

# 2022학년도 수시 입학전형 면접 기출문제

## 물리학 — 한국과학기술원(KAIST)

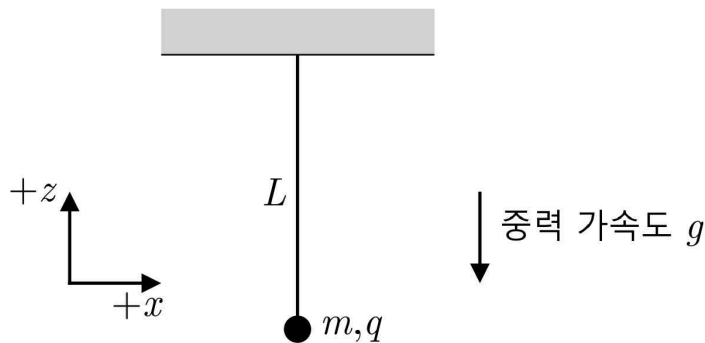
문항 및 제시문 · 채점 기준 · 예시 답안

### 문제 1

단진자 · 운동량과 충격량 · 전기력

#### 문항 및 제시문

아래 그림과 같이 질량이  $m$ 인 추가 길이가  $L$ 인 실에 매달려 정지해 있다. 추는 전하량  $q$  ( $q > 0$ )로 대전되어 있다. (중력 가속도는  $g$ 이다. 추의 크기, 실의 질량, 공기 저항은 무시한다.) (총 5점)



- (1) 어느 순간 충격량  $I$ 가  $+x$  방향으로 추에 전달되어 추가 단진자 운동을 시작하였다. 단진자 운동 과정에서 실과 연직 방향( $+z$  방향)이 이루는 각도가 가질 수 있는 최댓값을 구하라. (1점)
- (2) 추의 운동 영역 내에 균일한 전기장  $E$ 를  $+x$  방향으로 가한 상태에서 추가 단진자 운동을 한다면, 전기장을 가하지 않은 (1)의 경우와 비교하여 주기가 얼마나 증가 내지 감소하는지를 정량적으로 답하고 그 근거를 제시하라. (2점)
- (3) 추의 운동 영역 내에 균일한 전기장  $E$ 를  $+z$  방향으로 가한 상태에서 추가 단진자 운동을 한다면, (1)의 경우와 비교하여 주기가 얼마나 증가 내지 감소하는지를 정량적으로 답하고 그 근거를 제시하라. (2점)

## 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>역학적 에너지 (운동 에너지 + 중력 퍼텐셜 에너지) 보존 법칙으로부터 <math>\theta = \cos^{-1}\left(1 - \frac{I^2}{2m^2gL}\right)</math> 또는 <math>\cos \theta = 1 - \frac{I^2}{2m^2gL}</math>를 답했으면 +1점</li> </ul>	1점
(2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>주기가 <math>T' = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g'}} = 2\pi\sqrt{\frac{L}{\sqrt{g^2+(qE/m)^2}}}</math>로 감소함을 설명했으면 +2점</li> <li>답이 정량적으로 틀렸더라도 <math>+x</math> 방향의 전기력이 위의 그림과 같이 복원력 (또는 상수 <math>k</math>)을 증가시켜 주기가 감소함을 정성적으로 설명했으면 +1점</li> </ul>	2점
(3)	<ul style="list-style-type: none"> <li>주기가 <math>T'' = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g''}} = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g-qE/m}}</math>로 증가함을 설명했으면 +2점</li> <li>답이 정량적으로 틀렸더라도 <math>+z</math> 방향의 전기력이 위의 그림과 같이 복원력 (또는 상수 <math>k</math>)을 감소시켜 주기가 증가함을 정성적으로 설명했으면 +1점</li> </ul>	2점

## 예시 답안

(1) 충격량을 가하기 전의 추의 운동량은 0이므로, 충격량  $I$ 를 가한 직후의 운동량은  $I = mv$ , 운동 에너지는  $E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{I^2}{2m}$ 가 된다. 이후 단진자가 최대 각도  $\theta$ 에 이르렀을 때 추가 최대 높이  $L(1 - \cos\theta)$ 에 이르면서 초기의 운동 에너지가 모두 중력 퍼텐셜 에너지로 변환되므로,

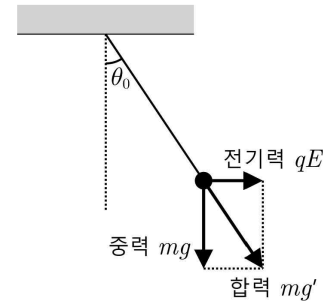
$$\frac{I^2}{2m} = mgL(1 - \cos\theta) \rightarrow \cos\theta = 1 - \frac{I^2}{2m^2gL} \text{ 또는 } \theta = \cos^{-1}\left(1 - \frac{I^2}{2m^2gL}\right)$$

한편, 단진자 운동의 주기는  $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 이다. (참고로 다음과 같이 유도할 수 있다. 진폭이 실의 길이보다 충분히 작은 단진자 운동에서 중력에 의한 복원력은  $F = -mg\sin\theta \simeq -mg\frac{x}{L} \equiv -kx$ 이므로 상수  $k = \frac{mg}{L}$ 에 의해 결정되는 주기는  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 가 된다.)

(2) 전기장을  $+x$  방향으로 가한 경우 전기력  $qE$ 가  $+x$  방향으로 작용한다. 따라서 중력과 전기력의 합력인  $mg'$ 의 방향과 연직 방향이 이루는 각도  $\theta_0$ 에서 힘의 평형을 이루고 이 각을 중심으로 단진자 운동을 한다.

이때 합력의 크기는  $mg' = \sqrt{(mg)^2 + (qE)^2}$ 이므로, (1)번 문항에서 복원력에 기여하는 힘이  $mg$ 에서  $mg' = \sqrt{(mg)^2 + (qE)^2}$ 로 증가한 상태에서 단진자 운동을 하는 것과 같다. 즉, 마치 중력 가속도가  $g' = \sqrt{g^2 + (qE/m)^2}$ 로 증가한 상황에서의 단진자 운동이다. 따라서 주기는 다음과 같이 감소한다.

$$T' = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g'}} = 2\pi\sqrt{\frac{L}{\sqrt{g^2 + (qE/m)^2}}}$$



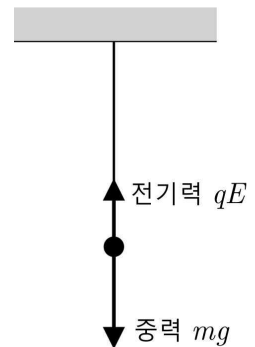
(3) 전기장을  $+z$  방향으로 가한 경우에는 전기력이 중력과 반대 방향으로 작용한다. 따라서 추는 (1)번 문항과 같이  $\theta_0 = 0$ 를 중심으로 단진자 운동을 하지만 복원력에 기여하는 힘이  $mg$ 에서  $mg'' = mg - qE$ 로 감소한 상태에서 단진자 운동을 하는 것과 같다. (또는 다음과 같이 상수  $k$ 가  $k''$ 로 감소한다.)

$$F'' \simeq -(mg - qE) \frac{x}{L} \equiv -k'' x, \quad k'' = \frac{mg - qE}{L}$$

즉, 마치 중력 가속도가  $g'' = g - qE/m$ 로 감소한 상황에서의 단진자 운동이다. 따라서 주기는 다음과 같이 증가한다.

$$T'' = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g''}} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g - qE/m}}$$

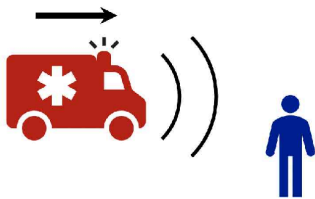
(참고로 전기력이 중력보다 크기가 커서 전기력과 중력의 합력이 연직 위 방향이 된다면 단진자 운동을 할 수 없으므로 이러한 상황은 배제할 수 있다.)



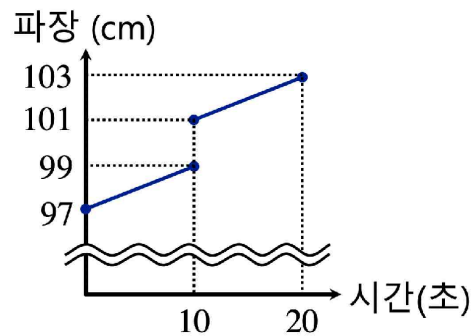
문항 및 제시문

일정한 주파수의 소리를 내는 병원차가 그림 (가)와 같이 오른쪽으로 직선 운동을 하고 있다. 이때, 정지한 관찰자가 이 소리의 파장을 20초 동안 기록하였고 그 결과 그림 (나)와 같이 두 개의 선분으로 이루어진 그래프를 얻었다. 소리의 전파 속력을 300 m/s라 할 때 20초 동안 병원차가 이동한 거리는 얼마인가? (단, 병원차의 속도는 시간에 대한 연속함수이다. 소리의 속력은 충분히 커서 병원차에서 발생한 소리가 관찰자에 도달하는 데 걸리는 시간을 무시할 수 있다고 가정한다. 또한 관찰자는 병원차의 운동 경로에 충분히 가깝지만 병원차와의 충돌은 없다고 가정한다.) (5점)

(가)



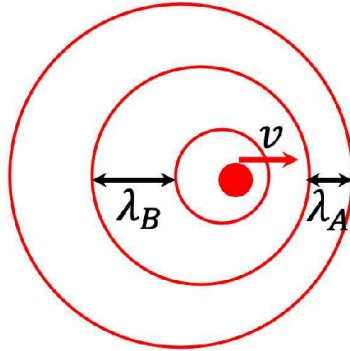
(나)



채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>정/오답에 상관없이 도플러 효과를 이용하여 병원차의 속도를 시간의 함수로 구하고 이로부터 병원차의 총 이동 거리를 구하려고 했으면 +1점</li> <li>병원차가 10초 이전까지는 관찰자에 접근하다가 10초에 관찰자를 지나서 10초 이후부터는 관찰자에게서 멀어지는 상황임을 도플러 효과를 이용하여 정성적으로 올바르게 설명했으면 +1점</li> <li>위의 속도-시간 그래프를 정량적으로 정확하게 얻었으면 +2점 (0~10초는 속도가 9 m/s → 3 m/s 선형적 감소, 10~20초는 속도가 3 m/s → 9 m/s 선형적 증가). 수치는 다르더라도 <math>\lambda = \lambda_0(1 \mp v/u)</math>나 <math>v = \pm u(1 - \lambda/\lambda_0)</math> 식으로부터 10초 이전에는 속도가 선형적으로 감소하고 10초 이후에는 속도가 선형적으로 증가하는 V자 형태의 속도-시간 관계를 얻었으면 +1점</li> <li>총 이동 거리 120 m를 답했으면 +1점</li> </ul>	5점

## 예시 답안



병원차가 정지한 상태에서 소리의 파장을  $\lambda_0$ , 주기를  $\tau_0$ 라고 하고, 소리의 전파 속력을  $u$  ( $= 300 \text{ m/s}$ )로 표현하자. 병원차의 속력이  $v$ 일 때 정지한 관찰자가 관측하는 파장은 도플러 효과에 의해 다음과 같이 주어진다. (위 그림 참조)

1. 병원차가 관찰자에 접근하는 경우:  $\lambda_A = \lambda_0 - v\tau_0 = \lambda_0(1 - v/u)$  ( $\tau_0 = \lambda_0/u$ 를 사용)
2. 병원차가 관찰자에서 멀어지는 경우:  $\lambda_B = \lambda_0 + v\tau_0 = \lambda_0(1 + v/u)$

파원(병원차)이 접근할 때는 파장이  $\lambda_0$ 보다 짧고, 파원이 멀어질 때는 파장이  $\lambda_0$ 보다 길다.

주어진 그래프에서 시간이 10초일 때 파장이 99 cm에서 101 cm로 불연속적으로 바뀐 점에 주목하면, 이 시간에 파원이 관찰자를 지나간 것을 알 수 있다. 문제의 조건에서 병원차의 속도는 시간에 대한 연속함수로 제시되었으므로 속도가 불연속적이어서 파장이 불연속적으로 변하는 경우는 배제할 수 있다.

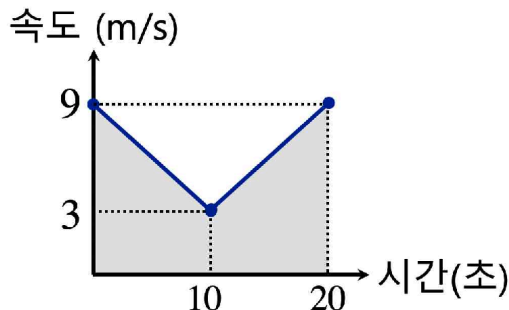
앞의 식을 변형하면 관측되는 파장에 따른 병원차의 속력을 구할 수 있다.

1. 병원차가 관찰자에 접근하는 경우:  $v = u\left(1 - \frac{\lambda_A}{\lambda_0}\right)$
2. 병원차가 관찰자에서 멀어지는 경우:  $v = u\left(\frac{\lambda_B}{\lambda_0} - 1\right)$

병원차가 접근하는 0~10초 동안에는 파장이 선형적으로 증가하므로 병원차의 속력이 감소하는 등가속도 운동이며, 병원차가 멀어지는 10~20초 동안에는 파장이 선형적으로 증가하므로 속력이 증가하는 등가속도 운동이다. 이때, 병원차가 정지한 경우의 파장  $\lambda_0$ 는 시간이 10초일 때 두 식을 연립하여 얻을 수 있다. 시간 10초에서  $\lambda_A = 99 \text{ cm}$ ,  $\lambda_B = 101 \text{ cm}$ 이고 병원차의 속력은  $v$ 로 동일하므로,

$$v = u\left(1 - \frac{99 \text{ cm}}{\lambda_0}\right) = u\left(\frac{101 \text{ cm}}{\lambda_0} - 1\right) \rightarrow \lambda_0 = 100 \text{ cm}$$

이를 바탕으로 병원차의 속도를 시간에 따른 그래프로 나타내면 다음과 같다.

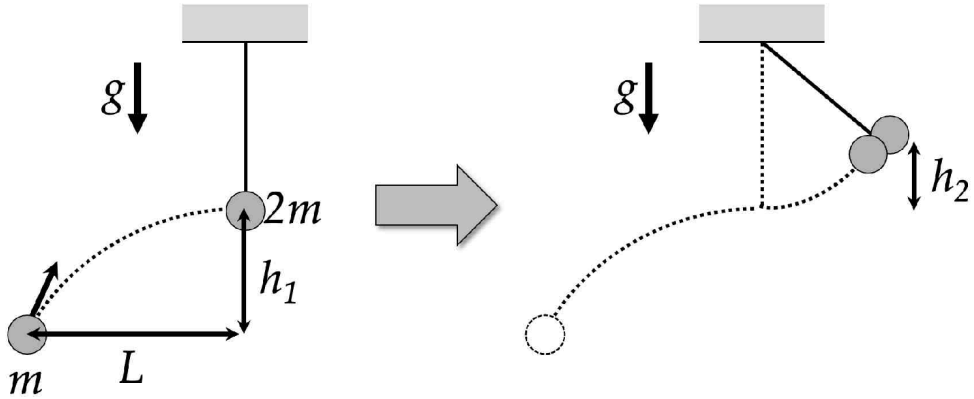


0~10초에는 병원차의 속도가 9 m/s에서 3 m/s까지 선형적으로 감소하면서 관찰자에게 접근하고, 10~20초에는 병원차의 속도가 3 m/s에서 9 m/s까지 선형적으로 증가하면서 관찰자에서 멀어진다.

병원차의 총 이동 거리는  $x$ 축과 그래프로 둘러싸인 면적이므로 답은  $(9 \text{ m/s} + 3 \text{ m/s}) \times 10 \text{ s} = 120 \text{ m}$ 이다.

문항 및 제시문

질량이  $m$ 인 공이 비스듬히 위로 발사되었다. 공이 최고점에 도달하였을 때 높이는  $h_1$ , 수평 방향 이동 거리는  $L$ 이다. 이 최고점에서 공은 줄에 연결된 질량  $2m$ 의 다른 공과 충돌하였고, 그 결과 두 공은 한 덩어리가 되어 함께 움직인다. 이때, 충돌 후 추가로 도달할 수 있는 최대 높이  $h_2$ 는 얼마인가? (중력 가속도는  $g$ 이고, 공기 저항과 줄의 질량은 무시한다. 공의 충돌 시간은 매우 짧아 무시할 수 있고, 줄의 길이는 충분히 길다.) (5점)



채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
없음	<ul style="list-style-type: none"> <li>정/오답에 상관없이 운동량 보존 법칙과 역학적 에너지 보존 법칙을 이용하여 충돌 전후의 공의 속도를 구한 후 최대 높이 <math>h_2</math>를 구하려고 했으면 +1점</li> <li>충돌 전 질량 <math>m</math>인 공의 <math>x</math>방향 속도가 <math>v_x = L\sqrt{\frac{g}{2h_1}}</math>임을 찾았으면 +2점</li> <li>운동량 보존 법칙을 이용하여 충돌 직후 공의 속도가 <math>v = \frac{v_x}{3} = \frac{L}{3}\sqrt{\frac{g}{2h_1}}</math>임을 찾았으면 +1점 (두 식 중 어떤 것이라도 대답했으면 +1점)</li> <li>역학적 에너지 보존 법칙을 이용하여 최대 높이 <math>h_2</math>가 <math>h_2 = \frac{v^2}{2g} = \frac{v_x^2}{18g} = \frac{L^2}{36h_1}</math>임을 얻었으면 +1점 (세 식 중 어떤 것이라도 대답했으면 +1점)</li> </ul>	5점

## 예시 답안

질량이  $m$ 인 공의 초기 속도의 수평 방향( $x$ 축) 성분 및 연직 방향( $y$ 축) 성분을 각각  $v_x, v_y$ 라고 할 때, 포물선 운동의 최고점의 높이  $h_1$ 과 수평 방향 이동 거리  $L$ 은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$h_1 = \frac{v_y^2}{2g}$$

$$L = v_x t = \frac{v_x v_y}{g} \quad (t = v_y/g \text{ 사용})$$

여기서  $t$ 는 공이 발사된 직후부터 최고점에 도달하는 데까지 걸린 시간이다. 이를 이용하면  $v_x, v_y$ 를  $h_1$ 과  $L$ 로 표현할 수 있다.

$$v_y = \sqrt{2gh_1}$$

$$v_x = L \frac{g}{v_y} = L \sqrt{\frac{g}{2h_1}}$$

최고점에서 두 공이 충돌할 때  $y$ 축 방향 속도는 0이므로  $x$ 축 방향의 1차원 충돌로 생각할 수 있고, 운동량 보존 법칙을 사용하면 충돌 직후의 속도  $v$ 를 얻을 수 있다.

$$mv_x = (m + 2m)v \rightarrow v = \frac{v_x}{3} = \frac{L}{3} \sqrt{\frac{g}{2h_1}}$$

마지막으로 역학적 에너지 보존 법칙을 이용하면 최대 높이  $h_2$ 를 구할 수 있다.

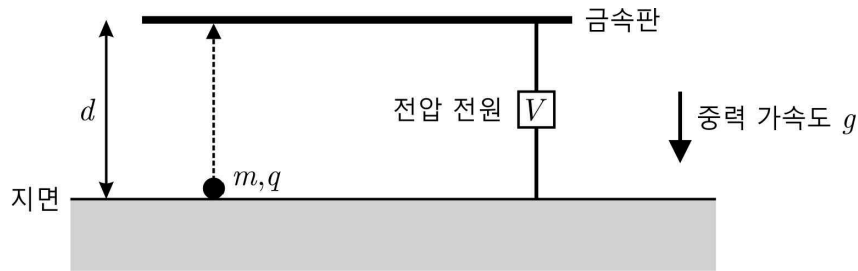
$$\frac{1}{2}(m + 2m)v^2 = (m + 2m)gh_2$$

$$h_2 = \frac{v^2}{2g} = \frac{v_x^2}{18g} = \frac{L^2}{36h_1}$$

문항 및 제시문

질량  $m$ , 전하량  $q$  ( $q > 0$ )를 가진 입자가 지면에 정지 상태로 놓여 있다. 그리고 지면으로부터 높이  $d$ 의 위치에 금속판이 지면과 평행하게 놓여 있다. 이제 그림과 같이 지면과 금속판 사이에 전압  $V$ 를 걸어서 입자를 연직 위로 들어 올리려고 한다. (중력 가속도는  $g$ 라 하자. 금속판의 크기는  $d$ 보다 매우 크다고 가정하고, 물체의 크기와 공기 저항은 무시한다.) (총 5점)

- (1) 입자를 들어 올리기 위한 전압  $V$ 의 방향과 크기에 대한 조건은 어떻게 되는가? (2점)
- (2) 전압  $V$ 에 의하여 입자가 금속판에 도달한 순간의 드브로이 파장을 구하라. (3점)



채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전압 <math>V</math>의 방향(지면이 금속판보다 전위가 높음)을 옳게 대답했으면 +1점</li> <li>• 전압 <math>V</math>의 크기의 조건(<math>\frac{qV}{d} &gt; mg</math> 또는 <math>V &gt; \frac{mgd}{q}</math>)을 옳게 대답했으면 +1점</li> </ul>	2점
(2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일·운동 에너지 정리(또는 역학적 에너지 보존 법칙)를 이용하여 입자가 금속판에 도달한 순간의 속력 <math>v = \sqrt{\frac{2}{m}(qV - mgd)}</math>를 구했으면 +1점</li> <li>• 입자의 드브로이 파장(<math>\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2m(qV - mgd)}}</math>)을 옳게 대답했으면 +2점. 그렇지 않더라도 <math>\lambda = \frac{h}{mv}</math> 관계식을 이용했으면 +1점.</li> </ul>	3점

## 예시 답안

(1) 전압  $V$ 를 걸면 지면과 금속판 사이에 형성되는 전기장  $E = V/d$ 에 의하여 입자가 전기력  $qE = qV/d$ 를 받는다. 입자를 들어 올리려면 이 전기력이 연직 위 방향이어야 하고 입자가 양전하( $q > 0$ )를 띠고 있으므로, 지면이 금속판보다 전위가 높도록 전압  $V$ 를 걸어야 한다. 이와 함께 전기력의 크기  $\frac{qV}{d}$ 가 중력  $mg$ 보다 커야 한다( $\frac{qV}{d} > mg$ ). 따라서  $V > \frac{mgd}{q}$ 여야 한다.



(2) 입자가 지면을 출발하여 금속판에 도달한 순간까지,

전기장이 입자에 한 일:  $W_1 = qV$

중력이 입자에 한 일:  $W_2 = -mgd$

일·운동 에너지 정리(또는 역학적 에너지 보존 법칙)에 의하여  $\frac{1}{2}mv^2 = qV - mgd$

입자가 금속판에 도달한 순간 입자의 속력은  $v = \sqrt{\frac{2}{m}(qV - mgd)}$

이때 입자의 드브로이 파장은  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2m(qV - mgd)}}$

( $h$ : 플랑크 상수,  $p$ : 입자의 운동량)