

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»

Кафедра физики

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к аудиторным занятиям и домашним заданиям по физике
(разноуровневые задачи по теме «Постоянный ток.
Электромагнетизм») для студентов всех технических специальностей
очной формы обучения

Воронеж 2012

Составители: д-р физ.-мат. наук Е.К. Белоногов,
канд. физ.-мат. наук С.В. Бурова,
канд. физ.-мат. наук Т.Л. Тураева,
канд. пед. наук О.С. Хабарова

УДК 53

Методические указания к аудиторным занятиям и домашним заданиям по физике (разноуровневые задачи по теме «Постоянный ток. Электромагнетизм») для студентов всех технических специальностей очной формы обучения / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Е.К. Белоногов, С.В. Бурова, Т.Л. Тураева, О.С. Хабарова. Воронеж, 2012. 47 с.

Методические указания содержат задания различных уровней сложности, распределенные по разделам темы «Постоянный ток. Электромагнетизм», представлены основные формулы, требуемые для решения.

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе MSWORD и содержатся в файле магнетизм1.docx.

Предназначены для студентов 1-3 курсов всех технических специальностей очной формы обучения.

Ил. 45. Библиогр.: 4 назв.

Рецензент канд. техн. наук, доц. М.Н. Гаршина

Ответственный за выпуск зав. кафедрой канд. физ.-мат. наук, доц. Т.Л. Тураева

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВПО «Воронежский
государственный технический университет»,
2012

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания предназначены для студентов всех специальностей очного отделения, изучающих курс общей физики и будут полезны при закреплении ими отдельных разделов программы курса физики для высших учебных заведений.

В сборник вошли задачи по разделам: «Закон сохранения заряда. Закон Кулона», «Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции полей. Поток вектора напряженности. Теорема Гаусса», «Потенциал. Работа поля по перемещению зарядов. Связь напряженности и напряжения», «Емкость. Конденсаторы. Энергия заряженного конденсатора», «Движение заряженных частиц в электрическом поле». Для удобства и экономии времени учащихся в начале каждого раздела введена сводка основных формул на соответствующий материал. Формулы приведены, как правило, без подробных пояснений: предполагается, что смысл входящих в них величин студенту уже известен.

Задачи систематизированы по темам и распределены по различным уровням сложности. Составители исходили из того, что основной задачей практических занятий и домашних заданий должно являться осознание физических явлений и законов. Эта задача может быть успешно решена, если предоставить студентам возможность решать задачи с достаточным пониманием сущности явлений. Последнее условие легче выполняется, если предоставить студентам возможность, обучаясь по одной программе, выбирать уровень сложности заданий и осознавать физические явления с учетом своих индивидуальных особенностей и усваивать ее на различных уровнях, но не ниже некоторого минимального и постепенно продвигаться по ним.

Поэтому задачи распределены по уровням сложности по каждой теме. Уровня сложности всего три. I уровень сложности задач соответствует такому предметному знанию, как узнавание законов, умение определять их назначение, уяснение физического смысла закона, применение законов в знакомой ситуации. II уровень

соответствует пониманию физической сущности используемых законов, применению понятий, теорий, законов в конкретных практических ситуациях, оцениванию значимости данных. III уровень предполагает умение использовать закон в новой ситуации, умение выделять скрытые предположения.

В начале учебного процесса уровень сложности студенту может помочь выбрать преподаватель с учетом его базовой подготовки.

I. ПОСТОЯННЫЙ ТОК

Основные формулы

* Сила и плотность электрического тока

$$I = \frac{dQ}{dt}, \quad j = \frac{I}{S} \quad \text{и} \quad \vec{j} = ne\langle \vec{v} \rangle,$$

где S – площадь поперечного сечения проводника; $\langle \vec{v} \rangle$ – скорость упорядоченного движения зарядов в проводнике; n – концентрация зарядов.

* Электродвижущая сила, действующая в цепи

$$\mathcal{E} = \frac{A_{cm}}{Q} \quad \mathcal{E} = \oint \vec{E}_{cm} \cdot d\vec{l}$$

где A_{cm} – работа сторонних сил; $\mathcal{E}_{cm}$ – напряженность поля сторонних сил.

* Сопротивление однородного линейного проводника и удельная электрическая проводимость проводника

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad \gamma = \frac{1}{\rho},$$

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

* Сопротивление проводников при последовательном и параллельном соединении

$$R_{\text{посл}} = \sum_{i=1}^n R_i \quad \text{и} \quad R_{\text{парал}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}.$$

* Закон Ома в интегральной форме:

для однородного участка цепи
$$I = \frac{U}{R};$$

для неоднородного участка цепи $I = (\varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E})/R$

где U – напряжение, R – сопротивление, $\varphi_1 - \varphi_2$ – разность потенциалов на концах участка цепи, $\mathcal{E}_{12}$ – ЭДС всех источников тока, входящих в участок, $\mathcal{E}$ – ЭДС всех источников тока цепи.

* Закон Ома в дифференциальной форме:

для однородного участка цепи $\vec{j} = \gamma \vec{E}$;

для неоднородного участка цепи $\vec{j} = \gamma(\vec{E} + \vec{E}')$;

где $\vec{E}$ – напряженность поля электростатических сил, $\vec{E}'$ – напряженность поля сторонних сил.

* Работа тока и закон Джоуля – Ленца в интегральной форме

$$A = Q = IUt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t, \quad \text{или в общем виде} \quad Q = \int R I^2 dt,$$

где Q – количество теплоты, выделяющееся в участке цепи при прохождении тока за время t .

* Мощность тока

$$P = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}.$$

* Закон Джоуля – Ленца в дифференциальной форме

$$\omega = jE = \gamma E^2,$$

где ω – удельная тепловая мощность тока.

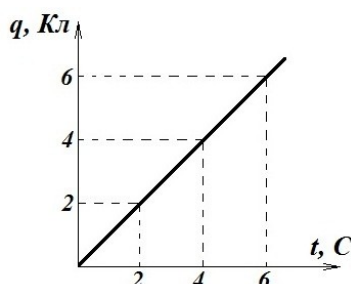
* Правила Кирхгофа

$$\sum_k I_k = 0; \quad \sum I_i R_i = \sum E_k \quad \sum I_i R_i = \sum E_k$$

1. Плотность и сила тока. Сопротивление проводников.

Уровень сложности 1

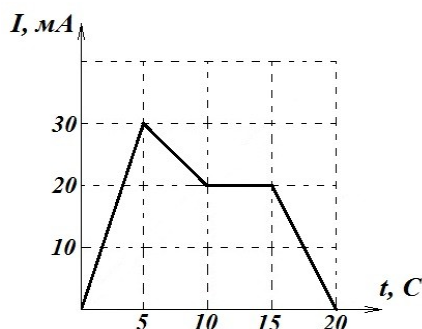
1.1. По проводнику течет постоянный электрический ток. Значение заряда, прошедшего через проводник, возрастает с течением времени согласно графику, представленному на рисунке. Чему равна сила тока в проводнике?



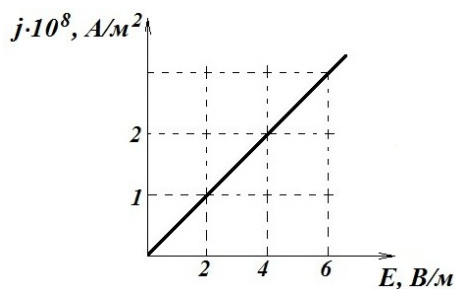
1.2. Определите плотность тока, если за 2 с через проводник сечением $1,6 \text{ мм}^2$ прошло $2 \cdot 10^{19}$ электронов.

1.3. Определите среднюю скорость направленного движения электронов вдоль проводника сечением $0,8 \text{ мм}^2$ с током 80 мА и концентрацией свободных носителей заряда 10^{29} м^{-3} .

1.4. На рисунке показана зависимость силы тока в электрической цепи от времени. Чему равен заряд, прошедший по проводнику в интервале времени а) от 0 до 10 с; б) от 10 до 20 с?

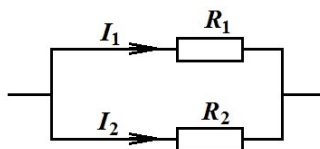


1.5. На графике показана зависимость плотности тока в проводнике от напряженности электрического поля. Чему равно удельное сопротивление проводника?



1.6. Как изменится плотность тока в проводнике, если увеличить его длину и площадь его поперечного сечения вдвое, не изменяя приложенного напряжения?

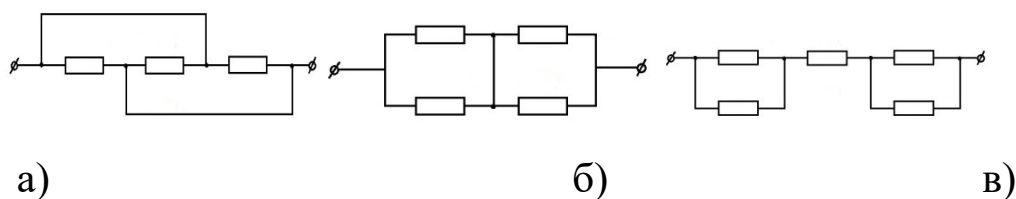
1.7. Два резистора включены в электрическую цепь параллельно, как показано на рисунке. Значение силы тока в резисторах: $I_1=0,8$ А, $I_2=0,32$ А. Найти соотношение сопротивлений R_1/R_2



1.8. Три сопротивления величиной R каждое соединили сначала последовательно, а затем параллельно. Как изменится общее сопротивление?

1.9. Два медных провода соединены последовательно и включены в цепь. Во сколько раз различаются напряжения на проводах, если: а) первый провод в 2 раза длиннее второго при одинаковом сечении; б) сечение первого провода в 2 раза больше сечения второго при той же длине?

1.10. Определите сопротивление цепей, показанных на рисунках а), б), в), если значение каждого сопротивления равно R ?



Уровень сложности 2

1.11. По медному проводнику сечением $0,8 \text{ мм}^2$ течет ток 80 мА . Найдите среднюю скорость упорядоченного движения электронов вдоль проводника, предполагая, что на каждый атом меди приходится один свободный электрон. $\rho = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; $M = 63,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$; $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$.

1.12. Определите суммарный импульс электронов в прямом проводнике длиной 500 м , по которому течет ток 20 А . $m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$.

1.13. Ток I в проводнике меняется со временем по закону $I = 4 + 2t$. Какое количество электричества q проходит через поперечное сечение проводника за время от $t_1 = 2 \text{ с}$ до $t_2 = 6 \text{ с}$?

1.14. Сила тока в проводнике равномерно нарастает от 0 до 2 А в течение 5 с . Определите заряд, прошедший по проводнику.

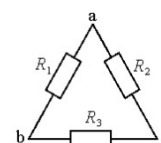
1.15. Катушка из медной проволоки имеет сопротивление $10,8 \text{ Ом}$. Масса медной проволоки равна $3,41 \text{ кг}$. Какой длины и какого диаметра проволока намотана на катушке? Удельное сопротивление меди равно $17 \text{ нОм} \cdot \text{м}$, а плотность – $8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

1.16. Два куска железной проволоки имеют равные массы и различные длины: $l_1 = l$ и $l_2 = 2l$. Найти отношение R_1/R_2 их сопротивлений.

1.17. На сколько равных частей надо разрезать проводник, чтобы при параллельном соединении этих частей получить сопротивление в n раз меньше?

1.18. Даны 12 резисторов каждый сопротивлением 40 Ом . Как их нужно соединить, чтобы получить сопротивление, равное 30 Ом ?

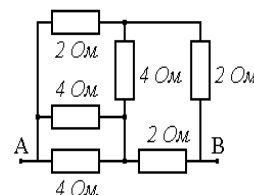
1.19. К проволочному кольцу присоединены подводящие провода. В каком отношении точки присоединения делят длину окружности, если общее



сопротивление получившейся цепи в 6,25 раза меньше сопротивления кольца?

1.20. Три резистора включены по схеме, изображенной на рисунке. Если они включены в точках а и в, то сопротивление цепи будет $R_1' = 20 \text{ Ом}$, а если в точках а и с, то сопротивление цепи будет $R_2' = 15 \text{ Ом}$. Найти сопротивления R_1 ; R_2 ; R_3 , если $R_1 = 2R_3$.

1.21. Определить сопротивление участка цепи, изображенной на рисунке.



Уровень сложности 3

1.22. Оценить среднюю скорость упорядоченного движения электронов $\langle u \rangle$ в проводнике с концентрацией электронов $n = 10^{29} \text{ м}^{-3}$ при плотности тока $j = 100 \text{ А/см}$. Сравнить эту скорость со средней скоростью теплового движения $\langle v \rangle$ электронов при комнатной температуре, считая, что распределение электронов по скоростям является максвелловским.

1.23. Катод электронной лампы представляет собой цилиндр радиуса r_0 и длины l , а анод – коаксиальный с ним цилиндр радиуса R , причем $l \gg R > r_0$. Найти зависимость плотности тока j от расстояния до оси катода, ток I в анодной цепи лампы известен.

1.24. Скорость электронов на выходе из электронного ускорителя u , концентрация электронов спадает по мере удаления от оси электронного пучка по закону $n(r) = n_0 \exp(-r^2/r_0^2)$, где n_0 – концентрация электронов на оси пучка, r – расстояние от оси пучка, r_0 – эффективный радиус пучка. Написать выражение для плотности тока пучка j и найти силу тока.

1.25. Может ли стационарная (не зависящая от времени) плотность тока j в однородном изотропном проводнике выражаться формулами:

$$а) \mathbf{j} = a(2xe_x + 3ye_y - 5ze_z);$$

$$б) \mathbf{j} = a(2xe_x + 3ye_y + 2ze_z);$$

$$в) \mathbf{j} = a(2ye_x + 3ze_y + 4xe_z),$$

где a – константа, x, y, z – декартовы координаты?

1.26. Вычислить сопротивление R графитового проводника, изготовленного в виде прямого кругового усеченного конуса высотой $h=20$ см и радиусами оснований, $r_1=12$ мм и $r_2=8$ мм. Температура t проводника равна 20°C .

1.27. На одном конце цилиндрического медного проводника сопротивлением $R_0=10$ Ом' (при 0°C) поддерживается температура $t_1=20^\circ\text{C}$, на другом $t_2=400^\circ\text{C}$. Найти сопротивление R проводника, считая градиент температуры вдоль его оси постоянным.

1.28. Сопротивление медной проволоки 1 Ом, ее масса 1 кг. Какова длина проволоки и площадь ее поперечного сечения?

2. Закон Ома. Правила Кирхгофа.

Уровень сложности 1

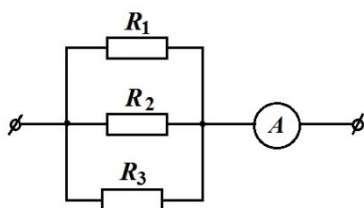
1.29. Три проводника сопротивлениями $R, 2R$, и $3R$ соединены параллельно и подключены к напряжению 1 В. Найти силы токов через каждое сопротивление.

1.30. Два резистора, сопротивлением $R_1=2$ Ом и $R_2=8$ Ом подключены последовательно. Найти отношение напряжений U_1/U_2 на этих сопротивлениях.

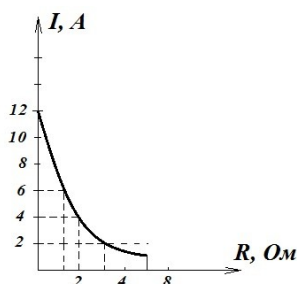
1.31. Два сопротивления $R_1=4$ Ом и $R_2=16$ Ом подключены последовательно и включены в цепь с напряжением 8 В. Что покажет идеальный вольтметр, подключенный к сопротивлению R_1 ?

1.32. Источник тока с ЭДС 1,5 В и внутренним сопротивлением 1 Ом замкнут на внешнее сопротивление 4 Ом. Определить ток в цепи, падение напряжения на внутреннем и внешнем сопротивлении.

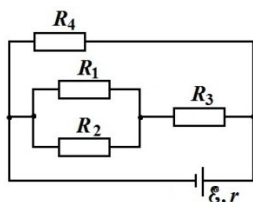
1.33. В цепи на рисунке амперметр показывает силу тока $I=1,5$ А. Сила тока через сопротивление R_1 равна 0,5 А. Сопротивления $R_2=2$ Ом, $R_3=6$ Ом. Определите сопротивление R_1 и силу токов, протекающих через сопротивления R_2 и R_3 .



1.34. К источнику тока с ЭДС 12 В подключили реостат. На рисунке показан график зависимости силы тока в реостате от его сопротивления. Найти ток короткого замыкания и внутреннее сопротивление источника тока.



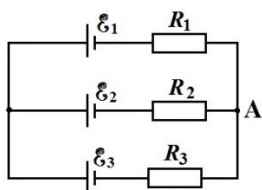
1.35. Определить общий ток в цепи и ток, протекающий через сопротивление R_1 . $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 2$ Ом, $\mathcal{E} = 8$ В, $r = 0,5$ Ом.



1.36. Два источника тока с ЭДС $\mathcal{E}_1 = 2$ В и $\mathcal{E}_2 = 1,5$ В и внутренними сопротивлениями $r_1 = 0,5$ Ом и $r_2 = 0,4$ Ом включены согласованно параллельно друг другу и сопротивлению $R = 2$ В. Определите силу тока через это сопротивление.

1.37. Когда гальванический элемент с ЭДС 2,5 В замкнут на сопротивление 4 Ом, то сила тока в цепи равна 0,5 А. Найти ток короткого замыкания.

1.38. Напишите первое правило Кирхгофа для узла А и второе правило Кирхгофа для всех контуров на рисунке с учетом того, что все ЭДС одинаковы и их внутренние сопротивления равны нулю.



Уровень сложности 2

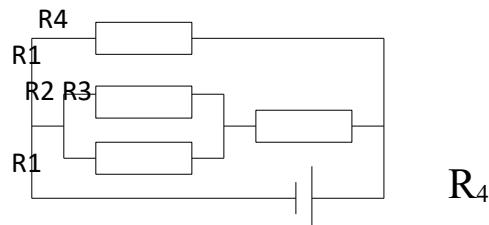
1.39. Элемент с ЭДС $\mathcal{E} = 2$ В имеет внутреннее сопротивление 0,5 Ом. Найти падение напряжения внутри элемента при токе в цепи 0,25 А. Каково внешнее сопротивление цепи при этих условиях?

1.40. Батарея с ЭДС $\mathcal{E} = 20$ В, амперметр и реостаты с сопротивлениями R_1 и R_2 соединены последовательно. При выведенном реостате R_1 амперметр показывает ток $I_1 = 8$ А, при введенном реостате R_1 – ток $I_2 = 5$ А. Найти сопротивления R_1 и R_2 реостатов и падения напряжения на них, когда реостат R_1 полностью включен.

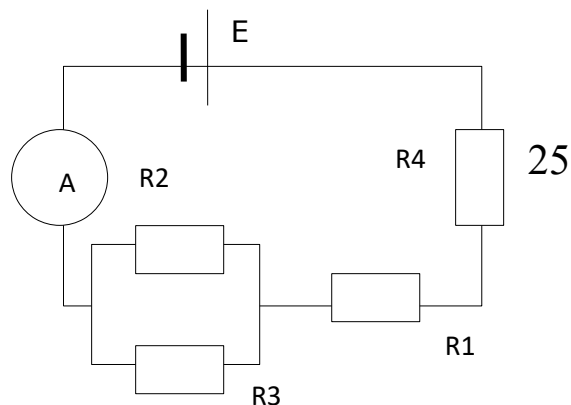
1.41. Элемент, амперметр и некоторое сопротивление соединены последовательно. Если взять сопротивление из медной проволоки ($\rho = 17$ нОм·м) длиной 100 м и поперечным сечением 2 мм², то амперметр показывает ток 1,43 А. Если же взять сопротивление из алюминиевой проволоки длиной 57,3 м и поперечным сечением 1 мм², то амперметр показывает ток 1 А. Сопротивление амперметра составляет 0,05 Ом. Найти ЭДС элемента и его внутреннее сопротивление.

1.42. Определите ток короткого замыкания источника ЭДС, если при внешнем сопротивлении $R_1 = 50 \text{ Ом}$ ток в цепи $I_1 = 0,2 \text{ А}$, а при $R_2 = 110 \text{ Ом}$ – $0,1 \text{ А}$.

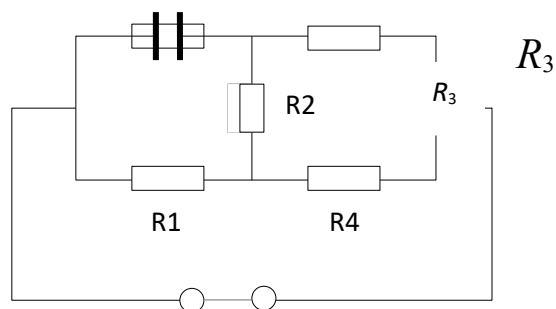
1.43. Определить ток, протекающий через сопротивление R_1 и напряжение на нем. $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = 6 \text{ Ом}$, $R_3 = 1,5 \text{ Ом}$, $R_4 = 3 \text{ Ом}$, $\mathcal{E} = 8 \text{ В}$, $r = 0,5 \text{ Ом}$.



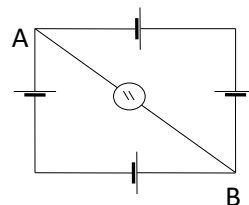
1.44. ЭДС батареи $\mathcal{E} = 20 \text{ В}$, сопротивления $R_3 = 20 \text{ Ом}$ и $R_4 = 25 \text{ Ом}$. Падение напряжения на сопротивлении R_1 равно $U_1 = 40 \text{ В}$. Амперметр показывает ток 2 А . Найти сопротивление R_2 .



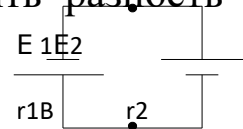
1.45. На рисунке $R_1 = R$, $R_2 = 2R$, $R_3 = 3R$, $R_4 = 4R$. Дано C и U_0 . Определите заряд на конденсаторе.



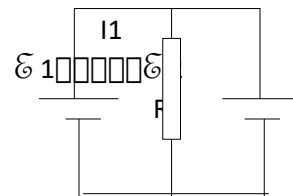
1.46. Четыре одинаковых элемента с ЭДС $\mathcal{E}$ и внутренним сопротивлением r соединены последовательно. Определите показание вольтметра, подсоединенного между точками А и В.



1.47. Источники тока в цепи характеризуются величинами $\mathcal{E}_1 = 1,5 \text{ В}$, $r_1 = 2 \text{ Ом}$ и $\mathcal{E}_2 = 4,5 \text{ В}$, $r_2 = 3 \text{ Ом}$. Определить разность потенциалов $\varphi_B - \varphi_A$.



1.48. Определить величину тока, протекающего через сопротивление R , если $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = 2 \text{ В}$, $r_1 = 1 \text{ Ом}$, $r_2 = 2 \text{ Ом}$, $I_1 = 1 \text{ А}$.

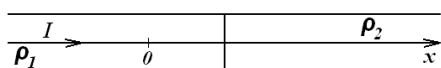


1.49. Три батареи с ЭДС $\mathcal{E}_1 = 12 \text{ В}$, $\mathcal{E}_2 = 5 \text{ В}$ и $\mathcal{E}_3 = 10 \text{ В}$ и одинаковыми внутренними сопротивлениями $r = 1 \text{ Ом}$, соединены между собой одноименными полюсами. Чему равна сила тока, проходящая через первую батарею?

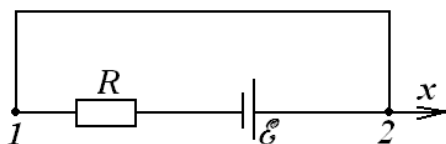
1.50. Два источника тока с ЭДС $\mathcal{E}_1 = 12 \text{ В}$ и $\mathcal{E}_2 = 6 \text{ В}$, и внутренним сопротивлением $r = 0,5 \text{ Ом}$ соединены параллельно. Параллельно к ним подключены два сопротивления $R_1 = 1 \text{ Ом}$. Определите величину R_2 , при котором ток, через источник $\mathcal{E}_2$, равен нулю.

Уровень сложности 3

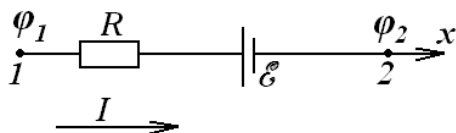
1.51. Два провода, имеющие одинаковые площади поперечного сечения S , но различные удельные сопротивления ρ_1 и ρ_2 , соединены «встык». По проводникам течет ток I . Построить качественно графики зависимостей плотности тока j_x и напряженности поля E_x внутри проводника от x .



1.52. Построить качественные графики зависимостей напряженности поля E и потенциала φ на участке 1-2 схем, изображенных на рисунках. Считать, что $\varphi_1 > \varphi_2$.



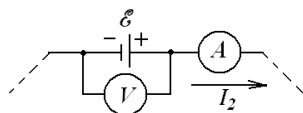
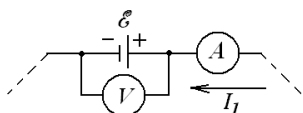
а)



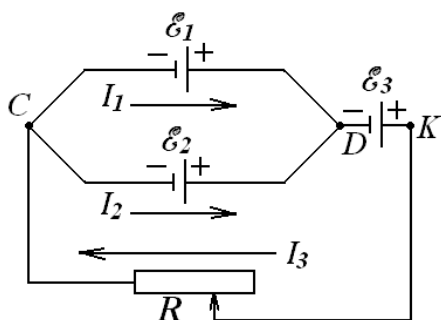
б)

1.53. Аккумулятор с ЭДС $\mathcal{E} = 12$ В и сопротивлением $R = 50$ мОм поставлен на подзарядку. Рассчитать разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$ при токе зарядки $I = 5$ А.

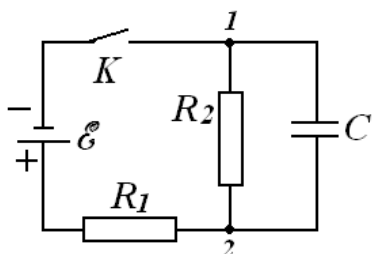
1.54. Под конец зарядки аккумулятора при силе тока в цепи $I_1 = 3$ А показание вольтметра, подключенного к зажимам аккумулятора, $U_1 = 4,25$ В. В начале разрядки того же аккумулятора при силе тока в цепи $I_2 = 4$ А показание вольтметра $U_2 = 3,9$ В. Определить ЭДС и внутреннее сопротивление r аккумулятора.



1.55. Три источника с ЭДС $\mathcal{E}_1 = 6$ В, $\mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_3 = 4$ В и внутренними сопротивлениями $r = 0,5$ Ом каждый соединены, как показано на рисунке, и замкнуты на резистор с переменным сопротивлением. Определить разности потенциалов $\varphi_D - \varphi_C$ и $\varphi_K - \varphi_D$ при сопротивлении резистора $R = 4$ Ом. Построить графики зависимости указанных разностей потенциалов от сопротивления резистора.



1.56. Определить закон изменения со временем напряжения на обкладках конденсатора при замыкании ключа K . Через сколько времени, считая от момента замыкания ключа, напряжение достигнет 99% от своего наибольшего значения, если $R_1 = 30$ кОм, $R_2 = 15$ кОм, $C = 0,2$ мкФ?



1.57. Два источника с ЭДС $\mathcal{E}_1 = 1,9$ В, $\mathcal{E}_2 = 1,1$ В и внутренними сопротивлениями $r_1 = 0,8$ Ом и $r_2 = 0,1$ Ом, замкнуты параллельно на внешнее сопротивление $R = 10$ Ом. Определите силу тока во внешней цепи.

1.58. Источник тока имеет сопротивление, сравнимое с сопротивлением вольтметров. Один вольтметр, подключенный к зажимам источника, показал 10 В. Другой вольтметр, присоединенный к источнику вместо первого, показал 15 В. Когда же эти вольтметры соединили последовательно и подключили к зажимам источника, то первый показал 4 В, а второй 12 В. Найти ЭДС источника.

3. Работа и мощность тока. Закон Джоуля-Ленца

Уровень сложности 1

1.59. Чему равно время прохождения тока по проводнику, если при напряжении на его концах 120 В совершается работа 540 кДж? Сопротивление проводника 24 Ом.

1.60. Две проволоки одинаковой длины из одного и того же материала включены в электрическую цепь последовательно. Сечение первой проволоки в 3 раза больше сечения второй. Найти отношение количества теплоты, выделяемое в единицу времени в первой проволоке к количеству теплоты, выделяемой за то же время во второй.

1.61. Электрический чайник имеет две спирали. При каком соединении спиралей – параллельном или последовательном вода в чайнике закипит быстрее?

1.62. Перегоревшую спираль утюга мощностью 300 Вт укоротили на $\frac{1}{4}$ длины. Какой стала мощность, потребляемая утюгом?

1.63. При силе тока 1 А во внешней цепи за 2,5 мин выделяется 600 Дж теплоты. Определите, сколько элементов питают внешнюю цепь, если они соединены параллельно, ЭДС и внутреннее сопротивление каждого 5 В и 15 Ом.

1.64. Два проводника одинаковой длины и одинакового сечения, один из меди, а другой из железа, соединены параллельно. Определить отношение мощностей токов $P_{\text{ж}}/P_{\text{м}}$ для этих проводников, если удельное сопротивление меди 17 нОмм и железа 98 нОмм

1.65. В электрической схеме источник тока ЭДС 1 В, ток в цепи 0,8 А, сопротивление внешнего участка 1 Ом. Определите работу сторонних сил за 20 секунд.

1.66. В магазине куплена лампочка. На её поверхности указана номинальная мощность 60 Вт и напряжение 220 В.

Определить внутреннее сопротивление лампочки и ток, проходящий по её спирали. Какое количество тепла отдаст в окружающее пространство лампочка за 10 минут работы?

1.67. Какие мощности будут потреблять две одинаковые лампочки, включенные последовательно в цепь с напряжением 220 В, если номинал лампочек 60 Вт и 220 В?

1.68. Два проводника соединены последовательно и подключены к источнику. Какое количество теплоты выделится в проводнике с сопротивлением 60 Ом за 1с, если в проводнике с сопротивлением 50 Ом за то же время выделилось 200 Дж теплоты?

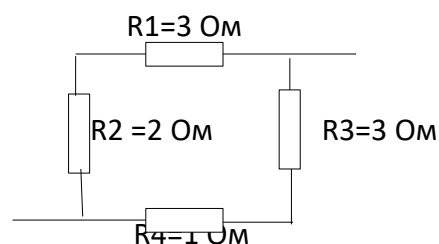
Уровень сложности 2

1.69. Чему равно количество теплоты, выделяющееся в единицу времени в единице объема медного провода ($\rho = 17 \text{ нОм}\cdot\text{м}$), при плотности тока $j = 300 \text{ кА/м}^2$?

1.70. Имеется два цилиндрических проводника одинаковой длины и одинакового сечения, один из меди ($\rho_{\text{Cu}} = 17 \text{ нОм}\cdot\text{м}$), а другой из железа ($\rho_{\text{Fe}} = 98 \text{ нОм}\cdot\text{м}$). Определить отношение мощностей токов для этих проводников, если они соединены а) параллельно, б) последовательно.

1.71. При силе тока 3 А во внешней цепи батареи аккумуляторов выделяется мощность 18 Вт, при силе тока 1 А – соответственно 10 Вт. Определить ЭДС и внутреннее сопротивление батареи.

1.72. На каком из резисторов при прохождении постоянного тока выделится максимальное количество теплоты.



1.73. Элемент замыкают сначала на внешнее сопротивление $R_1 = 2 \text{ Ом}$, а затем на внешнее сопротивление $R_2 = 0,5 \text{ Ом}$. Найти ЭДС элемента и его внутреннее сопротивление, если известно, что в каждом из этих

случаев мощность, выделяющаяся во внешней цепи, одинакова и равна $P = 2,54 \text{ Вт}$.

1.74. Батарея с ЭДС $\mathcal{E} = 240 \text{ В}$ и внутренним сопротивлением $r = 1 \text{ Ом}$ замкнута на внешнее сопротивление $R = 23 \text{ Ом}$. Найти полную мощность, полезную мощность и КПД батареи.

1.75. ЭДС батареи аккумуляторов $\mathcal{E} = 12 \text{ В}$, сила тока короткого замыкания равна 5 А . Какую наибольшую мощность можно получить во внешней цепи, соединенной с такой батареей?

1.76. Обмотка электрического кипятильника имеет две секции. Если включена только первая секция, то вода закипает через t_1 , если только вторая, то через t_2 . Через сколько времени закипит вода, если а) обе секции включить последовательно, б) обе секции включить параллельно?

1.77. Имеется 120-вольтовая электрическая лампочка мощностью 40 Вт . Какое добавочное сопротивление надо включить последовательно с лампочкой, чтобы она давала нормальный накал при напряжении в цепи 220 В ?

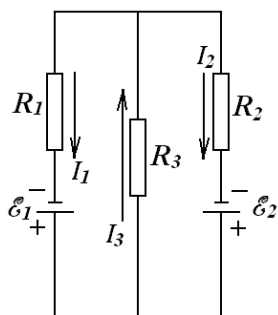
Уровень сложности 3

1.78. Аккумулятор с ЭДС $\mathcal{E} = 12 \text{ В}$ и сопротивлением $R = 50 \text{ мОм}$ поставлен на подзарядку. Рассчитать: а) полную мощность $P_{\text{и}}$ тепловую мощность $P_{\text{т}}$, выделяющиеся в аккумуляторе; б) мощность $P_{\text{е}}$, отбираемую от внешней цепи зарядки.

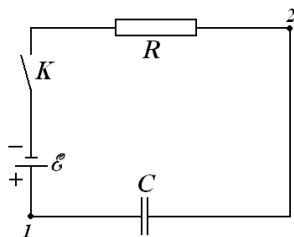
1.79. Металлическому шару радиуса R сообщили заряд q . Шар поместили в бесконечную слабо проводящую среду с проводимостью σ и диэлектрической проницаемостью ε . Пренебрегая изменением заряда шара, найти: а) плотность тепловой мощности $P_{\text{т}}$, выделяющейся на расстоянии r от центра шара ($r > R$); б) тепловую мощность $dP_{\text{т}}$, выделяющуюся в сферическом слое толщины dr ,

находящемся на расстоянии r от центра шара; в) полную тепловую мощность, P_T , выделяющуюся в среде.

1.80. В схеме, показанной на рисунке $\mathcal{E}_1 = 20$ В, $\mathcal{E}_2 = 25$ В, $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 15$ Ом, внутренние сопротивления источников пренебрежимо малы. Определить: 1) работу, совершенную источниками, и полное количество выделившейся в цепи джоулевой теплоты за интервал времени $\Delta t = 0,5$ с при $R_3 = 82$ Ом; 2) сопротивление R_3 , при котором выделяемая на этом резисторе тепловая мощность максимальна.



1.81. Конденсатор емкостью C подключен последовательно с резистором R к источнику с электродвижущей силой $\mathcal{E}$. Найти закон изменения со временем заряда на обкладках конденсатора. Определить работу, совершаемую источником при зарядке конденсатора, и количество джоулевой теплоты, выделяющейся при этом в цепи.



;

1.82. Реостат с максимальным сопротивлением 6 Ом подключен к источнику тока с ЭДС 6 В и внутренним сопротивлением 1 Ом. При каком сопротивлении реостата мощность тока в нем будет наибольшей? Постройте график зависимости $P = f(R)$.

1.83. Какой длины надо взять никелиновую проволоку сечением $0,84 \text{ мм}^2$, чтобы изготовить нагреватель на 220 В , при помощи которого можно было бы нагреть 2 л воды от $20 \text{ }^\circ\text{С}$ до кипения за 10 мин при КПД 80% ?

II. МАГНЕТИЗМ

Основные формулы

* Закон Био – Савара - Лапласа

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

где $d\vec{B}$ – магнитная индукция поля, создаваемого элементом контура dl , по которому течет ток I , $\vec{r}$ – радиус-вектор, проведенный от dl к точке, в которой определяется магнитная индукция, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м.

* Принцип суперпозиции магнитных полей

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

* Магнитная индукция полей, создаваемых токами простейших конфигураций:

а) бесконечно длинным прямым проводником

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{b},$$

где b – расстояние от оси проводника;

б) прямолинейным отрезком проводника

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{b} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2),$$

где α_1 и α_2 – значения угла между током и радиусом вектором $\vec{r}$ для крайних точек проводника;

в) круговым током

$$B = \frac{\mu_0}{2} \frac{I}{R},$$

где R – радиус кругового тока;

г) бесконечно длинным соленоидом

$$B = \mu_0 n I,$$

где n – число витков на единицу длины;

д) соленоидом конечной длины

$$B = \frac{\mu_0}{2} I n (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$$

где α_1 и α_2 – углы, которые образует с осью соленоида радиус-вектор, проведенный к крайним виткам соленоида;

е) свободно движущимся зарядом

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q[\vec{v}, \vec{r}]}{r^3},$$

где q – величина заряда, $\vec{v}$ – его скорость, $\vec{r}$ – радиус – вектор, проведенный от заряда к точке, в которой определяется магнитная индукция.

* Циркуляция вектора магнитной индукции

$$\oint B_l dl = \mu_0 \sum_{k=1}^n I_k,$$

где $\sum_{k=1}^n I_k$ – алгебраическая сумма токов, охватываемых контуром.

* Закон Ампера

$$d\vec{F} = I[d\vec{l}, \vec{B}],$$

где $d\vec{F}$ – сила, действующая на помещенный в магнитное поле с индукцией $\vec{B}$ элемент проводника длиной dl , по которому течет ток I .

* Магнитный момент контура с током

$$\vec{p}_m = IS \{\vec{n}, \vec{i}\},$$

где S – площадь контура с током I ; n – единичный вектор нормали к поверхности контура.

* Механический момент, действующий на контур с током, помещенный в однородное магнитное поле

$$\vec{M} = [\vec{p}_m, \vec{B}].$$

* Элементарная работа сил Ампера при перемещении контура с током

$$dA = Id\Phi,$$

где $d\Phi$ – поток вектора магнитной индукции.

* Сила Лоренца

$$\vec{F} = q[\vec{v}, \vec{B}],$$

где F – сила, действующая на заряд q , движущийся в магнитном поле со скоростью v .

* Холловская поперечная разность потенциалов

$$\Delta\phi = R \frac{IB}{b},$$

где b – толщина пластинки, $R = 1/en$ – постоянная Холла, n – концентрация электронов.

* Поток вектора магнитной индукции

$$d\Phi = \vec{B} d\vec{S} = B_n dS = BdS \cos \alpha, \quad \Phi = \int_S \vec{B} d\vec{S} = \int_S B_n dS,$$

где $d\vec{S} = dS \{\vec{n}, \vec{i}\}$ – вектор, модуль которого равен dS , а направление совпадает с нормалью $\vec{n}$ к площадке; B_n – проекция

вектора $\vec{B}$ на направление нормали к площадке; α - угол между направлением вектора $\vec{B}$ и нормалью к площадке.

* Закон электромагнитной индукции Фарадея

$$E_i = -\frac{d\Phi}{dt}.$$

* Магнитный поток, создаваемый током I контуре с индуктивностью L ,

$$\Phi = LI.$$

* ЭДС самоиндукции и взаимной индукции

$$E_s = -L \frac{dI}{dt}, \quad E = -L_{12} \frac{dI}{dt},$$

где L_{12} – взаимная индуктивность контуров.

* Индуктивность соленоида

$$L = \mu_0 \mu n^2 V,$$

где n – число витков на единицу длины; V – объем соленоида.

* Энергия магнитного поля

$$W = \frac{LI^2}{2}.$$

* Объемная плотность энергии магнитного поля

$$\omega = \frac{B^2}{2\mu_0\mu} = \frac{\mu_0\mu H^2}{2} = \frac{BH}{2}.$$

* Намагниченность

$$\vec{j} = \frac{\vec{P}_m}{V} = \frac{\sum \vec{p}_a}{V},$$

где $\vec{P}_m = \sum \vec{p}_a$ - магнитный момент магнетика, равный векторной сумме магнитных моментов отдельных молекул.

* Связь между намагниченностью и напряженностью магнитного поля

$$\vec{J} = \chi \vec{H}.$$

* Связь между векторами $\vec{B}, \vec{H}, \vec{J}$

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{J}).$$

* Связь между магнитной проницаемостью μ и магнитной восприимчивостью χ вещества

$$\mu = 1 + \chi.$$

1. Индукция магнитного поля тока и движущегося заряда.

Принцип суперпозиции

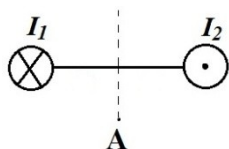
Уровень сложности 1

2.1. Определить индукцию магнитного поля, если на прямоугольную рамку ток 5 А, состоящую из 100 витков действуем максимальный вращающий момент 3 мН. Площадь рамки 0,6 мм².

2.2. Магнитная индукция В поля в вакууме равна 10 мТл. Найти напряженность Н магнитного поля.

2.3. Во сколько раз увеличится индукция на оси соленоида, если увеличить: а) силу тока в 2 раза; б) длину соленоида в 2 раза; в) сечение соленоида в 2 раза; г) число витков в 2 раза?

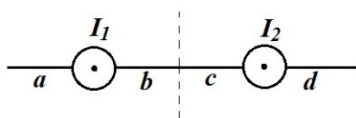
2.4. Магнитное поле создано параллельными длинными проводниками с одинаковыми токами I_1 и I_2 . Куда будет направлен вектор магнитной индукции результирующего поля в точке А, находящейся на одинаковом расстоянии от проводников?



2.5. Найти магнитную индукцию в центре тонкого кольца, по которому течет ток 10 А. Радиус кольца равен 5 см.

2.6. Определите магнитную индукцию в центре кругового проволочного витка радиусом 10 см, по которому течет ток 1 А.

2.7. Два прямолинейных проводника расположены параллельно на расстоянии 0,4 м друг от друга в воздухе. Сила токов в проводниках одинакова, направлена в одну сторону и равна 20А. Определить индукцию магнитного поля в точке, лежащей посередине между проводниками, на расстоянии 0,2 м от первого.



2.8. Определить магнитную индукцию на оси соленоида длиной 10 см, если общее число витков 100, а сила тока 1 А.

2.9. Индукция магнитного поля прямолинейного проводника с током на расстоянии 10 см от него 0,2 мкТл. Определить силу тока в проводе.

2.10. На рисунке изображены сечения двух параллельных прямолинейных длинных проводников с одинаково направленными токами, причём $I_1 > I_2$. В точке какого интервала: а, b, c или d индукция результирующего магнитного поля равна нулю?

Уровень сложности 2

2.11. Бесконечно длинный тонкий проводник с током 50 А имеет изгиб радиусом 10 см. Определить магнитную индукцию, создаваемую этим током в точке О, в случаях, изображенных на рисунке.



2.12. По двум бесконечно длинным прямым проводам, находящимся на расстоянии 10 см друг от друга в вакууме, текут токи 20 А и 30 А одинакового направления. Определите магнитную индукцию поля, создаваемого токами в точке, лежащей на прямой, соединяющей оба провода, на расстоянии 4 см от левого провода.

2.13. Напряженность магнитного поля в центре кругового витка с магнитным моментом $1,5 \text{ А} \cdot \text{м}^2$ равна 150 А/м. Определите радиус витка и силу тока в витке.

2.14. Круговой виток радиусом 15 см расположен относительно бесконечно длинного провода так, что его плоскость параллельна проводу. Перпендикуляр, восстановленный на провод из центра витка, является нормалью к плоскости витка. Сила тока в проводнике 1 А, сила тока в витке 5 А. Расстояние от центра витка до провода составляет 20 см. Определите магнитную индукцию в центре витка.

2.15. Определить магнитную индукцию на оси тонкого проволочного кольца радиусом 5 см, по которому течет ток 10 А, в точке, расположенной на расстоянии 10 см от центра кольца.

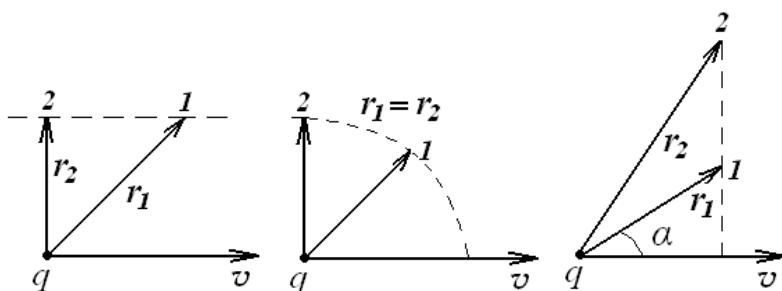
2.16. При какой силе тока, текущего по тонкому проводящему кольцу радиусом 0,2 см, магнитная индукция в точке, равноудаленной от всех точек кольца на расстояние 0,3 м, станет равной 20 мкТл?

2.17. Определите индукцию магнитного поля в центре проволочной квадратной рамки со стороной 15 см, если по рамке течет ток 5 А.

2.19. Длинный прямой соленоид из проволоки диаметром 0,5 мм намотан так, что витки вплотную прилегают друг к другу. Какова напряженность магнитного поля внутри соленоида при силе тока 4 А? Толщиной изоляции пренебречь.

2.21. На расстоянии 10 нм от траектории прямолинейно движущегося электрона максимальное значение магнитной индукции равно 160 мкТл. Определить скорость электрона.

2.22. Заряд $q > 0$ движется со скоростью v . Указать направление и сравнить модули магнитной индукции B в точках 1 и 2 с радиус-векторами r_1 и r_2 в трех случаях, изображенных на рисунках. Для случая в), изображенного на рисунке, найти угол α , соответствующий максимальному значению B .



B)

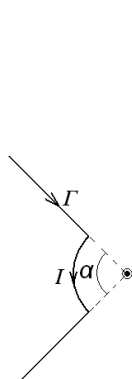
а) Построить график зависимости модуля магнитной индукции B от хна этой линии в момент времени, когда координата заряда $x = 0$.

б) Написать аналитическое выражение для $B(x)$.

2.24. Оценить индукцию магнитного поля, создаваемого электроном в центре атома водорода при движении электрона по первой боровской орбите, радиус которой $a_0 = 0,53 \cdot 10^{-10}$ м. Скорость электрона $v = c/137$ (c – скорость света в вакууме).

2.25. Построить качественный график зависимости модуля магнитной индукции B на оси кругового тока от расстояния r до центра тока. По какому закону убывает B на больших расстояниях?

2.26. Найти $\int_r (\vec{B}, d\vec{l})$. Форма контуров показана на рисунках. Ток I перпендикулярен плоскости рисунка и проходит через точку O .



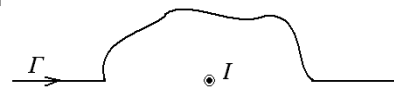
а)



б)



в)



г)

2.27. Ток I течет по поверхности длинной металлической трубы радиуса R . Найти индукцию магнитного поля $B(r)$, где r – расстояние от оси трубы. Построить график зависимости B от r .

2.28. Ток равномерно распределен по сечению провода радиуса R , плотность тока равна j . Найти индукцию магнитного поля $B(r)$, где

r – расстояние от оси провода. Построить график зависимости $B_{отг}$. Сравнить с графиком, полученным в задаче 1.27.

2. Силы, действующие в магнитном поле на проводник с током и движущийся заряд. Работа магнитного поля по перемещению проводника с током

Уровень сложности 1

2.29. Как направлена сила, действующая со стороны магнитного поля Земли на проводник с током в северном полушарии, если: а) проводник горизонтален, а ток проходит с севера на юг; б) проводник перпендикулярен к плоскости магнитного меридиана, а ток проходит с запада на восток?

2.30. Протон и α -частица влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно силовым линиям, причем скорость протона в 2 раза больше скорости α –частицы. Найти отношение модулей сил F_p/F_α , действующих на частицы со стороны магнитного поля.

2.31. Как взаимодействуют два параллельных друг другу проводника, если электрический ток в них протекает а) в одном направлении; б) в противоположных направлениях?

2.32. Найти наименьшее и наибольшее значение силы, действующей на проводник длиной 0,6 м с силой тока 10 А при различных его положениях в однородном магнитном поле с индукцией 1,5 Тл.

2.33. С какой силой действует однородное магнитное поле индукцией 2,5 Тл на проводник длиной 50 см, расположенный под углом 30° к вектору индукции, при силе тока 0,5 А?

2.34. Определите силу Лоренца, действующую на электрон, влетевший со скоростью 4 Мм/св однородное магнитное поле под углом 30° к линиям индукции. Магнитная индукция поля равна 0,2 Тл.

2.35. Вычислить радиус дуги окружности, которую описывает протон в магнитном поле с индукцией 15 мТл, если скорость протона 2 Мм/с.

2.36. Определите с какой частотой будет двигаться электрон по круговой орбите в однородном магнитном поле, индукция которого равна 0,2 Тл.

2.37. Заряженная частица, прошедшая ускоряющую разность потенциалов 2 кВ, движется в однородном магнитном поле с индукцией 15 мТл по окружности радиусом 1 см. Определить: а) отношение заряда частицы к её массе; б) скорость частицы.

2.38. Заряженная частица, двигаясь перпендикулярно скрещенным под прямым углом электрическому ($E=400$ кВ/м) и магнитному ($B=0,25$ Тл) полям, не испытывает отклонения при определенной скорости. Определите эту скорость. Изобразите силы, действующие на частицу.

Уровень сложности 2.

2.39. Квадратная проволочная рамка расположена в одной плоскости с длинным проводом так, что две ее стороны параллельны проводу. По рамке и проводу текут одинаковые токи $I = 1$ кА. Определить силу, действующую на рамку, если ближайшая к проводу сторона рамки находится на расстоянии, равном ее длине.

2.40. Тонкий провод в виде дуги, составляющей треть кольца радиусом 15 см, находится в однородном магнитном поле с индукцией 20 мТл. По проводу течет ток 30 А. Плоскость, в которой лежит дуга, перпендикулярна линиям магнитной индукции, и

подводящие провода находятся вне поля. Определить силу, действующую на провод.

2.41. Двухпроводная линия состоит из длинных параллельных прямых проводов, находящихся на расстоянии 4 мм друг от друга. По проводам текут одинаковые токи 50 А. Определить силу взаимодействия токов, приходящуюся на единицу длины провода.

2.42. Рамка гальванометра длиной 4 см и шириной 1,5 см, содержащая 200 витков тонкой проволоки, находится в магнитном поле с индукцией 0,1 Тл. Плоскость рамки параллельна линиям индукции. Найти: 1) механический момент, действующий на рамку, когда по витку течет ток 1 мА; 2) магнитный момент рамки при этом токе.

2.43. Из проволоки длиной 20 см сделаны квадратный и круговой контуры. Найти вращающие моменты сил, действующие на каждый контур, помещенный в однородное магнитное поле с индукцией 0,1 Тл. По контурам течет ток 2 А. Плоскость каждого контура составляет 45° с направлением поля.

2.44. Электрон, ускоренный разностью потенциалов 0,5 кВ, движется параллельно прямолинейному длинному проводнику на расстоянии 1 см от него. Определите силу, действующую на электрон, если через проводник пропускать ток 10 А.

2.45. Электрон, обладая скоростью 10 Мм/с, влетел в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Индукция магнитного поля 0,1 мТл. Определите нормальное и тангенциальное ускорение электрона.

2.46. Электрон влетев в однородное магнитное поле с магнитной индукцией 2 мТл, движется по круговой орбите 15 см. Определите магнитный момент эквивалентного кругового тока.

2.47. Определите во сколько раз постоянная Холла у меди больше, чем у алюминия, если известно, что в алюминии на один атом в среднем приходится 2 свободных электрона, а в меди 0,8

свободных электронов. Плотности меди и алюминия соответственно равны $8,93$ и $2,7$ г/см³; молярные массы – $63,5 \cdot 10^{-3}$ кг/моль и $27 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

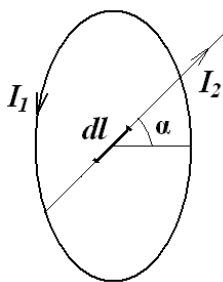
2.48. Через сечение медной пластинки толщиной $0,2$ мм пропускают ток 6 А. Пластику помещают в однородное магнитное поле с индукцией 1 Тл, перпендикулярное ребру пластинки и направлению тока. Считая концентрацию электронов проводимости равной концентрации атомов, определите возникающую в пластине поперечную (холловскую) разность потенциалов. Плотность меди равна $8,93$ г/см³; молярная масса – $63,5 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

2.49. Плоский контур, площадь которого равна 300 см², находится в однородном магнитном поле с индукцией $0,01$ Тл. Плоскость контура перпендикулярна линиям индукции. В контуре поддерживается неизменный ток 10 А. Определить работу внешних сил по перемещению контура с током в область пространства, магнитное поле в которой отсутствует.

2.50. Квадратный проводящий контур со стороной 20 см и током 10 А свободно подвешен в однородном магнитном поле с магнитной индукцией $0,2$ Тл. Определите работу, которую необходимо совершить, чтобы повернуть контур на 180° вокруг оси, перпендикулярной направлению магнитного поля.

Уровень сложности 3

2.51. Через центр витка радиуса R , по которому течет ток I_1 , проходит прямой ток I_2 (см. рис.). Выделим участок малой длины dl тока I_2 в окрестности центра витка. Найти величину и направление силы, действующей на элемент dl , в зависимости от угла α между направлением тока I_2 и нормалью к плоскости витка.



2.52. Провод, по которому течет ток I , согнут под прямым углом. Найти: а) силу dF , действующую на элемент провода длиной dl , находящийся на расстоянии l от точки сгиба; б) момент силы dN относительно точки O , действующей на этот элемент.

2.53. Момент инерции круглой рамки относительно оси, проходящей через центр рамки и лежащей в ее плоскости, равен I , магнитный момент рамки равен p_m . Рамку поместили в однородное магнитное поле с индукцией B . Найти частоту малых колебаний рамки ω около направления, соответствующего ее положению равновесия.

2.54. Частица с зарядом q движется в однородном электрическом поле напряженностью E . Куда следует направить магнитное поле и чему должен быть равен модуль его индукции B , чтобы частица двигалась с постоянной скоростью v , перпендикулярной направлению электрического поля? Что можно сказать о величине напряженности электрического поля E' в системе отсчета, связанной с частицей?

2.55. Частица, имеющая заряд q и массу m , движется в однородном магнитном поле с индукцией B . Скорость частицы v перпендикулярна B . Найти радиус окружности R , по которой движется частица, и период T ее обращения в случаях: а) $v \ll c$, б) $v \sim c$.

2.56. При поглощении фотона атомом водорода возможна его ионизация. Допустим, что электрон и протон разлетаются с нерелятивистскими скоростями как невзаимодействующие частицы.

Сравнить радиусы окружностей R_e и R_p , по которым будут двигаться электрон и протон в однородном магнитном поле, перпендикулярном их скоростям. Во сколько раз будут отличаться периоды движения T_e и T_p электрона и протона? Импульсом фотона пренебречь. считать, что до ионизации атом водорода покоился.

2.57. Известно, что в электромагнитной волне, распространяющейся в вакууме, напряженности электрического и магнитного полей связаны соотношением $\varepsilon_0^{1/2}E = \mu_0^{1/2}H$. Оценить отношение электрической и магнитной сил F_e/F_m , действующих на заряд в поле волны. Скорость заряда $v \ll c$.

3. Магнитный поток. Электромагнитная индукция. Самоиндукция.

Энергия магнитного поля

Уровень сложности 1

2.58. Какой магнитный поток пронизывает каждый виток катушки, имеющей 10 витков, если при равномерном исчезновении магнитного поля в течение 1 с в катушке индуцируется ЭДС 10В?

2.59. Определите поток магнитной индукции через плоскую поверхность площадью 100 см^2 если её пронизывает магнитное поле с индукцией 0,2 Тл, а поверхность: а) перпендикулярна к линиям магнитной индукции; б) параллельна вектору индукции; в) составляет с линиями магнитной индукции угол 30° .

2.60. Определите магнитный поток сквозь площадь поперечного сечения катушки (без сердечника), имеющей на каждом сантиметре 8 витков. Радиус соленоида 2 см, сила тока в нем 2 А.

2.61. В однородное магнитное поле напряженностью $H=100$ кА/м помещена квадратная рамка со стороной 10 см. Плоскость рамки составляет с направлением магнитного поля угол 30° . Определите магнитный поток, пронизывающий рамку.

2.62. Магнитный поток 40 мВб пронизывает замкнутый контур. Определить среднее значение ЭДС индукции, возникающей в контуре, если магнитный поток изменяется до нуля за время 2 мс.

2.63. Прямой провод длиной 40 см движется в однородном магнитном поле со скоростью 5 м/с перпендикулярно линиям индукции. Разность потенциалов между концами провода равна 0,6 В. Вычислить индукцию магнитного поля.

2.64. Проволочное кольцо радиусом 10 см лежит на столе. Какой заряд протечет по кольцу, если его повернуть с одной стороны на другую? Сопротивление кольца 1 Ом. Вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли равна 50 мкТл.

2.65. По катушке с индуктивностью 0,03 мГн течет ток 0,6 А. При размыкании цепи сила тока изменяется практически до нуля за время 120 мкс. Определить среднюю ЭДС самоиндукции, возникающую в контуре.

2.66. Индуктивность катушки равна 0,1 мГн. При какой силе тока энергия магнитного поля равна 100 мкДж?

2.67. Соленоид содержит 1000 витков. Сила тока в его обмотке равна 1 А, магнитный поток через поперечное сечение соленоида равен 0,1 мВб. Вычислить энергию магнитного поля.

Уровень сложности 2.

2.68. Кольцо из алюминиевого провода ($\rho = 26 \text{ нОм} \cdot \text{м}$) помещено в магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Диаметр кольца 30 см, диаметр провода 2 мм. Определите скорость изменения магнитного поля, если по кольцу протекает ток 1 А.

2.69. Плоскость проволочного витка площадью 100 см^2 и сопротивлением 5 Ом, находящегося в однородном магнитном поле напряженностью 10 кА/м, перпендикулярна линиям магнитной

индукции. При повороте витка в магнитном поле через него протекает заряд, равный 12,6 мкКл. Определите угол поворота витка.

2.70. Магнитная индукция поля между полюсами двухполюсного генератора равна 0,8 Тл. Ротор имеет 100 витков площадью 400 см². Определить частоту вращения якоря, если максимальное значение ЭДС индукции составляет 200 В.

2.71. На расстоянии 1 м от длинного прямого провода с током 1 кА находится кольцо радиусом 1 см. Кольцо расположено так, что поток, пронизывающий его, максимален. Определить количество электричества, которое протечет по кольцу, когда ток в проводнике будет включен. Сопротивление кольца 10 Ом. Поле в пределах кольца считать однородным.

2.72. В однородном магнитном поле с индукцией 0,4 Тл в плоскости, перпендикулярной линиям индукции поля, вращается стержень длиной 10 см. Ось вращения проходит через один из концов стержня. Определить разность потенциалов на концах стержня при частоте вращения 16 с⁻¹.

2.73. Две замкнутые металлические шины, расстояние между которыми равно 30 см, со скользящей перемычкой, которая может двигаться без трения, находится в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл, перпендикулярном плоскости контура. Перемычка массой 5 г скользит вниз с постоянной скоростью 0,5 м/с. Определите сопротивление перемычки, пренебрегая самоиндукцией контура и сопротивлением остальной части контура.

2.74. Катушка длиной 50 см и диаметром 5 см содержит 200 витков. По катушке течет ток 1 А. Определите магнитный поток, пронизывающий площадь ее поперечного сечения.

2.75. Определить индуктивность соленоида длиной l и сопротивлением R , если обмоткой соленоида является проволока массой m . Принять плотность проволоки и ее удельное сопротивление соответственно за ρ и ρ' .

2.76. Соленоид содержит 1000 витков. Площадь сечения сердечника равна 10 см^2 . По обмотке течет ток, создающий поле с индукцией $1,5 \text{ Тл}$. Найти среднюю ЭДС индукции, возникающей в соленоиде, если ток уменьшится до нуля за 500 мкс .

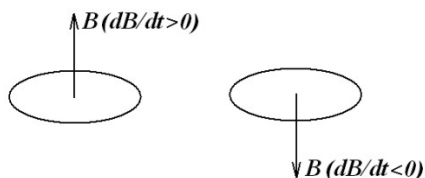
2.77. Две катушки намотаны на один общий сердечник. Индуктивность первой катушки $0,2 \text{ Гн}$, второй – $0,8 \text{ Гн}$. Сопротивление второй катушки 600 Ом . Какой ток потечет по второй катушке, если ток $0,3 \text{ А}$, текущий в первой катушке, выключить в течение 1 мс ?

2.78. Тороид с воздушным сердечником содержит 20 витков на 1 см . Определите объемную плотность энергии в тороиде, если по его обмотке протекает ток 3 А .

2.79. Сила тока в обмотке соленоида, содержащего 1500 витков, равна 5 А . Магнитный поток через поперечное сечение соленоида составляет 200 мкВб . Определите энергию магнитного поля в соленоиде.

Уровень сложности 3

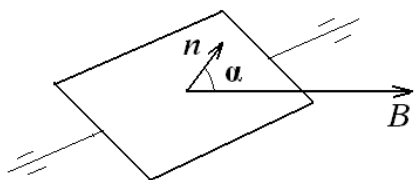
2.80. Проволочное кольцо находится в меняющемся со временем магнитном поле. Положение кольца, направление магнитной индукции B и характер ее изменения показаны на рисунках. Указать направление тока, наводимого в кольце, и направление элементарной силы dF , действующей на малый участок кольца dl со стороны магнитного поля.



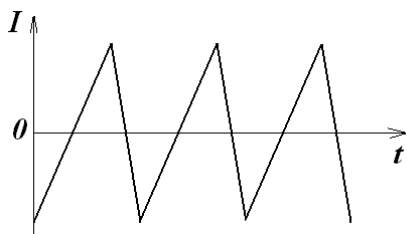
2.81. Рамка площадью S , изображенная на рисунке, содержащая N витков, вращается с постоянной угловой скоростью ω в однородном магнитном поле с индукцией B . Сопротивление цепи рамки равно R , в момент времени $t = 0$ рамка находилась в горизонтальном положении. а) указать, в каких положениях рамки ЭДС E , наводимая в рамке, равна нулю, максимальна по модулю;

б) найти зависимость E и силы тока I в рамке от времени t ;

в) определить мгновенную $P(t)$ и среднюю $P_{\text{ср}}$ мощности, выделяющиеся на сопротивлении R .



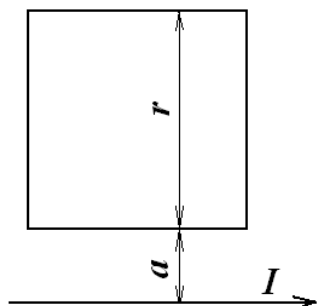
2.82. По первичной обмотке трансформатора течет ток пилообразной формы (смотри рисунок). Построить качественно график зависимости ЭДС $E(t)$, наводимой во вторичной обмотке трансформатора.



2.83. Короткозамкнутый виток провода сопротивлением R , имеющий форму квадрата со стороной a , поместили в однородное магнитное поле с индукцией B , перпендикулярной плоскости витка. Затем витку придали форму окружности, не растягивая провод, а только деформируя его. Какой заряд протечет через поперечное сечение провода в результате такой деформации витка?

2.84. Квадратная рамка, изображенная на рисунке, со стороной l , содержащая N витков и подключенная к сопротивлению R , находится на расстоянии a от прямого провода с током I . Первоначально рамка и провод лежат в одной плоскости. Найти: а) полный магнитный

поток, пронизывающий витки рамки; б) какой заряд протечет в цепи рамки, если ее повернуть на угол $\pi/2$ вокруг горизонтальной оси, параллельной току.



2.85. В цепи шел ток $I=50$ А. Источник тока можно отключить от цепи, не разрывая ее. Определить силу тока I в этой цепи через $t=0,01$ с после отключения ее от источника тока. Сопротивление R цепи равно 20 Ом, ее индуктивность $L=0,1$ Гн.

2.86. К источнику тока с внутренним сопротивлением $R_i=2$ Ом подключают катушку индуктивностью $L=0,5$ Гн и сопротивлением $R=8$ Ом. Найти время t , в течение которого ток в катушке, нарастая, достигнет значения, отличающегося от максимального на 1 %.

4. Магнитные свойства вещества.

Уровень сложности 2

2.87. Определить намагниченность тела при насыщении, если магнитный момент каждого атома равен магнетону Бора и концентрация атомов равна $6 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$.

2.88. Висмутовый шарик радиусом 1 см помещен в однородное магнитное поле ($B_0 = 0,5$ Тл). Определить магнитный момент приобретенный шариком, если магнитная восприимчивость висмута равна $-1,5 \cdot 10^{-4}$.

2.89. Принимая, что электрон в невозбужденном атоме водорода движется по круговой орбите радиусом 52,8 пм, определите: 1) магнитный момент эквивалентного кругового тока; 2) орбитальный механический момент электрона.

2.90. В однородное магнитное поле вносится длинный вольфрамовый стержень (магнитная проницаемость вольфрама 1,0176). Определите, какая доля суммарного магнитного поля в этом стержне определяется молекулярными токами.

2.91. По круговому контуру радиусом 40 см, погруженному в жидкий кислород, течет ток 1 А. Определите намагниченность в центре этого контура. Магнитная восприимчивость жидкого кислорода $3,4 \cdot 10^{-3}$.

2.92. Напряженность однородного магнитного поля в платине равна 5 А/м. Определите магнитную индукцию поля, создаваемого молекулярными токами, если магнитная восприимчивость платины $3,6 \cdot 10^{-4}$.

ОТВЕТЫ

Постоянный ток

- 1.11 7,4 мкм/с
- 1.12 $5,69 \cdot 10^{-8}$ кг• м/с
- 1.13 48 Кл
- 1.14 5 Кл
- 1.15 500 м; 1 мм
- 1.16 1/4
- 1.17 $\sqrt{n}$
- 1.18 4 парал. соедин., в каждом 3 послед.соед. резистора.
- 1.19 4
- 1.20 40 Ом, 20 Ом, 20 Ом
- 1.21 2 Ом
- 1.22 $\langle u \rangle = j/ne \approx 60$ мкм/с, $\langle v \rangle = (8kT/\pi m)^{1/2} \approx 10^5$ м/с
- 1.23 $j = I/(2\pi r l)$
- 1.24 $j = evn_0 \exp(-r^2/r_0^2)$; $I = evn_0 \pi r_0^2$

1.26 2,58 МОм

1.27 18,8 Ом

1.28 81,3 м; 1,38 мм²

1.39 0,125 В; 7,5 Ом

1.40 1,5 Ом; 2,5 Ом; 7,5 В; 12,5 В

1.41 2В; 0,5 Ом

1.42 1,2А

1.43 1,5 А; 3 В

1.44 60 Ом

1.45 $\frac{17}{29} U_0 C$

1.46 2Е

1.47 -0,9 В

1.48 1,5 А

1.49 3 А

1.50 1 Ом

1.53 12,25 В

1.54 0,05 Ом; 4,1 В

1.55 $\varphi_D - \varphi_C = 4,5 \text{ В}$; $\varphi_K - \varphi_D = 3,1 \text{ В}$

1.56
$$U = \frac{\mathcal{E} R_2}{R_1 + R_2} \left[1 - \exp \left(- \frac{R_1 + R_2}{C R_1 R_2} t \right) \right]$$

9,210-3 с

1.57 0,12 А

1.58 20 В

1.63 15

1.65 16 Дж

1.69 1,55 кДж/см³

1.70 5,76; 0,17

1.72 R₃

1.73 4 В; 1 Ом

1.74 2,4 кВт; 2,5 кВт; 96 %

1.75 15 Вт

1.76 $t_1 + t_2$; $t_1 t_2 / (t_1 + t_2)$

1.77 300 Ом

1.78 $P = 1,25 \text{ Вт}$; $P_T = 1,25 \text{ Вт}$; $P_e = 61,25 \text{ Вт}$

1.79 а) $P_T = \sigma(q/4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2)^2$; б) $dP_T = \sigma q^2 dr / (4\pi\epsilon^2\epsilon_0^2 r^2)$; в) $P_T = \sigma q^2 dr / (4\pi\epsilon^2\epsilon_0^2 R)$

1.80 $A_1 = -0,5 \text{ Дж}$; $A_2 = 3,75 \text{ Дж}$; $Q = 3,25 \text{ Дж}$; $R_3 = 6 \text{ Ом}$

1.81 $Q = C\mathcal{E} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{CR}\right) \right]_{A=CE^2}; Q = CE^2/2$

1.82 1 Ом

1.83 69 м

Магнетизм

2.11 а) 214 мкТл; б) 286 мкТл

2.12 0

2.13 11,7 см; 35,1 А

2.14 21,2 мк Тл

2.15 11,2 мкТл

2.16 21,5 А

2.17 37,7 мкТл

2.18 1,15

2.19 8 мкА/м

2.20 16 мТл

2.21 1 Мм/с

2.22 $\alpha = 35^\circ$

2.23 $B(x) = \frac{\mu_0 q v a}{4\pi (x^2 + a^2)^{3/2}}$

- 2.24 12,5 Тл
- 2.26 а) $\mu_0 \alpha I / 2\pi$; б) $-\mu_0 I / 2$; в) $\mu_0 \alpha I / 2\pi$; г) $-\mu_0 I / 2$
- 2.35 1,38 м
- 2.36 562 МГн
- 2.39 0,1 Н
- 2.40 0,156 Н
- 2.41 0,125 Н/м
- 2.42 1) 12 мкН/м 2) 120 мкА·м²
- 2.44 4,24 10^{-16} Н
- 2.45 $1,76 \cdot 10^{14}$ м/с²; 0
- 2.46 0,632 пАм²
- 2.47 1,78
- 2.48 2,21 мкВ
- 2.49 3 мДж
- 2.50 0,16 Дж
- 2.51 $dF = (\mu_0 I_1 I_2 \cos \alpha / 2R) dl$
- 2.52 $dF = (\mu_0 / 4\pi) (I^2 dl / l)$; $dN = (\mu_0 / 4\pi) I^2 dl$
- 2.53 $\omega = (p_m B / I)^{1/2}$
- 2.54 $\mathbf{B} = [\mathbf{E} \mathbf{v}] / v^2$
- 2.55 б) $R = \gamma m v / qB$, $T = 2\pi \gamma m / qB$, где $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$
- 2.56 $R_e = R_p = p/eB$, $T_p = 1840 T_e$
- 2.57 $F_m / F_e = vB/e = v/c \ll 1$
- 2.60 2,53 мкВб
- 2.61 628 мкВб
- 2.62 20 В
- 2.64 3,14 мкКл
- 2.67 50 мДж
- 2.68 0,11 Тл/с
- 2.69 60°

- 2.70 600 мин^{-1}
- 2.71 $62,8 \text{ мкКл}$
- 2.72 201 мВ
- 2.73 $9,2 \text{ МОм}$
- 2.74 985 н Вб
- 2.75 $\mu_0 m R / 4 \pi r r'$
- 2.76 3 кВ
- 2.77 $0,2 \text{ А}$
- 2.78 $22,6 \text{ Дж/м}^3$
- 2.79 $0,75 \text{ Дж}$
- 2.83 $q = (Ba^2/R) (4/\pi - 1)$
- 2.84 $\psi = \frac{\mu_0 I N}{2\pi} \ln \frac{a+l}{a} ; \quad q = \frac{\mu_0 I N}{2\pi R} \ln \frac{a+l}{a}$
- 2.85 $6,75 \text{ А}$
- 2.86 $0,23 \text{ с}$
- 2.87 556 кА/м
- 2.88 250 мкАм^2
- 2.89 $9,25 \cdot 10^{-24} \text{ А} \cdot \text{м}^2 \quad 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$
- 2.90 $0,0173$
- 2.91 $4,25 \text{ мА/м}$
- 2.92 $2,26 \text{ нТл}$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики/В.С. Волькенштейн. – СПб.: СпецЛит, 2002.-327 с.
2. Чертов А.Г. Задачник по физике/А.Г. Чертов, А.А. Воробьев.- М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005.-544 с.
3. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики с решениями: учеб.пособие для вузов/ Т.И. Трофимова, З.Г. Павлова – М.: Высш. шк., 2001.-591 с.
4. Задачи по общей физике/В.Е. Белопучкин, Д.А. Заикин и др. – М.: ФИЗМАТЛИТ,2001.-336 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	1
1. Постоянный ток. Основные формулы	3
1.1. Плотность и сила тока. Сопротивление проводников.....	5
1.2. Закон Ома. Правила Кирхгофа.....	9
1.3. Работа и мощность тока. Закон Джоуля-Ленца.....	16
2. Магнетизм.....	21
2.1. Индукция магнитного поля тока и движущегося заряда. Принцип суперпозиции.....	25
2.2. Силы, действующие в магнитном поле на проводник с током и движущийся заряд. Работа магнитного поля по перемещению проводника с током.....	30
2.3. Магнитный поток. Электромагнитная индукция. Самоиндукция.....	35
2.4. Магнитные свойства вещества.....	40

Ответы.....	41
Библиографический список.....	46

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к аудиторным занятиям и домашним заданиям по физике
(разноуровневые задачи по теме «Постоянный ток.
Электромагнетизм») для студентов всех технических специальностей
очной формы обучения

Составители:

Белоногов Евгений Константинович

Бурова Светлана Васильевна

Тураева Татьяна Леонидовна

Хабарова Ольга Сергеевна

В авторской редакции

Подписано к изданию 17.12. 2012.

Уч.-изд. л. 2,9.

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»
394026 Воронеж, Московский просп.,14