

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ФИЗИКА НА ЗАОЧНОМ ФАКУЛЬТЕТЕ
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ
ЧАСТЬ II. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ. ВОЛНОВАЯ И
КВАНТОВАЯ ОПТИКА**

Учебно-методическое пособие

ДГТУ
Ростов-на-Дону
2022

ВВЕДЕНИЕ

Контрольная работа по физике для студентов первого курса заочной формы обучения – это вид самостоятельной работы, предполагающий самостоятельное решение физических задач по темам лекционного материала.

Для обучающихся заочной формы обучения по дисциплине «Физика» в 1 семестре предусмотрена одна контрольная работа №1, соответствующая разделам: «Механика», «Молекулярная физика и термодинамика» и одна контрольная работа №2 во 2 семестре, соответствующая разделам «Электричество и магнетизм», «Волновая и квантовая оптика».

Условия задач для выполнения контрольной работы №1 содержатся в учебно-методическом пособии «Физика на заочном факультете. Контрольные задания и лабораторный практикум. Часть I. Механика. Молекулярная физика и термодинамика», а для выполнения контрольной работы № 2 – в учебно-методическом пособии «Физика на заочном факультете. Контрольные задания и лабораторный практикум. Часть II. Электричество и магнетизм. Волновая и квантовая оптика».

Правила оформления контрольной работы

Номер варианта контрольной работы определяется по последней цифре номера зачетной книжки. Контрольная работа должна быть оформлена в тетради, написана от руки разборчивым почерком, иметь нумерацию страниц и список использованных источников. К обложке тетради приклеивается титульный лист установленного образца (см. файл Титульный лист) с заполненными данными студента.

Задачи контрольной работы должны иметь те номера, под которыми они стоят в учебно-методическом пособии. Решения контрольных задач располагаются в порядке номеров, указанных в задании. Перед каждой задачей необходимо записать ее условие. Условия задач переписываются полностью, затем делается краткая запись условия задачи, где числовые

данные выписываются столбиком. Каждую задачу желательно начинать с новой страницы.

Решение задачи должно содержать:

- необходимый рисунок или схему, поясняющий решение задачи;
- названия формул, используемых при решении;
- словесные пояснения физических величин (как заданных, так и введенных во время решения);
- исчерпывающие пояснения хода решения задачи;
- вывод формул для искомых физических величин в «буквенном» виде;
- проверку размерности;
- получение числовых значений искомых физических величин.

Задание следует выполнять аккуратно, без пропуска задач. Если содержание контрольной работы отвечает предъявляемым требованиям, то она допускается к защите. При неудовлетворительном выполнении контрольной работы она возвращается на доработку.

Контрольная работа № 2

Вариант 0.

Задача № 0.1 Расстояние d между двумя точечными зарядами $Q_1 = 2$ нКл и $Q_2 = 4$ нКл равно 60 см. Определить точку, в которую нужно поместить третий заряд Q_3 так, чтобы система зарядов находилась в равновесии. Определить заряд Q_3 и его знак. Устойчивое или неустойчивое будет равновесие?

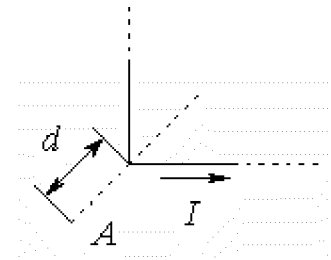
Задача № 0.2 Тонкая квадратная рамка равномерно заряжена с линейной плотностью заряда $\tau = 200$ пКл/м. Определить потенциал φ поля в точке пересечения диагоналей.

Задача № 0.3 Электрон движется вдоль силовой линии однородного электрического поля. В некоторой точке поля с потенциалом $\varphi_1 = 100$ В электрон имел скорость $v_1 = 6$ Мм/с. Определить потенциал φ_2 точки поля, дойдя до которой электрон потеряет половину своей скорости.

Задача № 0.4 Плоский конденсатор с площадью пластин $S = 200$ см² каждая заряжен до разности потенциалов $U = 2$ кВ. Расстояние между пластинами $d = 2$ см. Диэлектрик – стекло. Определить энергию W поля конденсатора и плотность энергии w поля.

Задача № 0.5 ЭДС батареи $\varepsilon = 12$ В. При силе тока $I = 4$ А. КПД батареи $\eta = 0.6$. Определить внутреннее сопротивление R_i батареи.

Задача № 0.6 Бесконечно длинный провод с током $I = 50$ А изогнут так, как это показано на рисунке. Определить магнитную индукцию B в точке A , лежащей на биссектрисе прямого угла на расстоянии $d = 10$ см от его вершины.



Задача № 0.7 Кольцо из медного провода массой $m = 10$ г помещено в однородное магнитное поле ($B = 0.5$ Тл) так, что плоскость кольца составляет угол $\beta = 60^\circ$ с линиями магнитной индукции. Определить заряд Q , который пройдет по кольцу, если снять магнитное поле.

Задача № 0.8 Расстояние между штрихами дифракционной решетки $d = 4$ мкм. На решетку падает нормально свет с длиной волны $\lambda = 0.58$ мкм. Максимум какого наибольшего порядка дает эта решетка?

Задача № 0.9 Средняя энергетическая светимость R поверхности Земли равна $0,54$ Дж/(см²·мин). Какова должна быть температура T поверхности Земли, если условно считать, что она излучает как серое тело с коэффициентом черноты $a_r = 0.25$?

Контрольная работа № 2

Вариант 1.

Задача № 1.1 Точечные заряды $Q_1 = 20$ мкКл, $Q_2 = -10$ мкКл находятся на расстоянии $d = 5$ см друг от друга. Определить напряженность поля в точке, удаленной на $r_1 = 3$ см от первого и на $r_2 = 4$ см от второго заряда. Определить также силу F , действующую в этой точке на точечный заряд $Q = 1$ мкКл.

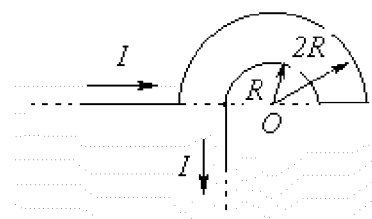
Задача № 1.2 Два точечных заряда $Q_1 = 6$ нКл и $Q_2 = 3$ нКл находятся на расстоянии $d = 60$ см друг от друга. Какую работу необходимо совершить внешним силам, чтобы уменьшить расстояние между зарядами вдвое?

Задача № 1.3 Пылинка массой $m = 200$ мкг, несущая на себе заряд $Q = 40$ нКл, влетела в электрическое поле в направлении силовых линий. После прохождения разности потенциалов $U = 200$ В пылинка имела скорость $v = 10$ м/с. Определить скорость v_0 пылинки до того, как она влетела в поле.

Задача № 1.4 Конденсаторы емкостью $C_1 = 5$ мкФ и $C_2 = 10$ мкФ заряжены до напряжений $U_1 = 60$ В и $U_2 = 100$ В соответственно. Определить напряжение на обкладках конденсаторов после их соединения обкладками, имеющими одноименные заряды.

Задача № 1.5 Катушка и амперметр соединены последовательно и подключены к источнику тока. К клеммам катушки присоединен вольтметр с сопротивлением $r = 4$ кОм. Амперметр показывает силу тока $I = 0.3$ А, вольтметр – напряжение $U = 120$ В. Определить сопротивление R катушки. Определить относительную погрешность ξ , которая будет допущена при измерении сопротивления, если пренебречь силой тока, текущего через вольтметр.

Задача № 1.6 Бесконечно длинный провод с током $I = 100$ А изогнут так, как это показано на рисунке. Определить магнитную индукцию B в точке O . Радиус дуги $R = 10$ см.



Задача № 1.7 В однородном магнитном поле ($B = 0.1$ Тл) равномерно с частотой $n = 5$ с⁻¹ вращается стержень длиной $l = 50$ см так, что плоскость его вращения перпендикулярна линиям напряженности, а ось вращения проходит через один из его концов. Определить индуцируемую на концах стержня разность потенциалов U .

Задача № 1.8 Какое наименьшее число N_{min} штрихов должна содержать дифракционная решетка, чтобы в спектре второго порядка можно было видеть отдельно две желтые линии натрия с длинами волн $\lambda_1 = 589.0$ нм и $\lambda_2 = 589.6$ нм? Какова длина l такой решетки, если постоянная решетки $d = 5$ мкм?

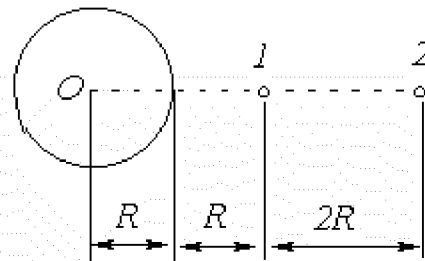
Задача № 1.9 Абсолютно черное тело имеет температуру $T_1 = 500$ К. Какова будет температура T_2 тела, если в результате нагревания поток излучения увеличится в $n = 5$ раз?

Контрольная работа № 2

Вариант 2.

Задача № 2.1 Три одинаковых точечных заряда $Q_1 = Q_2 = Q_3 = 2$ нКл находятся в вершинах равностороннего треугольника со сторонами $a = 10$ см. Определить модуль и направление силы F , действующей на один из зарядов со стороны двух других.

Задача № 2.2 Электрическое поле создано заряженным проводящим шаром, потенциал φ которого 300 В. Определить работу сил поля по перемещению заряда $Q = 0.2$ мкКл из точки 1 в точку 2 (рисунок).

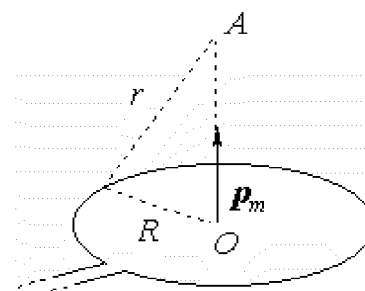


Задача № 2.3 Электрон, обладавший кинетической энергией $T = 10$ эВ, влетел в однородное электрическое поле в направлении силовых линий поля. Какой скоростью будет обладать электрон, пройдя в этом поле разность потенциалов $U = 8$ В?

Задача № 2.4 Конденсатор емкостью $C_1 = 10$ мкФ заряжен до напряжения $U = 10$ В. Определить заряд на обкладках этого конденсатора после того, как параллельно ему был подключен другой, незаряженный, конденсатор емкостью $C_2 = 20$ мкФ.

Задача № 2.5 ЭДС батареи $\varepsilon = 80$ В, внутреннее сопротивление $R_i = 5$ Ом. Внешняя цепь потребляет мощность $P = 100$ кВт. Определить силу тока I в цепи, напряжение U , под которым находится внешняя цепь, и ее сопротивление R .

Задача № 2.6 Магнитный момент p_m тонкого проводящего кольца $p_m = 5$ А·м². Определить магнитную индукцию B в точке A , находящейся на оси кольца и удаленной от точек кольца на расстояние $r = 20$ см (рисунок).



Задача № 2.7 В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0.5$ Тл вращается с частотой $n = 10$ с⁻¹ стержень длиной $l = 20$ см. Ось вращения параллельна линиям индукции и проходит через один из концов стержня перпендикулярно его оси. Определить разность потенциалов U на концах стержня.

Задача № 2.8 На поверхность дифракционной решетки нормально к ее поверхности падает монохроматический свет. Постоянная дифракционной решетки в $n = 4.6$ раза больше длины световой волны. Найти общее число M дифракционных максимумов, которые теоретически можно наблюдать в данном случае.

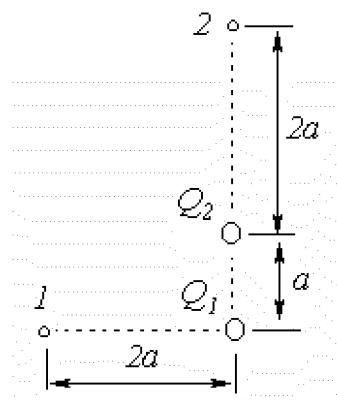
Задача № 2.9 Черное тело имеет температуру $T_1 = 500$ К. Какова будет температура T_2 тела, если в результате нагревания поток излучения увеличится в $n = 5$ раз?

Контрольная работа № 2

Вариант 3.

Задача № 3.1. Два положительных точечных заряда Q и $9Q$ закреплены на расстоянии $d = 100$ см друг от друга. Определить, в какой точке на прямой, проходящей через заряды, следует поместить третий заряд так, чтобы он находился в равновесии.

Задача № 3.2 Электрическое поле создано зарядами $Q_1 = 2$ мкКл и $Q_2 = -2$ мкКл, находящимися на расстоянии $a = 10$ см друг от друга. Определить работу сил поля, совершаемую при перемещении заряда $Q = 0.5$ мкКл из точки 1 в точку 2 (рисунок).

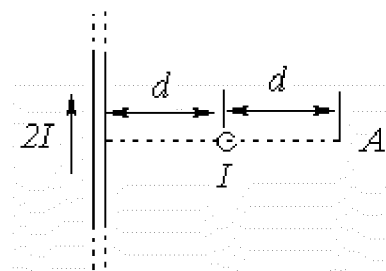


Задача № 3.3 Найти отношение скоростей ионов Cu^{++} и K^+ , прошедших одинаковую разность потенциалов.

Задача № 3.4 Конденсаторы емкостями $C_1 = 2$ мкФ, $C_2 = 5$ мкФ и $C_3 = 10$ мкФ соединены последовательно и находятся под напряжением $U = 850$ В. Определить напряжение и заряд на каждом из конденсаторов.

Задача № 3.5 От батареи, ЭДС которой $\varepsilon = 600$ В, требуется передать энергию на расстояние $l = 1$ км. Потребляемая мощность $P = 5$ кВт. Найти минимальные потери мощности в сети, если диаметр медных подводящих проводов $d = 0.5$ см.

Задача № 3.6 По двум скрещенным под прямым углом бесконечно длинным проводам текут токи I и $2I$ ($I = 100$ А). Определить магнитную индукцию B в точке A (рисунок). Расстояние $d = 10$ см.



Задача № 3.7 В проволочное кольцо, присоединенное к баллистическому гальванометру, вставили прямой магнит. При этом по цепи прошел заряд $Q = 50$ мкКл. Определить изменение магнитного потока $\Delta\Phi$ через кольцо, если сопротивление цепи гальванометра $R = 10$ Ом.

Задача № 3.8 На дифракционную решетку падает нормально параллельный пучок белого света. Спектры третьего и четвертого порядка частично накладываются друг на друга. На какую длину волны в спектре четвертого порядка накладывается граница ($\lambda = 780$ нм) спектра третьего порядка?

Задача № 3.9 Температура абсолютно черного тела $T = 2$ К. Определить длину волны λ_m , на которую приходится максимум энергии излучения, и спектральную плотность энергетической светимости (излучательности) $(r_{\lambda,T})_{\max}$ для этой длины волны.

Контрольная работа № 2

Вариант 4.

Задача № 4.1 Два одинаково заряженных шарика подвешены в одной точке на нитях одинаковой длины. При этом нити разошлись на угол α . Шарiki погружают в масло. Какова плотность ρ масла, если угол расхождения нитей при погружении в масло остается неизменным? Плотность материала шарика $\rho_0 = 1.5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, диэлектрическая проницаемость масла $\varepsilon = 2.2$.

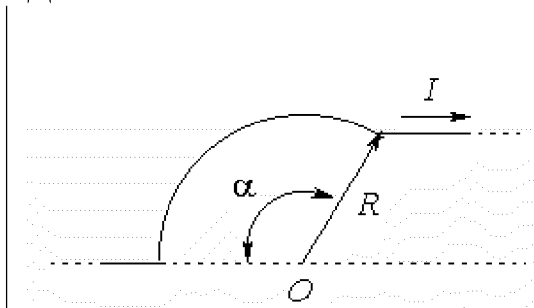
Задача № 4.2 Две параллельные заряженные плоскости, поверхностные плотности заряда которых $\sigma_1 = 2 \text{ мкКл/м}^2$ и $\sigma_2 = -0.8 \text{ мкКл/м}^2$, находятся на расстоянии $d = 0.6 \text{ см}$ друг от друга. Определить разность потенциалов U между плоскостями.

Задача № 4.3 Электрон с энергией $T = 400 \text{ эВ}$ (в бесконечности) движется вдоль силовой линии по направлению к поверхности металлической заряженной сферы радиусом $R = 10 \text{ см}$. Определить минимальное расстояние a , на которое приблизится электрон к поверхности сферы, если заряд ее $Q = -10 \text{ нКл}$.

Задача № 4.4 Два конденсатора емкостями $C_1 = 2 \text{ мкФ}$ и $C_2 = 5 \text{ мкФ}$ заряжены до напряжений $U_1 = 100 \text{ В}$ и $U_2 = 150 \text{ В}$ соответственно. Определить напряжение на обкладках конденсаторов после их соединения обкладками, имеющими разноименные заряды.

Задача № 4.5 При внешнем сопротивлении $R_1 = 8 \text{ Ом}$ сила тока в цепи $I_1 = 0.8 \text{ А}$, при сопротивлении $R_2 = 15 \text{ Ом}$ сила тока $I_2 = 0.5 \text{ А}$. Определить силу тока $I_{\text{кз}}$ короткого замыкания источника ЭДС.

Задача № 4.6 По бесконечно длинному проводу, изогнутому так, как это показано на рисунке, течет ток $I = 200 \text{ А}$. Определить магнитную индукцию B в точке O . Радиус дуги $R = 10 \text{ см}$. Угол α равен $2\pi/3$.



Задача № 4.7 Тонкий медный провод массой $m = 5 \text{ г}$ согнут в виде квадрата, и концы его замкнуты. Квадрат помещен в однородное магнитное поле ($B = 0.2 \text{ Тл}$) так, что его плоскость перпендикулярна линиям поля. Определить заряд Q , который потечет по проводнику, если квадрат, потянув за противоположные вершины, вытянуть в линию.

Задача № 4.8 На дифракционную решетку, содержащую $n = 600$ штрихов на миллиметр, падает нормально белый свет. Спектр проецируется помещенной вблизи решетки линзой на экран. Определить длину l спектра первого порядка на экране, если расстояние от линзы до экрана $L = 1.2 \text{ м}$. Границы видимого спектра: $\lambda_{\text{кр.}} = 780 \text{ нм}$, $\lambda_{\text{ф.}} = 400 \text{ нм}$.

Задача № 4.9 Определить температуру T и энергетическую светимость (излучательность) R_e абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения приходится на длину волны $\lambda_m = 600 \text{ нм}$.

Контрольная работа № 2

Вариант 5.

Задача № 5.1 Четыре одинаковых заряда $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = 2$ нКл закреплены в вершинах квадрата со стороной $a = 10$ см. Найти силу F , действующую на один из этих зарядов со стороны трех остальных.

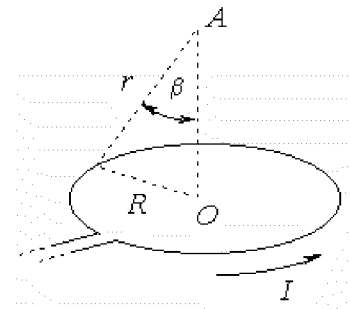
Задача № 5.2 Диполь с электрическим моментом $p = 100$ пКл·м свободно установился в свободном электрическом поле напряженностью $E = 200$ кВ/м. Определить работу внешних сил, которую необходимо совершить для поворота диполя на угол $\alpha = 180^\circ$.

Задача № 5.3 Электрон, пройдя в плоском конденсаторе путь от одной пластины до другой, приобрел скорость $v = 10^3$ м/с. Расстояние между пластинами $d = 8$ мм. Найти: 1) разность потенциалов U между пластинами; 2) поверхностную плотность заряда σ на пластинах.

Задача № 5.4 Два одинаковых плоских воздушных конденсатора емкостью $C = 100$ пФ каждый соединены в батарею последовательно. Определить, на сколько изменится емкость C батареи, если пространство между пластинами одного из конденсаторов заполнить парафином.

Задача № 5.5 ЭДС батареи $\mathcal{E} = 24$ В. Наибольшая сила тока, которую может дать батарея, $I_{\max} = 10$ А. Определить максимальную мощность P_{\max} , которая может выделяться во внешней цепи.

Задача № 5.6 По тонкому кольцу радиусом $R = 20$ см течет ток $I = 100$ А. Определить магнитную индукцию B на оси кольца в точке A (рисунок). Угол $\beta = \pi/3$.



Задача № 5.7 Рамка из провода сопротивлением $R = 0.04$ Ом равномерно вращается в однородном магнитном поле ($B = 0.6$ Тл). Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Площадь рамки $S = 200$ см². Определить заряд Q , который потечет по рамке при изменении угла между нормалью к рамке и линиями индукции: 1) от 0 до 45° ; 2) от 45° до 90° .

Задача № 5.8 На грань кристалла каменной соли падает параллельный пучок рентгеновского излучения. Расстояние d между атомными плоскостями равно 280 пм. Под углом $\theta = 65^\circ$ к атомной плоскости наблюдается дифракционный максимум первого порядка. Определить длину волны λ рентгеновского излучения.

Задача № 5.9 Из смотрового окошечка печи излучается поток $\Phi_e = 4$ кДж/мин. Определить температуру T печи, если площадь окошечка $S = 8$ см².

Контрольная работа № 2

Вариант 6.

Задача № 6.1 Точечные заряды $Q_1 = 30$ мкКл и $Q_2 = -20$ мкКл находятся на расстоянии $d = 20$ см друг от друга. Определить напряженность электрического поля E в точке, удаленной от первого заряда на расстояние $r_1 = 30$ см, а от второго – на $r_2 = 15$ см.

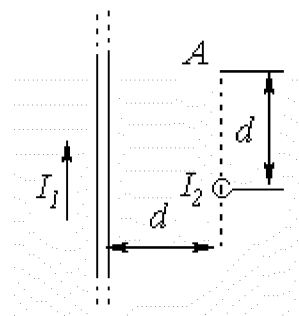
Задача № 6.2 Четыре одинаковых капли ртути, заряженных до потенциала $\varphi = 10$ В, сливаются в одну. Каков потенциал φ_1 образовавшейся капли?

Задача № 6.3 Пылинка массой $m = 5$ нг, несущая на себе $N = 10$ электронов, прошла в вакууме ускоряющую разность потенциалов $U = 1$ МВ. Какова кинетическая энергия T пылинки? Какую скорость v приобрела пылинка?

Задача № 6.4 Два конденсатора емкостями $C_1 = 5$ мкФ и $C_2 = 8$ мкФ соединены последовательно и присоединены к батарее с ЭДС $\varepsilon = 80$ В. Определить заряды Q_1 и Q_2 конденсаторов и разности потенциалов U_1 и U_2 между их обкладками.

Задача № 6.5 Аккумулятор с ЭДС $\varepsilon = 12$ В заряжается от сети постоянного тока с напряжением $U = 15$ В. Определить напряжение на клеммах аккумулятора, если его внутреннее сопротивление $R_i = 10$ Ом.

Задача № 6.6 По двум бесконечно длинным проводам, скрещенным под прямым углом, текут токи I_1 и $I_2 = 2I_1$ ($I_1 = 100$ А). Определить магнитную индукцию B в точке A , равноудаленной от проводов на расстояние $d = 10$ см (рисунок).



Задача № 6.7 Проволочный виток диаметром $D = 5$ см и сопротивлением $R = 0.002$ Ом находится в однородном магнитном поле ($B = 0.3$ Тл). Плоскость витка составляет угол $\varphi = 40^\circ$ с линиями индукции. Каков заряд Q протечет по витку при выключении магнитного поля?

Задача № 6.8 На непрозрачную пластину с узкой щелью падает нормально плоская монохроматическая световая волна ($\lambda = 600$ нм). Угол отклонения лучей, соответствующих второму дифракционному максимуму, $\varphi = 20^\circ$. Определить ширину d щели.

Задача № 6.9 Поток излучения абсолютно черного тела $\Phi_e = 10$ кВт. Максимум энергии излучения приходится на длину волны $\lambda_m = 0.8$ мкм. Определить площадь S излучающей поверхности.

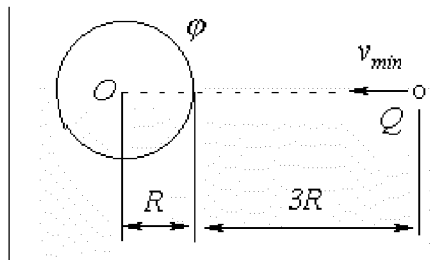
Контрольная работа № 2

Вариант 7.

Задача № 7.1 В вершинах правильного треугольника со стороной $a = 10$ см находятся заряды $Q_1 = 10$ мкКл, $Q_2 = 20$ мкКл и $Q_3 = 30$ мкКл. Определить силу F , действующую на заряд Q_1 со стороны двух других зарядов.

Задача № 7.2 Тонкий стержень согнут в кольцо радиусом $R = 10$ см. Он равномерно заряжен с линейной плотностью заряда $\tau = 80$ нКл/м. Определить потенциал φ в точке, расположенной на оси кольца на расстоянии $h = 10$ см от его центра.

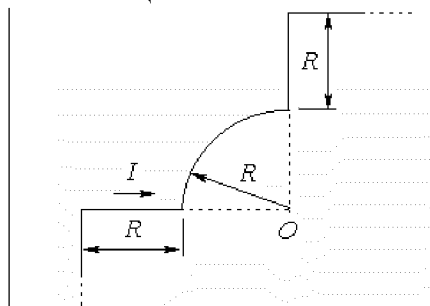
Задача № 7.3 Какой минимальной скоростью v_{min} должен обладать протон, чтобы он мог достигнуть поверхности заряженного до потенциала $\varphi = 400$ В металлического шара (рисунок).



Задача № 7.4 Плоский конденсатор состоит из двух круглых пластин радиусом $R = 10$ см каждая. Расстояние между пластинами $d = 2$ мм. Конденсатор присоединен к источнику напряжения $U = 80$ В. Определить заряд Q и напряженность E поля конденсатора в двух случаях: а) диэлектрик – воздух; б) диэлектрик – стекло.

Задача № 7.5 От источника с напряжением $U = 800$ В необходимо передать потребителю мощность $P = 10$ кВт на некоторое расстояние. Какое наибольшее сопротивление может иметь линия передачи, чтобы потери энергии в ней не превышали 10 % от передаваемой мощности?

Задача № 7.6 По бесконечно длинному проводу, изогнутому так, как это показано на рисунке, течет ток $I = 200$ А. Определить магнитную индукцию B в точке O . Радиус дуги $R = 10$ см.



Задача № 7.7 Рамка, содержащая $N = 200$ витков тонкого провода, может свободно вращаться относительно оси, лежащей в плоскости рамки. Площадь рамки $S = 50$ см². Ось рамки перпендикулярна линиям индукции однородного магнитного поля ($B = 0.05$ Тл). Определить максимальную ЭДС ε_{max} , которая индуцируется в рамке при ее вращении с частотой $n = 40$ с⁻¹.

Задача № 7.8 На дифракционную решетку, содержащую $n = 100$ штрихов на 1 мм, падает нормально монохроматический свет. Зрительная труба спектрометра наведена на максимум второго порядка. Чтобы навести трубу на другой максимум того же порядка, её нужно повернуть на угол $\Delta \varphi = 16^\circ$. Определить длину волны λ света, падающего на решетку.

Задача № 7.9 Как и во сколько раз изменится поток излучения абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения переместится с красной границы видимого спектра ($\lambda_{m1} = 780$ нм) на фиолетовую ($\lambda_{m2} = 390$ нм)?

Контрольная работа № 2

Вариант 8.

Задача № 8.1 В вершинах квадрата находятся одинаковые заряды $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = 8 \cdot 10^{-10}$ Кл. Какой отрицательный заряд Q нужно поместить в центре квадрата, чтобы сила взаимного отталкивания положительных зарядов была уравновешена силой притяжения отрицательного заряда?

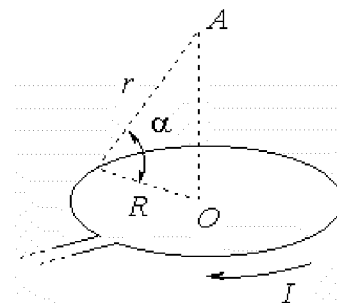
Задача № 8.2 Поле образовано точечным диполем с электрическим моментом $p = 200$ пКл·м. Определить разность потенциалов U двух точек поля, расположенных симметрично относительно диполя на его оси на расстоянии $r = 40$ см от центра диполя.

Задача № 8.3 В однородное электрическое поле напряженностью $E = 200$ В/м влетает (вдоль силовой линии) электрон со скоростью $v_0 = 2$ Мм/с. Определить расстояние l , которое пройдет электрон до точки, в которой его скорость будет равна половине начальной.

Задача № 8.4 Два металлических шарика радиусами $R_1 = 5$ см и $R_2 = 10$ см имеют заряды $Q_1 = 40$ нКл и $Q_2 = -20$ нКл соответственно. Найти энергию W , которая выделится при разряде, если шары соединить проводником.

Задача № 8.5 При включении электромотора в сеть с напряжением $U = 220$ В он потребляет ток $I = 5$ А. Определить мощность, потребляемую мотором, и его КПД, если сопротивление R обмотки мотора равно 6 Ом.

Задача № 8.6 По тонкому кольцу течет ток $I = 80$ А. Определить магнитную индукцию B в точке A , равноудаленной от точек кольца на расстоянии $r = 10$ см (рисунок). Угол $\alpha = \pi/6$.



Задача № 8.7 Прямой проводящий стержень длиной $l = 40$ см находится в однородном магнитном поле ($B = 0.1$ Тл). Концы стержня замкнуты гибким проводом, находящимся вне поля. Сопротивление всей цепи $R = 0.5$ Ом. Какая мощность P потребуется для равномерного перемещения стержня перпендикулярно линиям магнитной индукции со скоростью $v = 10$ м/с?

Задача № 8.8 На дифракционную решетку падает нормально монохроматический свет ($\lambda = 410$ нм). Угол $\Delta \varphi$ между направлениями на максимумы первого и второго порядка равен $2^\circ 21''$. Определить число n штрихов на 1 мм дифракционной решетки.

Задача № 8.9 Определить поглощательную способность a_r серого тела, для которого температура, измеренная радиационным пирометром, $T_{\text{рад}} = 1.4$ кК, тогда как истинная температура T тела равна 3.2 кК.

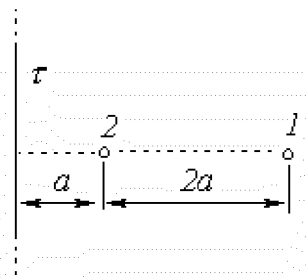
Контрольная работа № 2

Вариант 9.

Задача № 9.1 На расстоянии $d = 20$ см находятся два точечных заряда: $Q_1 = -50$ нКл и $Q_2 = 100$ нКл. Определить силу F , действующую на заряд $Q_3 = -10$ нКл, удаленный от обоих зарядов на одинаковое расстояние, равное d .

Задача № 9.2 Электрическое поле образовано бесконечно длинной заряженной нитью, линейная плотность заряда которой $\tau = 20$ пКл/м. Определить разность потенциалов U двух точек поля, отстоящих от нити на расстоянии $r_1 = 8$ см и $r_2 = 12$ см.

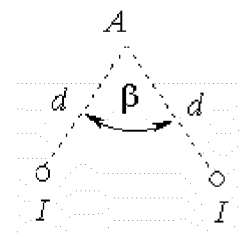
Задача № 9.3 Электрическое поле создано бесконечной заряженной прямой линией с равномерно распределенным зарядом ($\tau = 10$ нКл/м). Определить кинетическую энергию T_2 электрона в точке 2, если в точке 1 его кинетическая энергия $T_1 = 200$ эВ (рисунок).



Задача № 9.4 Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено двумя слоями диэлектрика: стекла толщиной $d_1 = 0.2$ см и слоем парафина толщиной $d_2 = 0.3$ см. Разность потенциалов между обкладками $U = 300$ В. Определить напряженность E поля и падение потенциала в каждом из слоев.

Задача № 9.5 В сеть с напряжением $U = 100$ В подключили катушку с сопротивлением $R_1 = 2$ кОм и вольтметр, соединенные последовательно. Показание вольтметра $U_1 = 80$ В. Когда катушку заменили другой, вольтметр показал $U_2 = 60$ В. Определить сопротивление R_2 другой катушки.

Задача № 9.6 По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводам текут одинаковые токи $I = 60$ А. Определить магнитную индукцию B в точке A (рисунок), равноудаленной от проводов на расстояние $d = 10$ см. Угол $\beta = \pi/3$.



Задача № 9.7 Проволочный контур площадью 500 см^2 и сопротивлением 0.1 Ом равномерно вращается в однородном магнитном поле ($B = 0.5$ Тл). Ось вращения лежит в плоскости кольца и перпендикулярна линиям магнитной индукции. Определить максимальную мощность, необходимую для вращения контура с угловой скоростью $\omega = 50$ рад/с.

Задача № 9.8 Постоянная дифракционная решетки в $n = 4$ раза больше длины световой волны монохроматического света, нормально падающего на её поверхность. Определить угол α между двумя первыми симметричными дифракционными максимумами.

Задача № 9.9 Муфельная печь, потребляющая мощность $P = 1$ кВт, имеет отверстие площадью $S = 100 \text{ см}^2$. Определить долю η мощности, рассеиваемой стенками печи, если температура ее внутренней поверхности равна 1 кК.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

(лабораторные работы №30, №48, №68)

Правила безопасности при выполнении лабораторных работ

1. Сборка и разборка электрической схемы, а также любые исправления в ней, ни в коем случае не должны производиться под напряжением.
2. Металлические корпуса приборов, питающихся от электрической сети, должны быть заземлены в соответствии с инструкцией по эксплуатации.
3. Ни в коем случае нельзя проверять наличие напряжения пальцами, для этой цели необходимо применять вольтметр или иной прибор для измерения или индикации напряжения.
4. Если при включении приборов или во время их работы наблюдается разогрев, сильное искрение, задымление или другие опасные явления, то следует в первую очередь отключить приборы от сети и обязательно обратиться к преподавателю или лаборанту.
5. Если кто-либо из окружающих будет поражен электрическим током - немедленно выключите нужный рубильник на щитке или при необходимости оборвите провода, идущие к установке, используя при этом подручные, не проводящие ток средства, но при этом избегайте прикасаться к пострадавшему и действуйте осторожно, чтобы самому не оказаться под действием напряжения.
6. В случае воспламенения приборов или какого-либо оборудования сначала выключите электрическое напряжение, и только после этого приступайте к тушению пламени; немедленно сообщите о происшествии преподавателю или лаборанту.

ПЕРВАЯ ПОМОЩЬ ПРИ ПОРАЖЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Электротравмы человек может получить в момент неосторожного контакта с источниками и проводниками электричества. Реакция организма человека зависит от мощности тока, прошедшего через тело. Симптомами поражения электрическим током является расстройство дыхания, падение пульса, судорожные сокращения мышц, потеря сознания, остановка сердца, ожоги на участках непосредственного контакта с электросетью.

Первая доврачебная помощь должна быть начата с немедленного прекращения воздействия электрического тока на пострадавшего, для чего необходимо выключить рубильник, выключатель, оторвать токонесущие провода. Если это сделать невозможно, то нужно незамедлительно обезопасить себя и пострадавшего надёжной изоляцией (применить резиновые перчатки, встать на резиновый коврик и т.п.). Ни в коем случае нельзя брать голыми руками за оголенный провод и за человека, находящегося под током.

Затем пострадавшему нужно создать полный покой, уложив в сухое теплое место, освободить от стесняющей одежды. При отсутствии (или резком нарушении) дыхания и сердечной деятельности начать проводить искусственное дыхание «изо рта в рот», «из рта в нос» и наружный массаж сердца.

1. ИЗУЧЕНИЕ ГРАФИЧЕСКОГО СПОСОБА ОПИСАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ (лабораторная работа №30)

Цель работы: экспериментальное изучение электростатического поля и его графическое описание с помощью эквипотенциальных поверхностей и силовых линий.

Приборы и принадлежности: установка для изучения графического способа описания электростатического поля, состоящая из электролитической ванны с электродами, источника питания, двух зондов и нуль-индикатора (осциллографа).

Теоретическое введение

Основными характеристиками электростатического поля являются напряженность \vec{E} и потенциал φ .

Напряженность \vec{E} в данной точке поля равна по величине силе, действующей со стороны поля на пробный точечный единичный положительный заряд q_0 , помещенный в данную точку поля, а по направлению совпадает с этой силой:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}.$$

Понятие потенциала φ для электростатического поля следует из определения работы A сил электростатического поля по перемещению пробного точечного единичного положительного заряда q_0 из одной точки в другую, а именно разность потенциалов $(\varphi_1 - \varphi_2)$ для точек (1) и (2) равна по величине работе $A_{1 \rightarrow 2}$ по перемещению заряда q_0 из точки (1) в точку (2):

$$(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{A_{1 \rightarrow 2}}{q_0}.$$

Если принять, что потенциал φ в какой-либо точке поля равен нулю (например, для поля точечного заряда полагают потенциал равным нулю на бесконечности, т.е. $\varphi_\infty = 0$), то можно определить абсолютное значение потенциала в любой точке (1) следующим образом:

$$\varphi_1 = \frac{A_{1 \rightarrow \infty}}{q_0}.$$

Из приведенного определения потенциала электростатического поля следует, что работа поля по элементарному перемещению единичного положительного заряда равна по величине убыли потенциала поля при этом перемещении от одной точки к другой, т.е.

$$dA = -q d\varphi.$$

Этой работе dA может быть сопоставлена убыль потенциальной энергии $-dW$ заряда q в электростатическом поле:

$$dA = -dW.$$

Отсюда
$$d\varphi = \frac{dW}{q}.$$

Из этого выражения следует еще одно определение потенциала электростатического поля:

разность потенциалов для двух точек электростатического поля численно равна разности потенциальных энергий единичного заряда в этих двух точках электростатического поля.

В отличие от напряженности \vec{E} , как силовой характеристики, потенциал φ является энергетической характеристикой поля.

Напряженность \vec{E} и потенциал φ электростатического поля связаны между собой. Эта связь выражается следующим образом:

$$\begin{aligned}\vec{E} &= -\text{grad}\varphi, \text{ где} \\ \vec{E} &= E_x\vec{i} + E_y\vec{j} + E_z\vec{k}, \\ \text{grad}\varphi &= \frac{\partial\varphi}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\vec{k}.\end{aligned}$$

Отсюда следует, что

$$E_x = -\frac{\partial\varphi}{\partial x}; E_y = -\frac{\partial\varphi}{\partial y}; E_z = -\frac{\partial\varphi}{\partial z}.$$

Выражение $E_x = -\frac{\partial\varphi}{\partial x}$ означает, что проекция вектора \vec{E} на ось Ox равна скорости убывания потенциала φ вдоль этой оси Ox . Аналогичный смысл имеют выражения $E_y = -\frac{\partial\varphi}{\partial y}$ и $E_z = -\frac{\partial\varphi}{\partial z}$.

Из соотношения $\vec{E} = -\text{grad}\varphi$ следует, что вектор напряженности \vec{E} направлен в сторону наибольшей скорости убывания потенциала φ .

Электростатическое поле может быть изображено графически с помощью силовых линий (линий напряженности поля) или с помощью эквипотенциальных поверхностей. Силовая линия – это такая линия, касательная к которой в каждой точке совпадает с направлением вектора напряженности поля \vec{E} . Эквипотенциальной называется поверхность, являющаяся геометрическим местом точек поля, имеющих равный потенциал. Силовые линии и эквипотенциальные поверхности в точках их пересечения взаимно перпендикулярны. Это свойство дает возможность по эквипотенциальным поверхностям электрического поля построить его силовые линии.

В данной лабораторной работе изучение графического способа описания электростатического поля основано на аналогичной возможности для электрического поля по экспериментально найденным конфигурациям эквипотенциальных поверхностей проводить построение силовых линий этого поля.

Порядок выполнения работы

Для создания электрического поля, в котором можно экспериментально определять конфигурацию эквипотенциальных поверхностей как основы построения силовых линий, в данной лабораторной работе используется установка (рис.1), включающая электролитическую ванну. Электролитическая ванна (рис.1) представляет собой пластину диэлектрика (плату), на которую нанесены медные электроды (\mathcal{E}_1 , \mathcal{E}_2) различной конфигурации. Для выполнения работы на пластину помещают лист электропроводящей бумаги, который можно получить, смочив водопроводной водой или слабым раствором любого электролита (например, соли NaCl) лист обычной бумаги. Между электродами \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 подается переменное напряжение 9 В.

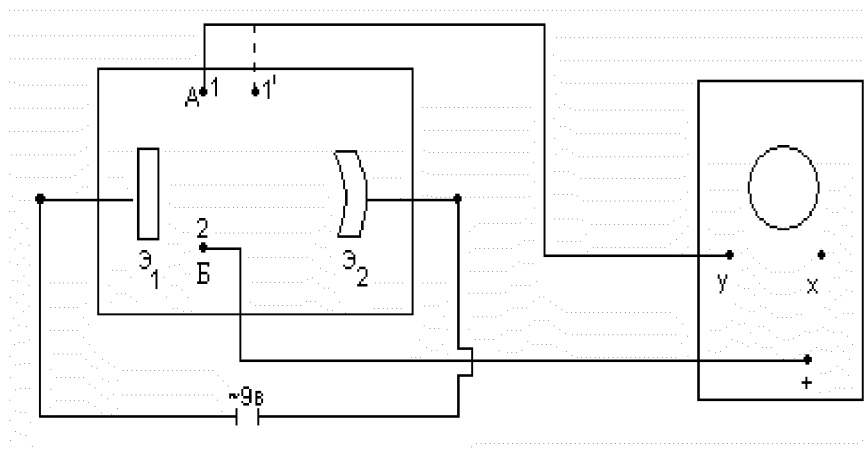


Рис. 1

Переменное напряжение для питания установки применяется с той целью, чтобы исключить поляризацию - появление искажающих картину поля поляризационных ЭДС у электродов, а также для устранения электролиза. В измерительную часть схемы входят зонды А и Б, и нуль-индикатор переменного тока, в качестве которого используется осциллограф.

Измерительную часть работы проводят по следующему принципу. Зонд А, изготовленный в виде металлического зажима, закрепляют в точке 1. Зонд Б, представляющий собой металлический стержень, может перемещаться как вдоль, так и поперек платы. Зонды А и Б предварительно присоединяют к соответствующим входным клеммам осциллографа, на котором предварительно отключен генератор горизонтальной развертки. Если потенциалы точек 1 и 2 не равны, то на экране виден отрезок вертикальной светящейся линии, длина которого пропорциональна разности потенциалов $\Delta\varphi$ между этими точками. Перемещая зонд Б вдоль платы, фиксируют точки (отмечая их положение на бумаге), для которых $\Delta\varphi = 0$. При этом на экране осциллографа вертикальная линия превращается в точку. Соединяя эквипотенциальные точки, получают эквипотенциальную линию при положении 1 зонда А. Закрепляя зонд А в точке 1', повторяют измерения.

Последовательность действий при выполнении работы:

1. Получить у лаборанта индивидуальную плату с определенной конфигурацией электродов Э1 и Э2.
2. Собрать установку по схеме, изображенной на рис.1.
3. Включить осциллограф в сеть 220 В (белая розетка).
4. Выключить на осциллографе горизонтальную развертку.
5. Наложить лист смоченной водой бумаги на плату так, чтобы он покрывал электроды.
6. Подать напряжение на электроды Э1 и Э2 (9 В).
7. Зонд А закрепить у электрода Э1. Перемещением второго подвижного зонда добиться того, чтобы вертикальная линия на экране осциллографа превратилась в точку. Отметить на бумаге это положение зонда Б карандашом или ручкой. Найти и зафиксировать еще не менее восьми точек данной эквипотенциальной линии.
8. Перемещая зонд А в другие положения (в сторону электрода Э2) так, чтобы охватить все пространство между электродами, повторить измерения, указанные в п. 7, для последующего построения не менее шести эквипотенциальных линий.
9. Соединить плавными кривыми полученные точки каждой из эквипотенциальных линий.
10. Дополнить полученную картину электростатического поля построением силовых линий, равномерно распределенных по пространству между электродами.

Контрольные вопросы

1. Запишите закон Кулона в векторной форме.
2. Дайте определения основных параметров электростатического поля.
3. Какова связь между напряженностью и потенциалом электростатического поля? Поясните смысл формулы $\vec{E} = -\text{grad}\varphi$.
4. Дайте определения силовой линии и эквипотенциальной поверхности электростатического поля. Докажите, что линии напряженности электрического поля перпендикулярны эквипотенциальным поверхностям.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ (лабораторная работа №48)

Цель работы: изучение магнитного поля проводников с током и магнитного поля Земли.

Приборы и принадлежности: компас, катушка провода с круговыми витками, источник постоянного тока, реостат, двойной ключ (переключатель), амперметр, соединительные провода.

Краткая теория

Основной характеристикой магнитного поля является индукция \vec{B} . Величина и направление вектора индукции магнитного поля, созданного элементом проводника $d\vec{l}$ с током I , определяются с помощью закона Био-Савара-Лапласа:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I [d\vec{l} \vec{r}]}{r^3}, \quad \text{где}$$

$d\vec{B}$ – индукция магнитного поля в точке, заданной радиус-вектором \vec{r} , проведенным от элемента проводника $d\vec{l}$ до этой точки;

$[d\vec{l} \vec{r}]$ – векторное произведение векторов $d\vec{l}$ и \vec{r} ;

μ_0 – магнитная постоянная, μ – магнитная проницаемость среды.

В скалярном виде закон Био-Савара-Лапласа:

$$dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I dl \sin \alpha}{r^2}, \quad \text{где}$$

α – угол между векторами $d\vec{l}$ и \vec{r} .

Магнитное поле может быть изображено графически с помощью силовых линий (линий индукции магнитного поля).

Силовая линия – это такая линия, касательная к которой в каждой точке совпадает по направлению с вектором индукции магнитного поля. Силовые линии магнитного поля, в отличие от силовых линий электростатического поля, являются замкнутыми.

Если имеется несколько источников магнитного поля, то, согласно принципу суперпозиции магнитных полей, индукция результирующего магнитного поля равна векторной сумме индукций всех отдельных магнитных полей, т.е.

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^N \vec{B}_i.$$

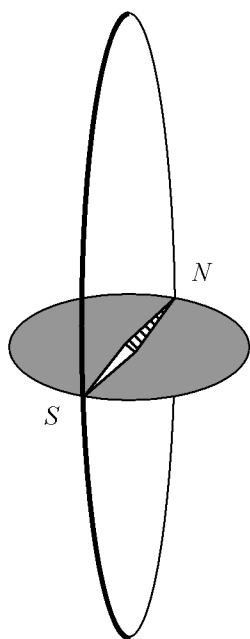


Рис. 1

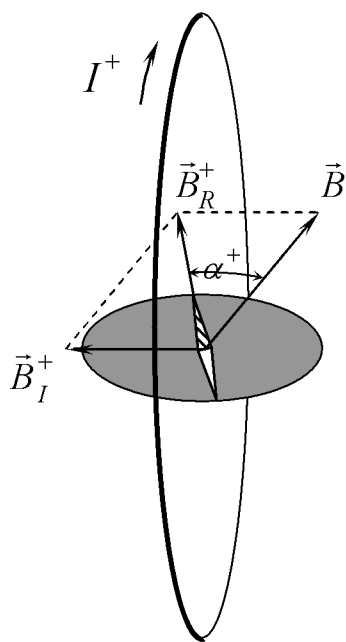


Рис. 1а

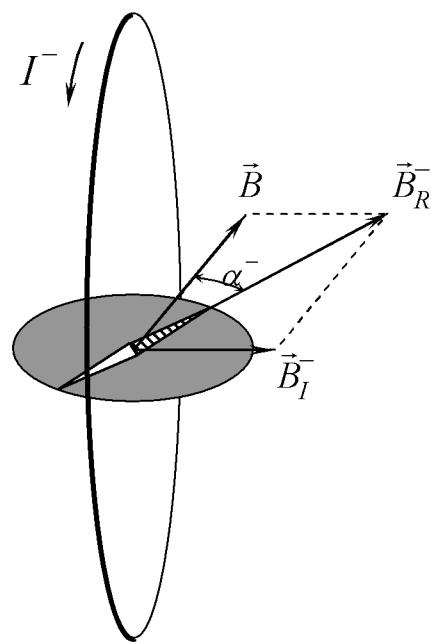


Рис. 1б

Краткая теория эксперимента

Магнитное поле действует на магнитную стрелку, стремясь ориентировать ее вдоль силовых линий. На этом основана работа компаса, ориентация магнитной стрелки которого позволяет определить направление на северный и южный магнитные полюсы и связанные с ними географические полюсы Земли. Если магнитная стрелка может вращаться только в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси (например, как в обычном компасе), то ориентация магнитной стрелки соответствует направлению горизонтальной составляющей вектора индукции магнитного поля Земли. Для определения величины горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли магнитную стрелку компаса помещают в поле еще одного источника магнитного поля – в поле проводника с током. В этом случае магнитная стрелка оказывается в суммарном магнитном поле Земли и проводника с током, и по ее ориентации можно определить соотношение индукций магнитных полей Земли и проводника с током. В качестве проводника в данной лабораторной работе использована катушка с круговыми витками, а магнитная стрелка помещена в центр кругового тока, как показано на рис. 1.

Первоначально, при отсутствии тока в витках катушки плоскость катушки располагают так, чтобы в этой плоскости оказалась магнитная стрелка и, соответственно, плоскость магнитного меридиана Земли. После включения тока I^+ в катушке (рис. 1а) магнитная стрелка компаса поворачивается на угол α^+ , ориентируясь по направлению суммарного (резльтирующего) магнитного поля \vec{B}_R^+ ($\vec{B}_R^+ = \vec{B} + \vec{B}_I^+$), состоящего из горизонтальной

составляющей индукции магнитного поля Земли \vec{B} и индукции магнитного поля кругового тока в центре витков катушки \vec{B}_I^+ .

Величина индукции магнитного поля в центре катушки с током I^+ :

$$B_I^+ = N \cdot \frac{\mu_0 I^+}{2r}, \quad \text{где } N - \text{число витков катушки,}$$

$\frac{\mu_0 I^+}{2r}$ – индукция магнитного поля, создаваемого одним витком катушки с

током I^+ (r – радиус витков катушки).

Направление вектора индукции магнитного поля в центре кругового тока совпадает с осью витка и соответствует правилу правого винта (рис. 1а, 1б). Из рис. 1а видно, что величину горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли B можно найти, зная (рассчитав предварительно) B_I^+ (индукцию магнитного поля в центре катушки с током I^+) и измерив угол α^+ поворота магнитной стрелки при включении тока I^+ :

$$B = \frac{B_I^+}{\operatorname{tg} \alpha^+}.$$

Для повышения точности измерений эксперимент повторяют, пропуская через катушку такой же как I^+ по величине, но противоположный по направлению ток I^- ($I^+ = I^- = I$). Вновь измеряют угол отклонения магнитной стрелки при включении тока I^- , т.е. угол α^- (рис. 1б) и вычисляют угол α , как среднее значение двух измерений:

$$\alpha = \frac{\alpha^+ + \alpha^-}{2}.$$

По найденному значению угла α для величины тока I определяют горизонтальную составляющую индукции магнитного поля Земли B :

$$B = \frac{N \mu_0 I}{2r \operatorname{tg} \alpha}.$$

Проделав пять таких двойных измерений угла отклонения магнитной стрелки (α^+ , α^-) для пяти различных значений силы тока (I_1, I_2, I_3, I_4, I_5) в витках катушки, необходимо рассчитать пять значений величины B (B_1, B_2, B_3, B_4, B_5) и в итоге определить среднее значение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли $\langle B \rangle$:

$$\langle B \rangle = \frac{B_1 + B_2 + B_3 + B_4 + B_5}{5}.$$

Абсолютная погрешность при определении величины B может быть найдена

следующим образом:
$$\Delta B = \frac{1}{5} \sum_{n=1}^5 |B_n - \langle B \rangle| .$$

Окончательный результат: $B = \langle B \rangle \pm \Delta B$. Относительная погрешность: $\delta = \frac{\Delta B}{\langle B \rangle}$

Порядок выполнения работы

1. Подготовьте таблицу для результатов измерений и вычислений

Таблица

n	I_n A	α^+ $град$	α^- $град$	α $град$	B_n $Tл$
1					
2					
3					
4					
5					

2. Ознакомьтесь с работой установки, изображенной на рис. 2 : включение и выключение с помощью ключа K ; изменение силы тока в цепи с помощью реостата R ; изменение направления тока в витках катушки с помощью переключателя Π (положению 1 переключателя соответствует ток I^+ , а положению 2 соответствует ток I^-); проведение измерений силы тока I с помощью амперметра A ; измерение угла α отклонения магнитной стрелки компаса при включении тока в витках катушки.

3. Включите установку и проведите все необходимые измерения последовательно для силы тока I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 . Результаты измерений занесите в таблицу.

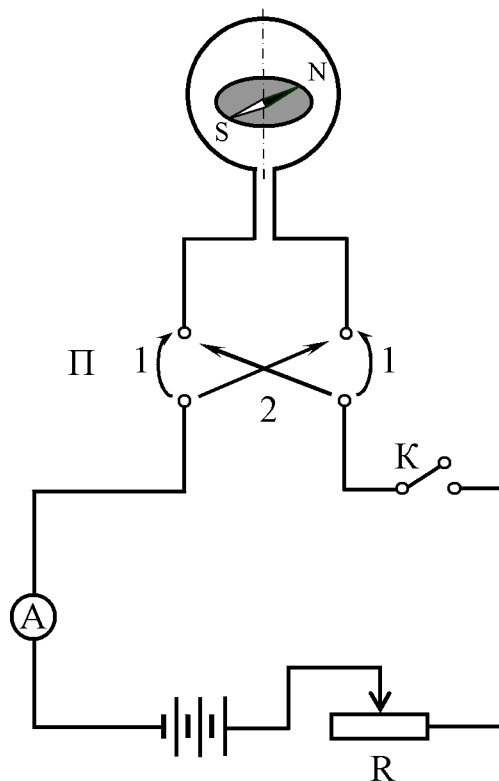


Рис. 2

4. Для каждого значения силы тока I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 проведите расчет горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли B_1, B_2, B_3, B_4, B_5 и получите среднее значение $\langle B \rangle$.

(Радиус r и число витков N катушки приведены на установке.)

5. Рассчитайте абсолютную погрешность определения индукции магнитного поля Земли и запишите окончательный результат:

$$B = \langle B \rangle \pm \Delta B$$

6. Оцените относительную погрешность определения индукции магнитного поля Земли:

$$\delta = \frac{\Delta B}{\langle B \rangle} \cdot 100\%$$

Контрольные вопросы

1. Назовите какие источники магнитного поля Вы знаете?
2. Запишите закон Био-Савара-Лапласа в векторной форме. Для случая линейного тока изобразите на рисунке все вектора, входящие в эту формулу.
3. Запишите закон Био-Савара-Лапласа в скалярной форме. Поясните физический смысл всех величин, входящих в эту формулу.
4. Дайте определение силовой линии магнитного поля. В чем отличие силовых линий магнитного поля от силовых линий электростатического поля?

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ С ПОМОЩЬЮ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ (Лабораторная работа № 68)

Цель работы: Изучения явления дифракции света и определение длины световой волны с помощью дифракционной решётки.

Приборы и принадлежности: оптическая скамья, проекционный фонарь, дифракционная решётка, набор светофильтров.

1. Краткая теория и описание экспериментальной установки

Дифракционная решётка – это оптический спектральный прибор, действие которого основано на явлении дифракции световых волн. Под дифракцией обычно понимают любые отклонения от законов распространения света, описываемых геометрической оптикой. Дифракционные явления наблюдаются при прохождении света через небольшие отверстия, вблизи границ непрозрачных тел, и т.п.

Описание дифракционных явлений основано на принципе Гюйгенса – Френеля, согласно которому каждую точку среды, в которую пришла световая волна в момент времени t , можно считать источником вторичных волн, распространяющихся от неё во все стороны, и действие света в какой-либо другой точке в момент времени $t + \Delta t$ определяется интерференцией волн, которые попадают в эту точку от всех вторичных источников.

Простейшая дифракционная решётка представляет собой совокупность большого числа параллельных равноотстоящих друг от друга одинаковых щелей в плоском экране. Дифракционную решётку можно изготовить с помощью нанесения непрозрачных для света параллельных царапин (штрихов) на стеклянную пластину. Гладкие места поверхности пластины – щели – будут пропускать свет, а царапины – промежутки между щелями – будут его рассеивать. Сечение такой дифракционной решётки и её условное обозначение показаны на рис. 1, а, б. Расстояние d между одноимёнными краями двух соседних щелей называется периодом или постоянной решётки. Как видно из рис. 1, а $d = a + b$, где a – ширина щели, b – ширина промежутка между щелями.

Пусть на решётку P падает нормально пучок параллельных лучей монохроматического света. Каждая точка щели и всех щелей одновременно будут испускать (в соответствии с принципом Гюйгенса – Френеля) когерентные световые волны, распространяющиеся во всех возможных направлениях. Выберем некоторое направление вторичных волн, идущих под углом φ относительно нормали к решётке (φ – угол дифракции). Как видно из построения, представленного на рис. 2, лучи света, идущие от крайних точек (A и A') соседних щелей, имеют разность хода Δ :

$$\Delta = A'B' = d \sin \varphi \quad (1)$$

(отрезок AB , перпендикулярен к выбранному направлению распространения вторичных волн).

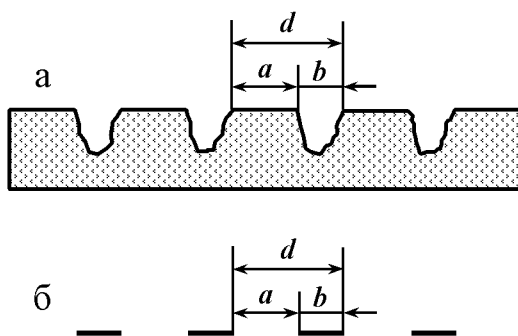


Рис.1

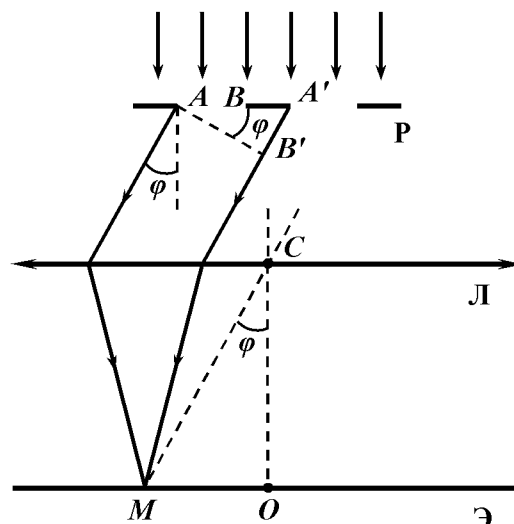


Рис. 2

Такая же разность хода будет у вторичных волн, идущих от любых других, соответственно расположенных (на расстоянии d друг от друга) пар точек соседних щелей, а значит, и от любых двух смежных щелей. Если за дифракционной решёткой поместить собирающую линзу L , а в её фокальной плоскости – экран \mathcal{E} , то лучи света, идущие под углом φ к первоначальному направлению распространения света, соберутся на экране в точке M (CM – участок побочной оптической оси линзы, расположенной под углом φ к главной оптической оси), где и будет наблюдаться их интерференция. Если разность хода (1) для каждой пары лучей, идущих из точек A и A' , и т.д. и в общем для каждой пары соседних щелей будет кратна целому числу длин волн: $\Delta = m\lambda$ ($m = 1, 2, \dots$), то в результате интерференции в точке M возникнет главный максимум в виде светлой полосы, параллельной щелям. Такие же максимумы образуются и для других углов φ , для которых

$$d \sin \varphi_m = \pm m\lambda, \quad (2)$$

где $m = 0, 1, 2, \dots$ – порядок главных максимумов (знаки \pm указывают, что максимумы расположены симметрично относительно центрального максимума, для которого $m = 0$, и $\varphi = 0$). Равенство (2) называется основной формулой дифракционной решётки. Как видно из (2), направление на m -й максимум определяется углом φ_m , который зависит от длины световой волны. Поэтому при падении немонохроматического света каждый главный максимум (кроме центрального) будет представлять собой систему светлых полос, отвечающих каждой длине волны – дифракционный спектр.

Дифракционная решетка является спектральным прибором, с помощью которого можно определять длину волны света, исходя из соотношения (2):

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi_m}{m} \quad (3)$$

5

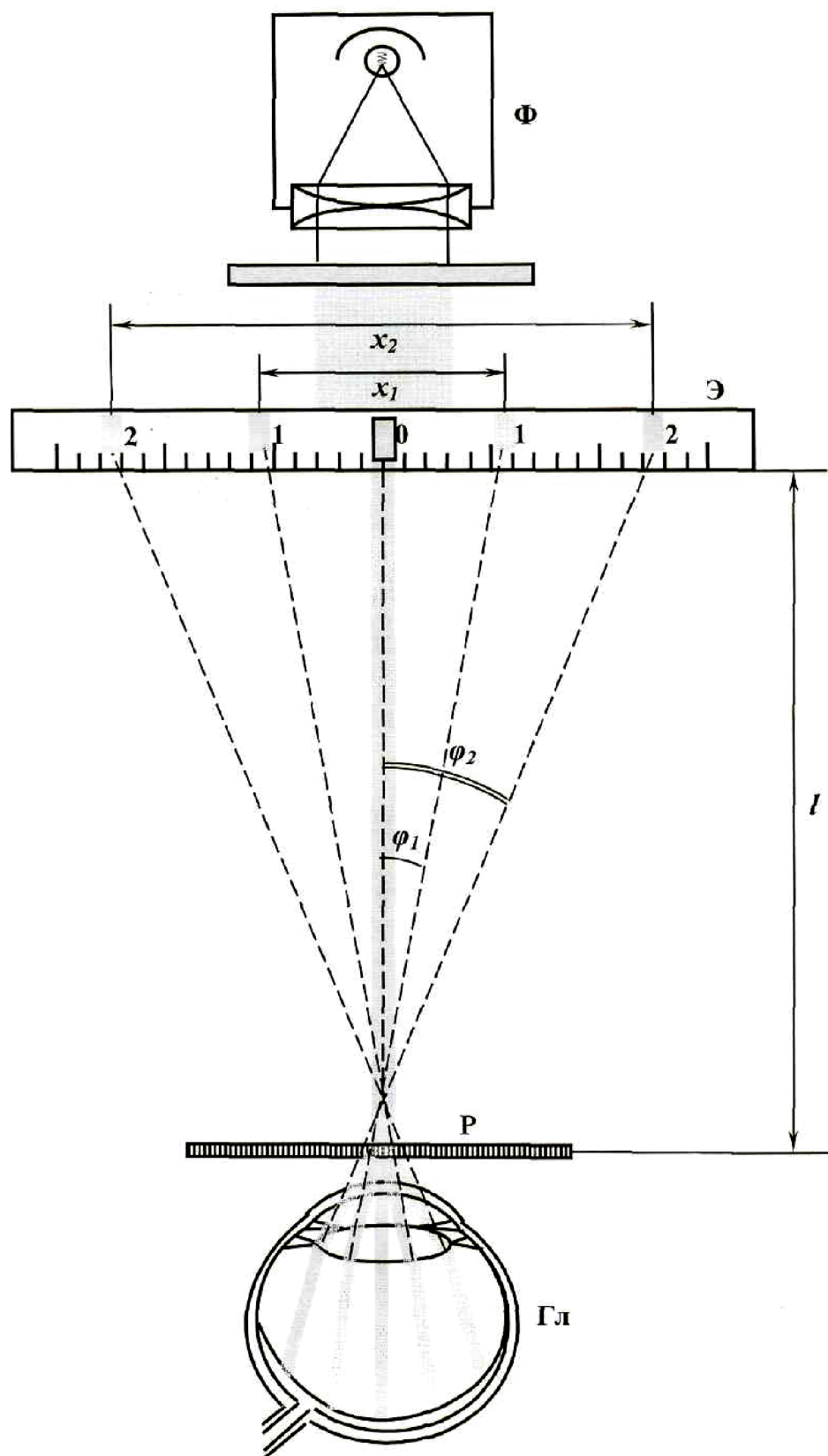


Рис. 3

Следовательно, для определения длины волны света необходимо знать постоянную решётки d , порядок дифракционного максимума m и соответствующий ему угол дифракции φ_m .

На рис.3 представлена оптическая схема измерительной установки, используемой в данной работе. Свет от проекционного фонаря Φ падает параллельным пучком на светофильтр $C\phi$ и через щель в экране \mathcal{E} попадает на решётку P и дифрагирует на ней с образованием максимумов на сетчатке глаза наблюдателя. На экране с измерительной линейкой создаются мнимые изображения дифракционных максимумов.

Пусть x_m - расстояние между двумя изображениями максимумов m -го порядка. Так как $x_m \ll l$, то $\sin \varphi_m \approx \tan \varphi_m = \frac{x_m}{2l}$ и, следовательно, формула для определения длины волны света будет иметь вид:

$$\lambda = \frac{d}{l} \cdot \frac{x_m}{2m}, \text{ где } m = 1, 2, \dots \quad (4)$$

2. Порядок выполнения работы

Последовательно для каждого из трех светофильтров (выбранных по указанию преподавателя) проведите следующие действия и измерения:

1. Установите светофильтр в кассету, расположенную перед линзой проекционного фонаря.
2. Включите лампу проекционного фонаря в сеть напряжением 220 В.
3. Перемещая экран \mathcal{E} по направляющим оптической скамьи, установите одно из трёх заданных преподавателем значений l .
4. Наблюдая дифракционные максимумы 1-го и 2-го порядков, определите их положение на экране, измеряя величины x_1 и x_2 (x_1 – расстояние между максимумами 1-го порядка, а x_2 – расстояние между максимумами 2-го порядка).
5. Занесите данные измерений в таблицу. Проведите те же измерения и для других значений l .

Постоянная решётки $d =$

Цвет светофильтра -

Расстояние l (мм)	Порядок спектра m	Расстояние между максимумами x_m (мм)	Длина волны λ (нм)	Результат $\langle \lambda \rangle \pm \Delta \lambda$ (нм)
	1			
	2			
	1			
	2			
	1			
	2			

6. Рассчитайте длину волны света в каждом из опытов по формуле (4) (постоянная d дифракционной решётки указана на её оправе или сообщается преподавателем). Для удобства расчета величины d , l , $x_{1,2}$ выразите в мм, а конечный результат (длину волны λ) – в нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м} = 10^{-6} \text{ мм}$).
7. Определите среднее значение длины волны :

$$\langle \lambda \rangle = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_6}{6}$$

и стандартную погрешность измерения длины волны

$$\Delta\lambda = \frac{1}{6} \sqrt{\sum_{i=1}^6 (\langle \lambda \rangle - \lambda_i)^2} \quad (\text{нм}).$$

Эти результаты также занесите в таблицу.

8. Вычислите относительную погрешность измерения

$$\delta\lambda = \frac{\Delta\lambda}{\langle \lambda \rangle} 100 \quad (\%)$$

и запишите окончательный результат работы в виде:

$$\lambda = \langle \lambda \rangle \pm \Delta\lambda \quad (\text{нм}) \quad \text{с} \quad \delta\lambda = \dots (\%).$$

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте принцип Гюйгенса – Френеля.
2. Какие источники световых волн называются когерентными?
3. В чём заключается явление дифракции?
4. Опишите устройство дифракционной решётки.