентировать так чтобы их плоскости совпадали с плоскостью магнитного меридиана, то на стрелку будут действовать два взаимно перпендикулярных поля: поле Земли B_3 и поле тока B_0 (рис.2).

Стрелка компаса установится в направлении равнодействующей этих полей, вдоль $\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_3$, т.е. по диагонали параллелограмма, сторонами которого будут B_0 и B_3 . См. рис.2, на котором изображено сечение витков с током, ориентированных вдоль магнитного меридиана, горизонтальной плоскостью. Из рис. 2 следует, что $\operatorname{tg} \alpha = \frac{B_0}{B_3}$, откуда

$$B_3 = \frac{B_0}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (1)$$

Так как индукция магнитного поля в центре кругового тока $B_0 = \frac{\mu_0 I}{2R}$, то в центре n витков очевидно

$$B_0 = \frac{\mu_0 In}{2R} \quad (2)$$

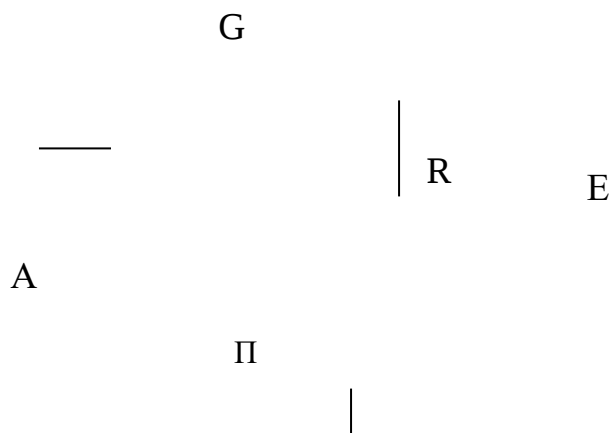
Подставив (2) в (1) получим

$$B_3 = \frac{\mu_0 In}{2R \cdot \operatorname{tg} \alpha} \quad (3)$$

Эта формула используется в настоящей работе для опытного определения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли. Формула (3) записана в системе СИ, поэтому B_3 получится в теслах.

Электрическая схема установки для измерения B_3 состоит из тангенс-гальванометра G , источника тока $\mathcal{E}$, реостата R и амперметра A для регулировки и измерения тока (рис.3).

В схеме используется переключатель Π для изменения направления тока, проходящего через тангенс-гальванометр.



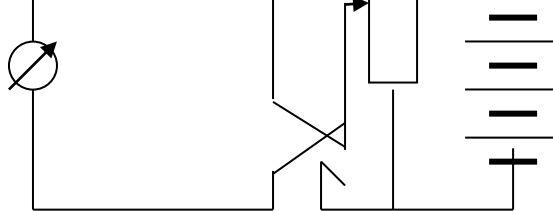


Рис. 3

Оборудование и материалы.

Тангенс-гальванометр, амперметр, реостат, источник тока.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. При выполнении лабораторных работ студентам запрещается:
 - включать схемы под напряжением без проверки преподавателя;
 - прикасаться к незащищённым изоляцией частям схемы, находящихся под напряжением;
 - определять наличие напряжения на элементах цепи при помощи пальцев; проверка наличия напряжения производится только с помощью вольтметра и в присутствии преподавателя;
 - при работе на лабораторной установке прикасаться одновременно стен, радиаторов системы отопления и других металлических предметов;
 - включать рубильники, нажимать кнопки, прикасаться к электрическому оборудованию, не относящемуся к данной лабораторной работе без ведома преподавателя;
 - производить по ходу выполнения работы переключения в схеме, не обесточив её;
 - бросать соединительные провода на пол и на исследуемую установку;
 - заменять сгоревшие предохранители на рабочих щитах при включённых рубильниках;
 - класть на рабочий стол посторонние предметы;
 - входить в лабораторию в верхней одежде;
 - курение и зажигание огня.
4. Перед включением схемы обязательно предупредить членов бригады: «Осторожно! Включаю!».
5. При наличии в схеме конденсаторных батарей, необходимо после отключения питания их разрядить под наблюдением преподавателя.
6. При обнаружении каких – либо неисправностей, исчезновения напряжения в сети, а также при несчастном случае, немедленно прекратить работу, отключить установку от электропитания и сообщить преподавателю.
7. Помнить, что при отключении цепей постоянного тока с индуктивностью возможно кратковременное резкое повышение напряжения.
8. Студенты, нарушившие правила техники безопасности, не допускаются к дальнейшей работе в лаборатории и привлекаются к ответственности.

Задания.

1. Собирают электрическую цепь по схеме рис.3

2. Поворачивая тангенс- гальванометр, устанавливают его плоскость в плоскости магнитного меридиана, так чтобы магнитная стрелка установилась в направлении 0° - 180° .

3. Устанавливая движком реостата заданную величину тока (задается преподавателем) измерить угол отклонения магнитной стрелки α_1 .

4. Не изменяя величину тока поменять переключателем П направление тока на противоположное. Отсчитать новый угол отклонения стрелки α_2 .

Вычислить $\alpha_{cp} = \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)}{2}$.

5. Повторить измерения α_1 и α_2 при нескольких других заданных значениях тока.

6. Подставляя последовательно измеренные соответствующие значения тока I_i и усредненные значения угла α_i в формулу (3) найти значения B_3 . (Величины n и R указаны на тангенс-гальванометре).

7. Все результаты измерений и вычислений занести в табл.1

Табл.1

$I(A)$	α_1	α_2	α_{cp}	$tg \alpha_{cp}$	B_3	ΔB	δB
(ср)							

8. Оценить погрешность проведенного измерения B_3 и результаты занести в табл.1

9. Записать результат в виде

$$B_3 = B_{зcp} \pm \Delta B_{зcp}$$

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Какой вид имеет магнитное поле Земли?
2. В чем заключается идея измерения горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли?
3. Как устроен тангенс-гальванометр?
4. Выведите формулу индукции B_0 , в центре кругового витка с током.

5. Почему плоскость тангенс-гальванометра следует ориентировать в направлении магнитного меридиана?

Лабораторная работа 4.

Измерение длины световой волны с помощью дифракционной решётки

Тема работы. Измерение длины световой волны с помощью дифракционной решётки

Цель работы. 1.Познакомится с явлением дифракции света в параллельных лучах дифракционной решетки.

2.Определить длину световой волны с помощью дифракционной решетки.

Приборы и принадлежности: установка с источником света, щелью и дифракционной решеткой.

Формируемые компетенции. Владеет способностью применять соответствующий физико-математический аппарат при решении профессиональных задач.

Теоретическая часть.

1. Дифракция света.

Дифракцией света называется огибание световыми волнами встречных препятствий.

В более широком смысле дифракцией света называется совокупность явлений, обусловленных волновыми свойствами света и наблюдаемых при его распространении в среде с резко выраженными неоднородностями (отверстия в непрозрачных экранах, границы непрозрачных тел и т.д.). Явление дифракции указывает на нарушение законов геометрической оптики. Явление дифракции наблюдается на расстоянии ℓ от препятствия $\ell \approx D^2 / 4\lambda$, где D - линейные размеры препятствия, λ - длина волны (условие наблюдения дифракции).

Для решения дифракционных задач - отыскание распределения на экране интенсивности световой волны, распространяющейся в среде с препятствиями, - применяются приближенные методы, основанные на принципах Гюйгенса и Гюйгенса - Френеля.

Принцип Гюйгенса', каждая точка $S_1, S_2, \dots, S_n$ фронта волны АВ является источником новых, вторичных волн. Новое положение фронта волны $A_1 B_1$ через время Δt представляет собой огибающую поверхность вторичных волн (рис.1).

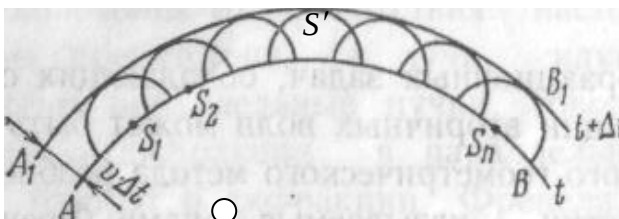


Рис.1

Принцип Гюйгенса является чисто геометрическим. Он позволяет, например, объяснить равенство углов падения i и отражения i' на поверхности

MN среды при отражении света (рис.2). Разность хода СВ лучей AA₂ и BB₂ создает такой фронт DB отраженной волны, что из прямоугольных треугольников ADB и ACB (AD=CB) следует равенство: $i=i'$ (рис.2). Также можно объяснить закон преломления.

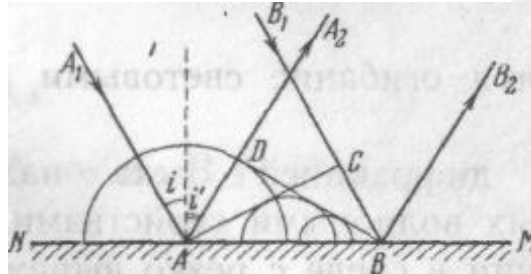


Рис.2

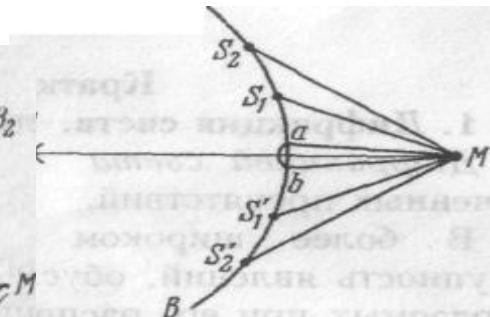


Рис.3

Принцип Гюйгенса-Френеля: все вторичные источники S₁, S₂ ...S_n, расположенные на поверхности фронта волн, когерентны между собой. Амплитуда и фаза волны в любой точке М пространства - это результат интерференции волн, излучаемых вторичными источниками (рис. 3).

Прямолинейное распространение луча SM, испущенного источником S в однородной среде, объясняется принципом Гюйгенса-Френеля. Все вторичные волны, излучаемые вторичными источниками, находящимися на поверхности фронта волны АВ, гасятся в результате интерференции, кроме волн от источников, расположенных на малом участке сферического сегмента ab, перпендикулярного к SM (рис.3). Свет распространяется вдоль узкого конуса с очень малым основанием, т.е. практически прямолинейно.

В ряде дифракционных задач, обладающих осевой симметрией, расчет интерференции вторичных волн может быть сильно упрощен с помощью наглядного геометрического метода разбиения фронта волны на кольцевые участки, называемые зонами Френеля. Разбиение на зоны производится так, чтобы оптическая разность хода от сходственных границ (внутренних или внешних) каждой пары соседних зон до рассматриваемой точки М равнялась $\frac{\lambda}{2}$. Вторичные волны от сходственных точек двух соседних зон приходят в точку М в противоположных фазах и взаимно ослабляют друг друга при наложении.

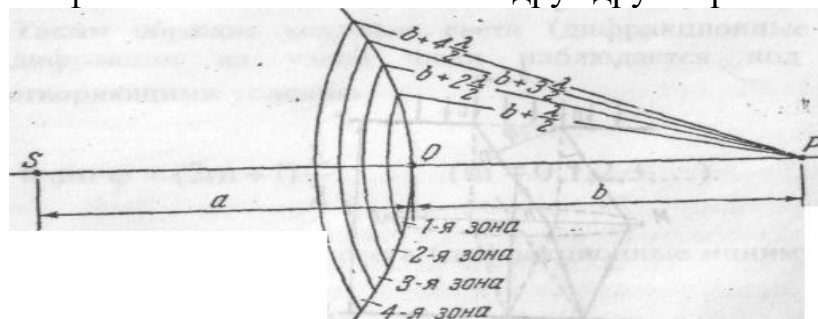


Рис. 4

На рис. 4 показано построение зон Френеля в случае сферической волны возбуждаемой источником S.

Так как a и $b \gg \lambda$, то при не слишком большом k площади первых k зон Френеля одинаковы:

$$S_1 = S_2 = \dots S_k = \frac{\pi \cdot ab\lambda}{a + b}$$

В случае плоского волнового фронта

$$S_1 = S_2 = \dots S_k = \pi \cdot b\lambda$$

Различают два случая дифракции. Если источник света и точка наблюдения P расположены от препятствия настолько далеко, что лучи, падающие на препятствие, и лучи, идущие в точку P образуют практически параллельные пучки, говорят о дифракции Фраунгофера или о дифракции в параллельных лучах. В противном случае говорят о дифракции Френеля, т.е. дифракцией Френеля называют такие дифракционные задачи, в которых нельзя пренебрегать кривизной волновых поверхностей падающей и дифрагировавшей волн.

2. Дифракция света на щели. Дифракционная решетка.

Пусть на непрозрачный экран E , в котором прорезана узкая щель BC , имеющая постоянную ширину $b=BC$ и длину $L \gg b$, падает перпендикулярно к экрану пучок параллельных лучей монохроматического света (рис 5).

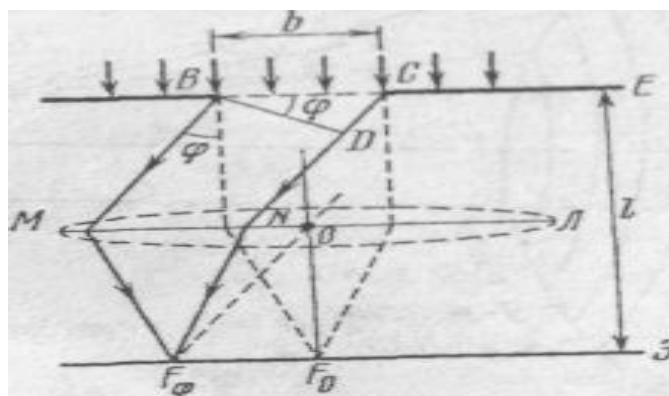


Рис. 5

На экране $\mathcal{E}$, удаленном от щели на расстоянии l , будет наблюдаться явление дифракции. Если бы этого явления не было, то на экране $\mathcal{E}$, установленном в фокальной плоскости собирающей линзы ML , в точке F_0 главного фокуса линзы получилось бы изображение источника света. При дифракции на узкой щели на экране наблюдается интерференционная картина: последовательность размытых изображений источника света, разделенных темными промежутками. В точке F_φ на экране собираются все параллельные лучи, падающие на линзу под углом φ (угол дифракции) к оптической оси OF_0 линзы, перпендикулярной к фронту волн.

Так как вторичные фиктивные источники фронта волн ВС точечные, то фронты волн, излучаемых ими сферические, а следовательно, дифрагированные лучи идут во всех направлениях. Выберем те, которые идут под углом φ к направлению падающих лучей. Падая на линзу эти лучи собираются в одной точке F_f фокальной плоскости.

Мысленно разобьем щель на участки, крайние точки которых посылают лучи с разностью хода $\frac{\lambda}{2}$. В этом случае все лучи, посланные первым участком будут погашены лучами второго участка, лучи третьего - лучами четвертого и т.д. Следовательно, если число участков разбиения четное, т.е. если $\delta = 2m \frac{\lambda}{2}$, то в точке F_f будет темно (минимум освещенности). Если же число участков разбиения нечетное, то точка F_f будет освещена (максимум освещенности).

Таким образом, усиление света (дифракционные максимумы) при дифракции на узкой щели наблюдается под углами φ , удовлетворяющими условию

$$b \sin \varphi = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, (m = 0, 1, 2, 3, \dots).$$

Условие ослабления света (дифракционные минимумы).

$$b \sin \varphi = 2m \frac{\lambda}{2}, (m = 0, 2, \dots).$$

Число m называется порядком дифракционного максимума или минимума.

Величина $\delta = CD = b \sin \varphi$ представляет собой оптическую разность хода между крайними лучами CN и BM , идущими от щели под углом φ (рис.5). В направлении $\varphi = 0$ наблюдается самый интенсивный центральный максимум нулевого порядка. В точке F_0 всегда наблюдается усиление света, независимо от значения длины волны λ .

При наблюдении дифракции на щели в белом свете интерференционная картина на экране оказывается окрашенной. В дифракционном максимуме каждого порядка ($m = \text{const}$) ближе к центральному, неокрашенному максимуму оказываются дифракционные максимумы с меньшими длинами волн.

Дифракционной решеткой в оптике называется совокупность большого числа препятствий и отверстий, сосредоточенных в ограниченном пространстве, на которых происходит дифракция света.

Простейшей дифракционной решеткой является система из N одинаковых параллельных щелей в плоском непрозрачном экране ширины b каждая, расположенных на равных непрозрачных промежутках a друг от друга (рис. 6).

Величина $d=b+a$ называется постоянной дифракционной решетки.

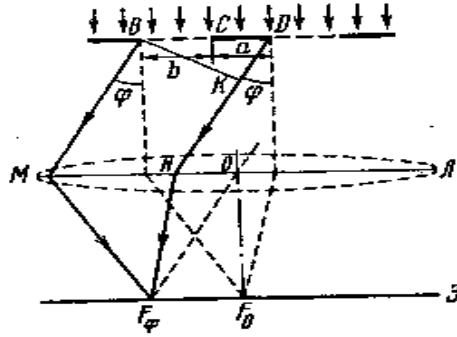


Рис.6

По принципу Гюйгенса-Френеля каждая щель является источником когерентных волн, способных интерферировать друг с другом. Если на дифракционную решетку перпендикулярно к ней падает пучок параллельных лучей света, то под углом дифракции φ на экране Э, расположенном в фокальной плоскости линзы, будет наблюдаться система дифракционных максимумов минимумов, полученная в результате интерференции света от различных щелей.

Пусть при падении плоской монохроматической волны на дифракционную решетку лучи, дифрагированные на одной щели дают в точке F_φ максимум освещенности. Это еще не значит, что в точке F_φ будет максимум освещенности, так как лучи посланные этой щелью могут быть погашены лучом от соседней, или наоборот усилены. Если усилены, то в точке F_φ будет большая освещенность, чем от одной щели. Тогда, учитывая условие усиления волн при интерференции, главные максимумы при дифракции на решетке наблюдаются под углами φ удовлетворяющими условию

$$d \sin \varphi = k\lambda,$$

где $k=0,1,2,3$ называется порядком главного максимума. Величина $\delta = DK = d \sin \varphi$ является оптической разностью хода между сходственными лучами BM и DN , идущими от соседних щелей (рис.6).

Главные минимумы на дифракционной решетке наблюдаются под такими углами φ дифракции, для которых свет от разных частей каждой щели полностью гасится в на одной щели

$$b \sin \varphi = m\lambda, \quad (m=0, 1,2,3,...).$$

Так как если ни одна из щелей не посылает лучей в этом направлении то в соответствующей точке на экране будет темнота.

При наблюдении дифракции в немонохроматическом свете все главные максимумы, кроме центрального нулевого максимума, окрашены. С увеличением длины волны главные максимумы внутри данного порядка располагаются под большими углами от центрального. Радужная полоска, содержащая семь цветов от фиолетового до красного (считается от центрального максимума), называется дифракционным спектром. Дифракционная решетка

является одним из простейших достаточно точных устройств для измерения длин волн.

Теория метода и описание установки.

Рассмотрим один из методов определения длины светлой волны при помощи дифракционной решетки. На оптической скамье (или специальной рейке) укрепляется дифракционная решетка Р и перпендикулярно оси подвижная миллиметровая линейка АВ с щелью Щ. Деления линейки, щель и штрихи решетки располагают параллельно друг друга. Щель освещается источником S и рассматривается через решетку глазом (рис. 7). На линейке проецируются изображения главных максимумов и измеряется расстояние l_k между максимумом 1-го порядка и максимумом нулевого порядка (т.е. от щели)

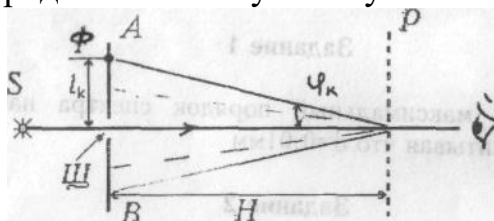


Рис. 7

Ход лучей после дифракционной решетки соответствует ходу лучей на рис. 6. От источника света S через широкую щель в линейке АВ проходит пучок белого света и попадает сначала на дифракционную решетку, а затем в глаз наблюдателя. Лучи, идущие параллельно главной оптической оси хрусталика дают в фокусе центральный (нулевой) максимум F_0 освещенности белым светом.

Лучи, создающие в некоторой точке сетчатки F_ϕ максимум освещенности каким-либо цветом (например, фиолетовым) падают на хрусталик под углом ϕ . Следовательно, они видны как бы выходящими из точки Ф, положение которой определяется по шкале линейки АВ.

Таким образом роль линзы Л (см. рис. 6) выполняет хрусталик глаза, который фокусирует параллельные лучи, полученные в результате дифракции (например, лучи М и N) на сетчатой оболочке глаза (играющей роль экрана).

Условие максимума освещенности имеет вид.

$$d \sin \varphi = k \lambda \quad (1)$$

Из рисунка видно, что

$$\sin \varphi = \frac{l}{\sqrt{H^2 + l^2}} \quad (2)$$

Следовательно

$$\lambda = \frac{d l}{k \sqrt{H^2 + l^2}} \quad (3)$$

Так, как $H \gg l$, то

$$\lambda = \frac{d\ell}{kH} \quad (4)$$

Оборудование и материалы.

Установка с источником света, щелью и дифракционной решеткой.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. Располагайте приборы, материалы, оборудование на рабочем месте в порядке, указанном преподавателем.
4. Не держите на рабочем столе предметы, не требующиеся для выполнения задания.
5. Перед тем, как приступить к работе тщательно изучите её описание, уясните ход выполнения работы.

Задания.

Определить максимальные порядок спектра наблюдаемого в данной работе, учитывая что $d=0.01$ мм.

1. Установить линейку АВ на заданном расстоянии Н от дифракционной решетки ($H > 300$ мм). Включить источник света S и, глядя через дифракционную решетку не щель, провести наблюдение дифракционного спектра.

2. Определение положение lk для синей, зеленой и красной линии слева и справа для 1-го и 2-го порядков спектров.

Результаты занести в таблицу.

3. По формуле (4) вычислить длины волн указанных линий.

4. Указать и оценить основные погрешности данного метода измерения, а также погрешность, допускаемую при использовании формулы (4), а не (3)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ.

d=0,01 MM

$$H =$$
$$(\mathbf{MM})$$

Порядок спектра k	lk(мм)					
	Фиолетовый		Зеленый		Красный	
	левый	правый	левый	правый	левый	правый
I						
II						

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Что называется дифракционным светом? Каковы условия наблюдения этого явления.
2. Сформулировать принцип Гюйгенса.
3. Сформулировать принцип Гюйгенса-Френеля.
4. Объяснить с использованием принципа Гюйгенса-Френеля закон прямолинейного распространения света.
5. Что такое «зоны Френеля». Как определяются площади первых зон?
6. Что такое дифракционная решетка? Определить условия дифракции на решетке.
7. Вывести формулу (4).

Приложение 1. Справочные материалы по физике.

1. Основные физические постоянные (округленные значения)

Физическая постоянная	Обозначение	Значение
Ускорение свободного падения	g	9,81 м/с ²
Гравитационная постоянная	G	$6,67 \cdot 10^{-11}$ м ³ /(кг·с ²)
Постоянная Авогадро	N_A	$6,02 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹
Универсальная газовая постоянная	R	8,31 Дж/(моль·К)
Молярный объем*	V_m	$22,4 \cdot 10^{-3}$ м ³ /моль
Постоянная Больцмана	k	$1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Элементарный заряд	e	$1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл
Скорость света в вакууме	c	$3,00 \cdot 10^8$ м/с
Постоянная Стефана-Больцмана	σ	$5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м ² ·К ⁴)
Постоянная закона смещения Вина	b	$2,90 \cdot 10^{-3}$ м·К
Постоянная Планка	h	$6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Постоянная Дирака	$\hbar$	$1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Постоянная Ридберга	R	$1,10 \cdot 10^7$ м ⁻¹
Первый боровский радиус	a	$0,529 \cdot 10^{-10}$ м
Комптоновская длина волны	λ	$2,43 \cdot 10^{-12}$ м
Магнетон Бора	μ_B	$0,927 \cdot 10^{-23}$ А·м ²
Энергия ионизации атома водорода	E_i	$2,18 \cdot 10^{-18}$ Дж (13,6 эВ)
Атомная единица массы	а.е.м.	$1,660 \cdot 10^{-27}$ кг
Электрическая постоянная	ε_0	$8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м

*Молярный объем идеального газа при нормальных условиях.

2. Некоторые астрономические величины

Наименование	Значение
Радиус Земли	$6,37 \cdot 10^6$ м
Масса Земли	$5,98 \cdot 10^{24}$ кг
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	$3,84 \cdot 10^8$ м

3. Плотность твердых тел

Твердое тело	Плотность, кг/м ³		Твердое тело	Плотность, кг/м ³
Алюминий	$2,70 \cdot 10^3$		Медь	$8,93 \cdot 10^3$
Барий	$3,50 \cdot 10^3$		Никель	$8,90 \cdot 10^3$
Ванадий	$6,02 \cdot 10^3$		Свинец	$11,3 \cdot 10^3$
Висмут	$9,80 \cdot 10^3$		Серебро	$10,5 \cdot 10^3$
Железо	$7,88 \cdot 10^3$		Цезий	$1,90 \cdot 10^3$
Литий	$0,53 \cdot 10^3$		Цинк	$7,15 \cdot 10^3$

4. Плотность жидкостей

Жидкость	Плотность, кг/м ³		Жидкость	Плотность, кг/м ³
Вода (при 4 °С)	$1,00 \cdot 10^3$		Сероуглерод	$1,26 \cdot 10^3$
Глицерин	$1,26 \cdot 10^3$		Спирт	$0,80 \cdot 10^3$
Ртуть	$13,6 \cdot 10^3$			

5. Плотность газов (при нормальных условиях)

Газ	Плотность, кг/м ³		Газ	Плотность, кг/м ³
Водород	0,09		Гелий	0,18
Воздух	1,29		Кислород	1,43

6. Коэффициент поверхностного натяжения жидкостей

Жидкость	Коэффициент, мН/м		Жидкость	Коэффициент, мН/м
Вода	72		Ртуть	500
Мыльная пена	40		Спирт	22

7. Эффективный диаметр молекулы

Газ	Диаметр, м		Газ	Диаметр, м
Азот	$3,0 \cdot 10^{-10}$		Гелий	$1,9 \cdot 10^{-10}$
Водород	$2,3 \cdot 10^{-10}$		Кислород	$2,7 \cdot 10^{-10}$

8. Диэлектрическая проницаемость

Вещество	Проницаемость		Вещество	Проницаемость
Вода	81		Стекло	7,0
Масло			Слюда	7,0
трансформаторное	2,2		Фарфор	5,0
Парафин	2,0		Эбонит	3,0

9. Удельное сопротивление металлов

Металл	Удельное сопротивление, Ом·м	Металл	Удельное сопротивление, Ом·м
Железо	$9,8 \cdot 10^{-8}$	Нихром	$1,1 \cdot 10^{-6}$
Медь	$1,7 \cdot 10^{-8}$	Серебро	$1,6 \cdot 10^{-8}$

10. Энергия ионизации

Вещество	E_i , Дж	E_i , эВ
Водород	$2,18 \cdot 10^{-18}$	13,6
Гелий	$3,94 \cdot 10^{-18}$	24,6
Литий	$1,21 \cdot 10^{-17}$	75,6
Ртуть	$1,66 \cdot 10^{-18}$	10,4

11. Подвижность ионов в газах, $\text{м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$

Газ	Положительные ионы	Отрицательные ионы
Азот	$1,27 \cdot 10^{-4}$	$1,81 \cdot 10^{-4}$
Водород	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$7,4 \cdot 10^{-4}$
Воздух	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$

12. Показатель преломления

Вещество	Показатель	Вещество	Показатель
Алмаз	2,42	Глицерин	1,47
Вода	1,33	Стекло	1,50
Масло коричное	1,6	Сероуглерод	1,63

13. Работа выхода электронов

Металл	A , Дж	A , эВ
Калий	$3,5 \cdot 10^{-19}$	2,2
Литий	$3,7 \cdot 10^{-19}$	2,3
Платина	$10 \cdot 10^{-19}$	6,3
Рубидий	$3,4 \cdot 10^{-19}$	2,1
Серебро	$7,5 \cdot 10^{-19}$	4,7
Цезий	$3,2 \cdot 10^{-19}$	2,0
Цинк	$6,4 \cdot 10^{-19}$	4,0

14. Относительные атомные массы (округленные значения) A_r и порядковые номера Z некоторых элементов

Элемент	Символ	A_r	Элемент	Символ	A_r
Азот	N	14	Марганец	Mn	55
Алюминий	Al	27	Медь	Cu	64
Аргон	Ar	40	Молибден	Mo	96
Барий	Ba	137	Натрий	Na	23
Ванадий	V	60	Неон	Ne	20
Водород	H	1	Никель	Ni	59
Вольфрам	W	184	Олово	Sn	119
Гелий	He	4	Платина	Pt	195
Железо	Fe	56	Ртуть	Hg	201
Золото	Au	197	Сера	S	32
Калий	K	39	Серебро	Ag	108
Кальций	Ca	40	Углерод	C	12
Кислород	O	16	Уран	U	238
Магний	Mg	24	Хлор	Cl	35

15. Масса и энергия покоя некоторых частиц

Частица	m_0		E_0	
	кг	а.е.м.	Дж	МэВ
Электрон	$9,11 \cdot 10^{-31}$	0,00055	$8,16 \cdot 10^{-14}$	0,511
Протон	$1,672 \cdot 10^{-27}$	1,00728	$1,50 \cdot 10^{-10}$	938
Нейтрон	$1,675 \cdot 10^{-27}$	1,00867	$1,51 \cdot 10^{-10}$	939
Дейтрон	$3,35 \cdot 10^{-27}$	2,01355	$3,00 \cdot 10^{-10}$	1876
α -частица	$6,64 \cdot 10^{-27}$	4,00149	$5,96 \cdot 10^{-10}$	3733
Нейтральный π -мезон	$2,41 \cdot 10^{-28}$	0,14498	$2,16 \cdot 10^{-11}$	135

16. Периоды полураспада радиоактивных изотопов

Изотоп	Символ	Период полураспада
Актиний	$^{225}_{89}\text{Ac}$	10 сут.
Йод	$^{131}_{53}\text{I}$	8 сут.
Кобальт	$^{60}_{27}\text{Co}$	5,3 г
Магний	$^{27}_{12}\text{Mg}$	10 мин
Радий	$^{226}_{86}\text{Ra}$	1620 лет
Радон	$^{222}_{86}\text{Rn}$	3,8 сут.
Стронций	$^{90}_{38}\text{Sr}$	27 лет
Фосфор	$^{32}_{15}\text{P}$	14,3 сут.
Церий	$^{144}_{58}\text{Ce}$	285 сут.

17. Массы атомов легких изотопов

Изотоп	Символ	Масса, а.е.м.	Изотоп	Символ	Масса, а.е.м.
Нейтрон	1_0n	1,00867	Бор	9_5B ${}^{10}_5B$ ${}^{11}_5B$	9,01333 10,01294 11,00931
Водород	1_1H 2_1H 3_1H	1,00783 2,01410 3,01605	Углерод	${}^{10}_6C$ ${}^{12}_6C$ ${}^{13}_6C$ ${}^{14}_6C$	10,00168 12,00000 13,00335 14,00324
Гелий	3_2He 4_2He	3,01603 4,0026	Азот	${}^{14}_7N$	14,00307
Литий	6_3L 7_3Li	6,01513 7,01601	Кислород	${}^{16}_8O$ ${}^{17}_8O$	15,99491 16,99913
Бериллий	7_4Be 9_4Be ${}^{10}_4Be$	7,01693 9,01219 10,01354	Фтор	${}^{19}_9F$	18,99840

18. Тепловые свойства веществ.

ТВЕРДЫЕ ТЕЛА

Вещество	Удельная теплоемкость, кДж / (кг К)	Температура плавления, °С	Удельная теплота плавления,
Алюминий	0,88	600	380
Лед	2,1	0	330
Медь	0,38	1083	180
Олово	0,23	232	59
Свинец	0,13	327	25
Серебро	0,23	960	87
Сталь	0,46	1400	82

ЖИДКОСТИ

Вещество	Удельная теплоемкость	Температура кипения, °С	Удельная теплота
Вода	4,2	100	2,3
Ртуть	0,12	357	0,29
Спирт	2,4	78	0,85

ГАЗЫ

Вещество	Удельная теплоемкость,	Температура конденсации, °С
Азот	1,0	-196
Водород	14	-252
Воздух	1,0	-
Кислород	0,92	-183

Приложение 2. Справочные материалы по математике.

Корни квадратного уравнения $ax^2 + bx + c = 0$: $x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$ Теорема Виета: $x_1 + x_2 = -\frac{b}{a}, \quad x_1 x_2 = \frac{c}{a}.$	
$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$ $\operatorname{ctg} \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$ $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$ $\sec^2 \alpha - \operatorname{tg}^2 \alpha = 1$ $\csc^2 \alpha - \operatorname{ctg}^2 \alpha = 1$ $\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \alpha = 1$ $\sin \alpha \cdot \csc \alpha = 1$ $\cos \alpha \cdot \sec \alpha = 1$	$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta$ $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$ $\operatorname{tg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{tg} \alpha \pm \operatorname{tg} \beta}{1 \mp \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}$ $\operatorname{ctg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta \mp 1}{\operatorname{ctg} \beta \pm \operatorname{ctg} \alpha}$ $\sin 3\alpha = 3\sin \alpha - 4\sin^3 \alpha$ $\cos 3\alpha = 4\cos^3 \alpha - 3\cos \alpha$
$\sin \alpha = 1 / \sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha}$ $\cos \alpha = 1 / \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}$ $\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha$ $\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha$ $\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha}$ $\operatorname{ctg} 2\alpha = \frac{\operatorname{ctg}^2 \alpha - 1}{2 \operatorname{ctg} \alpha}$	$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$ $\sin \alpha - \sin \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$ $\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$ $\cos \alpha - \cos \beta = -2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$ $\operatorname{tg} \alpha \mp \operatorname{tg} \beta = \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\cos \alpha \cdot \cos \beta}.$
$\sin^2 \alpha = \frac{1 - \cos 2\alpha}{2}$ $\cos^2 \alpha = \frac{1 + \cos 2\alpha}{2}$ $\sin^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{1 - \cos \alpha}{2}$ $\cos^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{1 + \cos \alpha}{2}$	$2 \sin \alpha \cdot \sin \beta = \cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)$ $2 \cos \alpha \cdot \cos \beta = \cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)$ $2 \sin \alpha \cdot \cos \beta = \sin(\alpha - \beta) + \sin(\alpha + \beta)$

Свойства тригонометрических функций.

$$\sin(-x) = -\sin x,$$

$$\cos(-x) = \cos x,$$

$$\operatorname{tg}(-x) = -\operatorname{tg} x,$$

$$\operatorname{ctg}(-x) = -\operatorname{ctg} x,$$

$$\sin(x + 2\pi k) = \sin x,$$

$$\cos(x + 2\pi k) = \cos x,$$

$$\operatorname{tg}(x + 2\pi k) = \operatorname{tg} x,$$

$$\operatorname{ctg}(x + 2\pi k) = \operatorname{ctg} x,$$

где k – любое целое число.

Таблица значений тригонометрических функций некоторых углов.

Функция	Аргумент α						
	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	π	$\frac{3\pi}{2}$
$\sin \alpha$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	0	-1
$\cos \alpha$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	-1	0
$\operatorname{tg} \alpha$	0	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	1	$\sqrt{3}$	–	0	–
$\operatorname{ctg} \alpha$	–	$\sqrt{3}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	0	–	0

Примечание: Связь между градусной и радианной мерами измерения угла:

$$1^\circ = \frac{\pi}{180} \text{ рад}$$

Теорема синусов: $\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$, где a, b, c – длины сторон треугольника.

Теорема косинусов: $a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha$.

Уравнение прямой: $Ax + Bx + C = 0$, где A, B, C – любые вещественные числа, $A^2 + B^2 \neq 0$.

$y = kx + b$ – уравнение прямой с угловым коэффициентом k .

Каноническое уравнение эллипса: $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$, где a, b – полуоси.

Разложение на

множители:

$$a^2 - b^2 = (a - b)(a + b), \quad (a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2,$$

$$a^3 \pm b^3 = (a \pm b)(a^2 \mp ab + b^2), \quad (a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2b + 3ab^2 \pm b^3$$

1. Таблица производных

Функция	Производная	Функция	Производная
$1/x$	$-1/x^2$	$\sin x$	$\cos x$
$\sqrt{x}$	$1/(2\sqrt{x})$	$\cos x$	$-\sin x$
x^n	nx^{n-1}	$\operatorname{tg} x$	$1/\cos^2 x$
e^{nx}	ne^{nx}	$\operatorname{ctg} x$	$-1/\sin^2 x$
a^x	$a^x \ln a$	$\arcsin x$	$1/\sqrt{1-x^2}$
$\ln x$	$1/x$	$\arccos x$	$-1/\sqrt{1-x^2}$
$\frac{u(x)}{v(x)}$	$\frac{vu' - v'u}{v^2}$	$\operatorname{arctg} x$	$1/(1+x^2)$
$u v$	$vu' + v'u$	$\operatorname{arcctg} x$	$-1/(1+x^2)$

2. Некоторые постоянные числа и приближенные формулы.

Постоянные числа	Приближенные формулы (при $\alpha \ll 1$)
$\pi = 3,141$	$(1 \pm \alpha)^n \approx 1 \pm n\alpha$
$\pi^2 = 9,8696$	$e^\alpha \approx 1 + \alpha$
$\sqrt{\pi} = 1,7725$	$\ln(1 + \alpha) \approx \alpha$
$e = 2,7183$	$\sin \alpha \approx \alpha$
$\lg e = 0,4343$	$\cos \alpha \approx 1 - \alpha^2/2$
$\ln 10 = 2,3026$	$\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$

3. Таблица интегралов.

$\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1}, n \neq 1$	$\int \frac{dx}{\cos^2 x} = \operatorname{tg} x$
$\int a^x dx = \frac{a^x}{\ln a}$	$\int \frac{dx}{\sin^2 x} = -\operatorname{ctg} x$
$\int \frac{dx}{x} = \ln x$	$\int \frac{dx}{1+x^2} = \operatorname{arctg} x$
$\int \sin x dx = -\cos x$	$\int \frac{dx}{a^2+x^2} = \frac{1}{a} \operatorname{arctg} \frac{x}{a}$
$\int \cos x dx = \sin x$	$\int \frac{dx}{x^2-a^2} = \frac{1}{2a} \ln \left \frac{x-a}{x+a} \right $
$\int \operatorname{tg} x dx = -\ln \cos x $	$\int \frac{dx}{a^2-x^2} = \frac{1}{2a} \ln \left \frac{x+a}{x-a} \right $
$\int \operatorname{ctg} x dx = \ln \sin x $	$\int \frac{dx}{\sqrt{1-x^2}} = \operatorname{arcsin} x$
$\int \frac{dx}{\sin x} = \ln \left \operatorname{tg} \frac{x}{2} \right $	$\int \frac{dx}{\sqrt{a^2-x^2}} = \operatorname{arcsin} \frac{x}{a}$
$\int \frac{dx}{\cos x} = \ln \left \operatorname{tg} \left(\frac{x}{2} + \frac{\pi}{4} \right) \right $	$\int \frac{dx}{\sqrt{x^2-1}} = \ln(x + \sqrt{x^2-1})$
$\int \sin^2 x dx = \frac{1}{2} x - \frac{1}{4} \sin 2x$	$\int \frac{dx}{\sqrt{x^2 \pm k}} = \ln \left x + \sqrt{x^2 \pm k} \right $
$\int \cos^2 x dx = \frac{1}{2} x + \frac{1}{4} \sin 2x$	$\int e^x dx = e^x$
$\int_0^\infty e^{-x^2} dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2}$	$\int_0^\infty \frac{x^2 dx}{e^x - 1} = 2,405$
$\int_0^\infty \frac{x dx}{e^x - 1} = \frac{\pi^2}{6}$	$\int u dv = u \cdot v - \int v du$
$\int_0^\infty \frac{x^3 dx}{e^x - 1} = \frac{\pi^4}{15}$	

4. Некоторые сведения о векторах.

Скалярное произведение векторов:

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z$$

Векторное произведение векторов:

$$[\vec{a} \vec{b}] = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix} = (a_y b_z - a_z b_y) \vec{i} + (a_z b_x - a_x b_z) \vec{j} + (a_x b_y - a_y b_x) \vec{k}$$

$$\vec{a} [\vec{b} \vec{c}] = \vec{b} [\vec{c} \vec{a}] = \vec{c} [\vec{a} \vec{b}]$$

$$[\vec{a} [\vec{b} \vec{c}]] = \vec{b} (\vec{a} \cdot \vec{c}) - \vec{c} (\vec{a} \cdot \vec{b})$$

$$\frac{d}{dt} (\vec{a} + \vec{b}) = \frac{d\vec{a}}{dt} + \frac{d\vec{b}}{dt}$$

$$\frac{d}{dt} (\alpha \vec{a}) = \frac{d\alpha}{dt} \vec{a} + \alpha \frac{d\vec{a}}{dt}$$

$$\frac{d}{dt} (\vec{a} \vec{b}) = \frac{d\vec{a}}{dt} \vec{b} + \vec{a} \frac{d\vec{b}}{dt}$$

$$\frac{d}{dt} [\vec{a} \vec{b}] = \left[\frac{d\vec{a}}{dt} \vec{b} \right] + \left[\vec{a} \frac{d\vec{b}}{dt} \right]$$

**Учебно - методическое и информационное обеспечение
дисциплины:**

Основная литература:

1. Дмитриева Е.И. Физика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Е.И. Дмитриева. — 2-е изд. — Электрон. текстовые данные. — Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2019. — 143 с. — 978-5-4486-0445-4. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/79822.html>
2. Никеров, В.А. Физика: современный курс : учебник / В.А. Никеров. - 2-е изд. - Москва : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2016. - 452 с. : ил. - ISBN 978-5-394-02349-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=453287>

Дополнительная литература:

1. Романова, В.В. Физика: примеры решения задач : учебное пособие / В.В. Романова. - Минск : РИПО, 2017. - 348 с. : схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-985-503-737-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=487974>
2. Никеров, В.А. Физика для вузов: механика и молекулярная физика : учебник / В.А. Никеров. - Москва : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2017. - 136 с. : табл., граф., схем. - ISBN 978-5-394-00691-3 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=450772>
3. Летута С.Н. Физика [Электронный ресурс] : учебное пособие / С.Н. Летута, А.А. Чакак. — Электрон. текстовые данные. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 307 с. — 978-5-7410-1575-9. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/78852.html>

Программное обеспечение и интернет ресурсы.

<http://physics.nad.ru> – физика в анимациях.