

01

단진동

수록 구성

- 개념 기본 문제
- 개념 적용 문제
- 1등급 도전 문제
- 정답과 해설

01 단진동

핵심 내용 **마라보기**

크기가 **변위에 비례**하고
방향은 **변위와 반대 방향**인
알짜힘이 물체에 작용하면
물체는 직선상에서
단진동을 한다.

1 단진동

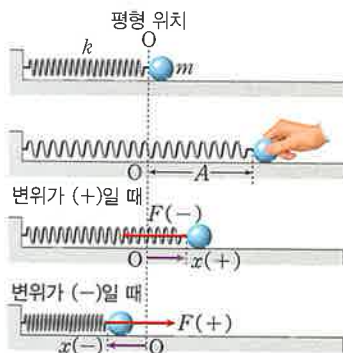
용수철에 물체를 매달면 용수철의 길이가 늘어나거나 줄어들면서 물체가 주기적인 왕복 운동을 하는 것을 관찰할 수 있다. 이처럼 용수철에 연결되어 주기적으로 진동하는 물체를 용수철 진자라고 한다. 이러한 용수철 진자의 운동으로 단진동을 이해할 수 있다.

1. 단진동

- (1) **훅의 법칙**: *탄성력의 크기는 용수철이 변형된 길이 x 에 비례하고, 탄성력의 방향은 용수철이 변형된 방향의 반대 방향이 되는데, 이를 훅의 법칙이라고 한다.
- ① 용수철이 원래의 길이에서 늘어나거나 압축되어 변형된 길이를 x 라고 할 때, 탄성력 F 는 다음과 같으며, 비례 상수 k 는 용수철 상수라고 한다.

$$F = -kx \quad (k: \text{용수철 상수})$$

- ② 훅의 법칙은 용수철이 탄성 한계를 벗어나지 않을 때 성립한다.
- (2) **용수철에 연결된 물체의 운동**: 마찰이 없는 수평면에서 용수철 상수 k 인 용수철에 질량 m 인 물체를 연결한 후 용수철이 평형 위치에서 A 만큼 늘어나도록 물체를 잡아당겼다가 놓으면, 물체는 일정한 시간 간격으로 왕복 운동을 한다. 평형 위치 O 를 기준으로 변위가 x 일 때, 알짜힘인 탄성력은 $F = -kx$ 이다. 즉, 탄성력은 변위 x 에 비례하고, 방향은 변위와 반대 방향이므로, 물체의 가속도 a 는 $a = \frac{F}{m} = -\frac{k}{m}x$ 가 되어 크기는 평형 위치로부터의 변위 x 의 크기에 비례하고, 방향은 변위의 방향과 반대이다.



▲ 탄성력과 변위의 방향

용수철 상수

용수철 상수는 용수철의 재질, 길이 등에 따라 결정되며, 단위는 N/m를 사용한다. 용수철 상수가 클수록 용수철이 잘 변형되지 않는다.

탄성 한계

탄성 한계는 탄성체가 변형된 후 원래 상태로 되돌아갈 수 있는 한계이다. 이 한계를 넘으면 탄성체는 영구적으로 변형되어 원래의 상태로 되돌아가지 못하며, 탄성력의 크기도 변형된 길이에 비례하지 않는다.

용수철에 연결된 물체의 운동에서 평형 위치

용수철에 연결된 물체에 작용하는 알짜힘이 0인 위치가 평형 위치가 된다. 물체는 평형 위치를 중심으로 대칭을 이루는 진동을 한다.

올려 리마인드

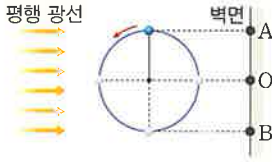
*탄성력 (중학교 과학)

고무줄, 용수철, 고무공 등 탄성체가 변형되었을 때 원래의 상태로 되돌아가려는 힘, 즉 복원력이 나타나는데, 이를 탄성력이라고 한다.

- (3) **단진동**: 물체가 두 지점 사이를 일정한 시간 간격으로 왕복 운동하는 것을 진동이라고 하며, 진동 중에서 용수철에 연결된 물체의 진동처럼 평형 위치로부터의 변위에 비례하는 복원력이 알짜힘으로 작용하는 물체의 진동을 단진동이라고 한다.
- 단진동의 특징: 일반적으로 단진동을 하는 물체에는 변위에 비례하는 복원력이 작용하며, 물체의 위치, 속도와 같은 물리량은 삼각함수로 표현된다.

개념 기본 문제

- 01** 그림과 같이 등속 원운동을 하는 물체에 평행 광선을 비추었을 때, 물체의 그림자가 벽면에서 O를 중심으로 A와 B 사이를 왕복 운동하였다. 그림자의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

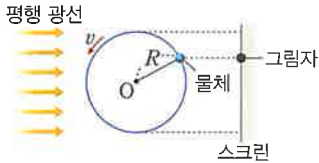


보기

- ㄱ. 가속도의 크기는 O에서 가장 크다.
- ㄴ. B에서 가속도의 방향은 O를 향한다.
- ㄷ. 단진동이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

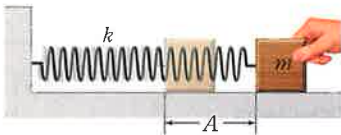
- 02** 그림과 같이 반지름이 R 인 원 궤도를 따라 v 의 일정한 속력으로 원운동을 하는 물체에 평행 광선을 비추면, 스크린에 나타나는 그림자는 왕복 운동을 한다.



(1) 그림자의 주기를 구하시오.

(2) 그림자의 최대 가속도의 크기를 구하시오.

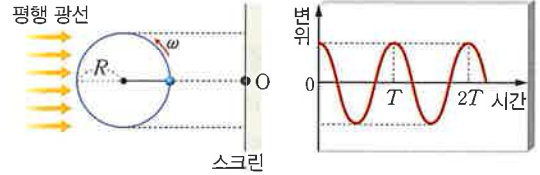
- 03** 그림과 같이 용수철 상수가 k 인 용수철에 질량 m 인 물체를 연결하여 용수철의 길이가 A 만큼 늘어나도록 잡아당겼다가 놓았더니 물체가 단진동을 하였다.



(1) 용수철의 늘어난 길이가 $\frac{A}{2}$ 일 때 물체의 가속도 크기를 구하시오.

(2) 물체의 최대 속력을 구하시오.

- 04** 그림 (가)는 반지름이 R 인 원 궤도를 따라 ω 의 각속도로 원운동을 하는 물체에 평행 광선을 비추었을 때 스크린에 물체의 그림자가 나타나는 것을, (나)는 O를 기준으로 그림자의 변위를 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가)

(나)

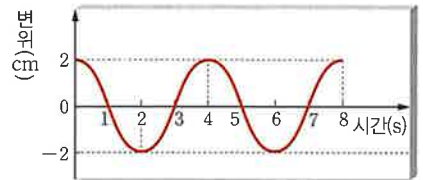
(나)에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 변위의 최댓값은 R 이다.
- ㄴ. $T = \frac{2\pi}{\omega}$ 이다.
- ㄷ. $\frac{3}{4}T$ 일 때 그래프의 접선의 기울기는 $R\omega^2$ 이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

- 05** 그림은 단진동을 하는 물체의 변위를 시간에 따라 나타낸 것이다.



(1) 단진동의 주기를 구하시오.

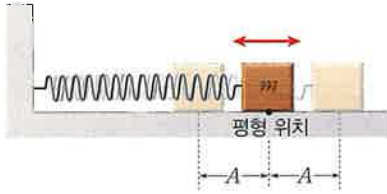
(2) 단진동의 진폭을 구하시오.

(3) 1초일 때 물체의 속력을 구하시오.

(4) 2초일 때 물체의 가속도 크기를 구하시오.

(5) 물체의 변위 $x(\text{cm})$ 와 시간 t 의 관계식을 구하시오.

- 06** 그림과 같이 질량 m 인 물체가 용수철에 매달려 진폭 A 로 단진동을 한다. 물체의 최대 속력은 V 이다.



물체의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

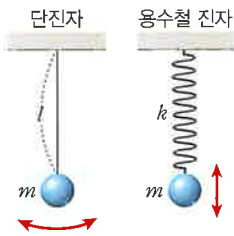
ㄱ. 최대 가속도의 크기는 $\frac{V^2}{A}$ 이다.

ㄴ. 용수철 상수는 $\frac{mV^2}{A^2}$ 이다.

ㄷ. 주기는 $\frac{2\pi A}{V}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

- 07** 그림은 진동수가 같은 단진자와 용수철 진자를 나타낸 것이다. 단진자와 용수철 진자에서 추의 질량은 m 으로 같고, 단진자의 길이는 l , 용수철 상수는 k 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g 이다.)

보기

ㄱ. $mg = kl$ 이다.

ㄴ. 추의 질량이 증가하면 단진자의 주기가 증가한다.

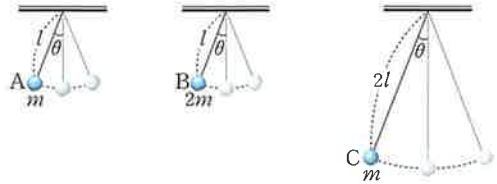
ㄷ. 추의 질량이 증가하면 용수철 진자의 주기가 증가한다.

ㄹ. 단진자의 길이가 증가하면 단진자의 주기가 증가한다.

ㅁ. 높은 산에 올라가 중력 가속도가 감소하면 용수철 진자의 주기가 감소한다.

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

- 08** 그림과 같이 진동하는 동안 실이 연직선과 이루는 최대 각도가 θ 로 동일한 단진자 A, B, C가 있다. A, B, C의 주기는 각각 T_A, T_B, T_C 이고, 추의 질량은 각각 $m, 2m, m$ 이며, 실의 길이는 각각 $l, l, 2l$ 이다.

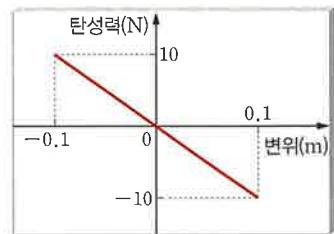


- (1) 주기 T_A, T_B, T_C 의 크기를 비교하십시오.
(2) A, B, C 각각의 최저점에서의 가속도 크기를 비교하십시오.

- 09** 단진동을 하는 물체의 변위 x (m)와 시간 t (s)의 관계를 식으로 나타내면 $x = 0.1 \sin 10t$ 이다.

- (1) 주기를 구하십시오.
(2) 평형 위치에서의 속력을 구하십시오.
(3) 변위가 0.1 m일 때 가속도의 크기를 구하십시오.

- 10** 그림은 질량이 1 kg인 물체가 용수철에 연결되어 단진동을 할 때 물체에 작용하는 탄성력을 평형 위치로부터의 변위에 따라 나타낸 것이다.

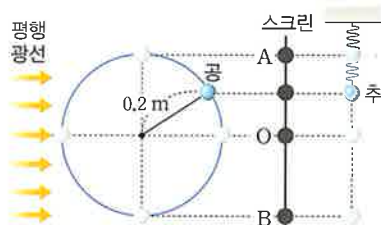


- (1) 이 용수철의 용수철 상수를 구하십시오.
(2) 평형 위치에서의 물체의 속력을 구하십시오.
(3) 평형 위치에서 변위가 0.1 m인 지점까지 물체가 이동하는 데 걸린 시간을 구하십시오.

개념 적용 문제

단진동과 등속 원운동

01 그림은 길이가 0.2 m인 막대에 매달려 등속 원운동을 하는 공의 그림자가 스크린의 점 O를 중심으로 점 A, B 사이에서 단진동을 하는 것을 나타낸 것이다. 스크린의 오른쪽에는 질량 1 kg인 추가 용수철 상수가 100 N/m인 용수철에 매달려 그림자와 같은 주기로 단진동을 한다.



➤ 용수철 진자의 주기 $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이다. 주기 T 로 반지름이 r 인 등속 원운동을 하는 물체의 속력은 $v = \frac{2\pi r}{T}$ 이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이다.)

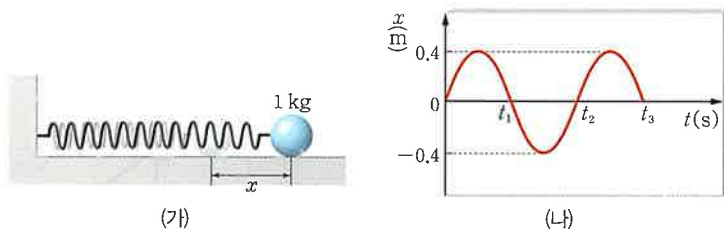
보기

- ㄱ. 그림자의 주기는 $\frac{\pi}{5}$ 초이다.
- ㄴ. 공의 속력은 1 m/s이다.
- ㄷ. 추가 최하점에 있을 때 추에 작용하는 탄성력의 크기는 20 N이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

단진동

02 그림 (가)는 질량이 1 kg인 물체가 마찰이 없는 수평면에서 용수철에 연결되어 단진동을 하는 것을, (나)는 이 물체의 변위 $x(\text{m})$ 를 시간 $t(\text{s})$ 에 따라 나타낸 것으로, $x = 0.4 \sin \frac{t}{2}$ 이다.



➤ (나) 그래프에서 단진동의 주기는 t_2 이다. 진폭이 A 인 단진동에서 변위와 시간의 관계는 $x = A \sin \omega t$ 이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

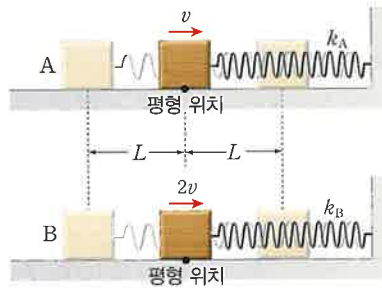
보기

- ㄱ. 시간 t_1 일 때 물체의 속력은 0.2 m/s이다.
- ㄴ. 시간 $t = \pi \text{ s}$ 일 때 물체의 가속도 크기는 0.1 m/s^2 이다.
- ㄷ. 용수철 상수는 0.5 N/m이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▶ 단진동

- 03** 그림은 질량이 같은 물체 A, B가 벽면에 고정된 용수철에 연결되어 마찰이 없는 수평면에서 단진동을 하는 것을 나타낸 것이다. A, B의 평형 위치에 서의 속력은 각각 v , $2v$ 이고, 진폭은 모두 L 이며, 용수철 상수는 각각 k_A , k_B 이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?



▶ 역학적 에너지가 보존되므로 용수철의 탄성 위치에너지와 물체의 운동 에너지는 서로 전환된다.

$$\frac{1}{2}mV^2 = \frac{1}{2}kL^2$$

(V: 물체의 최대 속도)

보기

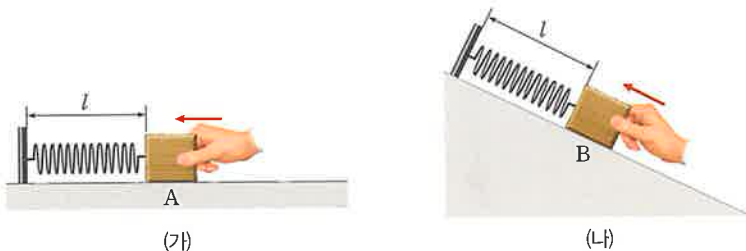
- ㄱ. $k_A = 4k_B$ 이다.
- ㄴ. 주기는 A가 B의 2배이다.
- ㄷ. 최대 가속도의 크기는 B가 A의 4배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▶ 단진동

- 04** 그림 (가), (나)는 각각 마찰이 없는 수평면과 빗면 위에서 한쪽이 고정된 동일한 용수철에 질량이 같은 물체 A, B를 각각 연결하여 손으로 밀고 있는 것을 나타낸 것이다. 이때 용수철의 길이는 l 로 같다. (가), (나)에서 밀고 있던 손을 치웠더니 A, B는 각각 단진동을 하였다.

▶ 물체가 평형 위치에 있을 때의 용수철 길이는 빗면에 있을 때가 수평면에 있을 때보다 더 길다.



A와 B의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

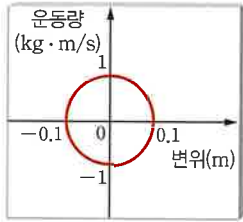
보기

- ㄱ. 주기는 A가 B보다 크다.
- ㄴ. 진폭은 A가 B보다 크다.
- ㄷ. 최대 속력은 B가 A보다 크다.

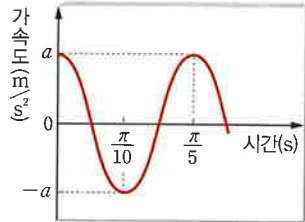
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▶ 단진동

- 05** 그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에서 용수철에 매달린 질량이 1 kg인 물체가 단진동을 할 때 물체의 운동량과 변위의 관계를 나타낸 것이고, (나)는 물체의 가속도를 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

▶ 용수철에 매달린 물체의 주기는 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이고, 전체 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$ 이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

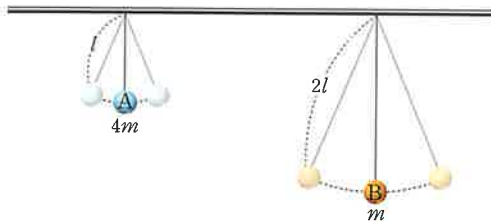
보기

- ㄱ. 용수철 상수는 100 N/m이다.
- ㄴ. (나)에서 $a=20$ 이다.
- ㄷ. 변위가 0.05 m일 때 물체의 속력은 $\frac{\sqrt{3}}{2}$ m/s이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▶ 단진자

- 06** 그림은 길이가 각각 l , $2l$ 인 실에 추 A, B가 연결되어 단진동을 하는 모습을 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각 $4m$, m 이고, 최하점에서 추의 속력은 B가 A의 2배이다.



▶ 역학적 에너지가 보존되므로 $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$ 이다. 최고점에서 추의 가속도 크기는 $g \sin \theta$, 최하점에서 최고점까지 이동하는 데 걸린 시간은 $\frac{T}{4} = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}$ 이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실의 질량과 추의 크기는 무시한다.)

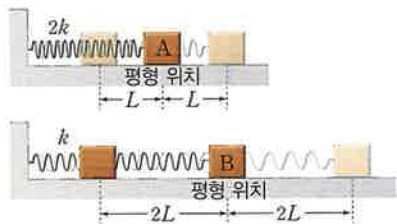
보기

- ㄱ. 최고점과 최하점의 높이차는 B가 A의 4배이다.
- ㄴ. 최고점에서 추의 가속도 크기는 B가 A보다 크다.
- ㄷ. 최하점에서 최고점까지 이동하는 데 걸린 시간은 B가 A의 $\sqrt{2}$ 배이다.

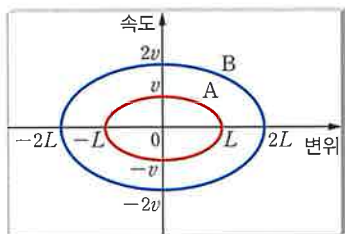
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▶ 단진동

- 07 그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에서 용수철 상수가 각각 $2k$, k 인 용수철에 두 물체 A, B가 연결되어 진폭 L , $2L$ 로 단진동을 하는 것을 나타낸 것이고, (나)는 평형 위치로부터 A, B의 속도와 변위의 관계를 나타낸 것이다.



(가)



(나)

▶ 용수철에 매달린 물체의 주기는 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이고, 전체 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mV^2$ 이며, 최대 가속도는 변위가 최대일 때의 가속도이므로 $\frac{kA}{m}$ 이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

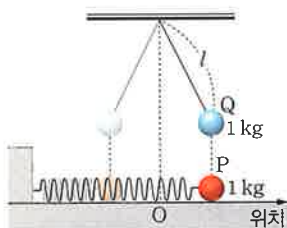
보기

- ㄱ. 질량은 A가 B의 2배이다.
- ㄴ. 주기는 A와 B가 서로 같다.
- ㄷ. 최대 가속도는 B가 A의 2배이다.

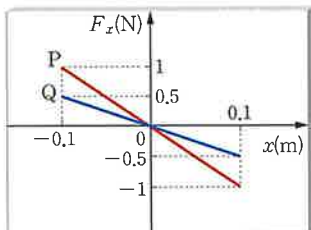
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▶ 단진자와 단진동

- 08 그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에서 용수철에 연결되어 단진동을 하는 물체 P와 길이가 l 인 실에 매달려 단진동을 하는 물체 Q를 나타낸 것이고, (나)는 P, Q에 작용하는 알짜힘의 수평 성분 F_x 와 수평 위치 x 의 관계를 나타낸 것이다. P, Q의 질량은 각각 1 kg 이다.



(가)



(나)

▶ 진자의 속력은 진동 중심에서 가장 크다. 진폭이 매우 작아 단진동을 하는 진자에 작용하는 알짜힘의 수평 성분의 크기는 변위의 수평 성분의 크기에 비례한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이고, 실과 용수철의 질량 및 물체의 크기는 무시한다.)

보기

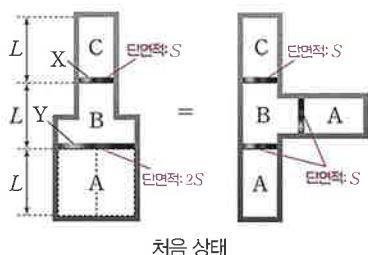
- ㄱ. 진동 중심 O를 지나는 순간 P, Q의 가속도 크기는 모두 0이다.
- ㄴ. 단진동의 주기는 Q가 P의 $\sqrt{2}$ 배이다.
- ㄷ. 실의 길이 $l=4\text{ m}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

3

자료 분석

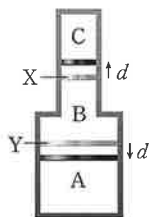
처음 상태에서 세 기체 A, B, C의 온도와 압력이 서로 같고, 부피는 A가 C의 2배이므로 이상 기체 법칙 $n = \frac{P}{RT}V$ 에서 기체 분자의 양(몰수)은 A가 C의 2배이다. 따라서 문제의 상황에서 A를 C와 모든 성질이 동일한 기체 덩어리 2개가 나란히 놓인 것으로 볼 수 있다. 이는 B의 부피를 똑같이 유지한 채 실린더의 모양을 오른쪽 그림처럼 만든 상황과 물리적으로 동일하다.



ㄱ. 처음 상태에서 세 기체 A, B, C의 온도가 서로 같으므로 A, B, C는 열평형을 이루고 있어 압력이 같고, 나중 상태에서도 피스톤이 정지해 있으므로 압력이 모두 같다. A와 C는 단열된 상태에서 압력이 동일하게 증가하며 압축된다. A가 있는 부분의 실린더는 C가 있는 부분에 비해 단면적만 2배이고, 기체의 종류, 처음 온도, 처음 높이가 모두 같다. 즉, A는 C와 똑같은 기체 2개가 옆으로 나란히 있는 것과 같다고 볼 수 있다. 기체가 동일한 과정으로 압축될 때 부피 변화율이 같아야 하므로, 처음 높이가 같은 두 기체 A, C는 높이 변화량도 같아야 한다. 따라서 X가 위쪽으로 d 만큼 이동했다면, Y 역시 아래쪽으로 d 만큼 이동한다.

ㄴ. B를 서서히 가열하여 과정이 서서히 진행되므로 모든 순간에 세 기체 A, B, C의 압력은 서로 같고, 피스톤 X, Y의 최종 이동 거리도 d 로 같다. 부피 변화의 크기는 단면적에 비례하므로 A가 C의 2배이다. 따라서 기체가 받은 일은 압력과 부피 변화량의 곱 $P\Delta V$ 에 비례하므로, B가 A에 한 일(=A가 받은 일)은 B가 C에 한 일(=C가 받은 일)의 2배이다.

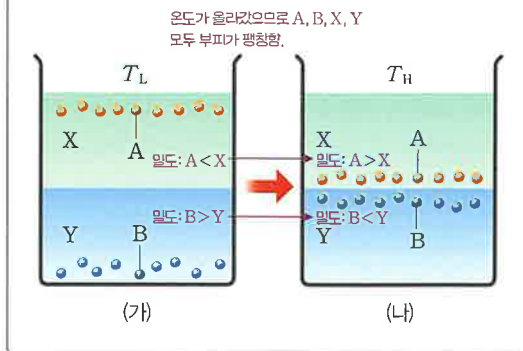
ㄷ. A와 C에서 나타나는 열역학 과정은 단열 과정이므로 열역학 제1법칙에 따라 $\Delta U = -W$ 이다. A가 B로부터 받은 일이 C가 B로부터 받은 일의 2배이므로, 내부 에너지 증가량은 A가 C의 2배이다.



4

자료 분석

금속 구 A, B와 액체 X, Y의 부피 팽창 계수 차에 따라 온도가 올라갔을 때 밀도의 대소 관계가 서로 바뀌게 된다.



ㄱ. 온도가 올라갈 때 물질의 부피가 팽창하면 밀도는 감소한다. (나)에서 B가 Y 위로 떠올랐다는 것은, 온도가 높아졌을 때 B의 밀도가 Y의 밀도보다 작아졌음을 의미한다. (가)에서는 B의 밀도가 Y의 밀도보다 컸으므로, 온도 상승에 따른 밀도 감소 폭이 B가 Y보다 커야 밀도의 대소 관계가 바뀐다. 즉, 같은 온도 변화에서 B가 Y보다 부피가 더 많이 팽창했으므로, 부피 팽창 계수는 B가 Y보다 크다.

바로알기 ㄴ. (나)에서 A는 온도가 높아졌을 때 X 아래로 가라앉았다. 이는 X의 부피가 A보다 더 많이 팽창하여 X의 밀도가 A의 밀도보다 더 많이 감소했음을 뜻하므로, 부피 팽창 계수는 X가 A보다 크다. 문제 조건에서 X와 Y의 부피 팽창 계수는 같고, ㄱ에서 B가 Y보다 부피 팽창 계수가 크므로, 크기를 비교하면 $\beta_B > \beta_Y = \beta_X > \beta_A$ 이다. 따라서 부피 팽창 계수는 B가 A보다 크다.

ㄷ. (가)에서 (나)로 변하는 과정은 외부에서 열을 흡수하여 비커 내부의 온도가 T_L 에서 T_H 로 높아지는 과정이다. 계가 열을 흡수하여 온도가 상승하면 분자들의 열운동이 활발해져 무질서도가 커진다. 따라서 비커 내부 계의 전체 엔트로피는 증가한다.

11월 확장 문제

172쪽~173쪽

1 겨울철 실내 난방 효율을 높이기 위해서는 외부의 열은 최대한 받아들이고, 내부의 열은 유출을 최대한 막아야 한다.

모범 답안 낮에는 커튼을 열고, 밤에는 커튼을 닫아야 한다. 낮에는 태양 복사열이 실내로 들어와 온도를 높일 수 있도록 커튼을 열어 두는 것이 난방에 유리하다. 반면 밤에는 실내의 열이 외부로 빠져나가는 것을 막아야 한다. 표에서 공기의 열전도도가 유리의 열전도도보다 훨씬 작다. 따라서 커튼을 닫아 유리창과 커튼 사이에 공기층을 형성하면, 이 공기층이 열의 이동을 차단하는 단열재 역할을 하여 열 손실을 줄일 수 있으므로 난방에 유리하다.

채점 기준	배점(%)
낮과 밤에 커튼의 개폐 여부를 태양 복사열의 유입과 공기의 열전도도(또는 단열 효과)에 근거하여 논리적으로 설명한 경우	100
낮과 밤에 커튼의 개폐 여부만 쓴 경우	30

- 2 현실에서 선폰창에 따른 고체의 길이 변화는 극히 미미하므로, 계산의 편의성과 개념의 직관성을 위해 1차 근사식인 [공식 1]을 사용한다.

모범 답안 (1) [공식 1]을 적용한 경우, (가)에서 온도를 ΔT 만큼 높였을 때의 금속 막대의 길이를 L_1 이라고 하면 $L_1 = L_0(1 + \alpha \Delta T)$ 이다. 이어지는 (나)에서 처음 길이가 L_1 이고 온도 변화량이 $-\Delta T$ 이므로 (나)에서 최종 길이 L_2 는 $L_2 = L_1(1 - \alpha \Delta T) = L_0(1 - \alpha^2 \Delta T^2)$ 이다. 따라서 금속 막대의 최종 길이는 처음 길이 L_0 보다 작아진다. [공식 2]를 적용한 경우, (가)에서 온도를 ΔT 만큼 높였을 때의 길이를 L_1 이라고 하면, $L_1 = L_0 e^{\alpha \Delta T}$ 이다. 이어지는 (나)에서 최종 길이 L_2 는 $L_2 = L_1 e^{-\alpha \Delta T} = L_0 e^{(\alpha \Delta T - \alpha \Delta T)} = L_0$ 이다. 따라서 금속 막대의 최종 길이는 처음 길이 L_0 과 같다.

(2) (1)에서 금속 막대의 최종 길이는 [공식 1]을 적용하면 $L_0(1 - \alpha^2 \Delta T^2)$ 이 되어 처음 길이보다 줄어들고, [공식 2]를 적용하면 L_0 이 되어 처음 길이와 같다. 우리의 일상적인 경험에 따르면 온도를 높였다가 원래대로 돌아왔을 때 물체도 늘어났다가 원래의 길이로 돌아오는 것이 타당하므로, [공식 2]가 물리적으로 더 타당하다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	[공식 1]과 [공식 2]를 각각 적용한 최종 길이를 모두 올바르게 구한 경우	30
(2)	일상적인 경험을 토대로 [공식 2]가 물리적으로 더 타당함을 논리적으로 설명한 경우	70
	[공식 2]가 물리적으로 더 타당하다고 썼으나, 설명이 논리적으로 부족한 경우	30

- 3 열기관의 열효율은 열기관에 공급한 열에너지 중 유용한 일로 전환된 비율로, $e = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ 이다.

모범 답안 등적 과정에서 열량은 정적 비열과 온도 변화량의 곱에 비례하므로 열량은 온도 변화량에 비례한다. 따라서 열효율 $e = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{T_C - T_D}{T_B - T_A}$ 이다. 작동 기체가 최대 압축되었을 때의 부피 $V_1 = V_A = V_B$ 이고, 최대 팽창하였을 때의 부피 $V_2 = V_C = V_D$ 이다. 제시된 단열과정의 관계식 $TV^{\frac{2}{3}} = (\text{일정})$ 과 부피 비 $\frac{V_1}{V_2} = r$ 를 이용하면, $T_C = T_B \times \left(\frac{V_B}{V_C}\right)^{\frac{2}{3}} = T_B \times r^{\frac{2}{3}}$, $T_D = T_A \times \left(\frac{V_A}{V_D}\right)^{\frac{2}{3}} = T_A \times r^{\frac{2}{3}}$ 이다. 이를 열효율 식에 대입하여 정리하면 $e = 1 - r^{\frac{2}{3}}$ 이다.

채점 기준	배점(%)
열효율의 정의와 등적 과정의 열량 식을 이용하여 열효율을 온도의 관계식으로 나타내고, 온도를 부피 비로 변환하여 최종 식을 올바르게 유도한 경우	100
열효율 e 의 최종 식은 구했으나, 유도 과정에 대한 서술이 부족한 경우	60
열효율의 정의를 알고, 열효율을 온도의 관계식으로 나타내는 단계까지만 유도한 경우	30

- 4 **모범 답안** (1) 고열원은 Q_H 의 열을 잃고 저열원은 Q_L 의 열을 얻으므로, $\Delta S_{\text{전체}} = -\frac{Q_H}{T_H} + \frac{Q_L}{T_L}$ 이다.
 (2) 일반적인 열기관의 열효율은 $e = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$ 이고, 카르노 기관의 열효율은 $e_c = 1 - \frac{T_L}{T_H}$ 이다. $e > e_c$ 라고 가정할 때, $1 - \frac{Q_L}{Q_H} > 1 - \frac{T_L}{T_H}$ 이 성립한다. 이를 정리하면 $\frac{Q_L}{T_L} < \frac{Q_H}{T_H}$ 가 되며, 결과적으로 $\Delta S_{\text{전체}} < 0$ 이다. 이는 자발적인 과정에서 전체 엔트로피는 감소하지 않는다는 열역학 제2법칙에 위배된다. 따라서 어떠한 열기관의 열효율도 카르노 기관의 열효율보다 높을 수 없다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	고열원과 저열원의 엔트로피 변화량의 합을 구하여 전체 엔트로피 변화량을 올바르게 구한 경우	40
(2)	열효율 공식을 이용하여 $\Delta S_{\text{전체}} < 0$ 임을 유도하고, 열역학 제2법칙을 언급하며 카르노 기관의 열효율이 최대 효율임을 설명한 경우	60
	$\Delta S_{\text{전체}} < 0$ 은 유도하지 못했지만, 열역학 제2법칙을 언급하며 $e > e_c$ 가 불가능함을 설명한 경우	30

III 탄성파와 소리

01 단진동

중요 개념 체크

180쪽

- 1 단진동 2 (1) ○ (2) ○ (3) × 3 증가

집중 분석 유제

181쪽

- 1 (1) A > B (2) A < B

- 1 (1) 추의 변위가 0일 때 운동량이 A의 추가 B의 추보다 크므로 운동 에너지는 A의 추가 B의 추보다 크다. 따라서 추의 역학적 에너지는 A에 연결된 추가 B에 연결된 추보다 크다.
 (2) 추의 운동 에너지는 $\frac{p^2}{2m} = \frac{1}{2}kA^2$ 이고, 질량 m 과 최대 변위 A 가 서로 같으므로, 용수철 상수 k 는 연결된 추의 운동 에너지가 큰 A가 B보다 크다. 단진동을 하는 추의 주기는 $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이므로, 주기는 A에 연결된 추가 B에 연결된 추보다 작다.

기본 문제

182쪽~183쪽

- 01 ④ 02 (1) $\frac{2\pi R}{v}$ (2) $\frac{v^2}{R}$
 03 (1) $\frac{kA}{2m}$ (2) $A\sqrt{\frac{k}{m}}$ 04 ③
 05 (1) 4 s (2) 2 cm (3) π cm/s (4) $\frac{\pi^2}{2}$ cm/s²
 (5) $x(\text{cm}) = 2\cos\frac{\pi}{2}t$
 06 ⑤ 07 ④
 08 (1) $T_A = T_B < T_C$ (2) 모두 같다.
 09 (1) $\frac{\pi}{5}$ s (2) 1 m/s (3) 10 m/s²
 10 (1) 100 N/m (2) 1 m/s (3) $\frac{\pi}{20}$ s

- 01 ㄴ. B에서는 용수철 진자에서 용수철이 최대 늘어난 상태와 같으므로 그림자의 가속도 방향은 O를 향한다.

ㄷ. 등속 원운동을 하는 물체에 평행 광선을 투영할 때 그림자의 운동은 단진동이다.

[바로알기] ㄱ. 그림자의 가속도 크기는 진동 중심인 O에서 0이다.

- 02 (1) 그림자의 주기는 물체의 주기와 같으므로 $\frac{2\pi R}{v}$ 이다.
 (2) 그림자의 최대 가속도의 크기는 등속 원운동을 하는 물체의 가속도 크기와 같으므로 $\frac{v^2}{R}$ 이다.

- 03 (1) 물체에 작용하는 알짜힘은 탄성력이다. 용수철의 늘어난 길이가 $\frac{A}{2}$ 일 때 탄성력의 크기는 $F = k\frac{A}{2}$ 이므로, 물체의 가속도 크기는 $a = \frac{F}{m} = \frac{kA}{2m}$ 이다.
 (2) 역학적 에너지가 보존되므로 평형 위치에서 물체의 최대 속력을 V 라 할 때 $\frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mV^2$ 이 성립하고, 이에 따라 $V = A\sqrt{\frac{k}{m}}$ 이다.

- 04 ㄱ. 변위의 최댓값은 원운동의 반지름과 같으므로 R 이다.
 ㄴ. 그림자의 주기가 T 이므로 물체의 주기도 T 이다. 따라서 물체의 각속도 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ 에서 $T = \frac{2\pi}{\omega}$ 이다.

[바로알기] ㄷ. 시간에 따른 변위 그래프에서 접선의 기울기는 속도를 의미한다. $\frac{3}{4}T$ 일 때 변위가 0이므로, 그림자의 속력은 최대가 되어 물체의 속력 $R\omega$ 와 같다.

- 05 (1) 단진동의 주기는 이웃하는 변위의 최댓값 사이의 시간 간격과 같으므로 4 s이다.
 (2) 단진동의 진폭은 변위의 최댓값과 같으므로 2 cm이다.
 (3) 1초일 때 변위가 0이므로 물체의 속력은 최대이다. 등속 원운동과 비교하면 최대 속력은 $\frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi \times 2 \text{ cm}}{4 \text{ s}} = \pi$ cm/s이다.
 (4) 2초일 때 변위의 크기가 최대이므로 물체의 가속도의 크기가 최대이다. 등속 원운동과 비교하면 최대 가속도는 $a = r\omega^2 = r\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = 2 \text{ cm} \times \left(\frac{2\pi}{4 \text{ s}}\right)^2 = \frac{\pi^2}{2}$ cm/s²이다.
 (5) 진폭이 2 cm, 각속도가 $\omega = \frac{2\pi}{4 \text{ s}} = \frac{\pi}{2}$ rad/s, $t=0$ 일 때의 변위가 2 cm이므로 그림자의 변위 $x(\text{cm})$ 와 시간 t 의 관계식은 $x(\text{cm}) = 2\cos\frac{\pi}{2}t$ 이다.

- 06 ㄱ. 단진동을 하는 물체의 최대 가속도 크기는 등속 원운동에서의 가속도($a = \frac{v^2}{r}$)와 같으므로 $\frac{V^2}{A}$ 이다.

ㄴ. 역학적 에너지가 보존되므로 평형 위치에서의 역학적 에너지 $\frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mV^2$ 이고, 용수철 상수 $k = \frac{mV^2}{A^2}$ 이다.

ㄷ. 등속 원운동과 비교하면 주기 $T = \frac{2\pi r}{V} = \frac{2\pi A}{V}$ 이다.

- 07 ㄱ. 두 진자의 진동수가 서로 같으므로 주기도 서로 같다. 따라서 $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 에서 $mg = kl$ 이다.

ㄷ. 용수철 진자의 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이므로 추의 질량 m 이 증가하면 주기가 증가한다.

ㄴ. 단진자의 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 이므로 단진자의 길이 l 이 증가하면 주기가 증가한다.

[바로알기] ㄴ. 단진자의 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 이므로 추의 질량이 변해도 주기는 변하지 않는다.

ㄹ. 용수철 진자의 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이므로 중력 가속도가 변해도 주기는 변하지 않는다.

- 08 (1) 단진자의 주기는 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 이므로 실의 길이가 길수록 주기가 크다. 따라서 $T_A = T_B < T_C$ 이다.

(2) 최하점을 지나는 순간 추는 등속 원운동과 같은 운동을 하므로, 최하점에서의 속력이 v 이면 최하점에서의 가속도의 크기는 $\frac{v^2}{l}$ 이다. 최하점과 최고점의 높이차를 h 라고 할

때 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ 이다. 단진자가 이루는 최대 각도가 동일하므로 h 는 실의 길이에 비례한다. 따라서 v^2 은 C 가 A , B 의 2배이지만, 실의 길이는 C 가 A , B 의 2배이므로, 최하점에서의 가속도 크기 $\frac{v^2}{l}$ 은 A , B , C 가 모두 같다.

- 09 (1) $x = 0.1\sin 10t$ 이므로 $10T = 2\pi$ 에서 주기 $T = \frac{\pi}{5}$ s이다.

(2) 등속 원운동과 비교하면 주기가 $\frac{\pi}{5}$ s이므로 평형 위치에서의 속력은 $\frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi \times 0.1 \text{ m}}{\frac{\pi}{5} \text{ s}} = 1 \text{ m/s}$ 이다.

(3) $x = 0.1\sin 10t$ 이므로 속도는 $v = 1\cos 10t$, 가속도는 $a = -10\sin 10t$ 이다. 변위가 0.1 m일 때 $\sin 10t = 1$ 이므로, 가속도의 크기는 10 m/s^2 이다.

- 10 (1) 용수철 상수는 $k = \left| -\frac{F}{x} \right| = \frac{10 \text{ N}}{0.1 \text{ m}} = 100 \text{ N/m}$ 이다.

(2) 역학적 에너지가 보존되므로 평형 위치에서 역학적 에너지 $\frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mv^2$ 이고, 평형 위치에서의 물체의 속력은

$$v = A\sqrt{\frac{k}{m}} = 0.1 \text{ m} \times \sqrt{\frac{100 \text{ N/m}}{1 \text{ kg}}} = 1 \text{ m/s}$$

(3) 평형 위치에서 변위가 0.1 m, 즉 변위가 최대인 지점까지 물체가 이동하는 데 걸린 시간은 주기의 $\frac{1}{4}$ 배이므로, 주

$$기 T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \text{에서 } \frac{1}{4} \times 2\pi\sqrt{\frac{1 \text{ kg}}{100 \text{ N/m}}} = \frac{\pi}{20} \text{ s}$$

개념 적용 문제

184쪽~187쪽

- 01 ① 02 ③ 03 ④ 04 ② 05 ③ 06 ⑤
07 ⑤ 08 ②

- 01 ㄱ. 등속 원운동을 하는 공의 그림자의 주기와 단진동을 하는 추의 주기는 서로 같으므로, $2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{1 \text{ kg}}{100 \text{ N/m}}}$
 $= \frac{\pi}{5} \text{ s}$ 이다.

[바로알기] ㄴ. 공의 주기가 $\frac{\pi}{5} \text{ s}$ 이므로, 등속 원운동을 하

는 공의 속력은 $\frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi \times 0.2 \text{ m}}{\frac{\pi}{5} \text{ s}} = 2 \text{ m/s}$ 이다.

ㄷ. 추가 최하점에 있을 때 추에 작용하는 알짜힘은 위쪽 방향의 탄성력과 아래쪽 방향의 중력의 합력이다. 따라서 $F_{\text{알짜}} = F_T - mg = kx = 100 \text{ N/m} \times 0.2 \text{ m} = 20 \text{ N}$ 에서 탄성력의 크기는 $F_T = kx + mg = 20 \text{ N} + (1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2) = 30 \text{ N}$ 이다.

- 02 변위 $x = 0.4\sin \frac{t}{2}$ 에서 속도는 $v = 0.2\cos \frac{t}{2}$, 가속도는 $a = -0.1\sin \frac{t}{2}$ 이다.

ㄱ. 시간 t_1 일 때 물체의 속력이 최대이므로 0.2 m/s 이다.

ㄴ. 시간 $t = \pi \text{ s}$ 일 때 $|a| = 0.1\sin \frac{\pi}{2} = 0.1 (\text{m/s}^2)$ 이다.

[바로알기] ㄷ. 변위 $x = 0.4\sin \frac{t}{2}$ 에서 각속도 $\omega = \frac{1}{2}$ 이므로 주기는 $\frac{2\pi}{\omega} = 4\pi (\text{s})$ 이다. 물체의 질량은 1 kg 이므로, 주

$$기 T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{1}{k}} = 4\pi \text{에서 } k = 0.25 \text{ N/m}$$