2022년 2학기 물리학 II

Byeong-woo Han,[1,*] Hui-Jae Lee,[1,†] and 김현철[‡1,§]

[1] *Hadron Theory Group, Department of Physics, Inhá University, Incheon 22212, Republic of Korea*

(Dated: Autumn Semester, 2022)

Mock test 1

1번 풀이 : 쿨롱의 법칙에 의하면 두 전하 간 작용하는 전기력의 크기는

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2} \tag{1}$$

이다.

2번 풀이 :

(1) 전하에는 +전하와 −전하 총 2종류가 있다.

(2) 두 전하 사이에 작용하는 전기력은 두 전하를 잇는 직선 상에서 작용한다.

(3) 쿨롱의 법칙에 의해 전기력은 전하 사이 거리의 제곱에 반비례 한다.

(4) 쿨롱의 법칙에 의해 전기력은 전하량의 곱에 비례한다.

(5) 중첩의 원리에 의해 둘 이상의 전하가 존재할 때 각 전하에 의한 전기력을 합하여 합력을 구할 수 있다.

(6) 전기장 벡터 $\vec{E}$와 전위 V는

$$\vec{E} = -\nabla V \tag{2}$$

이고 전기력은 전기장에 평행하므로 전기력은 등전위선의 접선 방향에 평행하다.

3번 풀이 :

(ㄱ) 도체관 사이 전기장은 x축에 평행하고 −극으로 대전된 도체관을 향한다. 따라서 A에서 B로 전하를 이동시키면 +로 대전된 도체관에 대해 평행하게 멀어지므로 전하의 전기적 위치 에너지가 감소한다. 즉, 전기 위치에너지의 변화량의 부호는 −이다.

(ㄴ) C에서 D로 전하를 이동시키면 +로 대전된 도체관과의 거리가 변하지 않으므로 전하의 전기적 위치 에너지가 변하지 않는다. 즉, 전기 위치에너지의 변화량의 부호는 0이다.

(ㄷ) B에서 D로 전하를 이동시키면 +로 대전된 도체관에 가까워지므로 전하의 전기적 위치 에너지는 증가한다. 즉, 전기 위치에너지의 변화량의 부호는 +이다.

4번 풀이 : 계의 전기 위치에너지는 거리가 무한대인 지점으로부터 전하들을 끌어올 때 필요한 에너지로 정의한다. 아무 전하도 없는 공간에서 전하를 끌어오는데 필요한 에너지는 0이다. 그리고 다른 전하를 또 끌어오는데 필요한 에너지 E_1는

$$E_1 = -\int_{\infty}^{d} k\frac{q^2}{r^2}\,dr = \left(k\frac{q^2}{r}\right)\Bigg|_{\infty}^{d} = k\frac{q^2}{d} \tag{3}$$

---

‡ Office: 5S-436D (면담시간 매주 수요일-16:15∼19:00)

*Electronic address: `12191964@inha.edu`

†Electronic address: `hjlee6674@inha.edu`

§Electronic address: `hchkim@inha.ac.kr`

이다. 이제 마지막 전하를 끌어오는데 필요한 에너지 E_2를 구해보자. 이미 전하 2개가 있으므로

$$E_2 = -2\int_{\infty}^{d} k\frac{q^2}{r^2}\,dr = 2k\frac{q^2}{d} \tag{4}$$

이고 이 계의 전기 위치에너지 E는 전하들을 끌어오는데 필요한 에너지들의 합이므로

$$E = E_1 + E_2 = 3k\frac{q^2}{d} \tag{5}$$

이다.

5번 풀이 : 가우스 법칙을 수식으로 정리하면

$$\int \vec{E}\cdot d\vec{a} = \frac{q}{\epsilon_0} \tag{6}$$

이다. 좌항은 폐곡면을 지나는 전기선속의 합이고 우항은 폐곡면 내부에 존재하는 총 전하량에 대한 항이다.

6번 풀이 : 전기장의 크기를 구하기 위해 가우스 법칙을 이용하자. 가우스 곡면을 반지름이 r인 구의 표면으로 하면 가우스 곡면 내부 총 전하량 q는 전체 전하량 중 가우스 곡면 내부 부피에 존재하는 전하량에 해당하므로

$$q = Q\frac{\frac{4}{3}\pi r^3}{\frac{4}{3}\pi R^3} = Q\frac{r^3}{R^3} \tag{7}$$

이고 구 대칭성에 의해 미소 면벡터와 전기장의 방향이 일치한다고 생각할 수 있다.

$$\int \vec{E}\cdot d\vec{a} = \left|\vec{E}\right|\int d\vec{a}. = 4\pi r^2\left|\vec{E}\right| \tag{8}$$

따라서 전기장의 크기 $\left|\vec{E}\right|$는

$$\left|\vec{E}\right| = \frac{Qr}{4\pi\epsilon_0 R^3} \tag{9}$$

이다.

7번 풀이 : 전기장의 크기는 각 도체 평면에 의한 전기장의 크기의 합이다. 무한히 넓은 도체 평면에 의한 전기장은 거리에 무관하게 일정하므로 도체 평면 1과 2에 의한 전기장은 서로 상쇄된다. 도체 평면 3에 의한 전기장 E는

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \tag{10}$$

이고 이것이 평면 2와 3 사이 영역에서의 전기장의 크기이다.

8번 풀이 : 평행판 축전기에 충전된 전하량을 Q, 축전기 사이 전위차를 V라 하면 전기용량 C는

$$Q = CV,\;\; C = \epsilon_0\frac{A}{d} \tag{11}$$

이다. A는 평행판 축전기의 면적이고 d는 평행판 축전기의 간격이다. 평행판 축전기의 전기적 위치에너지 U는

$$E = \frac{1}{2}QV \tag{12}$$

이다. 거리 d를 4배로 늘릴 경우의 전기용량, 전위차, 전기적 위치에너지를 각각 C', V', U'라고 하자. 거리를 늘리더라도 면적과 전하량은 변화가 없으므로 전하 Q와 전하밀도 σ는 일정하다. C', V', U'는

$$\begin{aligned} C' &= \epsilon_0\frac{A}{4d} = \frac{1}{4}C \\ V' &= \frac{Q}{C'} = 4\frac{Q}{C} = 4V \\ U' &= \frac{1}{2}QV' = 4\left(\frac{1}{2}QV\right) = 4U \end{aligned} \tag{13}$$

이다. 따라서 전기용량은 $\frac{1}{4}$배, 전위차는 4배, 전하밀도는 1배, 저장된 에너지는 4배가 된다.

9번 풀이 : 우선 줄의 법칙을 이용해 전구의 저항 R을 구하자. 전구에 걸린 전압을 V, 전구가 소모하는 전력을 P 라고 하면 줄의 법칙에 의해

$$P = \frac{V^2}{R} \Longrightarrow R = \frac{V^2}{P} = \frac{(220\ \text{V})^2}{440\ \text{W}} = 110\ \Omega \tag{14}$$

전구의 저항은 110 Ω이다. 전구에 전압 110 V를 연결하면 전구가 소모하는 전력 P는

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{(110\ \text{V})^2}{110\ \Omega} = 110\ \text{W} \tag{15}$$

와 같다. 따라서 전구는 전력 110 W를 소모한다.

10번 풀이 : 점전하 $+q$가 정지해있으므로 점전하에 작용하는 합력은 0이고 위쪽으로 전기력, 아래쪽으로 중력이 작용한다. 점전하에 작용하는 전기력을 F_q, 중력을 F_g 라고 하면 점전하에 대한 운동방정식으로부터

$$\sum F = F_q - F_g = qE - mg = 0 \Longrightarrow E = \frac{mg}{q} \tag{16}$$

를 얻는다. E는 도체판 사이에 생성되는 전기장의 크기이다. 도체판 사이의 간격을 d라 하면 전위차 V는

$$V = Ed \tag{17}$$

로 주어지므로 식 (**??**)를 대입하면

$$V = \frac{mg}{q}d \tag{18}$$

와 같이 쓸 수 있다. $m = 4 \times 10^{-13}\ \text{kg},\ q = 4.9 \times 10^{-18}\ \text{C},\ d = 2 \times 10^{-2}\ \text{m}$이므로 V는

$$V = \frac{(4 \times 10^{-13}\ \text{kg})(9.8\ \text{m/s}^2)}{4.9 \times 10^{-18}\ \text{C}}(2 \times 10^{-2}\ \text{m}) = 1.6 \times 10^4\ \text{V} \tag{19}$$

이다.

11번 풀이 : 두개의 평행한 도선에 같은 방향으로 전류가 흐를 때 도선에 작용하는 힘의 크기 F는

$$F = \frac{\mu_0 I^2}{2\pi d} \tag{20}$$

이다. d는 도선 사이 간격이다. 두 도선에 흐르는 전류량이 각각 2배로 늘어나면 힘은 4배로 증가한다. 따라서 도선에 작용하는 힘의 변화가 없으려면 도선 사이 거리가 4배로 늘어나야 한다.

12번 풀이 : 원형도선의 중심에서는 직선도선에 의한 자기장의 크기 B_1과 원형도선에 의한 자기장의 크기 B_2가 모두 같은 방향으로 작용하므로 두 자기장을 모두 구한 후 합해주어야 한다. 원형도선의 반지름은 R이고 원형도선의 중심은 직선도선으로부터 R만큼 떨어져 있으므로 직선도선에 의한 자기장의 크기 B_1은

$$B_1 = \frac{\mu_0 i}{2\pi R} \tag{21}$$

이고 원형도선에 의한 자기장의 크기 B_2는

$$B_2 = \frac{\mu_0 i}{2R} \tag{22}$$

이므로 총 자기장의 크기 B는

$$B = B_1 + B_2 = \left(1 + \frac{1}{\pi}\right)\frac{\mu_0 i}{2R} \tag{23}$$

이다.

서술형 1번 풀이 :

(가) 암페어의 법칙은 임의의 폐곡선을 따라 흐르는 자기장은 폐곡선 내 전류의 합과 비례한다는 법칙이다.

$$\int \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I \tag{24}$$

폐곡선을 직선 도선의 중심을 중심으로 하고 반지름이 r인 원으로 잡자. 직선 도선에 의한 자기장 $\vec{B}$는 폐곡선을 따르는 미소길이 $d\vec{l}$과 평행하게 생성되므로 좌항은

$$\int \vec{B} \cdot d\vec{l} = B(r) \int d\vec{l} = 2\pi r B(r) \tag{25}$$

이 되고 폐곡선 내부에 전류는 I만큼 흐르므로 앙페르 법칙에 의해

$$2\pi r B(r) = \mu_0 I \Longrightarrow B(r) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \tag{26}$$

을 얻는다.

(나) 폐곡선의 반지름이 R보다 작으므로 이 경우 폐곡선 내부에 흐르는 전류 I'는

$$I' = \frac{\pi r^2}{\pi R^2} I = \frac{r^2}{R^2} I \tag{27}$$

이고 앙페르 법칙으로부터

$$2\pi r B(r) = \mu_0 I' = \frac{r^2 \mu_0 I}{R^2} \Longrightarrow B(r) = \frac{r \mu_0 I}{2\pi R^2} \tag{28}$$

를 얻는다.

(다) 도선의 길이를 L이라 하고 도선의 전류가 z방향에 평행하게 흐르며 두 도선이 가정하자.

서술혐 2번 풀이 :
서술흉 3번 풀이 :