

**The true beauty of science is in finding a  
simple theory that can explain diverse phenomena.**

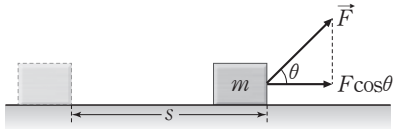
*Murray Gell-Mann*



### ① 일과 운동 에너지

- (1) 일: 물체가 일직선을 따라 거리  $s$ 만큼 움직이는 동안 크기가  $F$ 인 일정한 힘을 운동 방향과  $\theta$ 의 각을 이루며 물체에 작용했을 때, 그 힘이 물체에 한 일  $W$ 는 다음과 같다.

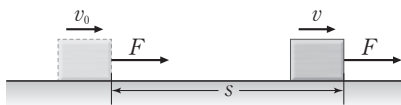
$$W = F s \cos \theta \quad [\text{단위: N} \cdot \text{m} = \text{J(줄)}]$$



- (2) 일·운동 에너지 정리

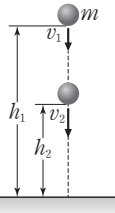
- ① 일·운동 에너지 정리: 질량  $m$ 인 물체에 일정한 알짜힘(합력)  $F$ 를 작용하여 거리  $s$ 만큼 이동시킬 때, 알짜힘(합력)  $F$ 가 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량( $\Delta E_k$ )과 같다.

$$W = F s = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m v_0^2 = \Delta E_k$$



- ② 물체에 작용한 알짜힘(합력)의 방향이 물체의 운동 방향과 같으면 물체의 운동 에너지는 증가하고, 알짜힘의 방향이 물체의 운동 방향과 반대이면 물체의 운동 에너지는 감소한다.
- ③ 자유 낙하 하는 물체에 중력이 한 일: 자유 낙하 하는 물체의 높이가  $h_1, h_2$ 일 때 속력을 각각  $v_1, v_2$ 라고 하면, 중력이 한 일과 운동 에너지의 관계는 다음과 같다.

$$W = mg(h_1 - h_2) = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 = \Delta E_k$$



- ④ 마찰력이 물체에 한 일: 수평면에서 속도  $v_0$ 로 운동하던 질량  $m$ 인 물체에 크기가  $f$ 로 일정한 마찰력이 작용하여 물체가 거리  $s$ 만큼 이동한 순간 물체의 속력이  $v$ 가 되었을 때, 마찰력이 한 일과 운동 에너지의 관계는 다음과 같다.

$$W = -fs = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m v_0^2 = \Delta E_k \quad (v < v_0, \Delta E_k < 0)$$

### ② 포물선 운동과 역학적 에너지

공기 저항을 무시하고 수평면에서 중력 퍼텐셜 에너지를 0이라 할 때, 수평면에서 수평면과  $\theta$ 의 각을 이루는 방향으로 속도  $\vec{v}_0$ 로 비스듬히 던진 질량이  $m$ 인 물체의 역학적 에너지는 보존된다.

- (1) 물체가 던져진 수평면에서 물체의 역학적 에너지

- ① 중력 퍼텐셜 에너지: 0

② 운동 에너지:  $\frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} m (v_{0x}^2 + v_{0y}^2)$

③ 역학적 에너지:  $E_0 = \frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} m (v_{0x}^2 + v_{0y}^2)$

- (2) 임의의 시간  $t$ 일 때 물체의 역학적 에너지

① 중력 퍼텐셜 에너지:  $mg(v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2)$

② 운동 에너지:  $\frac{1}{2} m \{v_{0x}^2 + (v_{0y} - gt)^2\}$

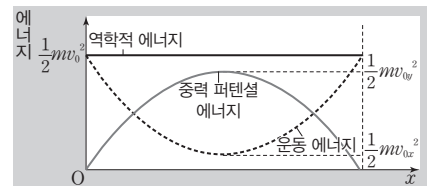
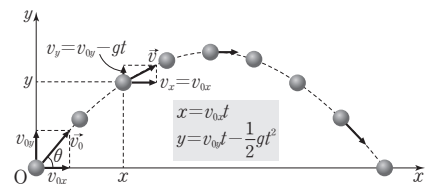
③ 역학적 에너지:  $mg(v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2) + \frac{1}{2} m \{v_{0x}^2 + (v_{0y} - gt)^2\}$   
 $= \frac{1}{2} m (v_{0x}^2 + v_{0y}^2) = E_0 \Rightarrow$  역학적 에너지는 보존된다.

- (3) 임의의 높이  $y$ 에서 물체의 역학적 에너지

$$E_0 = \frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} m v^2 + mgy = \frac{1}{2} m (v_{0x}^2 + v_y^2) + mgy$$

- (4) 최고 높이  $H$ 에서 물체의 역학적 에너지

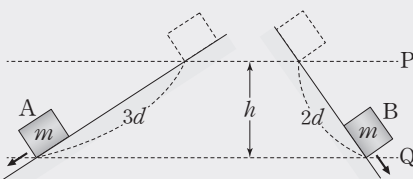
$$E_0 = \frac{1}{2} m v_0^2 = mgH + \frac{1}{2} m v_{0x}^2$$



### 더 알기

#### 경사각이 다른 두 빗면에서 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일

그림과 같이 경사각이 다른 두 빗면의 기준선 P에 가만히 놓은 질량이  $m$ 으로 같은 물체 A, B가 빗면을 따라 각각  $3d, 2d$ 만큼 운동하여 기준선 Q를 지난다.



A, B가 P에서 Q까지 운동하는 동안 A, B에 작용하는 알짜힘의 크기, 알짜힘의 방향으로 이동한 직선 거리, 알짜힘이 물체에 한 일, 운동 에너지 변화량은 표와 같다. (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 물체의 크기는 무시한다.)

| 운동           | 알짜힘의 크기 | 알짜힘의 방향으로 이동한 직선 거리 | 알짜힘이 물체에 한 일 | 운동 에너지 변화량 |
|--------------|---------|---------------------|--------------|------------|
| 자유 낙하 할 때    | $mg$    | $h$                 | $mgh$        | $mgh$      |
| 빗면을 따라 운동할 때 | A $F_A$ | $3d$                | $3F_A d$     | $mgh$      |
|              | B $F_B$ | $2d$                | $2F_B d$     | $mgh$      |

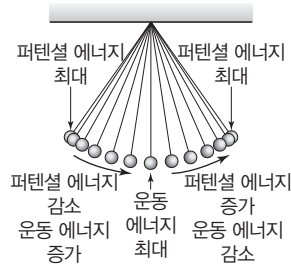
→ 알짜힘이 A, B에 한 일인 A, B의 운동 에너지 변화량이 서로 같으므로  $F_A : F_B = 2 : 3$ 이다.

### ③ 단진자와 역학적 에너지

- (1) 단진자 운동과 역학적 에너지: 질량을 무시할 수 있는 줄에 작은 물체를 매달아 작은 진폭에서 놓으면 물체는 연직면에서 왕복 운동하는데, 이를 단진자 운동이라고 한다.

#### ① 역학적 에너지 보존

- 진자가 출발점에서 진동의 중심을 향해 운동할 때  
 ➔ 중력 퍼텐셜 에너지 감소량  
 = 운동 에너지 증가량
- 진동의 중심을 지나 위로 운동할 때



➔ 운동 에너지 감소량 = 중력 퍼텐셜 에너지 증가량

- ② 진동의 중심(최저점): 복원력과 접선 방향으로의 가속도가 0이고, 속력은 최대이다. 운동 에너지는 최대이고 중력 퍼텐셜 에너지는 최소이다.
- ③ 진동의 양 끝(최고점): 복원력과 접선 방향으로의 가속도의 크기가 최대이고, 속력은 0이다. 운동 에너지는 0이고, 중력 퍼텐셜 에너지는 최대이다.

#### (2) 단진자의 주기

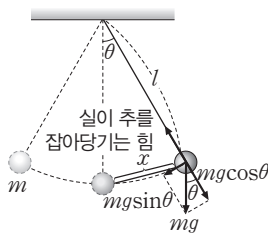
- ① 추에 작용하는 접선 방향의 힘( $\theta$ 는 매우 작다.)

$$\Rightarrow F = -mg \sin \theta \approx -\frac{mg}{l}x$$

#### ② 진자의 주기

$$\Rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

- ③ 진자의 등시성: 단진자의 주기는 추의 질량에 관계없이 진자의 길이에만 관계된다.



### ④ 열과 일의 전환

#### (1) 온도와 열

- ① 온도: 물체의 차고 따뜻한 정도를 수치로 나타낸 물리량
- 물체를 구성하고 있는 분자들의 평균 운동 에너지가 클수록 물체의 온도가 높다.
- ② 열: 에너지의 한 형태로, 물체 사이의 온도 차에 의해 이동하는 에너지
- 열은 자연적으로 고온에서 저온으로 이동한다.
  - 열량의 단위는 kcal 또는 J을 사용한다.

#### ③ 비열과 열용량

- 비열( $c$ ): 어떤 물질 1kg의 온도를 1K 높이는 데 필요한 열에너지 (단위: J/kg·K, J/kg·°C, kcal/kg·K, kcal/kg·°C)
- 열용량( $C$ ): 어떤 물체의 온도를 1K 높이는 데 필요한 열에너지 (단위: J/K, J/°C, kcal/K, kcal/°C)

#### ④ 열평형

- 열평형 상태: 온도가 서로 다른 물체 A, B를 접촉시켜 놓았을 때, 시간이 지나 A, B의 온도가 같아진 상태
- 열량 보존 법칙: 열평형 상태에 도달할 때까지 고온의 물체가 잃은 열량은 저온의 물체가 얻은 열량과 같다.

#### (2) 열과 일의 전환

##### ① 열이 일로 전환되는 예

- 찌그러진 탁구공을 뜨거운 물속에 넣으면 탁구공이 원래 모양으로 퍼진다.
- 증기 기관, 자동차, 제트기의 엔진과 같은 열기관

##### ② 일이 열로 전환되는 예

- 사포로 물체를 문지를 때 열이 발생한다.
- 모래가 들어 있는 통을 여러 번 흔들면 모래의 온도가 올라간다.

#### (3) 열역학 제1법칙

- ① 내부 에너지( $U$ ): 물체를 구성하는 입자들의 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 총합

- ② 열역학 제1법칙: 외부에서 계에 가해 준 열량( $Q$ )은 계의 내부 에너지의 변화량( $\Delta U$ )과 계가 외부에 해 준 일( $W$ )의 합과 같다.

$$Q = \Delta U + W$$

### ⑤ 열의 일당량

- (1) 줄의 실험 장치: 영국의 물리학자인 줄(Joule)은 단열된 용기에 있는 물에 역학적으로 일을 해 주었을 때 물의 온도가 변하는 것을 보여줌으로써 열이 에너지의 한 형태라는 것을 증명하였다.
- (2) 열의 일당량( $J$ ): 추가 낙하하는 동안 중력이 추에 한 일  $W$ 가 모두 열량계에서 회전 날개와 물의 마찰로 발생한 열량  $Q$ 로 전환될 때 다음 관계가 성립한다.

$$W = JQ$$

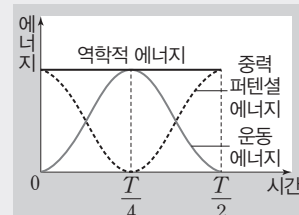
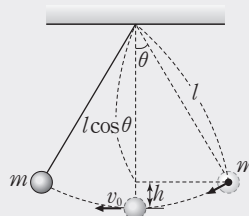
➔ 비례 상수  $J$ 를 열의 일당량이라고 한다.

$$J = 4.2 \times 10^3 \text{ J/kcal}$$

### 더 알기

#### 단진자와 역학적 에너지

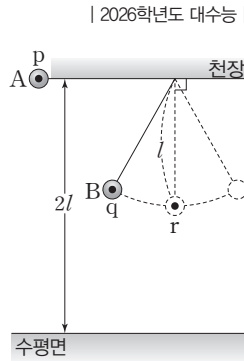
- 최저점에서 중력 퍼텐셜 에너지: 0
- 최저점에서 운동 에너지:  $\frac{1}{2}mv_0^2$
- 최고점에서 중력 퍼텐셜 에너지:  $mgh = mgl(1 - \cos\theta)$
- 최고점에서 운동 에너지: 0
- 역학적 에너지 보존:  $\frac{1}{2}mv_0^2 = mgl(1 - \cos\theta)$
- 최저점에서 속력:  $v_0 = \sqrt{2gl(1 - \cos\theta)}$



▲ 단진자와 역학적 에너지

## 테마 대표 문제

그림과 같이 물체 A가 높이  $2l$ 인 천장의 한 점 p에, 물체 B가 길이  $l$ 인 실에 연결되어 점 q에 정지해 있다. A, B를 각각 p, q에서 동시에 가만히 놓았더니 A는 등가속도 운동을, B는 단진동을 한다. 점 r는 B의 최저점이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기와 실의 질량은 무시한다.)



보기

- ㄱ. B의 속력이 처음으로 최대가 될 때, A의 높이는  $l$ 보다 작다.
- ㄴ. 높이  $l$ 에서 A의 속력은 r에서 B의 속력보다 작다.
- ㄷ. B의 역학적 에너지는 q에서가 r에서보다 작다.

- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

| 2026학년도 대수능 |

### 접근 전략

중력 가속도가  $g$ , 실의 길이가  $l$ 일 때 단진동의 주기는  $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 이므로 B가 r에 처음 도달할 때까지 걸린 시간은  $\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}$ 이다.

### 간략 풀이

q에서 B에 연결된 실이 연직선과 이루는 각을  $\theta$ , B의 질량을  $m$ 이라 하면 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은  $mgl(1-\cos\theta)$ 이다.

㉠ B의 속력이 처음으로 최대가 될 때까지 걸린 시간은  $\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}$ 이므로, A의 낙하 거리는  $\frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2}g\left(\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}\right)^2 = \frac{\pi^2}{8}l$ 이므로 낙하 거리는  $l$ 보다 크다. 따라서 B의 속력이 처음으로 최대가 될 때, A의 높이는  $l$ 보다 작다.

✕. A가 높이  $l$ 인 지점에 있을 때 A의 속력은  $\sqrt{2gl}$ 이고, r에서 B의 속력은  $\sqrt{2gl(1-\cos\theta)}$ 이다. 따라서 높이  $l$ 에서 A의 속력은 r에서 B의 속력보다 크다.

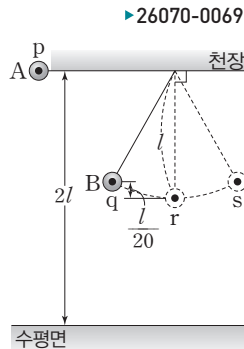
✕. 단진동하는 B의 역학적 에너지는 보존된다. 따라서 B의 역학적 에너지는 q에서와 r에서가 같다.

정답 | ①

## 짧은 풀 문제로 유형 익히기

정답과 해설 14쪽

그림과 같이 물체 A가 높이  $2l$ 인 천장의 한 점 p에, 물체 B가 길이  $l$ 인 실에 연결되어 점 q에 정지해 있다. A, B를 각각 p, q에서 동시에 가만히 놓았더니 A는 등가속도 운동을, B는 q와 점 s 사이에서 단진동을 한다. 점 r는 B의 최저점이고 q와 r의 높이 차는  $\frac{l}{20}$ 이다. 높이  $l$ 에서 A의 속력은  $v_1$ , r에서 B의 속력은  $v_2$ 이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기와 실의 질량은 무시한다.)



▶26070-0069

### 유사점과 차이점

단진동의 주기와 역학적 에너지 보존 법칙을 문제 해결에 적용해야 하는 점은 대표 문제와 유사하나 A, B의 속력을 정량적으로 계산해야 하는 점은 대표 문제와 다르다.

### 배경 지식

중력 가속도가  $g$ , 실의 길이가  $l$ 일 때 단진동의 주기는  $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 이다.

보기

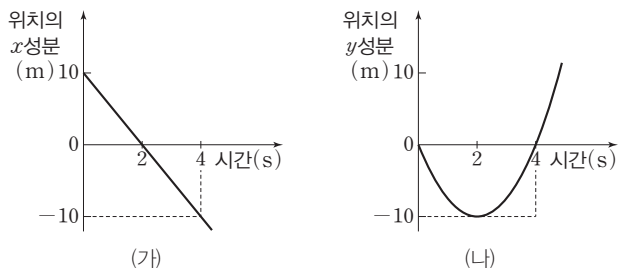
- ㄱ. B가 처음으로 s에 도달할 때까지 걸린 시간은 A가 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간보다 크다.
- ㄴ.  $\frac{v_1}{v_2} = 2\sqrt{5}$ 이다.
- ㄷ. B의 역학적 에너지는 q에서가 r에서의  $\frac{21}{20}$ 배이다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄷ      ④ ㄱ, ㄴ      ⑤ ㄴ, ㄷ

01

▶26070-0070

그림 (가), (나)는  $xy$  평면에서 등가속도 운동을 하는 질량  $2\text{ kg}$  인 물체의 위치의  $x, y$  성분을 각각 시간에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

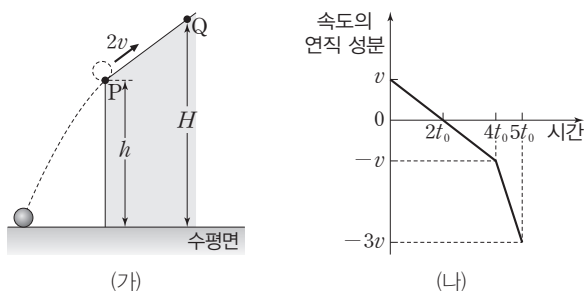
- ㄱ. 1초일 때 물체에 작용하는 힘의 방향은 운동 방향과 같다.
- ㄴ. 2초부터 4초까지 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은  $100\text{ J}$  이다.
- ㄷ. 4초일 때 물체의 운동 에너지는  $125\text{ J}$ 이다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄷ    ④ ㄱ, ㄷ    ⑤ ㄴ, ㄷ

02

▶26070-0071

그림 (가)와 같이 시간  $t=0$ 일 때 경사면의 끝점 P에서 경사면과 나란한 방향으로 속력  $2v$ 로 운동시킨 질량  $m$ 인 물체가 경사면을 떠나 포물선 운동을 하여  $t=5t_0$ 일 때 수평면에 도달하였다. 물체는  $t=2t_0$ 일 때 경사면 위의 점 Q에 도달한다. P, Q의 높이는 각각  $h, H$ 이다. 그림 (나)는 물체의 속도의 연직 성분을 시간에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체는 동일 연직면에서 운동하며 물체의 크기, 모든 마찰은 무시한다.)

보기

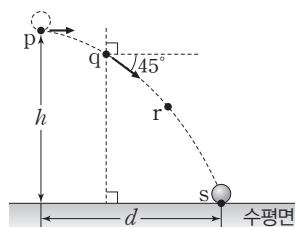
- ㄱ.  $t=0$ 부터  $t=2t_0$ 까지 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은  $\frac{1}{2}mv^2$ 이다.
- ㄴ.  $t=5t_0$ 일 때 물체의 속력은  $2\sqrt{3}v$ 이다.
- ㄷ.  $h : H = 2 : 3$ 이다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03

▶26070-0072

그림과 같이 높이가  $h$ 인 점 p에서 수평 방향으로 던져진 물체가 포물선 운동을 하여 점 q, r를 지나 수평면상의 점 s에 도달한다. q에서 물체의 운동 방향과 수평 방향이 이루는 각은  $45^\circ$ 이고 p에서 s까지 수평 이동 거리는  $d$ 이다. r에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 운동 에너지와 같다. 표는 p, q, r에서 물체의 운동 에너지를 나타낸 것이다.



| 점 | 운동 에너지 |
|---|--------|
| p | $E_0$  |
| q | ㉠      |
| r | $5E_0$ |

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 수평면에서 중력 퍼텐셜 에너지는 0이고, 물체의 크기는 무시한다.)

보기

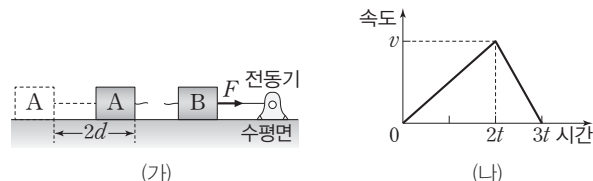
- ㄱ. ㉠은  $2E_0$ 이다.
- ㄴ. 물체의 높이는 p에서가 r에서의  $\frac{9}{5}$ 배이다.
- ㄷ.  $d = \frac{3}{4}h$ 이다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04

▶26070-0073

그림 (가)와 같이 마찰이 있는 수평면에서 정지해 있는 물체 A와 실로 연결된 물체 B에 연결된 전동기가 B를 크기가  $F$ 인 일정한 힘으로 당겼을 때, A, B가 등가속도 운동을 하여  $2d$ 만큼 이동한 순간 A와 B에 연결된 실이 끊어졌다. 그림 (나)는 A의 속도를 시간에 따라 나타낸 것이다. A, B의 질량, A, B에 작용하는 마찰력의 크기는 각각 같고 시간  $2t$ 일 때, B의 운동 에너지는  $E_0$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기와 실의 질량은 무시한다.)

보기

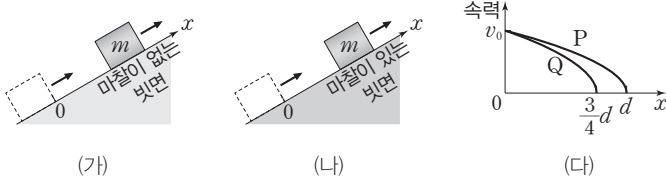
- ㄱ.  $E_0 = \frac{1}{3}Fd$ 이다.
- ㄴ.  $3t$ 일 때 B의 속도의 크기는  $3v$ 이다.
- ㄷ.  $3t$ 일 때 B의 운동 에너지는  $3Fd$ 이다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 05

▶26070-0074

그림 (가), (나)는 각각 마찰이 없는 빗면과 마찰이 있는 빗면에서 질량이  $m$ 인 물체가  $+x$ 방향으로 운동하는 것을 나타낸 것이고, (다)의 P, Q는 (가), (나)에서 물체의 위치  $x$ 에 따른 속력을 순서 없이 나타낸 것이다. (가), (나)에서 빗면의 경사각은 같다.



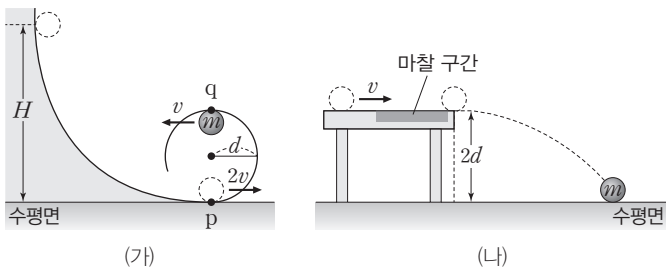
(나)에서  $x=0$ 인 지점을  $+x$ 방향으로 통과하는 순간부터  $-x$ 방향으로 통과하는 순간까지 마찰력이 한 일은? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

- ①  $-\frac{3}{4}mv_0^2$       ②  $-\frac{1}{2}mv_0^2$       ③  $-\frac{3}{8}mv_0^2$   
 ④  $-\frac{1}{4}mv_0^2$       ⑤  $-\frac{1}{8}mv_0^2$

## 06

▶26070-0075

그림 (가)는 수평면으로부터 높이가  $H$ 인 지점에서 물체를 가만히 놓았을 때 물체가 원형 레일을 따라 운동하여 레일의 최저점 p, 최고점 q를 각각 속도  $2v, v$ 로 지나는 것을 나타낸 것이고, (나)는 수평한 책상 위에서 속도  $v$ 로 운동하던 물체가 마찰 구간을 지나 책상 끝에서 포물선 운동을 하여 수평면에 도달하는 것을 나타낸 것이다. (가), (나)에서 원형 레일의 반지름은  $d$ , 책상의 높이는  $2d$ 이고, 물체의 질량은 각각  $m$ 이다. (나)의 마찰 구간에서 마찰력이 물체에 한 일은  $\frac{3}{8}mv^2$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기와 마찰 구간을 제외한 모든 마찰은 무시한다.)

| 보기 |

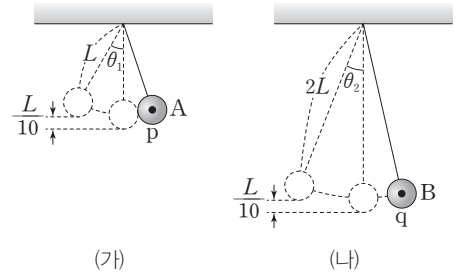
- ㄱ.  $H = \frac{8}{3}d$ 이다.  
 ㄴ. p에서 q까지 운동하는 동안 레일이 물체를 수직 방향으로 떠받치는 힘이 하는 일은 0이다.  
 ㄷ. (나)에서 수평면에 도달하는 순간 물체의 속력은  $2v$ 보다 작다.

- ① ㄴ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄱ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 07

▶26070-0076

그림은 길이가 각각  $L, 2L$ 인 실에 매달린 질량이 같은 물체 A, B를 최저점으로부터 높이가  $\frac{L}{10}$ 인 지점에서 가만히 놓



았을 때 A, B가 최저점을 지난 후 각각 점 p, q를 지나는 모습을 나타낸 것이다. A, B에 연결된 실이 연직 방향과 이루는 각의 최댓값은 각각  $\theta_1, \theta_2$ 이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B의 최저점에서 중력 퍼텐셜 에너지는 각각 0이고, 물체의 크기와 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

| 보기 |

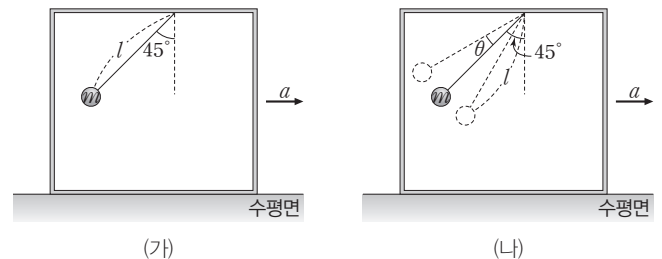
- ㄱ. q에서 B의 역학적 에너지는 p에서 A의 역학적 에너지보다 크다.  
 ㄴ.  $\theta_1 > \theta_2$ 이다.  
 ㄷ. 최저점에서 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 A에서 B에서의 2배이다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄷ      ④ ㄱ, ㄷ      ⑤ ㄴ, ㄷ

## 08

▶26070-0077

그림 (가)와 같이 마찰이 없는 수평면에서 크기가  $a$ 인 가속도로 등가속도 직선 운동을 하는 상자에 질량  $m$ 인 추가 길이  $l$ 인 실에 매달려 정지해 있다. 실이 연직 방향과 이루는 각은  $45^\circ$ 이다. 그림 (나)는 (가)에서 추의 위치와 실이  $45^\circ$ 를 이루는 상태를 중심으로 추가 각  $\theta$ 의 진폭으로 단진동하는 것을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 추의 크기, 실의 질량은 무시한다.)

| 보기 |

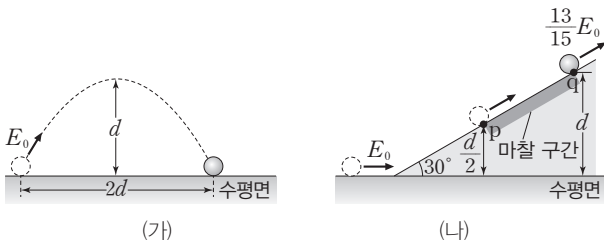
- ㄱ.  $a = g$ 이다.  
 ㄴ. (나)에서 추의 주기는  $2\pi\sqrt{\frac{l}{2g}}$ 이다.  
 ㄷ. (나)에서 상자 내부에 정지한 좌표계에서 관측한 추의 운동 에너지의 최댓값은  $2mgl(1 - \cos\theta)$ 이다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄱ, ㄷ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

09

▶26070-0078

그림 (가)와 같이 수평면에서 역학적 에너지  $E_0$ 로 비스듬히 던져진 물체가 포물선 운동을 하여 수평면에 도달한다. 물체의 최고점 높리와 수평 이동 거리는 각각  $d, 2d$ 이다. 그림 (나)는 수평면에서 운동하던 물체가 경사각이  $30^\circ$ 인 빗면과 나란한 방향으로 운동하여 점 p, q를 지나는 모습을 나타낸 것이다. p와 q 사이에서 물체에 크기가 일정한 마찰력이 작용한다. 수평면과 q에서 물체의 역학적 에너지는 각각  $E_0, \frac{13}{15}E_0$ 이고 p, q의 높이는 각각  $\frac{d}{2}, d$ 이다. 물체의 질량은 (가)에서와 (나)에서가 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간을 제외한 모든 마찰은 무시한다.)

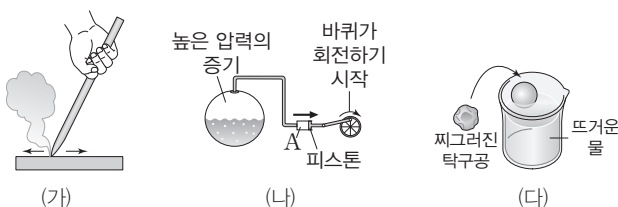
- 보기
- ㄱ. (가)에서 최고점을 지날 때 물체의 운동 에너지는  $\frac{1}{5}E_0$ 이다.
  - ㄴ. (나)의 p에서 물체의 운동 에너지는  $\frac{3}{5}E_0$ 이다.
  - ㄷ. (나)의 마찰 구간에서 물체에 작용하는 마찰력의 크기는 중력의 크기의  $\frac{1}{6}$ 배이다.

① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10

▶26070-0079

그림 (가)는 나무와 나무를 마찰시켜 불을 피우는 모습을, (나)는 높은 압력의 증기가 실린더 내부 A에서 피스톤을 밀어내어 바퀴를 회전시키는 장치를, (다)는 찌그러진 탁구공을 뜨거운 물에 넣었을 때 원래대로 되돌아오는 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

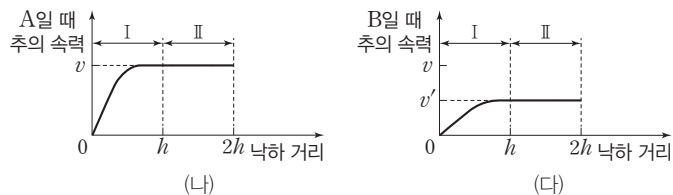
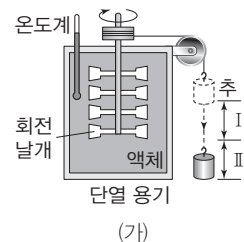
- 보기
- ㄱ. (가)는 일이 열로 전환된 예이다.
  - ㄴ. (나)의 A에서 피스톤이 밀리는 동안 A 내부의 기체는 피스톤에 일을 한다.
  - ㄷ. (다)의 탁구공 안의 기체의 내부 에너지는 증가한다.

① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

11

▶26070-0080

그림 (가)는 추가 낙하함에 따라 질량이 같은 액체 A 또는 B가 담긴 열량계의 회전 날개가 회전하여 액체의 온도를 높이는 장치를 나타낸 것이다. 그림 (나), (다)는 (가)에서 열량계에 담긴 액체가 각각 A, B일 때 추의 속력을 낙하 거리에 따라 나타낸 것이다. 구간 II에서 온도 변화량은 A가 B보다 크다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 추의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량은 모두 추의 운동 에너지와 액체의 온도 변화에만 사용된다.)

- 보기
- ㄱ. 구간 I에서 추에 작용하는 중력이 한 일은 A일 때가 B일 때보다 크다.
  - ㄴ. I에서 액체가 얻은 열량은 A가 B보다 작다.
  - ㄷ. 비열은 A가 B보다 크다.

① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄷ    ④ ㄱ, ㄷ    ⑤ ㄴ, ㄷ

12

▶26070-0081

그림과 같이 물체 A, C와 연결된 질량  $m$ 인 물체 B를 수평면상의  $x=0$ 인 지점에서 가만히 놓았더니 B가 직선 운동을 하여  $x=L, x=2L$ 인 지점을 차례로 지난다.  $x=L$ 에서  $x=2L$  구간은 마찰 구간이고, B에는 크기가 일정한 마찰력이 작용한다. 표는 B가  $x=L$ 인 지점을 지나는 순간 A, B, C의 운동 에너지를 나타낸 것이다. B가  $x=2L$ 인 지점을 지나는 순간 C의 운동 에너지는  $\frac{3}{4}mgL$ 이다.

| 물체 | 운동 에너지           |
|----|------------------|
| A  | ㉠                |
| B  | $\frac{1}{4}mgL$ |
| C  | $\frac{1}{2}mgL$ |

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 물체의 크기, 실의 질량, 마찰 구간을 제외한 모든 마찰은 무시한다.)

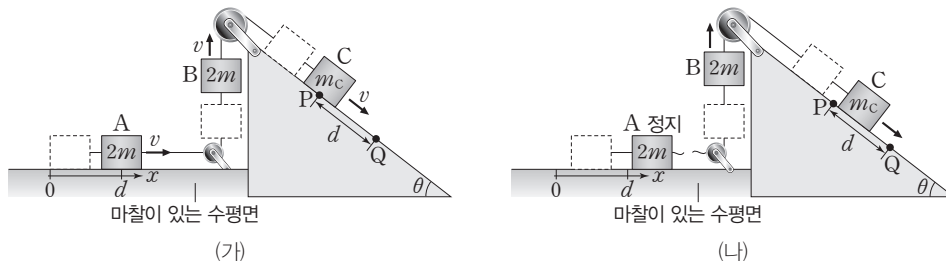
- 보기
- ㄱ. ㉠은  $\frac{1}{4}mgL$ 이다.
  - ㄴ. 마찰 구간에서 마찰력이 B에 한 일은  $-\frac{1}{8}mgL$ 이다.
  - ㄷ. B가  $x=2L$ 인 지점을 지나는 순간 A의 속력은  $\sqrt{\frac{3}{2}gL}$ 이다.

① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 01

▶26070-0082

그림 (가)는 마찰이 있는 수평면상에서 물체 A가 물체 B, C와 실로 연결되어  $+x$ 방향으로 속력  $v$ 로 등속도 운동을 하는 모습을, (나)는 A가  $x=d$ 를 지나는 순간 A와 B를 연결한 실을 끊었을 때 A가  $+x$ 방향으로 등가속도 운동을 하여 정지한 모습을 나타낸 것이다. 경사각이  $\theta$ 인 경사면 위에서 운동하는 C는 실을 끊는 순간 점 P를 지나며 등가속도 운동을 하여 점 Q를 통과한다. P와 Q 사이의 거리는  $d$ 이다. A, B, C의 질량은 각각  $2m, 2m, m_C$ 이고,  $\sin\theta = \frac{3}{4}$ 이다. A가  $x=0$ 에서  $x=d$ 까지 등속도 운동을 하는 동안 A의 운동 에너지는  $E_0$ 이고, B와 C의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량의 크기는 각각  $2E_0, 3E_0$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 물체의 크기와 실의 질량, 수평면 외의 모든 마찰, 공기 저항은 무시한다.)

보기

ㄱ.  $m_C = 4m$ 이다.

ㄴ. 실이 끊어진 순간부터 정지할 때까지 A가 수평 방향으로 이동한 거리는  $\frac{v^2}{g}$ 이다.

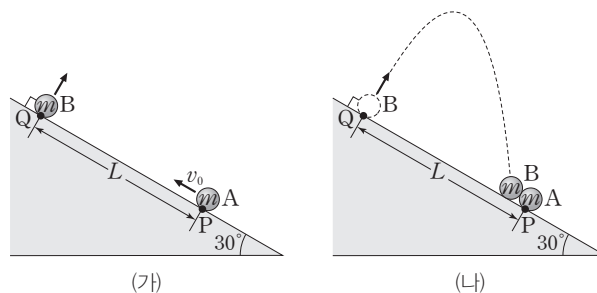
ㄷ. C가 Q를 통과하는 순간 B의 운동 에너지는  $\frac{4}{3}E_0$ 이다.

- ① ㄴ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄱ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 02

▶26070-0083

그림 (가)는 등가속도 직선 운동을 하는 물체 A가 경사각이  $30^\circ$ 인 빗면과 나란한 방향으로 운동하여 빗면 위의 점 P를 속력  $v_0$ 으로 지나는 순간 물체 B가 빗면 위의 점 Q에서 빗면에 수직인 방향으로 던져진 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)와 같이 물체 B는 포물선 운동을 하여 P에서 A와 충돌한다. A와 B의 질량은 각각  $m$ 이고, P와 Q 사이의 거리는  $L$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 물체의 크기, 모든 마찰은 무시한다.)

보기

ㄱ. Q에서 B의 속력은  $\frac{v_0}{\sqrt{3}}$ 이다.

ㄴ. P에서 B의 운동 에너지는  $\frac{7}{2}mv_0^2$ 이다.

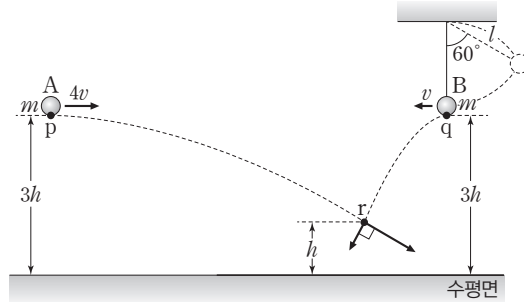
ㄷ. A가 P에서 최고점에 도달할 때까지 중력 퍼텐셜 에너지의 증가량은  $\frac{1}{8}mgL$ 이다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄱ, ㄷ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03

▶26070-0084

그림은 물체 A가 점 p에서 수평 방향으로 속력  $4v$ 로 발사되어 포물선 운동을 하는 모습과 천장에 길이가  $l$ 인 실로 연결되어 연직 방향과  $60^\circ$ 의 각을 이루며 왕복 운동하는 물체 B가 최저점 q에서 실이 끊어져 포물선 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. q에서 B의 속력은  $v$ 이다. A, B는 점 r에서 수직으로 만난다. p, q, r의 높이는 각각  $3h$ ,  $3h$ ,  $h$ 이고, A, B의 질량은  $m$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, A, B는 동일 연직면에서 운동하며, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

보기

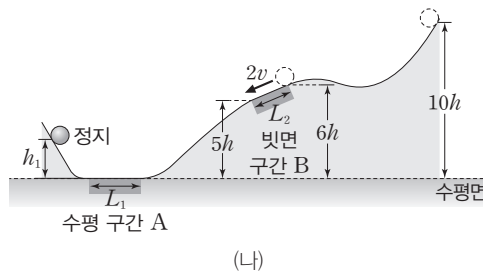
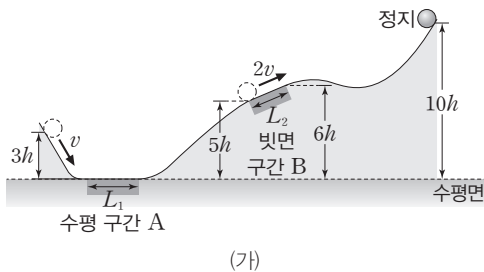
- ㄱ. r에서 A의 운동 에너지는  $10mgh$ 이다.
- ㄴ. q에서 r까지 운동하는 동안 중력이 B에 한 일은  $\frac{5}{2}mv^2$ 이다.
- ㄷ.  $l=h$ 이다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄱ, ㄷ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04

▶26070-0085

그림 (가)는 높이  $3h$ 인 곳에서 속력  $v$ 로 출발한 물체가 궤도를 따라 운동하여 높이  $10h$ 인 곳에서 정지한 순간의 모습을, (나)는 (가)에서 물체가 다시 궤도를 따라 운동하여 높이  $h_1$ 인 곳에서 정지한 순간의 모습을 나타낸 것이다. (가), (나)에서 물체는 길이가  $L_1$ 인 수평 구간 A에서는 등가속도 직선 운동을, 길이가  $L_2$ 인 빗면 구간 B에서는 속력  $2v$ 로 등속도 운동을 하였다. B의 시작점과 끝점의 높이는 각각  $5h$ ,  $6h$ 이다. (가)에서 물체가 A, B를 지나는 데 걸린 시간은 같고 A에서 물체에 작용하는 힘의 크기는 (나)에서 (가)에서의  $\frac{3}{2}$ 배이다. (가), (나)의 A, B에서 물체에 작용하는 힘의 방향은 일정하다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

보기

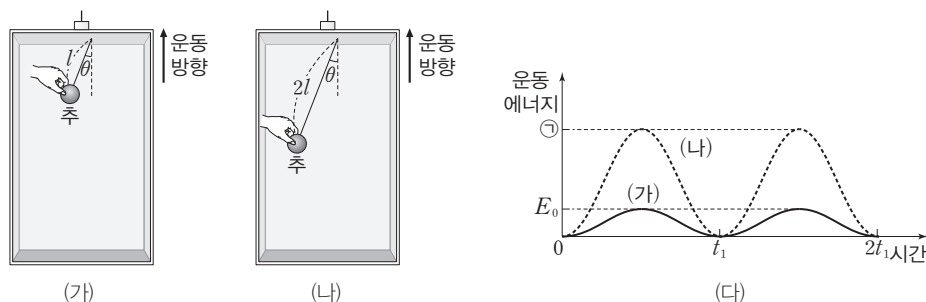
- ㄱ. (가)의 A, B에서 물체에 작용하는 힘의 방향은 운동 방향과 같은 방향이다.
- ㄴ.  $\frac{L_2}{L_1} = \frac{4}{5}$ 이다.
- ㄷ.  $h_1 = \frac{3}{2}h$ 이다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄱ, ㄷ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 05

▶ 26070-0086

그림 (가), (나)는 연직 위 방향으로 각각 등속도 운동, 크기가  $a$ 인 가속도로 등가속도 운동하는 엘리베이터 안에서 길이 각각  $l$ ,  $2l$ 인 실에 연결된 추를 실과 연직선이 이루는 각이  $\theta$ 를 이루도록 잡고 있는 것을 나타낸 것이다. 추의 질량은 (가)와 (나)에서 같다. 그림 (다)는 (가)와 (나)에서 추를 가만히 놓은 순간부터 추가 단진동을 할 때, 각각 엘리베이터 내부에 정지한 좌표계에서 관측한 추의 운동 에너지를 시간에 따라 나타낸 것이다.



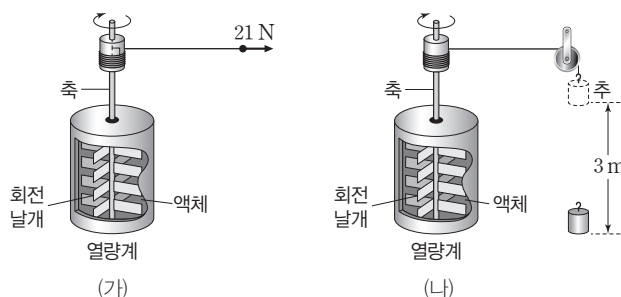
$a$ 와 ㉠으로 옳은 것은? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 추의 크기와 실의 질량은 무시한다.)

| $a$             | ㉠      | $a$    | ㉠      |
|-----------------|--------|--------|--------|
| ① $\frac{g}{2}$ | $2E_0$ | ② $g$  | $2E_0$ |
| ③ $g$           | $4E_0$ | ④ $2g$ | $4E_0$ |
| ⑤ $2g$          | $8E_0$ |        |        |

## 06

▶ 26070-0087

그림 (가)와 같이 질량이  $500\text{ g}$ 인 액체가 가득 차 있는 열량계에 수평 방향으로 연결된 실을 크기가  $21\text{ N}$ 인 일정한 힘으로  $10\text{ m}$ 만큼 당겼더니 힘이 한 일이 모두 액체의 온도 변화에 사용되어 액체의 온도가  $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 만큼 증가하였다. 그림 (나)와 같이 (가)의 열량계에 질량이  $21\text{ kg}$ 인 추를 연결하여 수평면으로부터 높이가  $3\text{ m}$ 인 지점에서 가만히 놓았더니 추가 속력  $v$ 로 수평면에 도달했을 때 액체의 온도가  $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 만큼 증가하였다.



액체의 비열과  $v$ 로 옳은 것은? (단, 열의 일당량은  $4.2\text{ J/cal}$ , 중력 가속도는  $10\text{ m/s}^2$ 이고, (나)에서 추의 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량은 추의 운동 에너지와 액체의 온도 변화에만 이용된다.)

| 비열( $\text{cal/g}\cdot^{\circ}\text{C}$ ) | $v(\text{m/s})$ | 비열( $\text{cal/g}\cdot^{\circ}\text{C}$ ) | $v(\text{m/s})$ |
|-------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------|-----------------|
| ① 0.5                                     | $2\sqrt{5}$     | ② 0.5                                     | $2\sqrt{10}$    |
| ③ 0.5                                     | $2\sqrt{15}$    | ④ 1.0                                     | $2\sqrt{5}$     |
| ⑤ 1.0                                     | $2\sqrt{10}$    |                                           |                 |

㉔. A, B의 좌표계에서 물체의 가속도의 크기는 각각  $\frac{2}{3}g$ ,  $g$ 이고, 던진 속도의 수직 성분의 크기가 같으므로 물체가 도달하는 최고점의 높이는 가속도의 크기에 반비례한다. 따라서 우주선 바닥에서 물체의 최고점까지의 높이는 A의 좌표계에서 B의 좌표계에서의  $\frac{3}{2}$ 배이다.

㉕. (가)에서  $a=g$ 이면 A의 좌표계에서 관성력의 크기는 중력의 크기와 같다. 따라서 물체는 우주선 바닥과  $\theta$ 를 이루는 방향으로  $v_0$ 의 속력으로 등속 직선 운동을 한다.

## 05 시공간의 휘어짐과 중력 렌즈

아인슈타인은 중력을 힘으로 간주하지 않고 시공간의 휘어짐과 관련이 있다고 제안하였는데 질량이 큰 천체에 가까울수록 시공간이 휘어진 정도는 커진다.

✕. 일반 상대성 이론에 따르면 질량이 큰 천체 주위에서 시공간이 휘어지는데 시공간이 많이 휘어진 곳일수록 시간이 느리게 간다. 시공간이 휘어진 정도는 b에서 a에서보다 크기 때문에 시간은 b에서 a에서보다 느리게 간다.

✕. 은하 P, Q의 중력에 의해 시공간이 휘어지고 빛도 휘어져 진행하여 별의 위치가 실제 위치와 다르게 관측되는 중력 렌즈 효과가 나타난다. 은하의 질량이 클수록 빛이 휘어지는 정도가 커져 별의 실제 위치와 관측 위치의 차이가 커진다. A와 A'의 차이가 B와 B'의 차이보다 크므로 은하의 질량은 P가 Q보다 크다.

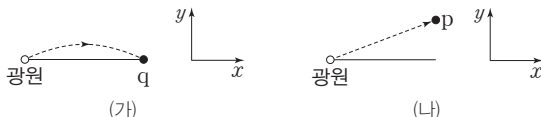
㉔. 질량이 큰 천체일수록 시공간을 휘게 하는 정도가 크다. 따라서 시공간을 휘게 하는 정도는 P가 Q보다 크다.

## 06 가속 좌표계와 등가 원리

가속도 운동을 하는 우주선의 내부에서는 빛의 진행 경로가 휘어진다.

✕. 지표면의 우주선에서는 지구의 중력에 의해 빛의 진행 경로가 휘어진다. (가)에서 광원에서 발사된 빛이 같은 높이의 q에 도달했으므로 빛의 진행 경로는 그림 (가)와 같다. 따라서 (가)에서 A가 관찰할 때 q에 도달한 빛은 광원에서 q보다 위쪽 지점을 향해 발사된 빛이다.

㉔. (나)에서 B가 탄 우주선에서 저울에 측정된 힘이 0이므로 관성력의 방향은 중력의 방향과 반대이고 관성력의 크기는 중력의 크기와 같다. 따라서 빛은 그림 (나)와 같이 진행한다. 즉, (나)에서 B가 관찰할 때 광원에서 발사된 빛은 등속 직선 운동을 하여 p에 도달한다.



㉕. (다)에서 C가 탄 우주선에서 저울에 측정된 힘의 크기가 (가)에서 A가 탄 우주선에서와 같으므로 (다)의 우주선의 가속도의 크기는  $g$ 이고 연직 아래 방향으로 관성력이 작용한다. 따라서 (다)에서 C가 관찰한 빛의 진행 경로는 (가)에서 A가 관찰한 빛의 진행 경로와 같다. 즉, (다)에서 C가 관찰할 때 광원에서 발사된 빛은 q에 도달한다.

테마  
05

## 일과 에너지

많은 풀 문제로 유형 익히기

본문 39쪽

정답 ④

중력 가속도가  $g$ , 실의 길이가  $l$ 일 때 B가 처음으로 s에 도달할 때까지 걸린 시간은 단진동의 주기의  $\frac{1}{2}$ 배인  $\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 이다.

㉔. A가 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간은  $2\sqrt{\frac{l}{g}}$ 이므로 B가 처음으로 s에 도달할 때까지 걸린 시간은 A가 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간보다 크다.

㉕. A를 놓은 순간부터 수평면에 도달할 때까지 A의 역학적 에너지는 보존되고, 단진동하는 B의 역학적 에너지도 보존된다. A, B의 질량을 각각  $m_1$ ,  $m_2$ 라 할 때, A에 대해서는  $\frac{1}{2}m_1v_1^2 = m_1gl$ 이 성립하므로  $v_1 = \sqrt{2gl}$ 이고, B에 대해서는  $\frac{1}{2}m_2v_2^2 = m_2g\left(\frac{l}{20}\right)$ 이 성립하므로  $v_2 = \sqrt{\frac{gl}{10}}$ 이다. 따라서  $\frac{v_1}{v_2} = 2\sqrt{5}$ 이다.

✕. B가 q에서 r까지 운동하는 동안 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 운동 에너지 증가량과 같다. 따라서 B의 역학적 에너지는 q에서와 r에서가 같다.

## 수능 2점 테스트

본문 40~42쪽

|      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|
| 01 ⑤ | 02 ④ | 03 ③ | 04 ⑤ | 05 ④ |
| 06 ⑤ | 07 ② | 08 ① | 09 ⑤ | 10 ⑤ |
| 11 ② | 12 ① |      |      |      |

## 01 일과 운동 에너지

물체는  $x$ 축 방향으로 등속도 운동을,  $y$ 축 방향으로 등가속도 운동을 한다.

✕. 물체에 작용하는 알짜힘은  $y$ 축 방향으로 작용하며, 0초부터 2초까지 속력이 감소하므로 1초일 때 물체에 작용하는 힘의 방향은 운동 방향과 같지 않다.

㉔. 4초일 때 속도의  $y$ 성분의 크기를  $v_y$ 라 하면 2초일 때 속도의  $y$ 성분은 0이므로 2초부터 4초까지 평균 속도의  $y$ 성분의 크기는  $\frac{v_y}{2}$ 이고 2초부터 4초까지 변위의  $y$ 성분의 크기는 10m이므로  $v_y = 10$  m/s이다. 알짜힘이 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같고 물체의 질량은 2 kg이므로 2초부터 4초까지 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은  $\frac{1}{2} \times 2 \times 10^2 = 100$  (J)이다.

㉕. 물체 속도의  $x$ 성분의 크기는 5 m/s이고 4초일 때 속도의  $y$ 성분의 크기는 10 m/s이므로 물체의 운동 에너지는  $\frac{1}{2} \times 2 \times (\sqrt{5^2 + 10^2})^2 = 125$  (J)이다.

## 02 포물선 운동과 알짜힘이 한 일

물체가 포물선 운동을 하는 동안 물체의 역학적 에너지는 보존된다.

✕. 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.  $t=2t_0$ 일 때 물체의 속도는 0이므로  $t=0$ 부터  $t=2t_0$ 까지 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은  $0 - \frac{1}{2}m(2v)^2 = -2mv^2$ 이다.

㉠.  $t=4t_0$ 일 때 물체는 포물선 운동을 시작하고, 이때 물체의 속도의 수평 성분의 크기는  $v_x = \sqrt{(2v)^2 - v^2} = \sqrt{3}v$ 이다. 포물선 운동을 하는 동안 속도의 수평 성분은 일정하므로  $t=5t_0$ 일 때 물체의 속력은  $\sqrt{(\sqrt{3}v)^2 + (3v)^2} = 2\sqrt{3}v$ 이다.

㉡. 물체가 운동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량은 운동 에너지의 변화량과 크기가 같다.  $mgh = \frac{1}{2}m\{(2\sqrt{3}v)^2 - (2v)^2\} = 4mv^2$ ,  $mg(H-h) = \frac{1}{2}m(2v)^2 = 2mv^2$  ( $g$ : 중력 가속도)이 성립하므로  $h = \frac{4v^2}{g}$ ,  $H = \frac{6v^2}{g}$ 이다. 따라서  $h : H = 2 : 3$ 이다.

## 03 포물선 운동과 역학적 에너지

포물선 운동을 하는 동안 물체의 역학적 에너지는  $10E_0$ 이다.

㉠. q에서 속도의 수평 성분의 크기와 연직 성분의 크기는 같고, 포물선 운동을 하는 동안 속도의 수평 성분은 일정하므로 q에서 운동 에너지는  $2E_0$ 이다.

㉡. p, r에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 각각  $9E_0$ ,  $5E_0$ 이고, 수평면에서 중력 퍼텐셜 에너지가 0이므로 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 물체의 높이에 비례한다. 따라서 물체의 높이는 p에서가 r에서의  $\frac{9}{5}$ 배이다.

✕. q에서 속도의 연직 성분의 크기를  $v$ 라 하면, r, s에서 속도의 연직 성분의 크기는 각각  $2v$ ,  $3v$ 이고, 속도의 수평 성분의 크기는  $v$ 이다. p에서 s까지 운동하는 데 걸린 시간을  $t$ 라 하면  $h = \frac{3v}{2}t$ 이고 수평 이동 거리는  $d = vt$ 이다. 따라서  $d = \frac{2}{3}h$ 이다.

## 04 알짜힘이 한 일

시간-속도 그래프에서 그래프가 시간 축과 이루는 면적은 변위의 크기와 같으므로  $d = \frac{1}{2}vt$ 이다.

㉠. A, B에 각각 작용하는 마찰력의 크기를  $f$ 라고 하면  $(F-2f)2d = 2E_0$ 이고,  $2t$ 부터  $3t$ 까지 A에는 마찰력만이 작용하므로  $-fd = 0 - E_0 = -E_0$ 이다. 두 식을 연립하면,  $E_0 = \frac{1}{3}Fd$ 이다.

㉡.  $f = \frac{1}{3}F$ 이고  $2t$  이후 B에 작용하는 알짜힘의 크기는  $F-f = \frac{2}{3}F$ 이므로  $2t$  이후 가속도의 크기는 B가 A의 2배이고, 속도 변화량의 크기도 B가 A의 2배이다. 따라서  $3t$ 일 때 B의 속도의 크기는  $3v$ 이다.

㉢.  $2t$ 부터  $3t$ 까지 A, B에 각각 작용하는 알짜힘이 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같다. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 B가 A의 2배이고 물체의 속도 제곱의 변화량은 B가 A의 8배이다.  $2t$ 부터  $3t$ 까지 A의 변위의 크기는  $d$ 이므로 B의 변위의 크기는  $4d$ 이다. 따라

서  $3t$ 일 때 B의 운동 에너지는  $\frac{1}{3}Fd + \frac{2}{3}F \times 4d = 3Fd$ 이다.

## 05 일과 운동 에너지

처음 속력이 같을 때 빗면에서 이동 거리는 P가 Q보다 크기 때문에 Q는 (나)에서의 물체의 운동을 나타낸다.

㉠. (가), (나)에서 중력에 의해 빗면과 나란하게 작용하는 힘의 크기를  $F$ , 마찰력의 크기를  $f$ 라고 하면, (가)에서  $\frac{1}{2}mv_0^2 = Fd$ 이고 (나)에서 물체가 빗면을 따라 올라갈 때는  $(F+f)\frac{3}{4}d = \frac{1}{2}mv_0^2$ 이 성립한다. 따라서  $f = \frac{1}{3}F$ 이고, 물체가 빗면을 내려올 때 알짜힘이 한 일은  $(F-f) \times \frac{3}{4}d = \frac{1}{2}Fd = \frac{1}{4}mv_0^2$ 이다. 물체가 빗면에서 운동하는 동안 마찰력이 물체에 한 일은 물체의 역학적 에너지 변화량과 같으므로  $\frac{1}{4}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = -\frac{1}{4}mv_0^2$ 이다.

## 06 마찰력에 의한 역학적 에너지 감소

(가)에서 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 중력 가속도를  $g$ 라 하면  $mgH = \frac{1}{2}m(2v)^2 = mg(2d) + \frac{1}{2}mv^2$ 이다.

㉠.  $v^2 = \frac{1}{2}gH$ 이므로  $H = \frac{8}{3}d$ 이다.

㉡. 레일은 물체의 운동 방향에 수직인 방향으로 힘을 작용하므로 p에서 q까지 운동하는 동안 레일이 물체에 하는 일은 0이다.

㉢. 마찰력이 물체에 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같으므로 마찰 구간을 지나 책상 끝에 도달한 물체의 운동 에너지는  $\frac{1}{2}mv^2 - \frac{3}{8}mv^2 = \frac{1}{8}mv^2$ 이다. 포물선 운동하는 동안 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 수평면에 도달하는 순간 물체의 속력을  $V$ 라 하면  $\frac{1}{8}mv^2 + 2mgd = \frac{1}{2}mV^2$ 이다.  $d = \frac{3v^2}{4g}$ 이므로  $V = \frac{\sqrt{13}}{2}v$ 이다. 따라서 (나)에서 수평면에 도달하는 순간 물체의 속력은  $2v$ 보다 작다.

## 07 단진자와 역학적 에너지

A, B의 최저점으로부터 최고점의 높이가 같으므로 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량은 같다. 따라서 A, B의 최저점에서 운동 에너지는 같다.

✕. A, B의 최저점에서 중력 퍼텐셜 에너지가 0이고 운동 에너지가 같다. 물체가 운동하는 동안 물체의 역학적 에너지가 보존되므로 q에서 B의 역학적 에너지는 p에서 A의 역학적 에너지와 같다.

㉠. A, B의 최저점에서 속력을  $v$ 라 하면 물체의 운동 에너지의 변화량이 중력 퍼텐셜 에너지 변화량과 같으므로  $v = \sqrt{2gL(1-\cos\theta_1)} = \sqrt{2 \times 2gL(1-\cos\theta_2)}$ 이다. 따라서  $\theta_1 > \theta_2$ 이다.

✕. 단진동의 최저점에서 물체에 작용하는 알짜힘은 구심력이고, 실이 물체를 당기는 힘과 중력의 차가 구심력으로 작용한다. 즉, 실이 A, B를 당기는 힘을 각각  $T_1$ ,  $T_2$ , 물체의 질량을  $m$ , 중력 가속도를  $g$ 라 하면  $T_1 = \frac{mv^2}{L} + mg$ ,  $T_2 = \frac{mv^2}{2L} + mg$ 이므로 최저점에서 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 A에서가 B에서의 2배가 아니다.

## 08 단진자와 역학적 에너지

지표면에서 중력 가속도가  $g$ , 실의 길이가  $l$ 일 때 단진동의 주기는  $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 이다.

㉠ (가)에서 상자 내부에 정지한 좌표계에서 추에는 상자의 가속도의 방향과 반대 방향으로 크기가  $ma$ 인 관성력이 작용한다. 가속도의 크기  $a=g\tan\theta=g\tan45^\circ=g$ 이다.

㉡ (나)에서 상자 내부에 정지한 좌표계에서 측정할 때 추의 중력 가속도는  $\sqrt{a^2+g^2}=\sqrt{2g^2}=\sqrt{2}g$ 이고, 추의 주기는  $2\pi\sqrt{\frac{l}{\sqrt{2}g}}$ 이다.

㉢ (나)에서 추는 진폭이  $\theta$ 인 단진동을 하므로 상자 내부에 정지한 좌표계에서 관측한 추의 운동 에너지의 최댓값은  $m(\sqrt{2}g)l(1-\cos\theta)$ 이다.

## 09 포물선 운동과 마찰력이 한 일

마찰 구간에서 마찰력이 한 일만큼 물체의 역학적 에너지가 감소한다.

㉠ 물체가 던져진 순간부터 최고점까지 도달할 때까지 연직 방향과 수평 방향 변위의 크기가 같으므로 평균 속도의 크기가 같다. 던져진 순간 속도의 수평 성분, 연직 성분의 크기를 각각  $v_x$ ,  $v_y$ 라 하면,  $v_x=\frac{v_y+0}{2}=\frac{v_y}{2}$ 이다. 던져진 순간 질량  $m$ 인 물체의 운동 에너지는  $E_0=\frac{1}{2}m(v_x^2+v_y^2)$ 이므로  $\frac{1}{2}mv_x^2=\frac{1}{5}E_0$ ,  $\frac{1}{2}mv_y^2=\frac{4}{5}E_0$ 이다. 물체가 운동하는 동안 속도의 수평 성분은 일정하므로 (가)에서 최고점을 지날 때 물체의 운동 에너지는  $\frac{1}{5}E_0$ 이다.

㉡ (가)에서 물체가 최고점까지 운동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량은 운동 에너지 변화량과 같으므로  $mgd=\frac{4}{5}E_0$  ( $g$ : 중력 가속도)이다. (나)에서 p의 높이가  $\frac{1}{2}d$ 이므로 수평면에서 p까지 운동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지의 증가량은  $\frac{2}{5}E_0$ 이다. 따라서 (나)의 p에서 물체의 운동 에너지는  $\frac{3}{5}E_0$ 이다.

㉢ 마찰 구간에서 마찰력( $f$ )이 한 일의 크기는  $fd=\frac{2}{15}E_0=\frac{2}{15}\times\frac{5}{4}mgd=\frac{1}{6}mgd$ 이므로 (나)의 마찰 구간에서 물체에 작용하는 마찰력의 크기는 중력의 크기의  $\frac{1}{6}$ 배이다.

## 10 일과 열의 전환

역학적인 일과 열에너지는 서로 전환될 수 있다.

㉠ 나무와 나무를 마찰시키면 나무에 한 일이 열로 전환되어 불을 피울 수 있다.

㉡ (나)의 장치는 증기의 팽창으로 피스톤을 움직여 일을 하는 열기관으로 A에서 기체가 피스톤을 움직여 피스톤에 일을 한다.

㉢ 탁구공이 뜨거운 물에서 온도가 상승하여 탁구공 안의 기체들의 내부 에너지가 증가한다.

## 11 열과 일의 전환

추가 등속도로 낙하할 때에는 중력이 한 일이 모두 열량계에서 회전 날개와 물의 마찰로 발생한 열량으로 전환된다.

㉡ I에서 추의 낙하 거리는 A일 때와 B일 때  $h$ 로 같으므로 I에서 추에 작용하는 중력이 한 일은 A일 때와 B일 때가 같다.

㉢ 추가 낙하할 때 액체가 얻은 열량은 중력이 한 일과 추의 운동 에너지 증가량의 차이와 같다. I에서 추가  $h$ 만큼 낙하했을 때 속력은 A일 때와 B일 때보다 크므로 I에서 액체가 얻은 열량은 A가 B보다 작다.

㉣ II에서 A와 B가 얻은 열량이 같고 온도 변화량은 A가 B보다 크므로 비열은 A가 B보다 작다.

## 12 일과 역학적 에너지

B가  $x=0$ 에서  $x=L$ 인 지점까지 운동하는 동안 A, C의 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량의 크기는 A, B, C의 운동 에너지의 변화량의 크기와 같다.

㉠ B가  $x=0$ 에서  $x=L$ 인 지점까지 운동하는 동안 A, B, C의 속력이 같으므로 C의 질량은 B의 2배인  $2m$ 이다. B에 작용하는 알짜힘의 크기를  $F$ 라 하면, 이 힘이 한 일이 B의 운동 에너지 변화량과 같으므로  $FL=\frac{1}{4}mgL$ 이고 B의 가속도  $a=\frac{1}{4}g$ 이다. A의 질량을  $M$ 이라 하면,  $(2m-M)g=\frac{1}{4}(M+m+2m)g$ 이고,  $M=m$ 이다. 따라서  $mgL=(\text{㉠}+\frac{1}{4}mgL+\frac{1}{2}mgL)$ 이고, ㉠은  $\frac{1}{4}mgL$ 이다.

㉡ 마찰이 있는 수평면을 지나는 동안 마찰력이 한 일은 A, B, C의 역학적 에너지 감소량과 같다.  $x=0$ 에서  $x=2L$ 인 지점까지 움직이는 동안 A, B, C의 속력이 같고 A, B의 질량이 C의  $\frac{1}{2}$ 배이므로 A, B, C의 운동 에너지 증가량은  $\frac{3}{8}mgL+\frac{3}{8}mgL+\frac{3}{4}mgL=\frac{3}{2}mgL$ 이고, 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은  $2mgL$ 이다. 따라서 마찰 구간에서 마찰력이 B에 한 일은  $-\frac{1}{2}mgL$ 이다.

㉢ B가  $x=2L$ 인 지점을 지나는 순간 A의 운동 에너지가  $\frac{3}{8}mgL$ 이므로 A의 속력을  $v$ 라 하면  $\frac{1}{2}mv^2=\frac{3}{8}mgL$ 이고,  $v=\frac{\sqrt{3gL}}{2}$ 이다.

## 수능 3점 테스트

본문 43~45쪽

01 ⑤

02 ④

03 ③

04 ⑤

05 ③

06 ①

## 01 일과 역학적 에너지

등속도 운동을 하는 동안 물체의 운동 에너지는 일정하므로 마찰력이 물체에 한 일은 물체의 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량과 같다.

㉠  $x=0$ 에서  $x=d$ 까지 A, B, C가 등속도 운동을 하는 동안 B, C의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량은 각각  $2E_0=2mgd$ ,  $3E_0=\frac{3}{4}m_Cgd$ 이다.  $E_0=mgd$ 이므로  $m_C=4m$ 이다.

㉡ 등속도 운동을 하는 동안 물체에 작용하는 알짜힘은 0이므로 마찰력의 크기를  $f$ 라 하면,  $4m\left(\frac{3}{4}g\right)=2mg+f$ 이고,  $f=mg$ 이다. 실이 끊어지는 순간부터 A가 정지할 때까지 이동 거리를  $x$ 라 하면 A의 운동 에너지 변화량은 마찰력이 물체에 한 일과 같으므로  $-mgx$

$=0 - \frac{1}{2}(2m)v^2$ 이다. 따라서 실이 끊어진 순간부터 A가 정지할 때까지 A가 수평 방향으로 이동한 거리는  $x = \frac{v^2}{g}$ 이다.

㉔ 실이 끊어진 후 B, C의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량이 운동 에너지의 증가량과 같으므로 Q를 통과할 때 B, C의 운동 에너지를 K라 하면,  $\frac{3}{4}(4m)gd - 2mgd = K - 3E_0$ 이다. 따라서  $K = 4E_0$ 이고, 물체의 질량은 B가 C의  $\frac{1}{2}$ 배이므로 C가 Q를 통과하는 순간 B의 운동 에너지는  $\frac{4}{3}E_0$ 이다.

## 02 포물선 운동과 역학적 에너지

A의 가속도의 크기가  $\frac{1}{2}g$ 이고 A의 최고점에서 속력은 0이므로 P에 되돌아올 때까지 걸리는 시간은  $\frac{2v_0}{\frac{1}{2}g} = \frac{4v_0}{g}$ 이다.

✕ B의 가속도의 빗면에 나란한 성분의 크기와 빗면에 수직인 성분의 크기는 각각  $\frac{1}{2}g$ ,  $\frac{\sqrt{3}}{2}g$ 이므로 Q에서 던지는 순간 B의 속력을 V라 하면, B가 P에 도달할 때까지 걸린 시간은  $\frac{2V}{\frac{\sqrt{3}}{2}g} = \frac{4V}{\sqrt{3}g}$ 이다. A

와 B가 P에서 만나므로  $V = \sqrt{3}v_0$ 이다.

㉔ B의 빗면과 나란한 방향의 처음 속력이 0이므로  $L = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}g\right)t^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}g\right)\left(\frac{4v_0}{g}\right)^2 = \frac{4v_0^2}{g}$ 이다. B가 운동하는 동안 중력이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 증가량과 같다. 따라서 P에서 B의 운동 에너지는  $\frac{1}{2}mgL + \frac{1}{2}m(\sqrt{3}v_0)^2 = \frac{7}{2}mv_0^2$ 이다.

㉔ A가 최고점에 도달할 때까지 중력 퍼텐셜 에너지의 증가량은 운동 에너지의 감소량과 같고 최고점에서 A의 속력은 0이므로 운동 에너지의 감소량은  $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{8}mgL$ 이다. 따라서 A가 P에서 최고점에 도달할 때까지 중력 퍼텐셜 에너지의 증가량은  $\frac{1}{8}mgL$ 이다.

## 03 포물선 운동과 역학적 에너지

진자의 운동과 포물선 운동에서 물체의 역학적 에너지는 보존된다.

㉔ r에서 두 물체의 속도의 연직 성분의 크기( $v_y$ )는 같고 서로 수직으로 만나므로  $\frac{v_y}{4v} = \frac{v}{v_y}$ 이고,  $v_y = 2v$ 이다. r에서 A, B의 속력을 각각  $v_A$ ,  $v_B$ 라 하면,  $v_A = \sqrt{(4v)^2 + (2v)^2} = 2\sqrt{5}v$ ,  $v_B = \sqrt{v^2 + (2v)^2} = \sqrt{5}v$ 이다. A가 p에서 r까지 운동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지의 감소량은 A의 운동 에너지 증가량과 같으므로  $2mgh = \frac{1}{2}m(2\sqrt{5}v)^2 - \frac{1}{2}m(4v)^2 = 2mv^2$ 이고,  $mgh = mv^2$ 이다. 따라서 r에서 A의 운동 에너지는  $\frac{1}{2}m(2\sqrt{5}v)^2 = 10mgh$ 이다.

✕ q에서 r까지 운동하는 동안 중력이 B에 한 일은 운동 에너지 변화량과 같다. 즉,  $\frac{1}{2}m(\sqrt{5}v)^2 - \frac{1}{2}mv^2 = 2mv^2$ 이다.

㉔ 실에 매달려 운동하는 동안 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 운동 에너지 증가량과 같으므로  $\frac{1}{2}mv^2 = mgl(1 - \cos 60^\circ) = \frac{1}{2}mgl$ 이다. 따라서  $h = l$ 이다.

## 04 외력이 한 일과 역학적 에너지

수평 구간과 빗면 구간에서 외력이 한 일은 물체의 역학적 에너지의 변화량과 같다.

㉔ (가)에서 물체가 운동을 시작한 지점의 역학적 에너지보다 B의 시작점에서 역학적 에너지가 더 크다. 따라서 A에서 물체에 작용하는 힘의 방향은 운동 방향과 같다. B에서는 중력에 의해 운동 방향과 반대 방향으로 힘이 작용하므로 물체가 등속도 운동을 하기 위해서는 운동 방향과 같은 방향으로 외력이 작용해야 한다. 따라서 (가)의 A, B에서 물체에 작용하는 힘의 방향은 운동 방향과 같은 방향이다.

㉔ (가)에서 B의 끝점에서 물체가 정지할 때까지 역학적 에너지가 보존되므로  $\frac{1}{2}m(2v)^2 + 6mgh = 10mgh$ 에서  $v^2 = 2gh$ 이다. A의 시작점과 끝점에서 물체의 속력을 각각  $v_1$ ,  $v_2$ 라고 하면,  $3mgh + \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_1^2$ 이므로  $v_1 = 2v$ 이고,  $\frac{1}{2}mv_2^2 = 5mgh + \frac{1}{2}m(2v)^2$ 이므로  $v_2 = 3v$ 이다. (가)의 A, B에서 물체가 운동하는 데 걸린 시간을 t라고 하면, B에서  $t = \frac{L_2}{2v}$ 이고, A에서 물체의 가속도는  $\frac{v}{t} = \frac{2v^2}{L_2}$ 이다. A에서 힘이 물체에 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같으므로 A에서 물체에 작용하는 힘의 크기를 F라고 하면,  $FL_1 = \frac{1}{2}m\{(3v)^2 - (2v)^2\} = \frac{5mv^2}{2} = \frac{2mv^2}{L_2}L_1$ 이다. 따라서  $\frac{L_2}{L_1} = \frac{4}{5}$ 이다.

㉔ (나)의 A, B에서 물체에 작용하는 힘의 방향은 운동 방향과 반대 방향이다. 물체가 A를 지나면서 외력이 한 일은 역학적 에너지의 감소량과 같다. (가)의 A에서 외력이 한 일은  $-\frac{5}{2}mv^2$ 이므로  $\frac{1}{2}m(3v)^2 - \frac{3}{2} \times \frac{5}{2}mv^2 = mgh_1$ 에서  $h_1 = \frac{3v^2}{4g} = \frac{3}{2}h$ 이다.

## 05 단진동과 역학적 에너지

(가)와 (나)에서 단진자의 주기는 같다.

㉔ 중력 가속도가 g일 때 (나)에서 실의 길이가 2l이므로 (나)의 엘리베이터 내부에 정지한 좌표계에서 추의 가속도는 2g이다. 따라서 (나)에서 엘리베이터의 가속도의 크기는 중력 가속도의 크기와 같다. 즉,  $a = g$ 이다. (가), (나)에서 운동 에너지의 증가량은 중력 퍼텐셜 에너지의 감소량과 같으므로 추의 질량이 m일 때 최저점에서 운동 에너지는 각각  $mgl(1 - \cos \theta)$ ,  $m(2g)(2l)(1 - \cos \theta)$ 이다. 따라서 ㉔은  $4E_0$ 이다.

## 06 열과 일의 전환

(가)에서 실을 당기는 힘이 한 일은 액체가 얻은 열량과 같고, (나)에서 추에 작용하는 중력이 한 일은 추의 운동 에너지와 액체가 얻은 열로 전환된다.

㉔ (가)에서 실을 당기는 힘이 한 일은 210 J이므로 액체의 비열을 c라 할 때  $\frac{210}{4.2} = 500 \times c \times 0.2$ 이고,  $c = 0.5 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ 이다. (나)에서 온도 변화가 (가)의 2배이므로 물이 얻은 열량은 420 J이다. 따라서  $420 = 21 \times 10 \times 3 - \frac{1}{2} \times 21 \times v^2$ 이므로  $v = 2\sqrt{5} \text{ m/s}$ 이다.

정답 ①

A, B 사이의 전기력선이 연결되어 있으므로 A, B의 전하의 종류는 서로 다르고 A, B 사이의 전기장의 방향은  $-x$ 방향 또는  $+x$ 방향이다.

㉠ (가)에서 A, B에서 나오거나 들어가는 전기력선의 모양이 서로 대칭이다. 따라서 전하량의 크기는 A와 B가 같다.

✕ (가)에서 A의 전하량의 크기가 B의 전하량의 크기보다 크다면  $x$ 축상의  $x > d$ 인 구간에서 전기장의 세기가 0인 지점이 생길 수 있다. 그러나 A, B의 전하량의 크기는 서로 같으므로 (가)에서  $x$ 축상의  $x > d$ 인 구간에는 전기장의 세기가 0인 지점이 생길 수 없다.

✕ (나)에서 O에서의 전기장의 방향이  $y$ 축과  $45^\circ$ 의 각을 이루므로 전기장의 방향의  $x$ 성분은  $-x$ 방향,  $y$ 성분은  $+y$ 방향이 되어야 한다. 따라서 A는 음( $-$ )전하, B는 양( $+$ )전하, C는 양( $+$ )전하이다. 즉, A와 C는 전하의 종류가 다르다.

수능 2점 테스트

본문 49~50쪽

- |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|
| 01 ① | 02 ⑤ | 03 ② | 04 ③ | 05 ② |
| 06 ① | 07 ③ | 08 ⑤ |      |      |

## 01 전기력

두 점전하 사이의 전기력의 크기는 각 전하량의 곱에 비례하고 거리의 제곱에 반비례한다. Q를 O에 가만히 놓은 순간 Q와 A, Q와 C 사이의 거리는 같고, Q와 B 사이의 거리는 Q와 D 사이 거리보다 크다. O에 위치한 Q에 A, C가 작용하는 전기력의 합력의 방향은 A, C의 전하의 종류가 양( $+$ )전하일 때 D를 향하는 방향이며 음( $-$ )전하일 때 B를 향하는 방향이다.

㉠ O에 Q를 가만히 놓은 순간 A, C가 Q에 작용하는 전기력의 방향은 D를 향하는 방향이다. 따라서 A, C는 양( $+$ )전하이여야 하므로 B는 A와 전하의 종류가 다른 음( $-$ )전하이다.

✕ Q가 O에 위치할 때 Q와 A, Q와 C 사이 거리는  $2l$ 로 같고,  $x$ 축과 A가 위치한  $xy$  평면상의 지점과 O를 연결한 직선 사이의 각은  $30^\circ$ 이고  $x$ 축과 C가 위치한  $xy$  평면상의 지점과 O를 연결한 직선 사이의 각은  $60^\circ$ 이다. 따라서 A, C가 각각 Q에 작용하는 전기력의 크기를  $F$ 라 할 때 A가 Q에  $x$ 축 방향으로 작용하는 전기력의 크기는  $F \cos 30^\circ$ 이고 C가 Q에  $x$ 축 방향으로 작용하는 전기력의 크기는  $F \cos 60^\circ$ 이므로 A, C가  $x$ 축 방향으로 Q에 작용하는 전기력의 크기는 서로 같지 않다.

✕ Q와 B 사이의 거리는  $\sqrt{6}l$ 이고 Q와 D 사이의 거리는  $\sqrt{2}l$ 이다. 따라서 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 거리의 제곱에 반비례하므로 B가 Q에 작용하는 전기력의 크기는 D가 Q에 작용하는 전기력의 크기의  $\frac{1}{3}$ 배이다.

## 02 전기장과 전기력

전기력은 전하량과 전기장의 곱이다. 또한 균일한 전기장이 형성된  $xy$  평면에서 운동하는 입자에는 중력과 전기력이 작용한다.

㉤ A, B는 질량과 전하량, 전하의 종류, 운동 방향이 모두 같다.  $xy$  평면에서 가만히 놓은 A, B가 중력 방향으로 A는 등속도 운동을 하고 B는 가속도의 크기가 중력 가속도보다 작은 가속도로 등가속도 운동을 한다. 따라서 전기장의 방향은 입자의 운동 방향과 반대이며, 전기장의 크기는 중력의 반대 방향으로 더 큰 전기력이 작용하는 (가)에서 (나)에서보다 크다.

## 03 전기력

두 점전하 사이의 전기력의 크기는 각 전하량의 곱에 비례하고 거리의 제곱에 반비례한다.

✕ A와 B, B와 C 사이에는 서로 당기는 방향으로 크기가  $F$ 인 전기력이 작용하고 A와 C에는 각각 크기가 같은 중력이 작용한다. 따라서 도체구 A, B, C의 질량이 같고 A와 B, B와 C 사이의 거리 또한 각각 같으므로 p와 r가 각각 A와 C에 작용하는 힘의 크기는  $mg + \frac{\sqrt{3}}{2}F$ 로 서로 같다.

㉠ A와 C 사이에는 서로 밀어내는 방향의 전기력이 작용한다. 또한 p, r가 천장과 수직을 이루고 있으므로 A와 B 사이에 작용하는 전기력의 수평 방향의 힘의 크기와 C가 A에 작용하는 힘의 크기는 같다. 따라서 B가 A에 작용하는 수평 방향의 전기력의 크기는  $\frac{1}{2}F$ 이므로 A가 C에 작용하는 전기력의 크기도 작용 반작용 법칙에 의해  $\frac{1}{2}F$ 이다.

✕ A와 B, B와 C 사이에는 동일한 크기의 전기력이 서로 당기는 방향으로 작용한다. 따라서 A와 C에 의해 B에 작용하는 전기력의 방향은 중력 반대 방향이므로 q가 B에 작용하는 힘의 크기는  $mg$ 보다 작다.

## 04 정전기 유도와 전기장

전기장이 0인 지점이  $x$ 축상의 두 도체구 사이에 위치할 때 두 도체구에 대전된 전하의 종류는 같다.

㉠ (가)에서 전기장이 0인 지점이  $x$ 축상의 두 도체구 사이에 위치하므로 A, B의 전하의 종류는 같다. 따라서 B가 양( $+$ )전하로 대전되어 있으므로 A는 양( $+$ )전하로 대전되어 있다.

㉠ (가)에서 전기장이 0인 지점이  $x$ 축상에서 A쪽에 위치하므로 A, B에 대전된 전하량의 크기는 A가 B보다 작다. 또한 (나)에서 전기장이 0인 지점이  $x$ 축상에서 A와 C 사이의 중앙에 위치하므로 A, C에 대전된 전하량의 크기는 A와 C가 같다. 따라서 도체구에 대전된 전하량의 크기는 (가)에서 B가 가장 크고 (나)에서 A와 C는 서로 같다.