2026학년도 수시 입학전형 면접 기출문제

물리학 — 한국과학기술원(KAIST)

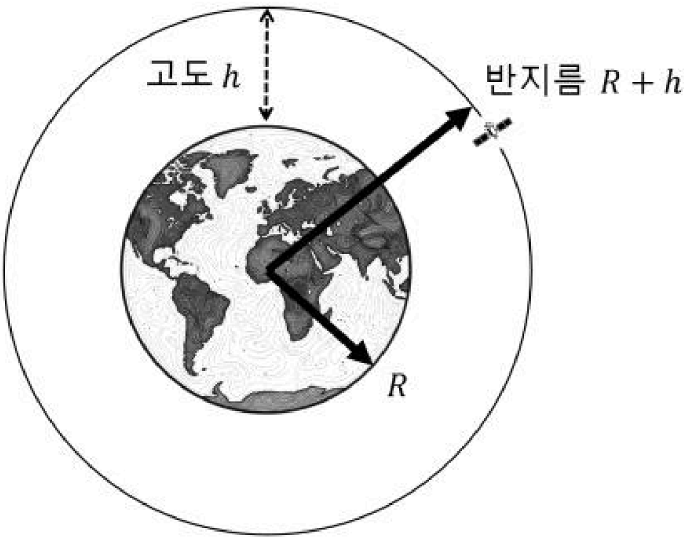
문항 및 제시문 · 채점 기준 · 예시 답안

문제 1

물리학 I·II | 중력, 쿨롱 힘과 원운동, 에너지 보존 법칙, 탈출 속도 | 예상 소요 시간 10분

문항 및 제시문

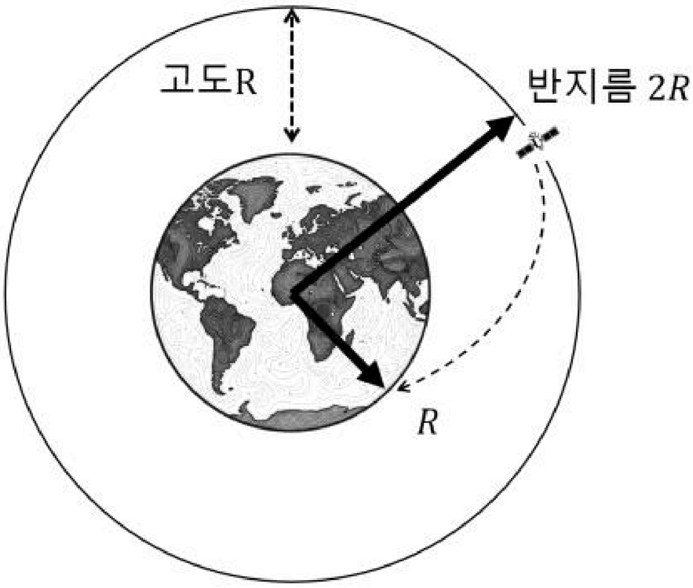
아래 그림과 같이 지구 주위를 인공위성이 등속 원운동하고 있는 상황을 생각하자. 지구의 질량은 m_1, 반지름이 R, 양전하 $q_1 (q_1 > 0)$으로 대전되어 있으며, 인공위성의 질량은 m_2, 전하량은 q_2, 지표면에서부터의 거리(고도)는 h이다. 중력 상수는 G, 쿨롱 상수는 k이다. 단, 지구는 완전한 구형이고, 양전하 q_1은 지구 중심에 있다고 가정한다. 지구 자전 운동, 전하를 가진 인공위성의 원운동으로 인한 전자기 복사와 이로 인한 에너지 손실, 그리고 인공위성의 공기 저항은 무시한다.



(1) 전하량 $q_2 > 0$일 때, 인공위성이 등속 원운동을 할 수 있는 q_2의 조건을 구하시오. (1점)

(2) 전하량 $q_2 = -\frac{3Gm_1m_2}{kq_1}$일 때, 등속 원운동을 하는 인공위성의 속력을 구하시오. 이후 인공위성이 태양풍을 맞아 대전된 전하가 완전히 사라진다면, 인공위성의 운동이 어떻게 될지 설명하시오. 단, 방전 이후에는 인공위성의 전하량은 변하지 않으며, 태양풍으로 인한 전하량 변화 외 다른 모든 영향은 무시한다. (2점)

(3) 전하량 $q_2 > 0$일 때, 고도 $h = R$로 등속 원운동하는 인공위성이 태양풍을 맞아 대전된 전하가 완전히 사라져 추락하게 되었다. 이때 지표면에서의 속력이 $\sqrt{\frac{7Gm_1}{6R}}$보다 작으면, 인공위성을 지상에서 온전히 회수할 수 있다. 이러한 조건을 만족하는 q_2의 범위를 구하시오. 단, 방전 이후에는 인공위성의 전하량은 변하지 않으며, 태양풍으로 인한 전하량 변화 외 다른 모든 영향은 무시한다. (2점)



채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	중력과 쿨롱 힘의 방향과 크기를 올바르게 분석하고, 구심력 조건을 세워 등속 원운동이 가능한 전하량의 조건을 구한 경우	1
(2)	주어진 전하량 조건에서 중력과 전기력의 합력으로 등속 원운동의 속력을 구하고, 방전 후 구심력 조건의 변화에 따라 인공위성의 운동이 어떻게 달라지는지 설명한 경우	2
(3)	역학적 에너지 보존 법칙을 적용하여 지표면 도달 속력을 구하고, 회수 조건을 만족하는 전하량의 범위를 정량적으로 구한 경우	1

예시 답안

(1) 원 궤도 운동을 하기 위해서는 중력으로 인한 지구의 인력이 전자기력으로 인한 인공위성과 지구 사이의 척력보다 커야 한다. 따라서, 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

$$-G\frac{m_1 m_2}{(R+h)^2} + k\frac{q_1 q_2}{(R+h)^2} < 0, \quad \text{즉}, \quad q_2 < \frac{Gm_1 m_2}{kq_1}$$

을 만족해야 한다.

(2) 원 궤도 운동을 할 때 구심력은 중력과 전자기력의 합력으로 주어지므로

$$\frac{m_2 v^2}{R+h} = \frac{Gm_1 m_2}{(R+h)^2} - \frac{kq_1 q_2}{(R+h)^2} \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{Gm_1 - kq_1 q_2/m_2}{R+h}}$$

이때 $q_2 = -\frac{3Gm_1 m_2}{kq_1}$이므로 전하가 방전되기 전의 인공위성의 속력은 다음과 같다.

$$v = 2\sqrt{\frac{Gm_1}{R+h}}$$

이 속력을 인공위성의 탈출 속력 u와 비교하자. 전하가 완전히 방전된 이후에는 중력으로 인한 인력만 존재하며, 이로 인한 반지름 $R+h$에서 탈출 속력 u는 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{1}{2}m_2u^2 - G\frac{m_1m_2}{R+h} = 0 \quad \Rightarrow \quad u = \sqrt{\frac{2Gm_1}{R+h}} < v$$

따라서 인공위성은 지구 중력을 탈출하여 무한히 먼 곳으로 간다.

(3) 방전된 직후의 인공위성이 가지고 있는 총 역학적 에너지는 다음과 같이 주어진다.

$$E_i = \frac{1}{2}m_2v^2 - G\frac{m_1m_2}{R+h} = \frac{1}{2}m_2v^2 - G\frac{m_1m_2}{2R}$$

다음으로 추락 이후, 지구 표면에서의 속력 u를 갖는 인공위성의 총 역학적 에너지는 다음과 같다.

$$E_f = \frac{1}{2}m_2u^2 - \frac{Gm_1m_2}{R}$$

에너지 보존 법칙을 사용하고, 문항 (2)의 구심력 조건으로부터 $v^2 = \frac{1}{2R}\left(Gm_1 - \frac{kq_1q_2}{m_2}\right)$을 대입하면, u를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$E_i = E_f \quad \Leftrightarrow \quad u = \sqrt{\frac{1}{2R}(3Gm_1 - kq_1q_2/m_2)}$$

이때, 지표면에서 안전하게 인공위성을 회수하기 위해서 $u < \sqrt{\frac{7Gm_1}{6R}}$을 만족해야 하므로, 다음과 같은 부등호를 얻을 수 있다.

$$\sqrt{\frac{1}{2R}[3Gm_1 - kq_1q_2/m_2]} < \sqrt{\frac{7Gm_1}{6R}} \quad \Rightarrow \quad q_2 > \frac{2Gm_1m_2}{3kq_1}$$

위 조건을 만족하는 q_2에 대해, 인공위성이 지표면으로 안전하게 추락하게 된다.

따라서 (1)번 문제 풀이($q_2 < \frac{Gm_1m_2}{kq_1}$)에 따라 원궤도를 가질 수 있는 조건과 결합, 방전 후 온전하게 추락되는 q_2의 구간은 다음과 같다.

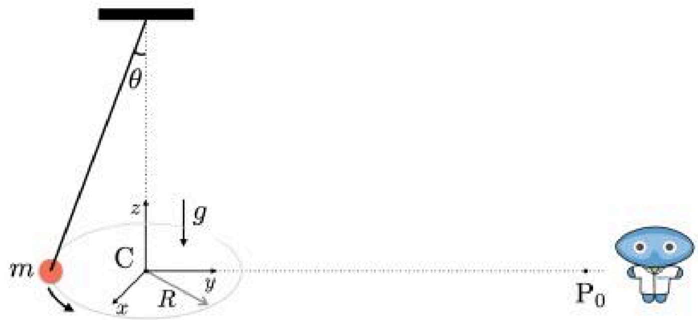
$$\frac{2Gm_1m_2}{3kq_1} < q_2 < \frac{Gm_1m_2}{kq_1}$$

문제 2

물리학 I·II | 등속 원운동, 도플러 효과 | 예상 소요 시간 10분

문항 및 제시문

질량 m인 추가 천장에 고정된 실에 매달려 xy 평면상에서 등속 원운동을 하며 진동수 f_0의 음파를 사방으로 방출한다. 실은 중력 방향($-z$축, 중력가속도 g)과 일정한 각도 θ를 유지하며, 원운동의 반지름은 R이다. 물리학자 넙죽이가 원운동 중심점 C에서 d만큼 떨어진 y축 위의 점 P_0에서 소리를 측정하고 있다. 단, d는 원운동 반지름 R보다 매우 크다. 추의 크기, 실의 질량, 공기저항은 무시한다. 음속은 v_s로 표현한다.



(1) 추가 한 바퀴 회전하는 데 걸리는 시간을 구하시오. (1점)

(2) 넙죽이가 측정하는 소리의 진동수를 f라고 할 때, f의 최댓값($f_{\max}$)과 최솟값($f_{\min}$)을 구하시오. (1점)

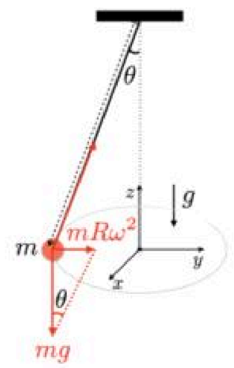
(3) 넙죽이가 P_0에서 C까지 y축의 여러 위치에서 소리의 진동수를 시간의 함수로 측정하려 한다. 각 위치에서 예측되는 측정 결과와 그 근거를 설명하시오. (3점)

채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	중력과 장력을 벡터적으로 분해하여 구심력 조건을 세우고, 등속 원운동의 주기를 정량적으로 구한 경우	1
(2)	등속 원운동하는 음원의 속도를 관측자 방향으로 분해하여 도플러 효과 공식을 적용하고, 진동수의 최댓값과 최솟값을 구한 경우	1
(3)	관측자의 위치에 따라 시선 방향 속도 성분이 달라짐을 분석하여, 각 위치에서 진동수 변화의 양상을 정성적으로 예측하고 그 근거를 서술한 경우	3

예시 답안

(1)

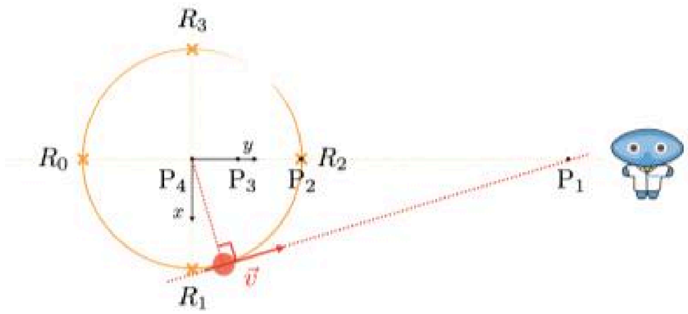


위 그림과 같이 반지름 R의 궤도를 등속 원운동하는 질량 m에 대해 중력과 구심력의 관계는 다음과 같다.

$$mg\tan\theta = mR\omega^2 = mR\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \quad (\omega\text{: 각속도},\ \ T\text{: 주기})$$

따라서, 주기 $T = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g\tan\theta}}$.

(2)



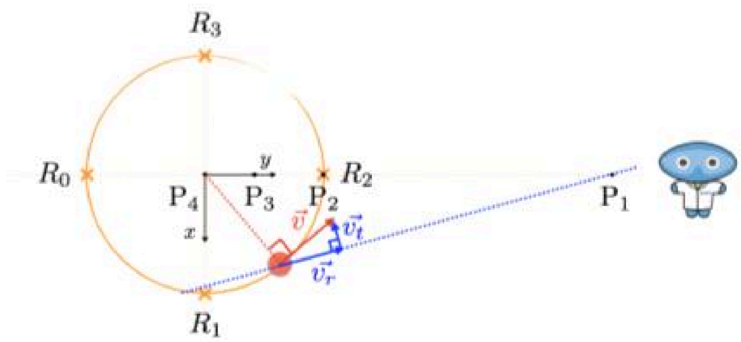
파원이나 관찰자가 움직이면 정지해 있을 때와는 다른 진동수의 파동을 측정하는 도플러 효과가 발생한다. 파동의 전파 속력이 v_s, 정지 상태의 진동수가 f_0라면, 이동 속력이 v인 파원이 관찰자에게 가까워질 때는 $f = \left(\frac{v_s}{v_s - v}\right) f_0$, 관찰자에게서 멀어질 때는 $f = \left(\frac{v_s}{v_s + v}\right) f_0$로 진동수가 달라진다.

추의 원운동에서 관찰자 방향으로의 속도는 시간에 따라 변화한다. 진자가 운동 중인 xy평면을 $+z$축 방향에서 내려다본 위 그림을 참고하면, $d \gg R$일 때 $(x, y) = (R, 0)$인 점 R_1과 $(x, y) = (-R, 0)$인 R_3 부근에서 관측자를 향하는 시선 속도 성분의 크기가 가장 커져 도플러 효과에 의한 진동수 변화가 최대로 나타난다. 즉, 추가 $(x, y) = (R, 0)$ 부근을 지날 때 진동수가 최대, $(x, y) = (-R, 0)$ 부근을 지날 때 진동수가 최소이다. 이때 추의 선속도는 $v = \omega R$이므로

$$\text{최댓값:}\quad f_{\max} = f_0 \frac{v_s}{v_s - \omega R} = f_0 \frac{v_s}{v_s - \sqrt{gR\tan\theta}},$$

$$\text{최솟값:}\quad f_{\min} = f_0 \frac{v_s}{v_s + \omega R} = f_0 \frac{v_s}{v_s + \sqrt{gR\tan\theta}}.$$

(3) 진동수가 최대가 되는 지점((2)번 해설)에서 추의 위치가 약간 이동한 상황을 아래 그림에 나타냈다. 원운동하는 추의 속도 벡터($\vec{v}$)는 언제나 궤도의 접선 방향을 향한다. 그리고 이를 그림과 같이 서로 직교하는 $\vec{v}_r$과 $\vec{v}_t$ 두 성분으로 나눌 수 있다. 이 중 $\vec{v}_r$은 파란 점선으로 표시된 방향(넙죽이에서 추를 잇는 방향)에 평행하며, 바로 이 속도 $\vec{v}_r$ 성분의 변화가 도플러 효과 즉, 넙죽이가 측정하는 소리의 진동수를 결정한다.



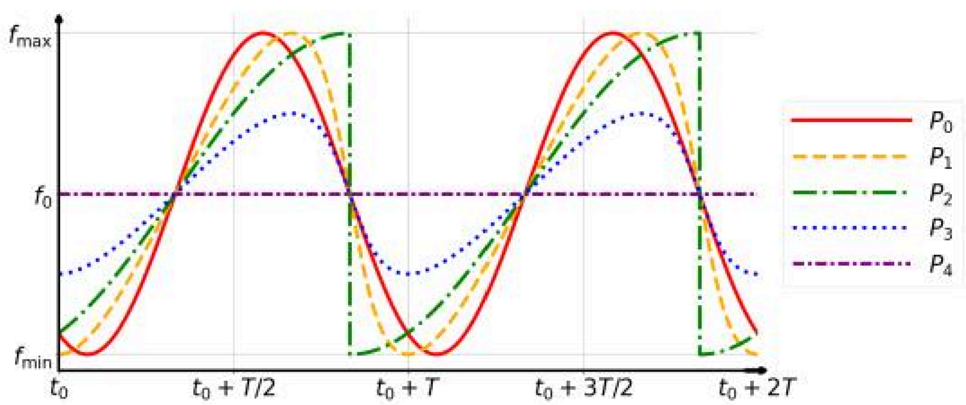
넙죽이가 P_0부터에서 원점으로 가까워지면, 파원이 가장 빠르게 다가오거나 멀어지는 추의 위치는 문제 (2) 해설의 그림에 나타난 R_1과 R_3에서 R_2 방향으로 향한다. 즉, 원운동하는 추의 접선 방향과 관측자의 시선 방향이 일치할 때 시선 속도 성분의 크기가 가장 커진다.

원 외부에서는 시선 방향 속도 성분이 최대가 되는 순간이 항상 원궤도의 접선 방향이 관찰자를 향할 때와 일치한다. 따라서 시선방향 속도 성분의 최댓값 자체는 변하지 않으나, 넙죽이와 추 사이의 거리가 가까워지므로 최대부터 최소까지의 진동수 사이 시간 간격이 서서히 감소하는 경향을 보인다.

그리고 넙죽이가 원궤도 안에 자리할 때는, 원점-추-넙죽이 사이의 각도가 90도 범위 내에서 움직인다. 이 각도가 언제나 90도보다 작기 때문에, 도플러 효과에 기여하는 속도는 항상 제한되어 있으며, 그 결과 최대-최소 진동수 변화 진폭이 감소하며 파형에 비대칭성이 나타난다. 정리하면:

- $\mathrm{P}_0(d \gg R)$: 문제 (2)의 결과에 따라 진동수 변화는 완전한 사인파 형태에 가깝다.
- $\mathrm{P}_1(d > R)$: 원운동 궤도 바깥에서 진동수 변화의 진폭은 그대로 유지되나, $f_{\max}$에서 $f_{\min}$으로 변하는 시간이 짧아진다.
- $\mathrm{P}_2(d = R)$: 원운동 궤도 위에서는 진동수 변화의 진폭은 그대로 유지되고, 음원이 관측자의 위치를 지나는 순간 속도 성분의 방향이 뒤바뀌므로 $f_{\max}$에서 $f_{\min}$으로의 변화가 바로 나타난다.
- $\mathrm{P}_3(0 < d < R)$: 관측자가 원운동 궤도 안으로 들어가면, 방향 속도 성분의 최댓값이 궤도 바깥에서보다 줄어들고, 진동수 변화의 진폭도 줄어든다.
- $\mathrm{P}_4(d = 0)$: 원운동의 중심에서는 관측자를 향하는 방향 속도 성분이 0이다.

☒참고 내용☒



P_0에서 P_2로 갈 때, 관측한 진동수의 진폭은 유지되나 사인 형태의 함수가 점차 찌그러진다. $d = R$인 P_2를 지나 $0 < d < R$인 P_3로 가면, 진폭이 감소하고 P_4에서는 관측자를 향하는 속도 성분이 항상 0이므로 진동수 변화가 없다.

그래프에서 P_0에 해당하는 곡선은 넙죽이의 위치가 $d \gg R$인 문제 (2)의 상황을 나타낸다. 그리고 $\mathrm{P}_1, \mathrm{P}_2, \mathrm{P}_3, \mathrm{P}_4$에 해당하는 곡선은 원점으로부터 넙죽이의 위치 P_n까지 거리가 각각 $d > R$, $d = R$, $0 < d < R$, $d = 0$일 때 관측되는 진동수를 나타낸다. 그래프에 나타난 f_{max}와 f_{min}은 문제 (2)의 결과와 같다.