

대학물리학 (제4판) 연습문제 풀이 (19장) - by 송현석

1. 균일한 자기장 내에서 움직이는 전하는 힘을 받는다. 이 힘이 최대가 되려면 전하는 어느 방향으로 움직여야 하는가? 또 힘이 최소가 되려면 어느 방향으로 움직여야 하는가?

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}, \quad F_B = qvB \sin \theta$$

θ 가 90° or 270° 일 때 (자기장에 수직하게 움직일 때) \Rightarrow 최대

θ 가 0° or 180° 일 때 (자기장에 평행하게 움직일 때) \Rightarrow 최소 (힘을 받지 않는다.)

2. 전하 q 가 자기장 B 에서 속도 v 로 움직일 때 받는 힘 F 에 대해 옳은 설명은? (3)

- (1) F 는 v 에 수직하지만 B 에 수직할 필요는 없다.
- (2) F , v , B 가 서로 수직하다.
- (3) F 는 v 와 B 에 수직하지만, v 와 B 가 수직할 필요는 없다.
- (4) v 는 B 에 수직하지만, F 에 수직할 필요는 없다.
- (5) F 의 크기는 전하량의 크기 q 와 무관하다.

3. 전하량이 q 인 대전된 입자들이 속도 v 로 균일한 자기장 B 에 수직하게 들어간다.

이때 자기장이 대전된 입자에 미치는 영향으로 옳지 않은 것은? (5)

- (1) 입자에 자기력을 발생시킨다.
- (2) 입자를 가속시킨다.
- (3) 입자가 원운동하도록 구심력을 발생시킨다.
- (4) 입자의 운동량을 변화시킨다.
- (5) 입자의 운동에너지를 변화시킨다.

4. 균일한 전기장 E 가 $+y$ 축 방향으로 작용하고 있는 공간으로 $+x$ 축 방향으로 움직이는 전자가 진입한다. 이때, 전자가 등속으로 직진하게 하려면 자기장 B 를 어느 방향으로 가해 주어야 하는가? 또, 이 경우 전자의 운동에너지는 어떻게 되는가? (단, 전자의 질량은 m 이다.)

$$\vec{F}_E = q\vec{E} \quad q = -e \text{ (음전하이므로 } \vec{E} \text{ 가 } +y \text{ 방향이면 } \vec{F}_E \text{ 는 } -y \text{ 방향이다.)}$$

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B} \quad q = -e \text{ (음전하이므로 } \vec{v} \text{ 가 } +x \text{ 방향이므로)}$$

$$(\vec{F}_B \text{ 가 } +y \text{ 방향이려면 } \vec{B} \text{의 방향은 } +z \text{ 방향이다.)}$$

$$\begin{cases} F_E = qE \\ F_B = qvB \end{cases} \Rightarrow qE = qvB \Rightarrow v = \frac{E}{B}$$

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\left(\frac{E}{B}\right)^2 = \frac{1}{2}m\frac{E^2}{B^2} = \frac{mE^2}{2B^2}$$

대학물리학 (제4판) 연습문제 풀이 (19장) - by 송현석

5. 전자가 균일한 자기장 $\vec{B} = (0.200\hat{i} + 0.500\hat{j})T$ 와 전기장 $\vec{E} = (-1.00\hat{k})N/C$ 속에서 움직이고 있다. 전자의 속력이 $\vec{v} = (2.00\hat{i} - 3.00\hat{j})m/s$ 일 때 전자가 받는 로렌츠힘의 크기와 방향을 구하여라. 전자의 질량과 전하량은 각각 m 과 $-e$ 이다.

$$\vec{v} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 2.00 & -3.00 & 0 \\ 0.200 & 0.500 & 0 \end{vmatrix} = \{(2.00 \times 0.500) - (-3.00 \times 0.200)\}\hat{k} = (1.60\hat{k}) T \cdot m/s$$

$$\vec{F}_E = q\vec{E} = (-1.60 \times 10^{-19})C \times (-1.00\hat{k}) N/C = (1.60 \times 10^{-19}\hat{k}) N$$

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B} = (-1.60 \times 10^{-19})C \times (1.60\hat{k}) T \cdot m/s = (-2.56 \times 10^{-19}\hat{k}) N$$

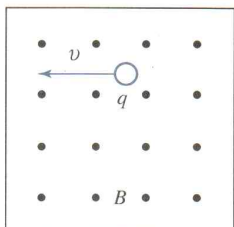
$$\begin{aligned} \vec{F} &= \vec{F}_E + \vec{F}_B = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} = (1.60 \times 10^{-19}\hat{k}) N + (-2.56 \times 10^{-19}\hat{k}) N \\ &= (-0.96 \times 10^{-19}\hat{k}) N \\ &= (-9.6 \times 10^{-20}\hat{k}) N \end{aligned}$$

6. 균일한 자기장이 있는 공간으로 전자와 양성자가 자기장에 수직인 방향으로 같은 속도를 가지고 입사한다. 두 입자가 받는 자기력의 크기와 방향을 비교하여라.
또, 두 입자가 그리는 원운동 궤적의 반지름 비율은 얼마인가?

$$\begin{aligned} F_{Bp} &= evB \sin 90^\circ = evB \\ F_{Be} &= -evB \sin 90^\circ = -evB \end{aligned} \Rightarrow \text{자기력의 크기는 같고 방향은 반대이다.}$$

$$\begin{aligned} F_B &= qvB \sin 90^\circ = qvB \\ F_c &= ma_c = m \frac{v^2}{r} \end{aligned} \Rightarrow r = \frac{mv}{qB} \Rightarrow r \sim m \Rightarrow \frac{r_e}{r_p} = \frac{m_e}{m_p}$$

7. 그림과 같이 지면 바깥쪽으로 향하는 균일한 자기장과 중력장이 존재하는 공간에 전하량 q 인 입자가 v 의 속력으로 등속운동을 하고 있다. 이때, 입자의 전하량 q 의 크기와 부호를 구하여라. 단, 입자의 질량은 m 이고 중력가속도는 g 이다.



$$\begin{cases} F_B = qvB \\ F_g = mg \end{cases} \Rightarrow qvB = mg \Rightarrow q = \frac{mg}{vB}$$

(\vec{g} 가 $-y$ 방향이므로 \vec{F}_g 는 $-y$ 방향이다.)

(\vec{F}_B 가 $+y$ 방향이려면 q 는 $+$ 전하이다.)

대학물리학 (제4판) 연습문제 풀이 (19장) - by 송현석

8. 초기 속도 $v_0 = 4.00 \times 10^3 \text{ m/s}$ 인 어떤 입자를 균일한 자기장과 전기장이 있는 공간에 입사시켰더니 경로가 휘어지지 않고 등속운동을 하였다. 균일한 자기장의 크기가 0.600 T 일 때 전기장의 크기와 방향을 구하여라.

< 로렌츠 힘 >

$$\begin{aligned} \begin{cases} \vec{F}_E = q\vec{E} \\ \vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B} \end{cases} &\Rightarrow \vec{F} = \vec{F}_E + \vec{F}_B = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) = 0 \\ &\Rightarrow \vec{E} + \vec{v} \times \vec{B} = 0 \quad (\vec{E} \text{ 와, } \vec{v} \times \vec{B} \text{ 는 서로 반대방향}) \\ &\quad (\vec{v}_0, \vec{E}, \vec{B} \text{ 셋은 서로 수직}) \\ &\quad (\vec{B} \text{ 가 } x\text{방향, } \vec{v}_0 \text{ 가 } y\text{방향, } \vec{E} \text{ 가 } z\text{방향}) \\ &\Rightarrow E = vB \sin \theta = vB \sin 90^\circ = vB = v_0 B \\ &\quad = (4.00 \times 10^3 \text{ m/s}) \times (0.600 \text{ T}) \\ &\quad = 2.40 \times 10^3 \text{ N/C} \\ &\quad = 2.40 \times 10^3 \text{ V/m} \end{aligned}$$

9. 질량이 m 이고 전하량이 $-e$ 인 전자들이 전위차 V 에 의하여 정지 상태에서 가속되고 자기장 B 에 의하여 속도에 수직인 방향으로 편향된다. 전자 궤적의 반지름을 구하여라.

$$\begin{aligned} \begin{cases} \frac{1}{2}mv^2 = qV \\ qvB = m\frac{v^2}{r} \end{cases} &\Rightarrow \begin{cases} v^2 = \frac{2qV}{m} \\ v^2 = \frac{r^2 q^2 B^2}{m^2} \end{cases} \Rightarrow \frac{2qV}{m} = \frac{r^2 q^2 B^2}{m^2} \Rightarrow r^2 = \frac{2mV}{qB^2} \\ &\Rightarrow r = \sqrt{\frac{2mV}{qB^2}} = \sqrt{\frac{2mV}{eB^2}} \end{aligned}$$

10. 균일한 자기장 B 속에서 등속원운동을 하는 질량이 m 이고 전하량이 q 인 입자가 있다. 이 입자의 원궤도상에서 이 입자에 의한 전류의 크기를 구하여라.

$$\begin{aligned} qvB &= m\frac{v^2}{r} \Rightarrow v = \frac{rqB}{m} \\ I &= \frac{dq}{dt} = \frac{q}{T} = \frac{q}{2\pi r/v} = \frac{q}{2\pi r} v = \frac{q}{2\pi r} \frac{rqB}{m} = \frac{q^2 B}{2\pi m} \end{aligned}$$

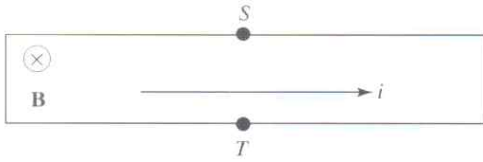
11. 균일한 자기장 내에서 전류가 흐르는 평면고리는 돌림힘을 받는다. 이 돌림힘이 최대가 되기 위한 고리의 방향은?

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}, \quad \tau = \mu B \sin \theta$$

θ 가 90° or 270° 일 때 (고리가 자기장에 수평일 때) \Rightarrow 최대

대학물리학 (제4판) 연습문제 풀이 (19장) - by 송현석

12. 그림과 같이 도체 내 전류가 왼쪽에서 오른쪽으로 흐른다. 자기장은 지면으로 들어가는 방향이고 점 S 의 전위가 점 T 의 전위보다 높다. 전하 운반자의 부호를 결정하여라.



$V_S > V_T$ 이므로 양전하는 위쪽으로, 음전하는 아래쪽으로 물림을 알 수 있다.

만일, 전하 운반자가 전자라면, $V_S < V_T$ 가 되어야 한다.

따라서, 전하 운반자는 양전하라고 판단할 수 있다.

13. 길이가 $0.200m$ 인 구리막대가 저울 위에 놓여 있고 이 막대에는 전류가 흐르고 있다. 막대에는 이 막대와 수직한 방향으로 크기 $0.0700T$ 의 균일한 수평 방향의 자기장이 걸려 있다. 이 막대에 작용하는 자기력을 저울로 측정한 값은 $0.240N$ 이다. 이 막대에 흐르는 전류는 얼마인가?

$$\vec{F}_B = \vec{I} \times \vec{B}$$

$$F_B = IB \sin \theta = IB \sin 90^\circ = IB \Rightarrow I = \frac{F_B}{lB} = \frac{0.240N}{(0.200m) \times (0.0700T)} = \frac{120}{7} A$$

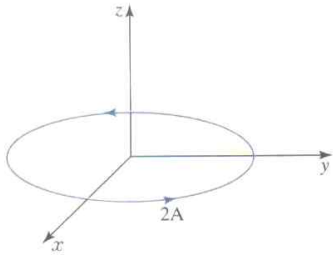
14. 자기모멘트가 $\mu = 1.30A \cdot m^2$ 인 네모회로가 처음에 $0.750T$ 의 균일한 자기장에 평행한 방향으로 자기모멘트의 방향을 갖고 있다. 이 네모회로를 90° 회전시킨 경우 위치에너지의 변화는 얼마인가?

$$\begin{aligned} \Delta U &= U_f - U_i = (-\mu B \cos 90^\circ) - (-\mu B \cos 0^\circ) \\ &= \mu B = (1.30A \cdot m^2) \times (0.750T) = 0.975A \cdot m^2 T = 0.975J \quad (\text{증가}) \end{aligned}$$

	전기 쌍극자	자기 쌍극자
모멘트	$\vec{p} = q\vec{L}$	$\vec{\mu} = I\vec{A}$
회전력	$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E} = pE \sin \theta$	$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B} = \mu B \sin \theta$
일	$dW = -\tau d\theta = -pE \sin \theta d\theta$	$dW = -\tau d\theta = -\mu B \sin \theta d\theta$
	$W = pE \cos \theta = \vec{p} \cdot \vec{E}$	$W = \mu B \cos \theta = \vec{\mu} \cdot \vec{B}$
에너지	$dU = -dW = +pE \sin \theta d\theta$	$dU = -dW = +\mu B \sin \theta d\theta$
	$U = -pE \cos \theta = -\vec{p} \cdot \vec{E}$	$U = -\mu B \cos \theta = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$

대학물리학 (제4판) 연습문제 풀이 (19장) - by 송현석

15. 반지름이 20.0 cm 이고 xy 평면상에 놓여 있는 원형 도선에 2.00 A 의 전류가 z 축 쪽대기 위에서 내려다보았을 때 반시계 방향으로 흐른다. 이때 다음 질문에 답하여라.



- (1) 자기쌍극자 모멘트의 세기와 방향은?

$$\vec{\mu} = I \vec{A} \quad \begin{cases} \text{방향} - \text{오른나사 법칙에 의해 } z\text{방향} \\ \text{세기} - \mu = IA = I\pi r^2 = (2.00\text{ A}) \times \pi \times (0.200\text{ m})^2 \approx 0.251\text{ A} \cdot \text{m}^2 \end{cases}$$

- (2) 균일한 자기장을 $+y$ 방향으로 0.100 T 의 크기로 가했을 때 이 원형 도선의 자기 위치 에너지와 돌림힘의 크기를 구하여라.

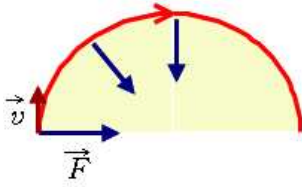
$$U = -\mu B \cos 90^\circ = 0\text{ J} \quad \tau = \mu B \sin 90^\circ = (0.251\text{ A} \cdot \text{m}^2) \times (0.100\text{ T}) = 0.0251\text{ N} \cdot \text{m}$$

- (3) 균일한 자기장을 $+z$ 방향으로 0.100 T 의 크기로 가했을 때 이 원형 도선의 자기 위치 에너지와 돌림힘의 크기를 구하여라.

$$U = -\mu B \cos 0^\circ = -(0.251\text{ A} \cdot \text{m}^2) \times (0.100\text{ T}) = -0.0251\text{ J} \quad \tau = \mu B \sin 0^\circ = 0$$

대학물리학 (제4판) 연습문제 풀이 (19장) - by 송현석

16. 초기에 북쪽으로 속도 $4.00 \times 10^6 \text{ m/s}$ 로 운동하기 시작한 전자가 반원궤도를 그리면서 동쪽으로 10.0 cm 떨어진 곳에 도달하였다.



- (1) 이러한 반원궤도를 그리도록 하는 데 필요한 자기장의 크기와 방향을 구하여라.

$$v = 4.00 \times 10^6 \text{ m/s}, \quad 2r = 0.100 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad r = 0.0500 \text{ m} = 5.00 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B} \quad q = -e \text{ (음전하이므로)}$$

(오른나사 법칙에 의해)
(\vec{B} 의 방향은 지면 안쪽으로 들어가는 방향이다.)

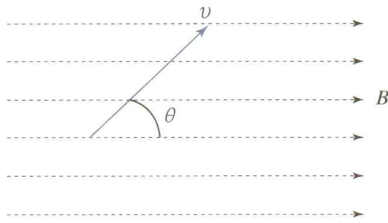
$$F_B = evB \sin \theta = evB \sin 90^\circ = evB = m \frac{v^2}{r} \quad < \text{구심력} >$$

$$\Rightarrow \quad B = \frac{mv}{er} = \frac{(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}) \times (4.00 \times 10^6 \text{ m/s})}{(1.60 \times 10^{-19} \text{ C}) \times (5.00 \times 10^{-2} \text{ m})} = 4.55 \times 10^{-4} \text{ T} = 4.55 \text{ G}$$

- (2) 이 전자가 동쪽 지점에 도달하는 데 걸린 시간을 구하여라.

$$t = \frac{\pi r}{v} = \frac{3.14 \times (5.00 \times 10^{-2} \text{ m})}{4.00 \times 10^6 \text{ m/s}} \approx 3.927 \times 10^{-8} \text{ s}$$

17. 그림과 같이 $+x$ 방향의 균일한 자기장 B 속의 원점 O 에서 초속도 v 로 x 축과 θ 의 각도로 전자가 방출되었다. 다음 각 경우 전자의 운동은 어떻게 되는가?



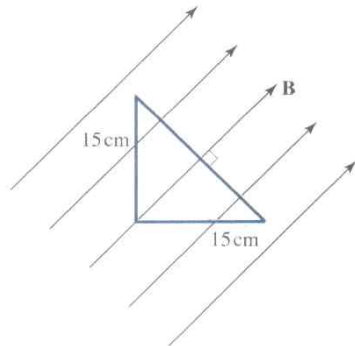
- (1) $\theta = 0^\circ$ 일 때 등속 직선운동
- (2) $\theta = 90^\circ$ 일 때 등속 원운동
- (3) $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 일 때 x 축 방향으로 진행하는 나선운동
- (4) $\theta = 45^\circ$ 인 경우, 전자가 1회전할 때 전자가 $+x$ 방향으로 진행하는 거리는 얼마인가?
(단, 전자의 질량은 m 이고 전하량은 e 이다.)

$$ev_y B = m \frac{v_y^2}{r} \quad \Rightarrow \quad v_y = \frac{reB}{m}$$

$$v_y = \frac{2\pi r}{T} \quad \Rightarrow \quad T = \frac{2\pi r}{v_y} = \frac{2\pi r}{reB/m} = \frac{2\pi m}{eB}$$

$$x = v_x T = (v \cos 45^\circ) T = v \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{2\pi m}{eB} = \frac{\sqrt{2} \pi m v}{eB}$$

18. 한 변의 길이가 15.0 cm 인 직각이등변삼각형에 2.00 A 의 전류가 흐른다. 직각삼각형의 빗변에 수직하고 삼각형의 면과 나란하며 세기가 0.700 T 인 균일한 자기장에 의해 삼각형의 두 등변에 작용하는 자기력의 세기는 얼마인가?



$$\vec{F}_B = I\vec{l} \times \vec{B}, \quad F_B = IlB\sin\theta \quad \text{오른나사 법칙}$$

$$\begin{aligned} \text{두 등변} \quad F_B &= 2Il_{\text{등변}}B\sin 45^\circ = 2Il_{\text{등변}}B\frac{\sqrt{2}}{2} = \sqrt{2}Il_{\text{등변}}B \\ &= \sqrt{2} \times (2.00\text{ A}) \times (0.150\text{ m}) \times 0.700\text{ T} \approx 0.297\text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{빗변} \quad F_B &= Il_{\text{빗변}}B\sin 90^\circ = Il_{\text{빗변}}B \\ &= (2.00\text{ A}) \times (0.150\text{ m} \times \sqrt{2}) \times 0.700\text{ T} \approx 0.297\text{ N} \end{aligned}$$

$$< \vec{F}_{\text{빗변}} = -\vec{F}_{\text{두 등변}} >$$

자기력의 크기는 같고 방향은 반대이므로 빗변을 축으로 회전한다.