1. На фотографии, полученной в камере Вильсона, тра-  
   ектория электрона в однородном магнитном поле представляет  
   робой дугу окружности радиусом Л = 10 см. Индукция магнит-  
   ного поля **В** = ЮмТл. Найти энергию электрона **W** (в электрон-  
   вольтах).

Решение:

6^ В~ R?

Имеем W (см. задачу 11.73). Подставляя число-

2т

1. 4 ■ КГ14

вые данные, получим W = 1,4-10'14 Дж или W = ' 19 =  
\*88-103 эВ.

1. Заряженная частица движется в магнитном поле по  
   ■ркружности со скоростью v = **I06m/c.** Индукция магнитного  
   поля **В** = 0,3 Тл. Радиус окружности **R =** 4 см. Найти заряд **q**Частицы, если известно, что ее энергия **W** = 12 кэВ.

Решение:

В магнитном поле на частицу действует сила Лоренца  
F = ^[v,b] — (1). Поскольку частица движется по окруж-  
ности, следовательно, векторы F, v и В взаимно пер-  
пендикулярны. Тогда уравнение (1) можно записать в  
ёкалярном виде: F - qvB. Сила Лоренца сообщает частице

2

.постоянное ускорение а„ = — . Следовательно, qvB =  
? 1

откуда

*mv*

=—— — (2). Энергия частицы W

mv

mv2 = 2W — (3). Подставляя (3) в (2) и выражая из  
полученного уравнения заряд частицы q, получим

**q = — = 3,2-10ч9Кл.**

■ vBR

1. Протон и or-частица влетают в однородное магнитное  
   поле, направление которого перпендикулярно к направлению их  
   движения. Во сколько раз период обращения **Тх** протона в  
   магнитном поле больше периода обращения **Т2 а** -частицы?

Решение:

\_ 2 kR,

Период ооращения протона равен = L, где v{ — ско-

vi

Ш V,

рость его движения и RK = —-— (см. задачу 11.74). Отсюда

***еВ***

*2ят.*

Т, = , т. е. период не зависит от скорости. Поскольку

***еВ***

заряд а-частицы равен 2е, то период ее обращения равен

г = **тпл. %** Отсюда отношение\* — = **—- =** 0,5 .  
**еВ Т2 та**

1. **а** -частица, кинетическая энергия которой **IV =** 500 эВ,  
   влетает в однородное магнитное поле, перпендикулярное ее дви-  
   жению. Индукция магнитного поля **В -** 0,1 Тл. Найти силу **F**,  
   действующую на or-частицу, радиус **R** окружности, по которой  
   движется а-частица, н период обращения **Т** or-частицы.

Решение:

В магнитном поле на а -частицу действует сила Лоренца  
F = t/[v, 5] . Поскольку векторы F, v и В взаимно пер-  
пендикулярны, то в скалярном виде F = qvBsina = qvB —

\*>

(1). Кинетическая энергия частицы W (2), откуда

**v =**

2 W

*m*

(3). Подставляя (3) в (1), получим

Н. Сила Лоренца сообщает а-час-

**F = qBJ— =5-10“15**

V m

тице нормальное ускорение ап - —-,

**v2 ,**

следовательно,  
„ 2 W

*F = —~,* откуда  
*R*

F -т—. Из (2) имеем mv -2W, тогда

2 W

радиус окружности R = = 0,032 м. Период обращения

-F

;а -частицы равен Т = —2- (см. задачу 11.78). Подставляя

еВ

числовые данные, получим Т = 1,3 • 10‘6 с.

1. а-частица, момент импульса которой **М** = 1,33 х

х10'22 кгм2/с, влетает в однородное магнитное поле, перпен-  
дикулярное к направлению се движения. Индукция магнитного  
доля В = 25 мТл. Найти кинетическую энергию W а-частицы.

^Решение:

^Момент импульса с-частицы М = w[v, /?] или

■М = mvR sin а = mvR — (1) (поскольку а = 90° ). На час-

2 2  
V V

'тицу действует сила Лоренца F-m— или qvB = m— —  
М

(2). Из (1) имеем R = —. Подставляя это выражение в (2),

mv

, М

найдем mV = qB (3). Поскольку кинетическая энер-

m

*тгт WV2*

гия частицы равна W =—^~, то, с учетом (3), получим

W=&L = 500 эВ.

1. *m*
2. Однозарядные ионы изотопов калия с относительными  
   атомными массамй"39 и 41 ускоряются разностью потенциалов

**U** = 300 В; затем они попадают в однородное магнитное п  
перпендикулярное направлению их движения. Индукция :  
нитного поля **В =** 0,08 Тл. Найти радиусы кривизны **R,** и  
траекторий этих ионов.

Решение:

Потенциальная энергия ускоренных ионов **Wn =qU** m

по условию ионы однозарядные, то **q = \е\** = 1,6-10-19

.2

**„г mv**

**Эта энергия переходит в кинетическую WK и**

**закону сохранения энергии eU =**

***mv***

**откуда скоро**

движения ионов v = j — (1). В магнитном поле

**2 *eU***

***т***

ионы действует сила Лоренца **F = evBsina,** но т. к.  
условию поле перпендикулярно направлению движения  
**sina =** 1, поэтому **F-evB** — (2). С другой стороны,

второму закону Ньютона **F** = **та**„, где **а„ -** — — н

**мальное ускорение, тогда F =**

***mv***

***R***

**(3). Приравнив;**

**правые части уравнений (2) и (3): егБ =**

***mv***

***R***

ОТК'

**скорость движения** ИОНОВ **v = -**

***eBR***

***т***

**(4). Приравни**

**правые части уравнений (1) и (4), получаем**

***fieU \_ еЬ***

***т***

***п* 1 *2т'***

откуда радиусы кривизны траек’**0**|?нн ионов я =—.1

**В** V **а**

Подставляя числовые данные, получим /?, = 0,195 м  
**R**2 = 0,2 м.

222

1. Найти отношение — для заряженной частицы, если

***т***

Она, влетая со скоростью г = 10бм/с в однородное магнитное  
поле напряженностью **И** = 200 кА/м, движется по дуге окруж-  
ности радиусом **R** = 8,3 см. Направление скорости движения  
частицы перпендикулярно к направлению магнитного поля.

сравнить найденное значение со значением — для электрона,

***т***

Протона и а -частицы.

**решение:**

Скорость движения заряженной частицы в магнитном поле

род действием силы Лоренца (см. задачу 11.81) v = -**—** -  
!>•■■ **т**

|Ц). Магнитная индукция и напряженность магнитного  
роля связаны соотношением **В - fjf/**0**H,** но т. к. для воз-  
духа магнитная проницаемость **ц -**1, поэтому **В** = /**jQH** —

, *О V*

**'(2).** Подставляя (2) **в** (1), находим — **=** **=** 4,8х

й ‘; т В о HR

&!\* •

fklO7 Кл/кг. Для электрона — = 1,76 • 10П Кл/кг; для протона

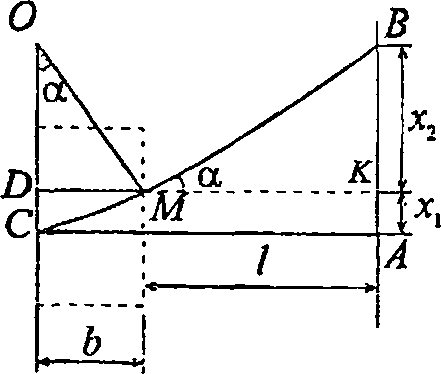
ip' **т**

= 9,6 • 107 Кл/кг; для **а** -частицы — = 4,8 ■ 107 Кл/кг.  
**т /и**

1. Пучок электронов, ускоренных разностью потенциалов  
   **JU** = 300 В, влетает в однородное магнитное поле, направленное  
   >:вт чертежа к нам. Ширина поля **b** = 2,5 см. В отсутствие магнит-  
   ного поля пучок электронов дает пятно в точке **А** флуоресци-  
   рующего экрана, расположенного на расстоянии / = 5 см от края  
   Полюсов магнита. При включении магнитного поля пятно сме-  
   щается в точку **В** . Найти смешение **х = АВ** пучка электронов,  
   если известно, что индукция магнитного поля **В** = 14,6 мкТл.

Общее смещение электрона  
л- = д-[ + .v2, где „V, — смещение  
электрона в магнитном поле.  
Электрон в магнитном поле дви-  
жется по окружности радиусом

**R** = —. Смещение д-, можно  
**вВ** 1



найти из соотношения

т, = **DC** = **ОС** - **OD.** Но **OC = R** и  
**OD =** >/**ОМ**2 - **DM**2 = **-Jr**2 **-b**2 **.** Таким образом,  
л-, - **R--JR**2 **~Ь**2 . Смещение **х**2 может быть найдено г.з

**.г, *DM Ы***

пропорции — = , откуда х, **=—===.** Тогда

***I DO***

**смещение**

**х = R - VR" -b**2 **+ ,— =-. Имеем R =**

*Jr2 -ъ1*

***т\-***

***си***

1. \2Um п

= —J . Подставляя числовые данные, получи-.!

**В** V **е**

**R = 4** см и **х** = 4,9 см.

1. Магнитное поле напряженностью # = 8кА/м и  
   электрическое поле напряженностью £ = 1 кВ/м направлены  
   одинаково. Электрой влетает в электромагнитное поле со ско-  
   ростью v = !05м/с. Найти нормальное я,,, тангенциальное **аТ** и  
   полное **а** ускорения электрона. Задачу решить, если скорость  
   электрона направлена: а) параллельно направлению электри-  
   ческого поля; б) перпендикулярно к направлению электричес-  
   кого поля.

Решение:

а) Со стороны магнитного поля на электрон действует сила  
Лоренца **F -Щ\’Вsince.** Поскольку v параллельна **Н,** то  
224

**Щ-**0, **F** = О и, следовательно, направление  
скорости не меняется, т. е. **ап** = 0. Под  
действием сил электрического по-  
ЛЯ электрон получает тангенциальное  
ускорение, т. е. **Fm =Ее = т\ат\,** откуда

|аг| = — = 1,76 • 1014 м/с2. Полное ускорение  
1 **m**

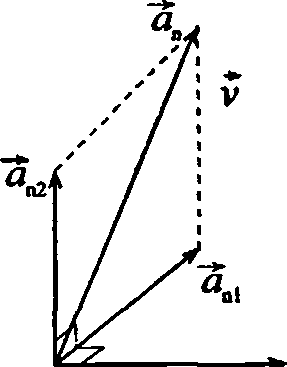
***Ё***

***Ё***

а = |аг| = 1,76-1014 м/с2.

б) Если v перпендикулярна **Н**,  
то **аг** = 0 и электрон движется по  
окружности. На него со стороны  
^магнитного поля действует сила  
Лоренца **F-ЩуВ sin 90° = \e\vB,**которая сообщает ему ускорение  
**а**п. Следовательно, **evB = m - а**пХ,

***В***



откуда о , = . Электрическое

***m***

поле действует перпендикулярно

Движению электрона, т. е. тангенциально не ускоряет его,

***Ее***

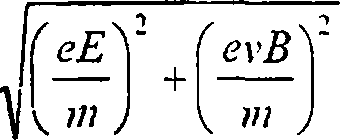
Поэтому яг =0, а нормальное ускорение **а,п -** —. Векто-

*VI*

ры **а**п| и **а**„2 направлены перпендикулярно друг другу,  
.поэтому результирующее нормальное ускорение

***е***

- —Vb'2 + v:B2**m**



а„

или о„ = — х

*VI*

**у-Je- + V-fil?!-** -2.5-1014 м/с2.

1. Магнитное иоле, индукция которого **В-** 0,5 мТл. на-  
   ;правлено перпендикулярно к электрическому полю, напря-  
   женность которого £ = 1 кВ/M, Пучок электронов влетает в

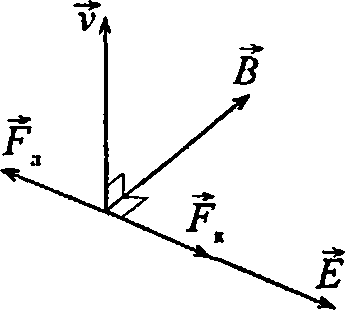
225

.8-3269

электромагнитное поле, причем скорость v электронов перпен-  
дикулярна к плоскости, в которой лежат векторы **Е** и **В** . Найти  
скорость электронов v, если при одновременном действии обеих  
полей пучок электронов не испытывает отклонения. Каким будет  
радиус **R** траектории движения электронов при условии вклю-  
чения одного магнитного поля?

Решение:

Поскольку векторы v, **В** и **Ё** взаимно  
перпендикулярны, то пучок электронов  
не будет испытывать отклонения, если  
силы, действующие на него со стороны  
магнитного и электрического полей,  
будут равны по модулю, **т. е.** сила Ло-  
ренца будет уравновешиваться силой  
Кулона. Имеем **Fn=FK,** где **Fn** = **evB,**



/\* -

**FK = еЕ.** Тогда **Ее - evB**, откуда v = — = 2\*10' м/с. При  
включении одного магнитного поля сила Лоренца сообща-

**ет электронам центростремительное ускорение**

**а„ =■**

***R***

**г, *mv п***

**. е. evB , откуда R -**

***mv***

***= 2.25***

1. Электрон, ускоренный разностью потенциалов  
   **U** = 6 кВ, влетает в однородное магнитное поле под углом  
   **а** = 30° к направлению поля и движется по винтовой траек-  
   тории. Индукция магнитного поля **В = 13** мТл. Найти радиус **R**и шаг **h** винтовой траектории.

Решение:

Разложим скорость электрона, влетающего в магнитное  
поле, по двум направлениям: вдоль линий поля — v и

**аллельно им — v.. Со-**

**хшим два уравнения. Сила  
рэренца создает центро-  
стремительное ускорение, т. е.**

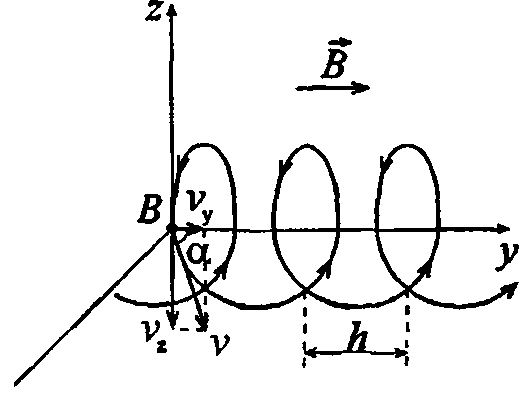
**\_** mvl mv,

**Bev. = —-, откуда Be - —-  
. ' \* R R**

**(1). Поскольку = eU, x**

***fai* 2**

**v.**



**t из рисунка v = —то  
%' sin a**

**0U= j—. Разделим обе части уравнения (2) на**

***у-* 2 *sin а***

**квадраты обеих частей уравнения (1). Получим**

***feU***

***mvlR****1*

***U***

***Rz***

**2 *sin****2* ***can* v: *B e 2m sin****2* ***a***

**„ *sin a***

**, откуда R = x**

***В***

— = 1 см. Шаг спирали найдем из соотношений

***\2itR - v.t* и *h =* v *t*, откуда *h - 2kR—***

**t. ‘ v.**

**T. к.**

**= ctga = 1,73,to h = 11 cm.**

1. Протон влетает в однородное магнитное поле под уг-  
   лом **а** = 30° к направлению поля и движется по винтовой линии  
   радиусом **R =** 1,5 см. Индукция магнитного поля **В =** 0,1 Тл. Най-  
   ти кинетическую энергию **W** протона.

**Решение:**

Разложим скорость протона v на две составляющие: vr,  
направленную вдоль поля, и v„, направленную перпен-  
дикулярно к полю. Проекция траектории электрона на

. плоскость, перпендикулярную к индукции **В**, пред-

227

ставляет собой окружность, радиус которой определяется

, „ \_ **mv„ mivsina)** , ,, \_

формулой **R =** —- =—1 **-** (см. задачу 11.69). Отсюда

***еВ еВ***

v = . Кинетическая энергия протона **W =^~**

***msina*** *2*

Подставляя выражение для v, получим **W =** ^—.

*2****msin~ а***

Подставляя числовые данные, получим **W** = 6,9-10“17 Дж  
или **W** = 431 эВ.

1. Электрон влетает в плоский горизонтальный кон-  
   денсатор параллельно его пластинам со скоростью **v = 107m/c.**Длина конденсатора / = 5 см. Напряженность электрического  
   поля конденсатора £ = 10кВ/м. При вылете из конденсатора  
   электрон попадает в магнитное поле, перпендикулярное к  
   электрическому полю. Индукция магнитного поля **В =** ЮмТл.  
   Найти радиус **R** и шаг **h** винтовой траектории электрона в **маг-**нитном поле.

Решение:

При вылете из конденсатора электрон имеет скорость

**-** I 2 (eErf **...**

v =, V + — (1), направление которой опреде-

V \пп)

V

ляется углом **а** , причем **cos а = —** — (2) (см. задачу 9.72).

v

Из (1) найдем v' = 1,3-107 м/с. Из (2) найдем **cos а** = 0,77 ,  
**sin а = 0,64,** or w 40°. Разложим скорость v' на две со-  
ставляющие: v', направленную вдоль поля, и **v**'n, направ-  
ленную перпендикулярно к полю. Проекция траектории  
электрона на плоскость, перпендикулярную к индукции **В,**представляет собой окружность, радиус которой равен  
искомому радиусу винтовой траектории и определяется  
**228**

**ir i\* *n mv„ m{v sma)* , „**

формулой **R =** —rL = **—\*—-—-** (см. задачу 11.69). T. к.  
**eB eB**

2жК 2л7л

период обращения электрона Г = = , то шаг

***v sin а еВ***

**,** *2****лт(у cosa)***

винтовой траектории электрона **h** = **vrT** = .

Подставляя числовые данные, получим = 4,7 • 10-3 м и  
й = 36-10"3м.

1. Электрон, ускоренный разностью потенциалов  
   **U =** 3 кВ, влетает в магнитное поле соленоида под углом **а** = 30°  
   К его оси. Число ампер-витков соленоида **IN** = 5000 Ав. Длина  
   Соленоида **1 = 25** см. Найти шаг **h** винтовой траектории элект-  
   рона в магнитном поле.

**Решение:**

**Имеем h= ^mlvCosa —(j), Где (2) (см. за-**

***еВ***

***12 eU***

***’Ч—~‘***

дачу 11.88). Магнитная индукция соленоида **B = /j/jq—**

***IN***

**). Подставляя (2) в (1), получим h =**

***In^leUmlcosa***

**Wo IN**

**Йодставляя числовые данные, получим h = 0,04 м.**

1. Через сечение **S** = **аЪ** медной пластинки толщиной  
   **а** = 0,5 мм и высотой 6 = 10 мм пропускается ток / = 20А. При  
   Помещении пластинки в магнитное поле, перпендикулярное к  
   ребру **Ь** и направлению тока, возникает поперечная разность по-  
   тенциалов **U =** 3,1 мкВ. Индукция магнитного поля £ = 1Тл.  
   Найти концентрацию **п** электронов проводимости в меди и их  
   скорость v при этих условиях.

Решение:

При протекании тока **I** вдоль проводящей пластины, по-  
мещенной перпендикулярно магнитному полю, возникает

***IB***

поперечная разность потенциалов **и** = , где **а** — тол-

щина пластины, **В** — индукция магнитного поля. Отсюда

та

***IB***

концентрация электронов проводимости **п — -**

***Uea***

**—** 8,1 • 1028 м J. По определению плотности тока **j** = **vne** — (1),  
с другой стороны, **j** = —, где / — сила тока, **S = ab** —

***S***

площадь сечения медной пластинки, тогда **j** = — — (2).

***аЪ***

Приравнивая правые части уравнений (1) и (2), получаем

/ / ЛЛ1 .  
**vne** = —, откуда скорость v = —— - 0,31 мм/с.

***аЪ***

аЪпе

1. Через сечение **S = ab** алюминиевой пластинки **(а** —  
   толщина и **b** — высота) пропускается ток **I =** 5 А. Пластинка  
   помещена в магнитное поле, перпендикулярное к ребру **b** и на-  
   правлению тока, Найти возникающую при этом поперечную  
   разность потенциалов **U** . Индукция магнитного поля **В** = 0,5 Тл.  
   Толщина пластинки **а** = 0,1 мм. Концентрацию электронов про-  
   водимости считать равной концентрации атомов.

Решение:

Поперечная разность потенциалов **U** = (1). По ус-

***IB***

***пеа***

ловию задачи концентрация электронов проводимости

А

**равна концентрации атомов, поэтому « = -—— — (2), где**

***М***

молярная масса, **N**л —

**р — плотность алюминия, р**

число Авогадро. Подставляя (2) в (1), окончательно полу-  
чаем **U** = = 2,72 мкВ.

***рМлеа***

1. Пластинка полупроводника толщиной **а** = 0,2 мм поме-  
   щена в магнитное поле, перпендикулярное к пластинке. Удель-  
   ное сопротивление полупроводника **р = 10** мкОм м. Индукция  
   магнитного поля **В =** 1 Тл. Перпендикулярно к направлению  
   поля вдоль пластинки пропускается ток 7 = 0,1 А. При этом воз-  
   никает поперечная разность потенциалов **U =** 3,25 мВ. Найти по-  
   движность **и** носителей тока в полупроводнике.

Решение:

**\_ *IB***

.Поперечная разность потенциалов **U** = (1). Удел fe-

ncer

1

ная проводимость материала сг - — = **пей**, где **р** — удель-

***Р***

ное сопротивление материала, **и** — подвижность носите-  
лей тока. Тогда концентрация носителей тока **п**~—— —

***реи***

(2). Подставляя (2) в (1), получаем **U** = > откуда по-

ст

***Ua***

движность носителей тока в проводнике **u =**

= 0,65 м2/(В с).

1. В однородном магнитном поле с индукцией **В** = 0,1 Тл  
   движется проводник длиной / = 10см. Скорость движения про-  
   водника v = 15 м/с и направлена перпендикулярно к магнитному  
   полю. Найти индуцированную в проводнике э.д.с. **е .**

Решение:

Э.д.с. индукции определяется по закону Фарадея:

**s-** . В этом уравнении знак «минус» соответствует

***dt***

правилу Ленца. Поскольку лФ = **BdS** = **Bldx,** то  
Их

**с** = **Bl— = Blv** = 0,15 В.  
**dt**

1. Катушка диаметром **D-** 10 см, состоящая из **N =** 500  
   витков проволоки, находится в магнитном поле. Найти среднюю  
   э.д.с. индукции £ср, возникающую в этой катушке, если индук-  
   ция магнитного поля увеличивается в течение времени **t** = 0,1 с  
   от 0 до 2 Тл.

Решение:

ДФ

Согласно закону Фарадея **s =** , где изменение по-

**и *At***

тока магнитной индукции через катушку ДФ = **NSAB**.  
„ Д**В**

Следовательно, **е - NS**—, где **АВ** = **В**2 **- В{.** По условию

***At***

**Bt=0, В**2 =2Тл. Подставляя числовые данные, получим  
£сР = 78,5 В.

1. Скорость самолета с реактивным двигателем  
   v = 950 км/ч. Найти э.д.с. индукции **е**, возникающую на концах  
   крыльев такого самолета, если вертикальная составляющая  
   напряженности земного магнитного поля **Н**, = 39,8 А/м и размах  
   крыльев самолета / = 12,5 м.

Решение:

ДФ

Согласно закону Фарадея **£ =** (1), где изменение

***At***

магнитного потока **АФ- В AS sin а** или, поскольку

**а -** 90°, ДФ = **BAS** — (2). Т. к. магнитная индукция  
**В** = > а площадь, перекрываемая крыльями самолета

за время **At**, равна **AS** = **vlAt**, то из (2) получим

ДФ = **/j^HvlAt**. Тогда из (1) **s- BBnHvlAt \_\_** лод.

***At***

ставляя числовые данные, получим **s** = 0,165 В.

1. В магнитном поле, индукция которого **В** = 0,05 Тл, вра-  
   щается стержень длиной / = 1м с угловой скоростью  
   **& -** 20 рад/с. Ось вращения проходит через конец стержня и па-  
   раллельна магнитному полю. Найти э.д.с. индукции **е**, воз-  
   никающую на концах стержня.

Решение:

ДФ

Согласно закону Фарадея **е-** (1), где изменение

***At***

^магнитного потока ДФ = **В AS sin а** или, поскольку

**[а** =90°, ДФ = **В AS** . За один оборот стержень пересекает

^площадь **AS - rd**2 за время **At** = **t.** Тогда магнитный поток,

.Пересекаемый стержнем за один оборот, Ф = **Brd2**, а воз-

: - *Вп ■ 12*

^икающая на концах стержня э.д.с. **£** = =

**'= Втй2п =**

***В12ю***

2

**. Подставляя числовые данные, получим**

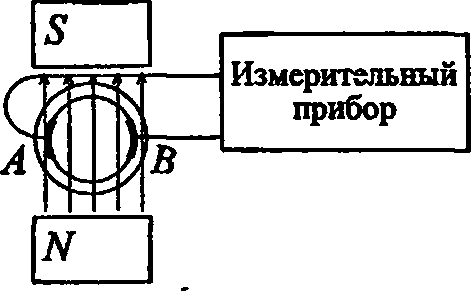
£ = 0,5 В.

1. Схема, поясняющая принцип действия электромагнит-  
   ного расходомера жидкости, изображена на рисунке. Трубо-  
   провод с протекающей в нем проводящей жидкостью помещен в  
   магнитное поле. На электродах **А и В** возникает э.д.с. индук-  
   ции. Найти скорость v течения жидкости в трубопроводе, если  
   индукция магнитного поля **В** = 0,01 Тл, расстояние между'

электродами (внутренний диаметр трубопровода) **d -** 50 мм и  
возникающая при этом э.д.с. **е** = 0,25 мВ.

Решение:

По закону Фарадея э.д.с.  
электромагнитной индукции  
ДФ  
**At**



**Считая начальный**

**\*,= —**

магнитный поток Ф, = 0,  
получаем ДФ **= Ф2= BS,** где  
**S- Id** — площадь, пронизываемая магнитным потоком,  
/ = уД**t** — расстояние, которое проходит струя за время  
**At.** Тогда э.д.с. индукции **st =Blv,** откуда скорость тече-

***£■***

ния жидкости в трубопроводе v = = 0,5 м/с.

1. Круговой проволочный виток площадью 5 = 0,01м2находится в однородном магнитном поле, индукция которого  
   **В** = 1 Тл. Плоскость витка перпендикулярна к направлению ма-  
   гнитного поля. Найти среднюю э.д.с. индукции **s**Cfs, возника-  
   ющую в витке при включении поля в течение времени / = 10 мс.

Решение:

„ ДФ **SAB** „

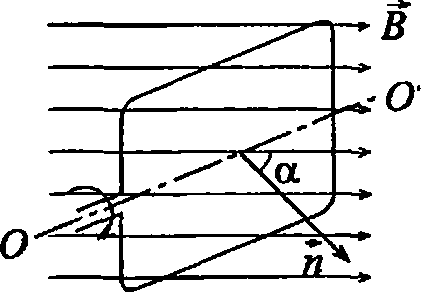
Имеем **еср** = —— = ——. Поскольку индукция **В** умень-  
шается от 1Тл до 0, **АВ** = (0-l)= -1Тл. Подставляя число-  
вые данные, получим **scp** = 1В.

1. В однородном магнитном поле, индукция которого  
   **В** = 0,1 Тл, равномерно вращается катушка, состоящая из  
   **N =** 100 витков проволоки. Частота вращения катушки и = 5с'1;  
   площадь поперечного сечения катушки **S** = 0,01 м2. Ось враще-  
   ния перпендикулярна к оси катушки и направлению магнитного  
   234

**боля. Найти максимальную э.д.с. индукции стах во враща-  
ющейся катушке.**

j^ineane:

Рассмотрим один виток рамки. При  
равномерном вращении вокруг оси  
0**(У** с угловой скоростью **со** ма-  
гнитный поток через его площадь  
будет меняться по закону  
**W — BScosa** — (1), где **S** — пло-  
1радь рамки; **а** — угол между нор-



малью к плоскости и вектором **В.**

©читая, что при **t** = 0 **а =** 0, имеем **a = co t.** Индуцируемая

.. , ДФ

***ЛФ***

***dt***

**— (2). По-**

в витке э.д.с. индукции **si** = **пт**

\* ' д/->М дt  
скольку ф(/) = BS cos а = BS cos со • t (согласно (1)), то,

рфференцируя эту функцию и помня, что

***ffieosoo-t)* . . ...**

***- — —cosmt,* получим *Sj = BScosinco-t* —(3). Ин-**

дуцируемая в **N** витках э.д.с. будет в **N** раз больше:  
**Ns, = NBSco sin oo't - smsinco-t,** где **sm** —максималь-  
ное значение (амплитуда) э.д.с. индукции: **ет = NBSa** —

1. . Следовательно, при равномерном вращении рамки в  
   Однородном магнитном поле в ней возникает переменная  
   $рнусоидал ьная э.д.с. самоиндукции. Подставляя в (4)  
   Значение угловой скорости **со -** 2**т**, где **п** — частота  
   Вращения рамки, получим **ет - 2mNBS** « 3,14 В.

: 11.100. В однородном магнитном поле, индукция которого  
**2**?=0,8Тл, равномерно вращается рамка с угловой скоростью  
<э = 15рад/с. Площадь рамки S = 150cm2. **Ось** вращения нахо-  
Дйгся в плоскости рамки и составляет угол **а** = 30° с направ-  
лением магнитного поля. Найти максимальную э.д.с. индукции  
во вращающейся рамке.

Решение:

Мгновенное значение э.д.с. индукции **s** определяется  
е/Ф

уравнением **е-** — (1). При вращении рамки

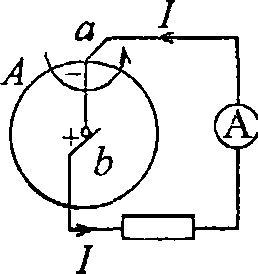
***dt***

магнитный поток Ф, пронизывающий рамку, изменяется  
по закону Ф = **BS sin a cos со**-1 — (2). Подставив (2) в (1) и  
продифференцировав по времени, найдем мгновенное  
значение э.д.е. индукции **£ = BSсо sin a sin со-t.** Макси-  
мального значения э.д.с. достигнет при **sinco-t = \.** Отсюда  
**£тах = BSсо since** ; **ею** = 0,09 В.

11.101. Однородный медный диск **А** радиусом Л = 5 см по-  
мещен в магнитное поле с индукцией # = 0,2Тл так, что плос-  
кость диска перпендикулярна к направлению магнитного поля.  
По цепи **aba** может идти ток (а и **b** — скользящие контакты).  
Диск вращается с частотой и = 3 с-1. Найти э.д.с. **е** такого  
генератора. Указать направление электрического тока, если ма-  
гнитное поле направлено от нас к чертежу, а диск вращается  
против часовой стрелки.

По закону Фарадея э.д.с. электромагнитной  
**ДФ ~**

Решение:



индукции **£,-** . Считая начальный

***At***

магнитный поток Ф, = 0, получаем  
ДФ = -Ф, = **-BS**, где **S =** 7**tR**2 — площадь  
диска. В состоянии покоя **е, = 0,** а при

***BnR****2*

**■, где At - Т**

***At***

**вращении диска э.д.с. генератора st -■**

период обращения диска, т. е. время одного оборота.  
Поскольку частота вращения диска т0 оконча-

тельно э.д.с. генератора = **B**7**tR2n =** 4,71 мВ. На сво-  
236

бодные электроны, находящиеся в верхней части диска, со  
(Стороны магнитного поля действует сила Лоренца,  
направленная вверх. В результате этого воздействия в  
центре диска накапливается положительный заряд, а на  
верхнем крае — отрицательный. Поскольку за положи-  
тельное принято направление тока от «плюса» к «минусу»,  
то ток будет направлен так, как показано на рисунке.

11.102. Горизонтальный стержень длиной / = 1м вращается  
вокруг вертикальной оси, проходящей через один из его концов.  
Ось вращения параллельна магнитному полю, индукция  
которого **В =** 50 мкТл. При какой частоте вращения **п** стержня  
разность потенциалов на концах этого стержня **U** -1 мВ?

Решение:

ДФ

Согласно закону Фарадея **е =** (1), где изменение

***At***

магнитного потока ДФ = **В AS** — (2), где площадь,  
покрываемая сечением стержня за один оборот, равна  
Д5 = я-/2 — (3). Подставив (3) в (2), а затем (2) в (1),  
**Вя**!2 „

получим **е =** . Здесь **At** — время одного оборота.

***At***

Отсюда и = — = —. Подставляя числовые данные,  
**At В яг**

получим **п** = 6,4 с-1.

1. На соленоид длиной / = 20см и площадью попе-  
   речного сечения **S** = 30 см2 надет проволочный виток. Обмотка  
   соленоида имеет **N** = 320 витков, и по нему идет ток **I - ЗА.**Какая средняя э.д.с. £ср индуцируется в надетом на соленоид

витке, когда ток в соленоиде выключается в течение времени  
Г = 1мс?

ДФ

Имеем =

***ABS***

***At***

**Поскольку** AB = B2 **-** В,**, где**

ср **At**

**В**, = 0, а Д = , а Д/ = \* = 1мс, то sc

**/** *9* ***U***

= 18 мВ.

1. Какая средняя э.д.с. **е** индуцируется в витке, если

соленоид, рассмотренный в предыдущей задаче, имеет железный  
сердечник?

Решение:

Напряженность магнитного поля внутри соленоида не

***N1***

зависит от наличия сердечника и равна **Н** = -у = 4800 А/м.

По графику определим **В =** 1,7 Тл. Тогда **ц**  = 265 .

***МоН***

Подставляя в выражение для **s** из предыдущей задачи  
значение **ц,** найдем **s** = 4,8 В.

1. На соленоид длиной / = 144см и диаметром £) = 5см  
   надет проволочный виток. Обмотка соленоида имеет **N** = 2000  
   витков, и по ней течет ток **1 = 2 А.** Соленоид имеет железный  
   сердечник. Какая средняя э.д.с. £ср индуцируется в надетом на

соленоид витке, когда ток в соленоиде выключается в течение  
времени **t** = 2мс?

Решение:

Изменение магнитного потока в витке достигается изме-  
нением тока в соленоиде. При этом индуцируемая э.д.с.

**е =** -112 — — (1), где **L**2 = **/jQ/jn>n,Sl** — взаимная индук-  
**At**

тивность витка и соленоида. Для соленоида

***N***

***TrD\****

Перечного сечения, тогда Z,, = **/.i0juN** (2), т. к. для

4

витка **п**2 = 1. Считая начальное время и конечный ток  
равными нулю, получаем **At = -t** и Д**1 = 1,** тогда, с учетом  
(2), уравнение (1) можно переписать в виде

1. . Напряженность магнитного поля  
   **IN**

***пР1!  
41***

**\*ср =**

**число витков на единицу длины, S -**

***я£г***

**— площадь по-**

соленоида **Н = 1пх** = — = 2,77 • 10' А/м, по графику нахо-  
дим значение магнитной индукции **В =** 1,6 Тл. Поскольку  
**В**

3£ = //0//#, то //0// =— = 0,575 мГн/м. Подставляя найдеп-  
**Н**

ное значение в уравнение (3), получим £ср = 1,61 В.

1. В однородном магнитном поле, индукция которого  
   **В** = ОД Тл, вращается катушка, состоящая из **N** = 200 витков,  
   **бсь** вращения катушки перпендикулярна к ее оси и к направ-  
   лению магнитного поля. Период обращения катушки **Т** = 0,2 с;  
   Площадь поперечного сечения **S = 4** см2. Найти максимальную  
   **Э.д.с.** индукции **етах** во вращающейся катушке.

**Решение:**

Мгновенное значение э.д.с. индукции **е** определяется  
**№**

уравнением **е =** — (1). Потокосцепление **Х¥ = ЫФ,**

***dt***

**где N** — число витков катушки, пронизываемых магнит-  
ным потоком Ф. Подставив выражение VP в (1), получим  
с/Ф

**s = -N—** (2). При вращении катушки магнитный по-

ток Ф, пронизывающий катушку в момент времени /,

1. — угловая скорость вращения катушки. Подставив (3) в  
   (2) и продифференцировав по времени, найдем мгновенное  
   значение э.д.с. индукции **s = NBcosincot.** Максимальною  
   значения э.д.с. достигнет при **sin cot-**1. Отсюда, под-

2 **п**

ставляя (4), получим **етах** = **NBS** — = 250мВ.

1. Катушка длиной / = 20см имеет **N = 400** витков.  
   Площадь поперечного сечения катушки **S** = 9 см2. Найти индук-  
   тивность I, катушки, Какова будет индуктивность 12 катушки,  
   если внутрь катушки введен железный сердечник? Магнитная  
   проницаемость материала сердечника **ц** = 400.

Решение:

Индуктивность катушки определяется выражением

Учитывая, что магнитная проницаемость

**, N2S  
L = m —г-**

воздуха // = 1, получим **1^** = 0,9-КГ3 Гн; **Ь**2 = 0,36 Г и.

1. Обмотка соленоида состоит из **N** витков медной про-  
   волоки, поперечное сечение которой **S** = 1мм2. Длина соленойла  
   / = 25 см; его сопротивление **R =** 0,2 Ом. Найти индуктивность  
   **L** соленоида.

Решение:

Имеем **L** = ////„ — (1), где **S'** = **т-~** — (2) — площадь

***N****2****S'***

поперечного сечения соленоида. Число витков **N** найдем

из соотношения **N = — .** Диаметр проволоки **d** можно най-  
**d**

ти, зная, что площадь поперечного сечения проволоки  
240

**Ш~**7**Г—,** откуда **d = J—.** Тогда **N = —J— = 222.** Со-  
4 К г 2 V ■S'

противление **R** проволоки определяется по формуле:

***I' SR***

**R = р**—, откуда длина проволоки /' = — = 11,8 м. Разделив  
£ **р**

длину всей проволоки на количество витков, мы получим

/' Л

длину окружности одного витка, т. е. — = 2**яг** , откуда

***N***

***Г***

**г =** . Подставляя это выражение в (2), получим

**. *2nN***

***h'V-***

**S'** = **■ — =** 2,2 • 10 4 м2. Подставляя числовые данные в (1),

**4 *7tN~***

получим **L** = 54,5 • 1 (Г6 Гн.

1. Катушка длиной / = 20 см и диаметром D = 3 см име-  
   |Т **N =** 400 витков. По катушке идет ток / = 2 А. Найти индук-  
   тивность **L** катушки и магнитный поток Ф, пронизывающий  
   йпощадь ее поперечного сечения.

**Решение:  
Имеем L = ////0**

***N2S***

**, где площадь поперечного сечения**

**катушки S = k—. Откуда L = pp**0**4**

***tcN****2****D****2*

***41***

**= 0,71-НГ’Гн.**

Магнитный поток, пронизывающий всю катушку, равен  
**ЫФ = L**1, тогда магнитный поток, пронизывающий плос-  
кость поперечного сечения, равен Ф - = 3,55 • 10"6 Вб.

1. Сколько витков проволоки диаметром **d** -0,6 см име-  
   ет однослойная обмотка катушки, индуктивность которой  
   /. = **1** мГн **и** диаметр **D** = **4cm? Витки** плотно прилегают друг к  
   Другу.
2. Катушка с железным сердечником имеет площадь по-  
   перечного сечения 5 = 20 см2 и число витков **N =** 500. Индук-  
   тивность катушки с сердечником **L** = 0,28 Гн при токе через  
   обмотку **I =** 5 А. Найти магнитную проницаемость // железного  
   сердечника.

**Имеем L = ////0**

лМ*2*й*2*

***41***

**(см. задачу 11.109). Здесь длина**

**катушки l = dN. Следовательно, L = ////04 dL**

***лМР****2****4 d***

**откуда**

*N = ■*

***MMqkD2***

**= 380.**

Решеиие:

Мгновенное значение потокосцепления для катушки опре-  
деляется выражением ¥ = /,/ — (1). Кроме того,

**= МФ - MBS** — (2) (см. задачу 11.106). Приравняв пра-  
вые части уравнений (1) и (2), получим **MBS -LI**, откуда

**В=—^\ В** = 1,4Тл. Магнитная индукция и напряженность  
магнитного поля связаны соотношением **В** = **////„#.** Отсю-  
да // = **-** . По графику зависимости индукции **В** от

напряженности **Н** магнитного поля определим значение  
**Н,** соответствующее **В** = 1,4 Тл: # = 0,8-103 А/м. Тогда  
// = 1400.

1. Соленоид длиной / = 50 см и площадью поперечного  
   сечения 5 = 2 см2 имеет индуктивность **L** = 0,2 мкГн. При каком  
   токе / объемная плотность энергии магнитного поля внутри  
   соленоида **W**0 = 1 мДж/м^?

Решение:

Объемная плотность энергии магнитного поля внутри

***Б~***

соленоида определяется по формуле **W**0 **=** — (1).

**2 *ИИо***

Индукция магнитного поля внутри соленоида равна  
**В** - — (2). Число витков **N** можно найти из вы-

***N2S***

**ражения для индуктивности соленоида: L = ////0**

/

**.откуда N =**

ч

|  |  |
| --- | --- |
| / | **MMoL** |
| **i** | **IS** |
| **\21SW,** | |

***1L***

**— (3). Подставляя (3) в (2), получим**

(1)

**Тогда из**

**= 1 А.**

***WQ =***

***i2l***

***2 IS***

**откуда**

1. Сколько витков имеет катушка, индуктивность кото-  
   рой **L ~** 1 мГн, если при токе **I** = 1А магнитный поток сквозь ка-  
   тушку Ф = 2 мкВб?

’Решение:

Магнитный поток сквозь катушку равен **МФ = L1**, откуда

ЛГ = —= 500.

Ф

1. Площадь поперечного сечения соленоида с железным  
   Сердечником 5 = 10 см2; длина соленоида / = 1 м. Найти маг-  
   нитную проницаемость **ц** материала сердечника, если маг-  
   нитный поток, пронизывающий поперечное сечение соленоида,  
   **Ф =** 1,4 мВб. Какому току **I**, текущему через соленоид,  
   соответствует этот магнитный поток, если известно, что индук-  
   тивность соленоида при этих условиях **L =** 0,44 Гн?

Решение:

Магнитный поток, пронизывающий поперечное сечение  
соленоида, Ф = **BScosa**, но т. к. **а = 0,** то **cosa = \** и

Ф

Ф = **BS** , откуда магнитная индукция **В =** — = 1,4 Тл. По

графику находим напряженность магнитного поля  
**Н** = 800А/м. Поскольку то // = —^— = 1392,6 ~

магнитная проницаемость материала сердечника. Магнит-  
ный поток через поперечное сечение катушки связан с ее  
индуктивностью соотношением **ИФ** = **Ы**, где число  
витков **N** может быть получено из выражения дя индук-

. **N2S** .. ГИГ

тивности соленоида: **L** = **/jjj**0 , откуда **N** = I =

**/ V WoS**

**=** 500. Тогда данный магнитный поток соответствует току  
М1>

/ = 4121 = 1,6 А.

***L***

1. В соленоид длиной / = 50см вставлен сердечник из  
   такого сорта железа, для которого зависимость **В =** /(**Н**) неизв-  
   естна. Число витков на единицу длины соленоида **N,** =400 см-1;  
   площадь поперечного сечения соленоида S = **10cm2.** Нантн  
   магнитную проницаемость **ц** материала сердечника при токе  
   через обмотку соленоида **I =** 5 А, если известно, что магнитный  
   поток, пронизывающий поперечное сечение соленоида с сер-  
   дечником, Ф = 1,6 мВб. Какова индуктивность **L** соленоида при  
   этих условиях?

Решение:

По закону Фарадея э.д.с. электромагнитной индукции  
ДФ

**s,=** — (1). Считая начальный магнитный поток

***At***

**Ф0=0,** получаем ДФ = Ф[. Э.д.с. самоиндукции  
244

Определяется формулой **ес =** -I— — (2)- Считая

начальный ток /0 =0, получаем Д1 **=** 1**,** тогда уравнения

Ф,

(1) и (2) можно переписать в следующем виде: **е,** = \*

(3) и **s** = — (4). Поскольку в нашем случае **е,** = **ес,**

***At***

го, приравнивая правые части уравнений (3) и (4),  
получаем Ф, = **LI** — (5). С другой стороны, полный поток,  
пронизывающий весь соленоид, Ф, = Ф**nl** — (6), где **п** —  
число витков на единицу длины соленоида, / — длина  
соленоида. Приравнивая правые части уравнений (5) и (6),  
получаем **Ы = Фп1**, откуда индуктивность соленоида

**L** = = 64 мГн. С другой стороны, **L = /л/л^Ш**, где

**ул** — магнитная проницаемость сердечника, **S** — площадь  
Поперечного сечения соленоида. Отсюда магнитная

Проницаемость сердечника **/л**  **5— = 636,6.**

***/л0п IS***

1. Имеется соленоид с железным сердечником длиной  
   1 = 50 см, площадью поперечного сечения 5 = 10 см2 и числом  
   рнггков **N** = 1000. Найти индуктивность **L** этого соленоида, если  
   ЙО обмотке соленоида течет ток: а) **I =** 0,1 А; б) **I =** 0,2 А;

Решение:

**в)7=2А-**

Имеем **L** = **/л/л**0 —-— — (1). Для того чтобы определить

***N2S***

индуктивность **L** соленоида, нужно найти магнитную  
Проницаемость **(л** сердечника. Вычислив по формуле

напряженность магнитного поля внутри соле-

ноида и воспользовавшись далее способом, описанным в  
задаче 11.39, найдем значения /у, соответствующие  
различным значениям тока **I.** Затем из (1) найдем зна-  
чение **L**. Данные запишем в таблицу:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| п. | **Н,** А/м | **В, 1л** | **И** | **L,** Гн |
| а | 200 | 0,8 | 3182 | 8 |
| б | 400 | 1,2 | 2387 | 6 |
| в | 4000 | 1,7 | 338 | 0.85 |

11.117. Две катушки намотаны на один общий сердечник. Ин-  
дуктивность первой катушки I, = 0,2 Гн, второй — **Ь**2 **=** 0.8 Гн;  
сопротивление второй катушки **R**2 = 600 Ом. Какой ток **I,** по-  
течет во второй катушке, если ток /, = 0,3 А, текущий в первой  
катушке, выключить в течение времени У = 1 мс?

Решение:

Взаимная индуктивность катушек **1**^2 **= fifj**0**nxn2Sl** — (1).  
Индуктивность первой катушки **Ц** = **/j/j0nflS** — (2), ин-  
дуктивность второй катушки **L**2 = **/л/J^llS** — (3).  
Умножая (2) на (3), получим **ЦЬ**2 = (**/у/у057)**2**n\n\**, откуда

***Jll****2*

= - — (4). Подставляя (4) в (1), найдем

***MMols***

Z|2 = 2 . При выключении тока /, во второй катушке

***cil***

возникнет э.д.с. равная е2= **-Ц-,** —- — (5). Согласно

***dt***

закону Ома для замкнутой цепи /2 = — или, с учетом (5),

средний ток во второй катушке

**R-, Д/**

**= лЁИа=0>2А.**

***R t***