

2024학년도 연세대학교 미래캠퍼스 논술시험 문제 [창의인재/의예과 물리학]

【문제 1】 아래 제시문을 읽고 문제에 답하시오.(25점)

(가) 물체에 힘이 작용하면 알짜힘의 방향으로 물체가 가속된다. 가속도 a 는 물체에 작용하는 알짜힘 F 에 비례하고 질량 m 에 반비례한다. 이를 수식으로 나타내면 $F = ma$ 이다. 이것을 뉴턴 운동 제2법칙이라고 한다.

(나) 지표면 근처의 상공에서 잡고 있던 물체를 가만히 놓으면 물체는 지구 중심 쪽을 향하여 떨어진다. 이와 같이 초기 속도의 크기, 방향과 상관없이 중력의 영향만을 받아 낙하하는 물체의 운동을 자유낙하 운동이라 한다. 정지 상태에서 물체가 자유 낙하할 때 뉴턴 운동 제2법칙에 의해 $mg = ma$ 가 성립하므로 $a = g$, 즉 물체는 가속도가 중력가속도 g 인 등가속도 운동을 한다. 이때 처음 위치를 기준점으로 할 때 연직 아래 방향을 (+)로 하면 t 초 후의 속도 v 와 낙하 거리 h 는 다음과 같다.

$$v = gt, \quad h = \frac{1}{2}gt^2, \quad v^2 = 2gh$$

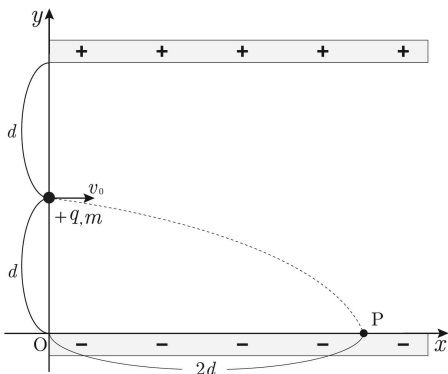
(다) 움직이는 물체의 운동에너지는 $E_K = \frac{1}{2}mv^2$ 이고, 포물선 운동과 같이 x 축 방향으로 속도 v_x 와 y 축 방향으로 속도 v_y 가 동시에 존재할 때, 운동에너지는 다음과 같이 표현한다.

$$E_K = \frac{1}{2}m(v_x^2 + v_y^2)$$

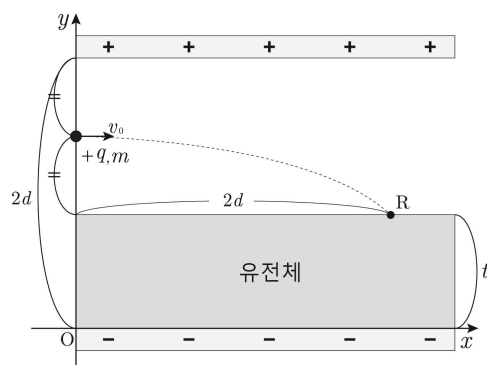
(라) 균일한 전기장 E 가 형성되어 있는 공간에 전하량이 q 인 전하가 있으면, 이 전하는 전기장의 방향으로 지문 (나)의 경우와 같이 등가속도 운동을 한다.

(마) 각 금속판에 전하량 $+Q$ 와 $-Q$ 로 대전되어 있는 평행판 축전기 내부의 경우 균일한 전기장이 형성된다.

※ 아래 문제에서 공기의 저항과 중력의 효과는 무시한다.



<그림 1>



<그림 2>

【문제 1-1】 <그림 1>은 크기는 같고 부호는 반대인 전하로 대전되어 있는, 평행판 축전기의 단면을 보여준다. 균일한 전기장이 형성되어 있는 두 금속판 사이의 간격은 $2d$ 이고, 축전기 안에 질량이 m 이고, 전하량이 $+q$ 인 점전하가 $(0, d)$ 인 위치에서 $+x$ 축 방향으로 v_0 의

속력으로 입사되었다. 이 점전하가 xy 평면에서 포물선 운동을 하다가, 위치가 $(2d, 0)$ 인 P 지점에 충돌하였다. P 지점에 도달했을 때, 충돌직전 점전하의 운동에너지는 처음 입사했을 때의 운동에너지의 몇 배인지 구하여라. (10점)

[문제 1-2] <그림 2>는 <그림 1>의 평행판 사이에, 어떤 유전율과 두께 t 를 갖는 유전체를 끼워 넣은 모습이다. 질량이 m 이고, 전하량이 $+q$ 인 점전하가 $x=0$ 이고 y 축으로는 유전체가 삽입되어 있지 않은 영역의 중간 지점에서 $+x$ 축 방향으로 v_0 의 속력으로 입사되었다. 이 점전하가 xy 평면에서 포물선 운동을 하다가, 유전체의 R 지점에서 충돌하였다. 위치가 $(2d, t)$ 인 R 지점에 충돌 직전 운동에너지는 <그림 1>에서 점전하가 P 지점에 충돌 직전의 운동에너지의 $5/8$ 배이다. 이런 운동을 만족시키는 유전체의 두께 t 는 d 의 몇 배인지 구하여라. (15점)

[출제의도]

문제1. 평행판 축전기 안에 형성된 균일한 전기장 속에서 운동하는 점전하의 등가속도 운동을 이해하고, 2차원 평면에서 포물선 운동을 바탕으로 물체의 속도와 위치와 운동 에너지를 이해하는 능력을 평가하는 문제이다.

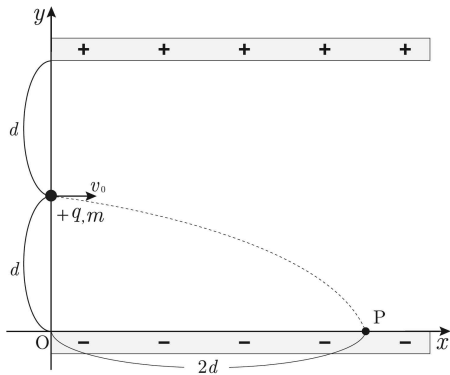
[문항해설]

(문제1-1) 평행판 축전기 안에 형성된 균일한 전기장 속에서 운동하는 점전하는 전기장 방향으로 등가속도 운동임을 이해해야 하는 문제임. 중력장에서 물체의 운동과 전기장 속에서 점전하의 운동이 같은 등가속도 운동이기에, 점전하는 평행판 축전기 안에서 평면상의 포물선 운동을 한다. 점전하의 도착 지점의 위치 정보로부터, 포물선 운동을 이용하여, 도착 속도를 예측하여 운동에너지를 정량적으로 계산하는 문제이다.

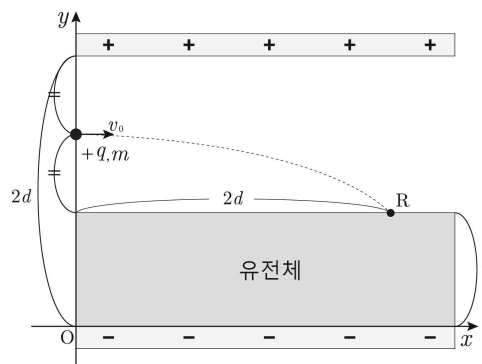
(문제1-2) (문제1-1)과 같은 개념의 문제나 역으로 점전하의 운동에너지를 알 때, 점전하의 도착 지점을 예측하는 문제이다.

[예시답안]

(문제 1) [25점]



<그림 1>



<그림 2>

(문제 1-1) [10점]

P 지점에 도착하였을 때 x 축 방향으로 속도와, y 축 방향으로 속도를 구한다. (7점)

P 지점에서 x 축 방향의 속도는 초기 속도와 같음 : $v_x = v_0$.

P 지점에서 y 축 방향으로 속도 v_y 는 등가속도 운동을 한다.

가속도를 a 라고 하고 도착할 때까지 걸리는 시간을 t 라 하면,

$$v_y = at, \quad d = \frac{1}{2}at^2, \quad t = \frac{2d}{v_0}$$

위 식으로부터 $a = \frac{v_0^2}{2d}$, 이고 $v_y = v_0$ 이다.

(별해) y 축 방향으로 가속도를 a 라고 하면 $F = ma = qE$ 로부터, 가속도 $a = \frac{qE}{m}$ 이다.

$$v_y^2 = 2ad = 2\frac{qE}{m}d, \quad v_y = \sqrt{\frac{2qEd}{m}}$$

$$d = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}\frac{qE}{m}\left(\frac{2d}{v_0}\right)^2, \quad v_0 = \sqrt{\frac{2qEd}{m}}$$

즉 $v_y = v_0$ 이다.

=====

P 지점에서 운동 에너지를 구한다. (3점)

=====

$$E_K = \frac{1}{2}m(v_x^2 + v_y^2) = \frac{1}{2}m(v_0^2 + v_0^2) = mv_0^2$$

즉, 도착했을 때 운동에너지는, 처음 운동에너지의 2배이다.

(문제 1-2) [15점]

=====

R 지점에 도착하였을 때 x 축 방향으로 속도와, y 축 방향으로 속도를 구한다. (7점)

=====

R 지점에서 x 축 방향의 속도는 초기 속도와 같음 : $v_x = v_0$,

R 지점에서 y 축 방향으로 속도 v_y 는 운동에너지가 5/8배가 되었다는 사실로부터 구할 수 있다.

$$E_K = \frac{1}{2}m(v_x^2 + v_y^2) = \frac{1}{2}m(v_0^2 + v_y^2) = \frac{5}{8}mv_0^2$$

$$v_y = \frac{1}{2}v_0$$

=====

포물선 운동에서 y 축 방향으로 낙하한 거리를 구한다. (8점)

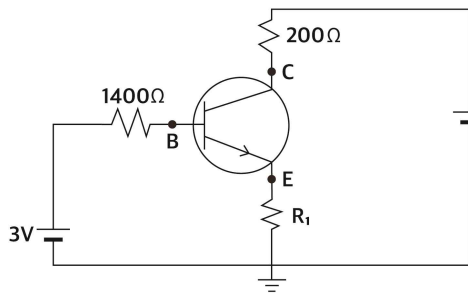
=====

$$v_y = \frac{1}{2}v_0 = at, \quad a = \frac{v_0}{2t}, \quad t = \frac{2d}{v_0}, \quad y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{v_0}{2t}\right)t^2 = \frac{v_0 t}{4} = \frac{v_0}{4}\left(\frac{2d}{v_0}\right) = \frac{d}{2},$$

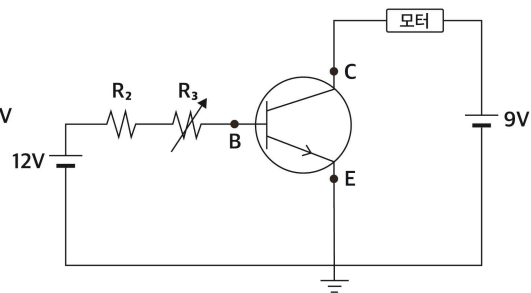
즉 유전체의 높이는 $2d - 2\frac{d}{2} = d$ 이므로, d 와 같다.

【문제 2】 아래 제시문을 읽고 문제에 답하시오.(15점)

- (가) 트랜지스터는 증폭 작용과 스위칭 작용을 하는 반도체 소자로서 현대 전자 기기를 구성하는 주요 부품 중 하나이다.
- (나) 트랜지스터는 이미터, 베이스, 컬렉터의 세 부분으로 이루어져 있고, 증폭 작용을 위해서는 이미터와 베이스 사이에 순방향 전압을, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압을 걸어 줘야 한다.
- (다) 증폭 작용을 통하여, 작은 베이스 전류 I_B 와 큰 컬렉터 전류 I_C 가 흐르게 된다. 두 전류의 비율인 전류 증폭률 β 는 $\beta = \frac{I_C}{I_B}$ 이다.
- (라) 이미터에 흐르는 전류 I_E 는 베이스 전류와 컬렉터 전류의 합이다. $I_E = I_B + I_C$
- (마) 트랜지스터 내 베이스와 이미터는 p-n 다이오드로 볼 수 있고, 베이스와 이미터의 접합면에서 양공과 전자의 확산에 의한 전위차 V_{BE} 가 발생한다. 이 전위차보다 작은 순방향 바이어스가 베이스와 이미터 사이에 걸리면 베이스에는 전류가 흐르지 않는다.
- (바) n-p-n 트랜지스터는 n형과 p형, 그리고 n형 반도체를 순서대로 접합시킨 트랜지스터이다.
- (사) 두 저항이 직렬로 연결된 회로에서는 각 저항에 흐르는 전류의 세기는 같고, 전체 전압은 각 저항에 걸리는 전압의 합과 같다. 즉, $V = V_1 + V_2 = I(R_1 + R_2)$ 이다.



<그림 3>



<그림 4>

[문제 2-1] <그림 3> 같은 회로에서, $V_{BE} = 0.7$ V, $\beta = 100$ 인 n-p-n 트랜지스터를 이용하여 전류 증폭을 하려고 한다. 컬렉터에 전류 $I_C = 20$ mA가 흐를 때 저항 R_1 의 값을 구하여라. (5점)

[문제 2-2] <그림 4> 같은 회로에서, $V_{BE} = 0.6$ V, $\beta = 100$ 인 n-p-n 트랜지스터를 이용하여 모터를 가동시키려고 한다. 모터의 작동 가능 전류는 190 mA에서 570 mA이다. R_3 는 가변 저항기이고 저항은 0 Ω부터 R_{3max} Ω까지의 범위에서 변한다. 가변 저항기를 이용하여 190 mA부터 570 mA까지 자유롭게 전류를 변화시키면서 모터를 작동시킬 수 있도록, 가변 저항기 R_3 의 최대 저항인 R_{3max} 의 값과 R_2 의 저항을 결정하여라. 단, 안전을 위하여서 모터에 190 mA 보다 작거나 570 mA 보다 큰 전류는 흐르면 안 된다. (10점)

[출제 의도]

문제 2. 트랜지스터의 증폭 작용을 이해하는 문제이다. 저항 값의 변화에 따른 베이스, 이미터, 컬렉터에 흐르는 전류의 값을 증폭률을 이용하여 구하는 능력을 평가하는 문제이다.

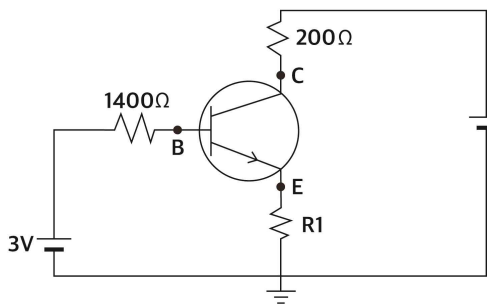
[문항해설]

(문제2-1) 트랜지스터의 증폭 작용을 이해하여, 컬렉터 전류 값을 알 때 이미터와 베이스 전류 값을 추론하여 적절한 저항 값을 유추하는 문제이다.

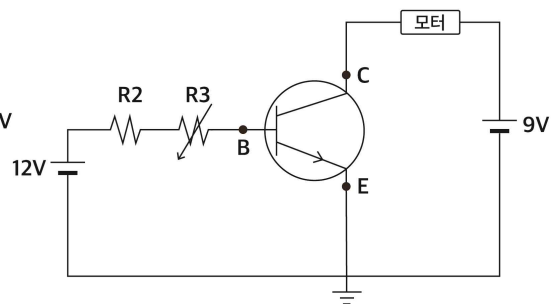
(문제2-2) 컬렉터 전류 값의 범위를 알 때, 트랜지스터의 증폭 작용을 이해하여, 베이스 전류 값을 범위를 추론하여 적절한 가변 저항기의 저항 값의 범위를 유추하는 문제이다.

[예시답안]

(문제 2) [15점]



<그림 3>



<그림 4>

(문제 2-1) [5점]

=====

증폭률을 이용한 식을 구한다. (5점)

=====

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{20}{100} \text{mA}$$

순방향 마이어스 쪽 회로로부터 아래 식을 구한다.

$$3V = 1400I_B + V_{BE} + R_1 I_E = 1400 \frac{I_C}{100} + 0.7 + R_1 (I_C + I_B)$$

$$= 14I_C + 0.7 + R_1 \left(I_C + \frac{I_C}{100} \right)$$

$$2.3 = 20 \times 10^{-3} (14 + 1.01R_1)$$

$$\therefore R_1 = 100 \Omega$$

(문제 2-2) [10점]

=====

전류가 최대로 걸릴 때 R_2 를 구한다. (5점)

=====

베이스에 걸리는 전류를 전압과 저항의 식으로부터 구한다.

$$I_B = \frac{12 - 0.6}{R_2 + R_3}$$

컬렉터에 걸리는 전류는 증폭률을 이용하여 식을 세울 수 있다.

$$I_C = \beta I_B = 100 \frac{11.4}{R_2 + R_3}$$

I_C 의 범위는 190mA부터 570mA이기에 I_C 의 최댓값인 570mA가 흐르기 위해서는 가변저항이 0 이어야 한다.

$$I_C = 570 \times 10^{-3} = \frac{1140}{R_2} \text{A}, \quad \therefore R_2 = 2 \text{ k}\Omega$$

=====

전류가 최소로 걸릴 때 $R_{3\max}$ 를 구한다. (5점)

=====

I_C 의 최솟값인 190mA가 흐르기 위해서는 가변저항이 최댓값이어야 한다.

$$I_C = \beta I_B = 100 \frac{11.4}{R_2 + R_3} = \frac{1140}{2000 + R_{3\max}} = 190 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$\therefore R_{3\max} = 4 \text{ k}\Omega$$