2024학년도 모의논술고사[의·약학계-물리학]

1. 2024학년도 모의논술고사 예시답안

[논제 II-1]

(1) 논제에서 두 공은 같은 바람(힘)을 맞으면서 운동을 하고 있으므로 두 공에 가해지는 충격량의 크기는 같다. 충격량(I)은 운동량의 변화($\Delta p \equiv$나중 운동량 − 처음 운동량)를 일으키므로 시각 t_4에서 질량 m_1의 공과 질량 m_2의 공이 가지는 속력을 각각 v_1, v_2라고 할 때, 다음의 식이 성립한다.

$$I = m_1 v_1 - m_1 \times 0 = m_2 v_2 - m_2 \times 0$$

따라서 v_1과 v_2의 비율은 다음과 같다.

$$v_1 : v_2 = \frac{1}{m_1} : \frac{1}{m_2}$$

(2) 논제에서 전기장은 전하량 $+q_0$으로 대전된 두 입자에 같은 크기의 일을 하고, 전기장이 한 일(W)은 대전 입자의 운동 에너지로 변환된다. 각 구간의 거리는 z_0으로 같으므로 W는 다음과 같다.

$$W = (2E_0 - E_0 + 3E_0 - 2E_0) \times q_0 \times z_0 = 2E_0 \times q_0 \times z_0$$

전기장 방향과 운동 방향이 같을 때 양전하 입자의 운동 에너지는 증가한다. 두 입자가 z_5를 지날 때의 속력을 각각 v_1, v_2라고 할 때, 다음의 식이 성립한다.

$$W = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 - \frac{1}{2} m_1 v_0^2 = \frac{1}{2} m_2 v_2^2 - \frac{1}{2} m_2 v_0^2$$

위의 두 식을 연립하면, v_1과 v_2의 비율은 다음과 같다.

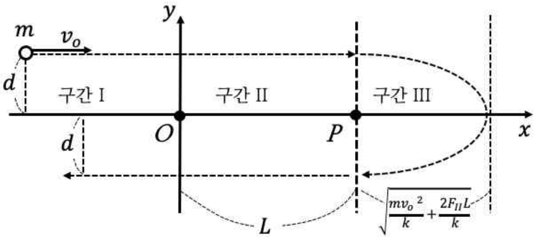
$$v_1 : v_2 = \sqrt{v_0^2 + \frac{4E_0 \times q_0 \times z_0}{m_1}} : \sqrt{v_0^2 + \frac{4E_0 \times q_0 \times z_0}{m_2}}$$

[논제 II-2]

(1) 논제의 조건에 따라 입자는 구간 Ⅰ에서는 등속도 운동, 구간 Ⅱ에서는 등가속도 운동을 한다. 운동 방향과 힘의 방향이 $+x$방향으로 같으므로, 구간 Ⅰ, Ⅱ를 지날 때 입자의 궤적은 x축과 평행한 직선을 따른다. 구간 Ⅰ->Ⅱ 경계면까지는 운동 에너지는 $\underline{K_{I-II} = \frac{1}{2} m v_o^2}$ 로 변하지 않는다, 구간 Ⅱ를 지나며 퍼텐셜 에너지가 운동 에너지로 전환되며, 구간 Ⅱ->Ⅲ 경계면에서 속력이 v'이라 하면, $\underline{K_{II-III} = \frac{1}{2} m v'^2 = \frac{1}{2} m v_o^2 + F_{II} \cdot L}$이 된다.

이어 구간 Ⅲ에서는 P점을 중심으로 구심력이 작용한다. 이 구간에서 작용하는 힘의 x, y축 성분을 나누어 적으면, $F_x = -k(x-L)$, $F_y = -ky$ 로 각각 일반적으로 용수철 상수 k인 용수철에 의해 작용하는 힘과 같다. 즉, x축 방향으로는 처음 속력 v'이고 변위가 0인 용수철, y축 방향으로는 처음 속력 0이고 변위가 d인 입자의 운동과 같다. 따라서 입자의 궤적은 x 방향으로는 $\frac{1}{2} m v'^2 = \frac{1}{2} m v_o^2 + F_{II} \cdot L = \frac{1}{2} k (x-L)^2$, 정리하면 $x = \sqrt{\frac{m v_o^2}{k} + \frac{2F_{II} L}{k}} + L$까지 운동했다 돌아오고, y축 방향으로는 $y = d$에서 시작하여 $y = -d$까지 돌아 나오는 곡선을 따르며, 입자는 구간 Ⅲ에서 구간 Ⅱ으로 다시 진입함을 알 수 있다. 구간 Ⅲ에 들어갈 때와 나올 때 점 P와의 거리가 d로 같으므로 퍼텐셜 에너지가 같고, 전체 역학적 에너지는 보존되므로, 운동 에너지도 동일하게 $\underline{K_{III-II} = \frac{1}{2} m v_o^2 + F_{II} \cdot L}$과 같다.

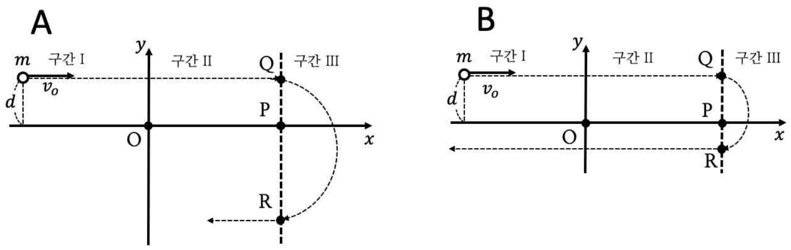
마지막으로 이 입자가 구간 Ⅱ를 지나 구간 Ⅰ로 운동하면서 힘의 방향과 반대 방향으로 운동한다. 구간 Ⅱ에서 구간Ⅰ로 재진입하는 경계면에서 운동 에너지는 $K_{II-I} = K_{III-II} - F_{II} \cdot L$, 즉 $\underline{K_{II-I} = \frac{1}{2}mv_o^2}$로 처음 운동 에너지와 동일하다. 입자의 전체 궤적을 정리해 그리면 아래 [그림 1]과 같다.



[그림 1]

(2) 논제에서 구간 Ⅰ과 Ⅱ에 대한 조건이 동일하므로, 구간 Ⅲ에 진입하기 직전까지 입자의 궤적과 속도는 문제 (1)의 풀이와 동일하다. 따라서 그림에서 P-Q사이의 거리는 d이고, Q지점에서 속력은 v'이다.

구간 Ⅲ에서 작용하는 구심력은 만유인력의 법칙과 비슷하게 $F_{III} = \frac{km}{R^2}$으로 주어졌다. 따라서 구간 Ⅲ에서 입자의 궤적은 점 P를 초점으로 하는 타원 궤도들 중 하나를 따른다. Q에서의 운동 방향이 초점 P와 물체가 이루는 QP 선과 수직을 이루어야 하므로, 태양계에서 행성 궤도와 비교하여 설명하면 [그림 2]와 같이 P에 태양이 위치할 때 Q점이 근일점인 A 경우, 또는 Q점이 원일점인 B의 둘 중 하나의 궤도를 따라 운동하다 점 R에서 구간 Ⅱ로 재진입한다.



[그림 2]

P-R사이 거리를 D라 하고, 구간 Ⅱ로 재진입할 때 R에서의 속력을 u라 하자. 케플러 제2법칙인 면적속도 일정의 법칙에 따라 $v'd = uD$ 이다.

R이 원일점인 A의 경우, 구간 Ⅱ에 재진입할 때 속력 $u = \frac{d}{D}v' < v'$이다. R점에서의 운동 에너지가 구간 Ⅱ에서 거슬러 올라가야 하는 퍼텐셜 에너지보다 언제나 작기 때문에 구간 Ⅰ에 재진입하지 못하여, 오던 경로를 되돌아가게 되면서 $-d \le y < 0$ 위치를 지날 수 없고, 문제의 조건을 만족하지 못한다.

그러나 R이 근일점인 B의 경우, 구간 Ⅱ에 재진입할 때 속력 $u = \frac{d}{D}v' > v'$이므로 운동 에너지가 충분히 커서 구간 Ⅰ까지 진입할 수 있으며, 구간 Ⅰ,Ⅱ 에서 입자는 $-d \le y < 0$를 만족하며 $-x$방향으로 직선 경로를 따라 운동한다.

처음 위치 $x = -L$, $y = d$에서 출발하여 구간 Ⅰ을 지나는 동안은 등속 운동한다. 이때 시간은 $t_1 = L/v_o$이다.

구간 Ⅱ를 지나는 동안은 등가속도 운동을 하므로, $L = \frac{1}{2}at_2^2 + v_o t_2 = \frac{F_{II}}{2m}t_2^2 + v_o t_2$이다.

정리하면, $t_2 = \frac{mv_o}{F_{II}}\left(\sqrt{1 + \frac{2F_{II}L}{mv_o^2}} - 1\right)$ 이다. (단, 양의 해만 선택)

구간 Ⅲ에서 입자는 장반경이 $\dfrac{D+d}{2}$인 타원궤도의 절반에 해당하는 궤도를 따라 운동한다. 즉, 이 구간에서의 소요 시간은 타원궤도 주기의 절반이다. 케플러 제3법칙에 따르면, 장반경의 세제곱과 타원궤도 주기 제곱의 비율이 일정한데, 이는 가능한 궤도들 중 원궤도를 따라 돌 때도 동일하게 적용되므로, 간단히 계산할 수 있다. 원궤도일 때 구심력을 계산하면 $\dfrac{mv'^2}{d}=\dfrac{km}{d^2}$이므로, $d=\dfrac{k}{v'^2}$. 원궤도에서 속력은 $v'=\dfrac{2\pi d}{T_{원궤도}}$이므로, $\dfrac{d^3}{T_{원궤도}^2}=\dfrac{k}{4\pi^2}=\dfrac{(D+d)^3}{T^2}$이다. 따라서 $t_3=\dfrac{T}{2}=\dfrac{\pi d}{v'}=\pi\dfrac{D+d}{2}\sqrt{\dfrac{D+d}{2k}}$이다.

마지막으로 구간 Ⅱ를 거슬러 갈 때 시간 $t_4=\dfrac{m}{-F_{II}}\left(\sqrt{u^2-\dfrac{2F_{II}L}{m}}-u\right)$ 이고, $v'd=uD$, $v'^2=v_o^2+\dfrac{2F_{II}L}{m}$임을 이용하면, $t_4=\dfrac{mv_o}{F_{II}}\dfrac{d}{D}\left(\sqrt{1+\dfrac{2F_{II}L}{mv_o^2}}-\sqrt{1+\dfrac{2F_{II}L}{mv_o^2}\left(1-\dfrac{D^2}{d^2}\right)}\right)$ 과 같이 정리할 수 있다.

따라서 전체 시간은

$$t=\frac{L}{v_o}+\frac{mv_o}{F_{II}}\left(\sqrt{1+\frac{2F_{II}L}{mv_o^2}}-1\right)+\pi\frac{D+d}{2}\sqrt{\frac{D+d}{2k}}+\frac{mv_o}{F_{II}}\frac{d}{D}\left(\sqrt{1+\frac{2F_{II}L}{mv_o^2}}-\sqrt{1+\frac{2F_{II}L}{mv_o^2}\left(1-\frac{D^2}{d^2}\right)}\right)$$ 이다.

2. 2024학년도 모의논술고사문항 해설(출제범위 포함)

의학계 물리학 [논제 II-1]의 (1), (2)에서는 고등학교 물리학I 교과서의 ‘역학과 에너지’ 단원에서 다루는 ‘운동량과 충격량’, ‘역학적 에너지 보존’과 고등학교 물리학II 교과서의 ‘전자기장’ 단원에서 다루는 ‘전자기장과 전기력선’ 등의 개념을 이해하고 이를 문제에서 주어진 상황에 맞추어 적용하는 능력을 평가한다. 운동량과 운동 에너지는 물체의 운동 상태를 설명하는 물리량으로 두 물리량 모두 물체의 질량과 속도에 관한 함수로 주어진다는 점에서 유사성이 있다. 이러한 유사성으로 인해 운동량과 운동 에너지의 개념을 혼동하는 학생들을 현장에서 자주 발견할 수 있다. 운동량의 변화량은 힘과 ‘시간’의 곱에 의해 주어지고, 운동 에너지의 변화량은 힘과 ‘거리’의 곱에 의해 주어지는 점을 이해한다면, [논제 II-1]은 복잡한 풀이 과정 없이 쉽사리 해결할 수 있다.
[논제 II-2]의 (1), (2)에서는 고등학교 물리학I 교과서의 ‘역학과 에너지’ 단원에서 다루는 ‘관성 법칙과 가속도 법칙’, ‘역학적 에너지 보존’과 고등학교 물리학II 교과서의 ‘물체의 운동’ 단원에서 다루는 ‘등가속도 운동’, ‘등속 원운동’, ‘케플러 법칙과 뉴턴 중력 법칙’ 단원에서 다루는 개념을 이해하고 이를 문제에서 주어진 상황에 맞추어 적용하는 능력을 평가한다. 일정한 크기와 방향의 힘, 용수철에 의한 탄성력, 중력에 의한 만유인력과 같이 여러 가지 힘이 작용할 때 물체가 운동하는 궤적이 어떻게 달라지는지 이해하여 물리 법칙을 적용하여 문제를 해결할 수 있다.

참고자료	도서명	저자	발행처	발행년도	쪽수
고등학교 교과서	고등학교 물리학I	강남화 외 5인	천재교육	2018	33
	고등학교 물리학I	강남화 외 5인	천재교육	2018	34
	고등학교 물리학I	김영민 외 7인	교학사	2019	60
	고등학교 물리학I	김영민 외 7인	교학사	2019	62-63
	고등학교 물리학II	김영민 외 7인	교학사	2018	35-38
	고등학교 물리학II	강남화 외 5인	천재교육	2018	35-37
	고등학교 물리학II	강남화 외 5인	천재교육	2018	27
	고등학교 물리학II	강남화 외 5인	천재교육	2018	40-42
	고등학교 물리학II	김영민 외 7인	교학사	2018	108