МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО.

МАГНЕТИЗМ.

ОПТИКА

Сборник задач

Под редакцией

*Ю. Н. Царева, Н. П. Лавровской*

УДК 57.089

ББК 32.818

 000

Рецензенты:

доктор физико-математических наук, профессор *Е. В. Рутьков*; кандидат физико-математических наук *В. А. Елохин*

Утверждено

редакционно-издательским советом университета в качестве сборника задач

**Составители:** Андреев В. М., Коваленко И. И., Котликов Е. Н., Кректунова И. П. Лавровская Н. П., Литвинова Н. Н., Новикова Ю. А., Первушина М. О., Прилипко В. К., Терещенко Г. В., Холодилов А. Н., Царев Ю. Н., Шифрин Б. Ф.

000 Электричество. Магнетизм. Оптика: сб. задач; под ред. Ю. Н. Царева, Н. П. Лавровской. – СПб.: ГУАП, 2019. – 93 с.

Включены задачи по следующим разделам физики: электричество, магнетизм, волновая оптика. По материалам сборника составляются домашние задания для студентов технических направлений и специальностей, изучающих физику в течение трех семестров.

По сравнению с изданием 2013 года в настоящем сборнике дополнены теоретические сведения и изменены некоторые задачи. Общее число задач в сборнике – 450.

В конце сборника размещены справочные материалы и список рекомендованной литературы.

УДК 00

ББК 0

© Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2019

ПРЕДИСЛОВИЕ

Сборник задач состоит из трех частей: электричество, магнетизм, оптика. Каждая часть включает в себя несколько разделов. В начале каждого раздела приведены краткие теоретические сведения и основные формулы с комментариями. В конце задачника приведены численные ответы, справочные материалы и список рекомендованной литературы. Из приведенных задач составляются индивидуальные домашние задания для студентов.

Решение задачи должно быть доведено до конца в общем виде, т. е. искомая величина должна быть выражена через данные задачи и константы. Решение сложных задач допускается выполнять поэтапно, т. е. можно разбить задачу на несколько частей и решать их последовательно, используя в следующей части результат, полученный в предыдущей. Ответы следует приводить в международной системе единиц (СИ), используя десятичные приставки. Углы нужно приводить в радианах, ответ в градусах и угловых минутах можно давать лишь в случае, если в условии задачи использованы такие же наименования. Следует иметь в виду, что правильный численный ответ сам по себе не является решением задачи.

Материал подготовлен коллективом авторов кафедры физики государственного университета аэрокосмического приборостроения

## 3. Электрический диполь

### Теоретические сведения

Электрический диполь образуют два точечных равных по моду-

лю разноименных заряда, находящихся на некотором расстоянии *l* друг от друга. Электрический момент *P* диполя направлен вдоль плеча *l*, т. е. от заряда – *q* к заряду + *q*

→→

 *P* = *q l* . (3.1)

Если полный электрический заряд системы частиц равен нулю, то дипольный момент этой системы не зависит от выбора системы отсчета. Для его вычисления заряды нужно разбить на любые пары одинаковых разноименных зарядов и векторно сложить получившиеся элементарные диполи, как это показано на рис. 3.1.

 *q*1 + *q*2 + *q*3 + *q*4 + *q*5 = 0 *P p* = 1 + *p*2 + *p*3 + *p*4.(3.2)

Диполь называется точечным, если плечо много меньше расстояния от его центра до точки наблюдения. Поле точечного диполя не является центральным. Продольная, поперечная составляющие напряженности поля электрического диполя показаны на рис. 3.2.

 2*kP*⋅cosθ *kP*⋅sinθ

 *E* = *E*⊥ = 3 ; (3.3)

3

;

*r*

2

*kP*

*r*

1

 *E* = 3 ⋅ 1 3+ cos θ; tgα = 2tg ;θ (3.4)

*r*

*kP*⋅cosθ

 j = . (3.5)

*r*2

*q*

*q*2

*p*

1

*p*

2

*p*

3

*p*

4

*p*

1

*p*

2

*p*

3

*p*

4

*P*

*q*5 *q*3

4

*Рис. 3.1. Определение электрического момента системы зарядов*

*y*

*x*

0

**P**

θ

*r*

**E**

**E**

||

**E**

⊥

α

*Рис. 3.2. Напряженность электрического поля точечного диполя*

Механический момент, действующий на точечный диполь в электрическом поле

 → → →

 *M* = *P E*⋅ или *M* = *PE*sin .θ (3.6)

Потенциальная энергия точечного диполя в электрическом поле

→→

*W*Π = −*P E*⋅ или *W*Π = −*PE*cos .θ (3.7)

Сила, действующая в электрическом поле с неоднородностью ∂*E* ∂*z*

на точечный диполь, ориентированный вдоль силовой линии (по оси *z*),

∂*E*

 *Fz* = *P* . (3.8)

 ∂*z*

Период крутильных колебаний точечного диполя с моментом инерции *J* во внешнем электрическом поле

*J*

 *T* = 2p⋅. (3.9)

*PE*

Момент инерции материальной точки массой *т* относительно оси, проходящей на расстоянии *r* от нее, равен

 *J* = *mr*2. (3.10)

### Задачи

3.3. В двух вершинах правильного треугольника со стороной 0,173 м находятся положительные заряды 3 нКл, а в третьей – отрицательный заряд –6 нКл. Найти дипольный момент треугольника

## 5. Электрическая емкость. Конденсаторы

### Теоретические сведения

Электроемкость уединенного проводника

*q*

 *C* = , (5.1)

 j

где *q* – электрический заряд, сообщенный проводнику, j – созданный этим зарядом потенциал.

Электроемкость уединенного проводящего шара радиуса *R*

ε*R*

 *C* = = 4pεε0*R*, (5.2)

 *k*

где ε – диэлектрическая проницаемость среды,

 *k* 9 109 ì Ô ; 8 85 10, Ô ì.

 0

Энергия заряженного проводника

 1 1 2 = *q*2 . (5.3)

 *W* = *q*j = *C*j

 2 2 2*C*

Два близко расположенных проводника, несущих одинаковые по величине разноименные заряды ± *q*, образуют конденсатор. Электроемкость конденсатора равна

*q*

 *C* = , (5.4)

 *U*

где *U* – напряжение (разность потенциалов) между его обкладками. Электроемкость плоского конденсатора равна

 *C* = εε0*S*, (5.5)

 *d* где *S* – площадь обкладок, *d* – расстояние между ними.

Электроемкость цилиндрического конденсатора (коаксиального кабеля) равна

 2pεε0*l* = ε*l* , (5.6)

*C* =

ln(*R R*2 1) 2*k*ln(*R R*2 1)

где *l* – длина кабеля, *R*1 и *R*2 – его внутренний и внешний радиусы.

Электроемкость сферического конденсатора равна

 4pεε0 1 2*R R* = ε*R R*1 2 , (5.7)

*C*= *R*2−*R*1 *k R*( 2−*R*1)

где *R*1 и *R*2 – радиусы его внутренней и внешней сфер.

Конденсаторы могут быть соединены в батарею двумя способами: параллельно и последовательно. Пусть *qi*, *Ui*, *Ci* – величины, характеризующие *i*-й конденсатор, а *q*, *U* и *C* – батарею *N* конденсаторов.

Последовательное соединениеПараллельное соединение *q q q*= 1 = 2 =...= *qi* =...= *qnq q q*= + + + + +1 2 ... *qi* ... *qn*

*U U U*= 1+ 2+ +... *Ui* + +... *UnU U U*= 1= 2= =... *Ui* = =... *Un*

1 1 1 1= + + + +... 1*C C C C*= 1 + 2 + 3 +...+*CN*

*C C C C*1 2 3 *CN*

Для двух конденсаторов Для двух конденсаторов

*CC*1 2*C C C*= 1 + 2

*C*=

*C C*1+ 2

Для *N* одинаковых Для *N* одинаковых конденсаторов *C C N*= 1конденсаторов *C C N*= 1⋅

Энергия заряженного конденсатора

 *W* = 1*qU* = 1*CU*2 = *q*2 . (5.8)

 2 2 2*C*

Объемная плотность энергии (энергия электрического поля, приходящаяся на единицу объема)

* 1. 1 2, (5.9) *w* = *ED* = εε0*E*
	2. 2

где *E* и *D* – напряженность и индукция электрического поля в среде с диэлектрической проницаемостью ε.

### Задачи

5.3. Найти силу взаимодействия обкладок плоского воздушного конденсатора емкостью 20 мкФ, если расстояние между ними 1 мм, а поверхностная плотность зарядов 2 мкКл/м2.

.

## 6. Диэлектрики

### Теоретические сведения

Индукция электрического поля (электрическое смещение)

 → → → →

1. = εε0*E* = ε0*E P*+ , (6.1) гдеε – диэлектрическая проницаемость, *P* – вектор поляризованности среды, а ε0 = 8 85 10, ⋅ −12 Ô ì.

 → →

|  |  |
| --- | --- |
| *P* = ε χ0 *E*, где χ – диэлектрическая восприимчивость среды,  | (6.2) |
| χ = ε −1.  | (6.3) |

Условия для векторов *D* и *E* на границе раздела диэлектриков показаны на рис. 6.1 и сформулированы в выражениях (6.4) – (6.6).

|  |  |
| --- | --- |
|  *E*1τ = *E*2τ; ε1 1*E n* = ε2 2*E n*;  | (6.4) |
| *D*1τ = *D*2τ ; *D*1*n* = *D*2*n*;  ε1 ε2 | (6.5) |
| tgα1 = *E*2*n* = *D*1τ = ε1.  | (6.6) |

 tgα2 *E*1*n D*2τ ε2

Напряженность поля свободных электрических зарядов равномерно распределенных по плоскости с поверхностной плотностью σ

1. = . (6.7)

σ

0

2

ε

ε

1

ε

2

*E*

1

τ

*E*

1

*E*

1

*n*

*E*

*E*

*E*

2

ε

1

ε

2

*D*

*D*

1

*D*

2

τ

2

*n*

1

τ

1

*n*

*D*

2

τ

*D*

2

*D*

2

*n*

*Рис. 6.1. Граничные условия для векторов E и D*

На поверхности диэлектрика, внесенного в однородное электрическое поле, вследствие поляризации возникают связанные заряды. Поверхностная плотность связанных зарядов σ′

σ =′ *Pn* = ε0(ε −1)*En*, (6.8)

где *Pn* – проекция вектора поляризованности на внешнюю нормаль к поверхности диэлектрика.

σ =′ *P*1*n* − *P*2*n* = ε0 1(ε −1)*E*1*n* = ε0 2(ε −1)*E*2*n*. (6.9)

Напряженность поля связанных (фиктивных) зарядов, равномерно распределенных по плоскости с поверхностной плотностью σ′,

 *E*′ = . (6.9)

σ

′

 2ε0

**ЗАДАЧА**

6.3. Перпендикулярно однородному электрическому полю с напряженностью 100 В/м помещена плоскопараллельная диэлектрическая пластина с проницаемостью равной 2. Найти плотность связанных зарядов на поверхности пластины.

## 7. Электрический ток

### Теоретические сведения

Электрический ток *I* связан с зарядом *q*, прошедшим по проводнику соотношениями

d*q*

*I* = ; (7.1) d*t*

*t*2

 *q* = ∫ *I t*( )d .*t* (7.2)

 *t*1

Плотность электрического тока *j* равна отношению силы тока *I* к площади поперечного сечения проводника *S*

*I* (7.3) *j* = .

 *S*

Закон Ома для участка цепи

*U*

 *I* = , (7.4)

 *R*

где *U* – падение напряжения на проводнике, а *R* – его электрическое сопротивление. Сопротивление проводника не зависит от приложенного к нему напряжения и от протекающего по нему тока. Оно зависит лишь от формы, размеров проводника и от материала, из которого он изготовлен. Для длинного тонкого провода

*l*

 *R* = ρ , (7.5)

 *S*

где ρ – удельное сопротивление материала, *l* – длина провода, *S* – площадь его поперечного сечения.

Проводники могут быть соединены последовательно и параллельно. Пусть *Ri*, *Ii*, *Ui* – величины, характеризующие *i*-й проводник, а *R*, *I*, *U* – соединение проводников.

Для последовательного соединения Для параллельного соединения

 (рис. 4) (рис. 5)

*I I I*= 1 = 2 = *I*3 =...= *IN I I I I*= 1 + 2 + 3 +...+ *IN*

*U U U U*= 1 + 2 + 3 +...+*UN U U U U*= 1 = 2 = 3 =...= *UN*

*R R R R*= 1 + 2 + 3 +...+ *RN* 1 1 1 1= + + + +... 1

 *R R R R*1 2 3 *RN*

Для двух проводников *R R R*= 1 + 2Для двух проводников

*RR*1 2

*R*=

*R R*1+ 2

Для *N* проводников *R NR*= 1Для *N* проводников *R*= *R*1

*N*

Закон Ома для замкнутой цепи

ε

 *I* = , (7.6)

 *R r*+

где ε – ЭДС источника, *r* – его внутреннее сопротивление.

Для участка цепи с источником тока справедливо выражение

 Δj = *I R r*( + )± ε, (7.7)

в котором Δj – разность потенциалов на концах участка. Знак “+” или “–” в этой формуле определяется полярностью включения источника.

Мощность электрического тока, выделяющаяся на участке цепи,

 *N IU*= (7.8) включает в себя как тепловую, так и механическую мощность электромоторов или других устройств.

 *R*1 *R*2 *R*3 *RN*

*Рис. 7.1. Последовательно включенные резисторы*

*R*

1

*R*

2

*R*

3

*R*

*N*

*Рис. 7.2. Параллельное соединение проводников*

Мощность источника электрического тока, выделяющаяся в самом источнике и на нагрузке (потребителе электроэнергии),

 *N* = *I*ε. (7.9)

Эту формулу можно сочетать с законами Ома лишь для тех участков цепи, которые не содержат электромоторов или других устройств, превращающих электрическую энергию в механическую. Тепловая мощность, выделяющаяся на резисторе,

 *N*Τ = *I R*2 . (7.10)

Если на участке цепи справедлив закон Ома, выделяется только тепловая мощность, и формулы (7.8), (7.10) дают одинаковый результат. В этом случае можно пользоваться также формулой:

*U*2

 *N* = . (7.11)

 *R*

Теплота, выделяющаяся в резисторе за время протекания электрического тока, зависящего от времени *I*(*t*), находится по формуле:

*t*2

 *Q* = ∫ *I t R t*2( ) d . (7.12)

 *t*1

### Задачи

7.3. Какой электрический заряд протечет по проводнику за 10 с, если за это время сила тока равномерно уменьшилась от 10 до 5 А?

 МАГНЕТИЗМ

## 8. Расчет магнитных полей и магнитных моментов

### Теоретические сведения

Закон Био-Савара-Лапласа

 →→

 d→*B* = 4mmp*r*02*I* ⋅d *l rr* , (8.1)

→

где d*B* – магнитная индукция, создаваемая элементом проводника

→

d *l* с током *I* на расстоянии *r* от него. Здесь μ – магнитная проницаемость, m0 = 4p⋅10−7 Ãí/ì

Величина вектора d*B* выражается формулой

 d*B* = mm0 *I*sinα d ,*l* (8.2)

4p *r*2

→ →

где α – угол между векторами d *l* и *r* .

Магнитная индукция на оси кругового витка с током

 *B* = mm0*IR*2 , (8.3)

2(*R*2 + *z*2)32

где *R* – радиус витка, *z* – координата точки на оси витка. В центре кругового витка, при *z*=0,

 *B* = mm0*I*. (8.4)

 2*R*

Если провод является дугой окружности радиуса *R*, опирающейся на угол β (рис. 8.1, *а*), магнитная индукция в его центре равна

 *B* = mm0*I* ⋅ β . (8.5)

 2*R* 2p

Магнитная индукция, создаваемая отрезком проводника

 *B* = mm0*I*(cosα −1 cosα2). (8.6)

4p⋅*b*

 **B**

β

*R*

*b*

а)

б)

в)

**B**

*I*

*I*

α

2

**B**

α

1

α

2

*Рис. 8.1. Определение магнитной индукции от различных проводников*

Обозначения ясны из рис. 8.1, *б*. При симметричном расположении проводника относительно точки наблюдения cosα = −1 cosα2 = cos ,α

 *B* = mm0*I*cos .α (8.7)

 2p⋅*b*

В случае, когда провод можно считать бесконечно длинным,

 *B* = mm0*I*. (8.8)

 2p⋅*b*

Магнитная индукция тороида или длинного соленоида в средней его части

 *B* = mm0*nI*. (8.9)

В этой и следующих формулах *n* – плотность намотки провода,

т. е. количество витков, приходящихся на единицу длины катушки.

Магнитная индукция соленоида конечной длины

1

 *B* = mm0*nI*⋅(cosα −1 cosα2) (8.10)

 2

Смысл всех обозначений ясен из рис. 8.1, *в*.

Магнитная индукция электрического заряда *q*, летящего со скоростью *v*

→ mm0*q*  →

 *B* = 4p*r*2 ⋅*v r* *r* .(8.11)

  

Здесь *r* – текущее расстояние от точки наблюдения до заряда. Величину магнитной индукции движущегося заряда можно найти по формуле

*B* = mm0*vq* ⋅sin ,α(8.12) 4p*r*2

в которой α – угол между векторами *v*и *r*.

Принцип суперпозиции магнитных полей: магнитная индукция результирующего поля равна векторной сумме магнитных индукций складываемых полей

      *N* 

 *B B*= 1+*B*2+*B*3+ +... *BN* =∑*Bi*. (8.13)

 *i*

В частном случае наложения двух полей *B*1 и *B*2 величина магнитной индукции будет равна

 *B* = *B*12 + *B*22 +2*B B*1 2cos .α (8.14)

В этой формуле α – угол между направлениями векторов *B*1 и *B*2.

Теорема о циркуляции вектора магнитной индукции в вакууме: циркуляция вектора магнитной индукции по замкнутому контуру равна алгебраической сумме всех токов, охваченных этим контуром, умноженной на m0:

→ →

 ∫ *Bd l*  = m ⋅0 ∑*Ii*. (8.15)

 (*l*)  *i*

Суммирование токов нужно проводить с учетом направлений, в которых они пересекают контур циркуляции. Магнитный момент контура с током равен

 → →

*Pm* = *IS*, (8.16)

→

где *S* – вектор, равный по модулю площади контура, и направленный по нормали к ней.

Эквивалентный круговой ток, возникающий при вращении заряженного тела вокруг некоторой оси, можно найти по формуле

 *I* = *q T* = *q*ν, (8.17)

в которой *Т* – период, а ν – частота вращения тела.

В таком случае вращающееся заряженное тело следует разбить на элементарные круговые токи и найти элементарные магнитные моменты, создаваемые этими токами:

 d*Pm* d*I S* d*q r* . (8.18)

В этой формуле ω – циклическая частота вращения тела, d*q* – заряд, создающий элементарный круговой ток d*I*, *r* – радиус вращения этого заряда. Полный магнитный момент находится суммированием всех элементарных магнитных моментов, т. е. интегрированием по объему всего тела

 *Pm*d*Pm*. (8.19)

Момент импульса твердого тела с моментом инерции *J* равен

*L* = *J*ω, (8.20) где ω – циклическая частота его вращения.

Моменты инерции материальной точки и тонкого кольца равны

 *J* = *mr*2. (8.21)

Момент инерции тонкого стержня длиной *l* относительно его центра равен

 *J* = (112)*ml*2. (8.22)

### Задачи

8.3. По двум длинным параллельным проводам, расположенным на расстоянии 5 см друг от друга, текут одинаковые токи 10 А в противоположных направлениях. Найти магнитную индукцию в точке на расстоянии 2 см от одного провода и 3 см от другого.

## 10. Проводники с током в магнитном поле

### Теоретические сведения

Сила Ампера, действующая на проводник с током *I* в магнитном поле

 → →→

 *F*À = *I l B* . (10.1)

  

→

В этой формуле *l* – вектор, равный по модулю длине проводника и направленный вдоль него по направлению тока. Формула (10.1) задает как величину, так и направление силы Ампера (рис. 10.1).

Величина этой силы вычисляется по формуле, записанной в скалярном виде

 *F*À = *IlB*⋅sin ,α (10.2)

где α – угол между векторами магнитной индукции и скорости частицы.

Сила взаимодействия двух прямых бесконечно длинных параллельных проводников с токами *I*1 и *I*2, находящихся на расстоянии *b* друг от друга, рассчитанная на отрезок провода длиной *l*,выражается формулой

|  |  |
| --- | --- |
|  *F* mm0 *I I*1 2. = *l* 2p *b* | (10.3) |

**B**

**l**

α

**F**

A

*Рис. 10.1 Направление силы Ампера*

Магнитный момент контура с током равен

 → →

*Pm* = *IS*, (10.4)

→

где *S* – вектор, равный по модулю площади контура, направленный по нормали к ней.

Механический момент, действующий на контур с током в однородном магнитном поле

 → → →

|  |  |
| --- | --- |
| *M* = *Pm B*.   Модуль механического момента равен | (10.5) |
|  *M* = *P Bm* sin ,α  | (10.6) |

→ →

где α – угол между векторами *Pm* и *B*.

Потенциальная энергия магнитного диполя в магнитном поле

→ →

 *W*Ï = − *P Bm*  = −*P Bm* cos .α (10.7)

  

Сила, действующая в магнитном поле на контур с током, ориентированный своей нормалью вдоль линии индукции (по оси *z*)

 ∂*B* (10.8)

 *Fz* = *Pm* ,

 ∂*z*

где ∂*B* – величина неоднородности магнитного поля. Эта сила за-

∂*z* тягивает магнитный диполь в область более сильного поля.

Период малых крутильных магнитного диполя (контура с током) во внешнем магнитном поле

 *J*  (10.9)

*T* = 2p, *P Bm* где *J* – момент инерции диполя.

Момент инерции тонкого кольца относительно его диаметра

 *J* = *mR*2. (10.10)

2

Момент инерции проволочного квадрата со стороной *а* относительно оси, проходящей через его центр параллельно двум сторонам

 *J* = *ma*2. (10.11)

 6

?

**задача**

10.3. Тонкое проводящее полукольцо радиусом 10 см помещено в однородное магнитное поле с индукцией 0,05 Тл так, что его плоскость перпендикулярна линиям индукции. Найти силу, действующую на проводник, если по нему течет ток 10 А, а подводящие провода выведены за пределы поля.

## 11. Механическая работа в магнитном поле. ЭДС индукции. Индуктивность

### Теоретические сведения

Магнитный поток, пронизывающий поверхность

→→

 Ô = *BS* = *BS*⋅cosα = *B Sn* , (11.1)

  

→

где *S* – вектор, равный по модулю площади контура, направленный по нормали к ней, *Bn* – проекция вектора магнитной индукции на это направление, а α – угол между направлением магнитной индукции и нормалью.

В случае неоднородного поля

 Ô*B dSn* , (11.2)

где интегрирование ведется по всей площади *S*.

Потокосцепление или полный магнитный поток, сцепленный со всеми витками соленоида или тороида в случае однородного поля

 Ψ = *N*Ô, (11.3) где Ф – магнитный поток через один виток, *N* – число витков.

Магнитная индукция бесконечно длинного провода с током *I* на расстоянии *b* от него

 *B* = mm0*I*. (11.4)

 2p*b*

Здесь и далее μ – магнитная проницаемость среды, m0 = 4p⋅10−7 Ãí ì.

Магнитная индукция тороида или длинного соленоида в средней его части

 *B* = mm0*nI*. (11.5)

В этой и следующих формулах *n* – плотность намотки провода,

т. е. количество витков, приходящихся на единицу длины катушки. Потокосцепление контура

Ψ = *LI*, (11.6) где *I* – ток в контуре, а *L* – его индуктивность.

Индуктивность соленоида или тороида

 *L* = mm0*n V*2 . (11.7)

Работа *A* по перемещению замкнутого контура с током в магнитном поле

*A* = *I*ΔΦ, (11.8) где ΔΦ – изменение магнитного потока, пронизывающего поверхность, ограниченную контуром с током *I*. Закон электромагнитной индукции Фарадея

dΨ dΦ (11.9) ε = −*i* = −*N* . d*t* d*t*

где ε*i* – ЭДС индукции. Знак “–” в этой формуле нужно учитывать в том случае, когда имеет значение полярность этой ЭДС, т. е. она не является единственным источником в цепи.

Иногда нужно найти среднее значение ЭДС индукции. В таком случае формулы (11.9) следует переписать в виде

 ΔΨ ΔΦ

 ε = −*i* = −*N* . (11.10)

 Δ*t* Δ*t*

На концах прямого проводника, движущегося с некоторой скоростью в магнитном поле и пересекающего линии магнитной индукции, скапливаются электрические заряды, т. е. возникает индуцированный электрический диполь. Напряжение на концах проводника длиной *l*, движущегося со скоростью *v* в магнитном поле с индукцией *В*, есть смешанное произведение этих векторов длиной *U* =(*l vB*

  ). (11.11)

Вектор *l* (плечо диполя) направлен от минуса к плюсу. Как правило, для вычисления этого напряжения можно пользоваться формулой

*U* = *lvB*sin ,α (11.12) в которой α – угол между двумя из трех векторов, который не равен 90°.

Электродвижущая сила индукции, возникающая в рамке, состоящей из *N* витков, при вращении с угловой скоростью ω в однородном магнитном поле с индукцией *В*

 ε =*i BNS*ω⋅sin(ω + α*t* 0), (11.13)

где ω + α*t* 0 = α( )*t* – мгновенное значение угла между направлением вектора магнитной индукции и нормалью к рамке.

Электродвижущая сила самоиндукции, возникающая в замкнутом контуре при изменении силы тока в нем

 d*I* или ε*i* = −*L* Δ*I*. (11.14)

 ε = −*i L* ,

 d*t* Δ*t*

Электрический заряд *q*, протекающий в контуре, при изменении связанного с ним потокосцепления ΔΨ

ΔΨ(11.15) *q* = ,

 *R*

где *R* – электрическое сопротивление этого контура.

### Задачи

11.3. Плоскость квадратной рамки составляет угол 20° с линиями индукции магнитного поля. По рамке течет ток 20 А, сторона рамки 10 см, магнитная индукция 0,1 Тл. Какую работу нужно совершить, чтобы вывести рамку за пределы поля?

# ОПТИКА

## 12. Отражение и преломление света

### Теоретические сведения

Показатель преломления среды

*c*

 *n* = , (12.1)

 *v* где *с*=3·108 м/с – скорость света в вакууме, *v* – скорость света в среде.Законы отражения и преломления света (рис. 12.1)

α = α′ , (12.2)

 sinα = *n*2. (12.3)

 sinβ *n*1

При преломлении волнового фронта изменяется сечение светового пучка, как это показано на рис. 12.2.

*n*

1

*n*

2

α

α′

β

*Рис. 12.1. Законы отражения и преломления света*

 *b*1 = cosα, (12.4)

 *b*2 cosβ где *b*1 и *b*2 – поперечные сечения световых пучков.

*n*

2

α

β

*b*

1

*b*

2

*n*

1

*Рис. 12.2. Изменение сечения светового пучка*

*n*

1

*n*

2

β

α

=90

°

β′

*Рис. 12.3. Полное внутреннее отражение света*

В случае когда свет идет из оптически более плотной в менее плотную среду условие (12.3) не может быть удовлетворено для углов β, больших предельного

*n*1, (12.5) βÏ = arcsin *n*2

при котором преломленный луч выходит параллельно границе раздела сред (рис. 12.3).

Луч света, прошедший сквозь плоскопараллельную пластину, смещается относительно своей первоначальной оси на величину *h*, как это показано на рис. 12.4.

Для величин *h*, *d* и углов α, βсправедливо соотношение

 *h* sin(α −β)

= .(12.6) *d* cosβ

Луч света, прошедший треугольную равнобедренную призму, отклоняется от своего первоначального направления к ее основанию, как это показано на рис. 12.5. Угол отклонения луча δ складывается из двух углов δ=δ1+δ2. Этот угол минимален в том случае, когда в призме луч света идет параллельно основанию (рис. 12.6), т. е. выполняются условия

 g  g 

 β =β1 2 = ,……α = α1 2 = arcsin*n*⋅sin . (12.7)

 2  2

При освещении круглого предмета диаметром *D* источником диаметром *d* на экране образуется тень – *H* и полутень – *h*, (рис. 12.7).

*n*

1

*n*

2

α

β

*d*

*n*

1

*h*

*Рис. 12.4. Смещение луча света в плоско-параллельной пластине*

δ

δ

1

δ

1

*Рис. 12.5. Отклонение светового луча в призме*

α

1

γ

β

1

β

2

α

2

*Рис. 12.6. Наименьшее отклонение светового луча*

*d*

*D*

*h*

*H*

*l*

*x*

*Рис. 12.7. Образование тени и полутени*

### Задачи

12.3. Найти угол наименьшего отклонения луча света при прохождении стеклянной призмы с преломляющим углом 60°.

## 13. Интерференция

### Теоретические сведения

Скорость света в оптической среде

*c*

 *v* = , (13.1)

 *n*

где *с* =3·108 м/с – скорость света в вакууме, *n* – абсолютный показатель преломления среды.

Оптическая длина пути световой волны:

*L n l*= ⋅ , (13.2) где *l* – геометрическая длина пути световой волны в среде с показателем преломления *n.*

Оптическая разность хода двух световых волн:

 Δ = *L*2 − *L*1. (13.3)

Связь оптической разности хода двух световых волн с разностью фаз колебаний Δj

Δj

 Δ = λ⋅ . (13.4)

 2p

Оптическая разность хода световых волн, отраженных от двух граней тонкой пленки (рис. 13.1, *а*) равна

 Δ = 2*d n*2 −sin2 α + λ2 èëè Δ = 2*dn*⋅cosβ + λ2. (13.5)

Оптическая разность хода двух световых волн, прошедших тонкую пленку (рис. 13.1, *б*) равна

Δ = 2*d n*2 −sin2 α èëè Δ = 2*dn*⋅cos .β (13.6)

Слагаемое λ 2 в этих формулах учитывает изменение фазы световой волны на pпри ее отражении от оптически более плотной среды.

Максимум интенсивности при интерференции двух световых лучей наблюдается при условии:

Δ = *k*λ,… ãäå *k* = 0;±1;±2;±3;.... (13.7)

Минимум интенсивности при интерференции двух световых лучей наблюдается при условии:

 Δ = (*k* − 12)λ,… ãäå *k* = 0;±1;±2;±3;.... (13.8)

 а) б)

α

β

β β

β

α′

α′

1

2

β

β

β

β

β

α

α

α

1

2

*Рис. 13.1. Интерференция лучей, отраженных от пленки (а) и прошедших через нее (б)*

Радиусы светлых колец Ньютона в отраженном свете и темных – в проходящем

*k* = (*k* − 12)⋅*R*λ. (13.9)

*r*

Радиусы темных колец Ньютона в отраженном свете и светлых – в проходящем

*rk* = *k R*⋅ λ. (13.10)

В этих формулах *k*=1; 2; 3;..*.* –номер кольца; *R* – радиус кривизны поверхности линзы.

### Задачи

13.3. На пути монохроматического света с длиной волны 0,6 мкм помещена плоскопараллельная стеклянная пластинка толщиной 0,1 мм. Свет падает на нее нормально. На какой угол следует повернуть пластинку, чтобы оптическая длина пути изменилась на половину длины волны?

# СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. **Показатели преломления некоторых веществ**

|  |  |
| --- | --- |
| Вещество | Показатель преломления |
| Стекло | 1,5 |
| Плавленый кварц | 1,46 |
| Вода | 1,33 |
| Мыльная пленка | 1,3 |

*Примечание*: Указанные значения следует рассматривать как условные и использовать только в случае, когда в условии задачи показатель преломления не задан.

1. **Значение фундаментальных физических постоянных**

|  |  |
| --- | --- |
| Магнитная постоянная | μ0=4p·10–7 Гн/м |
| Скорость света в вакууме | *c*=1 ε m =0 0 2 99810, · 8 ì ñ/ |
| Заряд электрона | *e*=1,602·10–19 Кл |
| Заряд α-частицы | *q*α*=*2*е*=3,20·10–19Кл |
| Масса покоя электрона | *m*0=9,11·10–31 кг |
| Масса покоя протона | *mp*=1,6726·10–27 кг |
| Масса покоя нейтрона | *mn*=1,6750·10–27 кг |
| Масса α-частицы | *m*α=6,64·10–27 кг |
| Нормальные условия | *t*=0° C, *p*=760 мм. рт. ст. |
| Гравитационная постоянная | *G*=6,6726·10–11 м3/(кг·с2) |
| Электрическая постоянная | ε0=8,8510–12 Ф/м |
| Число Авогадро | *NA*=6,022·1023 моль–1 |
| Универсальная газовая постоянная | *R*=8,314 Дж/(К·моль)  |

1. **Приставки, используемые при образовании единиц измерения**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Атто- | а | 10–18 |
| Фемто- | ф | 10–15 |
| Пико- | п | 1012 |
| Нано- | Н | 10–9 |
| Микро- | мк | 106 |
| Милли- | м | 103 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Санти- | с | 102 |
| Деци- | д | 101 |
| дека- | да | 101 |
| гекто- | г | 102 |
| Кило- | к | 103 |
| Мега- | М | 106 |
| Гига- | Г | 109 |
| Тера- | Т | 1012 |
| Пета- | П | 1015 |

**РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. *Савельев И. В*. Курс общей физики в 3-х т. Т. 2 Электричество. Колебания и волны. Волновая оптика. М.: Лань, 2016.
2. *Сивухин Д. В*. Общий курс физики. Электричество. М.: ФМЛ. 2018.
3. *Сивухин Д. В*. Общий курс физики. Оптика. М.: ФМЛ. 2018.
4. *Иродов И. Е.* Физика. Основные законы. Электромагнетизм.

М.: Бином. 2014.

1. *Иродов И. Е*. Физика. Основные законы. Волновые процессы. М.: Бином. 2014.
2. *Трофимова Т. И.* Курс физики. М.: Академия. 2016.

# ОТВЕТЫ

**1.1.** 4,2 нКл. **1.2.** 2. **1.3.** 287 мН. **1.4.** 0,076 мм. **1.5.** –0,58 нКл. **1.6.** 54 мН. **1.7.** 8,3 см. **1.8.** 140 нКл, 20 нКл. **1.9.** 8,3 см. **1.10.** 2,25 Мм/с.

**1.11.** –0,287 нКл. **1.12.** 9 Н. **1.13.** 161 мкН. **1.14.** 583 нКл или 17 нКл. 1**.15.** 100 кВ/м. **1.16.** 50 Н. **1.17.** 535 В/м. **1.18.** 14,6 см. **1.19.** 2 см. **1.20.** 40кВ/м. **1.21.** 0,18 мкН. **1.22.** 4·1042, 1·1036, 0,86·10–10 Кл/кг. **1.23.** 2 см. **1.24.** 204 В/м. **1.25.** 100 В/м. **1.26.** – **1.27.** 113 В/м, 226 В/м. **1.28.** 56,5 мН. **1.29.** 3,6 мН/м. **1.30.** 63,6 кВ/м.

**2.1.** 45 В. **2.2.** 26,4 кВ. **2.3.** 90 мкДж.**2.4.** -63 мкДж. **2.5.** 48,8 мкДж. **2.6.** 4 см и 12 см. **2.7.** 505 В. **2.8.** 37,4 В. **2.9.** 125 В. **2.10.** 56,6 В. **2.11.** 90 В. **2.12.** 150 В, 90 В, 9В. **2.13.** 90 В. **2.14.** 200 В. **2.15.** -. **2.16.** 1,13 В. **2.17.** 141 В. **2.18.** 170 В**. 2.19.** 77 В. **2.20.** 432 В. **2.21.** 1,2 кВ. **2.22.** 28,26 В. **2.23.** 250 В. **2.24.** 200 В/м. **2.25.** 540 Дж. **2.26.** 25,2 мкДж. **2.27.** 47 мкДж. **2.28.** 0,09 Дж. **2.29.** 300 кВ. **2.30.** 100 В.

**3.1.** 0,8 нКл·м. **3.2.** 2,82 мкКл·м. **3.3.** 0,9 нКл·м. **3.4.** 9,35 В/м. **3.5**. 59,5 В. **3.6.** 1,892 рад (108°24′). **3.7.** 3 мкДж. **3.8.** 0,9 Дж. **3.9.** 60 мкДж. **3.10.** 0,709 рад (40°36’). **3.11.** 72 В/м. **3.12.** 5,0 В/м. **3.13.** 5,0 В/м. **3.14.** 18 В/м **3.15.** 9 В/м. **3.16.** 4,8 мДж. **3.17.** 12,7 мДж**. 3.18.** 4,5 мДж. **3.19.** 4,5 мДж. **3.20.** 4,5 Дж. **3.21.** 9 Дж. **3.22**. 2,12 В. **3.23.** 5,41 В. **3.24.** 4 Н. **3.25.** 8 Н. **3.26.** 0,314 с. **3.27.** 0,7854 (p/4) нс. **3.28.** 2,1·10–16 Н. **3.29**. 1,35 мкН. **3.30.** 6 мкКл·м.

**4.1.** 1,76 см. **4.2.** 2,19 м/с**. 4.3.** 24,3МКл/кг. **4.4.** 5,19 мм. **4.5.** 1 см.

**4.6.** 2,25 Мм/с. **4.7.** 2,13 мм. **4.8.** 0, 24 Мм/с. **4.9.** 23,3 В. **4.10.** 4,0 Мм/с. **4.11.** 3,7 мкКл/м. **4.12.** 29,7 Мм/с. **4.13.** 5,9 мм. **4.14.** 79,6 В. **4.15.** 22,5 В. **4.16.** 8·10–19 Кл 4.17. 4,1·10–18 Кл. **4.18.** 1 с. **4.19.** 0,02 м**. 4.20.** 22 мкм. **4.21.** 5 мм. **4.22.** 537 В/м. **4.23.** 4,75 нКл/м2**. 4.24.** 2,53 Мм/с.

**4.25.** 36,4 Мм/с. **4.26.** 13,3 Мм/с. **4.27.** 0,01 м**. 4.28.** 2,3. **4.29.** 21,9 см.

**4.30.** 1,05·1017 м/с2.

**5.1.** 16. **5.2.** 1,9 пФ. **5.3.** 511 Н. **5.4.** 1,6 мкФ. **5.5.** 0,11 мДж/м3. **5.6.** 15 пФ. **5.7.** 220 нДж. **5.8.** 880 В. **5.9.** 0,354 Па. **5.10.** 1,1 нДж. **5.11.** 530 нДж. **5.12.** 270 нДж**. 5.13.** 25. **5.14.** 4,2 мкКл/м2. **5.15.** 26,55 нКл/ м2, 2,95 нКл/м2. **5.16.** 240 нФ. **5.17.** 0,71 мФ. **5.18.** 533 пФ. **5.19.** 200 В.

**5.20.** 2250 В. **5.21.** 2600 В. **5.22.** 2 В. **5.23.** 31,92 нКл/м2, 7,98 нКл/м2.

**5.24.** 83,3 пФ. **5.25.** 60 пФ. **5.26.** 3 мкКл. **5.27.** 7,5 мкКл. **5.28.** 400 В.

**5.29.** 200 В. **5.30.** 0,1 мкФ.

**6.1.** – **6.2.** 0,442 нКл/м2. **6.3.** 0,442 нКл/м2. **6.4.** 212 нКл/м2. **6.5.** 3,606. **6.6.** 5°59′. **6.7.** 5,15 В/м. **6.8.** 45°59′. **6.9.** 65,7 пКл/м2. **6.10.** 0,88. **6.11**. 1,73. **6.12.** 3,54 мкКл/м2. **6.13** 100 В. **6.14.** 1,15. **6.15.** 8,21. **6.16.** – **6.17.** 30°. **6.18.** 585В/м. **6.19.** 30°. **6.20.** 106 мкКл/м2.

**6.21.** 76°35′. **6.22**. 8°30′. **6.23.** 7. **6.24.** 173 В/м. **6.25.** 177 нКл/ м2.

**6.26.** 0,9 мкКл. **6.27**. 4,68 нКл/м2. **6.28**. 10,62 мкКл/м2. **6.29.** 11,9 кВ/м. **6.30.** 108 нКл/м2.

**7.1.** 48 Кл. **7.2.** 15 Кл. **7.3.** 75 Кл. **7.4.** 69 Кл. **7.5.** 70 МА/м2. **7.6.** 250 Ом. **7.7.** 2 А. **7.8**. 1,43 Ом. **7.9**. 2,9 Ом, 4,5 Ом. **7.10.** 2 А. **7.11.** 2 Ом.

**7.12.** 6 мин 40 с. **7.13.** 2 А. **7.14.** 15 Вт. **7.15.** 0,5 Ом, 2 Вт. **7.16.** 10 мин. **7.17**. 0,6 Вт. **7.18.** 12 м. **7.19.** 30 мин. **7.20.** 12 В. **7.21.** 71,3 А. **7.22.** 45 мин. **7.23.** 100 кДж. **7.24.** 300 Дж. **7.25.** 12 кДж. **7.26.** 7,7 кДж. 7**.27**. 20 Кл. **7.28.** 10 В. **7.29.** 480 Дж. **7.30.** 3 Кл.

**8.1.** 380 мкТл. **8.2.** 1 м. **8.3.** 106 мкТл. **8.4.** 251 мкТл. **8.5**. 87,2 мкТл. **8.6.** 400 мкТл. **8.7.** 346 мкТл. **8.8.** 0,16 Тл. **8.9.** 282 мкТл.

**8.10.** 200 мкТл. **8.11.** 173 мкТл. **8.12.** 2 мкТл. **8.13.** 28 мкТл. **8.14.** 8,21.

**8.15.** 3 пТл. **8.16.** 1,1 мА, 12 Тл. **8.17.** 6,3 мкТл, 2,3 мкТл. **8.18.** 0,1 мТл.

**8.19.** 28 мкТл. **8.20.** 0,16 пА·м2. **8.21.** 8 пА·м2. **8.22.** 39,94 мкТл. **8.23.** 0,03 А·м2. **8.24.** 39,2 нА·м2. **8.25.** 4 нА·м2, 10 мкКл/ кг. **8.26.** –87,9 ГКл/кг. **8.27.** 29 пТл. **8.28.** 31,4 пТл. **8.29.** 0,64 пА·м2. **8.30.** 3,14 мА·м2, 0,25 мкКл/кг.

**9.1.** 2,4·10–22 H·c. **9.2.** 3,2 Дж·с. **9.3.** 3,52 кэВ. **9.4.** 0,75. **9.5.** 175 ГКл/кг. **9.6.** 0,32 пН. **9.7.** 1,4 пН. **9.8.** 5620 Мгц. **9.9.** 0,448 нА. **9.10.** 13,21 Мм/с. **9.11.** 1,04 Мм/с. **9.12.** 25 Мм/с. **9.13.** 580 фДж. **9.14.** 4·10–16 H. 9**.15.** 21 мм. **9.16.** 19,6 кВ/м. **9.17.** 10 мкс. **9.18.** а) 20,1

Гм/м2, б) 37,5 Гм/м2. **9.19.** 30°. **9.20.** 2 см. **9.21.** 6 см. **9.22.** 41 Мм/с, 0,558 пДж. **9.23.** 20 мкН. **9.24.** 9,57 эВ. **9.25.** 8,54 мм. **9.26.** 95,7 МКл/ кг. **9.27.** 3,97 нс. **9.28.** 2,25. **9.29.** 0,632 пА/м2. **9.30.** 7,85 см.

**10.1.** 30°. **10.2.** 10 мкН. **10.3.** 0,1 Н. **10.4.** 45°. **10.5.** 7,1 А. **10.6.** 20 мН/м, 34,6 мН/м. **10.7.** 20 А. **10.8.** 1 нН. **10.9.** 3,2 мкН/м. **10.10.** 12,6 мН. **10.11**. 0,4 мкН. **10.12.** 120 Н. **10.13**. 1 Тл. **10.14**. 10 А. **10.15**. 6°18′. **10.16.** 1°57′. **10.17**. 0,32 мН·м. **10.18**. 0,3 мкН. **10.19.** 11,3 мТл. **10.20.** 22,5 мкН·м. **10.21.** 0,104 Н·м. **10.22.** 0,33 нН·м/рад (19 нН·м/ град). **10.23.** 1,05 с. **10.24.** 6,59 мТл. **10.25.** 160 пН·м2. **10.26**. 1,24 мТл. **10.27.** 6,28 мкН·м. **10.28**. 2 мкН. **10.29.** 6,4⋅10–16 А⋅м2. **10.30.** 1,1 А.

**11.1.** 18 мкДж. **11.2.** 3 мВт. **11.3.** 6,8 мДж. **11.4**. 2,51 мДж. **11.5.** 10,8 мДж. **11.6.** 2,92 мДж. **11.7.** 0,02 Вб. **11.8.** 0,06 Вб. **11.9.** 1,35 нВ.

**11.10.** 0,3 Тл. **11.11.** 2,5 Вт. **11.12.** 0,25 В. **11.13.** 20,1 мВ. **11.14.** 0,16 В.

**11.15.** 132 В. **11.16.** 4·10–24 Н. **11.17.** 3,14 В. **11.18.** 31,4 мкКл. **11.19.** 12.6 нКл. **11.20.** 0,15 мКл, 0,25 мКл и 0,38 мКл. **11.21.** 18,3 мКл. **11.22.** 0,3 мВб. **11.23.** 6,3 нКл. **11.24.** 101 мкКл. **11.25.** 4 В. **11.26.** 80 мкВб. **11.27.** 0,04 Гн. **11.28.** 2,4 мГн. **11.29.** 0,02 мГн. **11.30.** 0,118 В.

**12.1.** –.**12.2.** 3,08 см. **12.3.** 37°12′. **12.4. –.** **12.5.** 57°58′. **12.6.** 8°30′. **12.7.** 0,85 мм. **12.8.** 7,06 мм. **12.9.** 34°37′. **12.10.** 48°35′. **12.11.** 25°27′, 5°02′. **12.12.** 41°48′. **12.13.** 10,1 см. **12.14.** 30°42′, 79°18′. **12.15.** 29 см.

**12.16.** 1,87 м. **12.17.** 35. **12.18.** 0,57 м. **12.19.** 36°53′. **12.20.** 19,2 см2.

**12.21.** 250. **12.22.** 27°18′. **12.23.** 1 см. **12.24.** 376·103 км. **12.25.** 120°.

**12.26.** 1,2 м. **12.27.** –. **12.28.** 36°36′. **12.29.** 34°. **12.30.** 1,359.

**13.1.** 4 см. **13.2.** 1.33 м**. 13.3.** 5,34°. **13.4.** max – 0,6 мкм, 0,45 мкм, min – 0,72 мкм, 0,51 мкм, 0,4 мкм. **13.5.** 2 м. **13.6.** 0,5·10–6 м. **13.7.** 3,2 м. **13.8.** 3,6 мм. **13.9.** 125 нм. **13.10.** 10–4 рад. **13.11.** 0,106·10–6 м.

**13.12.** 0,25·10–6 м. **13.13.** 5·10–5 рад. **13.14.** 10 мкм. **13.15.** 2,06 мм. **13.16.** 7. **13.17.** 0,3 нм/с. **13.18.** 145 нм. **13.19.** 0,15 мкм*.* **13.20.** 3,52 м. **13.21.** 3,73 мм. **13.22.** 1,22. **13.23.** 72 мкм.**13.24.** 1,00014.**13.25.** 1,000607.**13.26.** 27,3 мкм.**13.27.** 1,000282.**13.28.** 0,000124*.* **13.29.** 140.**13.30.** 490, 1470, 2450.

**14.1.** 1,58 мм. **14.2.** 3,67 мм. **14.3.** 8. **14.4.** 24 м. 14.5**. 1**,**4**, 0,7, 0,47. **14.6.** 2 м. **14.8.** 0,6·10–6 м. **14.9.** 0,6 мкм. **14.10.** 33. **14.11.** 2°45′**. 14.12.** 103 штр/мм**. 14.13.** 0,58·10–6 м. **14.14.** 21°17′. **14.15.** 8. **14.16.** 17. **14.17.** 0,6·10–6 м. **14.18.** 13,8°. **14.19.** 290, 145. **14.20.** 9,82 мм. **14.21.** 29000**. 14.22.** 3,3 мин/нм**. 14.23.** 0,7 мм/нм. **14.24.** 1000 штр/мм**. 14.25.** 56,3 см**. 14.26.** 0,73 см. **14.27.** 62,6 см. **14.28.** 0,5 мкм. **14.29.** 5 мкм. **14.30.** 4,1·105 рад/м

**15.1.** 61°12′. **15.2.** 67°22′. **15.3.** 45°. **15.4.** 2 раза. **15.5.** 3,3 раза. **15.6.** 0,976. **15.7.** 0,6. **15.8.** 3 раза. **15.9.** 1,23 раза. **15.10.** 0,5. **15.11.** 3,4 мм. **15.12.** 1,7 град·м2/кг. **15.13.** 210 кг/м3. **15.14.** 398кг/м3. **15.15.** 1,004 рад. **15.16.** p/6 рад. **15.17.** 0,12. **15.18.** 1,7%. **15.19.** 0,8. **15.20.** 0,07. **15.21.** 0,3. **15.22.** 0,04. **15.23.** 0,04. **15.24.** 0,8. **15.25.** 0,045. **15.26.** 3 мм. **15.27.** 11 раз. **15.28.** 55°42′. **15.29.** 0,25 и 0,75. **15.30**. min:

0°, ±90°, ±180°; max: ±45°, ±135°.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие ............................................................................. 3

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО ..................................................................... 4

1. Взаимодействие электрических зарядов. Напряженность

 электрического поля ............................................................... 4

 Теоретические сведения ..................................................... 4

 Задачи ............................................................................. 5

1. Потенциальная энергия и потенциал электрического поля ....... 9

 Теоретические сведения ..................................................... 9

 Задачи ............................................................................. 10

1. Электрический диполь ......................................................... 14

 Теоретические сведения ..................................................... 14

 Задачи ............................................................................. 16

1. Движение заряженных частиц в электрическом поле ............... 19

 Теоретические сведения ..................................................... 19

 Задачи ............................................................................. 20

1. Электрическая емкость. Конденсаторы .................................. 24

 Теоретические сведения ..................................................... 24

 Задачи ............................................................................. 25

1. Диэлектрики ...................................................................... 29

 Теоретические сведения ..................................................... 29

 Задачи ............................................................................. 30

1. Электрический ток .............................................................. 34

 Теоретические сведения ..................................................... 34

 Задачи ............................................................................. 36

МАГНЕТИЗМ ............................................................................ 40

1. Расчет магнитных полей и магнитных моментов ..................... 40

 Теоретические сведения ..................................................... 40

 Задачи ............................................................................. 43

1. Движение заряженных частиц в магнитном поле .................... 47

 Теоретические сведения ..................................................... 47

 Задачи ............................................................................. 47

1. Проводники с током в магнитном поле ................................. 51

 Теоретические сведения ..................................................... 51

 Задачи ............................................................................. 53

1. Механическая работа в магнитном поле. ЭДС индукции.

 Индуктивность ...................................................................... 57

 Теоретические сведения ..................................................... 57

 Задачи ............................................................................. 59

ОПТИКА .................................................................................. 63

1. Отражение и преломление света .......................................... 63

 Теоретические сведения ..................................................... 63

 Задачи ............................................................................. 67

1. Интерференция ................................................................. 70

 Теоретические сведения ..................................................... 70

 Задачи ............................................................................. 71

1. Дифракция света ............................................................... 76

 Теоретические сведения ..................................................... 76

 Задачи ............................................................................. 77

1. Поляризация света ............................................................ 81

 Теоретические сведения ..................................................... 81

 Задачи ............................................................................. 82

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ .................................................... 86

 Рекомендуемая литература ...................................................... 88

ОТВЕТЫ ................................................................................... 89

Учебное издание

**Андреев** Владимир Михайлович,

**Коваленко** Иван Иванович,

**Котликов** Евгений Николаевич и др.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО. МАГНЕТИЗМ.

ОПТИКА

Сборник задач

Под редакцией

*Ю. Н. Царева, Н. П. Лавровской*

Публикуется в авторской редакции.

Компьютерная верстка *С. Б. Мацапуры*

Сдано в набор 11.11.19. Подписано к печати 19.12.19. Формат 60×84 1/16. Усл. печ. л. 0,0. Уч.-изд. л. 0,0. Тираж 50 экз. Заказ № 000.

Редакционно-издательский центр ГУАП

190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., 67