

12.2. Сила Лоренца

12.2.1. Точечный заряд $q = 2 \cdot 10^{-6}$ Кл влетает со скоростью $v_0 = 10$ м/с в однородное магнитное поле (рис. 12.2.1) с индукцией $B = 0,1$ Тл. Векторы скорости заряда и индукции магнитного поля взаимно перпендикулярны. Найдите модуль и направление силы, действующей на заряд.

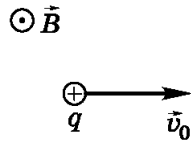


Рис. 12.2.1

12.2.2. Точечный заряд $q = -2 \cdot 10^{-8}$ Кл влетает со скоростью $v = 8$ м/с в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,25$ Тл. Угол между скоростью и магнитной индукцией $\alpha = 30^\circ$ (рис. 12.2.2). Определите модуль и направление силы, действующей на заряд.

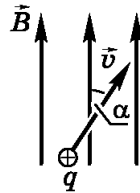


Рис. 12.2.2

12.2.4. Электрон влетает в область однородного магнитного поля с индукцией $B = 1$ мкТл перпендикулярно линиям магнитной индукции¹⁾. Определите частоту обращения электрона.

12.2.5. Электрон влетает со скоростью $v = 4 \cdot 10^4$ м/с в однородное магнитное поле с индукцией $B = 10^{-8}$ Тл перпендикулярно линиям магнитной индукции. Определите нормальное и тангенциальное ускорения электрона.

12.2.6. В однородное магнитное поле с индукцией $B = 2$ мТл перпендикулярно линиям магнитной индукции влетает протон, импульс которого $p = 1,67 \cdot 10^{-21}$ (кг · м)/с. Чему равен радиус кривизны траектории движения протона?

12.2.7. Частица массой $m = 10^{-22}$ кг и зарядом $q = 10^{-16}$ Кл движется по дуге окружности радиусом $R = 1$ см в магнитном поле с индукцией $B = 0,1$ Тл. Чему равна кинетическая энергия частицы?

12.2.8. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,1$ Тл по окружности со скоростью $v = 10^4$ м/с движется частица массой $m = 10^{-12}$ кг и зарядом $q = 10^{-10}$ Кл. Какой путь пройдет частица за время, в течение которого направление ее скорости изменится на противоположное?

12.2.9. Протон и электрон влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Сравните радиусы окружностей, которые описывают частицы, если у них одинаковы: а) скорости; б) энергии.

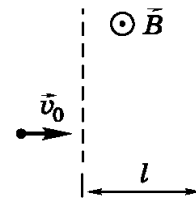


Рис. 12.2.3

12.2.10. Протон и электрон движутся в однородном магнитном поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Во сколько раз различаются их угловые скорости, если у частиц одинаковы: а) линейные скорости; б) энергии?

12.2.11. Электрон влетает в область магнитного поля шириной l . Скорость электрона \vec{v} перпендикулярна как вектору индукции поля \vec{B} , так и границам области (рис. 12.2.3). Под каким углом к границе области электрон вылетит из магнитного поля?

12.2.12. Из точечного источника вылетают частицы массой $m = 2 \cdot 10^{-10}$ кг и зарядом $q = 10^{-8}$ Кл с начальной скоростью $v_0 = 10^4$ м/с и движутся в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,05$ Тл, силовые линии которого перпендикулярны скорости \vec{v}_0 (рис. 12.2.4). На некотором расстоянии от источника находится мишень радиусом $R = 10$ см, расположенная перпендикулярно скорости \vec{v}_0 . На каких расстояниях от источника до мишени частицы попадут на ее поверхность? Силу тяжести не учитывать.

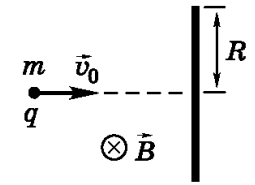


Рис. 12.2.4

12.2.13. Из точечного источника А (рис. 12.2.5) вылетают частицы массой $m = 10^{-20}$ кг и зарядом $q = 10^{-16}$ Кл и движутся в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,1$ Тл, силовые линии которого перпендикулярны вектору начальной скорости частиц. На расстоянии $l = 20$ см от источника находится фотопластинка шириной $l_0 = 1$ см. При каких скоростях частиц они смогут попасть на фотопластинку? Силу тяжести не учитывать.

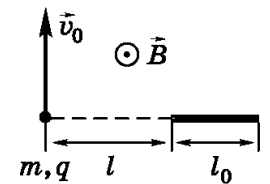


Рис. 12.2.5

12.2.14. По обмотке длинного соленоида радиусом $R = 5$ см протекает постоянный ток, создающий внутри соленоида однородное магнитное поле с индукцией $B = 5 \cdot 10^{-10}$ Тл. Между витками соленоида (перпендикулярно его оси) вдоль радиуса в него влетает электрон со скоростью $v = 10$ м/с (рис. 12.2.6). Определите время движения электрона внутри соленоида.

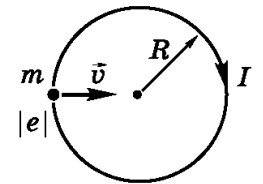


Рис. 12.2.6

12.2.15. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией $B = 4$ мТл со скоростью $v = 10^6$ м/с, перпендикулярно линиям индукции магнитного поля. Найдите модуль перемещения электрона за промежутки времени $\Delta t = 4,47 \cdot 10^{-9}$ с.

12.2.16. Электрон влетает в однородное магнитное поле с индукцией $B = 20$ мТл со скоростью $v = 5 \cdot 10^5$ м/с под углом $\alpha = 30^\circ$ к направлению линий индукции магнитного поля. Определите радиус и шаг винтовой линии, по которой будет двигаться электрон.

12.2.17. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 100$ мкТл по винтовой линии движется электрон. Определите скорость электрона, если радиус винтовой линии $R = 5$ см, а шаг $h = 20$ см.

12.2.18. Электрон влетает в однородное магнитное поле. В точке A (рис. 12.2.7) скорость электрона равна v и направлена под углом α к линиям индукции магнитного поля. При какой индукции магнитного поля электрон окажется в точке C ? Расстояние $AC = l$.

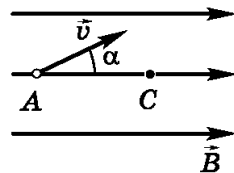


Рис. 12.2.7

12.2.19. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,4$ Тл движется протон по винтовой

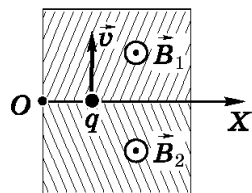


Рис. 12.2.8

линии с шагом $h = 10$ см. Кинетическая энергия протона $W = 4$ МэВ. Определите радиус винтовой линии.

12.2.20. Положительно заряженная частица влетает со скоростью $v = 10^6$ м/с перпендикулярно границе OX раздела двух однородных магнитных полей, индукции которых $B_1 = 2$ Тл и $B_2 = 8$ Тл (рис. 12.2.8). Векторы магнитной индукции полей перпендикулярны вектору скорости частицы. Определите среднюю скорость смещения частицы вдоль границы OX .

12.2.21. Заряженная частица, двигаясь в магнитном поле по дуге окружности радиусом $R_1 = 3$ см, прошла через свинцовую пластинку, расположенную на ее пути. Из-за этого радиус кривизны траектории движения частицы изменился и стал равным $R_2 = 1,5$ см. Определите относительное изменение скорости частицы.

12.2.22. Электрон проходит ускоряющую разность потенциалов $\Delta\phi = 1$ кВ и влетает в однородное магнитное поле с индукцией $B = 10^{-2}$ Тл под углом $\alpha = 30^\circ$ к силовым линиям. Определите радиус спирали, по которой будет двигаться электрон.

12.2.23. Протон, пройдя ускоряющую разность потенциалов $\Delta\phi = 1$ кВ, влетает в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,2$ Тл перпендикулярно линиям индукции. Определите радиус окружности, по которой будет двигаться протон, и его период обращения.

12.2.24. Первоначально покоящийся электрон разгоняется электрическим полем напряженностью \vec{E} . Через время $\Delta t = 0,01$ с после начала движения электрон влетает в однородное магнитное поле с индукцией $B = 10$ мкТл, силовые линии которого перпендикулярны вектору напряженности \vec{E} . Определите отношение нормального и тангенциального ускорений электрона в этот момент времени.

12.2.25. Первоначально покоящийся электрон разгоняется электрическим полем напряженностью $E = 1,6$ кВ/м. Пройдя путь s , электрон влетает в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,03$ Тл, силовые линии которого перпендикулярны скорости электрона, и далее движется по окружности радиусом $R = 2$ мм. Определите путь, пройденный электроном в электрическом поле.

12.2.26. Для определения отношения заряда $|e|$ электрона к его массе m пучок электронов разгоняют между катодом и анодом электронно-лучевой трубки. При вылете из трубки электроны попадают в область однородного магнитного поля с индукцией $B = 5 \cdot 10^{-4}$ Тл, силовые линии которого перпендикулярны скорости пучка. При этом световое пятно на экране, находящемся за анодом, смещается на $\Delta l = 7,5$ мм (относительно положения, когда магнитное поле отсутствует). Определите отношение $|e|/m$, если напряжение между анодом и катодом трубки $U = 10$ кВ, а расстояние между анодом и экраном $l = 10$ см.

12.2.27. Электрон влетает в область действия однородного магнитного поля с индукцией $B = 1$ мТл, где движется по дуге окружности радиусом $R = 2$ см. Затем электрон попадает в однородное электрическое поле так, что движется по направлению силовой линии. Какую разность потенциалов должен пройти электрон, чтобы его скорость изменилась в $n = 3$ раза?

12.2.28. Перпендикулярно однородному магнитному полю с индукцией $B = 0,1$ Тл возбуждено однородное электрическое поле с напряженностью $E = 10^3$ В/м. Перпендикулярно обоим полям движется, не отклоняясь от прямолинейной траектории, заряженная частица. Определите скорость частицы.

12.2.29. Какой кинетической энергией должна обладать α -частица, которая движется прямолинейно и равномерно во взаимно перпендикулярных электрическом и магнитном полях с напряженностью $E = 10$ кВ/м и индукцией $B = 0,1$ Тл соответственно?

12.2.30. Опишите движение электрона в электрическом и магнитном полях, линии напряженности \vec{E} и индукции \vec{B} которых параллельны. Начальная скорость электрона v и она направлена: а) параллельно полям; б) перпендикулярно полям; в) под углом α к направлению векторов \vec{E} и \vec{B} .

12.2.31. Электрон движется по окружности радиусом $R = 0,1$ м в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,1$ Тл. В момент времени $t_0 = 0$ включают электрическое поле, линии напряженности которого параллельны линиям магнитной индукции. Через какое время кинетическая энергия электрона возрастет в $n = 2$ раза? Напряженность электрического поля равна $E = 100$ В/м.

• **12.2.32.** Протон влетает в однородные электрическое и магнитное поля, силовые линии которых параллельны друг другу. Вектор начальной скорости протона \vec{v}_0 перпендикулярен этим полям. Во сколько раз шаг h_2 второго витка траектории протона больше шага h_1 первого витка?

• **12.2.33.** В пространстве созданы магнитное поле с индукцией $B = 0,06$ Тл и электрическое с напряженностью $E = 25$ В/м, причем силовые линии полей параллельны друг другу. В эти поля с начальной скоростью $v_0 = 25$ км/с влетает α -частица под углом $\beta = 60^\circ$ к силовым линиям. Чему равен шаг пятого витка спирали, по которой движется частица? Масса α -частицы приближенно равна $m_\alpha = 4m_p$, заряд $q_\alpha = 2|e|$, где $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл — заряд электрона, $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг — масса протона.

12.2.34. По наклонной плоскости с углом при основании $\alpha = 30^\circ$ начинает соскальзывать без начальной скорости небольшое тело массой $m = 10$ г и зарядом $q = 10^{-6}$ Кл (рис. 12.2.9). Какую максимальную скорость будет иметь тело в процессе движения, если в пространстве создано однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,1$ Тл, силовые линии которого параллельны наклонной плоскости и перпендикулярны силе тяжести? Коэффициент трения тела о плоскость $\mu = 0,1$.

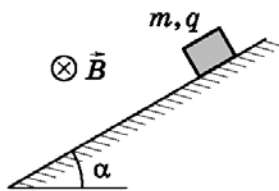


Рис. 12.2.9

• **12.2.35.** Небольшой шарик массой $m = 10$ г и зарядом $q = 10^{-6}$ Кл вращается в горизонтальной плоскости на невесомой диэлектрической нити длиной $l = 50$ см. В пространстве создано однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,1$ Тл, силовые линии которого направлены вдоль силы тяжести вниз (рис. 12.2.10). При движении нить образует с вертикалью угол $\alpha = 30^\circ$. Найдите период обращения шарика.

12.2.36. Шарик массой $m = 10$ г и зарядом $q = 10^{-6}$ Кл подвешен на невесомой шелковой нити длиной $l = 50$ см и помещен в однородное горизонтальное магнитное поле с индукцией $B = 0,1$ Тл. Когда шарик находится в положении равновесия, ему сообщают скорость \vec{v}_0 , направленную перпендикулярно вектору \vec{B} (рис. 12.2.11). При каких значениях скорости v_0 шарик совершит полный оборот вокруг точки подвеса?

12.2.37. Небольшое тело массой $m = 20$ г и зарядом $q = 10^{-6}$ Кл подвешено на невесомой диэлектрической нити длиной $l = 50$ см и помещено в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,1$ Тл, силовые линии которого перпендикулярны силе тяжести. Тело отклонили на натянутой нити от положения равновесия до высоты $h = 10$ см в плоскости, перпендикулярной вектору \vec{B} (рис. 12.2.12), и опустили без начальной скорости. Найдите силу натяжения нити при движении тела, когда оно проходит положение равновесия.

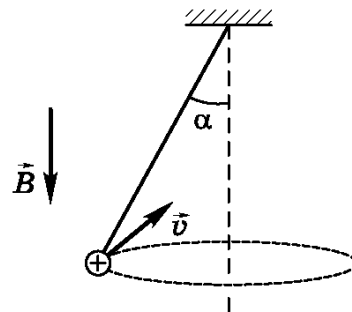


Рис. 12.2.10

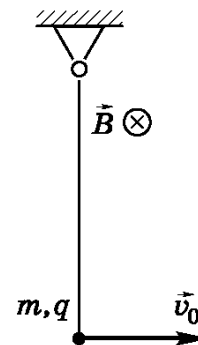


Рис. 12.2.11

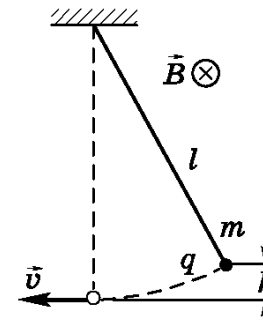


Рис. 12.2.12

Ответы

12.2.1. $F = qv_0B = 2 \cdot 10^{-6}$ Н, сила направлена вертикально вверх.

12.2.2. $F = qvB \sin \alpha = 2 \cdot 10^{-8}$ Н, направлена за плоскость рис. 12.2.2 (см. условие).

12.2.3. $F = |e|vB = 1,6 \cdot 10^{-15}$ Н;
 $R = \frac{m_e v}{eB} = 0,569$ мм.

12.2.4. $v = \frac{|e|B}{2\pi m_e} = 2,8 \cdot 10^4$ с $^{-1}$.

12.2.5. $a_n = \frac{|e|vB}{m_e} \approx 7 \cdot 10^7$ м/с 2 ,
 $a_\tau = 0$.

12.2.6. $R = \frac{p}{|e|B} = 5,2$ м.

12.2.7. $W = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m_e} \approx 5 \cdot 10^{-17}$ Дж.

12.2.8. $s = \frac{\pi m v}{qB} \approx 3142$ м.

12.2.9. а) $\frac{R_p}{R_e} = \frac{m_p}{m_e} = 1836$;

б) $\frac{R_p}{R_e} = \sqrt{\frac{m_p}{m_e}} = 42,8$.

12.2.10. а), б) $\frac{\omega_p}{\omega_e} = \frac{m_e}{m_p} = 5,4 \cdot 10^{-4}$.

12.2.11. $\alpha = \arccos \frac{|e|Bl}{m_e v}$, если
 $v \geq \frac{|e|Bl}{m}$; $\alpha = 90^\circ$, если $v < \frac{|e|Bl}{m}$.

12.2.12.

$$l \leq \sqrt{\frac{2Rm v_0}{qB} \left(1 - \frac{qBR}{2m v_0}\right)} \approx 28,3 \text{ м.}$$

$$\mathbf{12.2.13.} \quad \frac{qBl}{2m} \leq v \leq \frac{qB(l+l_0)}{2m};$$

$$100 \text{ м/с} \leq v \leq 105 \text{ м/с.}$$

$$\mathbf{12.2.14.} \quad t = \frac{2m_e}{|e|B} \arctg\left(\frac{|e|BR}{m_e v}\right) \approx 0,23 \text{ с.}$$

12.2.15.

$$\Delta r = \frac{2m_e v}{|e|B} \sin\left(\frac{|e|B \Delta t}{2m_e}\right) \approx 2,8 \text{ мм.}$$

$$\mathbf{12.2.16.} \quad R = \frac{m_e v \sin \alpha}{|e|B} = 7,1 \cdot 10^{-5} \text{ м;}$$

$$h = \frac{2\pi m_e v \cos \alpha}{|e|B} \approx 7,7 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

12.2.17.

$$v = \frac{|e|B}{m} \sqrt{R^2 + \frac{h^2}{4\pi^2}} \approx 1,04 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$$

$$\mathbf{12.2.18.} \quad B = \frac{2\pi m_e v \cos \alpha}{|e|l}.$$

12.2.19.

$$R = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{8\pi^2 m_p W}{B^2 |e|^2} - h^2} = 1,5 \text{ см.}$$

12.2.20.

$$v_x = \frac{2v(B_2 - B_1)}{\pi(B_1 + B_2)} = 3,8 \cdot 10^5 \text{ м/с.}$$

$$12.2.21. \eta = 1 - \frac{R_2}{R_1} = 0,5.$$

12.2.22.

$$R = \frac{\sin \alpha}{B} \sqrt{\frac{2m_e \Delta \varphi}{|e|}} \approx 5,33 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

$$12.2.23. R = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2m_p \Delta \varphi}{|e|}} \approx 2,3 \cdot 10^{-2} \text{ м,}$$

$$T = \frac{2\pi m_p}{|e|B} \approx 3,28 \cdot 10^{-7} \text{ с.}$$

$$12.2.24. \frac{a_n}{a_\tau} = \frac{|e|B\Delta t}{m_e} = 1,76 \cdot 10^{-4}.$$

$$12.2.25. s = \frac{|e|B^2 R^2}{2m_e E} \approx 19,8 \text{ см.}$$

$$12.2.26. \frac{|e|}{m_e} = \frac{8U\Delta t^2}{B^2(t^2 + \Delta t^2)^2} \approx$$
$$\approx 1,8 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг.}$$

$$12.2.27. U = \frac{|e|B^2 R^2 (n^2 - 1)}{2m_e n^2} = 31,2 \text{ В.}$$

$$12.2.28. v = \frac{E}{B} = 10^4 \text{ м/с.}$$

$$12.2.29. W = \frac{m_\alpha E^2}{2B^2} = \frac{ME^2}{2N_A B^2} =$$
$$= 3,33 \cdot 10^{-17} \text{ Дж.}$$

$$12.2.31. \Delta t = \frac{BR}{E} \sqrt{n-1} \approx 10^{-4} \text{ с.}$$

$$12.2.34. v = \frac{mg}{\mu qB} (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) =$$
$$= 4,05 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$$

$$12.2.36. v_0 \geq 5 \text{ м/с.}$$

12.2.37.

$$T = mg \left(1 + \frac{2h}{l} \right) + qB \sqrt{2gh} \approx 0,27 \text{ Н.}$$