

# 2022년 2학기 물리학 II

김현철<sup>a,†</sup> and Hui-Jae Lee<sup>1,‡</sup>

<sup>1</sup>*Hadron Theory Group, Department of Physics,  
Inha University, Incheon 22212, Republic of Korea*  
(Dated: Autumn Semester, 2022)

**Date:** 2022년 8월 29일 15:30-16:15

## QUIZ 1

**문제 1 [10pt]** 다음 질문에 답하세요.

- (가) 전하의 종류를 적으세요 (2pt).
- (나) 전하량을 유효숫자 두 자리까지 적으세요 (2pt).
- (다) 아래에 주어진 과정 중에서 틀린 과정을 고르세요 (2pt).

1.  $e^+ + e^- \rightarrow \gamma + \gamma$
2.  $\pi^0 + p \rightarrow \pi^+ + n$
3.  $p + n \rightarrow p + p$
4.  $\Lambda^0 \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$

- (라) 쿨롱의 법칙을 식으로 나타내고 설명하세요 (4pt).

**풀이 :**

- (가) 전하의 종류는 양전하와 음전하로 2가지 존재한다.
- (나) 전자 1개의 전하량을 유효숫자 두 자리까지 적으면  $1.6 \times 10^{-19}$  C이며 C는 전하량의 단위로 쿨롱이라 읽는다.
- (다)  $e$ 는 전자,  $\gamma$ 는 광자,  $\pi$ 는  $\pi$  중간자( $\pi$  meson),  $p$ 와  $n$ 은 양성자, 중성자이며  $\Lambda$ 와  $\bar{\nu}_e$ 는 각각  $\Lambda$  중입자 ( $\Lambda$  baryon)와 전자 반중성미자(electron antineutrino)이다.  
전하량 보존 법칙에 따라 과정 전 전하의 총합과 과정 후 전하의 총합은 같아야 한다.

1. 과정 전 전하의 합은  $1 + (-1) = 0$ 이고 과정 후 전하의 합 또한  $0 + 0 = 0$ 이므로 전하량 보존 법칙에 비추어 보았을 때 과정은 틀리지 않았다.
2. 과정 전 전하의 합은  $0 + 1 = 1$ 이고 과정 후 전하의 합은  $1 + 0 = 1$ 이므로 전하량 보존 법칙에 비추어 보았을 때 과정은 틀리지 않았다.
3. 과정 전 전하의 합은  $1 + 0 = 1$ 이고 과정 후 전하의 합은  $1 + 1 = 2$ 이므로 전하량 보존 법칙에 비추어 보았을 때 과정은 틀렸다.
4. 과정 전 전하의 합은 0이고 과정 후 전하의 합은  $1 + (-1) + 0 = 0$ 이므로 전하량 보존 법칙에 비추어 보았을 때 과정은 틀리지 않았다.

틀린 과정은 3번 과정이다.

---

<sup>a</sup> Office: 5S-436D (면담시간 매주 화요일-16:00~18:00)

<sup>†</sup> hchkim@inha.ac.kr

<sup>‡</sup> hjlee6674@inha.edu

(라) 쿨롱의 법칙은 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}. \quad (1)$$

이는 전하를 띤 두 입자 사이에 작용하는 힘의 크기에 대한 법칙으로 두 전하 사이에 작용하는 힘은 두 전하가 떨어진 거리의 제곱에 반비례함을 의미한다.  $k$ 는 쿨롱 상수로 그 크기는  $8.988 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$  이다.

**문제 2 [10pt]** 전자와 양성자가 대략 보여 반지름, 즉  $0.530 \times 10^{-10} \text{ m}$  정도 떨어져 있다. 전자와 양성자 사이의 전기력과 중력을 각각 구하고, 구한 전기력과 중력의 비를 구하여라.

**풀이 :** 전자와 양성자의 전하량을  $q_1, q_2$ 라 하고 둘 사이 거리를  $r$ 이라 하자. 쿨롱의 법칙에 의해 전자와 양성자 사이 작용하는 전기력  $F_e$ 는

$$\begin{aligned} F_e &= k \frac{q_1 q_2}{r^2} = (8.988 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}) \frac{(1.60 \times 10^{-19} \text{ C})(1.60 \times 10^{-19} \text{ C})}{(0.530 \times 10^{-10} \text{ m})^2} \\ &= 8.19 \times 10^{-8} \text{ N} \end{aligned} \quad (2)$$

이고, 전자와 양성자의 질량을  $m_1, m_2$ 라고 하면 전자와 양성자 사이 작용하는 중력  $F_g$ 는

$$\begin{aligned} F_g &= G \frac{m_1 m_2}{r^2} = (6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}) \frac{(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})(1.67 \times 10^{-27} \text{ kg})}{(0.530 \times 10^{-10} \text{ m})^2} \\ &= 3.61 \times 10^{-47} \text{ N} \end{aligned} \quad (3)$$

이다. 전자와 양성자 사이에 작용하는 두 힘의 비는 다음과 같다.

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{8.19 \times 10^{-8} \text{ N}}{3.61 \times 10^{-47} \text{ N}} = 2.27 \times 10^{39}. \quad (4)$$

전자와 양성자 사이 작용하는 전기력이 중력보다 무려  $10^{39}$ 배 만큼 크다.

**문제 3 [10pt]** 일직선상에 세 점전하가 간격  $d$ 를 두고 놓여 있다. 전하량은 순서대로  $-q, +q, -q$ 이다. 각 전하에 작용하는 힘을 구하여라.

**풀이 :** 가운데 놓여있는 점전하  $+q$ 를 원점으로 하고 오른쪽을 양의 방향으로 하자. 중첩의 원리에 의해 각 점전하가 받는 전기력은 나머지 두 점전하로부터 받는 전기력의 합과 같다. 왼쪽에 있는 전하부터 순서대로 1, 2, 3번 전하라고

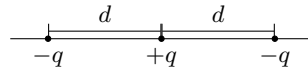


FIG. 1. 일직선 위의 세 점전하

하겠다. 먼저 원점에 있는 2번 전하가 받는 힘을 구해보자.  $\vec{F}_{ij}$ 는  $i$ 번 전하가  $j$ 번 전하로부터 받는 전기력으로

$$\vec{F}_{ij} = k \frac{q_i q_j}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|^3} (\vec{r}_i - \vec{r}_j) \quad (5)$$

2번 전하가 받는 전기력  $\vec{F}_2$ 는

$$\vec{F}_2 = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{23} \quad (6)$$

이다. 각각의 전하로부터  $d$ 만큼 떨어져 있으므로 각 힘을 계산하여

$$\vec{F}_{21} = k \frac{(+q)(-q)}{d^3} (0 - (-d))\hat{x} = -\frac{kq^2}{d^2}\hat{x}, \quad \vec{F}_{23} = k \frac{(+q)(-q)}{d^3} (0 - d)\hat{x} = \frac{kq^2}{d^2}\hat{x} \quad (7)$$

를 얻는다. 식 6에 대입하여 2번 입자에 작용하는 전기력을 구하면

$$\vec{F}_2 = -\frac{kq^2}{d^2}\hat{x} + \frac{kq^2}{d^2}\hat{x} = \vec{0} \quad (8)$$

이다. 작용과 반작용에 의하면  $i$ 번 전하가  $j$ 번 전하로부터 받는 전기력은  $j$ 번 전하가  $i$ 번 전하로부터 받는 전기력과 크기는 같고 방향만 반대이다. 따라서

$$\vec{F}_{ij} = -\vec{F}_{ji} \quad (9)$$

임을 알 수 있다. 이제 나머지 1번, 3번 점전하에 작용하는 전기력을 구해보자. 1번 전하에 작용하는 전기력  $\vec{F}_1$ 은

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} = -\vec{F}_{21} + \vec{F}_{13} \quad (10)$$

$\vec{F}_{13}$ 을 계산하면 구할 수 있다. 1번 전하와 3번 전하는  $2d$ 만큼 떨어져 있으므로

$$\vec{F}_{13} = k \frac{(-q)(-q)}{(2d)^3} ((-d) - d)\hat{x} = -\frac{kq^2}{4d^2}\hat{x} \quad (11)$$

를 얻는다. 그러므로  $\vec{F}_1$ 은

$$\vec{F}_1 = -\left(-\frac{kq^2}{d^2}\hat{x}\right) + \left(-\frac{kq^2}{4d^2}\hat{x}\right) = \frac{3kq^2}{4d^2}\hat{x} \quad (12)$$

를 얻는다. 같은 방법으로  $\vec{F}_3$ 은

$$\vec{F}_3 = \vec{F}_{31} + \vec{F}_{32} = -\vec{F}_{13} - \vec{F}_{23} \quad (13)$$

이고  $\vec{F}_{13}$ 과  $\vec{F}_{23}$ 은 위에서 이미 구해 놓았다.

$$\vec{F}_3 = -\left(-\frac{kq^2}{4d^2}\hat{x}\right) - \frac{kq^2}{d^2}\hat{x} = -\frac{3kq^2}{4d^2}\hat{x}. \quad (14)$$

$\vec{F}_3$ 과  $\vec{F}_1$ 은 크기는 같고 방향만 다르다.

**문제 4 [10pt].** 질량이  $m = 3.00 \times 10^{-2}$  kg이고 대전된 전하량이 같은 작은 공 두 개가 그림 2와 같이 길이가  $L = 0.150$  cm인 줄에 매달려 있다. 각  $\theta$ 는  $5.00^\circ$ 이다. 각각의 공에 대전된 전하량을 구하여라.

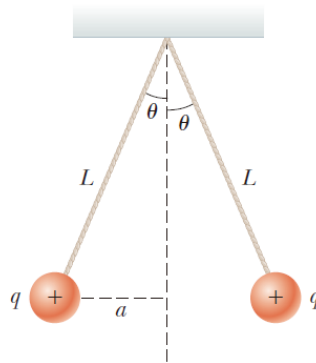


FIG. 2. 문제 4

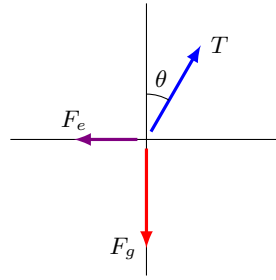


FIG. 3. 왼쪽 공의 다이어그램

**풀이 :** 먼저 정지해있는 왼쪽 공의 자유 물체 다이어그램을 그려보자. 공에 작용하는 장력을  $T$ , 중력을  $F_g$ , 전기력을  $F_e$ 라고 하면 세 힘이 평형을 이루어 공이 정지해 있다고 생각할 수 있다.

$x$ 방향과  $y$ 방향의 운동방정식을 다음과 같이 세울 수 있다. 공이 정지해 있으므로 모든 방향에서의 합력은 0이다.

$$F_x = -F_e + T \sin \theta = 0, \quad (15)$$

$$F_y = T \cos \theta - F_g = 0. \quad (16)$$

먼저  $y$ 방향 합력으로부터 장력  $T$ 를 구하자. 공의 질량을  $m$ 이라 하면  $F_g = mg$ 이므로

$$F_g = mg \implies mg - T \cos \theta = 0, \quad T = \frac{mg}{\cos \theta} \quad (17)$$

를 얻는다. 한편 공 두개가 대전된 전하량이 같으므로 쿨롱의 법칙에 의해 공에 작용하는 전기력  $F_e$ 는

$$F_e = k \frac{q^2}{(2a)^2} \quad (18)$$

인데  $a$ 는 줄의 길이  $L$ 의 삼각비로 표현할 수 있다.

$$a = L \sin \theta. \quad (19)$$

따라서 식 15에 식 17과 식 19를 대입하면

$$-k \frac{q^2}{(2L \sin \theta)^2} + mg \tan \theta = 0 \quad (20)$$

을 얻는다.  $m = 3.00 \times 10^{-2} \text{ kg}$ ,  $L = 1.50 \times 10^{-3} \text{ m}$ 이고  $\theta = 5.00^\circ$ 이므로 전하량  $q$ 는

$$\begin{aligned} q &= 2L \sin \theta \sqrt{\frac{mg \tan \theta}{k}} = 2(1.50 \times 10^{-3} \text{ m}) \sin 5.00^\circ \sqrt{\frac{(3.00 \times 10^{-2} \text{ kg})(9.807 \text{ m/s}^2) \tan 5.00^\circ}{(8.988 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2})}} \\ &= 4.42 \times 10^{-10} \text{ C} \end{aligned} \quad (21)$$

임을 알 수 있다.

**문제 5 [10pt].** 질량이  $m$ 이고 전하  $q$ 로 대전된 두 부도체를 길이가  $L_0$ 이고 용수철 상수가  $k$ 인 용수철에 연결하였더니 용수철의 길이가  $4L_0/3$ 로 늘어나 평형상태가 되었다. 이제 두 대전된 부도체 중 하나를  $x = 0$ 에 고정시키고 용수철에 연결된 또 다른 부도체가 단순조화운동을 하게 한다면, 각진동수  $\omega$ 는  $\sqrt{k/m}$ 의 몇 배인가?

**풀이 :** 평형상태의 부도체에 작용하는 힘에는 용수철에 의한 복원력과 부도체끼리 밀어내려는 전기력이 있다. 두 힘의 크기가 같아 평형상태를 이루므로 훅의 법칙과 쿨롱의 법칙을 이용하여

$$\sum F = -k \frac{1}{3} L_0 + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{(\frac{4}{3}L_0)^2} = 0 \implies k \frac{1}{3} L_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{(\frac{4}{3}L_0)^2}, \quad k = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{27}{16L_0^3} \quad (22)$$

를 얻는다. 평형상태에 있는 부도체를 단순조화운동시키기 위해 길이  $x_0$ 만큼 잡아당겼다고 가정하자. 이 때 용수철의 길이는  $\frac{4}{3}L_0 + x_0$ 가 되고 용수철의 길이가  $\frac{4}{3}L_0$ 일 때 새로운 평형이 이루어진 것이므로 늘어난 길이는  $x_0$ 가 된다. 늘어난 길이에서의 전기력과 용수철의 복원력을 고려하여 후의 법칙을 다시 쓰면

$$\sum F = ma = -k \left( \frac{1}{3}L_0 + x_0 \right) + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{\left( \frac{4}{3}L_0 + x_0 \right)^2} \quad (23)$$

이다. 잡아당긴 길이  $x_0$ 가  $L_0$ 에 비해 무시할 수 있을만큼 작다고 가정하면, 즉,  $x_0/L_0 \ll 1$ 이라고 하면 우변의 마지막 항을 근사할 수 있다.

$$\frac{1}{(1+\epsilon)^2} \approx 1 - 2\epsilon \implies \frac{1}{\left( \frac{4}{3}L_0 + x_0 \right)^2} = \frac{9}{16L_0^2} \frac{1}{\left( 1 + \frac{3x_0}{4L_0} \right)^2} \approx \frac{9}{16L_0^2} \left( 1 - \frac{3x_0}{2L_0} \right). \quad (24)$$

이 결과와 식 22를 식 23에 대입하여 다시쓰면

$$\begin{aligned} ma &= -k \left( \frac{1}{3}L_0 + x_0 \right) + \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{9}{16L_0^2} \left( 1 - \frac{3x_0}{2L_0} \right) = -k \left( \frac{1}{3}L_0 + x_0 \right) + kL_0 \frac{1}{3} \left( 1 - \frac{3x_0}{2L_0} \right) \\ &= -k \left( \frac{1}{3}L_0 + x_0 \right) + k \left( \frac{1}{3}L_0 - \frac{1}{2}x_0 \right) = -k \frac{3}{2}x_0 \end{aligned} \quad (25)$$

이다. 따라서 각진동수  $\omega$ 는

$$\omega = \sqrt{\frac{3}{2}} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (26)$$

으로  $\sqrt{k/m}$ 의  $\sqrt{3/2}$ 배이다. 즉, 전기력이 없을 때에 비해 약 1.22배 빠르게 진동한다.