

15.3. На рис. 21 дана схема полупроводникового диода с p - n -переходом. В каком направлении будет проходить ток через диод? Почему?

Решение.

Полупроводниковый диод работает в пропускном режиме, если к полупроводнику p -типа применен положительный потенциал, а к полупроводнику n -типа — отрицательный потенциал. При применении напряжения в обратном направлении полупроводниковый диод работает в непропускном (запирающем) режиме.

Ответ: Через диод будет проходить ток, если к A приложить положительный потенциал, а к B — отрицательный, и не будет проходить, если приложить к A — отрицательный, а к B — положительный потенциал.

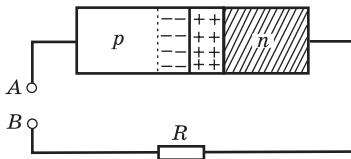


Рис. 21

16. Магнитное поле.

Закон Ампера

16.1. Определить индукцию однородного магнитного поля, в котором на прямой провод длиной 10 см, расположенный под углом 30° к линиям индукции, действует сила 0,2 Н, если по проводнику проходит ток 8 А.

Дано:

$$l = 0,1 \text{ м,}$$
$$\alpha = 30^\circ,$$
$$F = 0,2 \text{ Н,}$$
$$I = 8 \text{ А.}$$

Найти

***B*.**

Решение.

Используя закон Ампера

$$F = BIl \sin \alpha,$$

находим

$$B = \frac{F}{Il \sin \alpha};$$

$$B = \frac{0,2 \text{ Н}}{8 \text{ А} \cdot 0,1 \text{ м} \cdot 0,5} = 0,5 \text{ Тл.}$$

Ответ: $B = 0,5 \text{ Тл.}$

16.2. Прямолинейный проводник, активная длина которого 0,2 м, помещен перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля. Определить силу тока, проходящего по проводнику, если магнитное поле с индукцией 4 Тл действует на него с силой 2,4 Н.

Дано:

$$l = 0,2 \text{ м,}$$
$$\alpha = 90^\circ,$$
$$B = 4 \text{ Тл,}$$
$$F = 2,4 \text{ Н.}$$

Найти

***I*.**

Решение.

Из закона Ампера $F = BIl \sin \alpha$ находим

$$I = \frac{F}{Bl \sin \alpha};$$

$$I = \frac{2,4 \text{ Н}}{4 \text{ Н} / (\text{А} \cdot \text{м}) \cdot 0,2 \text{ м} \cdot 1} = 3 \text{ А.}$$

Ответ: $I = 3 \text{ А.}$

16.3. В прямолинейном проводе, расположенном в воздухе, сила тока равна 10 А. Определить индукцию магнитного поля этого тока на расстоянии 20 см от проводника. Магнитная постоянная $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м.}$

Дано:

$$I = 10 \text{ А,}$$
$$r = 0,2 \text{ м,}$$
$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$$

или $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Тл} \cdot \text{м/А,}$

$$\mu = 1.$$

Найти

***B*.**

Решение.

Индукция магнитного поля, создаваемого прямолинейным проводником с током,

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi r};$$

$$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Тл} \cdot \text{м/А} \cdot 1 \cdot 10 \text{ А}}{2\pi \cdot 0,2 \text{ м}} =$$
$$= 10^{-5} \text{ Тл.}$$

Ответ: $B = 10^{-5} \text{ Тл.}$

16.4. Определить индукцию магнитного поля на оси соленоида, состоящего из 200 витков, если сила тока в нем равна 10 А. Длина соленоида 15,7 см.

Дано:

$$n = 200,$$

$$I = 10 \text{ А},$$

$$l = 0,157 \text{ м},$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Тл} \cdot \text{м/А},$$

$$\mu = 1.$$

Найти

B .

Решение.

Индукция магнитного поля на оси соленоида, по которому течет ток, равна

$$B = \frac{\mu_0 \mu I n}{l};$$

$$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 10 \cdot 200}{0,157} =$$

$$= 16 \cdot 10^{-3} \text{ Тл} = 0,016 \text{ Тл}.$$

Ответ: $B = 0,016 \text{ Тл}$.

16.5. Определить индукцию магнитного поля в центре кругового провода, радиус которого 3 см, если сила тока в нем 4,8 А.

Дано:

$$r = 0,03 \text{ м},$$

$$I = 4,8 \text{ А},$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Тл} \cdot \text{м/А},$$

$$\mu = 1.$$

Найти

B .

Решение.

Индукция магнитного поля в центре кругового тока

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2r};$$

$$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Тл} \cdot \text{м/А} \cdot 4,8 \text{ А}}{2 \cdot 0,03 \text{ м}} =$$

$$= 32\pi \cdot 10^{-6} \text{ Тл} = 100,48 \cdot 10^{-6} \text{ Тл} \approx 10^{-4} \text{ Тл}.$$

Ответ: $B \approx 10^{-4} \text{ Тл}$.

16.6. С какой силой взаимодействуют два параллельных проводника длиной 0,5 м каждый, по которым текут токи 10 и 40 А в одном направлении, если они находятся в воздухе на расстоянии 0,5 м друг от друга?

Дано:

$$l = 0,5 \text{ м,}$$

$$I_1 = 10 \text{ А,}$$

$$I_2 = 40 \text{ А,}$$

$$r = 0,5 \text{ м,}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$$

$$\text{или } 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2,$$

$$\mu = 1.$$

Найти

F .

Решение.

Сила взаимодействия двух проводников с токами, расположенных на расстоянии r друг от друга, равна

$$F = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2 l}{2\pi r};$$

$$F = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2 \cdot 1 \cdot 400 \text{ А}^2 \cdot 0,5 \text{ м}}{2\pi \cdot 0,5 \text{ м}} = 8 \cdot 10^{-5} \text{ Н.}$$

Ответ: $F = 8 \cdot 10^{-5} \text{ Н.}$

17. Магнитный поток.

Работа при перемещении проводника с током в магнитном поле

17.1. Определить магнитный момент кольцевого проводника диаметром 20 см, если по нему проходит ток 10 А.

Дано:

$$d = 0,2 \text{ м,}$$

$$I = 10 \text{ А.}$$

Найти

p_m .

Решение.

Магнитный момент кольцевого проводника с током равен

$$p_m = IS = \frac{\pi d^2 I}{4};$$

$$p_m = \frac{3,14 \cdot 0,04 \text{ м}^2 \cdot 10 \text{ А}}{4} = 0,314 \text{ А} \cdot \text{м}^2.$$

Ответ: $p_m = 0,314 \text{ А} \cdot \text{м}^2.$

17.2. В однородном магнитном поле индукцией 15 Тл проводник переместился перпендикулярно линиям магнитной индукции на 10 см. Какую работу совершил при этом электрический ток, если длина активной части проводника $l = 40$ см, а сила тока в нем 2 А?

Дано:

$$B = 15 \text{ Тл,}$$

$$r = 0,1 \text{ м,}$$

$$l = 0,4 \text{ м,}$$

$$I = 2 \text{ А,}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

Найти

A.

Решение.

Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле равна

$$A = F_A r = BIlr \sin \alpha \quad (\sin 90^\circ = 1);$$

$$A = 15 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} \cdot 2 \text{ А} \cdot 0,4 \text{ м} \cdot 0,1 \text{ м} = 1,2 \text{ Дж.}$$

Ответ: $A = 1,2 \text{ Дж.}$

17.3. Определить вращающий момент плоского контура площадью $0,04 \text{ м}^2$, помещенного в однородное магнитное поле индукцией 20 Тл , если по контуру проходит ток 10 А и если вектор магнитного момента перпендикулярен вектору индукции магнитного поля.

Дано:

$$S = 0,04 \text{ м}^2,$$

$$I = 10 \text{ А,}$$

$$B = 20 \text{ Тл,}$$

$$\alpha = 90^\circ.$$

Найти

M.

Решение.

На плоский замкнутый контур с током, помещенный в однородное магнитное поле, действует вращающий момент, модуль которого равен

$$M = BIS \sin \alpha;$$

$$M = 20 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} \cdot 10 \text{ А} \cdot 0,04 \text{ м}^2 \cdot 1 = 8 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Ответ: $M = 8 \text{ Н} \cdot \text{м.}$

17.4. Какую работу совершит ток 4 А , протекающий по проводнику, если он пересечет магнитный поток, равный $1,5 \text{ Вб}$?

Дано:

$$I = 4 \text{ А,}$$

$$\Delta\Phi = 1,5 \text{ Вб.}$$

Найти

A.

Решение.

Работа, совершаемая током,

$$A = I\Delta\Phi;$$

$$A = 4 \text{ А} \cdot 1,5 \text{ Вб} = 6 \text{ А} \cdot \text{В} \cdot \text{с} = \\ = 6 \text{ Дж.}$$

Ответ: $A = 6 \text{ Дж.}$

17.5. Как изменится магнитный момент кольцевого проводника, если его радиус уменьшить в два раза, а силу тока увеличить в пять раз?

Дано:

$$r_2 = 0,5r_1,$$

$$I_2 = 5I_1.$$

Найти

$$p_{m2} [p_{m1}.$$

Решение.

Магнитный момент контура

$$p_m = IS = \pi r^2 I.$$

Следовательно,

$$p_{m2} [p_{m1} = \pi r_2^2 I_2 [\pi r_1^2 I_1 =$$

$$= (0,5r_1)^2 \cdot 5I_1 [r_1^2 I_1 = 0,25 \cdot 5 = 1,25.$$

Ответ: $p_{m2} [p_{m1} = 1,25$. Магнитный момент увеличится в 1,25 раза.

18. Действие магнитного и электрического полей на движущийся заряд

18.1. Электрон и протон, двигаясь с одинаковыми скоростями, влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Сравнить радиусы кривизны траекторий протона и электрона, если масса протона $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг, а масса электрона $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

Решение.

Радиусы кривизны траекторий движения электрона и протона прямо пропорциональны их массам:

$$r_p [r_e = m_p [m_e = 1,67 \cdot 10^{-27} [9,1 \cdot 10^{-31} = 1835; r_p = 1835r_e.$$

Ответ: $r_p = 1835r_e$.

18.2. Электрон влетает в однородное магнитное поле со скоростью 16 000 км/с перпендикулярно его линиям индукции. Определить модуль магнитной индукции поля, если электрон движется в магнитном поле по окружности радиусом 1 см.

Дано:

$$v = 1,6 \cdot 10^7 \text{ м/с,}$$

$$\alpha = 90^\circ,$$

$$r = 10^{-2} \text{ м,}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг,}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

Найти

B.

Решение.

На электрон, влетающий в однородное магнитное поле, действует центростремительная сила — сила Лоренца, поэтому можем записать

$$Bev \sin \alpha = \frac{m_e v^2}{r},$$

откуда магнитная индукция поля

$$B = \frac{m_e v}{er \sin \alpha};$$

$$B = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 1,6 \cdot 10^7 \text{ м/с}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 10^{-2} \text{ м}} = 9,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м} / (\text{Кл} \cdot \text{с} \cdot \text{м}) = \\ = 9,1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} / (\text{А} \cdot \text{м}) = 9,1 \cdot 10^{-3} \text{ Тл.}$$

Ответ: $B = 9,1 \cdot 10^{-3} \text{ Тл.}$

18.3. Электрон влетает в однородное электрическое поле вдоль линии напряженности со скоростью 1000 км/с. Какое напряжение электрического поля требуется создать, чтобы скорость электрона увеличилась до 5000 км/с?

Дано:

$$v_1 = 10^6 \text{ м/с,}$$

$$v_2 = 5 \cdot 10^6 \text{ м/с,}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл,}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг.}$$

Найти

U.

Решение.

Изменение кинетической энергии электрона равно работе электрического поля по его

перемещению: $\frac{m_e}{2} (v_2^2 - v_1^2) = eU$.

Отсюда

$$U = \frac{m_e}{2e} (v_2^2 - v_1^2);$$

$$U = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot (25 - 1) \cdot 10^{12} \text{ м}^2 / \text{с}^2}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 68,25 \text{ В.}$$

Ответ: $U = 68,25 \text{ В.}$

18.4. Протон влетает в однородное космическое магнитное поле с индукцией 10^{-20} Тл со скоростью 500 км/с под углом 30° к линиям индукции. Определить радиус винтовой траектории протона. Выполнить рисунок и вывести формулу для этого радиуса.

Дано:

$$m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг,}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл,}$$

$$B = 10^{-20} \text{ Тл,}$$

$$v = 5 \cdot 10^5 \text{ м/с,}$$

$$\alpha = 30^\circ.$$

Найти

r .

Решение.

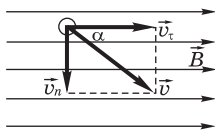


Рис. 22

На рис. 22 показано разложение вектора скорости \vec{v} протона на две составляющие: \vec{v}_n — перпендикулярно линиям магнитной индукции; \vec{v}_t — параллельно линиям индукции. При движении протона со скоростью v_n возникает сила Лоренца, под действием которой протон совершает вращение по окружности радиусом r . Так как $v_n = v \sin \alpha$, то сила Лоренца $F_{\text{Л}} = Bev_n = Bev \sin \alpha$. По второму закону Ньютона,

$$F_{\text{Л}} = \frac{mv_n^2}{r} = \frac{mv^2 \sin^2 \alpha}{r} \text{ или}$$

$$Bev \sin \alpha = \frac{mv^2 \sin^2 \alpha}{r}; \quad Be = \frac{mv \sin \alpha}{r},$$

откуда

$$r = \frac{mv \sin \alpha}{Be}; \quad r = \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot 5 \cdot 10^5 \text{ м/с} \cdot 0,5}{10^{-20} \text{ Н/(А} \cdot \text{м)} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 2,6 \cdot 10^{17} \text{ м.}$$

Ответ: $r = 2,6 \cdot 10^{17}$ м.

18.5. Радиус винтовой траектории заряженной частицы, попавшей в геомагнитное поле, оказался равным 10^7 м. Попадет ли эта частица в радиационный пояс Земли? Радиус Земли $6,37 \cdot 10^6$ м.

Решение.

Так как радиус винтовой траектории частицы больше радиуса Земли ($10^7 > 6,37 \cdot 10^6$), то частица в радиационный пояс не попадет.

Ответ: Нет.

19. Закон электромагнитной индукции. Правило Ленца

19.1. С какой скоростью надо перемещать проводник, длина активной части которого 0,5 м, под углом 50° к вектору магнитной индукции, модуль которого равен 0,8 Тл, чтобы в проводнике возбудилась ЭДС индукции 2 В?

Дано:

$$l = 0,5 \text{ м,}$$

$$\alpha = 50^\circ,$$

$$B = 0,8 \text{ Тл,}$$

$$\mathcal{E} = 2 \text{ В.}$$

Найти

v .

Решение.

ЭДС индукции, возникающая в прямолинейном проводнике, движущемся в магнитном поле,

$$\mathcal{E} = Blv \sin \alpha,$$

откуда

$$v = \frac{\mathcal{E}}{B/\sin \alpha};$$

$$v = \frac{2 \text{ В}}{0,8 \text{ Н / (А} \cdot \text{м)} \cdot 0,5 \text{ м} \cdot 0,766} = 6,53 \text{ м/с.}$$

Ответ: $v = 6,53 \text{ м/с}$.

19.2. Проводник, активная длина которого 0,4 м, движется со скоростью 10 м/с под углом 30° к линиям индукции однородного магнитного поля. Определить индукцию магнитного поля, если на концах проводника возникла ЭДС, равная 2 В.