2027

물리학I 역학

CONNECT



수능에 필요한 모든 것을 담은 수능 공략서

UNOVA

Contents

1. 등가속도 운동

· 개념편 02
· 문제편 23

2. 힘과 운동

· 개념편 34
· 문제편 55

3. 운동량과 충격량

· 개념편 74
· 문제편 91

4. 일과 에너지

· 개념편 111
· 문제편 120

Contents

5. 용수철

· 개념편 131

6. 열역학

· 개념편 139

· 문제편 155

7. 특수 상대성 이론

· 개념편 154

· 문제편 178

8. 핵반응

· 개념편 188

· 문제편 190

PART 1
등가속도 운동

개념 유형

(1) 기본 개념
(2) 등가속도 운동
(3) 다중 섬광 사진
(4) 다중 사건 풀이법
(5) 정지의 성질
(6) 일정 시간 후의 모습
(7) 변위 가속 분해

기출 유형

(1) 여러 가지 운동
(2) 그래프 문제
(3) 일정 시간 후의 모습
(4) 자동차 문제
(5) 빗면 문제

THEME

1 — 기본 개념

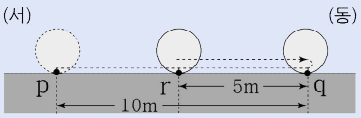
정리1 이동 거리와 변위

개념1 이동 거리

① 이동 거리는 물체가 총 이동한 거리를 의미한다. 또한 스칼라 물리량으로써 방향성이 존재하지 않는다.
② 만약 물체의 운동 방향이 바뀌지 않는 상태로 직선 운동을 한다면 변위의 크기는 이동 거리와 같다.

TIP 변위와 이동 거리의 이해

그림은 공이 직선상의 점 p에서 점 q를 지나 점 r까지 운동하고 있는 상황이다.



- 공이 p에서 r까지 운동할 때 이동 거리는 15m이고, 변위는 동쪽으로 5m이다.
- 운동 방향이 바뀌지 않는 경우 : 이동 거리 = 변위의 크기이다.
- 운동 방향이 바뀌는 경우 : 이동 거리 > 변위의 크기이다.

개념2 변위

① 변위는 변한 위치의 줄임말이다. 즉, 나중 위치에서 처음 위치를 뺀 $\Delta\vec{x}=\vec{x}_2-\vec{x}_1$을 의미한다.
또한 변위는 벡터로써 방향성이 존재한다.

② 변위와 속도의 관계를 수학적으로 표현하면 $\Delta\vec{x}=\int_{t_1}^{t_2}\vec{v}(t)dt$ 이다.

즉, 속도-시간 그래프에서 밑면적이 바로 변위이다.

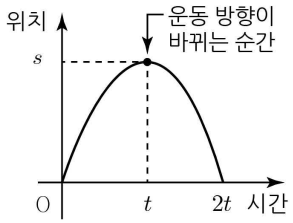
TIP 고전 역학 운동의 가정

① 움직이는 물체에 대해서는 크기에 상관없이 하나의 입자로 기술하는 입자 모형을 사용한다.
문제에서 제시된 물체가 자동차, 공, 나무상자로 외형이 다르더라도 조건에 의해 부피를 무시한다면 질점으로 생각할 수 있다.
② 질점은 질량 중심에 힘이 가해지기 때문에 병진 운동(직선 상에서 움직이는 운동)만 한다.

정리2 그래프의 운동 해석

개념1 위치-시간 그래프

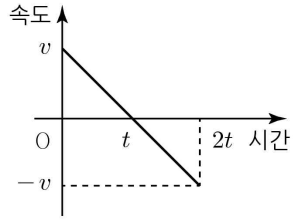
위치-시간 그래프는 말 그대로 사간에 따른 물체의 위치를 나타낸 것이다.
일반적으로 물체의 위치가 양(+)이라는 것은 물체가 기준점에 대해서 오른쪽에 있음을 의미한다.
만약 물체가 운동하던 도중 속도가 0이 된다면 접선의 기울기가 0이 된다.



> **TIP 운동 방향이 바뀌는 순간**
> 운동 방향이 바뀌는 순간은 속도가 0이 되는 순간, 즉 정지한 상황($v=0$)을 의미한다.

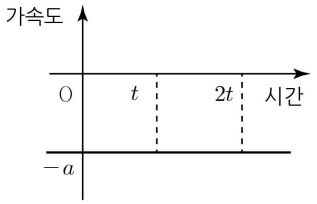
개념2 속도-시간 그래프

속도-시간 그래프는 시간에 따른 물체의 속도를 나타낸 것이다.
만약 물체에 작용하는 가속도의 방향이 초기 속도와 같은 방향이라면 속도의 크기가 증가하고,
방향이 반대라면 속도의 크기가 감소한다.



개념3 가속도-시간 그래프

가속도-시간 그래프는 시간에 따른 물체의 가속도를 나타낸 것이다.
기본적으로 고등 물리에서는 크게 2가지의 가속도-시간 그래프가 출제된다.



① 가속도가 일정한 그래프($y=c$꼴)

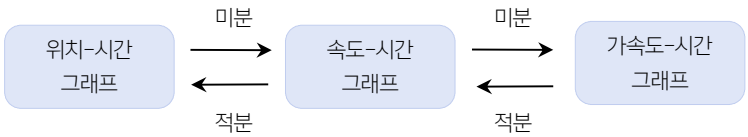
STEP1 등가속도 운동이므로 각 지점에서의 속도를 구한다.

STEP2 각 구간을 평균 속도로 연결한다.

② 가속도가 일정하게 커지는 그래프($y=ax$꼴)

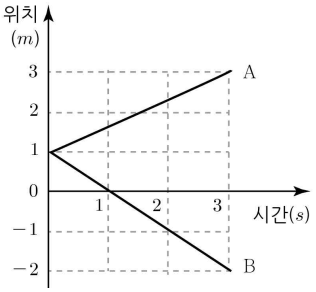
STEP1 가속도가 변하는 변가속도 그래프이므로 교육 과정으로 해결할 수 없다.
(물론 대학교에 가면 미적분학을 배워서 적분으로 문제를 해결한다.)

STEP2 면적을 구해 운동량-충격량 정리를 이용하여 나중 속도를 구할 수 있다.
(이 부분은 운동량-충격량 파트에서 보자.)



예제1 위치-시간 그래프

그림은 동일 직선상에서 운동하는 물체 A, B의 위치를 시간에 따라 나타낸 것이다.



A, B의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 1초일 때, B의 운동 방향이 바뀐다.
ㄴ. 2초일 때, 속도의 크기는 A가 B보다 작다.
ㄷ. 0초부터 3초까지 이동한 거리는 A가 B보다 작다.

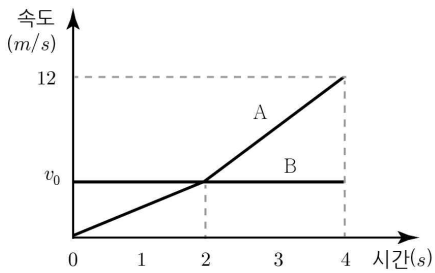
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. B의 운동 방향은 계속 바뀌지 않는다. (X)
ㄴ. 기울기를 보면 B가 더 크다. (O)
ㄷ. $s_A = 2m$, $s_B = 3m$이다. (O)

예제2 속도-시간 그래프

그림은 직선 운동하는 물체 A, B의 속도를 시간에 따라 나타낸 것이다. A의 처음 속도는 v_0이다. 0초에서 4초까지 이동한 거리는 A가 B의 2배이다.



3초일 때 A의 가속도의 크기와 1초일 때 B의 가속도의 크기를 각각 a_A, a_B라 할 때, $a_A : a_B$는?

① 2 : 1 ② 3 : 1 ③ 3 : 2 ④ 5 : 2 ⑤ 7 : 5

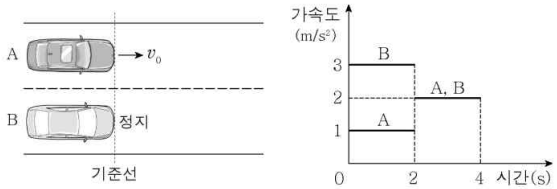
해설

$s_A = 2v_0 + (v_0 + 12) = 3v_0 + 12$
$s_B = v_0 + 2v_0 = 3v_0$

조건을 보면 이동한 거리는 A가 B의 2배이므로
$3v_0 + 12 = 6v_0$을 만족해야 한다. 여기서 $v_0 = 4m/s$이므로
$a_A : a_B = \frac{8}{2} : \frac{4}{2} = 2 : 1$이다.

예제3 가속도-시간 그래프

그림 (가)는 직선 도로에서 0초일 때 자동차 A가 기준선을 v_0의 속력으로 통과하고, 자동차 B는 정지 상태에서 A와 같은 방향으로 출발하는 모습을 나타낸 것이다. 0초에서 4초까지 A, B의 이동 거리는 서로 같다. 그림 (나)는 A, B의 가속도를 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가)

(나)

v_0은? (단, A, B는 도로와 평행한 직선 경로를 따라 운동한다.)

① $1m/s$ ② $2m/s$ ③ $3m/s$ ④ $4m/s$ ⑤ $5m/s$

해설

STEP1 각 지점에서 속도를 찾아보자.

	0초	2초	4초
A	v_0	v_0+2	v_0+6
B	0	6	10

STEP2 평균 속도로 거리를 찾자.

A의 0부터 2초까지 이동 거리는 $2v_0+2$이다.

A의 2부터 4초까지의 이동 거리는 $2v_0+8$이다.

B의 0부터 2초까지의 이동 거리는 6이다.

B의 2부터 4초까지의 이동 거리는 16이다.

STEP3 답 구하기

A의 이동 거리는 $4v_0+10$이고, B의 이동 거리는 22이므로 $4v_0+10=22$에서 $v_0=3m/s$이다.

THEME

2 — 등가속도 운동

정리1 속력과 속도

개념1 속력과 속도

① 속력은 이동 거리를 시간으로 나눈 값으로써 스칼라 물리량이다.
② 속도는 변위를 시간으로 나눈 값으로써 벡터 물리량이다.

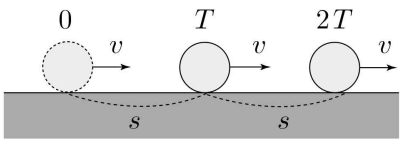
개념2 평균 속도와 순간 속도

① 평균 속도는 변위를 시간으로 나눈 물리량이다. 수학적으로 표현하자면 $\vec{v}=\frac{\vec{x}}{t}$이다. [단위 : m/s]

② 순간 속도는 순간적인 속도로써 위치-시간 그래프에서 접선의 기울기와 동일하다.

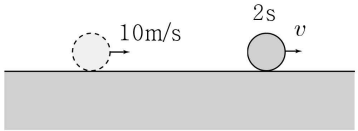
개념3 등속도 운동

등속도 운동은 그림과 같이 t초 동안 s만큼 진행했다면 이러한 기조를 유지하여 진행한다.
이때, 만족하는 식은 $s=vt$ (이동 거리=속력×시간)이다.



예제1 등속도 운동

처음 속도가 $10m/s$인 공이 2초 동안 움직인 거리를 구하시오.



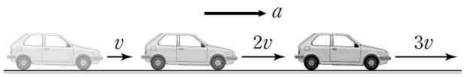
해설

$s=vt$에 의하여 $20m$를 움직인다.

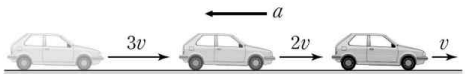
정리2 가속도

개념1 평균 가속도와 순간 가속도

① 가속도는 속도를 변화시키는 물리량이다.
② 평균 가속도는 속도 변화량을 걸린 시간으로 나눈 것과 같다.
③ 순간 가속도는 속도-시간 그래프에서 접선의 기울기와 같다.



가속도의 방향이 운동 방향과 같을 때, 속력이 증가한다.

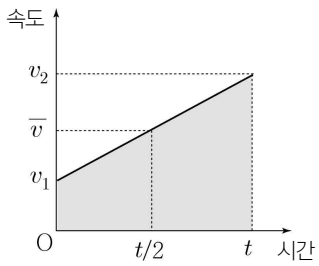


가속도의 방향이 운동 방향과 반대일 때, 속력이 감소한다.

개념2 등가속도 공식의 유도

등공① 물체가 등가속도 운동을 하므로 가속도의 정의 $\vec{a}=\frac{\Delta\vec{v}}{t}=\frac{\vec{v}_2-\vec{v}_1}{t}$를 정리하면 $\vec{v}_2=\vec{v}_1+\vec{a}t$ 이다. … (등가속도 공식 ①번)

등공② $v-t$그래프에서 면적은 변위를 의미한다. 면적을 계산하면 변위는 $\vec{x}=\frac{1}{2}\vec{a}t^2+\vec{v}_1t$ 이다. … (등가속도 공식 ②번)



등공③ $v_2=v_1+at$로부터 $t=\frac{v_2-v_1}{a}$이다. 등가속도 공식 ②번에 대입을 하게되면 $x=\frac{1}{2}a(\frac{v_2-v_1}{a})^2+v_1(\frac{v_2-v_1}{a})=\frac{v_2^2-v_1^2}{2a}$
에서 $2ax=v_2^2-v_1^2$을 만족한다. … (등가속도 공식 ③번)

TIP 의미 해석

① 속도는 벡터이고, 벡터의 제곱은 스칼라이다. 따라서 v_2는 큰 값, v_1은 작은 값, a와 x는 양의 값으로 셋팅하자.
② 계산에 대하여 $v_2^2-v_1^2$은 피타고라스 정리를 생각해볼 수 있다.

등공④ 위의 그래프를 토대로 평균 속도에 걸린 시간을 곱하면 면적 값이 되므로 변위는 $\vec{x}=\vec{v}t=\frac{\vec{v}_1+\vec{v}_2}{2}t$를 만족한다.
… (등가속도 공식 ④번)

TIP 의미 해석

① 평균 속도의 정의는 $\overline{v}=\frac{x}{t}$이다. 하지만 등가속도 운동을 한다면 $\overline{v}=\frac{v_1+v_2}{2}$으로 표현이 가능하다.
② 평균 속도는 처음 속도 v_1, 나중 속도 v_2와 등차 수열 관계에 있다.
예를 들어 처음 속도가 -1, 나중 속도가 $+3$이면 평균 속도는 $+1$이다. (중요!!!)

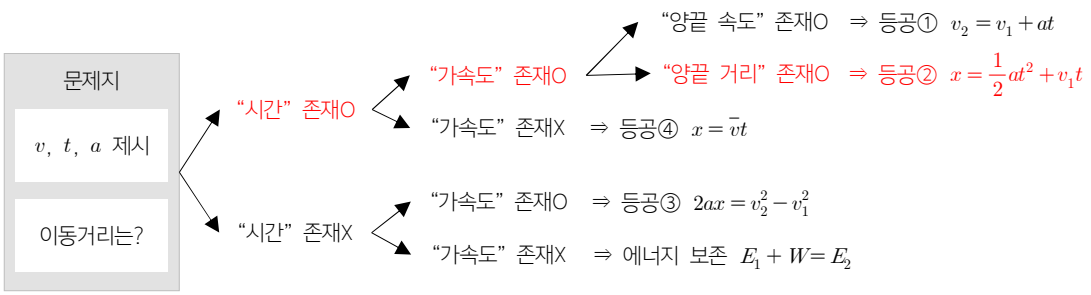
정리3 등가속도 공식의 풀이 알고리즘

COMMENT

앞서 등가속도 공식의 유도 과정에 대해서 확인했다.
하지만 결국 우리가 시험장에서 해결해야하는 것은 문제의 해결이다.
이번 정리에서는 문제를 어떻게 풀 수 있는 지에 대해서 알아보도록 하겠다.

개념1 등가속도 공식 판별법

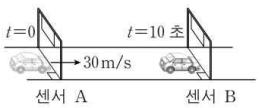
우리가 살고 있는 우주는 시간(4차원)과 공간(3차원)의 결합으로 이루어져 있다.
따라서 등가속도 공식 판별에서 제일 큰 범주는 조건과 구해야 하는 값에서 "시간"이 존재하는 지 확인해야 한다.
다음으로 공간은 가속도의 영향을 받으므로 "가속도"가 존재하는 지 확인해야 한다.
마지막으로 운동을 통해 "변위"가 존재하는 지 확인해야 한다.



개념2 단일 사건에서 변수의 개수

등가속도 공식을 확인하면 총 5개($v_1,\ v_2,\ x,\ t,\ a$)의 문자 중에서 공식 안에 4개의 문자가 있다.
따라서 3개의 변수가 제시되어 있다면 무조건 공식을 써서 나머지 변수값이 도출된다.

3. 그림과 같이 직선 도로에서 센서 A를 30 m/s의 속력으로 통과한 자동차가 등가속도 직선 운동하여 10초 후 센서 B를 통과한다. A에서 B까지 자동차의 평균 속력은 25 m/s이다.



A에서 B까지 자동차의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 자동차 크기는 무시한다.)

〈보 기〉

ㄱ. 이동 거리는 250 m이다.
ㄴ. B를 통과할 때 속력은 20 m/s이다.
ㄷ. 가속도의 방향은 운동 방향과 같다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

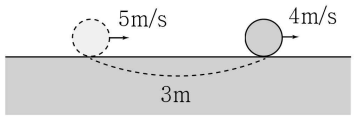
빨간색 박스는 문제에서 준 조건이다.
평균 속력 조건으로 나중 속력을 알 수 있으므로
문제 자체에서 3개의 조건을 준 것을 알 수 있다.

따라서 공식만 선택하면 자동으로 이동 거리가 나온다. 이때 선택할 공식은 시간이 있고, 가속도가 없으므로 등공④를 선택할 수 있다.

즉, 이동 거리는 $25m/s \times 10s = 250m$가 나온다.

예제2 등가속도 운동

그림은 처음 속도가 $+5m/s$인 공에 일정한 가속도 a가 왼쪽으로 작용하여 $+3m$를 이동했을 때 나중 속도가 $+4m/s$인 상황이다.



이때 가속도의 크기 a를 구하시오.

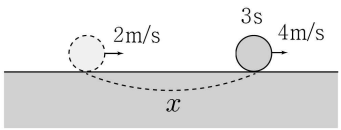
해설

시간이 없으므로 등가속도 공식 ③을 통해

$2a \cdot 3 = 5^2 - 4^2$에서 $a = 1.5m/s^2$이다.

예제3 등가속도 운동

그림은 처음 속도가 $+2m/s$인 공이 3초 동안 등가속도 운동을 하여 $+3m$를 이동했을 때 나중 속도가 $+4m/s$인 상황이다.



이때 3초 동안 공이 이동한 거리를 구하시오.

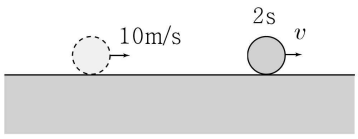
해설

시간이 있고, 가속도가 없으므로 등가속도 공식 ④을 통해

$x = \frac{2+4}{2} \cdot 3 = 9m$이다.

예제4 등가속도 운동

그림은 처음 속도가 $+10m/s$인 공이 $+2m/s^2$의 가속도로 2초 동안 이동한 상황이다.



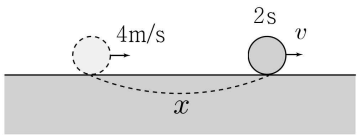
이때 나중 속력을 구하시오.

해설

시간과 가속도가 있고, 변위가 없으므로 등가속도 공식 ①을 통해 $v = 10 + 2 \cdot 2 = 14m/s$이다.

예제5 등가속도 운동

그림은 처음 속도가 $+4m/s$인 공이 2초 동안 $+2m/s^2$의 가속도로 이동한 상황이다.



이때 2초 동안 공이 이동한 거리를 구하시오.

해설

시간과 가속도가 있고, 변위가 있으므로 등가속도 공식 ②을 통해 $x = 4 \cdot 2 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 2^2 = 12m$이다.

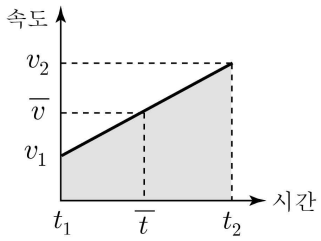
THEME

3 — 다중 섬광 사진

정리1 다중 섬광 사진

개념1 구간의 평균 속도와 같은 지점

그래프를 토대로 해석해보면 구간 $t_1 \sim t_2$에서의 평균 속도는 $\bar{t} = \frac{t_1 + t_2}{2}$ 초에서의 순간 속도와 같다.

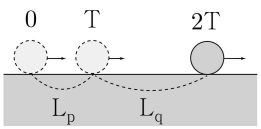


TIP 의미 해석

예를 들어 수평면 상에서 등가속도 운동을 하는 물체가 있다고 하자.
이 물체는 2초일 때 순간 속도가 $+2m/s$이고, 4초일 때 순간 속도가 $+6m/s$이다.
그러면 2초부터 4초까지의 평균 속도는 $+4m/s$이다.
따라서 시간의 평균인 3초에서의 순간 속도는 $+4m/s$이다.

개념2 다중 섬광 사진의 공식

다중 섬광 사진이란, 일정한 시간 간격으로 물체의 위치에 대해서 사진을 촬영한 유형이다.
이번 개념에서는 위의 평균 속도의 개념을 이용하여 다중 섬광 사진 공식을 만들어보겠다.



STEP1 그림을 통해 물체가 이동한 거리는 $L_p = L_{0 \sim T} = v_{0.5T}T$, $L_q = L_{T \sim 2T} = v_{1.5T}T$와 같이 표현할 수 있다.

STEP2 가속도의 정의를 이용하면 $a = \frac{v_{1.5T} - v_{0.5T}}{T} = \frac{L_p/T - L_q/T}{T} = \frac{\triangle L}{T^2}$로 표현이 가능하다.

① $a = \frac{\triangle L}{T^2} = \frac{\text{각 구간의 연속된 거리의 차이}}{(\text{걸린 시간 간격})^2}$

② $\triangle L = aT^2$로 각 구간 거리의 차이는 일정하게 커지거나 감소한다.

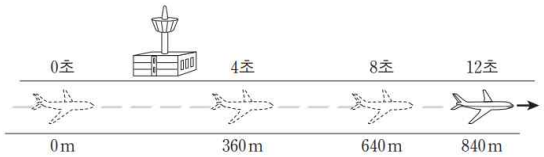
TIP 의미 해석

$L_2 - L_1 = c$, $L_3 - L_2 = c$를 만족한다고 하면 (단, c는 일정) $L_3 - L_2 = L_2 - L_1$에서 $L_2 = \frac{L_1 + L_3}{2}$와 동일하다.

이는 등차 중항이므로 등차수열을 만족함까지도 알 수 있다.

예제1 다중 섬광 사진

그림은 활주로에 내린 비행기의 위치를 착륙하는 순간부터 4초 간격으로 나타낸 것이다. 비행기는 착륙하는 순간부터 정지할 때까지 등가속도 직선 운동을 한다.



착륙하는 순간부터 정지할 때까지 비행기의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 가속도의 크기는 $4m/s^2$이다.
ㄴ. 착륙하는 순간의 속력은 $100m/s$이다.
ㄷ. 이동한 거리는 $3km$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 다중 섬광 사진 유형에서 가속도 공식을 사용하면
$a=\frac{\triangle L}{T^2}=\frac{360-280}{4^2}=5m/s^2$이다. (X)

ㄴ. 0초부터 4초까지 평균 속도는 $90m/s$이므로 2초에서 순간 속도는 $90m/s$이다.
단일 사건에 대해여 3개의 물리량(시간, 가속도, 속도)을 알고 있으므로 답을 구할 수 있다.
등가속도 공식 ①을 사용하면 초기 속력은 $100m/s$이다. (O)

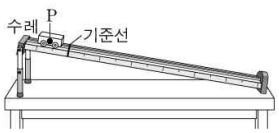
ㄷ. 정지하는 상황에 대해서 시간적 정보가 없으므로 등가속도 공식③을 통하여 $2 \cdot 5 \cdot x=100^2$에서 이동한 거리는 $1km$이다. (X)

예제2 다중 섬광 사진

다음은 물체의 운동을 분석하기 위한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 빗면에서 직선 운동하는 수레를 디지털 카메라로 동영상 촬영한다.



(나) 동영상 분석 프로그램을 이용하여 수레의 한 지점 P가 기준선을 통과하는 순간부터 0.1초 간격으로 P의 위치를 기록한다.

[실험 결과]

시간(초)	0	0.1	0.2	0.3	0.4
위치(cm)	0	6	14	24	㉠

○ 수레는 가속도의 크기가 [㉡]인 등가속도 직선 운동을 하였다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. ㉠은 36이다.
ㄴ. ㉡은 $2m/s^2$이다.
ㄷ. P가 기준선을 통과하는 순간의 속력은 $0.4m/s$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. $\triangle L=aT^2$으로 인하여 위치의 차이는 일정하게 증가한다.
그래서 0.2~0.3초에서 위치 증가량이 $10cm$이므로
0.3~0.4초에서 위치 증가량은 $12cm$다.
따라서 ㉠은 36이다. (O)

ㄴ. $a=\frac{\triangle L}{T^2}=\frac{0.08-0.06}{0.1^2}=2m/s^2$ (O)

ㄷ. 등가속도 공식 ②번을 사용하면
$0.06=v(0.1)+\frac{1}{2}(2)(0.1)^2$이므로 $v=0.5m/s$이다. (X)

THEME

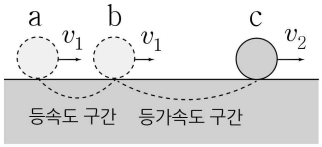
4 — 다중 사건 풀이법

정리1 등속도 + 등가속도 운동

개념1 등속도 + 등가속도 운동 해석

물리량으로 제시된 문제(v, s, t의 형태)를 풀기 위해서는 두 구간(a~b, b~c)을 연결해줘야 문제가 해결이 된다.

등속도 운동에서 공식($s = vt$)을 보면 시간이 있고, 가속도가 없으므로 이는 등가속도 공식 ④번의 형태($s = \bar{v}t$)와 동일하다.

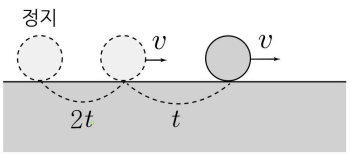
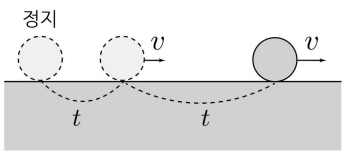
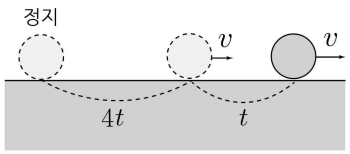


개념2 자주 나오는 비례식 정리

수능에서는 정지 상태에서 가속시킨 다음에 등속도 운동을 시키는 경우에 대해서 자주 나온다.

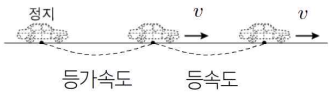
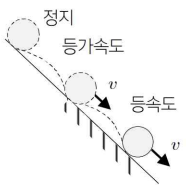
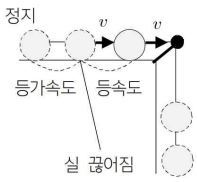
정지 상태에 대해서 등가속도 운동을 한 다음에 등속도 운동을 한다면 평균 속력의 비는 항상 $\frac{v}{2} : v = 1 : 2$를 만족한다.

이를 통해 나오는 시간에 대한 비례식은 아래의 표와 같다.

이동 거리의 비가 1 : 1인 상황	이동 거리의 비가 1 : 2인 상황	이동 거리의 비가 2 : 1인 상황
		

개념3 출제되는 상황 정리

수능에서 출제되는 상황은 아래와 같이 크게 3가지의 종류가 있다.

자동차 상황	빗면과 마찰이 있는 빗면 상황	실 끊어짐 상황
		
물체가 처음에 정지상태에서 힘을 받아 등가속도 운동을 하다가 힘을 제거해 등속도 운동하는 상황이 나온다.	물체를 빗면에 가만히두어 정지상태에서 빗면가속도를 이용하여 가속시킨 후 마찰 구간에서 등속도 운동을 하는 상황이 나온다.	ㄱ자 상황에서 수평면과 빗면에 두 물체를 연결해서 정지상태에서 등가속도 운동을 한 후, 두 물체를 연결시킨 실이 끊어져서 수평면의 물체가 등속도 운동하는 상황이 나온다.

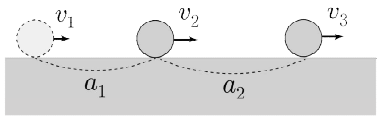
정리2 등가속도 + 등가속도 운동

개념1 두 구간의 해석 알고리즘

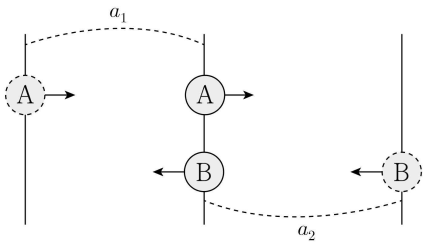
등가속도 + 등가속도 운동은 크게 2가지 상황이 있다.

① 한 물체의 두 가지 구간 제시
② 두 물체의 한 가지 구간 제시

이런 유형에서는 아래의 표를 사용해 어떤 공식을 사용하여 답을 구할 지 생각해볼 수 있다.
결국 두 구간을 연결해야 답이 도출되므로 비율이 핵심 요소가 된다.



[CASE 1. 한 물체의 두 구간]

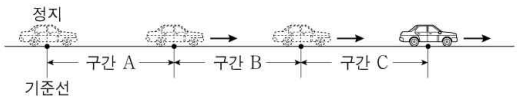


[CASE 2. 두 물체의 한 구간]

두 구간의 비	가속도의 비O	가속도의 비X
시간의 비O	STEP1 각 점마다 등공① STEP2 각 구간 등공④	STEP1 각 구간 등공④ STEP2 각 점마다 등공①
시간의 비X	등가속도 공식 ③으로 두 구간 연결	에너지 보존 법칙으로 두 구간 연결

예제1 등속도 + 등가속도 운동

그림과 같이 기준선에 정지해 있던 자동차가 출발하여 직선 경로를 따라 운동한다. 자동차는 구간 A에서 등가속도, 구간 B에서 등속도, 구간 C에서 등가속도 운동한다. A, B, C의 길이는 모두 같고, 자동차가 구간을 지나는 데 걸린 시간은 A에서가 C에서의 4배이다.



자동차의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 자동차의 크기는 무시한다.)

<보 기>

ㄱ. 평균 속력은 B에서가 A에서의 2배이다.
ㄴ. 구간을 지나는 데 걸린 시간은 B에서가 C에서의 2배이다.
ㄷ. 가속도의 크기는 C에서가 A에서의 8배이다.

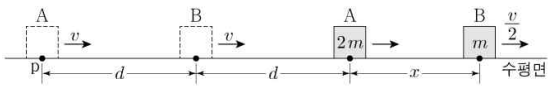
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 유형의 공식에 의하여 걸린 시간은 2 : 1이다. (O)
ㄴ. $t_A : t_B : t_C = 4 : 2 : 1$이다. (O)
ㄷ. 이동 거리가 동일하고 걸린 시간이 A가 C의 4배이므로 B의 속력을 v라 하면 C의 나중 속력은 $3v$이다. 따라서 등가속도 공식 ①번에 의하여 A와 C의 가속도의 비는 1 : 8이다. (O)

예제2 시간의 비O + 가속도의 비O

그림과 같이 질량이 각각 $2m$, m인 물체 A, B가 동일 직선상에서 크기와 방향이 같은 힘을 받아 각각 등가속도 운동을 하고 있다. A가 점 p를 지날 때, A와 B의 속력은 v로 같고 A와 B 사이의 거리는 d이다. A가 p에서 $2d$만큼 이동했을 때, B의 속력은 $\frac{v}{2}$이고 A와 B 사이의 거리는 x이다.



x는? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

① $\frac{1}{2}d$ ② $\frac{3}{5}d$ ③ $\frac{2}{3}d$ ④ $\frac{5}{7}d$ ⑤ $\frac{3}{4}d$

해설

STEP1 등공①

A와 B에 작용하는 힘이 같으므로 가속도의 비는 1 : 2이다.

B의 속도 변화량 $-\frac{v}{2}$이므로 A의 속도 변화량은 $-\frac{v}{4}$이다.

따라서 A의 나중 속력은 $\frac{3v}{4}$이다.

STEP2 등공④

운동에 대한 평균 속력의 비는 $\frac{7}{4}v : \frac{3}{2}v = 7 : 6$이고

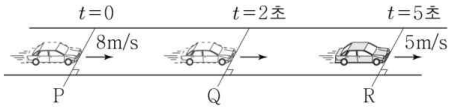
(양 끝 덧셈을 비교하자.) 걸린 시간은 동일하다.
이동 거리의 비가 7 : 6이고, A의 이동 거리가 $2d$이므로

B의 이동 거리는 $2d \times \frac{6}{7}d = \frac{12}{7}d$이다.

따라서 $x = \frac{5}{7}d$이다.

예제3 시간의 비O + 가속도의 비X

그림과 같이 직선 도로와 나란하게 운동하는 자동차가 $t=0$, $t=2$초, $t=5$초일 때 각각 기준선 P, Q, R를 지난다. 자동차는 P에서 Q까지, Q에서 R까지 각각 등가속도 운동을 하고 P, R를 지날 때 자동차의 속력은 각각 $8m/s$, $5m/s$이다. P에서 Q까지와 Q에서 R까지의 거리는 같다.



Q를 지날 때 자동차의 속력은?

① $1m/s$ ② $1.5m/s$ ③ $2m/s$ ④ $2.5m/s$ ⑤ $3m/s$

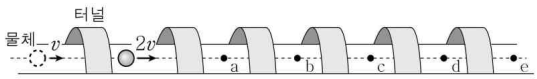
해설

등공④) $\frac{v+8}{2}\cdot 2=\frac{v+5}{2}\cdot 3$

$\therefore v=1m/s$

예제4 시간의 비X + 가속도의 비O

그림과 같이 물체가 수평면에서 직선 운동하며 길이가 같은 6개의 터널과 점 a~e를 통과한다. 물체는 각 터널을 통과하는 동안에만 같은 크기의 힘을 운동 방향으로 받는다. 첫 번째 터널을 통과하기 전과 후의 물체의 속력은 각각 v, $2v$이다.



a~e 중 물체의 속력이 $4v$인 점은? (단, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

① a ② b ③ c ④ d ⑤ e

해설

조건) 등공③) $2aL=4v^2-v^2=3v^2$

문제) 등공③) $2ax=16v^2-v^2=15v^2 \rightarrow x=5L$

5개의 터널을 통과한 점은 d이다.

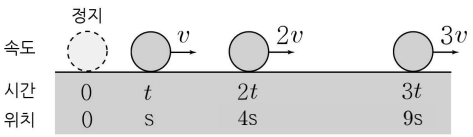
THEME

5 — 정지의 성질

정리1 정지의 성질

개념1 정지의 성질

역학에서 물체가 처음에 정지한다 라는 멘트가 굉장히 많이 나온다.
"정지"를 보면 앞으로 아래와 같은 행동 강령을 갖자.

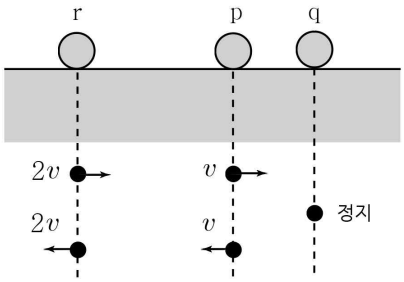


STEP1 "정지"를 보면 "정지"부터 해석하자.
(초기 속도가 0임을 이용한다.)

STEP2 "정지"의 성질을 떠올리자.
① 속도의 비는 걸린 시간의 비와 같다.
② 이동 거리의 비는 걸린 시간의 제곱 비와 같다.

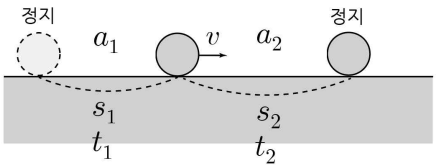
개념2 운동 방향이 바뀌는 유형

그림은 물체가 점 p에서 출발하여 일정 시간 후 점 q에서 방향을 바꾸어 다시 점 p를 지나 운동하는 상황을 나타낸 것이다.
그림을 통해 점 q를 기준으로 대칭적인 운동을 하는 것을 알 수 있다.

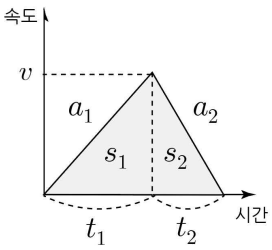


개념3 정지-정지의 성질

그림 (가)는 처음에 정지한 물체에 오른쪽으로 일정한 힘이 작용하여 등가속도 운동을 하고, 이후 왼쪽 방향으로 힘이 작용하여 정지하는 상황이다. 물체의 속력에 대해서 그래프를 그리면 그림 (나)와 같다.



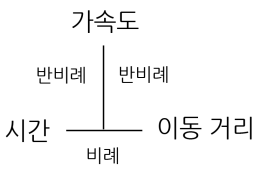
(가)



(나)

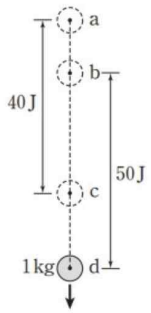
결과를 해석해보면 다음과 같다.

① 구간에 대하여 거리 비와 시간 비는 비례한다. $(a_1 : a_2 = 1 : 2)$
② 구간에 대하여 가속도 비와 거리 비는 반비례한다. $(t_1 : t_2 = 2 : 1)$
③ 구간에 대하여 가속도 비와 시간 비는 반비례한다. $(s_1 : s_2 = 2 : 1)$



예제1 한 점에서의 정지

그림은 a점에서 가만히 놓은 질량 $1kg$인 물체가 낙하하는 모습을 나타낸 것이다. 중력에 의한 퍼텐셜 에너지 차는 a점과 c점 사이에서는 $40J$이고, b점과 d점 사이에서는 $50J$이다. c에서 속력은 b에서의 2배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 $10m/s^2$이고, 공기 저항은 무시한다.)

<보 기>

ㄱ. a와 b 사이의 거리는 $1.5m$이다.
ㄴ. c와 d 사이에서 중력이 물체에 한 일은 $18J$이다.
ㄷ. d에서 물체의 속력은 $2\sqrt{30}\,m/s$이다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

해설

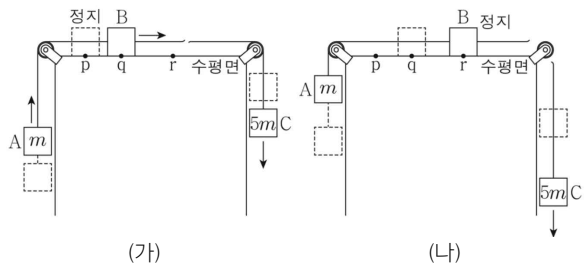
중력에 의한 퍼텐셜 에너지 차이 $40J$과 $50J$는 높이 차를 의미한다. (즉, $4m$, $5m$를 의미한다.)

ㄱ. 물체는 a에서 정지한 상태이므로 정지의 성질을 떠올리면 b와 c의 속도의 비가 $1:2$이므로 이동한 거리의 비는 $1:4$이다. 따라서 ab사이의 거리는 $1m$이다. (X)
ㄴ. bc사이의 거리는 $3m$이므로 cd 사이의 거리는 $2m$이다. 따라서 중력이 물체에 한 일은 $20J$이다. (X)
ㄷ. ad사이에 대해서 시간적 정보가 없으므로 등가속도 공식 ③ $2 \cdot 10 \cdot 6 = v^2$을 통해 $v = 2\sqrt{30}\,m/s$이다. (O)

*등가속도 운동을 하면 무조건 등가속도 공식으로 풀자.

예제2 두 점에서의 정지

그림 (가)와 같이 물체 A, B, C를 실로 연결하고 수평면 상의 점 p에서 B를 가만히 놓았더니 물체가 등가속도 운동하여 B가 점 q를 지나는 순간 B와 C 사이의 실이 끊어진다. 그림 (나)는 (가)이후 A, B가 등가속도 운동하여 B가 점 r에서 속력이 0이 되는 순간을 나타낸 것이다. A, C의 질량은 각각 m, $5m$이고, p와 q 사이의 거리는 q와 r사이의 거리의 $\frac{2}{3}$배이다.



(가) (나)

B의 질량은? (단, 물체의 크기, 실의 질량, 마찰은 무시한다.)

① m ② $2m$ ③ $3m$ ④ $4m$ ⑤ $5m$

해설

STEP1 정지~정지의 성질

pq : qr의 거리 비가 $2:3$이므로 가속도의 비는 $3:2$이다.

STEP2 운동 방정식

pq의 운동 방정식) $4mg = (6m+M)3a$

qr의 운동 방정식) $mg = (m+M)2a$

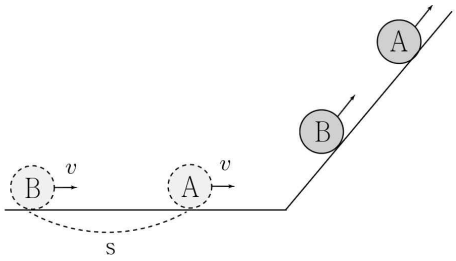
위의 두 식을 나누면 $\frac{8}{3} = \frac{6m+M}{m+M}$이고, $M = 2m$이다.

THEME

6 일정 시간 후의 모습

정리1 일정 시간 후의 모습

그림은 수평면에서 동일한 두 물체 A와 B가 v의 속력으로 진행하며 s만큼 떨어져 있는 모습이다.



개념1 A와 B의 시간 관계

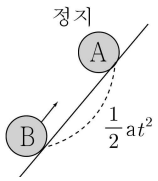
B는 v의 속력으로 t초 동안 s만큼 이동해야 한다.

따라서 B는 $t=\frac{s}{v}$이후 초기 A의 상태가 된다.

즉, 초기 A는 B의 t초 이후의 모습이다.

(A는 B의 나중 조건으로 해석한다. 한 물체의 운동으로 치환)

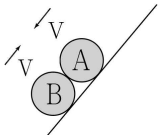
개념2 빗면에서 A가 정지한 상황



① A가 정지했을 때 A와 B사이의 거리는 $\frac{1}{2}at^2$이다.

② A가 정지했을 때 B의 속력은 at이다.

개념3 빗면에서 A와 B가 충돌한 상황



① 빗면에서 A와 B가 움직이다가 충돌했을 때 서로의 운동 방향은 반대이고, 속력은 동일하다.

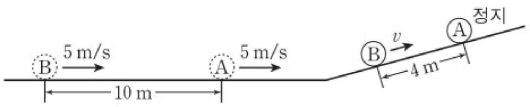
이때 속도 변화량은 $v_B-\Delta v=\Delta v-v_A$에서 $\Delta v=\frac{v_A+v_B}{2}$를 만족한다.

B의 속력은 $v_B-\Delta v=\frac{v_B-v_A}{2}$이다.

② 만약 개념2의 상황을 알고있다면 B의 속력의 절반인 $V=\frac{1}{2}at$이다.

예제1 일정 시간 후의 모습

그림은 수평면에서 간격 $10m$를 유지하며 일정한 속력 $5m/s$로 운동하던, 질량이 같은 두 물체 A, B가 기울기가 일정한 경사면을 따라 운동하다가 A가 경사면에 정지한 순간의 모습을 나타낸 것이다. 이 순간 B의 속력은 v이고, A, B 사이의 간격은 $4m$이다.



Q1) A가 경사면을 올라가는 동안, A의 가속도의 크기를 구하시오.

Q2) v를 구하시오.

Q3) A가 경사면을 올라가기 시작한 순간부터 A와 B가 충돌할 때 A와 B의 속도를 구하시오.

해설

Q1) 수평면에서 B는 2초 후에 A의 모습이 된다.
역진의 원리로 빗면에서 A는 2초 후에 B의 모습이 된다.

등공② $4=\frac{1}{2}a\cdot 2^2$에서 $a=2m/s^2$이다.

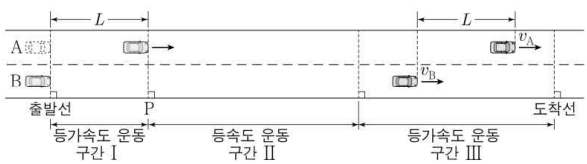
Q2) 역진의 원리로 A의 2초 후 속력은 $4m/s$이다.

Q3) 속도 변화량이 동일하므로 $v-v_0=v_0$에서 $v_0=\frac{1}{2}v$

이다. 따라서 $v_B=+\frac{1}{2}v$이고, $v_A=-\frac{1}{2}v$이다.

예제2 일정 시간 후의 모습

그림과 같이 직선 도로에서 출발선에 정지해 있던 자동차 A, B가 구간 I에서는 가속도의 크기가 $2a$인 등가속도 운동을, 구간 II에서는 등속도 운동을, 구간 III에서는 가속도의 크기가 a인 등가속도 운동을 하여 도착선에서 정지한다. A가 출발선에서 L만큼 떨어진 기준선 P를 지나는 순간 B가 출발하였다. 구간 III에서 A, B 사이의 거리가 L인 순간 A, B의 속력은 각각 v_A, v_B이다.



$\frac{v_A}{v_B}$는?

① $\frac{1}{4}$ ② $\frac{1}{3}$ ③ $\frac{1}{2}$ ④ $\frac{2}{3}$ ⑤ 1

해설

A가 B와 동일한 위치에서 먼저 출발을 한다.
즉, A는 B의 t초 후의 모습이다.
B의 I, III의 다중 사건에 대해서 가속도가 나와있다.

STEP1 등공①
B는 구간 I에서 t초 동안 속도 변화량이 $+v$라고 하자.
그러면 구간 III에서 t초 동안 속도 변화량은 $-\frac{v}{2}$이다.

따라서 $v_A=v_B-\frac{1}{2}v$이다.

STEP2 등공④
B에 대해서 구간 I와 구간III에서 이동 거리와 걸린 시간이 같으므로 평균 속력이 같다.

$v=2v_B-\frac{v}{2}\rightarrow v_B=\frac{3}{4}v\rightarrow v_A=\frac{1}{4}v$ $\therefore\frac{v_A}{v_B}=\frac{1}{3}$

THEME

7 변위 가속 분해

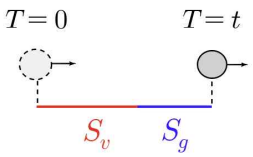
정리1 변위 가속 분해

개념1 변위 가속 분해

변위 가속 분해는 최근 수능에서 출제되는 복잡한 다중 사건 문제를 빠르게 해결할 수 있는 스킬이다.

등공②($x=\frac{1}{2}at^2+v_1t$)를 벡터의 형식으로 작성하면 $\vec{S}$(=변위 벡터), $\vec{S_v}$(=속도 벡터), $\vec{S_g}$(=가속 벡터)의 결합으로 쓸 수 있다.

$$\vec{s}=\underbrace{\vec{v_1}t}_{S_v}+\underbrace{\frac{1}{2}\vec{g}t^2}_{S_g}$$



개념2 식 세우는 방법

두 다중 사건을 풀었을 때 $S_g=S_v$의 관계가 나왔다고 하자.

식을 풀면 $v_1t=\frac{1}{2}gt^2$이고, 양변을 $\frac{1}{2}t$로 나누면 $gt=2v_1$이 나온다.

이것은 속도 변화량을 의미하므로 $S_g=S_v$일 때 $\Delta v=gt=2v_1$이다. (이를 통해 한 물체의 나중 속력을 알 수 있다.)

개념3 두 물체의 속도의 비

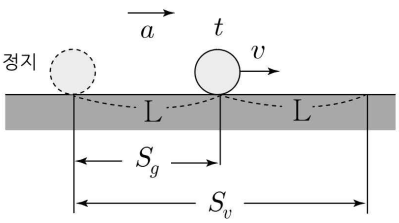
두 물체 A와 B의 속도의 비를 묻는 문제 ($\frac{v_A}{v_B}$를 찾으시오.)가 있다고 하자.

이때 $\frac{s_{vA}}{s_{vB}}=\frac{v_At}{v_Bt}=\frac{v_A}{v_B}$이므로 두 물체의 속도 벡터의 길이를 비교하면 된다.

개념4 정지에 대한 성질

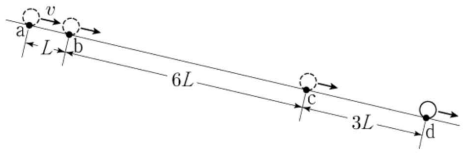
물체가 v의 속도로 t초 동안 진행하며 L만큼 이동하고 정지한다면

속도 변화량은 v이므로 $S_g=\frac{1}{2}S_v=L$의 관계를 갖는다.



예제1 한 물체의 정보

그림과 같이 빗면에서 물체가 등가속도 직선 운동을 하여 점 a, b, c, d를 지난다. a에서 물체의 속력은 v이고, 이웃한 점 사이의 거리는 각각 L, $6L$, $3L$이다. 물체가 a에서 b까지, c에서 d까지 운동하는 데 걸린 시간은 같고, a와 d 사이의 평균 속력은 b와 c 사이의 평균 속력과 같다.



물체의 가속도의 크기는? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

① $\frac{5v^2}{9L}$ ② $\frac{2v^2}{3L}$ ③ $\frac{7v^2}{9L}$ ④ $\frac{8v^2}{9L}$ ⑤ $\frac{v^2}{L}$

해설

STEP1 조건 분석 (시간이 나와있으므로 평속 정의 이용)

ad, bc에 대해서 평균 속도의 비가 $1:1$이다.

정의에 의해 $\frac{10}{2t+T}=\frac{6}{T}$이고, $T=3t$이다.

(단, 구간 bc 사이에 걸린 시간이 T라고 가정.)

STEP2 변위 가속 분해

구간 ab에 대해 초기 속도가 v이고 가속도가 a,
이동한 거리가 L이므로 $S_v+S_g=L$이다.
구간 ac에 대해 초기 속도가 v이고 가속도가 a,
걸린 시간이 $4t$, 이동한 거리가 $7L$이므로 $4S_v+16S_g=7L$
이다. 두 식을 연립하면 $S_g=\frac{1}{3}S_v$이므로

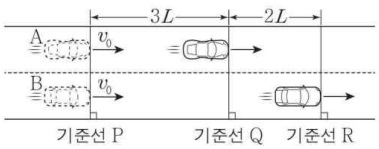
속도 변화량은 $\Delta v=\frac{2}{3}v$이다. 따라서 $v_b=\frac{5}{3}v$이다.

STEP3 답 구하기

등가속도 공식 ③번에 의하여 $a=\frac{8v^2}{9L}$이다.

예제2 두 물체의 정보

그림과 같이 직선 도로에서 기준선 P를 속력 v_0으로 동시에 통과한 자동차 A, B가 각각 등가속도 운동하여 A가 기준선 Q를 통과하는 순간 B는 기준선 R를 통과한다. A, B의 가속도는 방향이 반대이고 크기가 a로 같다. A, B가 각각 Q, R를 통과하는 순간, 속력은 B가 A의 3배이다. P와 Q 사이, Q와 R 사이의 거리는 각각 $3L$, $2L$이다.



a는? (단, A, B는 도로와 나란하게 운동하며, A, B의 크기는 무시한다.)

① $\frac{v_0^2}{8L}$ ② $\frac{v_0^2}{7L}$ ③ $\frac{v_0^2}{6L}$ ④ $\frac{v_0^2}{5L}$ ⑤ $\frac{v_0^2}{4L}$

해설

STEP1 변위 가속 분해

AB에 대해 상대적 접근을 하면 초기 상대속도는 0이고,
상대 가속도는 $2a$, 걸린 시간은 t, 이동한 거리는 $2L$이므로
$2S_g=2L$을 만족한다. B에 대해서 초기 속도가 v_0이고
가속도는 a, 걸린 시간은 t, 이동한 거리는 $5L$이므로
$S_v+S_g=5L$이다.

두 식을 연립하면 $S_g=\frac{1}{4}S_v$이다. 속도 변화량은 $\frac{1}{2}v$이므로

A가 기준선 Q에 도달했을 때 속력은 $\frac{1}{2}v_0$이다.

STEP2 답 구하기

답에서 시간이 없으므로 A에 대해 구간 PQ에서
등가속도 공식 ③번을 적용하면

$2a(3L)=\frac{3}{4}v_0^2$ 이고 $a=\frac{v_0^2}{8L}$이다.

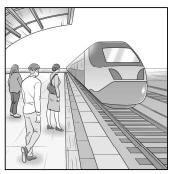
유형 01 여러 가지 운동

01 2022학년도 9월 1번 정답률 80%

1. 그림 (가)~(다)는 각각 뛰틀을 넘는 사람, 그네를 타는 아이, 직선 레일에서 속력이 느려지는 기차를 나타낸 것이다.


(가)


(나)


(다)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. (가)에서 사람의 운동 방향은 변한다.
ㄴ. (나)에서 아이는 등속도 운동을 한다.
ㄷ. (다)에서 기차의 운동 방향과 가속도 방향은 서로 같다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

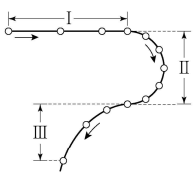
정 답 ①

해 설

ㄱ. 사람의 운동 방향은 변한다. (O)
ㄴ. 운동 방향과 속력이 변한다. (X)
ㄷ. 속력이 느려지므로 가속도 방향과 운동 방향은 반대이다. (X)

02 2025학년도 6월 2번 정답률 85%

2. 그림은 수평면에서 실선을 따라 운동하는 물체의 위치를 일정한 시간 간격으로 나타낸 것이다. Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ은 각각 직선 구간, 반원형 구간, 곡선 구간이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

<보 기>

ㄱ. Ⅰ에서 물체의 속력은 변한다.
ㄴ. Ⅱ에서 물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 물체의 운동 방향과 같다.
ㄷ. Ⅲ에서 물체의 운동 방향은 변하지 않는다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

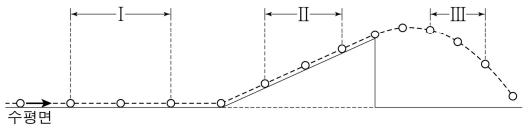
정 답 ①

해 설

ㄱ. Ⅰ에서 속력은 느려진다. (O)
ㄴ. Ⅱ에서 물체의 알짜힘의 방향과 운동 방향은 수직이다. (X)
ㄷ. 운동 방향은 변한다. (X)

03 2026학년도 9월 2번 정답률 90%

2. 그림은 운동하는 물체의 위치를 일정한 시간 간격으로 나타낸 것이다. Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ은 각각 등속도 운동, 등가속도 직선 운동, 포물선 운동을 하는 구간의 일부이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

<보 기>

ㄱ. Ⅰ에서 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.
ㄴ. Ⅱ에서 물체의 가속도 방향은 운동 방향과 같다.
ㄷ. Ⅲ에서 물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 운동 방향과 같다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

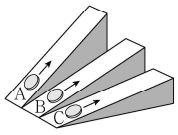
해 설

ㄱ. Ⅰ에서 물체는 등속도 운동을 하므로 작용하는 알짜힘은 0이다. (O)
ㄴ. Ⅱ에서 물체의 가속도의 방향은 물체의 운동 방향과 반대이다. (X)
ㄷ. 물체에 작용하는 알짜힘의 방향과 운동 방향은 다르다. (X)

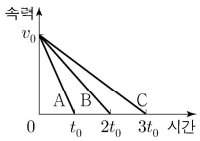
유형 02 그래프 문제

01 2023학년도 6월 8번 정답률 65%

8. 그림 (가)는 기울기가 서로 다른 빗면에서 v_0의 속력으로 동시에 출발한 물체 A, B, C가 각각 등가속도 운동하는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 A, B, C가 각각 최고점에 도달하는 순간까지 물체의 속력을 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 가속도의 크기는 B가 A의 2배이다.

ㄴ. t_0일 때, C의 속력은 $\frac{2}{3}v_0$이다.

ㄷ. 물체가 출발한 순간부터 최고점에 도달할 때까지 이동한 거리는 C가 A의 3배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

(나)를 토대로 $a_A = 3a$, $a_B = 2a$, $a_C = a$이다.

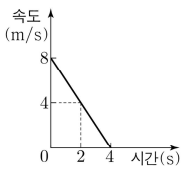
ㄱ. 가속도의 크기는 B가 A의 $\frac{2}{3}$배이다. (X)

ㄴ. t_0일 때 C의 속력은 $\frac{2}{3}v_0$이다. (O)

ㄷ. 면적을 보면 C가 A의 3배이다. (O)

02 2025학년도 9월 2번 정답률 88%

2. 그림은 직선 경로를 따라 등가속도 운동하는 물체의 속도를 시간에 따라 나타낸 것이다.



물체의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 가속도의 크기는 $2\,\mathrm{m/s^2}$이다.

ㄴ. 0초부터 4초까지 이동한 거리는 16 m이다.

ㄷ. 2초일 때, 운동 방향과 가속도 방향은 서로 같다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

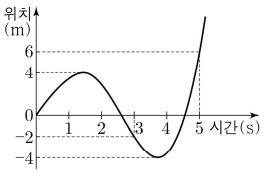
ㄱ. 가속도의 크기는 $2m/s^2$이다. (O)

ㄴ. 면적을 통해 이동한 거리는 $16m$이다. (O)

ㄷ. 운동 방향은 양(+)이고, 가속도의 방향은 음(−)이다. (X)

03 2026학년도 6월 3번 정답률 77%

3. 그림은 직선상에서 운동하는 물체의 위치를 시간에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 0~5초 동안 물체의 이동 거리는 6m이다.
ㄴ. 1~5초 동안 물체의 운동 방향은 2번 바뀐다.
ㄷ. 3~5초 동안 물체의 평균 속도의 크기는 4m/s이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

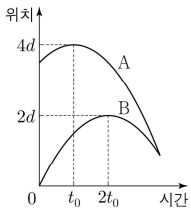
ㄱ. 0~5초 동안 이동 거리는 $4+8+10=22$m이다. (X)

ㄴ. 운동 방향이 바뀌는 순간은 속력이 0이 되는 순간이므로 위치-시간 그래프에서 접선의 기울기가 0이 되는 점은 2개이므로 물체의 운동 방향은 2번 바뀐다. (O)

ㄷ. 변위는 +8m이고, 걸린 시간은 2s이므로 평균 속도의 크기는 4m/s이다. (O)

04 2026학년도 수능 14번

14. 그림은 동일 직선상에서 같은 가속도로 등가속도 운동을 하는 물체 A, B의 위치를 시간에 따라 나타낸 것이다. A, B의 속력은 각각 시간이 t_0, $2t_0$일 때 0이다. A와 B가 만나는 순간 A, B의 속력은 각각 v_A, v_B이다.



$\frac{v_A}{v_B}$는? [3점]

① $\frac{3}{2}$ ② $\frac{5}{3}$ ③ $\frac{7}{4}$ ④ $\frac{9}{5}$ ⑤ 2

정 답 ②

해 설

STEP1 조건 해석

B의 $0\sim2t_0$일 때의 조건은 $4S_g=2d$이다.

STEP2 문제 분석

$2t_0\sim T$일 때 A와 B의 상대 거리 식을 세워보자.

$\Rightarrow S_A-S_B=2d=(T-1)^2S_g-(T-2)^2S_g$이다.

$\Rightarrow 4S_g=(T^2-2T+1-T^2+4T-4)S_g$

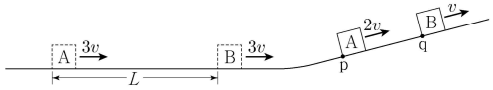
$\Rightarrow 4=2T-3$에서 $T=\frac{7}{2}t_0$이다.

따라서 $\frac{v_A}{v_B}=\frac{t_A}{t_B}=\frac{\frac{5}{2}}{\frac{3}{2}}=\frac{5}{3}$이다.

유형 03 일정 시간 후의 모습

01 2022학년도 9월 11번 정답률 51%

11. 그림과 같이 수평면에서 간격 L을 유지하며 일정한 속력 $3v$로 운동하던 물체 A, B가 빗면을 따라 운동한다. A가 점 p를 속력 $2v$로 지나는 순간에 B는 점 q를 속력 v로 지난다.



p와 q 사이의 거리는? (단, A, B는 동일 연직면에서 운동하며, 물체의 크기, 모든 마찰은 무시한다.)

① $\frac{2}{5}L$ ② $\frac{1}{2}L$ ③ $\frac{\sqrt{3}}{3}L$ ④ $\frac{\sqrt{2}}{2}L$ ⑤ $\frac{3}{4}L$

정 답 ②

해 설

STEP1 수평면

A는 t초 후에 B의 모습이 된다.

즉, A와 B 두 개의 물체에 대한 정보가 제시되어 있지만 A의 단일 사건으로 재해석 할 수 있다.

수평면의 A에 대하여 t초 후에 B의 위치에 도착하므로 $L=3vt$를 만족한다.

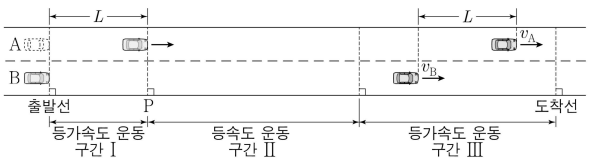
STEP2 빗면

등속도 식하고 연결하려면

등가속도 공식 ④번에서 $s=\frac{3v}{2}t=\frac{1}{2}L$이다.

02 2024학년도 6월 18번 정답률 35%

18. 그림과 같이 직선 도로에서 출발선에 정지해 있던 자동차 A, B가 구간 Ⅰ에서는 가속도의 크기가 $2a$인 등가속도 운동을, 구간 Ⅱ에서는 등속도 운동을, 구간 Ⅲ에서는 가속도의 크기가 a인 등가속도 운동을 하여 도착선에서 정지한다. A가 출발선에서 L만큼 떨어진 기준선 P를 지나는 순간 B가 출발하였다. 구간 Ⅲ에서 A, B 사이의 거리가 L인 순간 A, B의 속력은 각각 v_A, v_B이다.



$\frac{v_A}{v_B}$는? [3점]

① $\frac{1}{4}$ ② $\frac{1}{3}$ ③ $\frac{1}{2}$ ④ $\frac{2}{3}$ ⑤ 1

정 답 ②

해 설

STEP1 구간Ⅰ

구간Ⅰ에서 가속도가 $2a$이므로 $S_g=\frac{1}{2}L$이다.

STEP2 구간Ⅲ

B는 t초 후에 A의 모습이 된다.

$S_B-S_g=L=2S_g$이므로 $S_g=\frac{1}{3}S_B$이다.

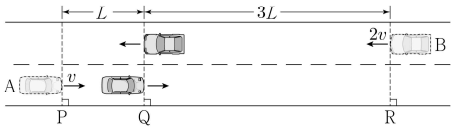
구간Ⅲ에서 가속도는 $-a$이므로 $v_A=\frac{1}{3}v_B$이다.

따라서 $\frac{v_A}{v_B}=\frac{1}{3}$이다.

유형 04 자동차 문제

01 2022학년도 6월 12번 정답률 50%

12. 그림과 같이 등가속도 직선 운동을 하는 자동차 A, B가 기준선 P, R를 각각 v, $2v$의 속력으로 동시에 지난 후, 기준선 Q를 동시에 지난다. P에서 Q까지 A의 이동 거리는 L이고, R에서 Q까지 B의 이동 거리는 $3L$이다. A, B의 가속도의 크기와 방향은 서로 같다.



A의 가속도의 크기는? [3점]

① $\frac{3v^2}{16L}$ ② $\frac{3v^2}{8L}$ ③ $\frac{3v^2}{4L}$ ④ $\frac{9v^2}{8L}$ ⑤ $\frac{4v^2}{3L}$

정 답 ②

해 설

STEP1 가속도 방향 추론

A, B의 가속도가 같을 때 $a=0$으로 두면 방향을 쉽게 찾는다.

걸린 시간 $t_A=1$, $t_B=1.5$이므로 B가 먼저 도달해야하므로 가속도의 방향은 왼쪽이 된다.

STEP2 식 세우기 (상대속도 + 한 물체의 평균속도)

AB의 상대 속도는 $3vt=4L$을 만족한다. 즉, $\frac{L}{t}=\frac{3}{4}v$이므로

A의 평균 속도는 $\frac{3}{4}v$이다.

처음속도, 평균속도, 나중 속도의 등차수열 관계에 의하여

A의 Q에서 속도는 $\frac{1}{2}v$이다.

STEP3 정답 구하기

답의 꼴에 시간이 없으므로 등공③을 쓰자.

$2aL=v^2-(\frac{1}{2}v^2) \rightarrow a=\frac{3v^2}{8L}$

TIP 변위 가속 분해

STEP1 가속도 방향 추론

A, B의 가속도가 같을 때 $a=0$으로 두면 방향을 쉽게 찾는다.

걸린 시간 $t_A=1$, $t_B=1.5$이므로 B가 먼저 도달해야하므로 가속도의 방향은 왼쪽이 된다.

STEP2 변위 가속 분해

AB의 상대 속도는 $3S_v=4L$을 만족한다.

A의 $S_v-S_g=L$과 연립하면 $S_g=\frac{1}{4}S_v$이다.

따라서 Q에서 A의 속력은 $\frac{1}{2}v$이다.

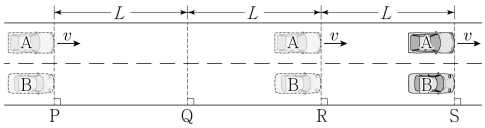
STEP3 정답 구하기

답의 꼴에 시간이 없으므로 등공③을 쓰자.

$2aL=v^2-(\frac{1}{2}v^2) \rightarrow a=\frac{3v^2}{8L}$

02 2022학년도 수능 16번 정답률 35%

16. 그림과 같이 직선 도로에서 속력 v로 등속도 운동하는 자동차 A가 기준선 P를 지나는 순간 P에 정지해 있던 자동차 B가 출발한다. B는 P에서 Q까지 등가속도 운동을, Q에서 R까지 등속도 운동을, R에서 S까지 등가속도 운동을 한다. A와 B는 R를 동시에 지나고, S를 동시에 지난다. A, B의 이동 거리는 P와 Q 사이, Q와 R 사이, R와 S 사이가 모두 L로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

<보 기>

ㄱ. A가 Q를 지나는 순간, 속력은 B가 A보다 크다.

ㄴ. B가 P에서 Q까지 운동하는 데 걸린 시간은 $\frac{4L}{3v}$이다.

ㄷ. B의 가속도의 크기는 P와 Q 사이에서가 R와 S 사이에서보다 작다.

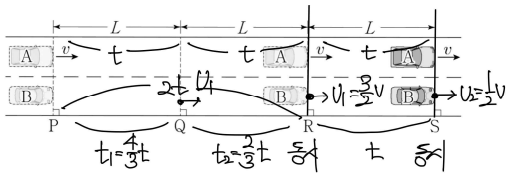
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

STEP1 A (등속도)

A가 등속도 구간 1칸을 이동할 때 걸린 시간을 t라고 하자.



STEP2 B (등속도+등가속도)

PQ, QR에 대해서 평균 속력의 비가 1 : 2이고, 이동한 거리의 비가 1 : 1이므로 걸린 시간의 비는 2 : 1이다. (등가속도+등속도 성질)

따라서 $t_1 = \frac{4}{3}t$, $t_2 = \frac{2}{3}t$이다.

등속도 구간 QR에서 $v_B = \frac{L}{\frac{2}{3}t} = \frac{3}{2}v$가 나온다.

등가속도 구간 RS에서 평균 속력은 $\frac{L}{t}$이므로 v이다.

따라서 처음속도-평균속도-나중속도에 대해서 등차수열 관계에 있으므로 나중 속력은 $\frac{1}{2}v$이다.

TIP 가속도가 있는 다중 사건

두 다중 사건을 비교할 때 시간의 비가 있고, 가속도 비가 없으므로 등공④로 양 끝의 속도를 연결하고, 등공①로 두 구간의 가속도를 비교한다.

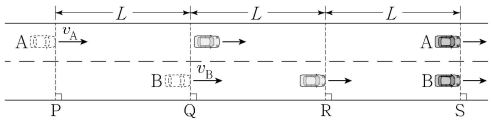
ㄱ. A가 Q를 지나는 속력은 B가 A보다 크다. (O)

ㄴ. $t_1 = \frac{4}{3}t$이다. (O)

ㄷ. 속도 변화량이 3 : 2이고 걸린 시간이 4 : 3이므로 가속도는 9 : 8이다. (X)

03 2024학년도 수능 19번 정답률 31%

19. 그림과 같이 직선 도로에서 서로 다른 가속도로 등가속도 운동을 하는 자동차 A, B가 각각 속력 v_A, v_B로 기준선 P, Q를 동시에 지난 후 기준선 S에 동시에 도달한다. 가속도의 방향은 A와 B가 같고, 가속도의 크기는 A가 B의 $\frac{2}{3}$배이다. B가 Q에서 기준선 R까지 운동하는 데 걸린 시간은 R에서 S까지 운동하는 데 걸린 시간의 $\frac{1}{2}$배이다. P와 Q 사이, Q와 R 사이, R와 S 사이에서 자동차의 이동 거리는 모두 L로 같다.



$\frac{v_A}{v_B}$는? [3점]

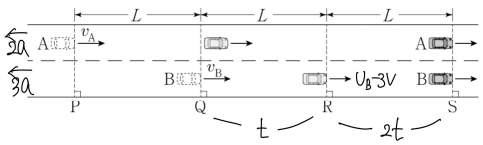
① $\frac{9}{4}$ ② $\frac{3}{2}$ ③ $\frac{7}{6}$ ④ $\frac{8}{7}$ ⑤ $\frac{8}{9}$

정 답 ④

해 설

STEP1 가속도 방향

B가 QR에서 걸린 시간을 t라고 하면 RS에서 걸린 시간은 $2t$이다.
B는 점점 더 느려지므로 가속도는 음(−)의 방향이다.
$a_A = -2a$, $a_B = -3a$라고 하자.



STEP2 변위 가속 분해

A) PS) $3S_A - 18S_g = 3L$

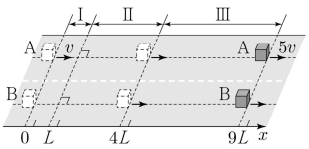
B) QR) $S_B - 3S_g = L$

B) QS) $3S_B - 27S_g = 2L \rightarrow 18S_g = L$

$$\therefore \frac{S_A}{S_B} = \frac{\frac{4}{3}}{\frac{7}{6}} = \frac{24}{21} = \frac{8}{7}$$

04 2025학년도 수능 16번 정답률 47%

16. 그림과 같이 직선 경로에서 물체 A가 속력 v로 $x=0$을 지나는 순간 $x=0$에 정지해 있던 물체 B가 출발하여, A와 B는 $x=4L$을 동시에 지나고, $x=9L$을 동시에 지난다. A가 $x=9L$을 지나는 순간 A의 속력은 $5v$이다. 표는 구간 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ에서 A, B의 운동을 나타낸 것이다. Ⅰ에서 B의 가속도의 크기는 a이다.



물체 \ 구간	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
A	등속도	등가속도	등속도
B	등가속도	등속도	등가속도

Ⅲ에서 B의 가속도의 크기는? (단, 물체의 크기는 무시한다.) [3점]

① $\frac{11}{5}a$ ② $2a$ ③ $\frac{9}{5}a$ ④ $\frac{8}{5}a$ ⑤ $\frac{7}{5}a$

정 답 ④

해 설

STEP1 걸린 시간 파악

- 정보가 나와있는 A에 대해서 해석해보자.
  $L = vt$를 만족하게 시간 t를 잡자.
  그러면 구간 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ에서 걸린 시간은 모두 t이다.
- B에 대해서 해석하면, 구간 Ⅰ, Ⅱ에 대해서 $t = \frac{s}{v}$를 생각해보면
  거리의 비가 1 : 3이고, 평균 속력의 비가 1 : 2이므로
  걸린 시간의 비는 2 : 3이다. 따라서 $t_{B1} = \frac{4}{5}t$, $t_{B2} = \frac{6}{5}t$이다.

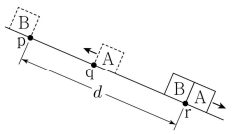
STEP2 다중 사건 (등공 ①+④)

- 구간 Ⅰ에서 평균 속력은 $\frac{L}{\frac{4}{5}t} = \frac{5}{4}v$이다.
  따라서 $x = L$에서 속력은 $\frac{5}{2}v$이다.
- 구간 Ⅲ에서 평균 속력은 $5v$이다.
  따라서 $x = 9L$에서 속력은 $\frac{15}{2}v$이다.
- $$\frac{a_3}{a_1} = \frac{\frac{5v}{t}}{\frac{\frac{5}{2}v}{\frac{4}{5}t}} = \frac{5}{\frac{25}{8}} = \frac{40}{25} = \frac{8}{5}$$

유형 05 빗면 문제

01 2023학년도 9월 16번 정답률 38%

16. 그림은 빗면을 따라 운동하는 물체 A가 점 q를 지나는 순간 점 p에 물체 B를 가만히 놓았더니, A와 B가 등가속도 운동하여 점 r에서 만나는 것을 나타낸 것이다. p와 r 사이의 거리는 d이고, r에서의 속력은 B가 A의 $\frac{4}{3}$배이다. p, q, r는 동일 직선상에 있다.



A가 최고점에 도달한 순간, A와 B 사이의 거리는? (단, 물체의 크기와 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

① $\frac{3}{16}d$ ② $\frac{1}{4}d$ ③ $\frac{5}{16}d$ ④ $\frac{3}{8}d$ ⑤ $\frac{7}{16}d$

정 답 ④

해 설

STEP1 r에서 속력 조건

r에서 A와 B의 속력을 $3v$, $4v$라고 하자. 그러면 상대 속도는 v이다.
그러면 q에서 A의 속력은 v이다.

STEP2 pq 사이의 거리

A와 B가 처음에 떨어져 있는 거리(pq)를 L이라고 하자.

B에 대해서 $2vt = d$이므로, 상대 속도에 대해 $L = vt = \frac{1}{2}d$이다.

STEP3 정답 구하기

A의 정지에서 q, r까지 걸린 시간은 $1:3$이다. (속도로 비율 찾음)

따라서 A와 B는 등속도로 가까워지므로 $s_{AB} = \frac{1}{2}d \times \frac{3}{4} = \frac{3}{8}d$이다.

02 2023학년도 수능 14번 정답률 37%

14. 그림 (가)는 빗면의 점 p에 가만히 놓은 물체 A가 등가속도 운동하는 것을, (나)는 (가)에서 A의 속력이 v가 되는 순간, 빗면을 내리오던 물체 B가 p를 속력 $2v$로 지나는 것을 나타낸 것이다. 이후 A, B는 각각 속력 v_A, v_B로 만난다.



$\frac{v_B}{v_A}$는? (단, 물체의 크기, 모든 마찰은 무시한다.)

① $\frac{5}{4}$ ② $\frac{4}{3}$ ③ $\frac{3}{2}$ ④ $\frac{5}{3}$ ⑤ $\frac{7}{4}$

정 답 ④

해 설

STEP1 (가)

A가 내려온 거리를 s라고 하자.

A) 등공③) $2as = v^2$

STEP2 (나)

AB) $vt = s \rightarrow s$는 변수이므로 소거를 해줘야한다.

두 식을 연결하면 $at = \frac{1}{2}v$의 결과가 나온다.

STEP3 정답 구하기

$\therefore \frac{v_B}{v_A} = \frac{2v + at}{v + at} = \frac{\frac{5}{2}v}{\frac{3}{2}v} = \frac{5}{3}$

TIP 변위 가속 분해

STEP1 A의 낙하

$S_g = L$, $S_v = 2L$을 만족한다.
(단, L은 (가)에서 A가 이동한 거리이다.)

STEP2 AB의 충돌

상대 속도에 대해서 식을 세울 때 운동 시간이 다르므로

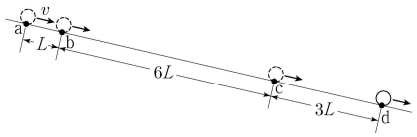
$S_v' = L$로 표현할 수가 있다. $S_v' = \frac{1}{2}S_v$를 만족하므로

$\frac{1}{2}t = t'$임을 알 수 있다.

그러면 속도 변화량이 절반이므로 $\frac{v_B}{v_A} = \frac{2v + \frac{v}{2}}{v + \frac{v}{2}} = \frac{5}{3}$이다.

03 2024학년도 9월 20번 정답률 32%

20. 그림과 같이 빗면에서 물체가 등가속도 직선 운동을 하여 점 a, b, c, d를 지난다. a에서 물체의 속력은 v이고, 이웃한 점 사이의 거리는 각각 L, $6L$, $3L$이다. 물체가 a에서 b까지, c에서 d까지 운동하는 데 걸린 시간은 같고, a와 d 사이의 평균 속력은 b와 c 사이의 평균 속력과 같다.



물체의 가속도의 크기는? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

① $\frac{5v^2}{9L}$ ② $\frac{2v^2}{3L}$ ③ $\frac{7v^2}{9L}$ ④ $\frac{8v^2}{9L}$ ⑤ $\frac{v^2}{L}$

정 답 ④

해 설

STEP1 조건 (시간이 있으므로 정의를 이용한다.)

ad, bc에 대해서 평균 속도의 비가 1 : 1이다.

정의에 의해 $\frac{10}{2t+T}=\frac{6}{T}$이고, $T=3t$이다.

STEP2 다중 사건

두 두간 ab, ac에 대해서 시간의 비가 있고, 가속도의 비가 있으므로 등가속도 공식 ①번과 ④번으로 연결할 수 있다.

우선 각 점에서의 속력은 $v_a=v$, $v_b=v+\Delta v$, $v_c=v+4\Delta v$이다.

ab구간에서 평균 속력은 $v+\frac{\Delta v}{2}$이고,

bc구간에서 평균 속력은 $v+\frac{5}{2}\Delta v$이다.

따라서 두 구간에서 평균 속력의 비는 1 : 2이므로

$2v+\Delta v=v+\frac{5}{2}\Delta v$에서 $\Delta v=\frac{2}{3}v$이고, $v_b=\frac{5}{3}v$이다.

STEP3 답 구하기

등공 ③에 의하여 $a=\frac{8v^2}{9L}$이다.

TIP 평균 속력 빠르게 구하기

평균 속력은 처음과 나중값에 대해 공통인 값(v)은 그대로, 혼자 있는 값(Δv)은 절반을 한다.

TIP 변위 가속 분해

STEP1 조건

ad, bc에 대해서 평균 속도의 비가 1 : 1이다.

정의에 의해 $\frac{10}{2t+T}=\frac{6}{T}$이고, $T=3t$이다.

STEP2 변위 가속 분해

ab) $S_v+S_g=L$, ac) $4S_v+16S_g=7L$

두 식을 연립하면 $S_g=\frac{1}{3}S_v$이므로 $v_b=\frac{5}{3}v$이다.

STEP3 답 구하기

등공 ③에 의하여 $a=\frac{8v^2}{9L}$이다.

PART 2
힘과 운동

개념 유형

(1) 여러 가지 힘
(2) 운동 방정식
(3) 내력 심화 분석
(4) 변화량 분석
(5) 실 끊어짐 상황
(6) 작용 반작용

기출 유형

(1) 작용 반작용
(2) 힘
(3) 힘과 운동

THEME

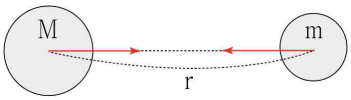
1 — 여러 가지 힘

정리1 중력

개념1 만유인력

① 만유인력은 질량이 있는 두 물체가 서로 잡아당기는 힘이다.

② 작용-반작용에 의하여 두 힘의 크기는 동일하고, 힘의 크기는 $F = G\frac{Mm}{r^2}$ 이다.

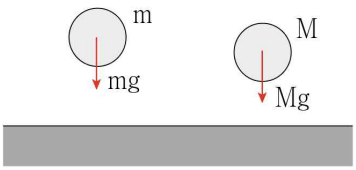


개념2 중력

① 중력은 지구와 물체 사이의 당기는 힘이다. 지구와 물체가 멀리 떨어져있다면 중력이 작아진다.
하지만 물리1에서는 중력의 크기가 일정하다고 가정한다.

② 물체가 어떤 상태에 있던지간에 중력의 방향은 항상 $-y$방향(=연직면 방향)이다.

③ 중력의 크기는 $F_{중력} = mg$이다.



개념3 중력 가속도

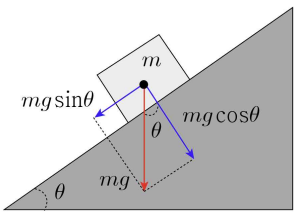
① 중력 가속도는 $g = G\frac{M}{r^2}$ 이다. (물리1에서 중력 가속도는 항상 $g = 10m/s^2$으로 나온다.)

② 중력 가속도는 '물체를 가만히 중력만 작용하게 두었을 때 물체의 가속도'이다.

개념4 빗면 중력 가속도

① 중력을 빗면에 대하여 작도하면 빗면 중력은 $mg\sin\theta$이다.
따라서 마찰이 없는 빗면에서 물체의 빗면 중력 가속도는 $g\sin\theta$이다.

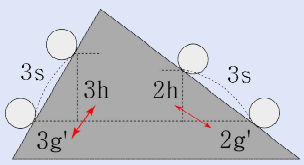
② 빗면 중력 가속도는 항상 빗면에 내려가는 방향이다.



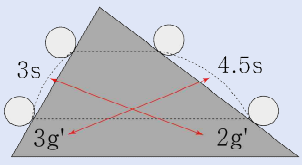
TIP 마찰이 없는 두 개의 빗면

성질1 움직인 거리가 같다면 움직인 높이 비는 빗면 중력 가속도 비와 같다.

성질2 움직인 높이가 같다면 움직인 빗면의 길이 비는 중력 가속도 비와 반대이다.



[성질1]

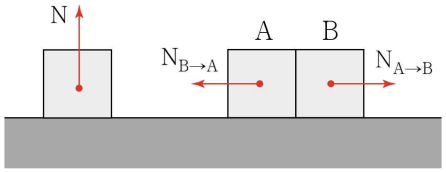


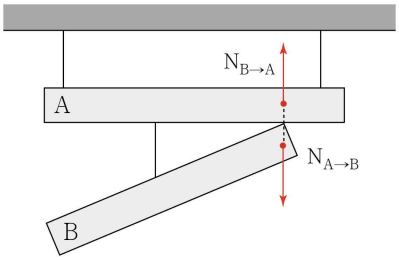
[성질2]

정리2 수직항력

개념1 수직항력

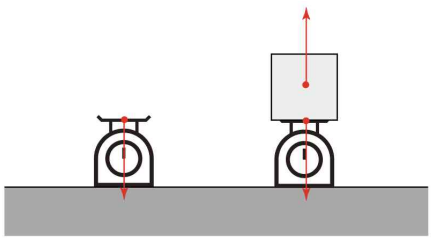
① 두 물체가 서로 '접촉'하고 있을 때 접촉한 두 물체에 서로 작용하는 힘을 말한다.
② 이를 역으로 돌려보면, 붙어있던 물체가 '떨어지는 순간'이란 곧 $N=0$인 순간이다
③ 수직 항력의 방향은 접촉점에 대하여 물체를 수직으로 밀어내는 방향이다.





개념2 수직항력의 측정

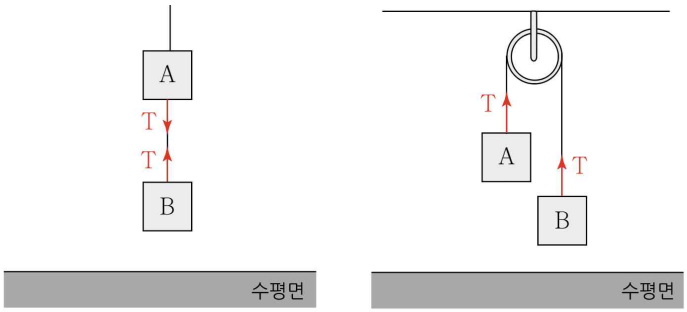
① 저울에 표시되는 값은 외력의 크기와 같다. 이는 외력에 의해 발생하는 반작용 때문이다.
② 다른 해석으로는, 물체를 저울 위에 올려두면 저울이 물체를 위로 밀게 된다.
이에 대한 반작용으로 물체가 저울을 밀게 되는데, 이것이 바로 저울에 표시되는 값이다.
(쉽게 표현하면 수직항력 = 저울에 표시되는 값)



정리3 장력

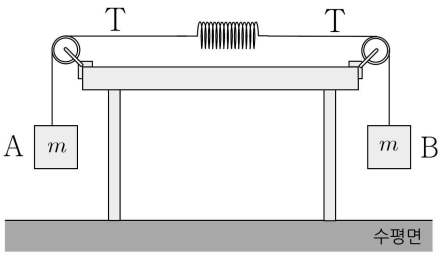
개념1 장력

① 장력은 실이 팽팽할 때에만 존재하며, 물체를 당기는 방향으로만 작용한다. (즉, 실은 물체를 밀 수 없다.)
② 수능 물리학에서 실은 질량이 없다.
③ 하나의 실로 연결된 두 물체에 대해, 실이 두 물체에 작용하는 힘의 크기는 같다.
④ 실이 도르래에 걸쳐 있을 때에도 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 같다.
(이때 물체가 움직이면 실이 도르래를 스쳐 지나간다. 하지만 마찰이 존재하여 도르래가 회전한다면 두 장력 값은 달라질 수 있다.)



개념2 장력의 측정

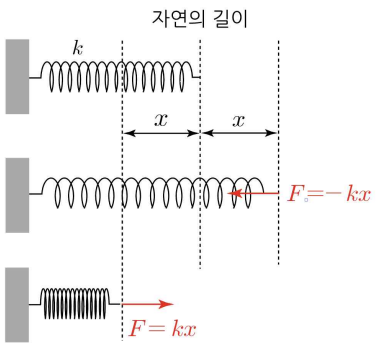
장력의 측정은 용수철 저울을 이용한다. 용수철 저울은 용수철에 잡아당기는 힘을 가하면 그 길이가 늘어나고, 누르는 힘을 가하면 길이가 짧아진다. 이때 용수철에 가해진 힘과 용수철이 늘어난 정도가 비례하는 성질을 이용하여 만든 저울이다.



정리4 탄성력

개념 탄성력의 특징

① 용수철이 물체에 작용하는 힘을 탄성력이라고 한다.
② 탄성력은 복원력으로, 처음의 형태로 돌아가려는 힘이다.
③ 탄성력의 크기는 실험적으로 $\vec{F}=-k\vec{x}$를 만족한다.
(단, x는 자연의 길이로부터 변화된 길이이다.)
④ 탄성력은 장력과 달리 인력과 척력이 동시에 작용할 수 있다



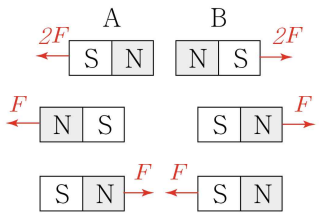
정리5 자기력

개념1 자기력의 특징

① 자석에는 N극과 S극이 있으며 다음과 같은 특징이 있다.
- 같은 극은 서로 밀어낸다
- 다른 극은 서로 당긴다.

② 자석 사이의 거리가 가까워질수록 자기력의 크기가 커진다.

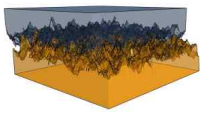
③ 뉴턴 제 3법칙(작용-반작용 법칙)에 의해 다음과 같이 쓸 수 있다.
자석 A가 자석 B에 작용하는 힘의 크기와 자석 B가 자석 A에 작용하는 힘의 크기는 같고 방향은 반대이다.



정리6 마찰력

개념1 마찰력의 의미

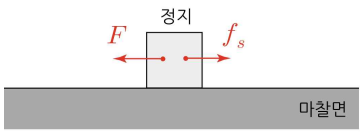
마찰력은 접촉해 있는 두 물체 사이에서 미세한 용접 상태가 생겨 발생한다.



개념2 정지 마찰력(외력의 반대 방향으로 작용)

① 힘을 가하여도 물체가 정지하고 있을 때 물체에 작용하는 마찰력이다.
따라서 정지 마찰력은 외력과 크기가 같고, 방향이 반대이다.

② 물체의 운동 방정식 $F-f_s=0$에서 $F=f_s$이다.
(정지 마찰력을 구하는 공식은 없다.)

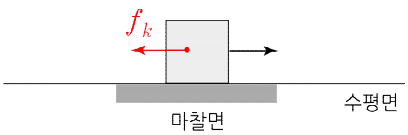


개념3 운동 마찰력

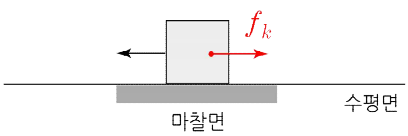
① 운동 중에 있는 물체의 마찰력을 운동 마찰력이라고 한다.

② 운동 마찰력의 방향은 운동 방향과 반대 방향이다.

③ $f_k=\mu_s N$ (μ_k : 운동 마찰계수, N : 수직항력)



[오른쪽으로 이동하는 상황]



[왼쪽으로 이동하는 상황]

THEME

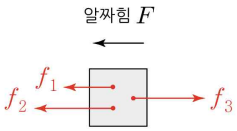
2 운동 방정식

정리1 알짜힘(Net Force)과 운동 방정식

개념1 알짜힘

① 합력 (Net Force)

합력은 물체에 작용하는 모든 힘의 벡터 합을 의미한다. ($\sum F = f_1 + f_2 - f_3$)



② 알짜힘 (Resultant Force)

알짜힘은 합력과 같은 개념으로, 물체에 작용하는 힘들의 결과적인 힘을 말한다.
다시 말해, 알짜힘은 합력의 다른 표현이며, 특정 상황에서 물체의 운동 상태(정지, 등속 운동, 가속 운동 등)를 결정짓는 주요 요인이다. ($\sum F = ma$)

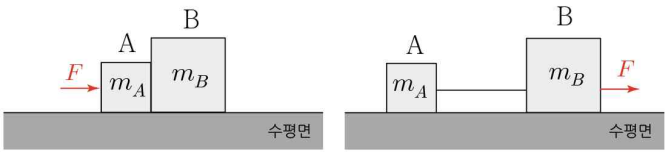
③ 운동 방정식 : $\sum F = F_1 + F_2 + \cdots = ma$ (운동 방정식은 계에 대해서 세울 수도 있고, 한 물체에 대해서 세울 수도 있다.)

④ 가속도 공식 : $a_{계} = \dfrac{\sum F}{m} = \dfrac{\text{계의 운동에 관여하는 힘}}{\text{계의 질량}}$

개념2 계(System)

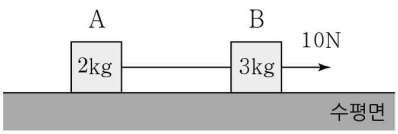
① 속도와 가속도의 크기가 동일하다.

② 물리적으로 연결되어 있어야한다. (실, 접촉 2가지 상황만 존재)



예제1 수평면 상황 (힘→운동)

그림은 질량이 $2kg$, $3kg$인 물체 A와 B를 오른쪽으로 10N의 힘을 작용하고 있는 상황이다. 아래 질문을 해결하시오.



Q1) 가속도의 크기를 구하시오.

Q2) A와 B의 알짜힘의 크기를 구하시오.

Q3) 장력의 크기를 구하시오.

Q4) 2초 동안 이동한 거리를 구하시오.

해설

Q1) 계의 운동 방정식에서 $10 = 5a$, $a = 2m/s^2$이다.

또는 가속도 공식에서 $a = \dfrac{10}{2+3} = 2m/s^2$이다.

Q2) $F_A = m_A a = 4N$, $F_B = m_B a = 6N$ 이다.

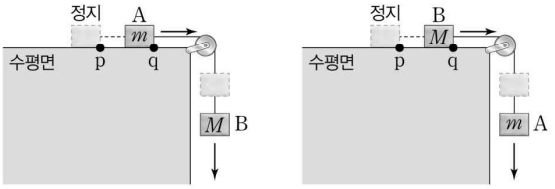
Q3) A의 운동 방정식에서 $T = ma = 4N$이다.

B의 운동 방정식에서 $10 - T = 6$에서 $T = 4N$이다.

Q4) 등가속도 공식 ②에 대입하면 $x = \dfrac{1}{2}at^2 = 4m$이다.

예제2 ㄱ자 상황 (운동→힘)

그림 (가)는 질량이 각각 m, M인 물체 A, B를 실로 연결한 후 A를 점 p에 가만히 놓았을 때 A가 점 q를 지나는 순간을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 A와 B의 위치만을 바꾸어 연결한 후 B를 p에 가만히 놓았을 때 B가 q를 지나는 순간을 나타낸 것이다. (가)와 (나)에서 A, B가 각각 p에서 q까지 등가속도 운동을 하는 데 걸리는 시간은 B가 A의 2배이다.



(가) (나)

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

<보 기>

ㄱ. (가)에서 A의 가속도의 크기는 $\frac{3}{4}g$이다.

ㄴ. (나)에서 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\frac{4}{5}mg$이다.

ㄷ. 실이 B를 당기는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

STEP1 pq 구간의 시간 조건

시간의 비 제시, 가속도의 비를 구해야함, 거리 제시됨.

따라서 등가속도 공식 ② $s=\frac{1}{2}at^2$을 통해 가속도의 비는

(가):(나)=4 : 1이다.

STEP2 가속도 조건 해결

(가) $4a=\frac{Mg}{m+M}$ (나) $a=\frac{mg}{m+M}$

두 식을 통하여 $M=4m$이다.

ㄱ. $\frac{Mg}{m+M}=\frac{4}{5}g$이다. (X)

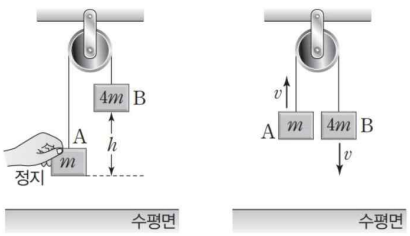
ㄴ. 가속도는 $\frac{1}{5}g$이므로 알짜힘의 크기는 $\frac{4}{5}mg$이다. (O)

ㄷ. (가) A) $T_1=\frac{4}{5}mg$

(나) B) $T_2=\frac{4}{5}mg$이다. (X)

예제3 도르래 상황 (힘→운동)

그림 (가)는 질량이 각각 m, $4m$인 물체 A, B를 실로 연결한 후, A를 손으로 잡아 A와 B가 h의 높이 차를 이루며 정지한 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 A를 가만히 놓았더니 A, B가 운동을 하여 A, B의 높이가 같아진 순간 A, B의 속력이 v인 것을 나타낸 것이다.



(가) (나)

v는? (단, 중력 가속도는 g이고, A와 B의 크기 및 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

① $\sqrt{\frac{1}{5}gh}$ ② $\sqrt{\frac{2}{5}gh}$ ③ $\sqrt{\frac{3}{5}gh}$ ④ $\sqrt{\frac{4}{5}gh}$ ⑤ $\sqrt{gh}$

해설

계의 가속도는 $a=\frac{4mg-mg}{5m}=\frac{3}{5}g$이다.

이때 줄의 길이는 변형되지 않으므로

A가 올라간 거리 = B가 내려온 거리이다.

A가 올라간 거리를 y라고 가정하면 y축 위치가 동일하므로

$y=h-y$에서 $y=\frac{h}{2}$이다.

(즉, 줄이 팽팽하다면 초기 높이차의 절반만큼 움직인다.)

등공③) $2(\frac{3}{5}g)(\frac{1}{2}h)=v^2$에서 $v=\sqrt{\frac{3}{5}gh}$ 이다.

THEME

3 — 내력 심화 분석

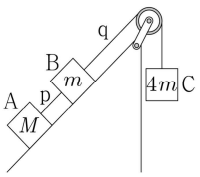
정리1 내력과 가속도의 조건

개념1 내력의 조건

내력의 정보(장력, 수직항력)를 문제에서 제시했을 때 문제를 해결하려면 한 물체에 대한 운동 방정식으로 접근해야한다.
(또한 가속도 정보가 제시되어 있더라도 내력의 정보가 있다면 한 물체에 대한 운동 방정식으로 접근해야한다.)

① 직접적인 제시
실 p가 A를 당기는 힘의 크기는 $2mg$이다.

② 비율적인 제시
실 p가 A를 당기는 힘의 크기는 실 q가 B를 당기는 힘의 크기의 2배이다.



개념2 가속도의 조건

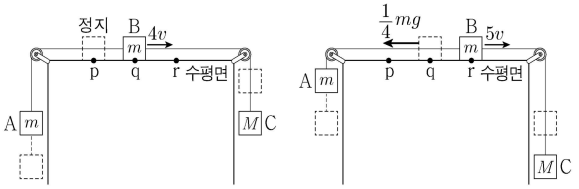
가속도의 조건이 제시가 되어있다면, 계에 대해서 운동 방정식으로 접근해야 한다.

① 직접적인 제시

(가)에서 A의 가속도의 크기는 $\frac{3}{4}g$이다.

② 비율적인 제시

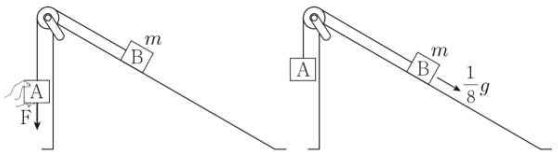
- (가)에서 A의 가속도의 크기는 (나)에서 B의 가속도 크기의 2배이다.
- A, B가 각각 p에서 q까지 등가속도 운동을 하는 데 걸리는 시간은 B가 A의 2배이다.



(가) (나)

예제1 내력의 조건

그림 (가)는 물체 A와 질량이 m인 물체 B를 실로 연결한 후, 손이 A에 연직 아래 방향으로 일정한 힘 F를 가해 A, B가 정지한 모습을 나타낸 것이다. 실이 A를 당기는 힘의 크기는 F의 크기의 3배이다. 그림 (나)는 (가)에서 A를 놓은 순간부터 A, B가 가속도의 크기 $\frac{1}{8}g$로 등가속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다.



(가) (나)

(나)에서 실이 A를 당기는 힘의 크기는? (단, 중력 가속도는 g이고, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

① $\frac{1}{4}mg$ ② $\frac{3}{8}mg$ ③ $\frac{1}{2}mg$ ④ $\frac{5}{8}mg$ ⑤ $\frac{3}{4}mg$

해설

STEP1 내력 조건 (단, M은 A의 질량이다.)

(가)의 연직면에 있는 A에 대해서 운동 방정식을 세우자.

A) $2F = Mg$

STEP2 계의 변화량

(가)→(나) $F = (m+M) \cdot \frac{1}{8}g$

위의 식과 연립하면 $M = \frac{1}{3}m$이다.

STEP3 답 구하기

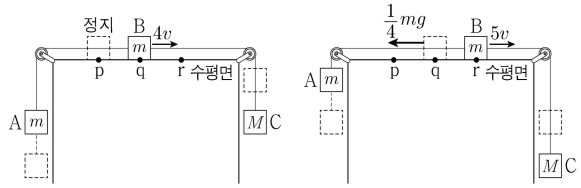
A에 대해서 장력 식을 세워보자.

$T = \frac{1}{3}mg + \frac{1}{24}mg = \frac{3}{8}mg$

(정지) (알짜힘)

예제2 가속도 조건

그림 (가)는 물체 A, B, C를 실로 연결하여 수평면의 점 p에서 B를 가만히 놓아 물체가 등가속도 운동하는 모습을, (나)는 (가)의 B가 점 q를 지날 때부터 점 r를 지날 때까지 운동 방향과 반대 방향으로 크기가 $\frac{1}{4}mg$인 힘을 받아 물체가 등가속도 운동하는 모습을 나타낸 것이다. p와 q 사이, q와 r 사이의 거리는 같고, B가 q, r를 지날 때 속력은 각각 $4v$, $5v$이다. A, B, C의 질량은 각각 m, m, M 이다.



(가) (나)

M은? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

① $\frac{4}{3}m$ ② $\frac{7}{5}m$ ③ $\frac{11}{7}m$ ④ $\frac{15}{8}m$ ⑤ $\frac{5}{2}m$

해설

STEP1 다중 사건

시간이 없으므로 등공③에 의해서 pq, qr에 대한 속도 제곱의 변화량은 16:9이므로 가속도의 비는 16:9이다.

STEP2 운동 방정식

변화량) $\frac{1}{4}mg = (M+2m)7a$

(나) $(M-m-\frac{1}{4}m)g = (2m+M)9a$

두 식을 나누면 $\frac{M-m}{M-\frac{5}{4}m} = \frac{16}{9}$, $9M-9m = 16M-20m$

이고, $M = \frac{11}{7}m$이다.

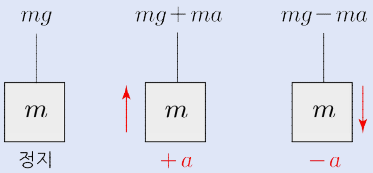
정리2 내력 방정식

개념1 내력의 값

물체에 작용하는 내력(장력, 수직항력)은 물체를 정지시킬 때 필요한 힘과 물체에 대하여 만들어야 하는 알짜힘의 합이다.

TIP 직관적 이해

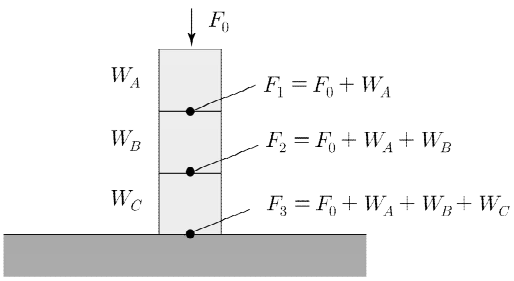
① 정지해있는 물체 : 물체를 정지시키는데 필요한 힘은 mg이다.
② 물체가 위쪽으로 등가속도 운동 : 기존의 mg에 알짜힘 만큼의 힘 ma를 더 주면 된다. (그래야 위로 올라간다.)
③ 물체가 아래쪽으로 등가속도 운동 : 기존의 mg에 알짜힘 만큼의 힘 ma를 덜 주면 된다. (그래야 아래로 내려간다.)

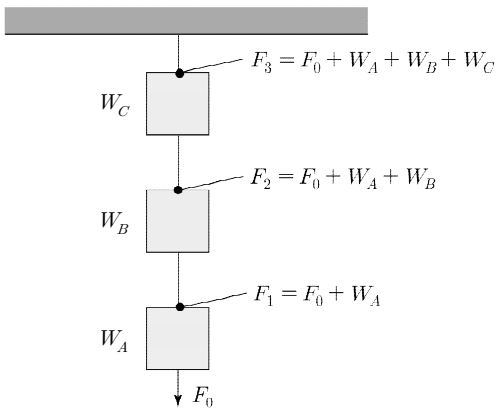


개념2 물체 사이의 내력

① 물체가 쌓여있는 상황
계의 가속도의 방향과 무관하게 아래쪽의 수직항력의 크기가 위쪽의 수직항력의 크기보다 크다. (아래 수직항력 > 위 수직항력)

② 물체가 실에 매달려있는 상황
계의 가속도의 방향과 무관하게 위쪽의 장력의 크기가 아래쪽의 장력의 크기보다 크다. (아래 장력 < 위 장력)



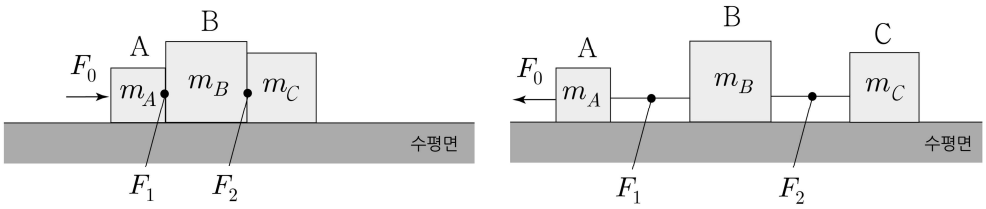


정리3 내력의 비율

개념1 내력의 비율

① 계에 작용하는 힘들 사이의 비는 작용하는 질량의 비와 같다. (단, 원인이 한 개의 힘에 대한 것이다.)

② 수평면, 연직면, 빗면, 마찰면의 모든 상황에서 외력과 관계없이 내력은 항상 비율 성질을 만족한다.



C에 대해서 운동 방정식을 세워보면 $F_2 = m_C a$이다.

BC에 대해서 운동 방정식을 세워보면 $F_1 = (m_B + m_C)a$이다.

ABC에 대해서 운동 방정식을 세워보면 $F_0 = (m_A + m_B + m_C)a$이다.

따라서 $F_0 : F_1 : F_2 = (m_A + m_B + m_C) : (m_B + m_C) : m_C$ 이다.

TIP 계를 기울이면 장력은 어떻게 될까?

계를 비스듬히 또는 극단적으로 ABC를 연직면 상에서 연결한다면, 서로에 대한 상대 가속도와 상대 속도가 0이기 때문에 장력의 값은 0이다. 이때 힘을 작용하게 되면 수평면에서 힘을 작용한 것과 동일하게 작용하는 힘들 사이의 비는 힘이 작용하는 질량의 비와 동일하다.

예제3 수평면 상황

그림 (가), (나)는 물체 A, B, C가 수평 방향으로 24N의 힘을 받아 함께 등가속도 직선 운동하는 모습을 나타낸 것이다. A, B, C의 질량은 각각 $4kg$, $6kg$, $2kg$이고, (가)와 (나)에서 A가 B에 작용하는 힘의 크기는 각각 F_1, F_2이다.



(가) (나)

$F_1 : F_2$는? (단, 모든 마찰은 무시한다.)

① 1 : 2 ② 2 : 3 ③ 1 : 1 ④ 3 : 2 ⑤ 2 : 1

해설

STEP1 (가)

24N의 힘이 $12kg$에 작용하고 있으므로 $1kg$에 대응하는 힘은 2N이다.

따라서 A가 B를 밀어야 하는 힘의 크기는 $9kg$에 대응하므로 16N이다.

STEP2 (나)

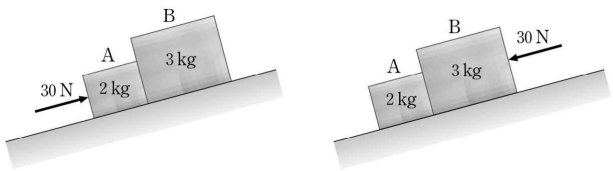
24N의 힘이 $12kg$에 작용하고 있으므로 $1kg$에 대응하는 힘은 2N이다.

따라서 B가 A를 밀어야 하는 힘의 크기는 $4kg$에 대응하므로 8N이다.

정리하면 $F_1 : F_2 = 2 : 1$이다.

예제4 빗면 상황

그림 (가)는 마찰이 없는 빗면 위에 질량이 각각 $2kg$, $3kg$인 물체 A, B를 접촉하고, A에 크기가 30N인 힘이 빗면과 나란한 방향으로 작용하였을 때 A가 힘의 방향으로 등가속도 운동을 하는 것을 나타낸 것이다. A의 가속도 크기는 $4m/s^2$이다. 그림 (나)는 (가)의 B에 크기가 30N인 힘이 빗면과 나란한 방향으로 작용하는 것을 나타낸 것이다.



(가) (나)

(가)와 (나)에서 A가 B에 작용하는 힘의 크기를 각각 $F_{(가)}$, $F_{(나)}$라고 할 때, $\frac{F_{(가)}}{F_{(나)}}$는?

① $\frac{3}{2}$ ② $\frac{4}{3}$ ③ $\frac{5}{4}$ ④ $\frac{6}{5}$ ⑤ $\frac{7}{6}$

해설

공통적으로 $30N$의 힘이 $5kg$에 작용하고 있다.

(그 외의 힘은 물체에 작용하지 않는다.

상대 가속도 = 0이므로 수직항력은 없다.)

(가) $F_{(가)}$는 $3kg$에 작용하므로 $18N$이다.

(나) $F_{(나)}$는 $2kg$에 작용하므로 $12N$이다.

따라서 $\frac{F_{(가)}}{F_{(나)}} = \frac{3}{2}$이다.

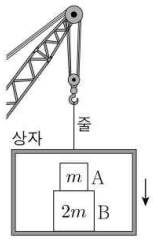
만약 이 문제를 정석으로 해결한다면 어떻게 해야할까?

계) $30 - 5g' = 20$에서 빗면 중력 가속도는 $g' = 2m/s^2$이다.

B) $F_{(가)} - 6 = 12$에서 $F_{(가)} = 18N$이다.

예제5 연직면 상황

그림과 같이 기중기에 줄로 연결된 상자가 연직 아래로 등속도 운동을 하고 있다. 상자 안에는 질량이 각각 m, $2m$인 물체 A, B가 놓여 있다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A에 작용하는 알짜힘은 0이다.
ㄴ. 줄이 상자를 당기는 힘과 상자가 줄을 당기는 힘은 작용 반작용 관계이다.
ㄷ. 상자가 B를 떠받치는 힘의 크기는 A가 B를 누르는 힘의 크기의 2배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 물체는 등속도 운동을 하므로 A에 작용하는 알짜힘은 0이다. (O)
ㄴ. 주어와 목적어 크로스를 하고 있다. (O)
ㄷ. 상자에 있는 내부 관찰자가 볼 때 물체에 작용하는 힘은 수직항력 뿐이다. 따라서 수직항력을 힘의 분배를 이용하면 힘의 비는 1 : 3이다. (X)

THEME

4 — 변화량 분석

정리1 힘의 변화

개념1 변화량

① 변화량 정의 : 각 물리량의 변화량(최종값 − 초기값)을 계산하여 그 차이를 비교하는 방법이다.

② 변화량 식 : 합력의 변화량 = 알짜힘의 변화량

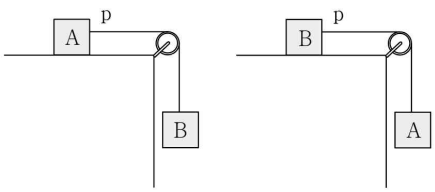
(만약 합력이 변화해 알짜힘의 방향이 변화했다면 알짜힘의 크기를 더하면 된다.)

개념2 물체의 치환

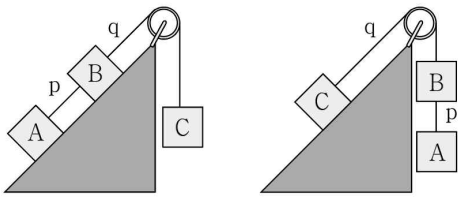
물체의 치환은 도르래에 대해 물체들의 연결 관계(A−B, B−C)를 유지한 채로 위치를 교환하는 상황이다.

① 장력은 동일하다. (문제에 메모하고서 시작)

② 가속도의 크기는 일반적으로 동일하지 않다.



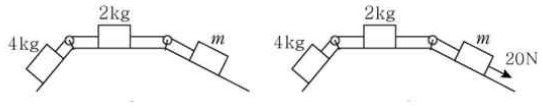
[CASE 1. ㄱ자 상황]



[CASE 2. 빗면 상황]

예제1 변화량 상황 (운동 마찰력X)

그림 (가)는 질량이 각각 $4kg$, $2kg$, m인 물체가 실로 연결되어 경사면과 수평면에서 운동하는 모습을, (나)는 (가)에서 질량 m인 물체에 경사면과 나란하게 아래쪽으로 $20N$의 힘이 작용할 때 운동하는 모습을 나타낸 것이다. (가), (나)에서 모든 물체는 각각 가속도의 크기가 $1m/s^2$인 직선 운동을 한다.



(가) (나)

m은? (단, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

① $1kg$ ② $2kg$ ③ $3kg$ ④ $4kg$ ⑤ $5kg$

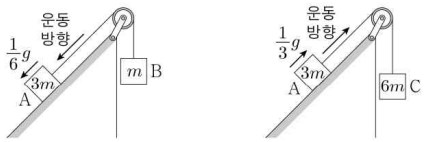
해설

변화량을 사용하면

$20=(6+m)2$를 통해 $m=4kg$이다.

예제2 변화량 상황 (운동 마찰력O)

그림 (가), (나)와 같이 마찰이 있는 동일한 빗면에 놓인 물체 A가 각각 물체 B, C와 실로 연결되어 서로 반대 방향으로 등가속도 운동을 하고 있다. (가)와 (나)에서 A의 가속도의 크기는 각각 $\frac{1}{6}g$, $\frac{1}{3}g$이고, 가속도의 방향은 운동 방향과 같다. A, B, C의 질량은 각각 $3m$, m, $6m$이고 빗면과 A 사이에는 크기가 F로 일정한 마찰력이 작용한다.



(가) (나)

F는? (단, 중력 가속도는 g이고, 빗면에서의 마찰 외의 모든 마찰과 공기 저항, 실의 질량은 무시한다.)

① $\frac{1}{3}mg$ ② $\frac{2}{3}mg$ ③ mg ④ $\frac{3}{2}mg$ ⑤ $\frac{5}{2}mg$

해설

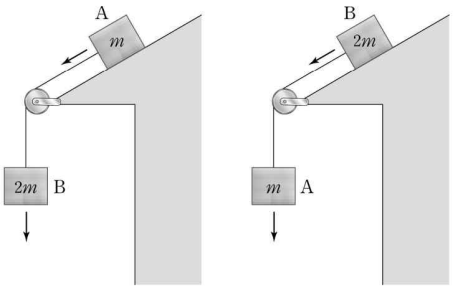
변수가 마찰력 F 하나이므로 변화량을 생각해보자.

합력의 변화량 = 알짜힘의 변화량

$5mg-2F=3mg+\frac{2}{3}mg=\frac{11}{3}mg \rightarrow F=\frac{2}{3}mg$

예제3 치환 상황

그림 (가)는 질량이 각각 m, $2m$인 물체 A, B를 실로 연결하고 마찰이 없는 빗면에 A를 가만히 놓은 모습을, (나)는 (가)의 A, B의 위치를 바꾸어 빗면에 B를 가만히 놓은 것을 나타낸 것이다. (가), (나)에서 A의 가속도 크기는 각각 $4a_0$, $3a_0$이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

<보 기>

ㄱ. $a_0 = \frac{1}{5}g$이다.

ㄴ. 실이 A를 당기는 힘의 크기는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

ㄷ. B에 작용하는 알짜힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{4}{3}$배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. (가) $2mg - mg' = 12a_0$ (나) $mg - 2mg' = 9ma_0$

두 식을 연립하면 $3mg = 15ma_0$에서 $a_0 = \frac{1}{5}g$이다. (O)

ㄴ. (가) B) $2mg - T_{(가)} = \frac{8}{5}mg$에서 $T_{(가)} = \frac{2}{5}mg$이다.

(나) A) $mg - T_{(나)} = \frac{3}{5}mg$에서 $T_{(나)} = \frac{2}{5}mg$이다. (O)

(도르레에 대해서 치환했으므로 장력은 동일하다.)

ㄷ. 가속도의 크기 비가 4 : 3이므로 알짜힘의 크기 비는 $\frac{4}{3}$이다. (O)

THEME

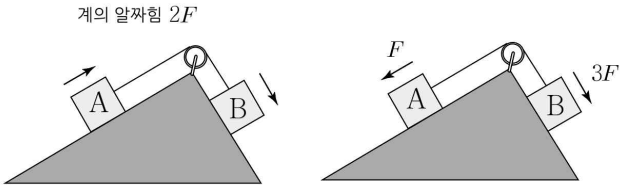
5 — 실 끊어짐 상황

정리1 실 끊어짐 상황

개념1 실이 끊어지더라도 계의 알짜힘은 유지된다

① 실로 연결되어 있는 두 개 이상의 물체에서, 실을 끊은 후 나누어진 두 계의 알짜힘을 서로 더하면, 실이 끊어지기 전 초기 계의 알짜힘과 같다.

② 이를 통해 실이 끊어지기 전 또는 후에 대해 알짜힘의 방향을 알 수 있다.



개념2 실 끊어짐 공식 (비율이 제시가 되어있을 때만 사용!)

장력의 변화량은 각각의 물체에 알짜힘의 변화를 만들어낸다.

A) $T=m_A|\Delta a_A|$ B) $T=m_B|\Delta a_B|$ 를 연립하면 $m\propto\frac{1}{|\Delta a|}$이다. (질량 비는 가속도 변화량의 비에 반비례한다.)

TIP 가속도 변화량의 방향성

실이 끊어져 가속도가 변화할 때 두 물체의 가속도 변화량의 방향성은 반대이다.

예를 들어 A의 가속도 변화량의 방향이 왼쪽이라면, B의 가속도 변화량의 방향은 오른쪽이다.

TIP 가속도 비를 구할 때 주의점

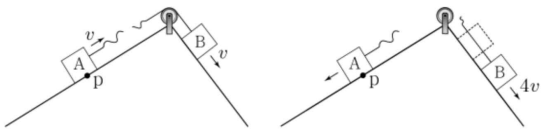
우선 공식의 알고리즘은 아래와 같다.

모든 가속도가 나와있다. → 가속도 변화량의 비를 구할 수 있다. → 질량의 비를 구할 수 있다.

즉, 가속도 변화량의 비를 구하는 것이 목적이므로 예를 들어 A에서 등가속도 공식 ①의 형태 $a=\frac{\Delta v}{t}$로 가속도를 구했다면, 나머지에서도 등가속도 공식 ①의 형태로 가속도를 구한 다음에 가속도 변화량의 비를 찾아 질량의 비를 구할 수 있다.

예제1 가속도 비 제시

그림 (가)는 물체 A, B가 실로 연결되어 서로 다른 빗면에서 속력 v로 등속도 운동하다가 A가 점 p를 지나는 순간 실이 끊어지는 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가) 이후 A와 B가 각각 빗면을 따라 등가속도 운동을 하다가 A가 다시 p에 도달하는 순간 B의 속력이 $4v$인 것을 나타낸 것이다.



(가) (나)

A, B의 질량을 각각 m_A, m_B라 할 때, $\frac{m_A}{m_B}$는? (단, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

① 2 ② $\frac{3}{2}$ ③ $\frac{4}{3}$ ④ $\frac{5}{4}$ ⑤ $\frac{6}{5}$

해설

STEP1 가속도의 비 찾기

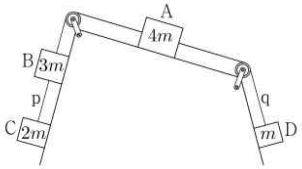
등가속도 공식 ①을 통하여 A의 속도 변화는 $2v$, B의 속도 변화는 $3v$만큼 있다.
따라서 가속도의 비는 2 : 3이다.

STEP2 실 끊어짐 이용

따라서 가속도의 비는 2 : 3이므로 질량 비는 3 : 2이다.

예제2 질량 비 제시

그림은 물체 A, B, C, D가 실로 연결되어 가속도의 크기가 a_1인 등가속도 운동을 하고 있는 것을 나타낸 것이다. 실 p를 끊으면 A는 등속도 운동을 하고, 이후 실 q를 끊으면 A는 가속도의 크기가 a_2인 등가속도 운동을 한다. p를 끊은 후 C와, q를 끊은 후 D의 가속도의 크기는 서로 같다. A, B, C, D의 질량은 각각 $4m$, $3m$, $2m$, m이다.

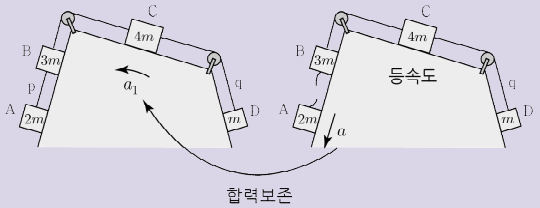


$\frac{a_1}{a_2}$은? (단, 실의 질량 및 모든 마찰은 무시한다.)

① 2 ② $\frac{9}{5}$ ③ $\frac{8}{5}$ ④ $\frac{7}{5}$ ⑤ $\frac{6}{5}$

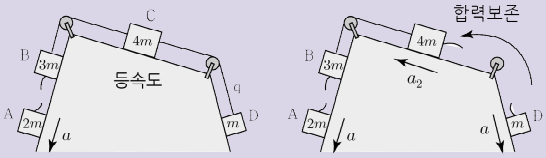
해설

STEP1 실 p의 끊어짐



p가 끊어졌을 때 계의 합력 방향이 왼쪽이므로 p가 끊어지기 전에 계의 가속도 방향은 왼쪽이다. 그리고 A와 BCD의 질량 비는 2 : 8 = 1 : 4이므로 가속도 변화량의 비는 4 : 1이다. 이때 실이 끊어지면 A는 속도가 더 빨라지므로 $a - a_1 = 4$를 만족하고, BCD에 대하여 $a_1 = 1$이다. 따라서 두 식을 연립하면 $a = 5a_1$이다.

STEP2 실 q의 끊어짐

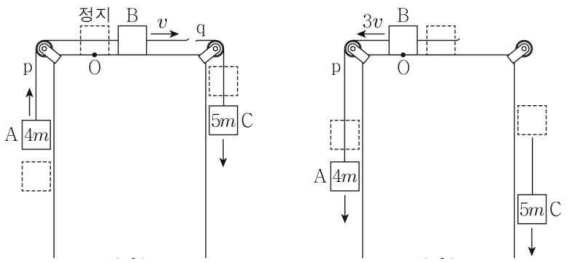


q가 끊어지기전 계의 합력은 0이고, q가 끊어졌을 때 D가 오른쪽으로 가속도가 있으므로 BC는 왼쪽으로 가속도가 있다. 그리고 BC와 D의 질량 비는 7 : 1이므로 가속도 변화량의 비는 1 : 7이다. $a_2 = 1$, $a = 7$이므로 $a = 7a_2$이다.

따라서 $\therefore \frac{a_1}{a_2} = \frac{7}{5}$이다.

예제3 비율 제시 X

그림 (가)와 같이 물체 A, B, C를 실 p, q로 연결하고 수평면 위의 점 O에서 B를 가만히 놓았더니 물체가 등가속도 운동하여 B의 속력이 v가 된 순간 q가 끊어진다. 그림 (나)와 같이 (가) 이후 A, B가 등가속도 운동하여 B가 O를 $3v$의 속력으로 지난다. A, C의 질량은 각각 $4m$, $5m$이다.



(가) (나)

(나)에서 p가 A를 당기는 힘의 크기는? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기, 실의 질량, 마찰은 무시한다.)

① $\frac{1}{2}mg$ ② $\frac{2}{3}mg$ ③ $\frac{3}{4}mg$ ④ $\frac{4}{5}mg$ ⑤ $\frac{5}{6}mg$

해설

STEP1 운동 분석

시간적 조건이 없으므로 등공③을 생각해보자.

(가)의 ABC와 (나) AB에서 속도 제곱의 변화량은 $1:8$이므로 가속도는 $1:8$이다.

(가) $mg=(9m+M)a$

(나) $4mg=(4m+M)8a$

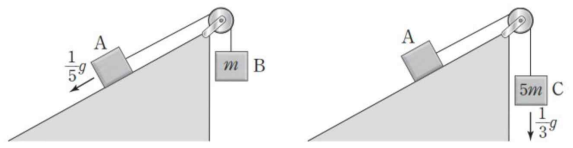
위의 두 식을 나누면 $m=M$이고, (나)의 가속도는 $\frac{4}{5}g$이다.

STEP2 장력

p가 A를 당기는 힘의 크기는 $T=\frac{4}{5}mg$이다.

예제4 물체 치환

그림 (가)는 물체 A와 B를 실로 연결한 후, A를 빗면에 가만히 놓았더니 A와 B가 가속도의 크기가 $\frac{1}{5}g$인 등가속도 운동을 하는 것을, (나)는 (가)에서 B를 물체 C로 바꾼 후 A를 빗면에 가만히 놓았더니 A와 C가 가속도의 크기가 $\frac{1}{3}g$인 등가속도 운동을 하는 것을 나타낸 것이다. B, C의 질량은 각각 m, $5m$이다.



(가) (나)

A의 질량은? (단, 중력 가속도는 g이고, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

① $\frac{5}{2}m$ ② $3m$ ③ $\frac{7}{2}m$ ④ $4m$ ⑤ $\frac{9}{2}m$

해설

(나)의 C에서 질량이 $4m$인 물체가 사라지는 것으로 생각을 해보자.

실 끊어짐에 대하여 가속도 변화량의 비가 $\frac{8}{15}g:\frac{2}{3}g=4:5$이므로 질량 비는 $5:4=M+m:4m$이다.

따라서 $M=4m$이다.

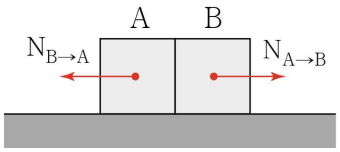
THEME

6 — 작용 반작용

정리1 작용 반작용

개념1 작용-반작용

한 물체가 다른 물체에 힘을 가하면 힘을 받은 물체도 힘을 가한 물체에 크기가 같고 방향이 반대인 힘을 동시에 가한다.



① 작용-반작용 관계에 있는 두 힘은 동시에 작용한다.
② 작용-반작용 관계에 있는 두 힘은 크기가 같고 방향이 반대이다.
③ 작용과 반작용은 같은 작용선상에서 서로 다른 물체에 작용한다.
④ 주어와 목적어가 서로 바뀐다. (A가 B를 잡아당기는 힘의 반작용은 B가 A를 잡아당기는 힘이다.)

$$\therefore F_{AB} = -F_{BA}$$

개념2 관성력의 작용-반작용

① 관성력은 반작용이 존재하지 않는다. 관성력은 가상의 힘이기 때문이다.
② 알짜힘도 모든 힘들의 합을 의미하므로 반작용은 존재하지 않는다.

개념3 중력의 작용-반작용

간혹 지구가 물체를 지구 중심 방향으로 끌어당기는 중력에 대해서는 반작용이 없다고 생각하는 경우가 있는데, 이는 잘못된 지식이다. 지구가 사과를 당기는 것과 같은 크기로 사과도 지구를 당기고 있다. 단지 지구의 질량이 사과의 질량보다 넘사벽급으로 크기에 지구의 움직임이 극히 미미해서 사과가 일방적으로 끌려가는 것으로 보일 뿐이다.

∴사과에 작용하는 중력의 반작용은 사과가 지구를 잡아당기는 힘이다.

① 사과가 지구를 잡아당기는 힘의 크기와 지구가 사과를 잡아당기는 힘의 크기는 동일하다.
② 사과의 가속도와 지구의 가속도는 다르다. ($F = ma$)

정리2 내부 상쇄

개념1 내부 상쇄 정리

내부 상쇄는 계를 하나로 합치면 내력을 고려하지 않아도 된다는 정리이다.

개념2 상자 내부의 물체

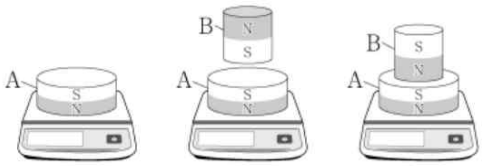
그림과 같이 상자 내부에 드론이 있다. 상자의 무게가 2N이고, 드론의 무게가 6N이면 다음을 만족한다



	(가)	(나)	(다)
저울의 측정값	2N	8N	8N

개념3 내력이 작용하는 물체들

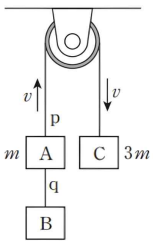
그림과 같이 내력이 존재하는 두 물체 A와 B가 있다. A와 B의 무게는 mg로 동일하다고 하면 다음을 만족한다.



	(가)	(나)	(다)
저울의 측정값	mg	$2mg$	$2mg$

예제1 중력

그림과 같이 물체 A, B, C가 도르래를 통해 실 p, q로 연결되어 일정한 속력 v로 운동하고 있다. A, C의 질량은 각각 m, $3m$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

<보 기>

ㄱ. p가 A를 당기는 힘과 q가 A를 당기는 힘은 크기가 같다.
ㄴ. q가 B를 당기는 힘의 크기는 $2mg$이다.
ㄷ. q가 B를 당기는 힘과 지구가 B를 당기는 힘은 작용과 반작용의 관계이다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 가속도 방향과 관계없이 항상 위쪽의 장력이 아래쪽 장력보다 크다. (X)
ㄴ. B의 질량이 $2m$이므로 $T_q = 2mg$이다. (O)
ㄷ. 주어와 목적어 교환이 일어나지 않았다. (X)

예제2 내부 상쇄

그림은 지면 위에 있는 받침대에 의해 지구본이 공중에 떠 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. 받침대와 지구본의 무게는 각각 w로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 지구본에 작용하는 알짜힘은 0이다.
ㄴ. 받침대에 작용하는 중력과 지면이 받침대를 떠받치는 힘은 작용 반작용 관계이다.
ㄷ. 받침대가 지면을 누르는 힘의 크기는 w이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

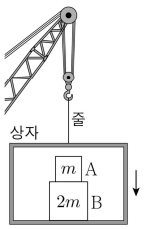
해설

ㄱ. 지구본은 정지해 있으므로 알짜힘은 0이다. (O)
ㄴ. 주어와 목적어 교환X (X)
ㄷ. 지구본과 받침대 무게가 각각 w이므로 받침대가 지면을 누르는 힘의 크기는 $2w$이다. (X)

유형 01 작용-반작용

01 2022학년도 6월 8번 정답률 73%

8. 그림과 같이 기중기에 줄로 연결된 상자가 연직 아래로 등속도 운동을 하고 있다. 상자 안에는 질량이 각각 m, $2m$인 물체 A, B가 놓여 있다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A에 작용하는 알짜힘은 0이다.
ㄴ. 줄이 상자를 당기는 힘과 상자가 줄을 당기는 힘은 작용-반작용 관계이다.
ㄷ. 상자가 B를 떠받치는 힘의 크기는 A가 B를 누르는 힘의 크기의 2배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

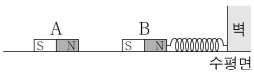
정 답 ③

해 설

ㄱ. 물체는 등속도 운동을 하므로 A에 작용하는 알짜힘은 0이다. (O)
ㄴ. 주어와 목적어 크로스되어 있으므로 작용 반작용 관계이다. (O)
ㄷ. 상자가 B를 떠받치는 힘의 크기는 $3mg$이다.
A가 B를 누르는 힘의 크기는 mg이다. (X)

02 2022학년도 9월 7번 정답률 62%

7. 그림과 같이 마찰이 없는 수평면에 자석 A가 고정되어 있고, 용수철에 연결된 자석 B는 정지해 있다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

<보 기>

ㄱ. A가 B에 작용하는 자기력은 B가 A에 작용하는 자기력과 작용 반작용 관계이다.
ㄴ. 벽이 용수철에 작용하는 힘의 방향과 A가 B에 작용하는 자기력의 방향은 서로 반대이다.
ㄷ. B에 작용하는 알짜힘은 0이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

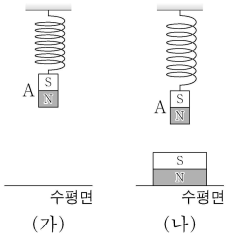
정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 주어와 목적어가 교환됐으므로 작용 반작용 관계이다. (O)
ㄴ. A와 B는 인력이 작용하므로 용수철은 늘어나있다.
따라서 용수철은 벽을 왼쪽으로 당긴다. (O)
ㄷ. B는 정지해 있으므로 알짜힘은 0이다. (O)

03 2022학년도 수능 8번 정답률 70%

8. 그림 (가)는 용수철에 자석 A가 매달려 정지해 있는 모습을, (나)는 (가)에서 A 아래에 다른 자석을 놓아 용수철이 (가)에서보다 늘어나 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 용수철의 질량은 무시한다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. (가)에서 용수철이 A를 당기는 힘과 A에 작용하는 중력은 작용-반작용 관계이다.
ㄴ. (나)에서 A에 작용하는 알짜힘은 0이다.
ㄷ. A가 용수철을 당기는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

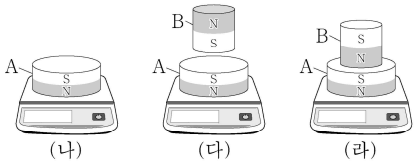
해 설

ㄱ. 주어와 목적어가 교환이 일어나지 않았다. (X)
ㄴ. 정지해 있으므로 알짜힘은 0이다. (O)
ㄷ. (나)에서 A는 인력을 받으므로 탄성력은 증가한다. (O)

04 2023학년도 6월 11번 정답률 52%

11. 다음은 자석의 무게를 측정하는 실험이다.

〔실험 과정〕
(가) 무게가 10N인 자석 A, B를 준비한다.
(나) A를 저울에 올려 측정값을 기록한다.
(다) A와 B를 같은 극끼리 마주 보게 한 후 저울에 올려 A와 B가 정지된 상태에서 측정값을 기록한다.
(라) A와 B를 다른 극끼리 마주 보게 한 후 저울에 올려 A와 B가 정지된 상태에서 측정값을 기록한다.



〔실험 결과〕
○ (나), (다), (라)의 결과는 각각 10N, 20N, ㉠ N이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

<보 기>

ㄱ. (나)에서 A에 작용하는 중력과 저울이 A를 떠받치는 힘은 작용-반작용 관계이다.
ㄴ. (다)에서 B가 A에 작용하는 자기력의 크기는 A에 작용하는 중력의 크기와 같다.
ㄷ. ㉠은 20보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

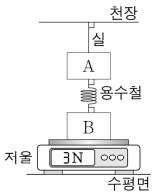
정 답 ②

해 설

ㄱ. 주어와 목적어가 교환이 일어나지 않았다. (X)
ㄴ. B가 A에 작용하는 자기력의 크기는 $10N$이다.
A에 작용하는 중력은 $10N$이다. (O)
ㄷ. 내력은 전체적으로 상쇄되기에 $20N$으로 동일하다. (X)

05 2023학년도 9월 7번 정답률 38%

7. 그림은 실에 매달린 물체 A를 물체 B와 용수철로 연결하여 저울에 올려놓았더니 물체가 정지한 모습을 나타낸 것이다. A, B의 무게는 2N으로 같고, 저울에 측정된 힘의 크기는 3N이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실과 용수철의 무게는 무시한다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. 실이 A를 당기는 힘의 크기는 1N이다.
ㄴ. 용수철이 A에 작용하는 힘의 방향은 A에 작용하는 중력의 방향과 같다.
ㄷ. B에 작용하는 중력과 저울이 B에 작용하는 힘은 작용 반작용의 관계이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

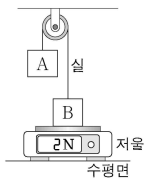
정 답 ①

해 설

ㄱ. 전체에 대해서 운동 방정식을 생각해보면 장력은 1*N*이다. (O)
ㄴ. 장력이 1*N*이므로 A가 정지해 있으려면 용수철은 A를 위로 1*N*의 힘으로 밀어야한다. (X)
ㄷ. 주어와 목적어 교환X (X)

06 2023학년도 수능 6번 정답률 83%

6. 그림과 같이 무게가 1N인 물체 A가 저울 위에 놓인 물체 B와 실로 연결되어 정지해 있다. 저울에 측정된 힘의 크기는 2N이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. 실이 B를 당기는 힘의 크기는 1N이다.
ㄴ. B가 저울을 누르는 힘과 저울이 B를 떠받치는 힘은 작용 반작용 관계이다.
ㄷ. B의 무게는 3N이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

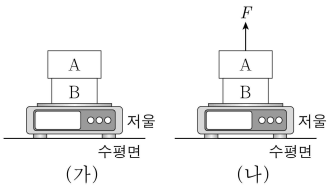
정 답 ⑤

해 설

ㄱ. A의 무게는 1*N*인데 정지해있으므로 장력은 1*N*이다. (O)
ㄴ. 주어와 목적어 교환O (O)
ㄷ. B를 1*N*으로 당기는 데 저울에 찍힌 값이 2*N*이므로 B의 무게는 3*N*이다. (O)

07 2024학년도 6월 6번 정답률 41%

6. 그림 (가)는 저울 위에 놓인 물체 A와 B가 정지해 있는 모습을, (나)는 (가)에서 A에 크기가 F인 힘을 연직 위 방향으로 작용할 때, A와 B가 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다.



저울에 측정된 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 2배이고, B가 A에 작용하는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 4배이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

<보 기>

ㄱ. 질량은 A가 B의 2배이다.
ㄴ. (가)에서 저울이 B에 작용하는 힘의 크기는 $2F$이다.
ㄷ. (나)에서 A가 B에 작용하는 힘의 크기는 $\frac{1}{3}F$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

STEP1 내력 계산

(가)에서 A의 무게와 수직항력이 동일하다. ($A=4N$)

변화량으로 생각해보면 $3N=\frac{3}{4}A=F$이다.

STEP2 전체 계산

(가)에서 A, B의 무게와 저울값이 동일하다. ($A+B=2f$)

변화량으로 생각해보면 $f=\frac{1}{2}A+\frac{1}{2}B=F$이다.

위의 두 식을 연립하면 $A=2B$이다.

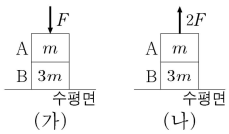
ㄱ. 질량은 A가 B의 2배이다. (O)

ㄴ. $A+B=\frac{3}{2}A=2F$이다. (O)

ㄷ. $N=\frac{1}{4}A=\frac{1}{3}F$이다. (O)

08 2024학년도 9월 9번 정답률 52%

9. 그림 (가), (나)는 직육면체 모양의 물체 A, B가 수평면에 놓여 있는 상태에서 A에 각각 크기가 F, $2F$인 힘이 연직 방향으로 작용할 때, A, B가 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각 m, $3m$이고, B가 A를 떠받치는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이다.)

<보 기>

ㄱ. A에 작용하는 중력과 B가 A를 떠받치는 힘은 작용-반작용 관계이다.
ㄴ. $F=\frac{1}{5}mg$이다.
ㄷ. 수평면이 B를 떠받치는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{7}{6}$배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

ㄱ. 주어와 목적어의 교환이 아니다. (X)

ㄴ. 내력부터 먼저 분석하자.

내력 변화량) $N=3F$

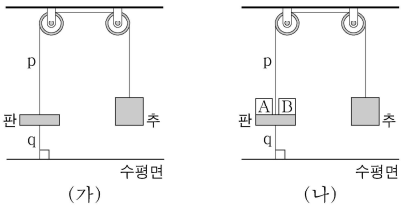
(가) A) $2N=mg+F \rightarrow F=\frac{1}{5}mg$ (O)

ㄷ. (가) $f_1=4mg+F=\frac{21}{5}mg$

(나) $f_2=4mg-2F=\frac{18}{5}mg$ (O)

09 2024학년도 수능 9번 정답률 54%

9. 그림 (가)는 질량이 5kg인 판, 질량이 10kg인 추, 실 p, q가 연결되어 정지한 모습을, (나)는 (가)에서 질량이 1kg으로 같은 물체 A, B를 동시에 판에 가만히 올려놓았을 때 정지한 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 $10\,m/s^2$이고, 판은 수평면과 나란하며, 실의 질량과 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. (가)에서 q가 판을 당기는 힘의 크기는 50N이다.
ㄴ. p가 판을 당기는 힘의 크기는 (가)에서와 (나)에서가 같다.
ㄷ. 판이 q를 당기는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 계가 힘의 평형을 만족하려면 q가 판을 $50N$으로 당겨야 한다. (O)

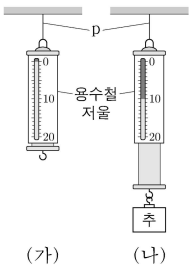
ㄴ. p가 판을 당기는 힘의 크기는 추를 당기는 힘의 크기와 같다. 추는 정지해 있으므로 장력은 (가), (나)가 같다. (O)

ㄷ. (나)에서 p의 장력은 일정하고, 왼쪽 물체의 질량이 늘어났다. 힘의 평형을 만족하려면 장력이 감소해야한다. 따라서 판이 q를 당기는 힘의 크기는 (가)>(나)이다. (O)

10 2025학년도 6월 5번 정답률 73%

5. 그림 (가)는 실 p에 매달려 정지한 용수철저울의 눈금 값이 0인 모습을, (나)는 (가)의 용수철저울에 추를 매단 후 정지한 용수철저울의 눈금 값이 10N인 모습을 나타낸 것이다. 용수철저울의 무게는 2N이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]



<보 기>

ㄱ. (가)에서 용수철저울에 작용하는 알짜힘은 0이다.
ㄴ. (나)에서 p가 용수철저울에 작용하는 힘의 크기는 12N이다.
ㄷ. (나)에서 추에 작용하는 중력과 용수철저울이 추에 작용하는 힘은 작용 반작용 관계이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

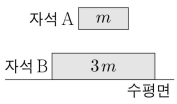
ㄱ. (가)에서 용수철저울에 작용하는 알짜힘은 0이다. (O)

ㄴ. 용수철저울 + 추는 $12N$이다. (O)

ㄷ. 주어-목적어 교환이 아니다. (X)

11 2025학년도 9월 7번 정답률 77%

7. 그림과 같이 수평면에 놓여 있는 자석 B 위에 자석 A가 떠 있는 상태로 정지해 있다. A에 작용하는 중력의 크기와 B가 A에 작용하는 자기력의 크기는 같고, A, B의 질량은 각각 m, $3m$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. A가 B에 작용하는 자기력의 크기는 $3mg$이다.
ㄴ. 수평면이 B를 떠받치는 힘의 크기는 $4mg$이다.
ㄷ. A에 작용하는 중력과 B가 A에 작용하는 자기력은 작용-반작용 관계이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

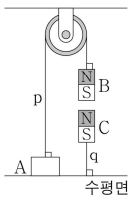
정 답 ②

해 설

ㄱ. A의 힘의 평형에 의하여 mg이다. (X)
ㄴ. 자기력은 전체 입장에서 상쇄되므로 수평면이 B를 떠받치는 힘의 크기는 $4mg$이다. (O)
ㄷ. 주어-목적어 교환이 아니다. (X)

12 2025학년도 수능 5번 정답률 61%

5. 그림은 실 p로 연결된 물체 A와 자석 B가 정지해 있고, B의 연직 아래에는 자석 C가 실 q에 연결되어 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. A, B, C의 질량은 각각 4kg, 1kg, 1kg이고, B와 C 사이에 작용하는 자기력의 크기는 20N이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 $10\,\mathrm{m/s^2}$이고, 실의 질량과 모든 마찰은 무시하며, 자기력은 B와 C 사이에만 작용한다.)

<보 기>

ㄱ. 수평면이 A를 떠받치는 힘의 크기는 10N이다.
ㄴ. B에 작용하는 중력과 p가 B를 당기는 힘은 작용-반작용 관계이다.
ㄷ. B가 C에 작용하는 자기력의 크기는 q가 C를 당기는 힘의 크기와 같다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

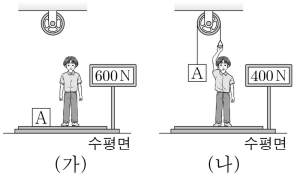
정 답 ①

해 설

ㄱ. B에 의하여 실 p에 작용하는 힘은 $30N$이다.
A의 힘의 평형을 생각해보면 수직항력은 $10N$이다. (O)
ㄴ. 주어-목적어 교환이 아니다. (X)
ㄷ. B가 C에 작용하는 자기력의 크기는 $20N$이다.
q가 C를 당기는 힘의 크기는 $10N$이다. (X)

13 2026학년도 6월 4번 정답률 88%

4. 그림 (가)는 저울 위에 사람과 물체 A가 정지해 있는 모습을, (나)는 (가)의 사람과 A가 줄로 연결되어 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. (가)와 (나)에서 저울에 측정된 힘의 크기는 각각 600 N, 400 N이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 줄의 질량, 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. 사람의 무게는 500 N이다.
ㄴ. (가)에서 지울이 A에 작용하는 힘의 크기는 100 N이다.
ㄷ. (나)에서 사람이 저울을 누르는 힘의 크기는 사람의 무게와 같다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

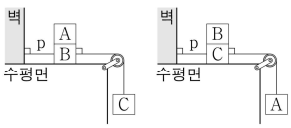
정 답 ③

해 설

ㄱ. (가)에서 계에 대해서 식을 세우면 A + 사람 = 600이고,
(나)에서 사람에 대해서 식을 세우면 A + 400 = 사람이다.
두 식을 연립하면 사람 − 400 = 600 − 사람, 사람 = 500N (O)
ㄴ. 사람의 무게가 500N이므로 A의 무게는 100N이다. (O)
ㄷ. 사람이 저울을 누르는 힘은 400N이고, 사람의 무게는 500N이다. (X)

14 2026학년도 9월 8번 정답률 85%

8. 그림 (가), (나)는 각각 직육면체 모양의 물체 A, B, C가 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. (가), (나)에서 실 p가 벽에 작용하는 힘의 크기는 각각 30 N, 10 N이고, (가)에서 수평면이 B를 떠받치는 힘과 (나)에서 수평면이 C를 떠받치는 힘의 크기는 각각 F_0, $2F_0$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실의 질량과 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. (가)에서 A가 B를 누르는 힘과 수평면이 B를 떠받치는 힘은 작용 반작용 관계이다.
ㄴ. $F_0 = 20$ N이다.
ㄷ. 질량은 C가 B의 2배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

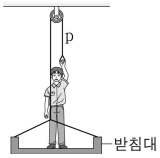
정 답 ②

해 설

ㄱ. 작용-반작용이 아니다. (X)
ㄴ. 우선 x축 조건에 의하여 C = 30N, A = 10N이다.
y축 조건에 의하여 $A + B = F_0$, $B + C = 2F_0$이다.
두 식을 연립하면 $F_0 = 20$N, B = 10N이다.
따라서 $F_0 = 20$N이다. (O)
ㄷ. 질량은 C가 B의 3배이다. (X)

15 2026학년도 수능 9번 정답률 86%

9. 그림은 받침대 위에 있는 사람이 도르래를 통해 받침대와 연결되어 있는 줄 p를 연직 아래 방향으로 잡아당겨 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. 사람이 p를 당기는 힘의 크기는 350 N이고, 받침대의 무게는 100 N이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 줄의 질량과 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

<보 기>

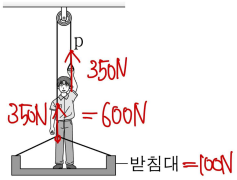
ㄱ. 사람의 무게는 600 N이다.
ㄴ. 받침대가 사람을 떠받치는 힘의 크기는 200 N이다.
ㄷ. 사람이 p에 작용하는 힘과 p가 사람에게 작용하는 힘은 작용-반작용 관계이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

문제의 내용을 토대로 그림에 힘들을 체크하면 다음과 같다.

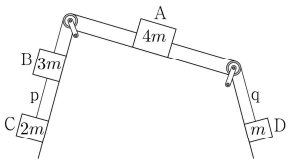


ㄱ. 사람의 무게는 600N이다. (O)
ㄴ. 받침대가 사람을 떠받치는 힘의 크기는 250N이다. (X)
ㄷ. 작용 반작용 관계이다. (O)

유형 02 힘

01 2022학년도 6월 13번 정답률 42%

13. 그림은 물체 A, B, C, D가 실로 연결되어 가속도의 크기가 a_1인 등가속도 운동을 하고 있는 것을 나타낸 것이다. 실 p를 끊으면 A는 등속도 운동을 하고, 이후 실 q를 끊으면 A는 가속도의 크기가 a_2인 등가속도 운동을 한다. p를 끊은 후 C와, q를 끊은 후 D의 가속도의 크기는 서로 같다. A, B, C, D의 질량은 각각 $4m$, $3m$, $2m$, m이다.



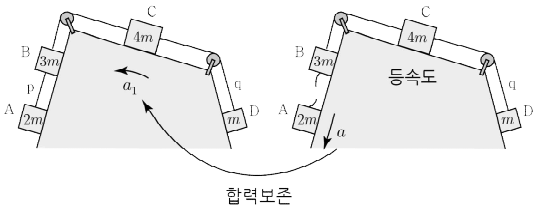
$\frac{a_1}{a_2}$은? (단, 실의 질량 및 모든 마찰은 무시한다.)

① 2 ② $\frac{9}{5}$ ③ $\frac{8}{5}$ ④ $\frac{7}{5}$ ⑤ $\frac{6}{5}$

정 답 ④

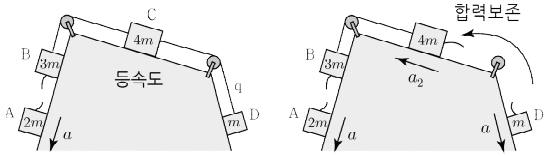
해 설

STEP1 실 p의 끊어짐



p가 끊어졌을 때 계의 합력 방향이 왼쪽이므로 p가 끊어지기 전에 계의 가속도 방향은 왼쪽이다. 그리고 A와 BCD의 질량 비는 $2:8=1:4$이므로 가속도 변화량의 비는 $4:1$이다. 이때 실이 끊어지면 A는 속도가 더 빨라지므로 $a-a_1=4$를 만족하고, BCD에 대하여 $a_1=1$이다. 따라서 두 식을 연립하면 $a=5a_1$이다.

STEP2 실 q의 끊어짐

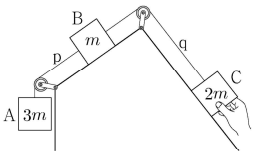


q가 끊어지기전 계의 합력은 0이고, q가 끊어졌을 때 D가 오른쪽으로 가속도가 있으므로 BC는 왼쪽으로 가속도가 있다. 그리고 BC와 D의 질량 비는 $7:1$이므로 가속도 변화량의 비는 $1:7$이다. $a_2=1$, $a=7$이므로 $a=7a_2$이다.

따라서 $\therefore \frac{a_1}{a_2}=\frac{7}{5}$이다.

02 2022학년도 수능 15번 정답률 35%

15. 그림은 물체 A, B, C를 실 p, q로 연결하여 C를 손으로 잡아 정지시킨 모습을 나타낸 것이다. C를 가만히 놓으면 B는 가속도의 크기 a로 등가속도 운동한다. 이후 p를 끊으면 B는 가속도의 크기 a로 등가속도 운동한다. A, B, C의 질량은 각각 $3m$, m, $2m$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 실의 질량 및 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

<보 기>

ㄱ. q가 B를 당기는 힘의 크기는 p를 끊기 전이 p를 끊은 후보다 크다.

ㄴ. $a=\frac{1}{3}g$이다.

ㄷ. p를 끊기 전까지, A의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 B와 C의 운동 에너지 증가량의 합보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 손을 놓으면 계는 왼쪽으로 등가속도 운동을 한다.
이때 실 p를 끊으면 B를 아래로 잡아당기는 힘이 작아지므로 q에 작용하는 힘의 크기는 작아진다. (O)

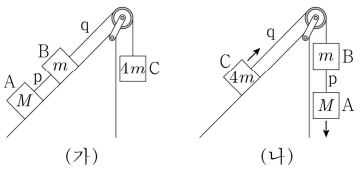
ㄴ. A와 BC의 질량비는 $3m:3m=1:1$을 만족하므로 가속도 변화량의 비도 $1:1$이다.
이때 BC의 가속도 변화량의 크기는 $2a$이고,
A의 가속도 변화량의 크기는 $g-a$이다. (속도가 더 빨라짐)
두 식을 연립하면 $2a=g-a$에서 $a=\frac{1}{3}g$이다. (O)

ㄷ. 이 부분은 곧 에너지 파트에서 배울 내용이다.
간단하게 설명하자면, 아마 통합과학 시간에 일과 에너지의 변환(일-운동 에너지 정리)을 배웠을 것이다.
그럼 언제 알짜일-운동 에너지 정리를 사용할까?
바로 위치 에너지 변화량과 운동 에너지 변화량을 비교할 때이다.
위치 에너지 변화량 형태는 mgh형태이고, 운동 에너지 변화량 형태는 $\frac{1}{2}mv^2$형태이므로 강제로 형태를 바꾸어 미지수를 해결한다. (각 물체가 이동한 거리를 s라고 하자.)

- A의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $3mgs$이다.
- BC의 알짜힘이 한 일은 $3mas=mgs$이다. (O)

03 2023학년도 9월 14번 정답률 33%

14. 그림 (가)는 질량이 각각 M, m, $4m$인 물체 A, B, C가 빗면과 나란한 실 p, q로 연결되어 정지해 있는 것을, (나)는 (가)에서 물체의 위치를 바꾸었더니 물체가 등가속도 운동하는 것을 나타낸 것이다. (가)에서 p가 B를 당기는 힘의 크기는 $\frac{10}{3}mg$이다.



(나)에서 q가 C를 당기는 힘의 크기는? (단, 중력 가속도는 g이고, 실의 질량 및 모든 마찰은 무시한다.)

① $\frac{13}{3}mg$ ② $4mg$ ③ $\frac{11}{3}mg$ ④ $\frac{10}{3}mg$ ⑤ $3mg$

정 답 ②

해 설

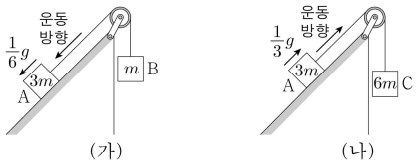
도르래에 대해서 대칭이므로 (나)에서 T_q는 (가)와 같다.

(가)에서 $T_q = 4mg$이다.

따라서 (나)에서 q가 C를 당기는 힘의 크기는 $4mg$이다.

04 2024학년도 6월 5번 정답률 53%

5. 그림 (가), (나)와 같이 마찰이 있는 동일한 빗면에 놓인 물체 A가 각각 물체 B, C와 실로 연결되어 서로 반대 방향으로 등가속도 운동을 하고 있다. (가)와 (나)에서 A의 가속도의 크기는 각각 $\frac{1}{6}g$, $\frac{1}{3}g$이고, 가속도의 방향은 운동 방향과 같다. A, B, C의 질량은 각각 $3m$, m, $6m$이고, 빗면과 A 사이에는 크기가 F로 일정한 마찰력이 작용한다.



F는? (단, 중력 가속도는 g이고, 빗면에서의 마찰 외의 모든 마찰과 공기 저항, 실의 질량은 무시한다.) [3점]

① $\frac{1}{3}mg$ ② $\frac{2}{3}mg$ ③ mg ④ $\frac{3}{2}mg$ ⑤ $\frac{5}{2}mg$

정 답 ②

해 설

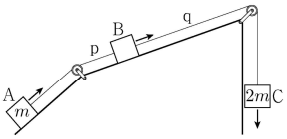
합력의 변화량 = 알짜힘의 변화량과 같다.

$5mg-2F=3mg+\frac{2}{3}mg=\frac{11}{3}mg$를 정리하면

$F=\frac{2}{3}mg$이다.

05 2024학년도 9월 8번 정답률 48%

8. 그림은 물체 A, B, C가 실 p, q로 연결되어 등속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. p를 끊으면, A는 가속도의 크기가 $6a$인 등가속도 운동을, B와 C는 가속도의 크기가 a인 등가속도 운동을 한다. 이후 q를 끊으면, B는 가속도의 크기가 $3a$인 등가속도 운동을 한다. A, C의 질량은 각각 m, $2m$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. B의 질량은 $4m$이다.

ㄴ. $a=\frac{1}{8}g$이다.

ㄷ. p를 끊기 전, p가 B를 당기는 힘의 크기는 $\frac{2}{3}mg$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

STEP1 p의 끊어짐

A와 BC의 가속도 변화량 비가 6 : 1이므로 질량 비는 1 : 6이다.
따라서 B의 질량은 $4m$이다.

STEP2 q의 끊어짐

BC의 질량 비가 2 : 1이므로 가속도 변화량 비는 1 : 2이다.
B의 가속도 변화량은 $4a$이므로 C의 가속도 변화량은 $8a$이다.

따라서 $9a=g$이므로 $a=\frac{1}{9}g$이다.

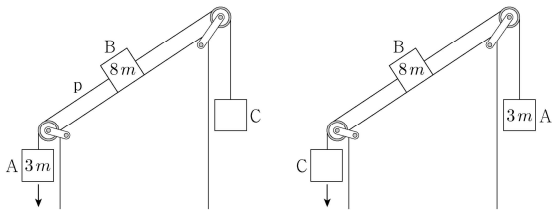
ㄱ. B의 질량은 $4m$이다. (O)

ㄴ. $a=\frac{1}{9}g$이다. (X)

ㄷ. p가 B를 당기는 힘은 A를 당기는 힘과 동일하다.
A가 등속도 운동하려면 장력은 $m \cdot \frac{2}{3}g=\frac{2}{3}mg$이다. (O)

06 2025학년도 6월 20번 정답률 45%

20. 그림 (가)와 같이 물체 A, B, C가 실로 연결되어 등가속도 운동한다. A, B의 질량은 각각 $3m$, $8m$이고, 실 p가 B를 당기는 힘의 크기는 $\frac{9}{4}mg$이다. 그림 (나)는 (가)에서 A, C의 위치를 바꾸어 연결했을 때 등가속도 운동하는 모습을 나타낸 것이다. B의 가속도의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.



C의 질량은? (단, 중력 가속도는 g이고, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

① $4m$ ② $5m$ ③ $6m$ ④ $7m$ ⑤ $8m$

정 답 ②

해 설

내력의 정보가 나와있으므로 내력에 대해서 먼저 접근한다.
그리고 조건에 의해 계의 가속도를 구해야한다.

따라서 (가)의 A에서 $3mg-\frac{9}{4}mg=3ma$에서 $a=\frac{1}{4}g$이다.

조건에 의해 (나)의 가속도는 $\frac{1}{2}g$가 된다.

계의 운동방정식의 (나)-(가)를 하게 되면

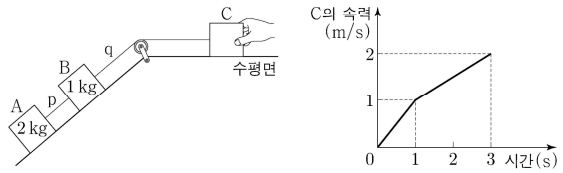
$(m_c-3m)g-(3m-m_c)g=(11m+m_c)(\frac{1}{2}g-\frac{1}{4}g)$를 만족하고,

$2m_c-6m=(11m+m_c)\frac{1}{4}$, $7m_c=35m$, $m_c=5m$이다.

유형 03 힘과 운동

01 2022학년도 9월 13번 정답률 38%

13. 그림 (가)는 물체 A, B, C를 실 p, q로 연결하여 C를 손으로 잡아 정지시킨 모습을, (나)는 C를 가만히 놓은 후 시간에 따른 C의 속력을 나타낸 것이다. 1초일 때 p가 끊어졌다. A, B의 질량은 각각 2kg, 1kg이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

<보 기>

ㄱ. 1~3초까지 C가 이동한 거리는 3m이다.
ㄴ. C의 질량은 1kg이다.
ㄷ. q가 B를 당기는 힘의 크기는 0.5초일 때가 2초일 때의 3배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

ㄱ. 등공④) $\frac{3}{2} \cdot 2 = 3m$ (O)

ㄴ. 0~1초) $3g' = (3+m)1$, 1~3초) $g' = (1+m)\frac{1}{2}$

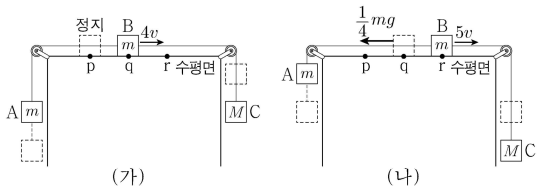
위의 두 식을 연립하면 $m = 3kg$이다. (X)

ㄷ. 0.5초) C) $T = 3 \cdot 1 = 3\text{N}$

2초) C) $T = 3 \cdot \frac{1}{2} = \frac{3}{2}\text{N}$ (X)

02 2023학년도 6월 14번 정답률 41%

14. 그림 (가)는 물체 A, B, C를 실로 연결하여 수평면의 점 p에서 B를 가만히 놓아 물체가 등가속도 운동하는 모습을, (나)는 (가)의 B가 점 q를 지날 때부터 점 r를 지날 때까지 운동 방향과 반대 방향으로 크기가 $\frac{1}{4}mg$인 힘을 받아 물체가 등가속도 운동하는 모습을 나타낸 것이다. p와 q 사이, q와 r 사이의 거리는 같고, B가 q, r를 지날 때 속력은 각각 $4v$, $5v$이다. A, B, C의 질량은 각각 m, m, M이다.



M은? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

① $\frac{4}{3}m$ ② $\frac{7}{5}m$ ③ $\frac{11}{7}m$ ④ $\frac{15}{8}m$ ⑤ $\frac{5}{2}m$

정 답 ③

해 설

STEP1 다중 사건

시간이 없으므로 등공③에 의해서 pq, qr에 대한 속도 제곱의 변화량은 16 : 9이므로 가속도의 비는 16 : 9이다.

STEP2 운동 방정식

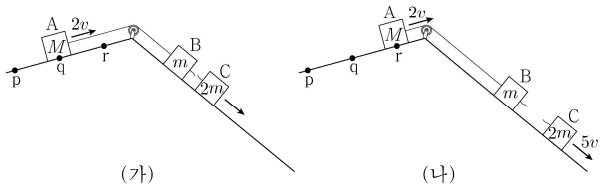
변화량) $\frac{1}{4}mg = (M+2m)7a$

(가) $(M-m)g = (M+2m)16a$

두 식을 연립하면 $M = \frac{11}{7}m$이다.

03 2023학년도 수능 17번 정답률 45%

17. 그림 (가)와 같이 물체 A, B, C를 실로 연결하고 A를 점 p에 가만히 놓았더니, 물체가 각각의 빗면에서 등가속도 운동하여 A가 점 q를 속력 $2v$로 지나는 순간 B와 C 사이의 실이 끊어진다. 그림 (나)와 같이 (가) 이후 A와 B는 등속도, C는 등가속도 운동하여, A가 점 r를 속력 $2v$로 지나는 순간 C의 속력은 $5v$가 된다. p와 q 사이, q와 r 사이의 거리는 같다. A, B, C의 질량은 각각 M, m, $2m$이다.



M은? (단, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

① $2m$ ② $3m$ ③ $4m$ ④ $5m$ ⑤ $6m$

정 답 ②

해 설

STEP1 운동 분석

이동 거리가 동일하므로 걸린 시간의 비는 2:1이다. (암기사항)

STEP2 가속도 분석 (등공①로 비율을 맞추자)

(나) C의 가속도 = 3

(가) ABC의 가속도 = 1

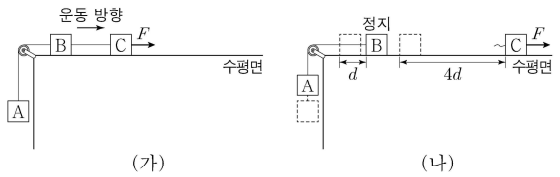
STEP3 실끊어짐 분석

AB와 C의 가속도 변화량 비가 $1:2$이므로 질량비는 $2:1$이다.

$M+m=4m$를 통해 $M=3m$이다.

04 2024학년도 수능 10번 정답률 30%

10. 그림 (가)는 물체 A, B, C를 실로 연결하고 C에 수평 방향으로 크기가 F인 힘을 작용하여 A, B, C가 속력이 증가하는 등가속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 B의 속력이 v인 순간 B와 C를 연결한 실이 끊어졌을 때, 실이 끊어진 순간부터 B가 정지한 순간까지 A와 B, C가 각각 등가속도 운동을 하여 d, $4d$만큼 이동한 것을 나타낸 것이다. A의 가속도의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다. B, C의 질량은 각각 m, $3m$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체는 동일 연직면상에서 운동하며, 물체의 크기, 실의 질량, 공기 저항과 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. (나)에서 B가 정지한 순간 C의 속력은 $3v$이다.
ㄴ. A의 질량은 $3m$이다.
ㄷ. F는 $5mg$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

STEP1 다중 사건 (등공 ④→①)

AB와 C의 평균 속력 비는 $1:4$이므로 C의 평균 속력은 $2v$이다.

따라서 $v_C=3v$이다. 그러면 AB와 C의 가속도 비는 $1:2$이다.

가속도를 가정하면 $a_{ABC}=+a$, $a_{AB}=-2a$, $a_C=+4a$이다.

STEP2 실 끊어짐

AB와 C의 가속도 변화량 비가 $1:1$이므로 질량 비는 $1:1$이다.

따라서 $M+m=3m$이고 $M=2m$이다.

ㄱ. $v_C=3v$이다. (O)

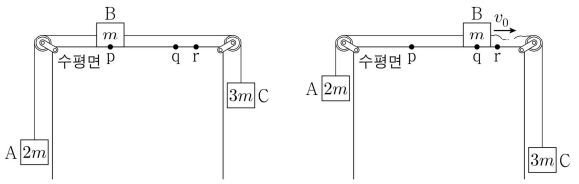
ㄴ. $M=2m$이다. (X)

ㄷ. (가) $F-2mg=6ma$, (나) $F=3m(4a)=12ma$

연립하면 $a=\frac{1}{3}g$이므로 $F=4mg$이다. (X)

05 2025학년도 9월 19번 정답률 47%

19. 그림 (가)와 같이 질량이 각각 $2m$, m, $3m$인 물체 A, B, C를 실로 연결하고 B를 점 p에 가만히 놓았더니 A, B, C는 등가속도 운동을 한다. 그림 (나)와 같이 B가 점 q를 속력 v_0으로 지나는 순간 B와 C를 연결한 실이 끊어지면, A와 B는 등가속도 운동하여 B가 점 r에서 속력이 0이 된 후 다시 q와 p를 지난다. p, q, r는 수평면상의 점이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. (가)에서 B가 p와 q 사이를 지날 때, A에 연결된 실이 A를 당기는 힘의 크기는 $\frac{7}{3}mg$이다.

ㄴ. q와 r 사이의 거리는 $\frac{3v_0^2}{4g}$이다.

ㄷ. (나)에서 B가 p를 지나는 순간 B의 속력은 $\sqrt{5}v_0$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. (가)의 가속도는 $a=\frac{mg}{6m}=\frac{1}{6}g$이다.

$T_A-2mg=\frac{1}{3}mg$에서 $T_A=\frac{7}{3}mg$이다. (O)

ㄴ. (나)의 B의 가속도는 $a=\frac{2}{3}g$이다.

등공③) $2(\frac{2}{3}g)s=v_0^2$에서 $s=\frac{3v_0^2}{4g}$이다. (O)

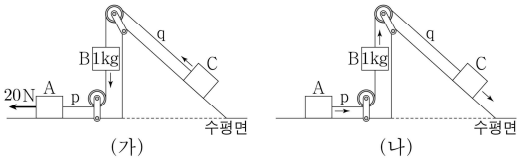
ㄷ. $a_{pq}:a_{qr}=1:4$이므로 $s_{qr}:s_{pq}=4:1$이다.

$2(\frac{2}{3}g)(4s)=v_p^2-v_0^2$, $\frac{16}{3}gs=4v_0^2=v_p^2-v_0^2$

$v_p=\sqrt{5}v_0$이다. (O)

06 2025학년도 수능 18번 정답률 29%

18. 그림 (가)는 물체 A, B, C를 실 p, q로 연결하고 A에 수평 방향으로 일정한 힘 20N을 작용하여 물체가 등가속도 운동하는 모습을, (나)는 (가)에서 A에 작용하는 힘 20N을 제거한 후, 물체가 등가속도 운동하는 모습을 나타낸 것이다. (가)와 (나)에서 물체의 가속도의 크기는 a로 같다. p가 B를 당기는 힘의 크기와 q가 B를 당기는 힘의 크기의 비는 (가)에서 2 : 3이고, (나)에서 2 : 9이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 $10\,m/s^2$이고, 물체는 동일 연직면상에서 운동하며, 실의 질량, 공기 저항과 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. p가 A를 당기는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 5배이다.

ㄴ. $a=\frac{5}{3}\,m/s^2$이다.

ㄷ. C의 질량은 4kg이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. 내부의 정보가 있으면 내부에 대해서 접근하자.
(가)의 B에서 $10-T=a$ 이다.
(가)의 A에서 $20-2T=Aa$ 에서 $A=2kg$이다.

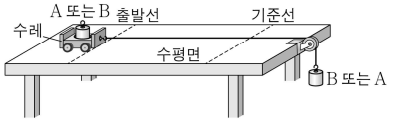
(나)의 B에서 $7F-10=a$, A에서 $2F=2a$이다.
두 식을 연립하면 $a=F=\frac{5}{3}$이므로 $T=\frac{25}{3}$이다.
따라서 p가 A를 당기는 힘의 크기는 5배이다. (O)

ㄴ. $a=\frac{5}{3}m/s^2$이다. (O)

ㄷ. 계의 변화량) $20=(3+C)\frac{10}{3}$에서 $C=3kg$이다. (X)

07 2026학년도 6월 16번 정답률 48%

16. 그림과 같이 수평면에 놓인 질량이 M인 수레 위에 추 A와 B 중 하나를 올려놓고 다른 하나는 수레에 연결된 실에 매단다. 표는 출발선에 가만히 놓은 수레가 등가속도 직선 운동하여 기준선을 지날 때까지 걸린 시간 t와 A의 역학적 에너지 변화량의 크기를 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각 m_A, m_B이다.



수레에 올려놓은 추	실에 매단 추	t	A의 역학적 에너지 변화량의 크기
A	B	t_0	$9E_0$
B	A	$3t_0$	$11E_0$

$\frac{M}{m_B}$은? (단, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.) [3점]

① $\frac{1}{9}$ ② $\frac{2}{9}$ ③ $\frac{1}{3}$ ④ $\frac{4}{9}$ ⑤ $\frac{5}{9}$

정 답 ②

해 설

STEP1 등가속도 분석

운동을 통해서 가속도를 찾아보자.

등공 ② $s=\frac{1}{2}at^2$에 의하여 가속도의 비는 $9:1$이다.

STEP2 운동 방정식

$m_Bg=(m_A+m_B+M)9a$, $m_Ag=(m_A+m_B+M)a$

두 식을 나누면 $m_B=9m_A$이다.

STEP3 조건 분석

첫 번째 상황에서 A의 역학적 에너지 변화는

$9E_0=\frac{1}{2}m_Av_1^2$이다. $\Rightarrow$ $9E_0=9m_Aa$ $\Rightarrow$ $E_0=m_Aa$

(등공 ③: $2(9a)s=v_1^2$)

두 번째 상황에서 A의 역학적 에너지 변화는

$11E_0=T\cdot s=m_A(g-a)s$이다.

두 식을 연립하면 $11m_Aas=m_A(g-a)s$

$11a=g-a$에서 $a=\frac{1}{12}g$이다.

$m_Ag=(m_A+m_B+M)a$에 대입하면

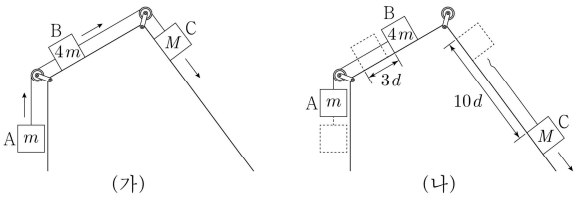
$\Rightarrow \left(\frac{m_B}{9}\right)g=\left(\frac{m_B}{9}+m_B+M\right)\frac{1}{12}g$

$\Rightarrow \frac{m_B}{9}=\left(\frac{10}{9}m_B+M\right)\frac{1}{12}=\frac{10}{9\times12}m_B+\frac{1}{12}M$

$\Rightarrow \frac{2m_B}{9\times12}=\frac{M}{12}$ $\Rightarrow$ $\frac{M}{m_B}=\frac{2}{9}$이다.

08 2026학년도 9월 19번 정답률 38%

19. 그림 (가)와 같이 질량이 각각 m, $4m$, M인 물체 A, B, C가 실로 연결되어 속력이 증가하는 등가속도 운동을 한다. 그림 (나)는 (가)에서 B와 C를 연결한 실이 끊어졌을 때, 실이 끊어진 순간부터 B의 속력이 0이 될 때까지 B, C가 각각 등가속도 운동을 하여 $3d$, $10d$만큼 이동한 모습을 나타낸 것이다. C의 가속도의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 8배이다.



M은? (단, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

① $5m$ ② $6m$ ③ $7m$ ④ $8m$ ⑤ $9m$

정 답 ①

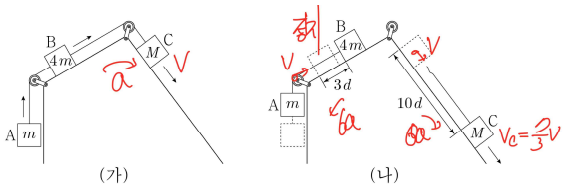
해 설

STEP1 (나)의 운동 분석

AB) 등공④) $\frac{v}{2}t=3d$

C) 등공④) $\frac{v+v_c}{2}t=10d=\frac{5}{3}vt \Rightarrow v_c=\frac{7}{3}v$

C) 등공①) $8a=\frac{4v}{3t}$이므로 AB) 등공①) $\frac{v}{t}=6a$

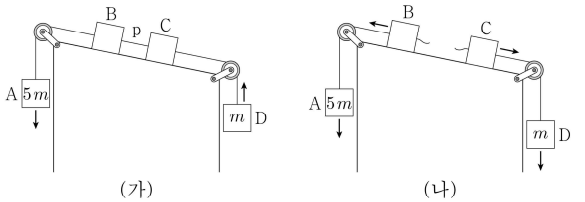


STEP2 실 끊어짐

AB와 C에 대해서 가속도 변화량은 $7a:7a=1:1$이므로 질량의 비도 $1:1$이다. 따라서 $M=5m$이다.

09 2026학년도 수능 18번 정답률 35%

18. 그림 (가)와 같이 실로 연결된 물체 A~D가 등가속도 운동을 하고 있다. 그림 (나)는 (가)에서 빗면과 나란한 실 p가 끊어진 후 B, C가 각각 등가속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. (나)에서 B, C의 가속도의 크기는 각각 $\frac{2}{5}g$, $\frac{1}{3}g$이다. A, D의 질량은 각각 $5m$, m이고, B와 C의 질량은 같다.



(가)에서 p가 C를 당기는 힘의 크기는? (단, 중력 가속도는 g이고, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

① $\frac{5}{2}mg$ ② $\frac{11}{4}mg$ ③ $3mg$ ④ $\frac{13}{4}mg$ ⑤ $\frac{7}{2}mg$

정 답 ②

해 설

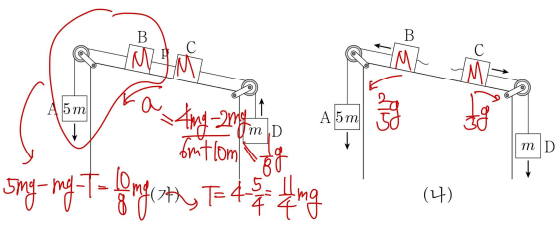
실 끊어짐에 대해서 가속도 변화량의 비나 질량비가 없으므로 정석적으로 전부 다 구해야한다.

(나) AB) $\frac{2}{5}g=\frac{5g-Mg'}{M+5} \Rightarrow \frac{2}{5}Mg+Mg'=3g$

(나) CD) $\frac{1}{3}g=\frac{g+Mg'}{M+1} \Rightarrow \frac{1}{3}Mg-Mg'=\frac{2}{3}g$

두 식을 연립하면 $M=5m$, $g'=\frac{1}{5}g$이다.

이후 (가)에서 계의 가속도를 구하고, AB에 대해서 운동 방정식을 세우면 $T=\frac{11}{4}mg$이다.



PART 3
운동량과 충격량

개념 유형

(1) 기본 개념
(2) 벽과의 충돌
(3) 두 물체의 분리
(4) 용수철의 최대 압축
(5) 두 물체의 충돌

기출 유형

(1) 운동량과 충격량의 예
(2) 외력을 받는 경우
(3) 물체의 분리
(4) 벽과의 충돌
(5) 두 물체의 충돌
(6) 세 물체의 충돌

THEME

1 — 기본 개념

정리1 운동량과 충격량

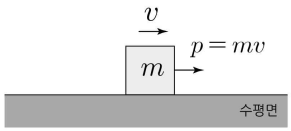
개념1 운동량(Momentum)

① 운동량은 물체가 운동하는 정도를 나타내는 물리량이다.

② $\vec{p}=m\vec{v}$ $[kg \cdot m/s]$

③ 운동량은 방향을 가지는 벡터량이다.

④ 운동량의 방향은 속도의 방향과 같다.



TIP 운동량과 운동 에너지의 관계

질량이 m, 속력이 v인 물체에 대하여 $K=\frac{1}{2}mv^2=\frac{m^2v^2}{2m}=\frac{p^2}{2m}$에 의하여 $p=\sqrt{2mK}$의 관계를 갖는다.

개념2 충격량(Impulse)

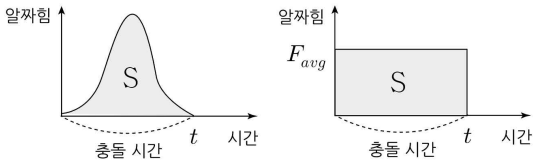
① 충격량은 물체가 충돌할 때 충격의 정도를 나타내는 물리량이다.

② $\vec{I}=\int_{t_1}^{t_2}\vec{F}dt=\overline{F}\cdot t$ $[kg \cdot m/s]=[N \cdot s]$ (운동량의 단위와 같다.)

③ 충격량은 방향을 가지는 벡터량이다.

④ 충격량의 방향은 알짜힘의 방향과 같다.

⑤ $\overline{F}=F_{avg}$는 평균 힘, 또는 충격력이라고 부른다.



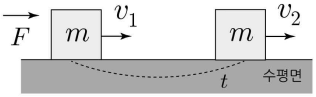
개념3 운동량-충격량 정리

만약 물체가 힘을 t초 동안 받아 일정한 가속도로 움직이면 나중 속도는 $v_2=v_1+at$이다.

양변에 질량을 곱하면 $mv_1+mat=mv_2$에서 $mv_1+F_{알짜}t=mv_2$이다.

① $p_1+I_{알짜}=p_2$ (시간에 따른 전체적 흐름에서 사용)

② $\overline{F}=\frac{\Delta p}{t}=\frac{I}{t}$ (평균힘의 표현)



정리2 운동량과 충격량의 그래프

개념1 운동량-시간 그래프 (기울기만 의미가 있다.)

수평면에서 움직이는 물체의 운동량을 시간에 대해서 미분하면 $\frac{d\vec{p}_A}{dt}=\frac{d}{dt}(m\vec{v}_A)=m\frac{d\vec{v}_A}{dt}=m\vec{a}=\vec{F}_{A,알짜}$가 된다.

즉, A의 운동량을 시간에 대해서 미분(기울기)하면 A의 알짜힘이 된다.

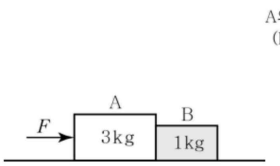
개념2 힘-시간 그래프 (면적만 의미가 있다.)

수평면에 있는 물체에 시간에 따른 힘 F가 작용할 때, 시간에 대해서 적분하면 충격량의 정의 $\vec{I}=\int_{t_1}^{t_2}\vec{F}dt=\overline{F}\cdot t$와 같다.

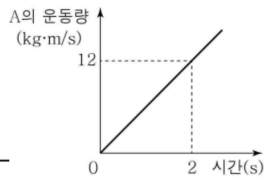
즉, A에 작용하는 힘을 시간에 대해서 적분하면 A가 받는 충격량이 된다.

예제1 운동량-시간 그래프

그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에 놓인 물체 A, B가 서로 접촉한 상태에서 크기가 F인 힘이 A에 수평 방향으로 작용하는 모습을 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각 $3kg$, $1kg$이다. 그림 (나)는 힘이 작용한 순간부터 A의 운동량을 시간에 따라 나타낸 것이다.)



(가)



(나)

0초에서 2초까지 A, B의 운동에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. F는 $6N$이다.
ㄴ. A의 가속도의 크기는 $2m/s^2$이다.
ㄷ. B에 작용한 알짜힘의 크기는 $2N$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

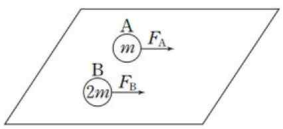
운동량-시간 그래프에서 기울기는 알짜힘을 의미한다.

$F_A = \frac{dp}{dt} = \frac{12}{2} = 3a$에서 $a = 2m/s^2$이다.

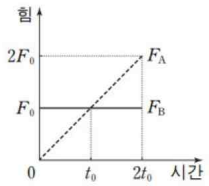
ㄱ. $F = 4a = 8N$ (X)
ㄴ. $a = 2m/s^2$ (O)
ㄷ. $F_B = 1 \cdot a = 2N$ (O)

예제2 힘-시간 그래프

그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에 정지해 있던 질량이 m, $2m$인 물체 A, B에 각각 힘 F_A, F_B를 수평 방향으로 작용하여 나란하게 직선 운동시키는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 힘이 작용하기 시작한 순간부터 F_A, F_B를 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 0부터 t_0까지 물체가 받은 충격량의 크기는 A가 B보다 작다.
ㄴ. t_0일 때, 물체의 속력은 A가 B보다 작다.
ㄷ. $2t_0$일 때, 물체의 운동량의 크기는 A가 B보다 작다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 면적은 B > A이다. (O)
ㄴ. 면적 비는 1 : 2인데 질량 비가 1 : 2이므로 속력은 1 : 1이다. (X)
ㄷ. 면적은 A = B이다. (X)

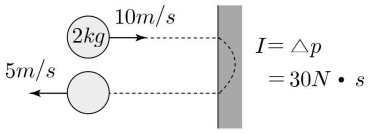
THEME

2 — 벽과의 충돌

정리1 벽과의 충돌

개념1 x축 충돌

벽과 충돌을 하면 정지하거나 반대 방향으로 튀어나오거나 둘 중 하나이다.
따라서 벽이 물체에게 가한 충격량은 충돌 전과 후 운동량의 합이다.



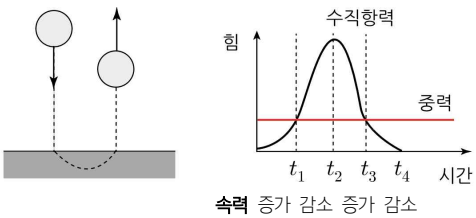
개념2 충돌 과정 세부 분석

① 벽과의 충돌
외력은 벽이 주는 수직항력 밖에 없으므로 바로 속력이 감소한다.

② 용수철과의 충돌
외력은 용수철이 주는 탄성력 밖에 없으므로 바로 속력이 감소한다. (단, 용수철은 보존력이므로 튀어 나올 때 속력이 보존된다.)

개념3 y축 충돌

개념1은 x축 벽과의 충돌에 대해서 살펴봤다. 이번 개념3에는 바닥과 충돌할 때 속력이 어떻게 변화하는 지를 생각해보자.

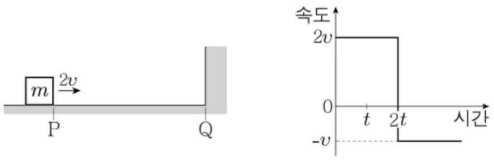


① 수직항력의 크기가 변하는 이유
지면과 접촉하는 동안 변형된 정도는 시간에 따라 바뀌기 때문이다.

② 물체의 최대 속력과 최저 속력
- 최저 속력: t_2에서 변형 정도가 최대이므로 t_2 전후로 운동 방향이 바뀌는 순간이다. 따라서 물체의 속도는 0이다.
- 최고 속력: $t=t_1$일 때와 $t=t_3$일 때 각각 아랫방향과 윗방향으로 최대 속력이다.
- 물체의 속력은 증 | 감 | 증 | 감으로 크로스가 된다.

예제1 간단한 벽과의 충돌

그림은 수평면에서 질량이 m인 물체가 $2v$의 속력으로 P 지점을 통과하는 순간의 모습을 나타낸 것이다. 물체는 Q 지점에서 벽과 충돌한 후 다시 P를 향해 운동한다. 그래프는 물체가 P를 처음 통과한 순간부터의 속도를 시간에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, 물체의 크기와 마찰은 무시한다.)

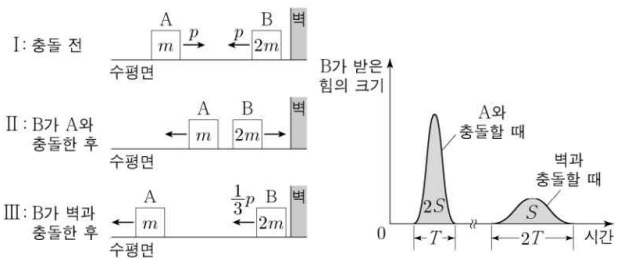
① P에서 Q까지의 거리는 $2vt$이다.
② $4t$일 때 물체는 다시 P를 지난다.
③ t일 때 물체의 운동량의 크기는 mv이다.
④ 충돌하는 동안 벽으로부터 물체가 받은 충격량의 크기는 $3mv$이다.
⑤ 벽으로부터 물체가 받은 힘의 방향은 충돌 전 물체의 운동 방향과 같다.

해설

① 면적은 $4vt$이다. (X)
② $6t$일 때 다시 P를 지난다. (X)
③ t일 때 운동량은 $2mv$이다. (X)
④ 물체가 받은 충격량은 $3mv$이다. (O)
⑤ 운동 방향과 반대로 힘을 받는다. (X)

예제2 복잡한 벽과의 충돌

그림 (가)의 I~III과 같이 마찰이 없는 수평면에서 운동량의 크기가 p로 같은 물체 A, B가 서로를 향해 등속도 운동을 하다가 충돌한 후 각각 등속도 운동을 하고, 이후 B는 벽과 충돌한 후 운동량의 크기가 $\frac{1}{3}p$인 등속도 운동을 한다. 그림 (나)는 (가)에서 B가 받은 힘의 크기를 시간에 따라 나타낸 것이다. B와 A, B와 벽의 충돌 시간은 각각 T, $2T$이고, 곡선과 시간 축이 만드는 면적은 각각 $2S$, S이다. A, B의 질량은 각각 m, $2m$이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. B가 받은 평균 힘의 크기는 A와 충돌하는 동안과 벽과 충돌하는 동안이 같다.
ㄴ. II에서 B의 운동량의 크기는 $\frac{1}{3}p$이다.
ㄷ. III에서 물체의 속력은 A가 B의 2배이다.

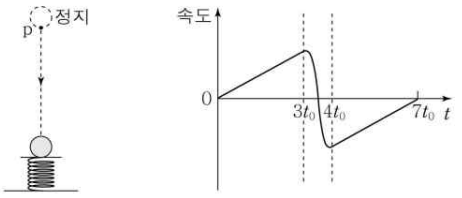
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 충격량은 2 : 1이고 걸린 시간은 1 : 2이므로 평균힘은 4 : 1이다. (X)
ㄴ. 내부 정보가 나와있으므로 한 물체에 대해서 생각해보자. B의 전체적 내용에 대해서 생각해보면 오른쪽으로 $2S$의 충격량과 왼쪽으로 S의 충격량을 받아서 총 오른쪽으로 S의 충격량을 받는다. 따라서 처음-마지막 변화량으로 $S=\frac{2}{3}p$가 된다. $-p+2S=\frac{1}{3}p$이다. (O)
ㄷ. AB의 충돌에 대해서 충돌 전 AB의 운동량의 합이 0이 되므로 충돌 후 속력 비는 2 : 1이다. (O)
(이에 대한 성질은 개념 요약에 정리해두었다.)

예제3 y축 충돌

그림 (가)는 시간 $t=0$일 때 질량이 m인 물체를 점 p에서 가만히 놓았더니 물체가 용수철을 압축시킨 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 물체의 속도를 t에 따라 나타낸 것이다. 용수철은 $t=3t_0$부터 $t=4t_0$까지 물체에 힘을 작용한다. $t=7t_0$일 때 물체는 p까지 올라간다.



(가) (나)

$t=3t_0$부터 $t=4t_0$까지 용수철이 물체에 작용한 평균 힘의 크기는? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기, 용수철의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

① $2mg$ ② $3mg$ ③ $5mg$ ④ $7mg$ ⑤ $8mg$

해설

속력이 0이 되는 0초와, $7t_0$를 시작과 끝으로 하자.

	$0\sim3t_0$	$3t_0\sim4t_0$	$4t_0\sim7t_0$
중력	$mg(3t_0)$	$mg(t_0)$	$mg(3t_0)$
평균 힘	×	$\overline{F}(t_0)$	×

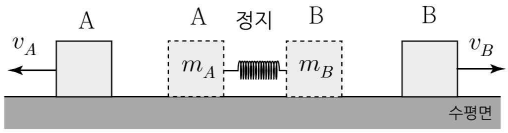
따라서, $\overline{F}=7mg$이다.

THEME

3 — 두 물체의 분리

정리1 분리

그림은 두 물체 A와 B가 서로 접촉되어 정지해있을 때 내부의 에너지(탄성 에너지)를 통해 분리가 되는 상황이다. 이때 두 물체의 질량 비 $m_A : m_B = a : b$이다.



개념1 분리되는 중

① 분리가 될 때 매 순간 두 물체의 속력 비는 $b : a$이다. (운동량 보존)
② 분리가 될 때 매 순간 두 물체가 이동한 거리의 비는 $b : a$이다. ($s = vt$)
③ 분리가 될 때 매 순간 두 물체가 받은 충격량의 비는 $1 : 1$이다. ($I = \int F dt$)
④ 분리가 될 때 매 순간 두 물체가 받은 운동량의 비는 $1 : 1$이다. (초기 운동량 $= 0$)
⑤ 분리가 될 때 매 순간 용수철이 두 물체에 작용하는 힘의 비는 $1 : 1$이다. (작용-반작용)
⑥ 분리가 될 때 매 순간 두 물체에 작용하는 힘의 비는 $b : a$이다. ($F = ma$)
⑦ 분리가 될 때 매 순간 두 물체의 운동 에너지의 비는 $b : a$이다.

개념2 분리된 후

① 분리 후 두 물체의 속력 비는 $b : a$이다.
② 분리 후 두 물체의 운동 에너지 비는 $b : a$이다.
③ 용수철이 자연의 길이일 때 분리됨

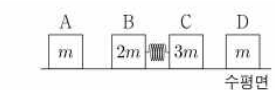
TIP 초기 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지

만약 A의 운동 에너지가 K이면, $K : K_B = b : a$에서 $K_B = \frac{a}{b}K$이다.

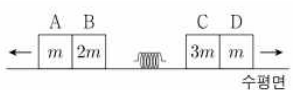
따라서 처음 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 $P = K + \frac{a}{b}K = \frac{a+b}{b}K$이다.

예제1 두 물체의 분리

그림 (가)와 같이 마찰이 없는 수평면에 물체 A~D가 정지해 있고, B와 C는 압축된 용수철에 접촉되어 있다. 그림 (나)는 (가)에서 B, C를 동시에 가만히 놓았더니 A와 B, C와 D가 각각 한 덩어리로 등속도 운동하는 모습을 나타낸 것이다. A, B, C, D의 질량은 각각 m, $2m$, $3m$, m이다.



(가)



(나)

충돌하는 동안 A, D가 각각 B, C에 작용하는 충격량의 크기를 I_1, I_2라 할 때, $\frac{I_1}{I_2}$은? (단, 용수철의 질량은 무시한다.)

① 1 ② $\frac{4}{3}$ ③ $\frac{3}{2}$ ④ 2 ⑤ $\frac{9}{4}$

해설

B, C의 분리될 때 속력 비는 $3 : 2$이다.
B의 속력을 $3v$, C의 속력을 $2v$라고 하자.
이때 서로 A, D와 충돌을 하면
충돌 후 속력은 AB계는 $2v$이고, CD의 계는 $\frac{3}{2}v$이다.

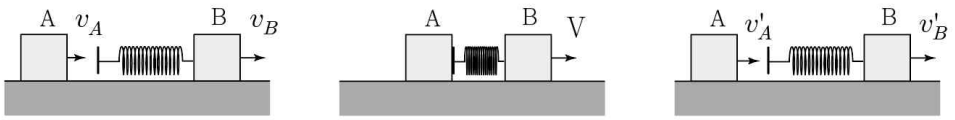
$$\therefore \frac{I_1}{I_2} = \frac{I_A}{I_D} = \frac{2}{\frac{3}{2}} = \frac{4}{3}$$

THEME

4 — 용수철의 최대 압축

정리1 용수철의 최대 압축

개념1 용수철의 최대 압축의 의미



[충돌 전] [용수철의 최대 압축] [충돌 후]

① 두 물체 사이에 용수철이 있고, 그 용수철이 압축되고 있다면 두 물체는 서로 가까워지고 있다.
반면, 용수철이 최대한 압축된 순간에는 두 물체가 더 이상 가까워지지도, 멀어지지도 않는다.
따라서, 용수철이 최대 압축된 상태란 두 물체의 속도가 동일함을 의미한다.
② 용수철이 최대 압축된 이후에는 더 이상 압축될 수 없으므로, 탄성력은 척력으로 작용한다.
③ 충분한 시간이 지난 후, 용수철이 자연 길이로 되돌아오면 물체 A와 B는 서로 분리하게 된다.

개념2 수학적 의미

① 용수철에 저장된 최대 탄성 에너지

$P_{\max}=\frac{1}{2}\frac{m_Am_B}{m_A+m_B}v_{AB}^2$ (단, v_{AB}는 초기의 A와 B의 상대 속도)

② 용수철의 최대 압축된 길이

$P_{\max}=\frac{1}{2}\frac{m_Am_B}{m_A+m_B}v_{AB}^2=\frac{1}{2}kx_{\max}^2$에서 $x_{\max}=v_{AB}\sqrt{\frac{1}{k}\times\frac{m_Am_B}{m_A+m_B}}$ 이다.

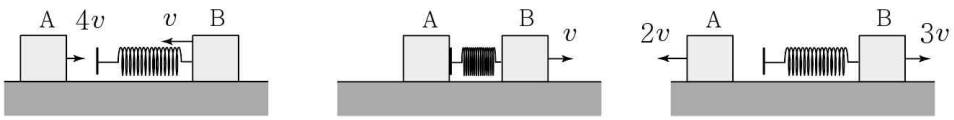
③ 용수철의 최대 탄성력

$F_{\max}=kx_{\max}=v_{AB}\sqrt{k\times\frac{m_Am_B}{m_A+m_B}}$

④ 용수철과 분리 후 속도

충돌 전과 후 물체의 속도는 용수철의 최대 압축에 대하여 대칭성을 만든다.
아래 그림과 같이 충돌 전 A와 B의 속도를 각각 $+4v$, $-v$라고 하자.
이후 A와 B가 충돌하며 용수철이 최대 압축될 때 속도가 $+v$가 될 때 A와 B가 충돌 후 각각의 속도는 $-2v$, $+3v$이다.

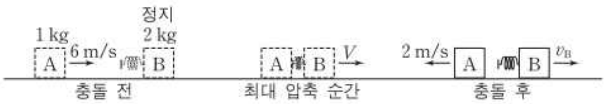
A의 처음 속도, 압축 속도, 나중 속도는 $+4v$, $+v$, $-2v$로 등차수열 관계에 있다.
B의 처음 속도, 압축 속도, 나중 속도는 $-v$, $+v$, $+3v$로 등차수열 관계에 있다.



[충돌 전] [용수철의 최대 압축] [충돌 후]

예제1 용수철의 최대 압축

그림은 마찰이 없는 수평면에서 물체 A가 용수철이 달린 정지해 있는 물체 B를 향해 $6m/s$로 등속 운동을 하다가 용수철을 최대로 압축시킨 후, A와 B가 다시 분리되어 각각 $2m/s$, v_B로 등속 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각 $1kg$, $2kg$이고, 용수철이 최대로 압축된 순간 A와 B의 속력은 V로 같다. (단, 용수철 상수는 $6N/m$이다.)



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 충돌 과정에서 역학적 에너지손실은 없고, A와 B는 충돌 전후 동일 직선 상에서 운동하며, 용수철의 질량은 무시한다.)

<보 기>

ㄱ. $V=2m/s$이다.
ㄴ. 용수철이 최대로 압축된 순간, 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지는 $12J$이다.
ㄷ. $v_B=3m/s$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. A의 속력 대칭성에 의해서 $V=2m/s$이다. (O)

ㄴ. $P_{\max}=\frac{1}{2}\cdot\frac{2}{3}\cdot 6^2=12J$ (O)

ㄷ. B의 속력 대칭성에 의하여 $v_B=4m/s$이다. (X)

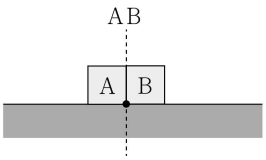
THEME

5 — 두 물체의 충돌

정리1 충돌에 대한 개념

개념1 충돌하는 위치

두 물체 A와 B가 충돌하는 순간의 위치는 무조건 같다. (그림 상으로는 부피가 있어보이지만 질점으로 생각하자.)
다른 표현으로는 A와 B 사이의 거리가 0이다.



개념2 충돌에 대한 순서 변화

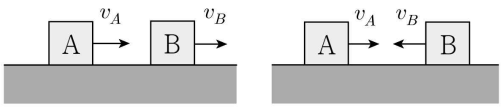
충돌 후 물체끼리 뚫고 지나가지 않는다. 즉, A와 B의 순서가 바뀌지 않는다는 것이다.



개념3 충돌하기 위한 속력 조건

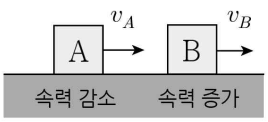
① 운동 방향이 동일하다면 $v_A > v_B$를 만족해야 한다.

② 운동 방향이 반대라면 언젠가는 충돌하므로 속력 조건이 없다.



개념4 충돌 이후의 속력 현상

초기 운동 방향이 동일하다면 충돌을 시키는 물체는 속력이 느려지고, 충돌을 당하는 물체는 속력이 빨라진다.



정리2 두 물체의 충돌

개념 속도 변화량의 비와 질량 비

① 두 개의 물체 A, B가 충돌할 때 서로에게 받는 충격량이 동일하므로 $I=m_A\Delta v_A$, $I=m_B\Delta v_B$를 만족한다.

따라서 두 물체의 질량 비는 속도 변화량의 비에 반비례 $\left(m\propto\frac{1}{|\Delta v|}\right)$이다.

② 이 공식은 속도 변화량의 비 또는 질량의 비를 알 수 있을 때만 사용할 수 있다.

③ 예를 들어 그림과 같이 질량이 $2m$인 A가 $3v$의 속력으로 진행하다가 질량이 $5m$인 B와 충돌하였다.
이후 A는 왼쪽으로 $2v$의 속력으로 튕겨져나간다면 B는 오른쪽으로 $2v$의 속력으로 튕겨져 나간다.



[충돌 전] [충돌 후]

예제1 두 물체의 분리

그림과 같이 우주 공간에서 점 O를 향해 질량이 각각 m인 물체 A, B와 질량이 $2m$인 우주인이 v_0의 일정한 속도로 운동한다. 우주인은 O에 도착하는 속도를 줄이기 위해 O를 향해 A, B의 순서로 물체를 하나씩 민다. A, B를 모두 민 후에, 우주인의 속도는 $\frac{1}{3}v_0$이 되고, A와 B는 속도가 서로 같으며 충돌하지 않는다.



A를 민 직후에 우주인의 속도는?

① $\frac{1}{3}v_0$ ② $\frac{4}{9}v_0$ ③ $\frac{2}{3}v_0$ ④ $\frac{7}{9}v_0$ ⑤ $\frac{8}{9}v_0$

해설

[처음과 끝]
우주인과 AB의 질량 비가 1 : 1이므로 속도 변화량의 비도 1 : 1이다. 우주인의 속도 변화량이 $-\frac{2}{3}v_0$이므로
A의 속도 변화량은 $+\frac{2}{3}v_0$가 되어서 $v=\frac{5}{3}v_0$이다.

[처음과 중간]
우주인+B와 A의 질량비가 3 : 1이므로 속도 변화량비는 1 : 3이다. A의 속도 변화량은 $-\frac{2}{9}v_0$ 따라서 $v'=\frac{7}{9}v_0$이다.

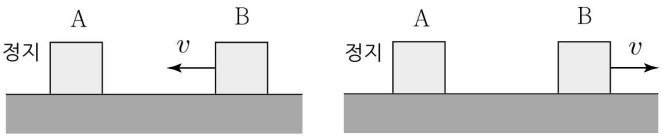
정리3 탄성 충돌

개념1 탄성 충돌의 개념

① 탄성 충돌은 역학적 에너지가 보존되는 충돌이다. 따라서 두 공의 충돌에서 변화한 운동 에너지는 동일하다.

② 탄성 충돌은 충돌 전과 후에 대해서 상대 속도의 크기가 같다. (방향은 반대가 된다.)

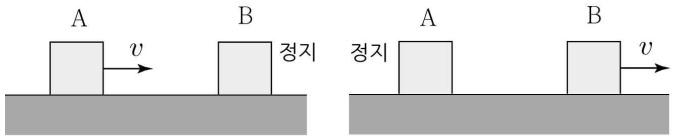
A의 입장에서 역학적 에너지가 보존되어야 하므로 B는 처음 속력과 동일하게 반대 방향으로 튕겨져 나가야만 한다.



[A의 관성계에서 본 B의 속력]

개념2 탄성 충돌 후 속도 교환이 일어남

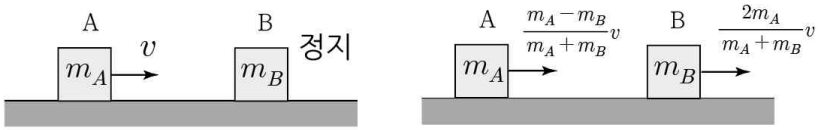
A가 B와 탄성 충돌한 이후 서로 속도 교환이 일어나면 A와 B의 질량이 같다. (운동량 보존으로 증명이 가능하다.)



[충돌 전] [충돌 후]

개념3 정지한 물체에 탄성 충돌

A가 정지해 있는 B와 탄성 충돌 한 이후 A의 속력은 $v_A' = \frac{m_A - m_B}{m_A + m_B} v$이고, B의 속력은 $v_B' = \frac{2m_A}{m_A + m_B} v$이다.



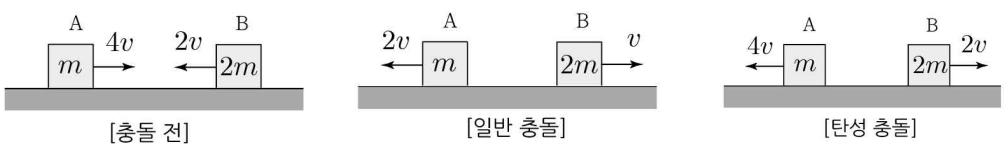
[충돌 전] [충돌 후]

TIP A의 충돌 후 운동 방향

A의 속도 공식에 의하여 $m_A < m_B$인 상황이라면 A는 왼쪽으로 진행하고, $m_A > m_B$인 상황이라면 A는 오른쪽으로 진행한다.

개념4 계의 운동량의 합이 0인 상황

그림은 두 물체의 운동량이 크기는 같고 방향은 반대인 상태를 나타내며, 이로 인해 계의 총 운동량은 0이다.
만약 탄성 충돌인 상태라면 처음 속도 그대로 튕겨져 나간다.

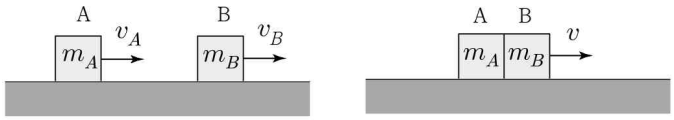


[충돌 전] [일반 충돌] [탄성 충돌]

정리4 완전 비탄성 충돌

개념 완전 비탄성 충돌

① 완전 비탄성 충돌은 충돌 후 두 물체가 붙어서 함께 운동하는 경우이다. (충돌 후 상대 속도는 0이 된다.)



[충돌 전] [충돌 후]

② 완전 비탄성 충돌은 운동량은 보존되고, 운동 에너지는 보존되지 않는다.

이때 손실된 운동 에너지의 값은 $E=\frac{1}{2}\frac{m_Am_B}{m_A+m_B}v_{AB}^2$을 만족한다. (단, v_{AB}는 초기 상대 속도)

TIP 증명

운동량 보존에 의하여 $m_Av_A+m_Bv_B=(m_A+m_B)v$를 만족하므로 $v=\frac{m_Av_A+m_Bv_B}{m_A+m_B}$이다.

손실된 에너지는 $E=(\frac{1}{2}m_Av_A^2-\frac{1}{2}m_Bv_B^2)-\frac{1}{2}(m_A+m_B)\frac{(m_Av_A+m_Bv_B)^2}{(m_A+m_B)^2}$를 정리하면

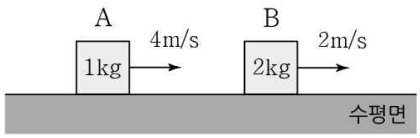
$E=\frac{1}{2}\frac{m_Av_A^2+m_Am_Bv_A^2+m_Am_Bv_B^2+m_B^2v_B^2-m_A^2v_A^2-2m_Am_Bv_Av_B-m_B^2v_B^2}{m_A+m_B}$에서 $E=\frac{1}{2}\frac{m_Am_B}{m_A+m_B}(v_A-v_B)^2$이다.

TIP 비탄성 충돌에서 손실된 에너지

손실된 에너지는 $E=\frac{1}{2}I(\triangle v_{AB})$를 만족한다.

예제2 탄성 충돌

그림은 질량이 $1kg$, $2kg$인 물체 A와 B가 탄성 충돌을 하는 상황이다. 충돌 후 A와 B의 속도를 구하시오.



해설

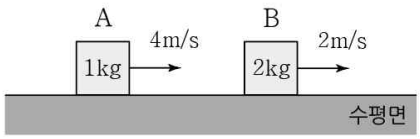
초기 상대 속도가 $2m/s$이므로 나중 상대 속도를 통해 $v_A = v$, $v_B = v + 2$라고 할 수 있다.

운동량 보존에 의하여 $8 = v + 2v + 4$에서 $v = \frac{4}{3}$이다.

따라서 $v_A = \frac{4}{3}$, $v_B = \frac{10}{3}$이다.

예제3 완전 비탄성 충돌

그림은 질량이 $1kg$, $2kg$인 물체 A와 B가 완전 비탄성 충돌을 하는 상황이다. 충돌 후 A와 B의 속도를 구하시오.



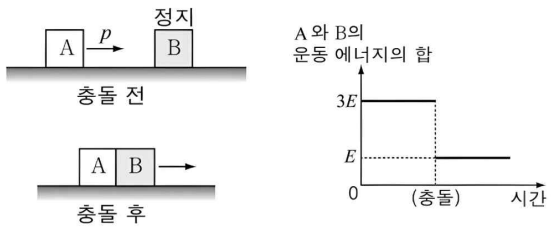
해설

충돌 후 A와 B의 속력은 v로 동일하다.

운동량 보존에 의하여 $8 = 3v$에서 $v = \frac{8}{3}$이다.

예제4 운동 에너지 조건

그림은 마찰이 없는 수평면에서 운동량의 크기가 p인 물체 A가 정지해 있는 물체 B에 충돌한 후 한 덩어리가 되어 운동하는 모습을 나타낸 것이고, 그래프는 충돌 전후 A와 B의 운동 에너지의 합을 시간에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 충돌 후 A와 B의 운동량의 합의 크기는 p이다.

ㄴ. 충돌하는 동안 A가 받은 충격량의 크기는 $\frac{2}{3}p$이다.

ㄷ. 질량은 B가 A의 2배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

충돌 전 운동 에너지의 합은 $3E = \frac{p^2}{2m_A}$이다.

충돌 후 운동 에너지의 합은 $E = \frac{p^2}{2(m_A + m_B)}$이다.

두 식을 연립하면 $2m_A = m_B$이다.

ㄱ. 운동량 보존에 의하여 정답이다. (O)

ㄴ. 충돌 전 A의 속력을 v라고 한다면, 충돌 후에 AB는 $\frac{1}{3}v$의 속력으로 진행한다. 따라서 A가 받은 충격량의 크기는 $\frac{2}{3}p$이다. (O)

ㄷ. $2m_A = m_B$이다. (O)

정리5 충돌과 상대 속도

개념1 두 물체의 상대 속도

충돌에 대해 A의 입장에서 생각해보자.

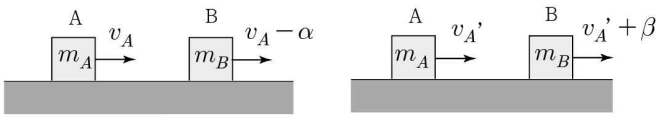
A와 B가 충돌한다면 A의 입장에서는 B가 나에게 다가왔다가 다시 반대 방향으로 돌아간다.

따라서 A의 속도를 기준으로 충돌 전 B의 속력은 $v_A-\alpha$, 충돌 후 B의 속력은 $v_A'+\beta$이다. (정말 중요한 발상이다.)

이제 속력을 알았으니 운동량 보존을 사용하면 $m_Av_A+m_B(v_A-\alpha)=m_Av_A'+m_B(v_A'+\beta)$이고,

$m_Av_A+m_Bv_A-m_B\alpha=m_Av_A'+m_Bv_A'+m_B\beta$, 이 식을 v_A'에 대해 정리하면 $v_A'=v_A-(\alpha+\beta)\dfrac{m_B}{m_A+m_B}$이다.

(단, α, β는 충돌 전과 후의 상대 속도의 크기이다.)



[충돌 전] [충돌 후]

개념2 두 물체의 상대 속도 변화량

두 물체의 충돌 전의 상대 속도 $v_{AB}=v_B-v_A$이고, 두 물체의 충돌 후의 상대 속도는 $v_{AB}'=v_B'-v_A'$이다.

두 상대 속도를 빼면 $\Delta v_{AB}=(v_B'-v_B)-(v_A'-v_A)$이므로 $\Delta v_{AB}=\Delta v_B-\Delta v_A$이다. (즉, 벡터처럼 생각하면 된다.)

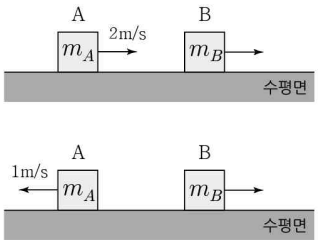
개념3 세 물체의 상대 속도의 덧셈

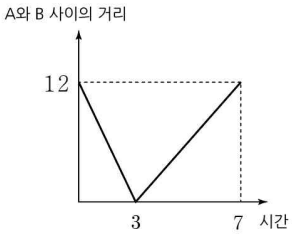
서로 다른 상대 속도가 제시되어 있을 때 원하는 상대 속도를 구하고 싶다면 아래 공식을 사용하면 된다.

AB) $v_{AB}=v_B-v_A$, BC) $v_{BC}=v_C-v_B$, AC) $v_{AC}=v_C-v_A$를 정리하면 $v_{AC}=v_{AB}+v_{BC}$이다. (즉, 벡터처럼 생각하면 된다.)

예제5 두 물체의 상대 속도

그림은 질량이 m_A, m_B인 두 물체 A와 B가 충돌 하기 전과 후의 모습을 나타낸 것이다. A와 B의 질량 비를 구하시오.





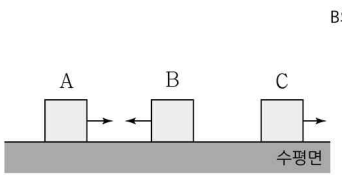
해설

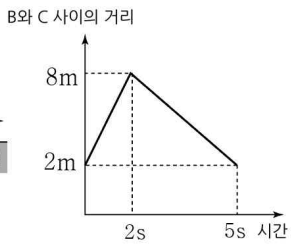
A에 대해서 식을 세우면 $v_A' = -1 = +2 - 7\dfrac{m_B}{m_A + m_B}$,

$3m_A + 3m_B = 7m_B$ 따라서 $m_A : m_B = 4 : 3$이다.

예제6 두 물체의 상대 속도 변화량

그림은 세 물체 A, B, C가 운동하고 있는 상황이다. A와 B는 2초일 때 충돌을 한다. 충돌 전과 후에 대해 B의 속도 변화량을 구하시오.





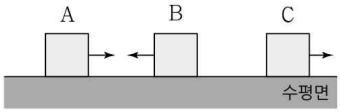
해설

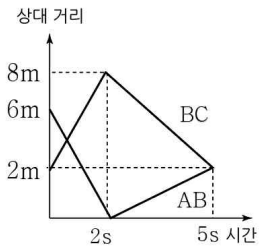
공식을 사용하면 $\Delta v_{BC} = -\Delta v_B = -2 - 3$에서

$\Delta v_B = +5$를 만족한다.

예제7 세 물체의 상대 속도 덧셈

그림은 세 물체 A, B, C가 운동하고 있는 상황이다. A와 B는 2초일 때 충돌을 한다. 충돌 전과 후에 대한 A와 C의 상대 속도를 구하시오.





해설

충돌 전) $v_{AC} = v_{AB} + v_{BC} = -3 + 3 = 0$

충돌 후) $v_{AC}' = v_{AB}' + v_{BC}' = +\dfrac{2}{3} - 2 = -\dfrac{4}{3}$

정리6 여러 물체의 충돌

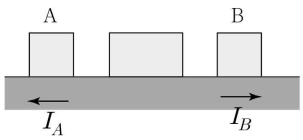
개념1 충돌의 순서

여러 물체가 충돌할 때, 물체들은 순차적으로 서로 부딪히며 충돌 과정이 일어난다.
즉, 한 물체가 다른 물체와 충돌한 후 다시 같은 물체와 충돌하는 경우는 발생하지 않는다.
만약 3개의 물체 A, B, C가 있을 때 A와 B의 충돌이 일어났다면 그 다음에는 B와 C의 충돌, 이후에 A와 B의 충돌...
번갈아가며 충돌이 일어난다.

개념2 추론 알고리즘 (① 가장자리, ② 계, ③ 재충돌 확인)

STEP1 가장자리에 있는 물체

가장자리에 있는 물체는 외부로 힘을 받는다.



STEP2 계의 질량 중심의 이동

계의 질량 중심은 $x_{cm}=\frac{F_1x_1+F_2x_2}{F_1+F_2}=\frac{m_A(v_At)+m_B(v_Bt)}{m_A+m_B}=\frac{m_Av_A+m_Bv_B}{m_A+m_B}t=\frac{p}{\sum m}t$이다.

따라서 $v_{cm}=\frac{x_{cm}}{t}=\frac{p}{\sum m}$에 의하여 충돌에 관계없이 계의 질량 중심은 등속도로 움직임을 알 수 있다.

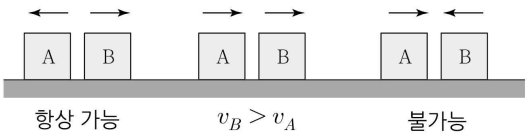
만약 처음 계의 질량 중심의 위치를 알 수 있다면, 충돌 후 계의 질량 중심의 위치는 $x_{cm}'=x_{cm}+v_{cm}t$이다.

STEP3 계의 운동량 보존

운동량 보존에 의하여 충돌 전과 후에 대하여 물체들의 운동량 변화량의 합은 0이다.

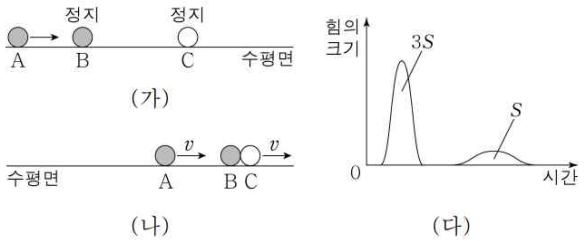
STEP4 충돌 후 속도 조건

충돌이 완전히 끝났다면 그림과 같은 속도 조건을 만족해야 한다.



예제8 단순 계산

그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에서 물체 A가 정지해 있는 두 물체 B, C를 향해 등속 운동을 하는 모습을, (나)는 A, B가 충돌하고 다시 B, C가 충돌한 후 A, B, C가 모두 같은 방향으로 속력이 v인 등속 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (다)는 두 번의 충돌 과정에서 B가 받은 힘의 크기를 시간에 따라 나타낸 것으로 시간 축과 곡선이 만드는 면적은 각각 $3S$, S이다. A와 B의 질량은 같다.



(다)

(가)에서 A의 속력은?

① $\frac{5}{2}v$ ② $3v$ ③ $\frac{7}{2}v$ ④ $4v$ ⑤ $5v$

해설

STEP1 충돌 과정 분석

AB, BC의 순서로 충돌이 반복된다.

STEP2 풀이

내부 충격량이 나와있으므로 운동량 표를 그려 해결해보자.
처음 A의 운동량을 p라고 설정하자.
그리고 A, B의 질량을 m라 하자.

A	B	C
p	0	0
$p-3S$	$3S$	0
$p-3S$	$2S$	S

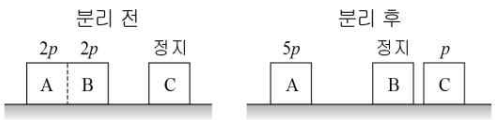
충돌이 다 끝난 뒤 B에서 $2S=mv$를 만족하므로

A에서 $p-3S=p-\frac{3}{2}mv=mv$를 만족한다.

따라서 $p=\frac{5}{2}mv$를 만족하므로 처음 A의 속력은 $\frac{5}{2}v$이다.

예제9 추론형

그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에서 결합된 물체 A, B와 물체 C의 어느 순간의 모습을 나타낸 것으로 A, B의 운동량의 크기는 $2p$로 같고, C는 정지해 있다. 그림 (나)는 (가)의 A와 B가 분리된 후의 모습을 나타낸 것으로, A, C의 운동량의 크기는 각각 $5p$, p이고, B는 정지해 있다. A, B, C의 질량은 모두 같다.



(가)

(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B, C는 일직선상에서 운동한다.)

<보 기>

ㄱ. (나)에서 세 물체의 운동량의 합의 크기는 $4p$이다.
ㄴ. (가)에서 A와 B의 운동방향은 왼쪽이다.
ㄷ. (나)에서 A와 C의 운동방향은 반대이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

STEP1 가장 자리에 있는 물체

A와 C는 양 끝으로 충격량을 받는다.
A의 경우 나중에 운동량의 크기가 더 커졌으므로
A의 방향은 왼쪽이고, C의 방향은 오른쪽이다.
따라서 계의 운동량은 왼쪽으로 $4p$이다.

STEP2 분리 전

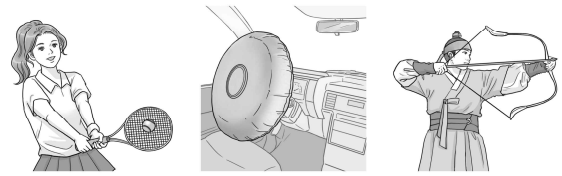
분리 전 A, B의 속도의 방향은 운동량 보존에 의해서 왼쪽이다.

ㄱ. 세 물체의 운동량의 합의 크기는 $4p$이다. (O)
ㄴ. (가)에서 A와 B의 운동방향은 왼쪽이다. (O)
ㄷ. (나)에서 A와 C의 운동방향은 반대이다. (O)

유형 01 운동량과 충격량의 예

01 2022학년도 6월 5번 정답률 86%

5. 그림 A, B, C는 충격량과 관련된 예를 나타낸 것이다.



A. 라켓으로 공을 친다.　B. 충돌할 때 에어백이 펴진다.　C. 활시위를 당겨 화살을 쏜다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A에서 라켓의 속력을 더 크게 하여 공을 치면 공이 라켓으로부터 받는 충격량이 커진다.
ㄴ. B에서 에어백은 탑승자가 받는 평균 힘을 감소시킨다.
ㄷ. C에서 활시위를 더 당기면 활시위를 떠날 때 화살의 운동량이 커진다.

① ㄱ　② ㄷ　③ ㄱ, ㄴ　④ ㄴ, ㄷ　⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

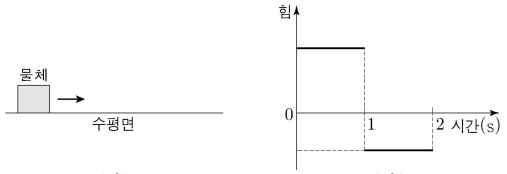
해 설

ㄱ. 라켓의 속력을 더 크게 하여 공을 치면 공이 라켓으로부터 받는 충격량이 커진다. (O)
ㄴ. 충돌 시간이 커지므로 받는 평균 힘을 감소시킨다. (O)
ㄷ. 힘을 받는 시간과 복원력을 증가시키므로 운동량이 커진다. (O)

유형 02 외력을 받는 경우

01 2022학년도 9월 8번 정답률 70%

8. 그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에 정지해 있던 물체가 수평면과 나란한 방향의 힘을 받아 0~2초까지 오른쪽으로 직선 운동을 하는 모습을, (나)는 (가)에서 물체에 작용한 힘을 시간에 따라 나타낸 것이다. 물체의 운동량의 크기는 1초일 때가 2초일 때의 2배이다.



(가) (나)

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

<보 기>

ㄱ. 1.5초일 때, 물체의 운동 방향과 가속도 방향은 서로 반대이다.
ㄴ. 물체가 받은 충격량의 크기는 0~1초까지가 1~2초까지의 2배이다.
ㄷ. 물체가 이동한 거리는 0~1초까지가 1~2초까지의 $\frac{3}{2}$배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. 조건에 의해 물체의 속력은 1초일 때가 2초일 때의 2배이다.

$\frac{F_1}{F_1-F_2}=2 \rightarrow F_1=2F_1-2F_2 \rightarrow F_1=2F_2$

따라서 1.5초일 때 물체의 운동 방향과 가속도 방향은 반대이다. (O)

ㄴ. 면적은 0~1초까지가 1~2초까지의 2배이다. (O)

ㄷ.

	0초	1초	2초
등공①	0	2	1
등공④		$1m$	$1.5m$

(X)

02 2023학년도 수능 9번 정답률 46%

9. 그림 (가)는 $+x$방향으로 속력 v로 등속도 운동하던 물체 A가 구간 P를 지난 후 속력 $2v$로 등속도 운동하는 것을, (나)는 $+x$방향으로 속력 $3v$로 등속도 운동하던 물체 B가 P를 지난 후 속력 v_B로 등속도 운동하는 것을 나타낸 것이다. A, B는 질량이 같고, P에서 같은 크기의 일정한 힘을 $+x$방향으로 받는다.



(가) (나)

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

<보 기>

ㄱ. P를 지나는 데 걸리는 시간은 A가 B보다 크다.
ㄴ. 물체가 받은 충격량의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
ㄷ. $v_B=4v$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. 직관적으로 A의 처음 속력이 느리므로 더 천천히 통과한다. (O)

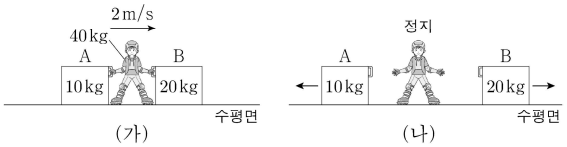
ㄴ. 가속도와 거리가 같으므로 속도 제곱의 변화량이 동일하다.
따라서 $3v^2=v_B^2-9v^2$을 통해 $v_B=2\sqrt{3}v$이다.
속도 변화량을 통해 물체가 받은 충격량은 (가)>(나)이다. (O)

ㄷ. 앞선 계산을 통해 $v_B=2\sqrt{3}v$이다. (X)

유형 03 물체의 분리

01 2022학년도 수능 9번 정답률 50%

9. 그림 (가)와 같이 마찰이 없는 수평면에서 질량이 40 kg인 학생이 질량이 각각 10 kg, 20 kg인 물체 A, B와 함께 2 m/s의 속력으로 등속도 운동한다. 그림 (나)는 (가)에서 학생이 A, B를 동시에 수평 방향으로 0.5초 동안 밀었더니, 학생은 정지하고 A, B는 등속도 운동하는 모습을 나타낸 것이다. (나)에서 운동량의 크기는 B가 A의 8배이다.



물체를 미는 동안 학생이 B로부터 받은 평균 힘의 크기는? (단, 학생과 물체는 동일 직선상에서 운동한다.)

① 160 N ② 240 N ③ 320 N ④ 360 N ⑤ 400 N

정 답 ③

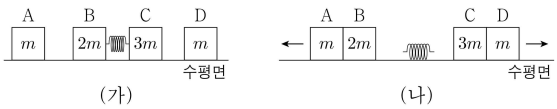
해 설

계에 대해서 운동량 보존을 사용하면 $140 = 7p$에서 $p = 20$이다.

B에 대해서 평균힘은 $\overline{F} = \frac{160-40}{0.5} = 240N$이다.

02 2023학년도 9월 8번 정답률 50%

8. 그림 (가)와 같이 마찰이 없는 수평면에 물체 A~D가 정지해 있고, B와 C는 압축된 용수철에 접촉되어 있다. 그림 (나)는 (가)에서 B, C를 동시에 가만히 놓았더니 A와 B, C와 D가 각각 한 덩어리로 등속도 운동하는 모습을 나타낸 것이다. A, B, C, D의 질량은 각각 m, $2m$, $3m$, m이다.



충돌하는 동안 A, D가 각각 B, C에 작용하는 충격량의 크기를 I_1, I_2라 할 때, $\frac{I_1}{I_2}$은? (단, 용수철의 질량은 무시한다.)

① 1 ② $\frac{4}{3}$ ③ $\frac{3}{2}$ ④ 2 ⑤ $\frac{9}{4}$

정 답 ②

해 설

B, C의 분리될 때 속력의 비는 3 : 2이다.

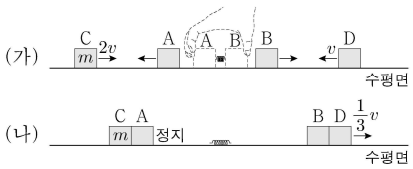
따라서 B의 속력을 $3v$, C의 속력을 $2v$라고 하자.

이때 서로 A, D와 충돌을 하면 충돌 후 속력은 AB 계는 $2v$이고, CD의 계는 $\frac{3}{2}v$이다.

$$\therefore \frac{I_1}{I_2} = \frac{I_A}{I_D} = \frac{2}{\frac{3}{2}} = \frac{4}{3}$$

03 2024학년도 9월 17번 정답률 27%

17. 그림 (가)와 같이 마찰이 없는 수평면에서 물체 A와 B 사이에 용수철을 넣어 압축시킨 후 A와 B를 동시에 가만히 놓았더니, 정지해 있던 A와 B가 분리되어 등속도 운동을 하는 물체 C, D를 향해 등속도 운동을 한다. 이때 C, D의 속력은 각각 $2v$, v이고, 운동 에너지는 C가 B의 2배이다. 그림 (나)는 (가)에서 물체가 충돌하여 A와 C는 정지하고, B와 D는 한 덩어리가 되어 속력 $\frac{1}{3}v$로 등속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다.



C의 질량이 m일 때, D의 질량은? (단, 물체는 동일 직선상에서 운동하고, 용수철의 질량은 무시한다.) [3점]

① $\frac{1}{2}m$ ② m ③ $\frac{3}{2}m$ ④ $2m$ ⑤ $\frac{5}{2}m$

정 답 ②

해 설

STEP1 AB의 분리(내력)

A와 B가 분리되면 운동량이 p로 동일하다.

STEP2 AC의 충돌

AC가 충돌해서 정지하므로 C의 운동량도 p이다.

운동 에너지 조건을 보면 운동 에너지는 C가 B의 2배이다.

$K=\frac{p^2}{2m}$이므로 B의 질량은 $2m$이다.

또한 B의 운동량도 p이므로 속력은 v이다.

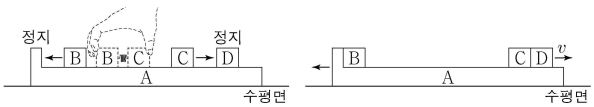
STEP3 BD의 충돌

속도 변화량 비가 $\frac{2}{3}:\frac{4}{3}=1:2$이므로 질량비는 $2:1$이다.

따라서 D의 질량은 m이다.

04 2024학년도 수능 8번 정답률 54%

8. 그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에서 정지한 물체 A 위에 물체 D와 용수철을 넣어 압축시킨 물체 B, C를 올려놓고 B와 C를 동시에 가만히 놓았더니, 정지해 있던 B와 C가 분리되어 각각 등속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 먼저 C가 D와 충돌하여 한 덩어리가 되어 속력 v로 등속도 운동을 하고, 이후 B가 A와 충돌하여 한 덩어리가 되어 등속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. A, B, C, D의 질량은 각각 $5m$, $2m$, m, m이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체는 동일 연직면상에서 운동하고, 용수철의 질량은 무시하며, A의 윗면은 마찰이 없고 수평면과 나란하다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. (가)에서 B와 C가 용수철에서 분리된 직후 운동량의 크기는 B와 C가 같다.

ㄴ. (가)에서 B와 C가 용수철에서 분리된 직후 B의 속력은 v이다.

ㄷ. (나)에서 한 덩어리가 된 A와 B의 속력은 $\frac{2}{5}v$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. 운동량 보존에 의해서 B와 C의 운동량 크기는 같다. (O)

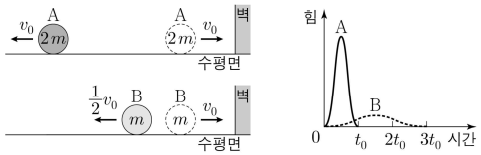
ㄴ. C와 D의 질량비가 $1:1$이므로 속도 변화량비는 $1:1$이다.
따라서 C의 처음 속력은 $2v$이다.
B와 C의 질량비는 $2:1$이므로 속도 변화량비는 $1:2$이다.
따라서 B와 C가 분리된 직후 B의 속력은 v이다. (O)

ㄷ. $2mv=7mV$이므로 $V=\frac{2}{7}v$이다. (X)

유형 04 벽과의 충돌

01 2024학년도 6월 7번 정답률 60%

7. 그림 (가)와 같이 마찰이 없는 수평면에서 v_0의 속력으로 등속도 운동을 하던 물체 A, B가 벽과 충돌한 후, 충돌 전과 반대 방향으로 각각 v_0, $\frac{1}{2}v_0$의 속력으로 등속도 운동을 한다. 그림 (나)는 A, B가 충돌하는 동안 벽으로부터 받은 힘의 크기를 시간에 따라 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각 $2m$, m이고, 충돌 시간은 각각 t_0, $3t_0$이다.



(가)

(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A가 충돌하는 동안 벽으로부터 받은 충격량의 크기는 $4mv_0$이다.

ㄴ. (나)에서 B의 곡선과 시간 축이 만드는 면적은 $\frac{1}{2}mv_0$이다.

ㄷ. 충돌하는 동안 벽으로부터 받은 평균 힘의 크기는 A가 B의 8배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

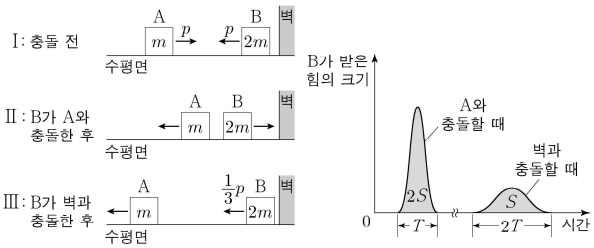
ㄱ. 운동량 변화량은 $4mv_0$이다. (O)

ㄴ. 운동량 변화량은 $\frac{3}{2}mv_0$이다. (X)

ㄷ. 면적비는 $8:3$이고, 걸린 시간비는 $1:3$이다. 따라서 평균 힘의 비는 $8:1$이다. (O)

02 2024학년도 9월 10번 정답률 41%

10. 그림 (가)의 Ⅰ~Ⅲ과 같이 마찰이 없는 수평면에서 운동량의 크기가 p로 같은 물체 A, B가 서로를 향해 등속도 운동을 하다가 충돌한 후 각각 등속도 운동을 하고, 이후 B는 벽과 충돌한 후 운동량의 크기가 $\frac{1}{3}p$인 등속도 운동을 한다. 그림 (나)는 (가)에서 B가 받은 힘의 크기를 시간에 따라 나타낸 것이다. B와 A, B와 벽의 충돌 시간은 각각 T, $2T$이고, 곡선과 시간 축이 만드는 면적은 각각 $2S$, S이다. A, B의 질량은 각각 m, $2m$이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B는 동일 직선상에서 운동한다.)

<보 기>

ㄱ. B가 받은 평균 힘의 크기는 A와 충돌하는 동안과 벽과 충돌하는 동안이 같다.

ㄴ. Ⅱ에서 B의 운동량의 크기는 $\frac{1}{3}p$이다.

ㄷ. Ⅲ에서 물체의 속력은 A가 B의 2배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 충격량은 2 : 1이고 걸린 시간은 1 : 2이므로 평균힘은 4 : 1이다. (X)

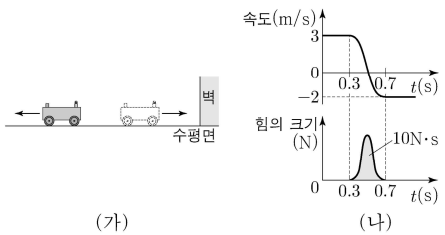
ㄴ. 내부 정보가 나와있으므로 한 물체에 대해서 생각해보자.
B의 전체적 내용에 대해서 생각해보면 오른쪽으로 $2S$의 충격량과 왼쪽으로 S의 충격량을 받아서 총 오른쪽으로 S의 충격량을 받는다. 따라서 처음-마지막 변화량으로 $S=\frac{2}{3}p$가 된다.

$-p+2S=\frac{1}{3}p$이다. (O)

ㄷ. AB의 충돌에 대해서 충돌 전 AB의 운동량의 합이 0이 되므로 충돌 후 속력 비는 2 : 1이다. (O)
(이에 대한 성질은 개념 요약에 정리해두었다.)

03 2024학년도 수능 7번 정답률 67%

7. 그림 (가)와 같이 마찰이 없는 수평면에서 등속도 운동을 하던 수레가 벽과 충돌한 후, 충돌 전과 반대 방향으로 등속도 운동을 한다. 그림 (나)는 수레의 속도와 수레가 벽으로부터 받은 힘의 크기를 시간 t에 따라 나타낸 것이다. 수레와 벽이 충돌하는 0.4초 동안 힘의 크기를 나타낸 곡선과 시간 축이 만드는 면적은 10N·s이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 충돌 전후 수레의 운동량 변화량의 크기는 10kg·m/s이다.

ㄴ. 수레의 질량은 2kg이다.

ㄷ. 충돌하는 동안 벽이 수레에 작용한 평균 힘의 크기는 40N이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

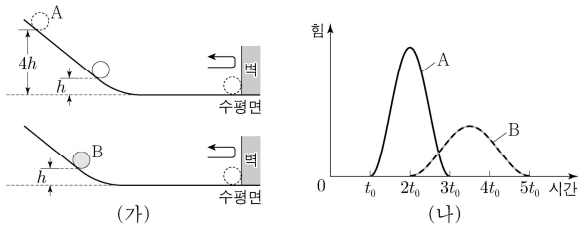
ㄱ. 충격량이 10이므로 운동량 변화량 크기도 10이다. (O)

ㄴ. 충격량이 10이고, 속도 변화가 5이므로 질량은 2이다. (O)

ㄷ. 충돌 시간이 0.4이므로 25N이다. (X)

04 2025학년도 6월 14번 정답률 51%

14. 그림 (가)와 같이 질량이 같은 두 물체 A, B를 빗면에서 높이가 각각 $4h$, h인 지점에 가만히 놓았더니, 각각 벽과 충돌한 후 반대 방향으로 운동하여 높이 h에서 속력이 0이 되었다. 그림 (나)는 A, B가 벽과 충돌하는 동안 벽으로부터 받은 힘의 크기를 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가)

(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. A의 운동량의 크기는 충돌 직전이 충돌 직후의 2배이다.

ㄴ. (나)에서 곡선과 시간 축이 만드는 면적은 A가 B의 $\frac{3}{2}$배이다.

ㄷ. 충돌하는 동안 벽으로부터 받은 평균 힘의 크기는 A가 B의 2배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. 에너지 보존에 의해 속력이 2배이므로 운동량도 2배이다. (O)

ㄴ. (가)의 속도 변화량을 통해 3 : 2이다. (O)

ㄷ. $F=\frac{I}{t}$에서 $\frac{3}{2}:\frac{2}{3}=9:4$이다. (X)

05 2025학년도 9월 10번 정답률 68%

10. 다음은 수레를 이용한 충격량에 대한 실험이다.

〔실험 과정〕

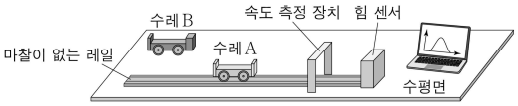
(가) 그림과 같이 속도 측정 장치, 힘 센서를 수평면상의 마찰이 없는 레일과 수직하게 설치한다.

(나) 레일 위에서 질량이 0.5kg인 수레 A가 일정한 속도로 운동하여 고정된 힘 센서에 충돌하게 한다.

(다) 속도 측정 장치를 이용하여 충돌 직전과 직후 A의 속도를 측정한다.

(라) 충돌 과정에서 힘 센서로 측정한 시간에 따른 힘 그래프를 통해 충돌 시간을 구한다.

(마) A를 질량이 1.0kg인 수레 B로 바꾸어 (나)~(라)를 반복한다.



〔실험 결과〕

수레	질량(kg)	속도(m/s)		충돌 시간(s)
		충돌 직전	충돌 직후	
A	0.5	0.4	−0.2	0.02
B	1.0	0.4	−0.1	0.05

※ 충돌 시간: 수레가 힘 센서로부터 힘을 받는 시간

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

<보 기>

ㄱ. 충돌 직전 운동량의 크기는 A가 B보다 작다.

ㄴ. 충돌하는 동안 힘 센서로부터 받은 충격량의 크기는 A가 B보다 크다.

ㄷ. 충돌하는 동안 힘 센서로부터 받은 평균 힘의 크기는 A가 B보다 작다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

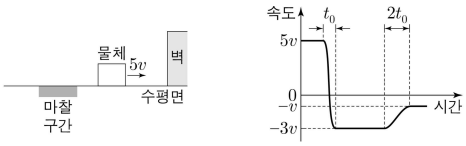
ㄱ. 충돌 직전 운동량의 크기는 A가 B보다 작다. (O)

ㄴ. 질량 비는 1 : 2이고, 속도 변화량의 비는 6 : 5이다. 따라서 충격량의 비는 6 : 10이다. (X)

ㄷ. 충돌 시간의 비는 2 : 5이므로 평균 힘의 비는 3 : 2이다. (X)

06 2025학년도 수능 6번 정답률 74%

6. 그림 (가)는 수평면에서 물체가 벽을 향해 등속도 운동하는 모습을 나타낸 것이다. 물체는 벽과 충돌한 후 반대 방향으로 등속도 운동하고, 마찰 구간을 지난 후 등속도 운동한다. 그림 (나)는 물체의 속도를 시간에 따라 나타낸 것으로, 물체는 벽과 충돌하는 과정에서 t_0 동안 힘을 받고, 마찰 구간에서 $2t_0$ 동안 힘을 받는다. 마찰 구간에서 물체가 운동 방향과 반대 방향으로 받은 평균 힘의 크기는 F이다.



(가) (나)

벽과 충돌하는 동안 물체가 벽으로부터 받은 평균 힘의 크기는? (단, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

① $2F$ ② $4F$ ③ $6F$ ④ $8F$ ⑤ $10F$

정 답 ④

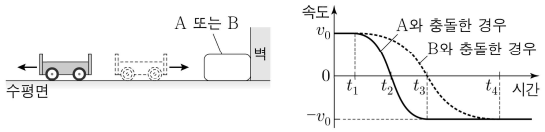
해 설

마찰 구간에 대해서 $F=\frac{2mv}{2t_0}=\frac{mv}{t_0}$이다.

벽과 충돌에 대해서 $\frac{8mv}{t_0}=8F$이다.

07 2026학년도 6월 8번 정답률 69%

8. 그림 (가)와 같이 등속도 운동하던 수레가 물체 A 또는 B와 충돌한 후, 충돌 전과 반대 방향으로 등속도 운동한다. 그림 (나)는 수레의 속도를 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

<보 기>

ㄱ. $t_1 \sim t_2$ 동안 수레의 운동량 변화량의 크기는 A와 충돌한 경우가 B와 충돌한 경우보다 작다.
ㄴ. $t_2 \sim t_3$ 동안 수레가 받은 충격량의 크기는 A와 충돌한 경우가 B와 충돌한 경우보다 크다.
ㄷ. 충돌하는 동안 수레가 받은 평균 힘의 크기는 A와 충돌한 경우가 B와 충돌한 경우보다 작다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설

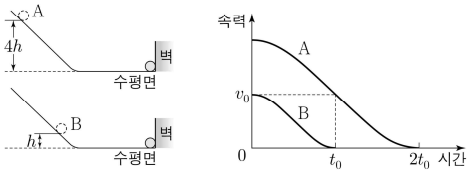
ㄱ. A의 속도 변화는 v_0이고 B의 속도 변화는 v_0보다 작으므로 운동량 변화량의 크기는 A > B이다. (X)

ㄴ. A의 속도 변화는 v_0이고 B의 속도 변화는 v_0보다 크므로 운동량 변화량의 크기는 A < B이다. (O)

ㄷ. 평균 힘의 크기는 $\overline{F}=\frac{I}{t}$에서 충격량은 같고, 걸린 시간은 A < B이므로 평균 힘은 A > B이다. (X)

08 2026학년도 수능 7번 정답률 65%

7. 그림 (가)와 같이 높이가 각각 $4h$, h인 지점에 가만히 놓은 물체 A, B가 빗면을 내려와 시간 $t=0$일 때 벽과 충돌을 시작하였다. 그림 (나)는 물체가 벽과 충돌하는 동안 A, B의 속력을 시간에 따라 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각 $2m$, m이다.



(가) (나)

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

<보 기>

ㄱ. $0\sim t_0$ 동안 물체가 받은 충격량의 크기는 A가 B의 2배이다.
ㄴ. $t_0\sim 2t_0$ 동안 A의 운동량 변화량의 크기는 mv_0이다.
ㄷ. 벽과 충돌하는 동안 물체가 받은 평균 힘의 크기는 A가 B의 2배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

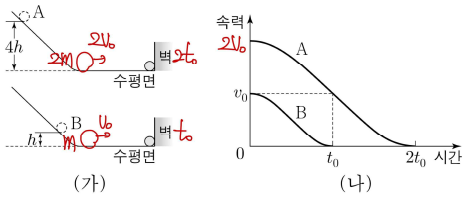
정 답 ③

해 설

ㄱ. 질량비는 $2:1$이고, 속도 변화량의 비는 $1:1$이므로 물체가 받은 충격량은 A가 B의 2배이다. (O)

ㄴ. A의 운동량 변화량의 크기는 $2mv_0$이다. (X)

ㄷ. $\overline{F}=\dfrac{\Delta p}{t} \Rightarrow \dfrac{4}{2}:\dfrac{1}{1}=2:1$ (O)

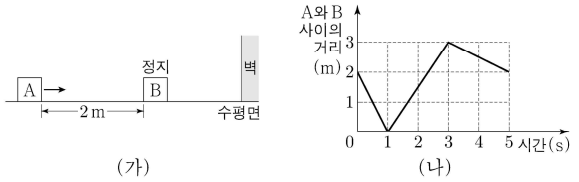


(가) (나)

유형 05 두 물체의 충돌

01 2022학년도 9월 18번 정답률 34%

18. 그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에서 물체 A가 정지해 있는 물체 B를 향하여 등속도 운동을 하는 모습을, (나)는 (가)에서 A와 B 사이의 거리를 시간에 따라 나타낸 것이다. 벽에 충돌 직후 B의 속력은 충돌 직전과 같다. A, B는 질량이 각각 m_A, m_B이고, 동일 직선상에서 운동한다.



(가) (나)

$m_A : m_B$는? [3점]

① 5 : 3 ② 3 : 2 ③ 1 : 1 ④ 2 : 5 ⑤ 1 : 3

정 답 ④

해 설

STEP1 AB 충돌 전

충돌 전 B는 정지해있으므로 A의 속도는 +2이다.

STEP2 AB 충돌 후

A의 속력을 v라고 가정하면 B는 $\frac{3}{2}$의 속력으로 멀어져야하므로

B의 속력은 $v+\frac{3}{2}$이다.

STEP3 B의 벽과 충돌 후

B는 벽과 충돌 직후 속력은 충돌 직전과 같으므로 속도는

$-v-\frac{3}{2}$이다. 이때 $v_{AB}=-\frac{1}{2}=-v-\frac{3}{2}-(+v)$에서

$v=-\frac{1}{2}$이다. 따라서 A는 B와 충돌 후 $-\frac{1}{2}$로 진행하고,

B는 A와 충돌 후 +1로 진행한다.

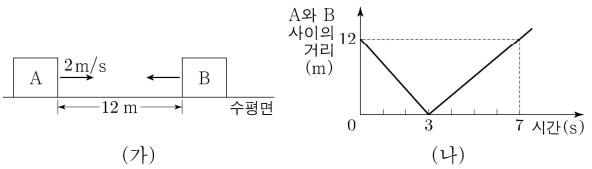
STEP4 A와 B의 충돌 해석

충돌에 대해 A의 속도 변화량은 $-\frac{5}{2}$이고, B의 속도 변화량은

+1이다. 속도 변화량의 비는 5 : 2이므로 질량 비는 2 : 5이다.

02 2022학년도 수능 13번 정답률 72%

13. 그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에서 물체 A, B가 등속도 운동하는 모습을, (나)는 A와 B 사이의 거리를 시간에 따라 나타낸 것이다. A의 속력은 충돌 전이 2m/s이고, 충돌 후가 1m/s이다. A와 B는 질량이 각각 m_A, m_B이고 동일 직선상에서 운동한다. 충돌 후 운동량의 크기는 B가 A보다 크다.



(가) (나)

$m_A : m_B$는? [3점]

① 1 : 1 ② 4 : 3 ③ 5 : 3 ④ 2 : 1 ⑤ 5 : 2

정 답 ②

해 설

STEP1 충돌 전

상대 속도를 통하여 B는 처음에 왼쪽으로 $2m/s$이다.

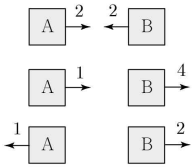
STEP2 충돌 후

조건에 의해 충돌 후 운동량의 크기는

B가 A보다 크다.

A의 속도는 +1일 때 B는 +4이고,

−1일 때 B는 +2이다.



CASE 1. A의 속도 +1, B의 속도 +4

속도 변화량의 비가 1 : 6이므로 질량 비는 6 : 1이다.

운동량의 크기를 통하여 6 > 4이므로 모순이다.

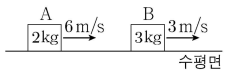
CASE 2. A의 속도 −1 B의 속도 +2

속도 변화량의 비가 3 : 4이므로 질량 비는 4 : 3이다.

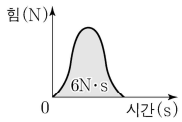
운동량의 크기를 통하여 4 < 6이므로 조건을 만족한다.

03 2023학년도 6월 9번 정답률 65%

9. 그림 (가)는 수평면에서 질량이 각각 2kg, 3kg인 물체 A, B가 각각 6m/s, 3m/s의 속력으로 등속도 운동하는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 A와 B가 충돌하는 동안 A가 B에 작용한 힘의 크기를 시간에 따라 나타낸 것이다. 곡선과 시간 축이 만드는 면적은 6N·s이다.



(가)



(나)

충돌 후, 등속도 운동하는 A, B의 속력을 각각 v_A, v_B라 할 때, $\frac{v_B}{v_A}$는? (단, A와 B는 동일 직선상에서 운동한다.)

① $\frac{4}{3}$ ② $\frac{3}{2}$ ③ $\frac{5}{3}$ ④ 2 ⑤ $\frac{5}{2}$

정 답 ⑤

해 설

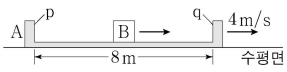
A의 운동량은 $p_A = 12-6 = 6$이므로 $v_A = 3m/s$이다.

B의 운동량은 $p_B = 9+6 = 15$이므로 $v_B = 5m/s$이다.

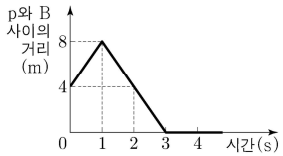
따라서 $\frac{v_B}{v_A} = \frac{5}{3}$이다.

04 2023학년도 수능 16번 정답률 29%

16. 그림 (가)와 같이 수평면에서 벽 p와 q 사이의 거리가 8m인 물체 A가 4m/s의 속력으로 등속도 운동하고, 물체 B가 p와 q 사이에서 등속도 운동한다. 그림 (나)는 p와 B 사이의 거리를 시간에 따라 나타낸 것이다. B는 1초일 때와 3초일 때 각각 q와 p에 충돌한다. 3초 이후 A는 5m/s의 속력으로 등속도 운동한다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A와 B는 동일 직선상에서 운동하며, 벽과 B의 크기, 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

<보 기>

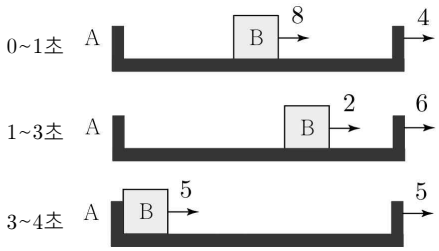
ㄱ. 질량은 A가 B의 3배이다.
ㄴ. 2초일 때, A의 속력은 6m/s이다.
ㄷ. 2초일 때, 운동 방향은 A와 B가 같다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

초기에 A의 속력이 +4일 때 상대 속도가 +4이므로
B의 속도는 +8이다.
마지막에 대해서 A의 속력이 +5이고, 그래프에서
A와 B의 상대 속도가 0이므로 그림과 같은 상황이 된다.



ㄱ. 처음과 끝에 대해서 A와 B의 속도 변화량의 비는 1 : 3이므로 질량비는 3 : 1이다. (O)

ㄴ. $v_B' = +8-8\times\frac{3}{4} = +2m/s$이므로 $v_A' = +6m/s$이다. (O)

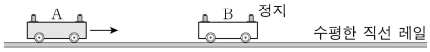
ㄷ. 2초일 때, 운동 방향은 A와 B가 같다. (O)

05 2025학년도 6월 11번 정답률 72%

11. 다음은 충돌하는 두 물체의 운동량에 대한 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 그림과 같이 수평한 직선 레일 위에서 수레 A를 정지한 수레 B에 충돌시킨다. A, B의 질량은 각각 2kg, 1kg이다.



(나) (가)에서 시간에 따른 A와 B의 위치를 측정한다.

〔실험 결과〕

시간(초)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
A의 위치(cm)	6	12	18	24	28	31	34	37
B의 위치(cm)	26	26	26	26	30	36	42	48

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

<보 기>

ㄱ. 0.2초일 때, A의 속력은 0.4m/s이다.
ㄴ. 0.5초일 때, A와 B의 운동량의 합은 크기가 1.2kg·m/s이다.
ㄷ. 0.7초일 때, A와 B의 운동량은 크기가 같다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

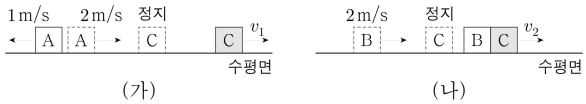
ㄱ. 0.2초는 충돌 전이다. $v_A = \frac{0.06}{0.1} = 0.6m/s$이다. (X)

ㄴ. 0.5초는 B의 위치가 움직임을 통해 충돌 후이다.
$p_A = 2\times0.3 = 0.6$, $p_B = 1\times0.6 = 0.6$이다. (O)

ㄷ. 운동량의 크기는 같다. (O)

06 2026학년도 6월 6번 정답률 63%

6. 그림 (가)는 물체 A가, (나)는 물체 B가 각각 마찰이 없는 수평면에서 속력 2m/s로 등속도 운동하여 정지해 있는 물체 C와 충돌한 후의 모습을 나타낸 것이다. A, B, C의 질량은 각각 1kg, 1kg, 3kg이다. (가)에서 A, C는 서로 반대 방향으로 각각 속력 1m/s, v_1로, (나)에서 한 덩어리가 된 B, C는 속력 v_2로 등속도 운동한다.



$\frac{v_1}{v_2}$은? (단, A, C는 동일 직선상에서 운동한다.)

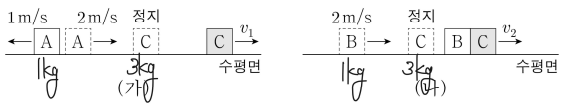
① $\frac{4}{3}$ ② $\frac{3}{2}$ ③ $\frac{5}{3}$ ④ 2 ⑤ 3

정 답 ④

해 설

(가)에서 A의 속도 변화가 3만큼 있었으므로 C의 속도 변화는 1이다. ⇒ $v_1 = 1$m/s

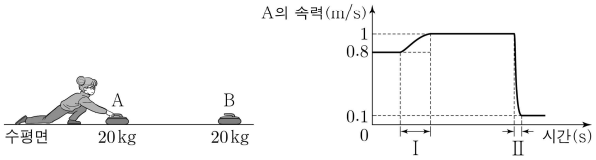
(나)에서 B의 운동량은 2이므로 운동량 보존을 통해 $v_2 = \frac{1}{2}$m/s이다.



따라서 $\frac{v_1}{v_2} = 2$이다.

07 2026학년도 9월 7번 정답률 78%

7. 그림 (가)는 수평면에서 컬링 선수가 스톤 A와 함께 운동하다가 정지해 있는 스톤 B를 향해 A를 미는 모습을 나타낸 것이고, (나)는 A의 속력을 시간에 따라 나타낸 것으로 구간 Ⅰ, Ⅱ의 시간 간격은 각각 0.2초, 0.05초이다. A, B의 질량은 20kg으로 같다.



(가)

(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B는 동일 직선상에서 운동한다.)

<보 기>

ㄱ. Ⅰ에서 A가 받은 충격량의 크기는 4N·s이다.
ㄴ. A와 B가 충돌한 직후, B의 속력은 0.7m/s이다.
ㄷ. A가 받은 평균 힘의 크기는 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 8배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

A와 B의 질량이 동일하고 탄성 충돌일 때 속도 교환이 일어나지만 속도 교환이 일어나지 않았으므로 일반 충돌이다. 따라서 A가 받은 충돌 에너지가 충분히 크지 않으므로 충돌 전 운동 방향을 유지하며 +0.1m/s로 운동한다.

ㄱ. Ⅰ에서 A가 받은 충격량은 $mv = 20 \times 0.2 = 4$이다. (O)

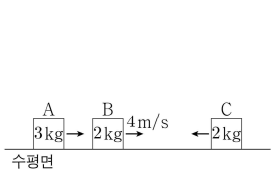
ㄴ. A의 속도 변화가 0.9만큼 일어났으므로 B의 속도 변화도 0.9만큼 일어난다. (질량이 동일하므로) 이때 B의 초기 속도가 0이므로 충돌 직후 B의 속력은 0.9m/s이다. (X)

ㄷ. 평균힘 $\overline{F} = \frac{\Delta p}{t} \Rightarrow \frac{0.2}{0.2} : \frac{0.9}{0.05} = 1 : 18$이다. (X)

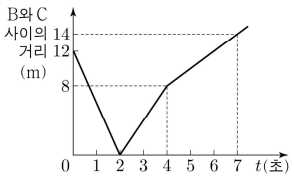
유형 06 세 물체의 충돌

01 2022학년도 6월 17번 정답률 31%

17. 그림 (가)와 같이 마찰이 없는 수평면에서 물체 A, B, C가 등속도 운동을 한다. A와 C는 같은 속력으로 B를 향해 운동하고, B의 속력은 4m/s이다. A, B, C의 질량은 각각 3kg, 2kg, 2kg이다. 그림 (나)는 (가)에서 B와 C 사이의 거리를 시간 t에 따라 나타낸 것이다. A, B, C는 동일 직선상에서 운동한다.



(가)



(나)

$t=0$에서 $t=7$초까지 A가 이동한 거리는? (단, 물체의 크기는 무시한다.) [3점]

① 10m ② 11m ③ 12m ④ 13m ⑤ 14m

정 답 ①

해 설

STEP1 충돌 파악

처음에 B와 C 사이의 거리가 0이 되므로, BC 충돌 이후 AB 충돌이 일어남을 알 수 있다.

STEP2 BC 충돌 전

처음에 B와 C의 상대 속도가 $6m/s$이므로 C의 초기 속도는 $-2m/s$이고, 조건에 의해 A와 C의 속력이 동일하므로 A의 초기 속도는 $+2m/s$이다.

STEP3 BC 충돌 후

B와 C가 충돌하면 $v_B{}' = +4-10\times\frac{1}{2} = -1m/s$로 이동한다.

STEP4 AB 충돌

A와 B가 충돌하면 $\Delta v_{BC} = \Delta v_C - \Delta v_B = -\Delta v_B$에서 $\Delta v_B = +2m/s$가 된다.

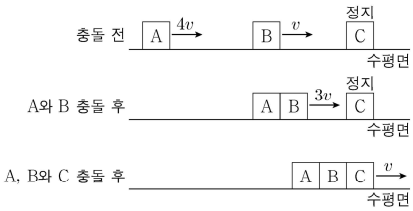
이때 A와 B의 질량 비는 3 : 2이므로 속도 변화량의 비는 2 : 3이 된다.

$\Delta v_A = -\frac{4}{3}m/s$가 되고, 충돌 후 A의 속력은 $+\frac{2}{3}m/s$이다.

따라서 $s_A = (2m/s\times 4s)+(\frac{2}{3}m/s\times 3s) = 10m$이다.

02 2023학년도 6월 13번 정답률 63%

13. 그림과 같이 수평면의 일직선상에서 물체 A, B가 각각 속력 $4v$, v로 등속도 운동하고 물체 C는 정지해 있다. A와 B는 충돌하여 한 덩어리가 되어 속력 $3v$로 등속도 운동한다. 한 덩어리가 된 A, B와 C는 충돌하여 한 덩어리가 되어 속력 v로 등속도 운동한다.



B, C의 질량을 각각 m_B, m_C라 할 때, $\frac{m_C}{m_B}$는? [3점]

① 3 ② 4 ③ 5 ④ 6 ⑤ 7

정 답 ④

해 설

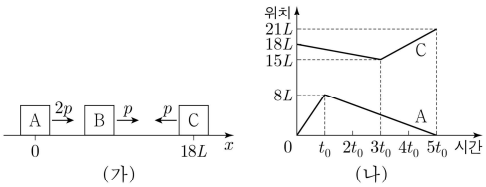
AB 충돌에 대하여 A의 속도 변화는 $-v$이고, B의 속도 변화는 $+2v$이므로 질량 비는 2 : 1이다.

최종과 처음에 대해서 운동량 보존을 사용하면

3A + 3B = A + B + C → C = 6B이다.

03 2023학년도 9월 13번 정답률 44%

13. 그림 (가)와 같이 마찰이 없는 수평면에서 운동량의 크기가 각각 $2p$, p, p인 물체 A, B, C가 각각 $+x$, $+x$, $-x$방향으로 동일 직선상에서 등속도 운동한다. 그림 (나)는 (가)에서 A와 C의 위치를 시간에 따라 나타낸 것이다. B와 C의 질량은 같다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기는 무시한다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. 질량은 C가 A의 4배이다.

ㄴ. $2t_0$일 때, B의 운동량의 크기는 $\frac{7}{2}p$이다.

ㄷ. $4t_0$일 때, 속력은 C가 B의 5배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

속도에 대한 정보가 있고 운동량 정보로 제시되어 있으므로 운동량 표로 문제를 풀자.

A	B	C
$2p$	p	$-p$
$-\frac{1}{2}p$	$\frac{7}{2}p$	$-p$
$-\frac{1}{2}p$	$-\frac{1}{2}p$	$3p$

ㄱ. 초기 상태의 운동량에 대해서 써보자.

A) $2p=8M$

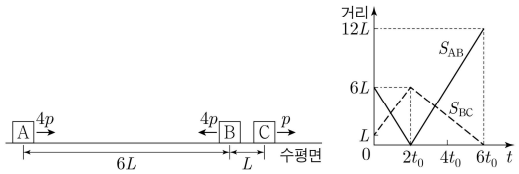
C) $p=m \rightarrow m=4M$ (O)

ㄴ. B의 운동량의 크기는 $\frac{7}{2}p$이다. (O)

ㄷ. 6배이다. (X)

04 2024학년도 6월 19번 정답률 27%

19. 그림 (가)와 같이 마찰이 없는 수평면에서 물체 A, B, C가 등속도 운동을 한다. A, B, C의 운동량의 크기는 각각 $4p$, $4p$, p이다. 그림 (나)는 A와 B 사이의 거리(S_{AB}), B와 C 사이의 거리(S_{BC})를 시간 t에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B, C는 동일 직선상에서 운동하고, 물체의 크기는 무시한다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. $t=t_0$일 때, 속력은 A와 B가 같다.
ㄴ. B와 C의 질량은 같다.
ㄷ. $t=4t_0$일 때, B의 운동량의 크기는 $4p$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

STEP1 AB의 충돌

AB에 대해서 운동량이 나와있지만, 속도에 대한 말이 없으므로 A와 B의 질량을 알 수가 없다.
즉, 값이 아니라 변화량을 이용해서 문제를 풀어야 한다.

$\Delta v_B = +\frac{3}{2} + \frac{5}{2} = +4$, AB의 속도 변화량은 $\Delta v_{AB} = +3+3 = +6$이므로 $\Delta v_A = -2$이다. 따라서 속도 변화량의 비가 1 : 2이므로 질량비는 2 : 1이다.

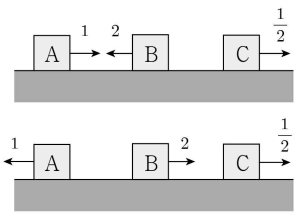
STEP2 운동량

초기의 운동량이 동일하고, 질량비가 2 : 1이므로 초기 속력의 비는 1 : 2이다. 그리고 초기에 운동량의 합이 0이고, (나)에서 AB의 상대속도의 변화가 없으므로 탄성 충돌이므로 나중 속력과 처음 속력이 같다. $\Delta v_B = +4$이므로 B의 처음, 나중 속력은 2이다.

STEP3 C의 정보

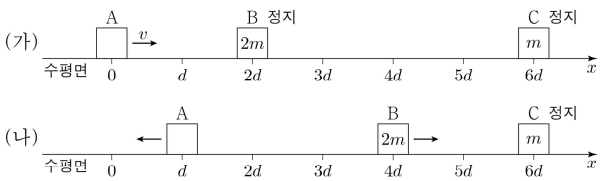
초기) $v_C - v_B = \frac{5}{2} \rightarrow v_C = -2 + \frac{5}{2} = \frac{1}{2}$

B와 C의 운동량은 4 : 1이고 속력이 4 : 1이므로 질량은 B, C가 같다.



05 2025학년도 9월 12번 정답률 61%

12. 그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에서 물체 A가 정지해 있는 물체 B를 향해 속력 v로 등속도 운동하는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 A와 B가 $x=2d$에서 충돌한 후 각각 등속도 운동하여, A가 $x=d$를 지나는 순간 B가 $x=4d$를 지나는 모습을 나타낸 것이다. 이후, B는 정지해 있던 물체 C와 $x=6d$에서 충돌하여, B와 C가 한 덩어리로 $+x$방향으로 속력 $\frac{1}{3}v$로 등속도 운동을 한다. B, C의 질량은 각각 $2m$, m이다.



A의 질량은? (단, 물체의 크기는 무시하고, A, B, C는 동일 직선상에서 운동한다.) [3점]

① m ② $\frac{4}{5}m$ ③ $\frac{3}{5}m$ ④ $\frac{2}{5}m$ ⑤ $\frac{1}{5}m$

정 답 ②

해 설

$x=2d$에서 A와 B가 충돌함에 대해서 이동한 거리의 비를 통해 속력은 1 : 2임을 알 수 있다.

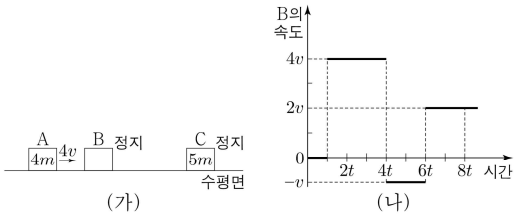
이후 B와 C가 충돌함에 대해서 운동량이 mv이므로 B가 A와 충돌한 후 속력은 $\frac{1}{2}v$임을 알 수 있다.

따라서 A의 충돌 후 속력은 $\frac{1}{4}v$이다.

A와 B의 충돌에서 속도 변화량의 비가 5 : 2이므로 질량 비는 2 : 5이다. 따라서 A의 질량은 $\frac{4}{5}m$이다.

06 2025학년도 수능 10번 정답률 67%

10. 그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에서 물체 A가 정지해 있는 물체 B, C를 향해 속력 $4v$로 등속도 운동하는 모습을 나타낸 것이다. A는 정지해 있는 B와 충돌한 후 충돌 전과 같은 방향으로 속력 $2v$로 등속도 운동한다. 그림 (나)는 B의 속도를 시간에 따라 나타낸 것이다. A, C의 질량은 각각 $4m$, $5m$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체는 동일 직선상에서 운동하고, 물체의 크기는 무시한다.)

<보 기>

ㄱ. B의 질량은 $2m$이다.
ㄴ. $5t$일 때, C의 속력은 $2v$이다.
ㄷ. A와 C 사이의 거리는 $8t$일 때가 $7t$일 때보다 $2vt$만큼 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. A와 B의 충돌에서 속도 변화량의 비가 1 : 2이므로 질량 비는 2 : 1이다. 따라서 B의 질량은 $2m$이다. (O)

ㄴ. $5t$일 때는 B와 C의 충돌 이후이다.
B와 C의 질량 비는 2 : 5이므로 속도 변화량의 비는 5 : 2이다.
B의 속도 변화량은 그래프를 통하여 $5v$이므로 C의 속도 변화량은 $2v$이다. (O)

ㄷ. $7t$는 다시 A와 B가 재충돌 한 이후이다.
따라서 A와 B의 상대 속도를 구한 후 t를 곱하면 답이 된다.

A와 B의 질량 비는 2 : 1이므로 속도 변화량의 비는 1 : 2이고,
B의 속도 변화량은 $3v$이므로 A의 속도 변화량은 $\frac{3}{2}v$이다.
A는 $+\frac{1}{2}v$로 진행한다. 상대 속도는 $\frac{3}{2}v$이므로 $\frac{3}{2}vt$이다. (X)

07 2026학년도 9월 10번 정답률 72%

10. 그림과 같이 마찰이 없는 수평면에서 질량이 각각 M, m, $2m$인 물체 A, B, C가 각각 등속도 운동을 한다. A와 B가 먼저 충돌하여 한 덩어리가 된 후 C와 충돌하여 A, B, C가 한 덩어리가 되어 운동한다. 충돌 전, A, B, C의 운동량의 크기는 각각 $3p$, p, $4p$이고, A와 C의 운동 방향은 각각 $+x$방향, $-x$방향이다. C의 속력은 충돌 후가 충돌 전의 $\frac{1}{5}$배이다.



M은? (단, A, B, C는 동일 직선상에서 운동한다.) [3점]

① $\frac{2}{3}m$ ② m ③ $\frac{4}{3}m$ ④ $2m$ ⑤ $\frac{8}{3}m$

정 답 ④

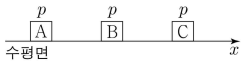
해 설

최종적으로 한 덩어리가 되어 운동하려면 처음 B의 운동 방향은 왼쪽 방향이다. 따라서 운동량 보존을 적용하면

$2p=(M+3m)\frac{2}{5}v=2mv$에서 $M=2m$이다.

08 2026학년도 수능 10번 정답률 59%

10. 그림과 같이 마찰이 없는 수평면에서 운동량의 크기가 p로 같고 질량이 각각 $4m$, $2m$, $3m$인 물체 A, B, C가 x축을 따라 등속도 운동을 하고 있다. A와 B가 충돌한 후, B와 C가 충돌한다. B가 A, C로부터 받은 충격량의 크기는 각각 $\frac{3}{5}p$, $\frac{1}{5}p$이다.



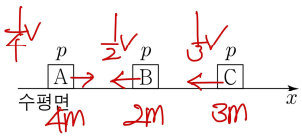
B와 C가 충돌한 후, B의 운동량의 크기와 방향은? (단, A, B, C는 동일 직선상에서 운동한다.) [3점]

	크기	방향		크기	방향
①	$\frac{1}{5}p$	$+x$방향	②	$\frac{1}{5}p$	$-x$방향
③	$\frac{2}{5}p$	$+x$방향	④	$\frac{2}{5}p$	$-x$방향
⑤	$\frac{3}{5}p$	$-x$방향			

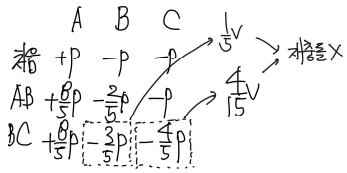
정 답 ⑤

해 설

B가 받는 충격량은 A > C 이므로 처음에 AB는 마주보며 생각해보자.



이제 운동량에 대한 정보가 제시되었으므로 운동량에 대한 테이블을 그려서 최종 정보로 재충돌이 일어나는지 확인해보자.



재충돌이 일어나지 않으므로 이것이 정답이다.

따라서 B의 운동량은 $-\frac{3}{5}p$이다.

PART 4
일과 에너지

개념 유형

(1) 기본 개념
(2) 높이가 같은 두 빗면
(3) 마찰력이 있는 빗면

기출 유형

(1) 레일 운동
(2) 빗면 운동
(3) 두 물체의 분리
(4) 두 물체의 충돌

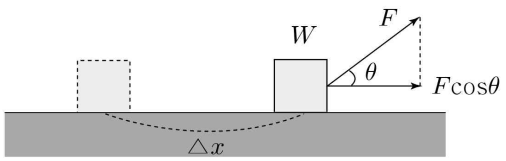
THEME
1 — 기본 개념

정리1 일의 정의

개념1 일의 정의

물체에 x축 방향으로 힘을 줬을 때 힘이 한 일은 $W_x = \int \vec{F}_x \cdot d\vec{x}$이다. (단, $\cdot$는 내적을 의미한다.)

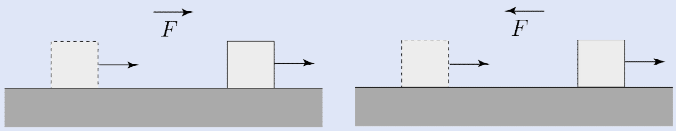
이를 교과 과정으로 표현하면 $W = F\Delta x\cos\theta$이다. (참고로 힘은 벡터이지만, 일은 스칼라이다.)



TIP 일의 부호

일은 스칼라이지만 양(+)과 음(−)의 값을 모두 가질 수 있다. 부호가 방향을 의미하는 것은 아니다.

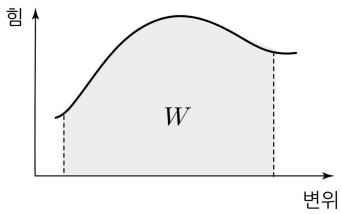
① 양의 일($W>0$)은 힘의 방향과 변위의 방향 동일하다.
② 음의 일($W<0$)은 힘의 방향과 변위의 방향 반대이다.



[$W>0$인 경우] [$W<0$인 경우]

개념2 힘-변위 그래프

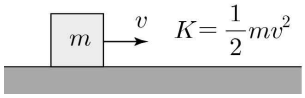
일의 정의 $W_x = \int \vec{F}_x \cdot d\vec{x}$에 의하여 힘-변위 그래프에서 면적은 일을 의미한다.



정리2 운동 에너지

개념1 운동 에너지

물체의 운동 에너지의 정의는 $K=\frac{1}{2}mv^2$이고, 속도의 제곱이므로 항상 양(+)의 값이다.



TIP 알짜일과 운동 에너지의 다양한 표현

① A의 알짜힘 : $F_{A,\text{알짜}}=m_Aa=\frac{dp_A}{dt}=\frac{dK_A}{ds}$

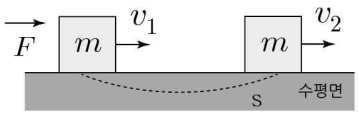
② A의 운동 에너지 : $K_A=\frac{1}{2}mv_A^2=\frac{p_A^2}{2m_A}=m_Aas$

개념2 운동 에너지 변화량

수평면 위에서 질량이 m인 물체에 F의 힘을 가하여 가속도 a로 가속시키는 상황이 있다. (알짜힘이 F가 된다.)

등가속도 공식 ③의 $2as=v_2^2-v_1^2$에 $\frac{1}{2}m$을 곱하면 $mas=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$이 되어서 $W_{\text{알짜}}=\triangle K$가 된다.

(단, 알짜힘의 방향과 최종 변위의 방향이 같으면 운동 에너지는 증가한다.)



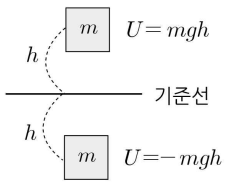
정리3 중력 퍼텐셜 에너지

개념1 중력 퍼텐셜 에너지

① 중력 퍼텐셜 에너지란, 중력이 가지고 있는 잠재적인 에너지라는 뜻이다.

② 연직면에서 중력 퍼텐셜 에너지는 $U=\begin{cases} mgh\ (h>0) \\ -mgh\ (h<0) \end{cases}$ 이다.

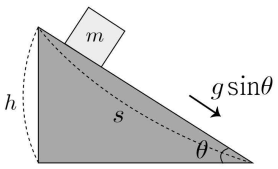
③ 기준선보다 물체가 아래에 있다면, 중력 위치 에너지는 음수가 될 수 있다.
(단, h는 기준선으로부터 떨어진 거리이다.)



개념2 빗면에서 중력 퍼텐셜 에너지

빗면에서 중력 퍼텐셜 에너지는 $mgh=m\frac{g'}{\sin\theta}s\sin\theta=mg's$로 표현할 수 있다.

정리하면 $U=mg's$이다. (단, g'는 빗면 중력 가속도)



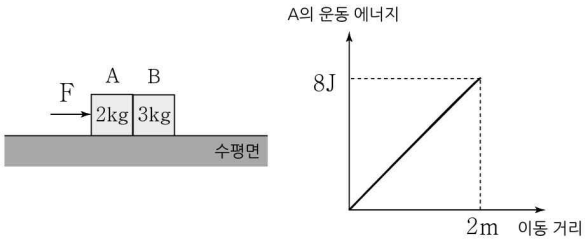
개념3 중력 퍼텐셜 에너지 변화량

중력 퍼텐셜 에너지가 감소하려면 물체가 아래로 이동해야하고, 중력이 한 일이 양(+)의 값이 되려면 물체는 아래로 이동해야한다.

따라서 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 중력이 한 일($W_g=-\triangle U$)과 같다.

예제1 운동 에너지-이동 거리 그래프

그림은 질량이 $2kg$, $3kg$인 두 물체 A, B가 정지해있고, F의 힘을 작용했을 때 A의 운동 에너지를 이동 거리에 따라 표현한 것이다. F의 크기를 구하시오.

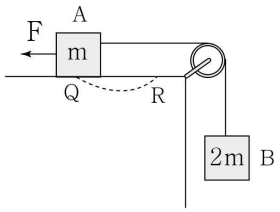


해설

$W_{A,\text{알짜}} = \Delta K_{\text{알짜}}$를 통해 $F_{A,\text{알짜}} = \frac{dK}{ds}$를 만족한다.
따라서 그래프의 기울기를 통해 A의 알짜힘은 $4N$이다.
계의 가속도는 $2m/s^2$이므로 $F = 10N$이다.

예제2 운동 에너지의 변화량 해석

A가 Q, R로 이동하는 동안 A의 운동 에너지 감소량은 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같다. F의 크기를 구하시오.



해설

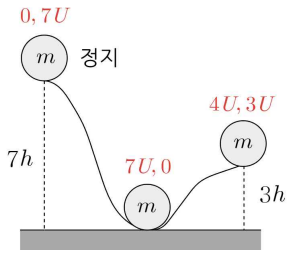
조건을 통해 $\frac{\Delta K_A}{\Delta U_B} = \frac{mas}{2mgs} = 1$에서 $a = 2g$임을 알 수 있다. $a = 2g = \frac{F-2mg}{3m}$을 통해 $F = 8mg$이다.

정리4 역학적 에너지

개념1 역학적 에너지(Mechanical energy)

① 역학적 에너지(E) = 운동 에너지(K) + 중력 퍼텐셜 에너지(U) + 탄성 퍼텐셜 에너지(P)

② $E_1 + W = E_2$ (처음 역학적 에너지 + 비보존력이 한 일 = 나중 역학적 에너지)



개념2 보존력과 비보존력

① 보존력

힘이 작용해도 물체의 역학적 에너지를 변화시키지 않는 힘이다. (중력, 전기력, 탄성력)

즉, 물체에 보존력만 작용하면 물체의 역학적 에너지는 보존된다. (역학적 에너지 보존)

② 비보존력

힘이 작용하면 물체의 역학적 에너지를 무조건 변화시킨다. (보존력 외의 모든 힘)

- 역학적 에너지 증가

  운동 방향과 같은 방향으로 외력이 작용하는 경우 역학적 에너지가 증가한다.

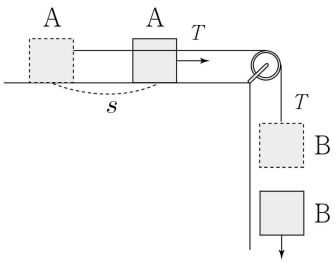
  A는 운동 방향으로 비보존력(장력)이 작용하므로 역학적 에너지가 Ts만큼 증가한다.

- 역학적 에너지 감소

  운동 방향과 반대 방향으로 외력이 작용하는 경우 역학적 에너지가 감소한다.

  B는 운동 반대 방향으로 비보존력(장력)이 작용하므로 역학적 에너지가 Ts만큼 감소한다.

  (참고로 계에 대해서 중력 외에 다른 힘이 없으므로 전체 역학적 에너지는 보존된다.)

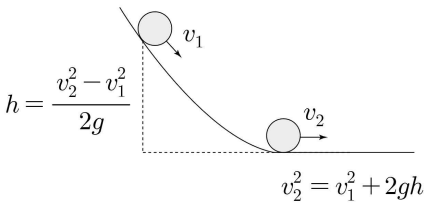


개념3 역학적 에너지 보존 공식

$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgh$를 정리하면 다음과 같은 공식이 나온다.

① 속도 공식 : $v^2 = v_0^2 + 2gh$ (항상 위쪽 속력이 아래쪽 속력보다 크다.)

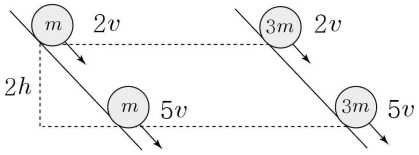
② 높이 공식 : $h = \frac{v^2 - v_0^2}{2g}$



개념4 운동 에너지와 위치 에너지의 연결 식

에너지 보존을 사용해보면 물체의 질량이 $3m$이든, $4m$이든, M이든지 간에 소거가 된다.

따라서 아래의 예시에서 단위 질량 m에 대해 $21K = 2U$의 형태로 질량에 관계없이 표현할 수 있다.



정리5 역학적 에너지 보존은 언제 사용할까?

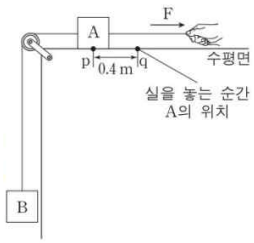
개념 다중 사건의 알고리즘 최종 정리

어떤 물리적 상황에서 어떤 공식을 사용하여 문제를 깔끔하게 해결할지 선택하는 것은 많은 물리 선택 학생들이 겪는 고민이다. 두 구간에 대한 정보를 비교할 때 아래와 같이 사용할 공식을 선택하면 된다.

두 구간의 비	가속도의 비O	가속도의 비X
시간의 비O	STEP1 각 점마다 등공① STEP2 각 구간 등공④	STEP1 각 구간 등공④ STEP2 각 점마다 등공①
시간의 비X	등가속도 공식 ③으로 두 구간 연결	에너지 보존 법칙으로 두 구간 연결

예제3 시간의 비X + 가속도의 비O

그림과 같이 물체 A에 수평 방향으로 10N의 힘 F가 작용하여 물체 A, B가 정지해있다. 이 상태에서 F의 크기를 30N으로 하여 실을 당기다가 놓는다. A의 처음 위치 p와 실을 놓는 순간의 위치 q 사이의 거리는 $0.4m$이다. A가 p에서 q까지 운동하는 동안 B의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 B의 운동 에너지 증가량의 2배이다.



A가 p를 다시 지나는 순간, A의 운동 에너지는? (단, 중력 가속도는 $10m/s^2$이고, 실의 질량, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

① $4J$ ② $5J$ ③ $6J$ ④ $8J$ ⑤ $9J$

해설

STEP1 정지

10N의 힘을 작용할 때 계가 정지해있으므로 $m_B = 1kg$이다.

STEP2 조건 분석 (조건을 보면 조건부터 분석하자.)

$\frac{\triangle U_B}{\triangle K_B} = 2 \rightarrow a = \frac{1}{2}g = 5 = \frac{20}{m_A + 1} \rightarrow m_A = 3kg$이다.

(운동 에너지 변화량 = 알짜일로 치환)

STEP3 운동 분석 (가속도가 5, 5/2이다.)

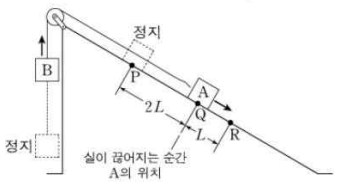
pq) 등공③) $2 \times 5 \times \frac{2}{5} = v^2 \rightarrow v = 2m/s$

qr) 등공③) $2 \times \frac{5}{2} \times \frac{2}{5} = v'^2 - 4 \rightarrow v'^2 = 6$

$\therefore K_A = \frac{1}{2} \times 3 \times 6 = 9J$

예제4 시간의 비X + 가속도의 비X

그림과 같이 물체 A, B를 실로 연결하고 빗면의 점 P에 A를 가만히 놓았더니 A, B가 함께 등가속도 운동을 하다가 A가 점 Q를 지나는 순간 실이 끊어졌다. 이후 A는 등가속도 직선 운동을 하여 점 R를 지난다. A가 P에서 Q까지 운동하는 동안, A의 운동 에너지 증가량은 B의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량의 $\frac{4}{5}$배이고, A의 운동 에너지는 R에서가 Q에서의 $\frac{9}{4}$배이다.



A, B의 질량을 각각 m_A, m_B라 할 때, $\frac{m_A}{m_B}$는? (단, 물체의 크기, 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

① 3 ② 4 ③ 5 ④ 6 ⑤ 7

해설

STEP1 조건 분석

운동 에너지를 알짜일로 바꿔도 가속도가 나오지 않는다.
따라서 에너지 보존이 메인 풀이법이다.

$\frac{K_A}{2U_B}=\frac{4}{5}$을 만족한다. (Q에서 A와 B의 에너지들이다.)

STEP2 에너지 보존

물체의 개수가 가장 작은 A에 대해서 시작하자.

QR) A) $\frac{9}{4}K_A-K_A=\frac{5}{4}K_A=U_A$

PQ) AB) $K_A+K_B+2U_B=2U_A$

$K_A+K_B+\frac{5}{4}K_A=\frac{5}{2}K_A \rightarrow K_B=\frac{1}{4}K_A \rightarrow \frac{m_A}{m_B}=4$

(계에서 질량 비를 구할 수 있는 방법들 암기해놓자.)

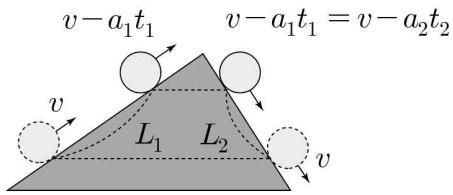
$\therefore K_A=\frac{1}{2}\times 3\times 6=9J$

THEME

2 — 높이가 같은 두 빗면

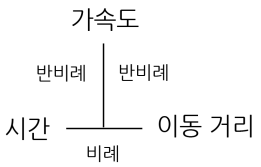
정리1 마찰이 없는 상황

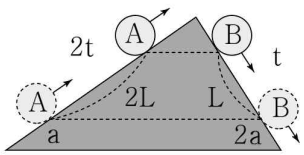
두 개의 레일에 대해서 높이가 같은 두 지점에 대해서 에너지 보존을 통해 다음을 만족한다.



① 가속도 비는 운동 시간의 비와 거리의 비에 반비례 한다.
② 운동 시간의 비는 거리의 비에 비례하고, 가속도 비에 반비례한다.
③ 거리의 비는 운동 시간의 비에 비례하고, 가속도 비에 반비례한다.

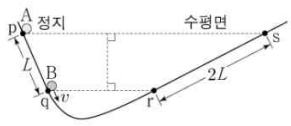
이를 정리하면 물체의 운동에서 봤던 정지-정지 유형의 성질과 동일하다.



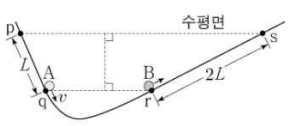


예제1 시간의 비O + 가속도의 비O

그림 (가)는 물체 A, B가 운동을 시작하는 순간의 모습을, (나)는 A와 B의 높이가 (가) 이후 처음으로 같아지는 순간의 모습을 나타낸 것이다. 점 p, q, r, s는 A, B가 직선 운동을 하는 빗면 구간의 점이고, p와 q, r와 s 사이의 거리는 각각 L, $2L$이다. A는 p에서 정지 상태에서 출발하고, B는 q에서 속력 v로 출발한다. A가 q를 v의 속력으로 지나는 순간에 B는 r를 지난다.



(가)



(나)

A와 B가 처음으로 만나는 순간, A의 속력은? (단, 물체의 크기, 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

① $\frac{1}{8}v$ ② $\frac{1}{6}v$ ③ $\frac{1}{5}v$ ④ $\frac{1}{4}v$ ⑤ $\frac{1}{2}v$

해설

STEP1 기하적 상황 분석
높이가 같은 두 지점의 비교에 대해서 거리 비가 1 : 2이므로 걸린 시간의 비는 1 : 2이고, 빗면 가속도 비는 2 : 1임을 알 수 있다.

STEP2 A의 운동 (한 물체의 운동)
A가 왼쪽 구간에서 운동한 시간을 t, 빗면 가속도를 $2a$라고 할 때 $v=2at$를 만족한다. (등공①)

STEP3 B가 최고점에 있을 때 A의 속력
A의 속력은 $at=\frac{1}{2}v$이다. 따라서 A와 B가 충돌할 때
A와 B의 속력은 A의 속력의 절반이므로 $v_A=\frac{1}{4}v$이다.

THEME

3 마찰면이 있는 빗면

정리1 마찰 구간에서 가속도 제시

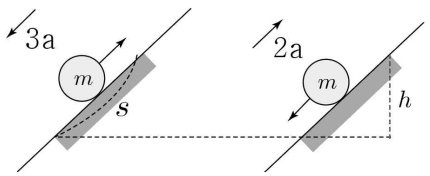
개념1 마찰 구간의 가속도 제시

마찰 구간을 통과하는 물체에 대해서 가속도가 제시되어 있다.
물체는 마찰 구간을 올라가거나 내려올 때 전부 가속도 아래쪽으로 a_1, a_2로 있다고 해보자.
또한 물체의 빗면 중력 가속도를 a_g, 마찰이 물체에 작용하는 가속도를 a_f이다.
물체가 빗면에 올라감에 있어 $a_g + a_f = a_1$이고, 내려감에 있어 $a_g - a_f = a_2$를 만족한다.

위의 두 식을 연립하면 $a_g = \frac{a_1 + a_2}{2}$, $a_f = \frac{a_1 - a_2}{2}$이다.

개념2 마찰력을 통한 손실된 에너지 계산

질량이 m인 물체가 마찰 구간을 올라갈 때 가속도는 아래 방향으로 $3a$이고, 마찰 구간을 내려갈 때 가속도는 위쪽 방향으로 $2a$이다.
마찰 구간에서 손실된 에너지를 h의 꼴로 표현하시오.

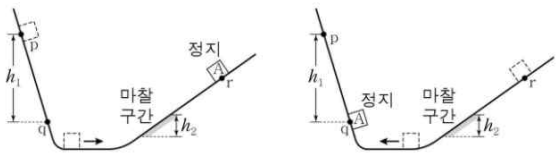


[올라가는 상황] [내려가는 상황]

내려가는 상황에 대해서 운동 방정식을 세우면 $ma_g + ma_f = 3ma$이다. m으로 소거하면 $3a = a_g + a_f$이다.
올라가는 상황에 대해서 운동 방정식을 세우면 $-ma_g + ma_f = 2ma$이다. m으로 소거하면 $2a = -a_g + a_f$이다.
두 식을 연립하면 $a_f = 5a_g$이므로 $W_f = fs = ma_f s = 5ma_g s = 5mg(s\sin\theta) = 5mgh$이다.
따라서 $a_f = na_g$를 만족한다면, 마찰 구간에서 손실된 에너지는 $W_f = n \cdot mgh$를 만족한다.

예제1 시간의 비X + 가속도의 비X

그림 (가)와 같이 빗면의 점 p에 가만히 놓은 물체 A는 빗면의 점 r에서 정지하고, (나)와 같이 r에 가만히 놓은 A는 빗면의 점 q에서 정지한다. (가), (나)의 마찰 구간에서 A의 속력은 감소하고, 가속도의 크기는 각각 $3a$, a로 일정하며, 손실된 역학적 에너지는 서로 같다. p와 q 사이의 높이차는 h_1, 마찰 구간의 높이차는 h_2이다.



(가) (나)

$\frac{h_2}{h_1}$는? (단, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.)

① $\frac{1}{5}$ ② $\frac{2}{9}$ ③ $\frac{6}{25}$ ④ $\frac{1}{4}$ ⑤ $\frac{2}{7}$

해설

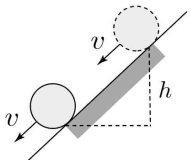
STEP1 힘 계산
올라갈 때 물체의 가속도는 아래로 $3a$이고,
내려갈 때 물체의 가속도는 위로 a이다.
따라서 $a_g = a$이고, $a_f = 2a$이다.
$a_f = 2a_g$이므로 $W_{손실} = 2mgh_2$이다.

STEP2 에너지 보존 (쓱싹 유형 → 두 점 비교!)
pq에서 손실된 에너지 = 마찰 구간에서 손실된 에너지
$mgh_1 = 2W = 4mgh_2$에서 $\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{4}$이다.

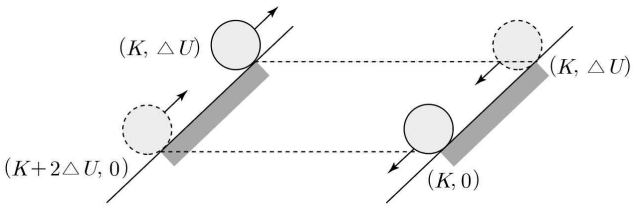
정리2 마찰 구간을 등속도로 내려오는 상황

개념 **마찰면을 내려갈 때 등속도로 통과**

그림과 같이 빗면에서 물체가 아래로 내려올 때 마찰 구간에서 등속도 운동을 한다고 하자. (물체가 올라갈 때는 등속도 절대 안됨)
마찰이 한 일은 물체의 역학적 에너지를 변화시키는 데 운동 에너지 변화가 없으므로 위치 에너지 변화($W_{마찰}=mgh$)이다.



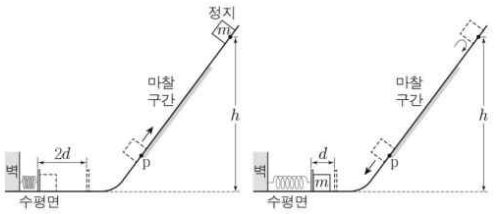
① 내려올 때 마찰 구간에서 등속도 운동을 하므로 $W_{마찰}=\triangle U$이다.
② 마찰 구간에서 한 일은 $W_{마찰}=f_k \cdot s$이고, 운동 마찰력은 수직 항력과 마찰 계수와 관련이 있다.
따라서 물체의 질량이 바뀌거나 접촉면이 바뀌지 않는다면 물체가 올라갈 때와 내려갈 때 마찰 구간에서 한 일은 같다.
③ 나중에 운동 에너지를 K라고 하면 처음의 운동 에너지는 $K+2\triangle U$ $(=K+2W_{마찰})$이다.



[마찰면에 올라간다] [이후 마찰면에서 내려온다]

예제2 시간의 비X + 가속도의 비X

그림 (가)는 수평면에서 질량이 m인 물체로 용수철을 원래 길이에서 $2d$만큼 압축시킨 후 가만히 놓았더니 물체가 마찰 구간을 지나 높이가 h인 최고점에서 속력이 0인 수간을 나타낸 것이다. 마찰 구간을 지나는 동안 감소한 물체의 운동 에너지는 마찰 구간의 최저점 p에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지의 6배이다. 그림 (나)는 (가)에서 물체가 마찰 구간을 지나 용수철을 원래 길이에서 최대 d만큼 압축시킨 모습을 나타낸 것으로, 물체는 마찰 구간에서 등속도 운동한다. 마찰 구간에서 손실된 물체의 역학적 에너지는 (가)에서와 (나)에서가 같다.



(가) (나)

(나)에서 p에서 물체의 운동 에너지는? (단, 중력 가속도는 g이고, 수평면에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 0이며 용수철의 질량, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 마찰은 무시한다.)

① $\frac{1}{9}mgh$ ② $\frac{1}{8}mgh$ ③ $\frac{1}{7}mgh$ ④ $\frac{1}{6}mgh$ ⑤ $\frac{1}{5}mgh$

해설

STEP1 (가)의 조건 (조건을 보면 조건 먼저 해석)
운동 에너지 변화 조건은 $2W=6U_p$이다.
(등속도 조건 참조)

STEP2 수평면의 변화량 (처음과 끝에 대해 생각하자.)
$3P=2W=6U_p$이므로, $P=2U_p$이다.

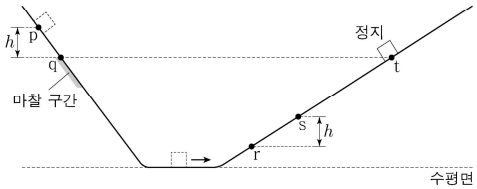
STEP3 수평면~정지 (답의 형태를 통해 U_h를 찾자.)
$U_h=4P-W=5U_p$

답을 구해보면 $P=K_p+U_p$에서 $K_p=U_p=\frac{1}{5}U_h$

유형 01 레일 운동

01 2023학년도 수능 20번 정답률 23%

20. 그림은 빗면의 점 p에 가만히 놓은 물체가 점 q, r, s를 지나 빗면의 점 t에서 속력이 0인 순간을 나타낸 것이다. 물체는 p와 q 사이에서 가속도의 크기 $3a$로 등가속도 운동을, 빗면의 마찰 구간에서 등속도 운동을, r와 t 사이에서 가속도의 크기 $2a$로 등가속도 운동을 한다. 물체가 마찰 구간을 지나는 데 걸린 시간과 r에서 s까지 지나는 데 걸린 시간은 같다. p와 q 사이, s와 r 사이의 높이차는 h로 같고, t는 마찰 구간의 최고점 q와 높이가 같다.



t와 s 사이의 높이차는? (단, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

① $\frac{16}{9}h$ ② $2h$ ③ $\frac{20}{9}h$ ④ $\frac{7}{3}h$ ⑤ $\frac{8}{3}h$

정 답 ①

해 설

STEP1 에너지 비교

t를 보면 손실된 에너지는 mgh이다. 따라서 마찰 구간에서 등속도 운동을 하므로 마찰 구간 높이는 H이다.

STEP2 등가속도 + 등속도

q에서 물체의 속력을 v로 가정하자.
그리고 p와 q 사이의 길이와 마찰 구간의 길이가 동일하므로 마찰 구간과 s와 r의 걸린 시간을 t라고 하면,
p와 q의 걸린 시간은 $2t$이다.

STEP3 물체의 운동 (변위 가속 분해)

빗면 가속도가 각각 $3a$, $2a$이므로 pq, rs의 빗면의 길이는 각각 $2L$, $3L$이라고 할 수 있다.

pq) $3S_g = \frac{1}{2}S_v = 2L$ ($\frac{1}{2}S_v$인 이유는 평균 속력이 $\frac{1}{2}v$이다.)

sr) $S_s + 2S_g = 3L$에서 $S_s + \frac{1}{6}S_v = \frac{3}{2}S_v$이고 $S_s = \frac{4}{3}S_v$이다.

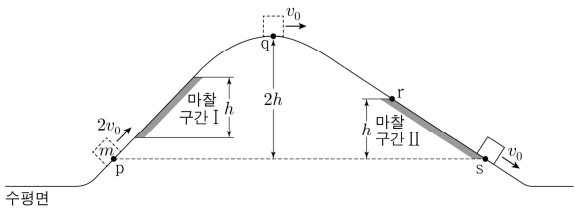
그러므로 $v_s = \frac{4}{3}v$이다.

STEP4 답 구하기

정지한 점에서 pq, st에 대해 속도 변화량 비를 비교해보면 $\frac{4}{3}$배이므로 t와 s사이의 높이는 $\frac{16}{9}h$이다. (에너지 보존 성질)

02 2024학년도 6월 20번 정답률 34%

20. 그림과 같이 수평면에서 운동하던 질량이 m인 물체가 언덕을 따라 올라갔다가 내려온다. 높이가 같은 점 p, s에서 물체의 속력은 각각 $2v_0$, v_0이고, 최고점 q에서의 속력은 v_0이다. 높이 차가 h로 같은 마찰 구간 Ⅰ, Ⅱ에서 물체의 역학적 에너지 감소량은 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 2배이다.



점 r에서 물체의 속력은? (단, 마찰 구간 외의 모든 마찰과 공기 저항, 물체의 크기는 무시한다.)

① $\frac{\sqrt{5}}{2}v_0$ ② $\frac{\sqrt{7}}{2}v_0$ ③ $\sqrt{2}v_0$ ④ $\frac{3}{2}v_0$ ⑤ $\sqrt{3}v_0$

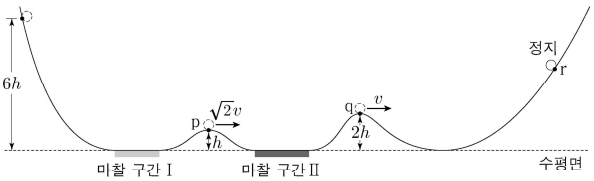
정 답 ③

해 설

- 높이가 같은 두 점을 보면 꼭 먼저 비교하자.
  ps에서 에너지 보존을 쓰면 $3W = 3K$이고 $W = K$이다.
- pq에서 $W = 3K - 2U$이므로 $K = U$이다.
- qr에서 $K + 2U = U + K'$이므로 $v' = \sqrt{2}v_0$이다.

03 2024학년도 9월 19번 정답률 36%

19. 그림은 높이 $6h$인 점에서 가만히 놓은 물체가 궤도를 따라 운동하여 마찰 구간 Ⅰ, Ⅱ를 지나 최고점 r에 도달하여 정지한 순간의 모습을 나타낸 것이다. 점 p, q의 높이는 각각 h, $2h$이고, p, q에서 물체의 속력은 각각 $\sqrt{2}v$, v이다. 마찰 구간에서 손실된 역학적 에너지는 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 2배이다.



r의 높이는? (단, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

① $\frac{19}{5}h$ ② $4h$ ③ $\frac{21}{5}h$ ④ $\frac{22}{5}h$ ⑤ $\frac{23}{5}h$

정 답 ③

해 설

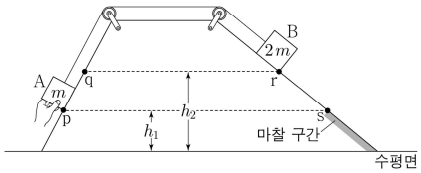
- 처음~p) $W=6U-(2K+U)=5U-2K$
- 처음~q) $3W=6U-(K+2U)=4U-K=4U-\frac{11}{5}U=\frac{9}{5}U$
- 두 식을 연립) $15U-6K=4U-K \rightarrow 5K=11U$
- 처음-정지) $6U-3W=6U-\frac{9}{5}U=\frac{21}{5}U=U_r$이므로

  r의 높이는 $\frac{21}{5}h$이다.

유형 02 빗면 운동

01 2023학년도 9월 20번 정답률 20%

20. 그림은 질량이 각각 m, $2m$인 물체 A, B를 실로 연결하고 서로 다른 빗면의 점 p, r에 정지시킨 모습을 나타낸 것이다. A를 가만히 놓았더니 A가 점 q를 지나는 순간 실이 끊어지고 A, B는 빗면을 따라 가속도의 크기가 각각 $3a$, $2a$인 등가속도 운동을 한다. B는 마찰 구간이 시작되는 점 s부터 등속도 운동을 한다. A가 수평면에 닿기 직전 A의 운동 에너지는 마찰 구간에서 B의 운동 에너지의 2배이다. p와 s의 높이는 h_1로 같고, q와 r의 높이는 h_2로 같다.



$\frac{h_2}{h_1}$는? (단, 실의 질량, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

① $\frac{3}{2}$ ② $\frac{7}{4}$ ③ 2 ④ $\frac{9}{4}$ ⑤ $\frac{5}{2}$

정 답 ⑤

해 설

STEP1 문제 해석

- 문제를 전체적으로 살펴볼 때 결국 답을 구할 때를 생각해보면 A와 B의 시간의 비가 없으므로 등공③으로 연결을 해야한다.
- 조건을 해석해보면 $\frac{1}{2}mv_A^2=2\times\frac{1}{2}(2m)v_B^2$이므로 바닥에서 A의 속력은 B의 마찰구간에서 속력의 2배이다.

STEP2 AB의 운동 (pq)

- 계의 가속도는 $a'=\frac{4ma-3ma}{3m}=\frac{1}{3}a$이다.

  계의 등공③에 의해 $2(\frac{1}{3}a)(2L)=\frac{4}{3}aL=v_q^2$이다.

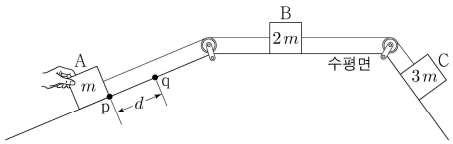
STEP3 A와 B의 각각 운동

- B의 끊어진 위치~s에 대해 등공③ $2(2a)L=v^2-v_q^2$이므로 $4aL+\frac{4}{3}aL=\frac{16}{3}aL=v^2$이다.
- A의 q~바닥에 대해 $2(3a)(2L+L_1)=4v^2-v_q^2$이므로 $12+6L_1=\frac{64}{3}-\frac{4}{3}=20$이고, $L_1=\frac{4}{3}L$이다.

  따라서 $\frac{h_2}{h_1}=\frac{2L+L_1}{L_1}=\frac{2+\frac{4}{3}}{\frac{4}{3}}=\frac{\frac{10}{3}}{\frac{4}{3}}=\frac{5}{2}$이다.

02 2025학년도 6월 19번 정답률 33%

19. 그림은 물체 A, C를 수평면에 놓인 물체 B의 양쪽에 실로 연결하여 서로 다른 빗면에 놓고, A를 손으로 잡아 점 p에 정지시킨 모습을 나타낸 것이다. A를 가만히 놓으면 A는 빗면을 따라 등가속도 운동한다. A가 p에서 d만큼 떨어진 점 q까지 운동하는 동안 A, C의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량의 크기는 각각 E_0, $7E_0$이다. A, B, C의 질량은 각각 m, $2m$, $3m$이다.



A가 p에서 q까지 운동하는 동안, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

<보 기>

ㄱ. A의 운동 에너지 변화량과 중력 퍼텐셜 에너지 변화량은 크기가 같다.

ㄴ. B의 가속도의 크기는 $\frac{2E_0}{md}$이다.

ㄷ. 역학적 에너지 변화량의 크기는 B가 C보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

정 답 ①

해 설

ㄱ. 외력(장력)의 방향과 운동 방향이 동일하므로 A의 역학적 에너지는 증가한다. 위치 에너지 증가량은 동일하므로 운동 에너지 증가량이 늘어날 것이다. 따라서 A의 운동 에너지 변화량이 중력 퍼텐셜 에너지 변화량보다 크다. (X)

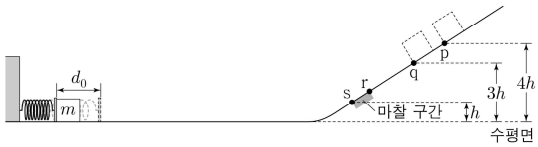
ㄴ. pq 구간에 대해서 시간과 가속도가 없으므로 계의 에너지 보존 식을 세우면 $6(\triangle K)=6E_0$에서

$\triangle K= W_{알짜}=mad=E_0$, $a=\frac{E_0}{md}$이다. (X)

ㄷ. 역학적 에너지 변화량의 크기는 장력이 한 일과 같다. B는 왼쪽에서 장력이 존재하므로 역학적 에너지 변화량의 크기는 B가 C보다 작다. (X)

03 2026학년도 9월 17번 정답률 47%

17. 그림과 같이 질량이 m인 물체로 수평면에 놓인 용수철을 원래 길이에서 d_0만큼 압축시킨 후 가만히 놓으면 물체는 빗면을 올라가 점 p에서 속력이 0이 된다. 이후 물체는 빗면을 내려와 용수철을 원래 길이에서 최대 d_1만큼 압축시킨 후 다시 빗면을 올라가 점 q에서 속력이 0이 된다. 물체는 마찰 구간을 내려가는 동안 등속도 운동을 하고, 마찰 구간을 한 번 지날 때 손실되는 역학적 에너지는 올라갈 때와 내려갈 때가 서로 같다. 점 r, s는 마찰 구간의 양 끝점이고, p, q, s의 높이는 각각 $4h$, $3h$, h이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기, 용수철의 질량, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.)

<보 기>

ㄱ. r의 높이는 $\frac{4}{3}h$이다.

ㄴ. 용수철 상수는 $\frac{9mgh}{d_0^2}$이다.

ㄷ. $d_1=\frac{\sqrt{7}}{3}d_0$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. p에서 마찰 구간을 지난 후 다시 q로 왔을 때 손실된 에너지는 $2W=2mgH$이다. 이 에너지는 위치 에너지를 mgh만큼 감소시켰으므로 $H=\frac{1}{2}h$이다.

따라서 r의 높이는 $\frac{3}{2}h$이다. (X)

ㄴ. 처음~p에 대하여 에너지 보존식을 세우면

$\frac{1}{2}kd_0^2-\frac{1}{2}mgh=4mgh \Rightarrow k=\frac{9mgh}{d_0^2}$이다. (O)

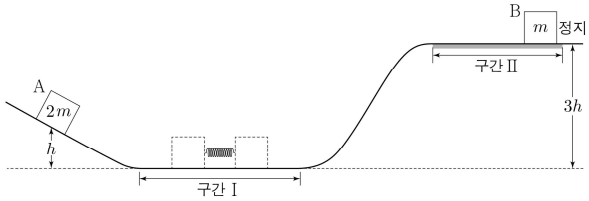
ㄷ. 정지~q에 대하여 에너지 보존식을 세우면

$\frac{1}{2}kd_1^2-\frac{1}{2}mgh=3mgh$에서 $d_1=\frac{\sqrt{7}}{3}d_0$이다. (O)

유형 03 두 물체의 분리

01 2022학년도 6월 20번 정답률 22%

20. 그림과 같이 수평 구간 I에서 물체 A, B를 용수철의 양 끝에 접촉하여 용수철을 원래 길이에서 d만큼 압축시킨 후 동시에 가만히 놓으면, A는 높이 h에서 속력이 0이고, B는 높이가 $3h$인 마찰이 있는 수평 구간 II에서 정지한다. A, B의 질량은 각각 $2m$, m이고, 용수철 상수는 k이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기, 용수철의 질량, 구간 II의 마찰을 제외한 모든 마찰 및 공기 저항은 무시한다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. $k=\dfrac{12mgh}{d^2}$이다.

ㄴ. A, B가 각각 높이 $\dfrac{h}{2}$를 지날 때의 속력은 B가 A의 $\sqrt{6}$배이다.

ㄷ. 마찰에 의한 B의 역학적 에너지 감소량은 $\dfrac{3}{2}mgh$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

STEP1 분리

구간 I에서 A와 B가 분리가 될 때 질량의 비가 2 : 1이므로 분리 후 속력의 비는 1 : 2이다. 따라서 분리가 될 때 속력을 각각 v와 $2v$로 설정할 수 있다.

STEP2 에너지 보존

- A의 에너지 보존식을 세우면 $K=U$이다.
  (질량을 고려하면 $2K=2U$이고, 결국 질량에 관계없이 성립한다.)
- B의 에너지 보존식을 세우면 $4K-W=3U$에서 $W=U$이다.

ㄱ. 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 분리 후 A와 B의 운동 에너지의 합과 같다. $6K=6U=6mgh=\dfrac{1}{2}kd^2$를 정리하면 $k=\dfrac{12mgh}{d^2}$이다. (O)

ㄴ. A는 에너지 보존식을 세우지 않아도 쉽게 구할 수 있다. 최고점의 입장에서 봤을 때 거리의 비가 1 : 2이므로 속력의 비는 $1:\sqrt{2}$이다. 따라서 $v_A=\dfrac{1}{\sqrt{2}}v$이다.

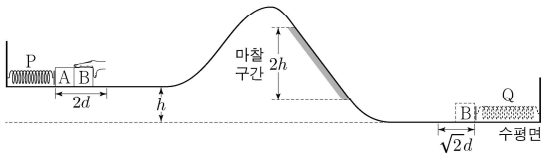
B는 에너지 보존식을 세우면 $4K=\dfrac{1}{2}U+K_B$에서 $K_B=\dfrac{7}{2}K$를 만족하므로 $v_B=\dfrac{\sqrt{7}}{\sqrt{2}}v$이다.

따라서 $\dfrac{v_B}{v_A}=\sqrt{7}$이다. (X)

ㄷ. $W=mgh$이다. (X)

02 2023학년도 6월 19번 정답률 30%

19. 그림은 높이 h인 평면에서 용수철 P에 연결된 물체 A에 물체 B를 접촉시키고, P를 원래 길이에서 $2d$만큼 압축시킨 모습을 나타낸 것이다. B를 가만히 놓으면 B는 P의 원래 길이에서 A와 분리되어 면을 따라 운동하고 A는 P에 연결된 채로 직선 운동한다. 이후 B는 높이차가 $2h$인 마찰 구간을 등속도로 지나 수평면에 놓인 용수철 Q를 원래 길이에서 $\sqrt{2}d$만큼 압축시킬 때 속력이 0이 된다. A와 B가 분리된 후 P의 탄성 퍼텐셜 에너지의 최댓값은 B가 마찰 구간에서 높이차 $2h$만큼 내려가는 동안 B의 역학적 에너지 감소량과 같다. P, Q의 용수철 상수는 같다.



A, B의 질량을 각각 m_A, m_B라 할 때, $\frac{m_B}{m_A}$는? (단, 용수철의 질량, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.)

① $\frac{1}{3}$ ② $\frac{1}{2}$ ③ 1 ④ 2 ⑤ 3

정 답 ⑤

해 설

STEP1 조건

A와 B가 분리된 후 P의 탄성 퍼텐셜 에너지의 최댓값은 A와 B가 분리된 후 A의 운동 에너지와 동일하다.

B의 역학적 에너지 감소량은 $2U_B$이므로 $2U_B = K_A$이다.

STEP2 P에서 분리

P에서 분리가 될 때 용수철이 $2d$만큼 압축되어 있으므로 용수철에 저장된 에너지는 $4P = K_A + K_B$ 이다.

STEP3 B의 에너지 보존

B가 A와 분리된 이후 Q에 도착할 때까지 에너지 보존을 세우면

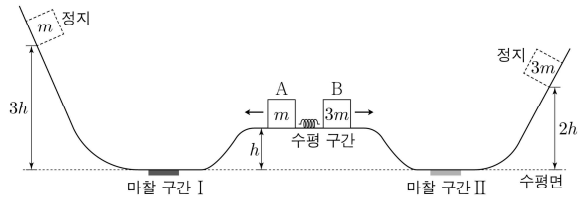
$K_B + U_B - 2U_B = 2P$이고, $2P = K_B - U_B = K_B - \frac{1}{2}K_A$이다.

마찰

두 식을 연립하면 $2K_A = K_B$ 이므로 질량은 B가 A의 2배이다.

03 2025학년도 9월 20번 정답률 49%

20. 그림과 같이 수평면으로부터 높이가 h인 수평 구간에서 질량이 각각 m, $3m$인 물체 A와 B로 용수철을 압축시킨 후 가만히 놓았더니, A, B는 각각 수평면상의 마찰 구간 Ⅰ, Ⅱ를 지나 높이 $3h$, $2h$에서 정지하였다. 이 과정에서 A의 운동 에너지의 최댓값은 A의 중력 퍼텐셜 에너지의 최댓값의 4배이다. A, B가 각각 Ⅰ, Ⅱ를 한 번 지날 때 손실되는 역학적 에너지는 각각 $W_{\text{Ⅰ}}$, $W_{\text{Ⅱ}}$이다.

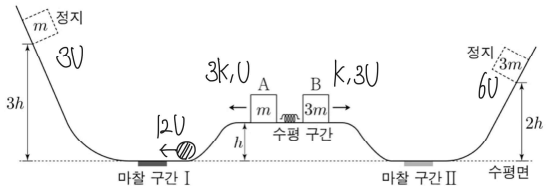


$\frac{W_{\text{Ⅰ}}}{W_{\text{Ⅱ}}}$은? (단, 수평면에서 중력 퍼텐셜 에너지는 0이고, A와 B는 동일 연직면상에서 운동한다. 물체의 크기, 용수철의 질량, 공기 저항과 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.)

① 9 ② $\frac{21}{2}$ ③ 12 ④ $\frac{27}{2}$ ⑤ 15

정 답 ④

해 설

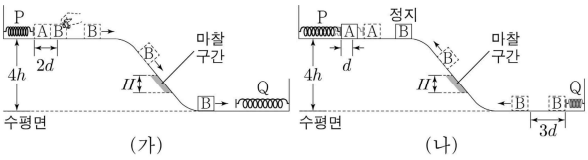


- A의 내려옴에 대해서 $3K = 11U$를 만족한다.
- 손실된 에너지에 대해서 처음 에너지-나중 에너지이다.

따라서 $\frac{W_I}{W_{II}} = \frac{9U}{K+3U-6U} = \frac{9}{\frac{11}{3}-3} = \frac{9}{\frac{2}{3}} = \frac{27}{2}$이다.

04 2025학년도 수능 20번 정답률 43%

20. 그림 (가)와 같이 높이 $4h$인 평면에서 용수철 P에 연결된 물체 A에 물체 B를 접촉시켜 P를 원래 길이에서 $2d$만큼 압축시킨 후 가만히 놓았더니, B는 A와 분리된 후 높이 차가 H인 마찰 구간을 등속도로 지나 수평면에 놓인 용수철 Q를 향해 운동한다. 이후 그림 (나)와 같이 A는 P를 원래 길이에서 최대 d만큼 압축시키며 직선 운동하고, B는 Q를 원래 길이에서 최대 $3d$만큼 압축시킨 후 다시 마찰 구간을 지나 높이 $4h$인 지점에서 정지한다. B가 마찰 구간을 올라갈 때 손실된 역학적 에너지는 내려갈 때와 같고, P, Q의 용수철 상수는 같다.

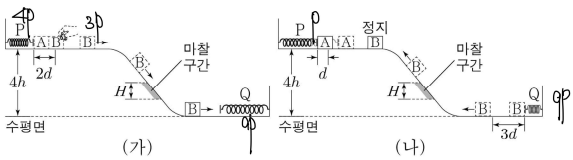


H는? (단, 물체는 동일 연직면상에서 운동하고, 용수철의 질량, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.)

① $\frac{3}{5}h$ ② $\frac{4}{5}h$ ③ h ④ $\frac{6}{5}h$ ⑤ $\frac{7}{5}h$

정 답 ②

해 설



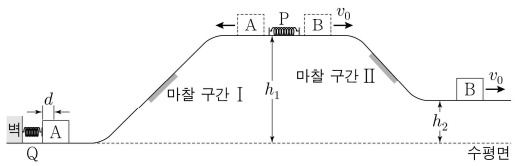
B의 내려옴에 대해서 식을 세우면
$3P+4U-U'=9P$이고 $4U-U'=6P$이다.

B의 올라옴에 대해서 식을 세우면
$9P-U'-4U=0$이고 $4U+U'=9P$이다.

위의 두 식을 연립하면 $U'=\frac{4}{5}U$이다.

05 2026학년도 6월 20번 정답률 26%

20. 그림과 같이 높이가 h_1인 평면에서 질량이 각각 $3m$, $2m$인 물체 A, B로 용수철 P를 원래 길이에서 d만큼 압축시킨 후 가만히 놓는다. A는 마찰 구간 Ⅰ을 지나 수평면에서 용수철 Q를 원래 길이에서 최대 d만큼 압축시킨다. B는 P와 분리된 직후의 속력이 v_0이고 마찰 구간 Ⅱ를 지나 높이가 h_2인 평면에서 v_0의 속력으로 운동한다. Ⅰ, Ⅱ를 한 번 지날 때 각각 손실되는 A, B의 역학적 에너지는 P와 분리된 직후 A의 운동 에너지와 같고, P와 Q의 용수철 상수는 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체는 동일 연직면상에서 운동하고, 용수철의 질량과 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.)

<보 기>

ㄱ. P와 분리된 직후, A의 속력은 $\frac{2}{3}v_0$이다.

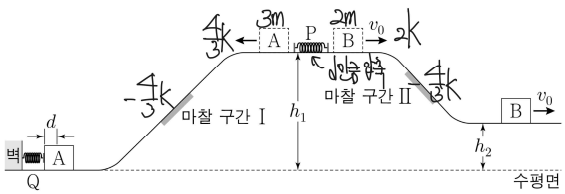
ㄴ. 용수철 상수는 $\frac{10mv_0^2}{d^2}$이다.

ㄷ. $\frac{h_2}{h_1}=\frac{1}{3}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설



A와 B의 질량 비가 3 : 2이므로 B의 운동 에너지를 $2K$라고 가정한다면 A의 운동 에너지는 $\frac{4}{3}K$이다. 이때 조건에 의하여 각 마찰 구간에서 손실되는 역학적 에너지는 $\frac{4}{3}K$이다.

ㄱ. 질량의 비가 3 : 2이므로 속도의 비는 2 : 3이다.
따라서 A의 속력은 $\frac{2}{3}v_0$이다. (O)

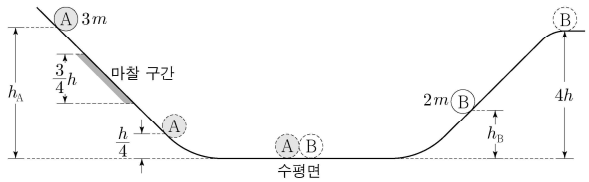
ㄴ. P에서 용수철에 저장된 에너지가 운동 에너지로 분리되므로
$\frac{4}{3}K+2K=\frac{10}{3}K=\frac{10}{3}\left(\frac{1}{2}mv_0^2\right)=\frac{1}{2}kd^2$를 만족한다.
따라서 $k=\frac{10mv_0^2}{3d^2}$이다. (X)

ㄷ. A에 대하여 $\frac{4}{3}K+3U_1-\frac{4}{3}K=\frac{10}{3}K$에서 $U_1=\frac{10}{9}K$이고,
B에 대하여 $2K+2U_1-\frac{4}{3}K=2K+2U_2$에서
$U_2=U_1-\frac{2}{3}K=\frac{4}{9}K$이다.
따라서 $\frac{h_2}{h_1}=\frac{U_2}{U_1}=\frac{4/9}{10/9}=\frac{2}{5}$이다.

유형 04 두 물체의 충돌

01 2022학년도 9월 20번 정답률 31%

20. 그림과 같이 물체 A, B를 각각 서로 다른 빗면의 높이 h_A, h_B인 지점에 가만히 놓았다. A가 내려가는 빗면의 일부에는 높이차가 $\frac{3}{4}h$인 마찰 구간이 있으며, A는 마찰 구간에서 등속도 운동하였다. A와 B는 수평면에서 충돌하였고, 충돌 전의 운동 방향과 반대로 운동하여 각각 높이 $\frac{h}{4}$와 $4h$인 지점에서 속력이 0이 되었다. 수평면에서 B의 속력은 충돌 후가 충돌 전의 2배이다. A, B의 질량은 각각 $3m$, $2m$이다.



$\frac{h_B}{h_A}$는? (단, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

① $\frac{1}{4}$ ② $\frac{1}{3}$ ③ $\frac{4}{9}$ ④ $\frac{1}{2}$ ⑤ $\frac{2}{3}$

정 답 ②

해 설

STEP1 충돌 후 속도 찾기

충돌 후 물체를 확인하면 A는 높이가 $\frac{h}{4}$인 곳에 있으니 충돌 후 A의 속도는 $-\frac{v}{2}$로 설정할 수 있다. B는 높이가 $4h$인 곳에 있으니 충돌 후 B의 속도를 $+2v$로 설정할 수 있다.

STEP2 충돌 과정

A와 B의 질량 비가 3 : 2이므로 속도 변화량 비는 2 : 3이다.
B의 속도 변화량을 $+3v$라고 한다면 A의 속도 변화량은 $-2v$이다. 충돌 후 A의 속도는 $+\frac{3}{2}v$, B의 속도는 $-v$이다.

(상대속도가 $\frac{5}{2}v$로 일정하므로 탄성 충돌이다.)

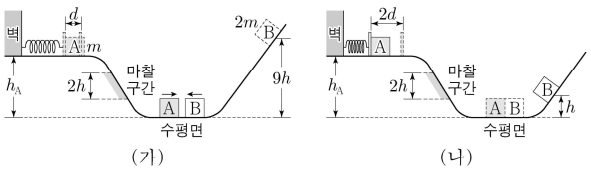
STEP3 충돌 전 높이 찾기

- B는 충돌 전과 후의 속력이 2배 차이가 나므로 $h_B = h$이다.
- 탄성 충돌에 의하여 계의 역학적 에너지가 보존되야 하므로
  $3U_A + 2U - \frac{9}{4}U = \frac{3}{4}U + 8U$에서 $h_A = 3h$이다.

초기A 초기B 마찰 나중A 나중B

02 2022학년도 수능 20번 정답률 14%

20. 그림 (가)와 같이 높이 h_A인 평면에서 물체 A로 용수철을 원래 길이에서 d만큼 압축시킨 후 가만히 놓고, 물체 B를 높이 $9h$인 지점에 가만히 놓으면, A와 B는 수평면에서 서로 같은 속력으로 충돌한다. 충돌 후 그림 (나)와 같이 A는 용수철을 원래 길이에서 최대 $2d$만큼 압축시키고, B는 높이 h인 지점에서 속력이 0이 된다. A, B는 질량이 각각 m, $2m$이고, 면을 따라 운동한다. A는 빗면을 내려갈 때 높이차가 $2h$인 마찰 구간에서 등속도 운동하고, 마찰 구간을 올라갈 때 손실된 역학적 에너지는 내려갈 때와 같다.



h_A는? (단, 용수철의 질량, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

① $7h$ ② $\frac{13}{2}h$ ③ $6h$ ④ $\frac{11}{2}h$ ⑤ $\frac{9}{2}h$

정 답 ①

해 설

STEP1 충돌 분석

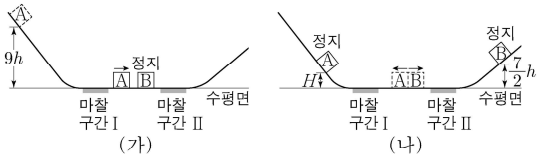
- 처음에 B는 높이가 $9h$인 지점에 있으므로 수평면에서의 속력을 $v_B = 3v$라고 할 수 있다. (이는 $K = U$ 형태를 의미한다.)
- 조건에 의해 A도 $v_A = 3v$의 속력으로 내려온다.
- B는 충돌 후 $v_B' = v$의 속력으로 올라간다. (높이 h)
- A와 B의 질량 비가 1 : 2이므로 속도 변화량 비는 2 : 1이다. B는 $+4v$만큼 변했으므로 A는 $-8v$만큼 변해 $v_A' = -5v$로 올라간다. (상대 속도 크기가 같으므로 탄성 충돌임을 알 수 있다.)

STEP2 에너지 보존

- 탄성 충돌에 의하여 계의 역학적 에너지가 보존되야 하므로
  $U_A + P + 18U - 4U = U_A + 4P + 2U$에서 $P = 4U$이다.
  A 용수철 B 마찰X2 A 용수철 B
- A의 처음~수평면에 대하여 $U_A + P - 2U = 9K$를 만족한다.
  따라서 $U_A = 7U$이므로 $h_A = 7h$이다.

03 2024학년도 수능 20번 정답률 25%

20. 그림 (가)와 같이 질량이 m인 물체 A를 높이 $9h$인 지점에 가만히 놓았더니 A가 마찰 구간 I을 지나 수평면에 정지한 질량이 $2m$인 물체 B와 충돌한다. 그림 (나)는 A와 B가 충돌한 후, A는 다시 I을 지나 높이 H인 지점에서 정지하고, B는 마찰 구간 II를 지나 높이 $\frac{7}{2}h$인 지점에서 정지한 순간의 모습을 나타낸 것이다. A가 I을 한 번 지날 때 손실되는 역학적 에너지는 B가 II를 지날 때 손실되는 역학적 에너지와 같고, 충돌에 의해 손실되는 역학적 에너지는 없다.



H는? (단, 물체는 동일 연직면상에서 운동하고, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.)

① $\frac{5}{17}h$ ② $\frac{7}{17}h$ ③ $\frac{9}{17}h$ ④ $\frac{11}{17}h$ ⑤ $\frac{13}{17}h$

정 답 ②

해 설

STEP1 충돌 분석

탄성 충돌이고 B가 정지해있다. A의 초기 속력을 v라고 하면

충돌 후의 속력은 $v_A' = -\frac{1}{3}v$, $v_B' = +\frac{2}{3}v$이다.

($v_A' = \frac{m_A - m_B}{m_A + m_B}v$, $v_B' = \frac{2m_A}{m_A + m_B}v$이고, B의 질량이 A보다 커서 A는 왼쪽으로 움직이는 것을 알 수 있다.)

STEP2 에너지 보존 분석

(가) A) $9U - W = K \rightarrow W = 9U - K$

(나) B) $\frac{8}{9}K - W = 7U \rightarrow W = \frac{8}{9}K - 7U$

위의 두 식을 연립하면 $K = \frac{16\times 9}{17}U$이다. 최종적으로

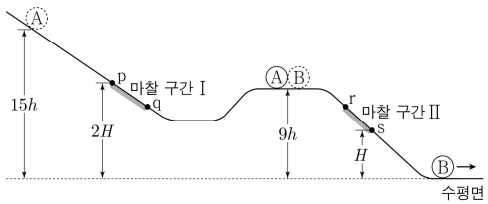
(나) A) $\frac{1}{9}K - W = U'$에서 $U' = \frac{1}{9}K - 9U + K = \frac{10}{9}K - 9U$

$U' = \frac{10}{9}\times\frac{16\times 9}{17}U - 9U = \frac{160}{17}U - 9U = \frac{7}{17}U$

따라서 $H = \frac{7}{17}h$이다.

04 2026학년도 수능 19번 정답률 23%

19. 그림과 같이 빗면의 높이가 $15h$인 지점에 질량이 m인 물체 A를 가만히 놓는다. A는 빗면의 마찰 구간 I을 등속도로 지난 후, 높이가 $9h$인 평면 위에 정지해 있던 질량이 $2m$인 물체 B와 충돌한 후 정지한다. B는 충돌 후 빗면의 마찰 구간 II를 등속도로 지난다. 점 p와 q, r와 s는 각각 I, II의 양 끝점이다. p, s의 높이는 각각 $2H$, H이고, q와 r의 높이는 서로 같다. II에서 손실되는 B의 역학적 에너지는 I에서 손실되는 A의 역학적 에너지의 2배이다. p에서 A의 운동 에너지와 s에서 B의 운동 에너지는 서로 같다.



H는? (단, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

① $\frac{23}{5}h$ ② $\frac{14}{3}h$ ③ $\frac{19}{4}h$ ④ $\frac{24}{5}h$ ⑤ $5h$

정 답 ④

해 설

1. 마찰 구간 분석

마찰 구간 I와 II에 대해서 등속도로 내려오는데 손실된 에너지가 1 : 2이므로 마찰 구간의 높이의 비는 1 : 1이다.

따라서 $H_q = 2H - d$, $H_r = H + d$이고, 조건에 의하여

$H_q = H_r$이므로 $d = \frac{1}{2}H$이다. $\Rightarrow$ $H_q = H_r = \frac{3}{2}H$

2. 충돌 분석

A와 B가 충돌할 때 $mv_A = 2mv_B$를 만족하므로 $v_B = \frac{1}{2}v_A$이다.

3. 에너지 보존

p에서 A의 운동 에너지와 s에서 B의 운동 에너지가 서로 같으므로 마찰 구간 I에서 A의 속력은 $\sqrt{2}v$이고, 마찰 구간 II에서 B의 속력은 v이다.

이제 각 구간에 대해서 에너지 보존식을 세워보자.

(단, $U = mgh$, $U_H = mgH$, $K_v = \frac{1}{2}mv^2$, $K_A = \frac{1}{2}mv_A^2$)

- A: 정지~p) $15U = 2U_H + K_v$
- A: q~충돌) $\frac{3}{2}U_H + K_v = 9U + K_A$
- B: 충돌~r) $18U + \frac{1}{2}K_A = 3U_H + 2K$

세 식을 연립해서 정리하면 $U_H = \frac{24}{5}U$이다.

PART 5
용수철

개념 유형

(1) 단진동

(2) 용수철의 분리

THEME

1 — 단진동

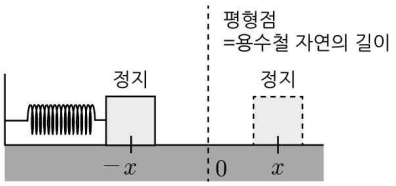
정리1 수평면에서 단진동하는 물체

개념1 용수철의 운동

① 양 끝점에서 물체의 속력은 0이고, 가속도는 최대이다. (이때 가속도의 방향은 평형점 방향이며 $a_{max}=A\frac{k}{m}$을 만족한다.)

(단, A는 진폭, m은 계의 질량, k는 용수철 상수이다.)

② 양 끝점을 물체가 이동할 때 물체의 속도 변화량은 0이다.
③ 양 끝점을 물체가 이동할 때 탄성력이 물체에 한 일은 0이다.
④ 양 끝점을 물체가 운동할 때 물체의 운동량 변화량은 0이다.
⑤ 양 끝점을 물체가 운동할 때 탄성력에 의한 충격량은 0이다.



개념2 평형점의 운동적 정의

물체가 시작하는 점과 첫 번째 정지하는 점의 중간의 점이 평형점이다.
(마찰이 존재하더라도 두 점의 평균 위치가 평형점이다.)

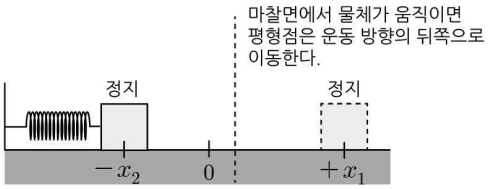
개념3 평형점의 힘적 정의

① 평형점에서 물체의 가속도는 0이다.
② 물체의 속력은 평형점에서 최대이다.
③ 평형점에서 물체의 속력은 $v_{max}=A\sqrt{\frac{k}{m}}$이다. (단, A는 진폭, k는 용수철 상수, m은 물체의 질량이다.)

정리2 마찰면에서 단진동하는 물체

개념1 마찰이 작용할 때 평형점

수평면에서 물체가 용수철에 매달려 단진동을 하는 상황에서
물체의 평형점은 자연의 길이에서 평형점을 갖는다.
하지만 마찰이 있다면 물체는 원래의 늘어난 길이만큼 반대편으로
진행하지 못하므로 평형점은 운동 방향의 반대편에 있다.



개념2 감소하는 진동폭

마찰력은 $f=\mu_k N$에 의하여 일정한 크기로 작용한다.

또한 평형점에 대하여 힘의 평형을 만족하므로 $f=k\frac{x_n-x_{n+1}}{2}$을 만족한다.

$x_n-x_{n+1}=\frac{2f}{k}=$ 상수 관계 자체가 등차 수열의 정의이므로 감소하는 진동폭 $\triangle x$는 일정하다.

예를 들어 처음 정지 위치를 $x_1=8d$, 나중 정지 위치를 $x_2=-6d$라고 할 때 $x_3=4d$, $x_4=-2d$를 만족한다.

정리3 연직면에서 단진동하는 물체

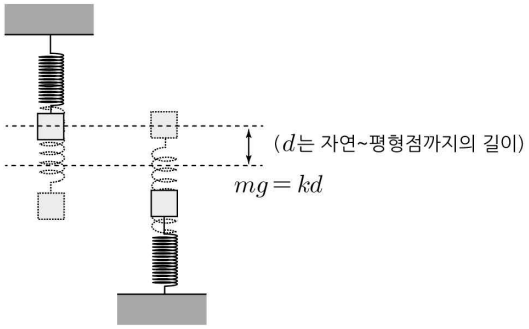
개념1 평형점에서 속도

평형점에서 속도 공식은 $v_{max}=d\sqrt{\frac{k}{m}}$ 이다.

(자연의 길이에서 물체를 낙하시켰으므로 진폭은 $A=d$이다.)

평형점의 힘의 평형 정보를 통해 $d=\frac{mg}{k}$를 만족하므로 대입하면

$v_{max}=g\sqrt{\frac{m}{k}}=\sqrt{gd}$이다.



개념2 양 끝에서 가속도

양 끝에서 최대 가속도 공식은 $a_{max}=d\frac{k}{m}$이다.

$d=\frac{mg}{k}$를 대입하면 $a_{max}=g$이다.

개념3 힘과 에너지의 관계

힘의 평형에 대한 정보를 토대로 평형점에 대해 $mg=kd$의 식을 세울 수 있다.

물체의 평형점 정보를 토대로 양변에 d를 곱하면 에너지 형태가 된다.

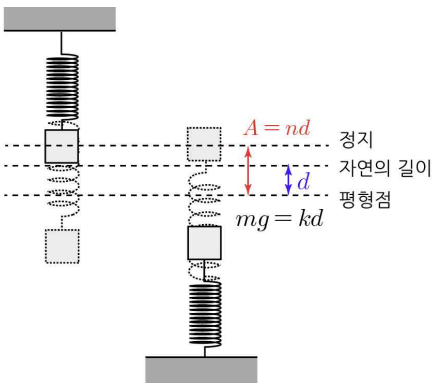
$\frac{1}{2}mgd=\frac{1}{2}kd^2$을 만족하므로 $U=2P$를 만족한다

정리4 연직면에서 잡아당겨 단진동하는 물체

개념1 평형점의 위치

용수철이 위쪽 천장과 연결된 상황 또는 수평면과 연결된 상황 모두

평형점의 위치는 자연의 길이보다 아래에 있다.



개념2 평형점에서 속도

평형점에서 속도 공식은 $v_{max}=A\sqrt{\frac{k}{m}}$ 이다.

(단 d는 자연~평형점까지의 길이, $A=nd$는 정지~평형레버점까지의 길이)

평형점의 힘의 평형 정보를 통해 $d=\frac{mg}{k}$를 만족하므로 대입하면

$v_{max}=ng\sqrt{\frac{m}{k}}=n\sqrt{gd}$이다.

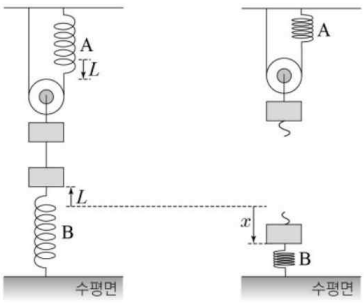
개념3 양 끝에서 가속도

양 끝에서 최대 가속도 공식은 $a_{max}=A\frac{k}{m}$이다.

$d=\frac{mg}{k}$를 대입하면 $a_{max}=ng$이다.

예제1 연직면에서 단진동

그림 (가)는 질량이 같은 두 물체가 실로 연결되어 용수철 A, B와 도르래를 이용하여 정지해 있는 것을 나타낸 것이다. A, B는 각각 원래의 길이에서 L만큼 늘어나 있다. 그림 (나)는 두 물체를 연결한 실이 끊어져 B가 원래의 길이에서 x만큼 최대로 압축되어 물체가 정지한 순간의 모습을 나타낸 것이다. A, B의 용수철 상수는 같다.



(가) (나)

x는? (단, 실의 질량, 용수철의 질량, 도르래의 질량 및 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

① L ② $\frac{3}{2}L$ ③ $2L$ ④ $\frac{5}{2}L$ ⑤ $3L$

해설

(가)의 힘의 평형에서 $2mg = kL$을 만족한다.

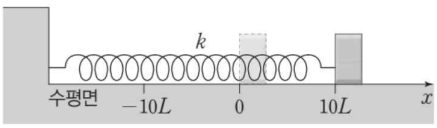
실이 끊어지면 평형점은 $kd = mg = \frac{1}{2}kL$, $d = -\frac{1}{2}L$이다.

처음에 $+L$만큼 떨어져있어 진폭은 $\frac{3}{2}L$이므로

다음으로 정지하는 지점은 $-2L$이다.

예제2 마찰이 있는 수평면에서 단진동

그림과 같이 수평면 위에서 한쪽 끝이 고정되어 있는 용수철 상수가 k인 용수철에 물체를 연결하고 용수철을 원래 길이로부터 $10L$만큼 늘려 물체를 $x = 10L$인 위치에서 가만히 놓았더니 물체가 x축과 나란하게 운동하였다. 표는 물체를 놓는 순간부터 물체의 속력이 0이 될 때의 물체의 위치를 순서대로 나타낸 것이다. 수평면에서 물체에 작용하는 마찰력의 크기는 f로 일정하다.



놓는 순간 물체의 위치	처음으로 물체의 속력이 0이 되는 물체의 위치	두 번째로 물체의 속력이 0이 되는 물체의 위치
$x = 10L$	ⓐ	$x = 2L$

f는? (단, 용수철의 질량, 물체의 크기, 용수철과 수평면 사이의 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

① kL ② $2kL$ ③ $3kL$ ④ $4kL$ ⑤ $5kL$

해설

처음으로 물체의 속력이 0이 되는 위치를 x라고 하자.

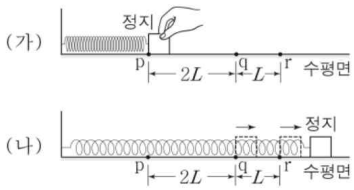
물체가 정지하는 위치는 등차수열 관계를 만족하므로

$x = -6L$에서 물체는 처음으로 정지한다.

1차 평형점의 위치는 $x = 2L$이므로 $f = 2kL$이다.

예제3 수평면에서 단진동

그림 (가)는 마찰이 있는 수평면에서 물체와 연결된 용수철을 원래 길이에서 $2L$만큼 압축하여 물체를 점 p에 정지시킨 모습을 나타낸 것이다. 물체가 p에 있을 때, 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 E_0이다. 그림 (나)는 (가)에서 물체를 가만히 놓았더니 물체가 점 q, r를 지나 정지한 순간의 모습을 나타낸 것이다. p와 q 사이, q와 r 사이의 거리는 각각 $2L$, L이다. (나)에서 물체가 q에서 r까지 운동하는 동안, 물체의 운동 에너지 감소량은 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지 증가량의 $\frac{7}{5}$배이다.



(나)에서 물체가 q, r를 지나는 순간 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지와 물체의 운동 에너지의 합을 각각 E_1, E_2라 할 때, E_1-E_2는? (단, 물체의 크기, 용수철의 질량은 무시한다.)

① $\frac{1}{10}E_0$ ② $\frac{1}{5}E_0$ ③ $\frac{3}{10}E_0$ ④ $\frac{2}{5}E_0$ ⑤ $\frac{1}{2}E_0$

해설

STEP1 조건 분석

p에서 용수철에 저장된 탄성 에너지는 E_0이므로

r에서 용수철에 저장된 탄성 에너지는 $\frac{1}{4}E_0$이다.

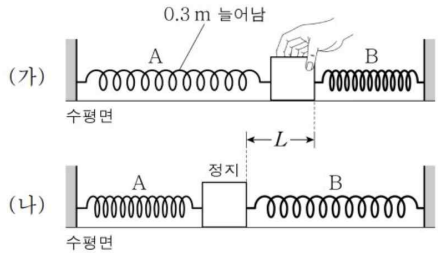
조건에 의하여 $\frac{K_1-K_2}{\frac{1}{4}E_0}=\frac{7}{5}$이고 $K_1-K_2=\frac{7}{20}E$이다.

STEP2 문제 분석

$E_1-E_2=K_1-K_2-\frac{1}{4}E_0=\frac{7}{20}E_0-\frac{1}{4}E_0=\frac{1}{10}E_0$

예제4 이중 용수철의 단진동

그림 (가)와 같이 수평면에서 용수철 A, B가 양쪽에 수평으로 연결되어 있는 물체를 손으로 잡아 정지시켰다. A, B의 용수철 상수는 각각 $100N/m$, $200N/m$이고, A의 늘어난 길이는 $0.3m$이며, B의 탄성 퍼텐셜 에너지는 0이다. 그림 (나)와 같이 (가)에서 손을 가만히 놓았더니 물체가 직선 운동을 하다가 처음으로 정지한 순간 B의 늘어난 길이는 L이다.



L은? (단, 물체의 크기, 용수철의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

① $0.05m$ ② $0.1m$ ③ $0.15m$ ④ $0.2m$ ⑤ $0.3m$

해설

STEP1 평형점

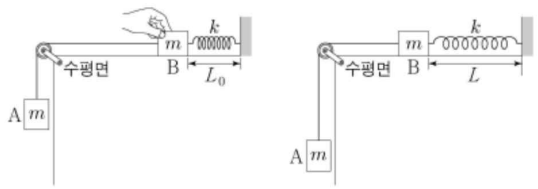
(가)의 상태에서 손을 놓으면 용수철 A의 입장에서 용수철 B는 자연의 길이로부터 늘어나 인력을 작용하므로 마찰력으로 생각할 수 있다. 따라서 1차 평형점은 운동 방향쪽에 있다. A의 자연의 길이로부터 평형점까지의 거리를 x라고 하면 평형점에서 $100x=200(0.3-x)$를 만족하고 $x=0.2m$이다.

STEP2 진폭

진폭은 평형점으로부터 정지하는 점까지의 거리이다. 정지와 평형점의 기준점을 용수철의 자연의 길이로 잡으면 자연의 길이로부터 정지한 지점까지의 거리는 $0.3m$이고, 자연의 길이로부터 평형점까지의 거리는 $0.2m$이므로 진폭은 $0.1m$이다. 따라서 두 정지 사이의 길이 L은 진폭의 2배이므로 $L=2A=0.2m$이다.

예제5 ㄱ자 상황에서 단진동

그림 (가)는 물체 A와 실로 연결된 물체 B를 원래 길이가 L_0인 용수철과 수평면 위에서 연결하여 잡고 있는 모습을, (나)는 (가)에서 B를 가만히 놓은 후, 용수철의 길이가 L만큼 늘어나 A의 속력이 0인 순간의 모습을 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각 m이고, 용수철 상수는 k이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 지면에서 중력에 의한 퍼텐셜 에너지는 0이며, 마찰 및 공기 저항은 무시한다.)

<보 기>

ㄱ. $L-L_0=\dfrac{2mg}{k}$이다.

ㄴ. 용수철의 길이가 L일 때, A에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄷ. B의 최대 속력은 $\sqrt{\dfrac{m}{k}}\,g$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 평형점은 두 정지하는 지점의 중앙이므로
$L-L_0=2x$를 만족한다.
또한 평형점에서 계의 평형에 대해 $mg=kx$를 만족한다.
두 식을 연립하면 $L-L_0=\dfrac{2mg}{k}$이다. (O)

ㄴ. $a_{\max}=A\dfrac{k}{2m}=\dfrac{mg}{k}\dfrac{k}{2m}=\dfrac{1}{2}g$ (X)

ㄷ. $v_{\max}=A\sqrt{\dfrac{k}{2m}}=\dfrac{mg}{k}\sqrt{\dfrac{k}{2m}}=g\sqrt{\dfrac{m}{2k}}$ (X)

THEME

2 용수철의 분리

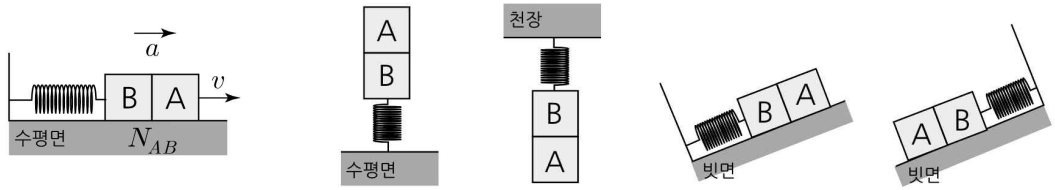
정리1 물체의 분리

개념1 물체의 분리가 일어나기 직전의 성질

① 두 물체의 가속도와 속도가 동일하다.

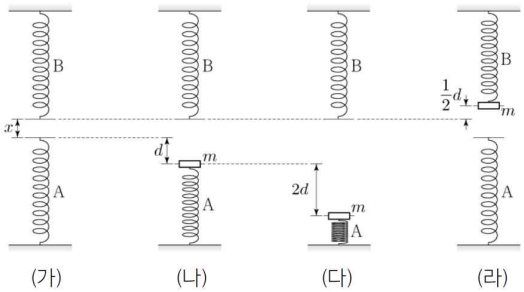
② 두 물체 A와 B가 주고 받는 힘이 사라져 물체간 수직항력 $N_{AB}=0$이 된다.

③ 마찰이 없을 때 자연의 길이에서 두 물체는 분리된다.



예제1 물체의 분리

그림 (가)와 같이 동일한 용수철 A, B가 연직선상에 x만큼 떨어져 있다. 그림 (나)는 (가)의 A를 d만큼 압축시키고 질량 m인 물체를 올려놓았더니 물체가 힘의 평형을 이루며 정지해 있는 모습을, (다)는 (나)의 A를 $2d$만큼 더 압축시켰다가 가만히 놓는 순간의 모습을, (라)는 (다)의 물체가 A와 분리된 후 B를 압축시킨 모습을 나타낸 것이다. B가 $\frac{1}{2}d$만큼 압축되었을 때 물체의 속력은 0이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 용수철 상수는 $\frac{mg}{d}$이다.

ㄴ. $x=\frac{7}{8}d$이다.

ㄷ. 물체가 운동하는 동안 물체의 운동 에너지의 최댓값은 $2mgd$이다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. (나) 힘의 평형) $mg=kd$에서 $k=\frac{mg}{d}$이다. (O)

ㄴ. 힘의 평형 조건에 $\frac{1}{2}d$를 곱하면 $\frac{1}{2}mgd=\frac{1}{2}kd^2$이므로

$\frac{1}{2}U=P$이다.

역학적 에너지 보존을 통해 $9P=\frac{7}{2}U+U'+\frac{1}{4}P$

$U'=\frac{35}{4}P-\frac{7}{2}U=\frac{35}{8}U-\frac{7}{2}U=\frac{7}{8}U$에서

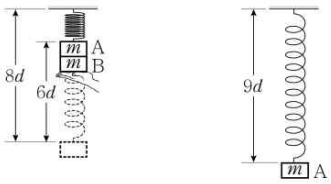
$x=\frac{7}{8}d$를 만족한다. (O)

ㄷ. $v_{max}=\sqrt{A(ng)}=\sqrt{4gd}$

$K_{max}=2mgd$이다. (O)

예제2 물체의 분리

그림 (가)와 같이 원래 길이가 $8d$인 용수철에 물체 A를 연결하고, 물체 B로 A를 $6d$만큼 밀어 올려 정지시켰다. 용수철을 압축시키는 동안 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 증가량은 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량의 3배이다. A와 B의 질량은 각각 m이다. 그림 (나)는 (가)에서 B를 가만히 놓았더니 A가 B와 함께 연직선상에서 운동하다가 B와 분리된 후 용수철의 길이가 $9d$인 지점을 지나는 순간을 나타낸 것이다.



(가) (나)

(나)에서 A의 운동 에너지는? (단, 중력 가속도는 g이고, 용수철의 질량, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

① $\frac{29}{2}mgd$ ② $\frac{31}{2}mgd$ ③ $\frac{63}{4}mgd$ ④ $\frac{65}{4}mgd$ ⑤ $\frac{33}{2}mgd$

해설

조건) $\frac{36P}{6U}=3$에서 $2P=U$이다.

초기~분리전) AB) $36P+12U=30U=2K$에서 $K=15U$

A 분리후~정지) A) $K=K_A-U+P$에서 $K_A=\frac{31}{2}mgd$

PART 6
열역학

개념 유형

(1) 기본 개념
(2) 실린더의 이해
(3) 열역학 그래프
(4) 열기관과 순환 과정

기출 유형

(1) 열역학 상황
(2) 열역학 그래프

THEME

1 — 기본 개념

정리1 열역학의 개념

개념1 열에너지

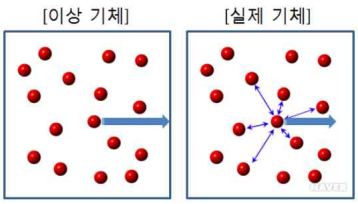
① 열에너지는 물체 내부의 분자 운동에 의해 나타나는 에너지이다.
② 열에너지는 최종적인 에너지로써 자연적인 상태에서 다른 에너지로 전환되지 않는다.
③ 열에너지 공식은 $Q=cm\Delta T$이다. (단, c는 물체의 비열, m은 물체의 질량, ΔT는 온도 변화량이다.)

개념2 절대 온도

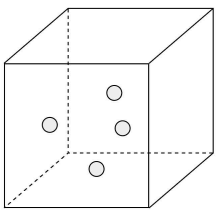
① 정의 : 물체의 뜨겁고 차가움의 정도를 기준으로 정해 수치로 나타낸 것이다.
② 기호 : $T\,[K]$ (켈빈)
③ 섭씨온도와 절대 온도의 관계 : $T(K)=t(℃)+273.15$
④ 이상 기체 방정식의 온도에 절대 온도가 들어간다. (섭씨 온도X)
⑤ 온도가 높아지면 기체 분자의 평균 운동에너지도 비례해서 증가한다. ($T\propto \overline{K}$)

개념3 이상 기체 (Ideal gas)

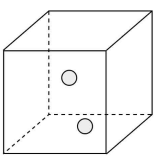
① 이상 기체의 정의
질량이 m이고, 분자의 부피를 무시할 수 있고 충돌하는 동안 에너지 손실이 없는 기체로, 퍼텐셜 에너지가 없으므로
기체 분자의 역학적 에너지는 운동 에너지와 같다. 실제 기체는 압력이 낮거나, 온도가 높거나, 밀도가 작으면 이상 기체처럼 행동한다.



② 이상 기체 방정식
이상 기체는 $PV=nRT=NkT$식을 만족한다. (단, 물리1에서 고립계에 대해서 기체의 몰 수와 기체 상수는 일정하다.)
(단, N은 분자의 개수, k는 볼츠만 상수로 $k=\frac{R}{N_A}$이다. 여기서 R은 기체상수, N_A는 아보가드로 수이다.)



- 압력 : $2P$
- 부피 : $4V$
- 몰 : $4n$
- 온도 : $2T$



- 압력 : $4P$
- 부피 : V
- 몰 : $2n$
- 온도 : $2T$

TIP 1몰

① 1몰은 물질의 양을 나타내는 기본적인 단위로, 아보가드로 수(Avogadro's number)만큼의 입자를 의미한다.
② 1몰의 수소 분자(H_2)는 6.022×10^{23}개의 수소 분자를 포함한다.

정리2 열역학 제 1법칙

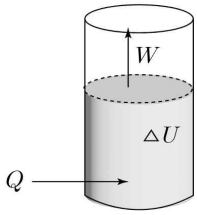
개념1 열역학 제 1법칙

열역학 제 1법칙은 열역학에서의 에너지 보존에 대한 것이다.
어떤 단열된 통에 이상 기체가 들어있을 때 외부에서 준 에너지는 내부에서 사용한 에너지와 동일함을 시사한다.

① 열역학 제 1법칙은 $Q=W+\triangle U$ 이다.

② 한 개의 물리량이 양수(+)라면, 나머지 모든 물리량도 양수(+)이다.
(열효율은 $0<e<1$이므로 ②가 증명된다.)

- $Q>0$이면 기체는 외부로부터 열을 받는다.
- $W>0$이면 기체는 외부로 일을 한다.
- $\triangle U>0$이면 기체의 온도가 증가한다.
  └ 초기 기체의 내부 에너지는 0이 아니므로 변화량의 의미로 △를 붙인다.



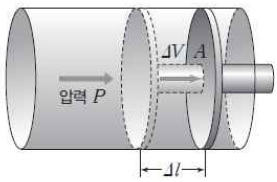
개념2 내부 에너지

단원자 이상기체의 분자가 N개 있을 때 통의 내부에너지는 다음과 같다.
$U=K_{\text{운동}}+K_{\text{회전}}+K_{\text{진동}}+U_{\text{분자간 위치에너지}}$ (단, 위치에너지, 회전에너지, 진동에너지는 너무 작아서 무시한다.)

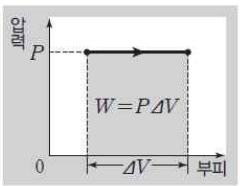
$U=\frac{3}{2}nRT=\frac{3}{2}PV$ (단, $n=\frac{N}{N_A}=\frac{\text{이상기체의 개수}}{\text{아보가드로수}}$)

개념2 기체가 한 일

① 압력은 $P=\frac{F}{A}=\frac{\text{힘}}{\text{힘이 작용하는 면적}}$ 이다.



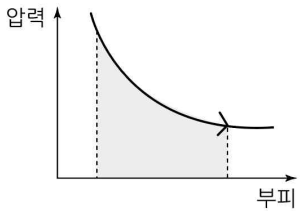
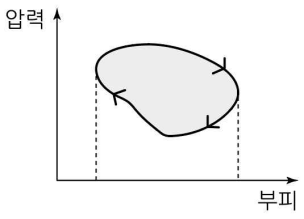
$W=F\triangle l=PA\triangle l=P\triangle V$



압력－부피 그래프에서 그래프 아래 면적은 기체가 외부에 한 일이다.

② 일의 정의를 생각하면 $W=\int Fdx=\int PA\,dl=\int PdV=PV$ 따라서 그래프의 색칠된 면적을 의미한다.

- 단일 과정에서 일은 그래프의 밑면적을 의미한다.
- 순환 과정에서 일은 폐곡선의 면적을 의미한다.

단일 과정에서의 일	순환 과정에서의 일
	

THEME

2 실린더의 이해

정리1 단일 기체

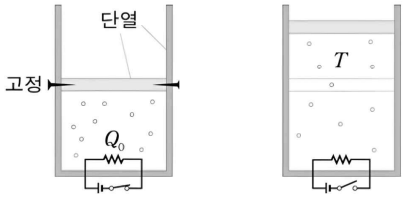
개념1 피스톤의 종류

① 단열 피스톤은 열이동이 없다.

② 금속 피스톤은 열이동이 있다. 충분한 시간이 지난다면 맞닿고 있는 두 기체의 온도는 같다.

개념2 이중 사건의 연결

그림 (가)는 단열된 실린더에 들어 있는 일정량의 이상 기체에 열량 Q_0을 공급하는 모습을 나타낸 것이다.
가열 전 기체의 온도는 T이고, 가열하는 동안 기체의 부피는 일정하게 유지되었다.
그림 (나)는 (가)에서 열 공급을 중단하고 고정핀을 제거하였더니 기체가 팽창하여 온도가 T가 된 모습을 나타낸 것이다.
기체가 외부에 한 일을 구해보자.



(가) (나)

(가)+(나)를 해서 열역학 제 1법칙을 생각해보자. 온도 변화가 없으므로 $Q_0 = W$이다.
따라서, (나)에서 기체의 온도가 T가 될 때까지 기체가 외부에 한 일은 Q_0이다.
즉, 처음과 끝을 연결해서 변수가 사라지거나 상황이 단순해진다면 사건 2개를 연결해서 생각할 수 있다

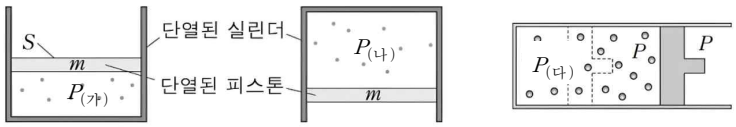
개념3 통 뒤집기

(가), (나), (다)의 상황에서 단열된 움직이는 피스톤의 질량은 m이고, 각각의 이상 기체의 압력을 $P_{(가)}$, $P_{(나)}$, $P_{(다)}$라고 하자.
그러면 각각의 이상 기체의 압력은 다음이 성립한다. (단, 대기압은 P_0이고, 단열된 피스톤의 면적은 S이다.)

(가) $P_{(가)} = P_0 + \frac{mg}{S}$

(나) $P_{(나)} = P_0 - \frac{mg}{S}$

(다) $P_{(다)} = P_0$



(가) (나) (다)

따라서 통을 90° 만큼 회전시킬 때마다 압력은 $\frac{mg}{S}$만큼 감소한다.

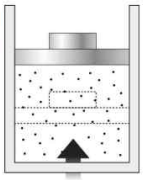
TIP 심화

통을 수평축을 중심으로 θ만큼 회전시킬 때, 평형 방정식을 세워보면 $P \cdot S = P_0 \cdot S + mg\cos\theta$이다.

따라서 이상기체의 압력 $P(\theta)$는 $P(\theta) = P_0 + \frac{mg}{S}\cos\theta$이다.

예제1 등압 과정

그림은 실린더 내부의 이상 기체에 열을 계속 가하였더니 기체의 압력이 일정하게 유지되면서 피스톤이 서서히 올라가고 있는 모습을 나타낸 것이다.



피스톤이 올라가는 동안, 이상 기체에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 기체 분자의 평균 속력은 증가한다.
ㄴ. 내부 에너지는 증가한다.
ㄷ. 외부에 일을 한다.

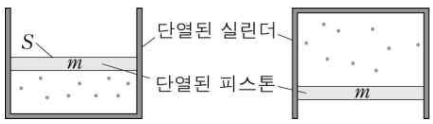
① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 열을 받으면 온도가 증가한다. (O)
ㄴ. 온도가 증가했으므로 내부 에너지는 증가한다. (O)
ㄷ. 부피가 증가하므로 외부에 일을 한다. (O)

예제2 단열 과정

그림 (가)는 단열된 실린더 내부에 이상 기체가 들어 있는 모습을 나타낸 것이다. 피스톤의 질량은 m이고 단면적은 S이다. 그림 (나)는 (가)의 실린더를 천천히 뒤집었더니 피스톤이 이동하여 기체의 부피가 증가한 채로 정지한 모습을 나타낸 것이다.



(가) (나)

(가)에서 (나)로 변하는 동안, 기체에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 대기압은 일정하며 모든 마찰은 무시한다.)

<보 기>

ㄱ. 외부로부터 일을 받는다.
ㄴ. 압력이 $\frac{mg}{S}$만큼 감소한다.
ㄷ. 내부 에너지가 감소한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 부피가 증가하므로 외부로 일을 한다. (X)
ㄴ. (가) $mg+PS=P_{가}S \rightarrow P_{가}=P+\frac{mg}{S}$

(나) $mg+P_{나}S=PS \rightarrow P_{나}=P-\frac{mg}{S}$

따라서 압력은 $\frac{2mg}{S}$만큼 감소한다. (X)
ㄷ. 단열 팽창이므로 온도가 감소한다. (O)

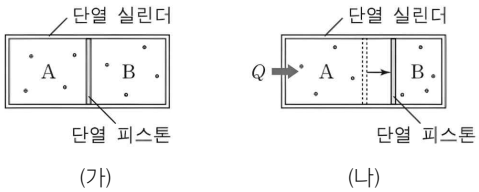
정리2 다중 기체

개념1 내부의 단열 실린더

그림 (가)와 같이 이상 기체가 들어 있는 단열 실린더가 단열 피스톤에 의해 A, B로 나누어져 있다.
그림 (나)는 (가)에서 A의 기체에 열량 Q를 가했더니 피스톤이 천천히 이동하여 정지한 모습을 나타낸 것이다.
A의 기체의 내부 에너지 변화량과 B의 기체의 내부 에너지 변화량을 비교하시오.

접근1 에너지로 해석

A의 열역학 제 1법칙은 $Q = W + \Delta U_A$이다.
B의 열역학 제 1법칙은 $0 = -W + \Delta U_B$이다.
따라서 $\Delta U_A = Q - W$이고, $\Delta U_B = W$이므로
기체의 내부 에너지 변화량을 비교하기가 힘들다.



접근2 이상기체 방정식으로 해석

이번에는 이상기체 방정식으로 문제를 접근해보자.

- 처음 (가)의 상태에서 육안상 A에 부피와 B의 부피는 동일하고, 단열 피스톤이 정지해있으므로 압력도 동일하다.
  따라서 이상기체 방정식으로 두 기체의 온도는 동일함을 알 수 있다. (즉, 모든 물리량이 동일한 상태이다.)
- 나중 (나)의 상태에서 B는 단열 압축으로 인해 압력과 온도가 증가한다.
  피스톤이 정지해있으므로 A와 B의 압력은 동일한 것을 알 수 있다.

위의 조건과 각 상황에서 이상기체 방정식을 만족하는 임의의 숫자를 넣어 비교해보면 다음과 같은 표를 생각해볼 수 있다.

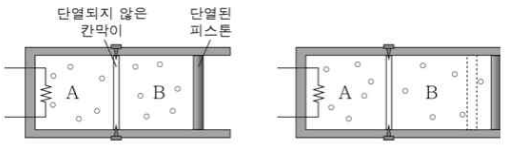
- (가), (나)에서 부피의 합을 6V로 유지시킨다.
- 각 상황에서 PV의 곱을 T에 대응시킨다.

	(가)		(나)	
	A	B	A	B
압력	$3P = 3P$		$9P = 9P$	
부피	$3V = 3V$		$4V > 2V$	
온도	$9T = 9T$		$36T > 18T$	

따라서 온도 변화는 A > B이므로 내부 에너지 변화량도 A > B이다.

예제3 수평면 실린더

그림 (가)는 고정된 칸막이에 의해 두 부분으로 나누어진 실린더 내부에 같은 양의 이상 기체 A, B가 들어 있고 피스톤은 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. 실린더와 피스톤은 단열되어 있다. 그림 (나)는 (가)에서 A에 열량 Q를 가했더니 피스톤이 천천히 이동하여 정지한 모습을 나타낸 것이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 대기압은 일정하고, 피스톤과 실린더 사이의 마찰은 무시한다.)

<보 기>

ㄱ. A의 내부 에너지는 (가)보다 (나)에서 Q만큼 크다.
ㄴ. (나)에서 A와 B의 온도는 같다.
ㄷ. B의 온도는 (나)일 때가 (가)일 때보다 높다.

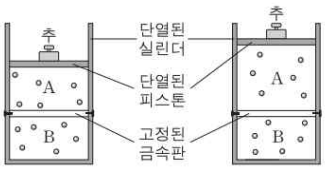
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 외부에 일을 하므로 Q만큼 크진 않는다. (X)
ㄴ. 단열 되지 않은 칸막이이므로 온도가 같다. (O)
ㄷ. 열을 가하면 온도가 증가한다. (O)

예제4 연직면 실린더

그림 (가)와 같이 열전달이 잘되는 금속판에 의해 분리된 실린더에 같은 양의 동일한 이상 기체 A와 B가 열평형 상태에 있다. A, B의 부피와 압력의 합은 같다. 그림 (나)는 (가)에서 B에 열량 Q를 가했더니 A의 부피가 서서히 증가하여 피스톤이 정지한 모습을 나타낸 것이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 피스톤의 질량, 실린더와 피스톤 사이의 마찰, 금속판이 흡수한 열량은 무시한다.)

<보 기>

ㄱ. (나)에서 기체의 압력은 A가 B보다 작다.
ㄴ. (나)에서 기체의 내부 에너지는 A가 B보다 크다.
ㄷ. (가)에서 (나)로 되는 과정에서 A가 흡수한 열량은 $\frac{1}{2}Q$보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 금속판이므로 온도가 동일하다.
하지만 부피가 A > B이므로 압력은 A < B이다. (O)
ㄴ. 기체의 내부 에너지는 A = B이다. (X)
ㄷ. 전체적 입장에서 열역학 제 1법칙은 $Q = W + 2\Delta U$
이므로 $\Delta U = \frac{Q - W}{2}$이다.
A의 입장에서 $Q_A = W + \Delta U = \frac{1}{2}Q + \frac{1}{2}W$이다. (O)

THEME

3 열역학 과정

정리1 열역학 과정

개념1 등적 과정

등적 과정은 열의 출입에 대해서 기체의 부피가 일정한 과정이다.
이 과정은 단열된 실린더에 단열된 피스톤을 고정시켜놓으면 된다.
열 출입시 기체가 외부에 한 일은 0이므로 열효율은 0이다.

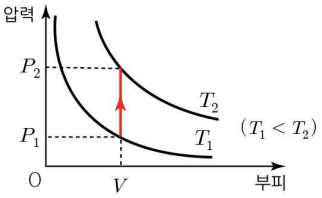
① $W=0$

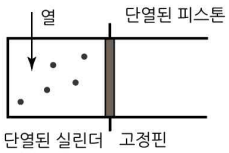
② $\triangle U=\frac{3}{2}nR\triangle T$

③ $Q=\triangle U=\frac{3}{2}nR\triangle T$

④ $e=0$

⑤ $\triangle S=\frac{\triangle Q}{T}=\int_{Q_1}^{Q_2}\frac{dQ}{T}=\int_{T_1}^{T_2}\frac{nC_VdT}{T}=nC_V\ln\frac{T_2}{T_1}$





개념2 등압 과정

등압 과정은 열의 출입에 대해서 기체의 압력이 일정한 과정이다.
이 과정은 열을 천천히 출입시키게 되면 단열된 피스톤은 외부와 압력이 동일하다.
만약 단원자 이상기체라면 자유도에 의하여 $\triangle U=\frac{3}{2}nR\triangle T$이므로 열효율은 0.4이다.

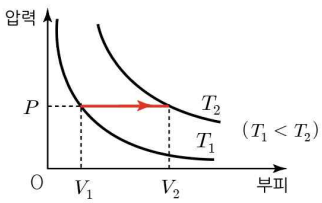
① $W=P\triangle V=nR\triangle T$

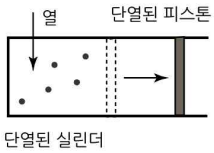
② $\triangle U=\frac{3}{2}nR\triangle T$

③ $Q=W+\triangle U=\frac{5}{2}nR\triangle T$

④ $e=0.4$ (Q: W: $\triangle U=5:2:3$)

⑤ $\triangle S=\frac{\triangle Q}{T}=\int_{Q_1}^{Q_2}\frac{dQ}{T}=\int_{T_1}^{T_2}\frac{nC_PdT}{T}=nC_P\ln\frac{T_2}{T_1}$





	1원자 기체	2원자 기체	3원자 기체
예	He, Ne	H_2, O_2	H_2O
병진 자유도	3	3	3
회전 자유도	0	2	3
K	$\frac{3}{2}nRT$	$\frac{5}{2}nRT$	$\frac{6}{2}nRT$
C_V	$\frac{3}{2}R$	$\frac{5}{2}R$	$\frac{6}{2}R$
C_P	$\frac{5}{2}R$	$\frac{7}{2}R$	$\frac{8}{2}R$
$\gamma=\frac{C_P}{C_V}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{7}{5}$	$\frac{8}{6}$

정리1 열역학 과정

개념3 등온 과정

등온 과정은 열의 출입에 대해서 온도 변화없이 일정한 과정이다.
이 과정은 피스톤을 열전달이 잘 되는 금속판으로 설치하면 가능하다.
또한 열 에너지를 흡수하면 내부 에너지 변화가 없으므로 전부 외부로 일을 하게 되어 열효율이 1이 되는 것을 알 수 있다.

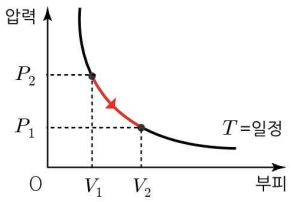
① $W=\int_{V_1}^{V_2} PdV=\int \frac{nRT}{V}dV=nRT\ln\frac{V_2}{V_1}$

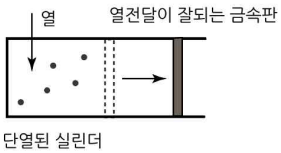
② $\triangle U=0$

③ $Q=W=nRT\ln\frac{V_2}{V_1}$

④ $e=1$

⑤ $\triangle S=\frac{\triangle Q}{T}=\frac{nRT\ln\frac{V_2}{V_1}}{T}=nR\ln\frac{V_2}{V_1}$





개념4 단열 과정

단열 과정은 열의 출입 없이 힘을 작용하여 압력과 부피를 변화시키는 과정이다.

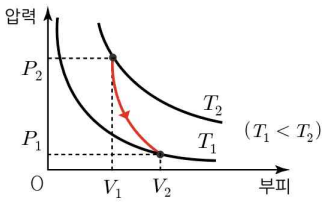
① $W=-\triangle U=-\frac{3}{2}nR\triangle T$

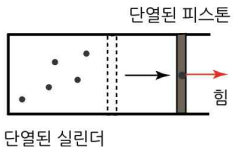
② $\triangle U=\frac{3}{2}nR\triangle T$

③ $Q=0$

④ 받은 열이 없어 열효율이 정의되지 않는다.

⑤ $\triangle S=\frac{\triangle Q}{T}=\frac{0}{T}=0$





개념5 등온 과정과 단열 과정 그래프

① 등온 과정의 그래프는 $PV=$일정 을 만족한다.

부피가 2배가 되면 압력은 $\frac{1}{2}$배가 된다.

② 단열 과정의 그래프는 $PV^{\gamma}=$일정 을 만족한다. (단, 단원자 이상기체에서 $\gamma=\frac{5}{3}$을 만족한다.)

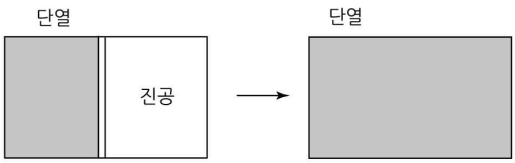
정리2 자유 팽창 과정

개념1 자유 팽창 과정

자유 팽창(Free Expansion)은 외부 압력이 0인 진공 상태로 기체가 팽창하는 비가역적인 열역학 과정이다.
이 과정은 단열된 용기 내부에서 일어나므로 외부와의 열 교환이 없다.

① 외부로부터 받은 열은 0이다.

- $Q_{외부}=0$: 외부로부터 열을 받지 않는다.
- $W_{외부}=0$: 기체가 팽창하면서 상자 밖으로 일을 하지 않는다.
- $\triangle U_{내부}=0 \leftarrow Q=\triangle U_{내부}+W_{외부}$



② 내부에서는 단열팽창이 일어난다.

$W_{내부}=-\triangle U=-\frac{3}{2}nR\triangle T \rightarrow$ 온도 감소

③ 상자속 엔트로피

$$\triangle S=\frac{\triangle Q}{T}=\frac{nRT\ln\frac{V_2}{V_1}}{T}=nR\ln\frac{V_2}{V_1}$$

THEME

4 — 열기관과 순환 과정

정리1 열기관과 열효율

개념1 열기관

① 원리 : 고온으로부터 열을 흡수해서 일을 하고, 남은 일을 저온의 열원에 방출한 후 원래의 상태로 다시 돌아오는 장치이다.

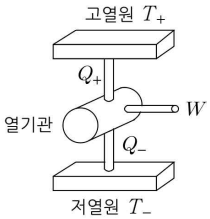
② 목적 : 열에너지를 역학적 에너지로 전환하는 것 (열에너지는 최종적 에너지라 자연적으로 다른 에너지로 전환X)

개념2 열기관의 열효율

① 열효율 : $e=\frac{W}{Q_+}=1-\frac{Q_-}{Q_+}$

② 한 번의 순환 과정 동안 기체가 외부에 한 일 : $W=eQ_+$

③ 외부로 방출된 열에너지 : $Q_-=(1-e)Q_+$



개념3 열기관의 비례식

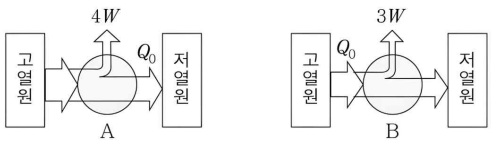
만약 동일한 열기관에서 2번의 실험을 했을 때 열효율이 일정하다면 모든 값이 비례 관계($Q_+ \propto Q_- \propto W$)에 있다.

열효율 $e=0.3$	Q_+ (받은 열)	W (한 일)	Q_- (내보낸 열)
실험1	$100J$	$30J$	$70J$
실험2	$200J$	$60J$	$140J$

위의 표를 보면 열효율이 일정할 때 받은 열이 2배가 됐을 때 나머지 물리량들도 전부 2배가 된 것을 알 수 있다.

예제1 열효율이 같은 열기관

그림은 고열원으로부터 열을 흡수하여 $4W$의 일을 하고 저열원으로 Q_0의 열을 방출하는 열기관 A와, Q_0의 열을 흡수하여 $3W$의 일을 하는 열기관 B를 나타낸 것이다. A와 B의 열효율은 e로 같다.



e는?

① $\frac{1}{8}$ ② $\frac{1}{5}$ ③ $\frac{1}{4}$ ④ $\frac{1}{3}$ ⑤ $\frac{1}{2}$

해설

열효율이 동일하므로 비율이 동일하다.
두 상황에서 한 일의 비율이 $4:3$이므로 고열원에서 흡수한 열의 비율도 $4:3$이다.
따라서 $3(Q_0+4W)=4Q_0$에서 $Q_0=12W$이다.

정리하면 $e=\frac{3W}{12W}=\frac{1}{4}$이다.

예제2 열효율이 다른 열기관

표는 고열원에서 열을 흡수하여 일을 하고 저열원으로 열을 방출하는 열기관 A, B가 1회의 순환 과정 동안 한 일과 저열원으로 방출한 열을 나타낸 것이다. 열효율은 A가 B의 2배이다.

열기관	한 일	방출한 열
A	8kJ	12kJ
B	W_0	8kJ

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A의 열효율은 $\frac{2}{5}$이다.
ㄴ. $W_0=2$kJ이다.
ㄷ. 1회의 순환 과정 동안 고열원에서 흡수한 열은 A가 B의 2배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

상황에 대해서 표로 그리면 다음과 같다.

열기관	흡수한 열	한 일	방출한 열
A	20	8	12
B			8

A의 열효율은 0.4이므로 B의 열효율은 0.2이다.
$Q_-=(1-e)Q_+$에 의하여 $8=0.8Q_+$이므로 $Q_+=10$이다.

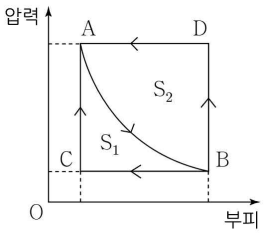
열기관	흡수한 열	한 일	방출한 열
A	20	8	12
B	10	2	8

ㄱ. A의 열효율은 $\frac{2}{5}$이다. (O)
ㄴ. $W_0=2$kJ이다. (O)
ㄷ. 흡수한 열은 A가 B의 2배이다. (O)

정리2 순환 과정

개념1 순환 과정 그래프

① 시계 방향 순환[A→B→C→A 순환]
한 번의 순환 과정 동안 기체가 한 일 : $W>0$
기본적으로 순환 과정은 열을 흡수하므로 시계 방향 순환을 한다.



② 반시계 방향 순환[A→B→D→A 순환]
한 번의 순환 과정 동안 기체가 한 일 : $W<0$

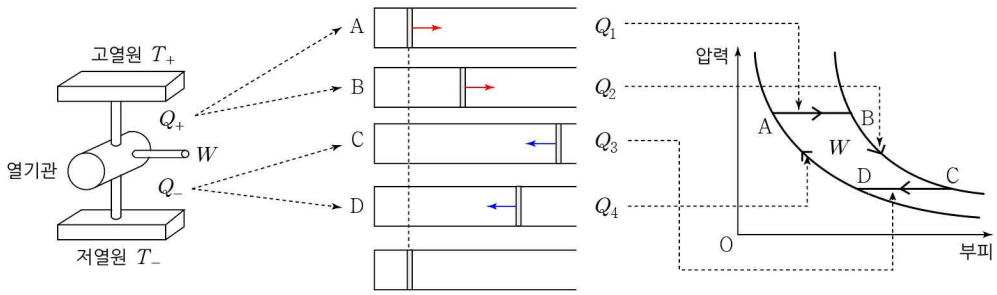
개념2 한 번의 순환 과정의 열효율

한 번의 순환 과정에서 다음과 같은 성질이 있다.

① $\Delta U_{tot}=0$

② $W_{tot}=Q_+-Q_-$ (그래프의 내부 면적과 같다.)

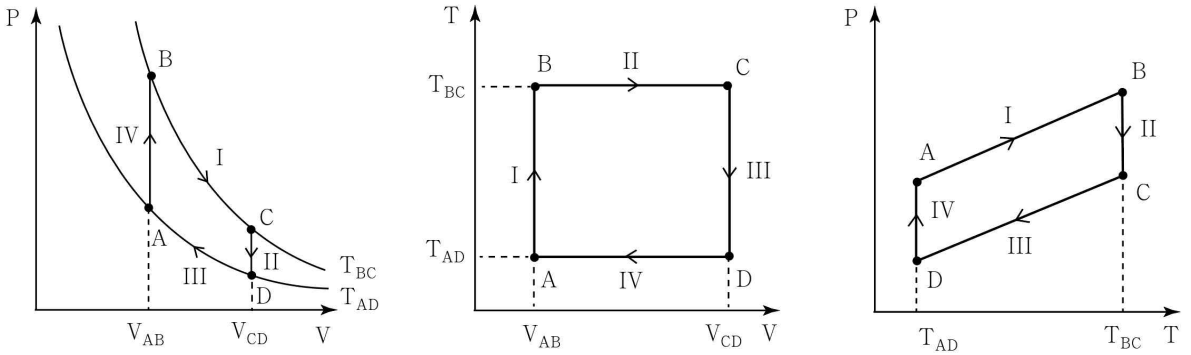
③ $e=\dfrac{\text{폐면적}}{\text{총 받은 열}}=\dfrac{W_{tot}}{Q_+}$, $e=\dfrac{W}{Q_+}=\dfrac{Q_+-Q_-}{Q_+}=1-\dfrac{Q_-}{Q_+}=1-\dfrac{Q_3+Q_4}{Q_1+Q_2}$ (두 가지 표현법이 있다.)



정리3 스털링 기관

개념1 순환 과정에서 그래프

스털링 기관은 등적 과정과 등온 과정을 반복하는 기관이다.



TIP 축변환

축변환이란 열역학 그래프에서 한 축이 온도(T)로 제시가 될 때 그래프를 쉽게 그릴 수있는 스킬이다.

① 방향성: VT그래프, TP그래프에서는 시계 방향 진행이다. (TV, PT그래프에서는 반시계 방향진행이다.)
② 점의 위치: VT그래프에서 점의 위치는 변하지 않는다. PT그래프에서 점의 위치는 90° 만큼 회전한다.)
(만약 반시계 방향이 되면 추가적으로 $y=x$대칭이 일어난다.)

개념2 등온 과정(I, III)의 성질

등온 과정(과정 I)에서 기체가 한 일은 $W_{BC}=\int_B^C PdV=\int_B^C \frac{nRT}{V}dV=nRT_{BC}\ln\left(\frac{V_{CD}}{V_{AB}}\right)$이다.

등온 과정(과정 III)에서 기체가 한 일은 $W_{DA}=\int_D^A PdV=\int_D^A \frac{nRT}{V}dV=nRT_{AD}\ln\left(\frac{V_{AB}}{V_{CD}}\right)$이다.

따라서 두 등온 과정 I, III에서 기체가 한 일의 비($W_{BC}:W_{DA}$)는 온도의 비($T_{BC}:T_{AD}$)와 동일하다.

TIP 예시

표는 각 과정에서 기체가 한 일에 대해서 나와있다.

$\frac{T_{BC}}{T_{AD}}$를 구하시오.

기체가 외부로 한 일의 비가 2:1이므로 $\frac{T_{BC}}{T_{AD}}=2$이다.

	W
과정 I	$+4E_0$
과정 II	0
과정 III	$-2E_0$
과정 IV	0

개념3 등적 과정(II, IV)의 성질

스털링 기관에 대해서 표를 채우면 다음과 같다.

① 두 등적 과정은 등온 과정에 의하여 내부 에너지 변화량이 1:1로 같다.
② 두 등적 과정의 열에너지가 1:1로 같다.

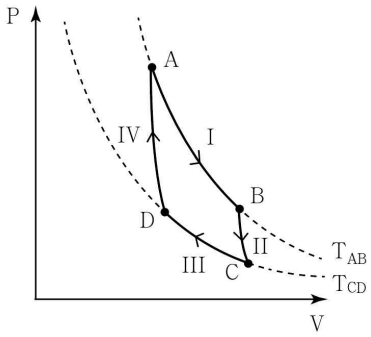
	W	ΔU	Q
과정 I	$+Q_I$	0	$+Q_I$
과정 II	0	$-Q$	$-Q$
과정 III	$-Q_{III}$	0	$-Q_{III}$
과정 IV	0	$+Q$	$+Q$

정리4 카르노 기관

개념1 카르노 기관

① 1824년 프랑스 과학자 카르노(Carnot)는 카르노 기관이라고 하는 이상적인 열기관을 제안하였다.
카르노 기관은 고열원과 저열원 사이에서 이상적인(Ideal) 가역 순환 과정(다시 되돌아 올 수 있는 과정)으로 작동하는 열기관으로, 같은 온도 사이에서 작동하는 열기관 중 열효율이 가장 높은 이상적인 열기관이다.

② 카르노 기관은 등온 과정과 단열 과정을 반복하는 열기관이다.



개념2 단열 과정(II, IV)의 성질

단열 과정(과정 II)에서 열역학 제 1법칙을 쓰면 $0 = W_{II} + \Delta U_{II}$이다.

단열 과정(과정 IV)에서 열역학 제 1법칙을 쓰면 $0 = W_{IV} + \Delta U_{IV}$이다.

등온 과정에 의하여 내부 에너지 변화량이 동일하기 때문에 두 단열 과정에서 한 일의 비는 $W_{II} : W_{IV} = 1 : 1$로 동일하다.

	W	ΔU	Q
과정 I	$+Q_I$	0	$+Q_I$
과정 II	$+Q$	$-Q$	0
과정 III	$-Q_{III}$	0	$-Q_{III}$
과정 IV	$-Q$	$+Q$	0

개념3 부피와 압력 사이의 관계

- A → B에서는 등온 과정이므로 이상기체 방정식 $PV \propto T$에 의해 $\frac{V_B}{V_A} = \frac{P_A}{P_B}$이다.
- B → C에서는 단열 과정이므로 단열 방정식 PV^{γ}=일정에 의해 $\left(\frac{V_C}{V_B}\right)^{\gamma} = \frac{P_B}{P_C}$이다.
- C → D에서는 등온 과정이므로 이상기체 방정식 $PV \propto T$에 의해 $\frac{V_D}{V_C} = \frac{P_C}{P_D}$이다.
- D → A에서는 단열 과정이므로 단열 방정식 PV^{γ}=일정에 의해 $\left(\frac{V_A}{V_D}\right)^{\gamma} = \frac{P_D}{P_A}$이다.

위의 식들을 전부 곱하면 $V_A V_C = V_B V_D$의 관계를 만족한다. (암기: 크로스 곱!)

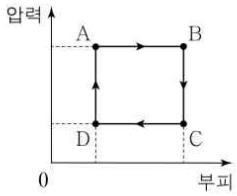
개념4 카르노 기관의 열효율

$e = 1 - \frac{Q_-}{Q_+} = 1 - \frac{Q_{III}}{Q_I} = 1 - \frac{nRT_{CD}\ln\left(\frac{V_D}{V_C}\right)}{nRT_{AB}\ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)} = 1 - \frac{T_{CD}}{T_{AB}}$을 정리하면 $e_{\text{카르노}} = 1 - \frac{Q_{III}}{Q_I} = 1 - \frac{T_{CD}}{T_{AB}}$이다.

따라서 두 등온 과정 I, III에서 기체가 한 일의 비($W_{AB} : W_{CD}$)는 온도의 비($T_{AB} : T_{CD}$)와 동일하다.

예제3 열효율 구하기

그림은 일정량의 이상 기체의 상태가 A→B→C→D→A 과정을 따라 변할 때 압력과 부피를 나타낸 것이다. 표는 각 과정에서 기체가 흡수 또는 방출하는 열량을 나타낸 것이다.



과정	흡수 또는 방출하는 열량
A→B	$15Q$
B→C	$9Q$
C→D	$5Q$
D→A	$3Q$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A→B 과정에서 기체의 온도가 증가한다.
ㄴ. 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은 $16Q$이다.
ㄷ. 열기관의 열효율은 $\frac{2}{9}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

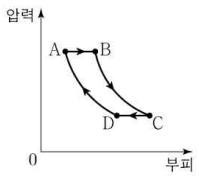
앞서 한 물리량이 양수이면 나머지 물리량도 전부 양수라고 했다. AB과정에서 W는 양수이므로 나머지(Q, ΔU)도 양수이다. BC과정에서 압력이 감소하므로 온도가 감소한다. 따라서 나머지도 전부 감소한다. 이렇게 CD와 DA과정도 생각해보면 아래와 같이 표를 쓸 수 있다.
또한 등압 과정에서 $Q : W : \Delta U = 5 : 2 : 3$을 만족한다.

과정	Q	W	ΔU
AB	$+15Q$	$+6Q$	$+9Q$
BC	$-9Q$	0	$-9Q$
CD	$-5Q$	$-2Q$	$-3Q$
DA	$+3Q$	0	$+3Q$

ㄱ. $+9Q$ 만큼 내부 에너지가 증가한다. (O)
ㄴ. 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은 $+4Q$이다. (X)
ㄷ. 열효율은 $e = \frac{4Q}{18Q} = \frac{2}{9}$이다. (O)

예제4 열효율 제시

그림은 열효율이 0.3인 열기관에서 일정량의 이상 기체가 상태 A→B→C→D→A를 따라 순환하는 동안 기체의 압력과 부피를, 표는 각 과정에서 기체가 흡수 또는 방출하는 열량을 나타낸 것이다.



과정	흡수 또는 방출하는 열량(J)
A→B	㉠
B→C	0
C→D	140
D→A	0

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. ㉠은 200이다.
ㄴ. A→B 과정에서 기체의 내부 에너지는 감소한다.
ㄷ. C→D 과정에서 기체는 외부로부터 열을 흡수한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

열효율이 0.3이므로 $e = 1 - \frac{Q_-}{Q_+}$를 통해

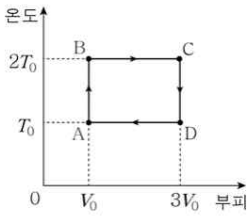
$0.7 = \frac{Q_-}{Q_+} = \frac{140}{Q_{AB}}$, $Q_{AB} = 200J$이다.

과정	Q	W	ΔU
AB	$+200$	$+80$	$+120$
BC	0		
CD	-140	-56	-74
DA	0		

ㄱ. ㉠은 200이다. (O)
ㄴ. 내부 에너지는 +120만큼 증가한다. (X)
ㄷ. 기체는 외부로부터 열을 방출한다. (X)

예제5 온도가 들어있는 그래프

그림은 일정량의 이상 기체의 상태가 A→B→C→D→A 과정을 따라 변할 때 절대 온도와 부피를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A와 C에서 기체의 압력은 같다.
ㄴ. B→C 과정에서 기체가 한 일은 기체가 흡수한 열량과 같다.
ㄷ. A→B 과정에서 기체가 흡수한 열량은 C→D 과정에서 기체가 방출한 열량과 같다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. A의 압력을 P라고 하면, C의 압력은 $\frac{2}{3}$P이다. (X)
(등온 과정의 성질)
ㄴ. 등온 과정에서 기체가 한 일은 기체가 흡수한 열량과 같다. (O)
ㄷ. 등온-등온 사이의 과정에서 온도 변화가 같다. 이때 AB, CD 과정은 등적 과정이므로 열 변화가 같다. (O)

유형 01 열역학 상황

01 2022학년도 6월 11번 정답률 52%

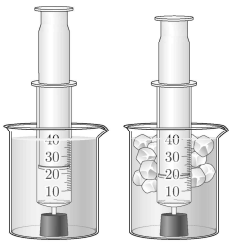
11. 다음은 열의 이동에 따른 기체의 부피 변화를 알아보기 위한 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 20 mL의 기체가 들어있는 유리 주사기의 끝을 고무마개로 막는다.

(나) (가)의 주사기를 뜨거운 물이 든 비커에 담그고, 피스톤이 멈추면 눈금을 읽는다.

(다) (나)의 주사기를 얼음물이 든 비커에 담그고, 피스톤이 멈추면 눈금을 읽는다.



(나) 과정 (다) 과정

〔실험 결과〕

과정	(가)	(나)	(다)
기체의 부피(mL)	20	23	18

주사기 속 기체에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

<보 기>

ㄱ. 기체의 내부 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.
ㄴ. (나)에서 기체가 흡수한 열은 기체가 한 일과 같다.
ㄷ. (다)에서 기체가 방출한 열은 기체의 내부 에너지 변화량과 같다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

(가) 기존, (나) 가열, (다) 냉각

ㄱ. 내부 에너지는 (가)<(나)이다. (O)

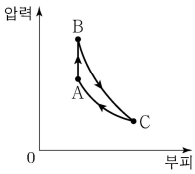
ㄴ. 열역학 1법칙에 의해서 같지 않다. $Q > W$이다. (X)

ㄷ. 열역학 1법칙에 의해서 같지 않다. $Q > \Delta U$이다. (X)

유형 02 열역학 그래프

01 2022학년도 9월 14번 정답률 56%

14. 그림은 열효율이 0.2인 열기관에서 일정량의 이상 기체가 상태 A → B → C → A를 따라 순환하는 동안 기체의 압력과 부피를 나타낸 것이다. A → B 과정은 부피가 일정한 과정이고, B → C 과정은 단열 과정이며, C → A 과정은 등온 과정이다. C → A 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일은 160 J이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 기체의 온도는 B에서가 C에서보다 높다.
ㄴ. A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량은 200 J이다.
ㄷ. B → C 과정에서 기체가 한 일은 240 J이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. BC과정은 단열 과정이므로 B에서가 온도가 더 높다. (O)

ㄴ.

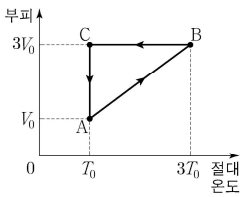
과정	Q	W	ΔU
AB	+200	0	+200
BC	0	−200	−200
CA	−160	−160	0

표를 통하여 AB과정에서 기체가 흡수한 열량은 200이다. (O)

ㄷ. BC과정에서 기체가 한 일은 200이다. (X)

02 2022학년도 수능 17번 정답률 43%

17. 그림은 열기관에서 일정량의 이상 기체의 상태가 A → B → C → A를 따라 순환하는 동안 기체의 부피와 절대 온도를 나타낸 것이다. A → B 과정에서 기체는 압력이 P_0으로 일정하고 기체가 흡수하는 열량은 Q_1이다. B → C 과정에서 기체가 방출하는 열량은 Q_2이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A → B 과정에서 기체의 내부 에너지는 증가한다.
ㄴ. 열기관의 열효율은 $\frac{Q_1-Q_2}{Q_1}$보다 작다.
ㄷ. 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은 $\frac{2}{3}P_0V_0$보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

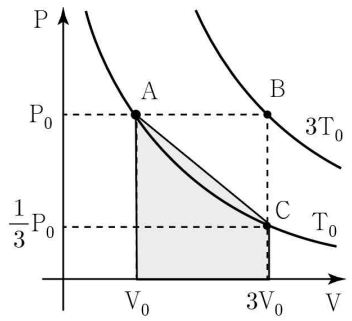
해 설

ㄱ. AB과정은 온도가 증가한다. (O)

ㄴ. CA과정에서는 등온 과정에서 부피가 줄어든다.

따라서 열을 방출한다. $e=1-\frac{Q_2+Q_3}{Q_1}$이다. (O)

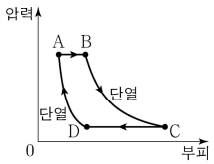
ㄷ.



사각형의 면적이 $\frac{2}{3}P_0V_0$이므로 사각형보다 큰 폐면적은 $\frac{2}{3}P_0V_0$보다 크다. (O)

03 2023학년도 6월 16번 정답률 24%

16. 그림은 열효율이 0.5인 열기관에서 일정량의 이상 기체의 상태가 A → B → C → D → A를 따라 변할 때 기체의 압력과 부피를 나타낸 것이다. A → B, C → D는 각각 압력이 일정한 과정이고, B → C, D → A는 각각 단열 과정이다. A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량은 Q이다. 표는 각 과정에서 기체가 외부에 한 일 또는 외부로부터 받은 일을 나타낸 것이다.



과정	기체가 외부에 한 일 또는 외부로부터 받은 일
A → B	$8W$
B → C	$9W$
C → D	$4W$
D → A	$3W$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

<보 기>

ㄱ. $Q = 20W$이다.
ㄴ. 기체의 온도는 A에서가 C에서보다 낮다.
ㄷ. A → B 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은 C → D 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

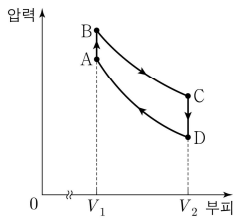
과정	Q	W	ΔU
AB	$+20W$	$+8W$	$+12W$
BC	0	$+9W$	$-9W$
CD	$-10W$	$-4W$	$-6W$
DA	0	$-3W$	$+3W$

AB와 DA과정은 등압 과정이므로 5 : 2 : 3을 만족한다.
(열효율은 과조건이다.)

ㄱ. $Q = 20W$이다. (O)
ㄴ. 기체의 온도는 $+6W$에 의해서 A에서가 C에서보다 낮다. (O)
ㄷ. AB과정의 내부 에너지 증가량은 $+12W$이고,
CD과정의 내부 에너지 감소량은 $-6W$이다. (O)

04 2023학년도 9월 15번 정답률 44%

15. 그림은 열기관에서 일정량의 이상 기체가 상태 A → B → C → D → A를 따라 순환하는 동안 기체의 압력과 부피를, 표는 각 과정에서 기체가 흡수 또는 방출하는 열량과 기체의 내부 에너지 증가량 또는 감소량을 나타낸 것이다.



과정	흡수 또는 방출하는 열량(J)	내부 에너지 증가량 또는 감소량(J)
A → B	50	㉡
B → C	100	0
C → D	㉠	120
D → A	0	㉢

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. ㉠은 120이다.
ㄴ. ㉢ − ㉡ = 20이다.
ㄷ. 열기관의 열효율은 0.2이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

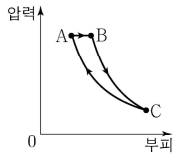
해 설

과정	Q	W	ΔU
AB	$+50$	0	$+50$
BC	$+100$	$+100$	0
CD	-120	0	-120
DA	0	-70	$+70$

ㄱ. ㉠은 -120이다. (O)
ㄴ. ㉢ − ㉡ = 20이다. (O)
ㄷ. 열효율은 $e = \frac{30}{150} = 0.2$이다. (O)

05 2023학년도 수능 13번 정답률 54%

13. 그림은 열효율이 0.2인 열기관에서 일정량의 이상 기체가 상태 A → B → C → A를 따라 순환하는 동안 기체의 압력과 부피를 나타낸 것이다. A → B 과정은 압력이 일정한 과정, B → C 과정은 단열 과정, C → A 과정은 등온 과정이다. 표는 각 과정에서 기체가 외부에 한 일 또는 외부로부터 받은 일을 나타낸 것이다.



과정	기체가 외부에 한 일 또는 외부로부터 받은 일(J)
A → B	60
B → C	90
C → A	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

<보 기>

ㄱ. 기체의 온도는 B에서가 C에서보다 높다.
ㄴ. A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량은 150 J이다.
ㄷ. ㉠은 120이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

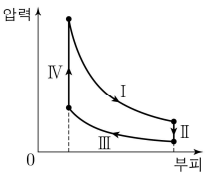
과정	Q	W	ΔU
AB	$+150$	$+60$	$+90$
BC	0	$+90$	-90
CA	-120	-120	0

열효율 조건 $e=1-\frac{Q_-}{Q_+}$를 통해 $\frac{8}{10}=\frac{Q}{150}$이므로 $Q=120$이다.

ㄱ. 기체의 온도는 B에서가 더 높다. (O)
ㄴ. 흡수한 열량은 150이다. (O)
ㄷ. ㉠은 120이다. (O)

06 2024학년도 6월 8번 정답률 37%

8. 그림은 열기관에서 일정량의 이상 기체가 과정 Ⅰ~Ⅳ를 따라 순환하는 동안 기체의 압력과 부피를 나타낸 것이다. 표는 각 과정에서 기체가 외부에 한 일 또는 외부로부터 받은 일을 나타낸 것이다. Ⅰ, Ⅲ은 등온 과정이고, Ⅳ에서 기체가 흡수한 열량은 $2E_0$이다.



과정	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
외부에 한 일 또는 외부로부터 받은 일	$3E_0$	0	E_0	0

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

<보 기>

ㄱ. Ⅰ에서 기체가 흡수하는 열량은 0이다.
ㄴ. Ⅱ에서 기체의 내부 에너지 감소량은 Ⅳ에서 기체의 내부 에너지 증가량보다 작다.
ㄷ. 열기관의 열효율은 0.4이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ②

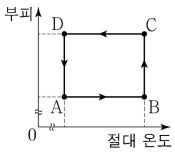
해 설

과정	Q	W	ΔU
Ⅰ	$+3E_0$	$+3E_0$	0
Ⅱ	$-2E_0$	0	$-2E_0$
Ⅲ	$-E_0$	$-E_0$	0
Ⅳ	$+2E_0$	0	$+2E_0$

ㄱ. Ⅰ에서 기체가 흡수한 열량은 $+3E_0$이다. (X)
ㄴ. 등온 사이의 과정은 온도 변화가 같다. (X)
ㄷ. 열효율은 $e=\frac{2}{5}=0.4$이다. (O)

07 2024학년도 9월 7번 정답률 47%

7. 그림은 열효율이 0.25인 열기관에서 일정량의 이상 기체의 상태가 A → B → C → D → A를 따라 순환하는 동안 기체의 부피와 절대 온도를 나타낸 것이다. 기체가 흡수한 열량은 A → B 과정, B → C 과정에서 각각 $5Q$, $3Q$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

<보 기>

ㄱ. 기체의 압력은 B에서가 C에서보다 작다.
ㄴ. C → D 과정에서 기체가 방출한 열량은 $5Q$이다.
ㄷ. D → A 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일은 $2Q$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설

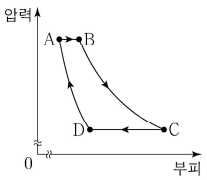
과정	Q	W	ΔU
AB	$+5Q$	0	$+5Q$
BC	$+3Q$	$+3Q$	0
CD	$-5Q$	0	$-5Q$
DA	Q_0	Q_0	0

열효율 조건을 통해 $\frac{3}{4}=\frac{5+Q_0}{8}$을 만족하므로 $Q_0=Q$이다.

ㄱ. 온도는 일정한데 C에서 부피가 증가했으므로 압력은 감소한다. (X)
ㄴ. 기체가 방출한 열량은 $5Q$이다. (O)
ㄷ. 기체가 외부로부터 받은 일은 Q이다. (X)

08 2025학년도 6월 10번 정답률 54%

10. 그림은 열효율이 0.2인 열기관에서 일정량의 이상 기체가 상태 A → B → C → D → A를 따라 변할 때 기체의 압력과 부피를 나타낸 것이다. A → B와 C → D는 각각 압력이 일정한 과정, B → C는 온도가 일정한 과정, D → A는 단열 과정이다. 표는 각 과정에서 기체가 외부에 한 일 또는 외부로부터 받은 일을 나타낸 것이다.



과정	기체가 외부에 한 일 또는 외부로부터 받은 일(J)
A → B	140
B → C	400
C → D	240
D → A	150

C → D 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량은? [3점]

① 240 J ② 280 J ③ 320 J ④ 360 J ⑤ 400 J

정 답 ④

해 설

[등압 과정의 성질 이용]
AB와 CD는 등압 과정이므로 $Q:W:\Delta U=5:2:3$이다.
따라서 답은 360 J이다.

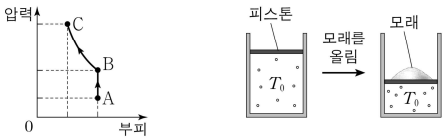
[정석]

과정	Q	W	ΔU
AB	$Q+140$	$+140$	$+Q$
BC	$+400$	$+400$	0
CD	$-Q-390$	-240	$-Q-150$
DA	0	-150	$+150$

열효율 조건을 이용하면 $\frac{4}{5}=\frac{Q_-}{Q_+}=\frac{Q+390}{Q+540}$에서
$4Q+2160=5Q+1950$, $Q=210$이므로 답은 360 J이다.

09 2025학년도 9월 15번 정답률 70%

15. 그림 (가)는 일정량의 이상 기체가 상태 A→B→C를 따라 변할 때 기체의 압력과 부피를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 A→B 과정과 B→C 과정 중 하나로, 기체가 들어 있는 열 출입이 자유로운 실린더의 피스톤에 모래를 조금씩 올려 피스톤이 서서히 내려가는 과정을 나타낸 것이다. (나)의 과정에서 기체의 온도는 T_0으로 일정하다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실린더와 피스톤 사이의 마찰은 무시한다.)

<보 기>

ㄱ. (나)는 B→C 과정이다.
ㄴ. (가)에서 기체의 내부 에너지는 A에서가 C에서보다 작다.
ㄷ. (나)의 과정에서 기체는 외부에 열을 방출한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

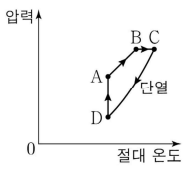
정 답 ⑤

해 설

ㄱ. (나)는 온도가 일정한 등온 과정으로써 B→C 과정이다. (O)
ㄴ. A→B 과정에서 열을 준다. 따라서 내부 에너지는 C > A이다.(O)
ㄷ. (나)의 과정에서 기체의 온도가 일정하므로 기체는 외부에 열을 방출한다. (O)

10 2025학년도 수능 15번 정답률 53%

15. 그림은 열기관에서 일정량의 이상 기체가 상태 A→B→C→D→A를 따라 순환하는 동안 기체의 압력과 절대 온도를 나타낸 것이다. A→B는 부피가 일정한 과정, B→C는 압력이 일정한 과정, C→D는 단열 과정, D→A는 등온 과정이다. 표는 각 과정에서 기체가 외부에 한 일 또는 외부로부터 받은 일을 나타낸 것이다. 기체가 흡수하거나 방출한 열량은 A→B 과정과 B→C 과정에서 같다.



과정	기체가 외부에 한 일 또는 외부로부터 받은 일(J)
A→B	0
B→C	16
C→D	64
D→A	60

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

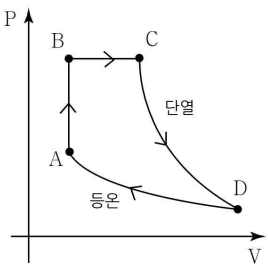
<보 기>

ㄱ. 기체의 부피는 A에서가 C에서보다 작다.
ㄴ. B→C 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은 24J이다.
ㄷ. 열기관의 열효율은 0.25이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

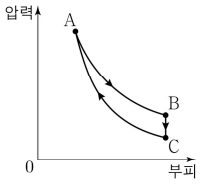


과정	Q	W	ΔU
AB	+40	0	+40
BC	+40	+16	+24
CD	0	+64	−64
DA	−60	−60	0

ㄱ. 기체의 부피는 A에서가 C에서보다 작다. (O)
ㄴ. BC 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은 24J이다. (O)
ㄷ. 열효율은 $1-\frac{60}{80}=\frac{1}{4}$이다. (O)

11 2026학년도 6월 14번 정답률 59%

14. 그림은 열효율이 0.4인 열기관에서 일정량의 이상 기체가 상태 A → B → C → A를 따라 순환하는 동안 기체의 압력과 부피를 나타낸 것이다. A → B 과정은 등온 과정, B → C 과정은 부피가 일정한 과정, C → A 과정은 단열 과정이다. B → C 과정에서 기체가 방출하는 열량은 240 J이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것은?

① A → B 과정에서 기체가 흡수하는 열량은 360 J이다.
② B → C 과정에서 기체는 외부에 일을 한다.
③ C → A 과정에서 기체의 온도는 낮아진다.
④ C → A 과정에서 기체가 외부로부터 받는 일은 240 J이다.
⑤ 기체가 한 번 순환하는 동안 기체가 흡수하는 열량과 방출하는 열량은 같다.

정 답 ④

해 설

우선 주어진 정보로 표를 채우면 아래와 같다.

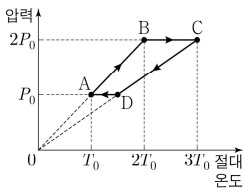
과정	Q	W	ΔU
AB	$+W$	$+W$	0
BC	-240J	0	-240J
CA	0	-240J	$+240\text{J}$

열효율 조건을 이용하면 $e=\frac{2}{5}=1-\frac{240}{W}$에서 $W=400\text{J}$이다.

① $W=400\text{J}$ (X)
② 일을 하지 않는다. (X)
③ 온도가 높아진다. (X)
④ 받는 일은 -240J이다. (O)
⑤ 외부로 일을 하기 때문에 같지 않다. (X)

12 2026학년도 9월 14번 정답률 60%

14. 그림은 열기관에서 일정량의 이상 기체가 상태 A → B → C → D → A를 따라 순환하는 동안 기체의 압력과 절대 온도를 나타낸 것이다. A → B, C → D는 각각 부피가 일정한 과정이다. A에서 기체의 부피는 V_0이고, A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량은 $\frac{3}{2}P_0V_0$이다.



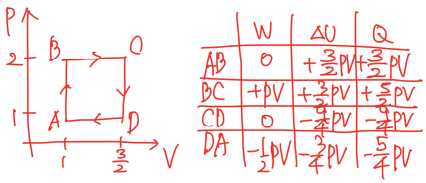
열기관의 열효율은? [3점]

① $\frac{1}{8}$ ② $\frac{1}{7}$ ③ $\frac{1}{6}$ ④ $\frac{1}{5}$ ⑤ $\frac{1}{4}$

정 답 ④

해 설

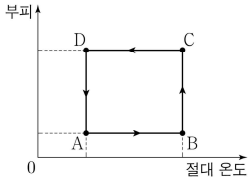
우선 주어진 정보로 표를 채우면 아래와 같다.



따라서 열기관의 열효율은 $e=\frac{\frac{1}{2}}{4}=\frac{1}{8}$이다.

13 2026학년도 수능 16번 정답률 63%

16. 그림은 열기관에서 일정량의 이상 기체가 상태 A → B → C → D → A를 따라 순환하는 동안 기체의 부피와 절대 온도를 나타낸 것이다. A → B 과정과 C → D 과정은 부피가 일정한 과정이고, B → C 과정과 D → A 과정은 등온 과정이다. 표는 각 과정에서 기체가 흡수 또는 방출하는 열량을 나타낸 것이다.



과정	흡수 또는 방출하는 열량
A → B	$2Q_0$
B → C	$3Q_0$
C → D	㉠
D → A	Q_0

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

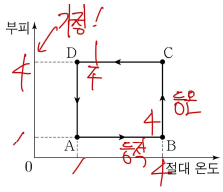
ㄱ. ㉠은 $2Q_0$이다.
ㄴ. 기체의 압력은 B에서가 D에서보다 크다.
ㄷ. 열기관의 열효율은 0.4이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 주어진 정보를 토대로 표를 채우면 아래와 같다.
따라서 ㉠은 $2Q_0$이다. (O)



과정	흡수 또는 방출하는 열량
A → B	$+2Q_0$
B → C	$+3Q_0$
C → D	$-2Q_0$
D → A	$-Q_0$

ㄴ. 기체의 압력은 위 그림에서 $PV = nRT$를 각 점에 대해서 가정으로 적용해보면 $P_B > P_D$이다. (O)

ㄷ. $e = \frac{W}{Q_+} = \frac{2}{5}$이다. (O)

PART 7
특수 상대성 이론

개념 유형

(1) 기본 개념
(2) 한 점의 관측
(3) 두 점의 관측
(4) 쌍둥이 역설

기출 유형

(1) 특수 상대성 이론

THEME

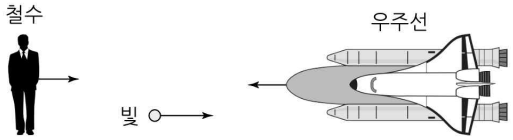
1 — 기본 개념

정리1 기본 개념

개념1 광속 불변의 가설

진공에서 광속은 모든 관성 기준틀에서(어디서 보든지 간에) 모든 방향에 대하여 동일한 c이다.

(빛의 속력은 매질 속에서 $v=\frac{c}{n}$으로 감소한다.)



철수가 바라본 빛의 속력 = 30만 km/s
우주선에서 바라본 빛의 속력 = 30만 km/s

개념2 질량을 가진 물체는 어떤 관측자가 보더라도 광속을 넘을 수 없다.

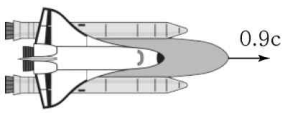
물체에 힘 F를 계속 가하면, 언젠가 빛의 속도 c를 초과할 것처럼 보일 수 있다. 그러나, 현실적으로 이는 불가능하다.

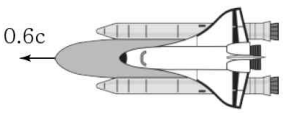
정지 상태의 입자가 힘 F를 받아 시간 t 이후 속력 v에 도달한다고 가정해 보자. 이 경우 물체의 전체 에너지는 $E=\gamma m_0c^2$로 나타난다.
즉, 속력을 광속에 가깝게 만들수록 필요한 에너지는 ∞에 가까워진다. (이는 상대론적 질량이 증가하기 때문이라고도 해석할 수 있다.)
이 에너지는 우주의 모든 에너지를 사용해도 부족하므로, 질량을 가진 물체는 절대로 속력 c에 이를 수 없다.
(참고: 빛과 같이 질량이 없는 물질만이 속력 c를 가질 수 있다. 전자는 질량이 존재한다.)

개념3 특수 상대성 이론에서 상대 속도

그림은 같이 우주선 A와 B가 서로 $0.9c$, $0.6c$의 속도로 스치고 있는 상황이다.

① 뉴턴 역학에서 상대 속도
뉴턴 역학에서 로켓이 각각 $0.9c$, $0.6c$로 이동한다고 하면,
A가 본 B의 속도는 $1.5c$가 될 것이다. (오개념)





② 특수 상대성 이론을 통한 상대 속도

$$v_{AB}=\frac{v_A+v_B}{1+\frac{v_Av_B}{c^2}}=\frac{0.9c+0.6c}{1+\frac{0.9c\cdot 0.6c}{c^2}}=\frac{1.5}{1.54}c=0.974c$$가 되어

A가 본 B의 상대 속도는 광속을 넘지 않는다.

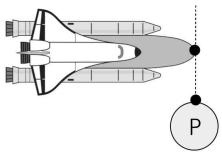
정리2 사건의 이해

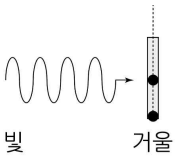
개념1 사건(Event)

① 사건의 정의

사건이란 어떤 행위가 일어난 것이다.

두 물체가 맞닿는 상황을 사건으로 보면 이해하기 쉽다.





② 사건의 종류

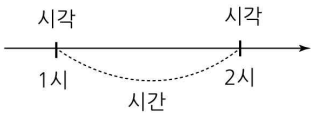
사건 1 : 우주선이 행성 P를 지난다. (우주선, P)

사건 2 : 빛이 거울에 반사된다. (빛, 거울)

개념2 시각 (On time)

① 시각의 정의

시간의 특정 순간을 말한다.



② 시각의 이해

질문: 지금 몇 시야? 답변: 1시 10분이야.

③ 시각과 동시성

상대성 이론에서 시각은 사건(동시성)으로 이해할 수 있다.

개념3 시간 (In time)

① 시각의 정의

사건 간의 간격을 의미하며, 시간은 사건의 간격과 동일하다. 시간은 팽창과도 관련이 있다.

② 시각의 이해

질문: 학교까지 얼마나 더 걸려? 답변: 10분 정도 더 걸려.

③ 시각과 동시성

상대성 이론에서 두 관측자가 측정한 시간을 비교하려면 두 사건 간 물리적 거리로 비교할 수 있다.

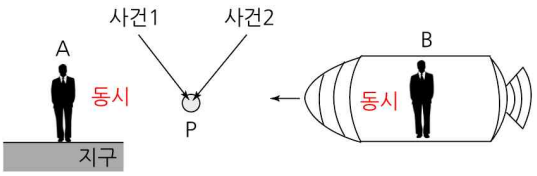
THEME
2 — 한 점의 관측

정리1 한 점의 관측

개념1 절대적 동시성 (Absolute Concurrency)

한 점에서 동시에 일어난 두 개의 사건은 다른 관성계에서 보더라도 동시에 일어난다.

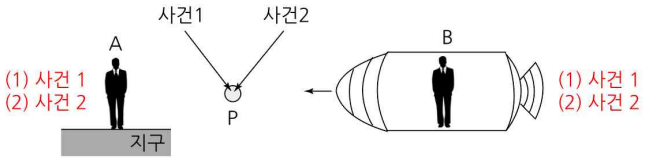
그림과 같이 A가 관측할 때 점 p에서 사건 1과 사건 2가 동시에 일어났다고 하자.
그러면 A와 다른 관성계에 있는 B가 보더라도 점 p에서 사건 1과 사건 2는 동시에 일어난다.



개념2 절대적 순서성 (Absolute Concurrency)

한 점에서 다르게 일어난 두 개의 사건의 선/후 관계는 다른 관성계에서 보더라도 변하지 않는다.

아래 그림과 같이 A가 관측할 때 점 p에서 사건 1이 먼저 일어나고 그 다음으로 사건 2가 일어났다고 하자.
그러면 A와 다른 관성계에 있는 B가 보더라도 점 p에서 사건 1이 먼저 일어나고 그 다음으로 사건 2가 일어났다.



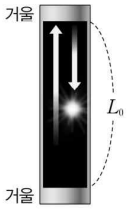
① A가 자신의 시계로 측정한 두 사건 사이의 걸린 시간은 고유 시간이라고 한다.
② B가 자신의 시계로 측정한 두 사건 사이의 걸린 시간은 팽창 시간이라고 한다.

정리2 고유 시간은 시간 팽창

개념1 고유 시간

① 관찰자가 보았을 때 두 사건 사이의 공간 간격이 0으로 관측되는 좌표계에서 관측한 두 사건 사이의 시간 간격을 고유 시간이라고 한다.

② 고유 시간을 측정하는 기구로 빛시계를 이용한다.



개념2 시간 팽창

① 관찰자가 보았을 때 두 사건 사이의 공간 간격이 0이 아닌 좌표계에서 관측한 두 사건 사이의 시간 간격은 고유 시간보다 길다.

② 두 사건의 공간 사이의 간격이 상대적으로 길 경우, 걸린 시간도 상대적으로 더 길다.

TIP 상대적 시간 팽창의 문법적 로직

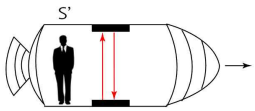
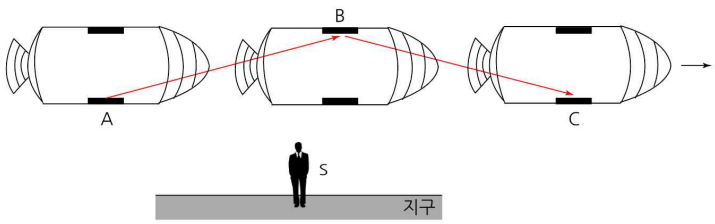
① 시간이 느리게 간다.

- B의 관성계에서, A의 시간은 B의 시간보다 느리게 간다. → BAB = 느려
- B의 관성계에서, B의 시간보다 A의 시간은 느리게 간다. → BAB = 느려

② 시간이 빠르게 간다.

- B의 관성계에서, B의 시간은 A의 시간보다 빠르게 간다. → BBA = 빨라
- B의 관성계에서, A의 시간보다 B의 시간은 느리게 간다. → BBA = 빨라

개념3 고유 시간과 시간 팽창의 비교

내부(우주선) 관측자	외부(우주) 관측자
	

지구의 관측자 S와 우주선의 관측자 S′이 서로 스칠 때 서로의 초시계를 0초로 맞춘다.

① 지구에 있는 S가 우주선에 있는 빛시계의 왕복을 관측할 때 S의 시계가 10초를 가리킨다. (10초가 걸림)

① 지구에 있는 S가 우주선에 있는 빛시계의 왕복을 관측할 때 S′의 시계가 5초를 가리킨다. (5초가 걸림)

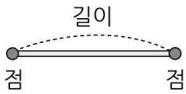
② 우주선에 있는 S′가 우주선에 있는 빛시계의 왕복을 관측할 때 S′의 시계가 5초를 가리킨다. (5초가 걸림)

③ 우주선에 있는 S′가 우주선에 있는 빛시계의 왕복을 관측할 때 S의 시계를 본다면 2.5초를 가리킨다. (2.5초가 걸림)

정리3 길이

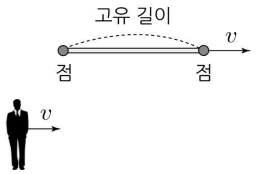
개념1 길이

물질이 차지하고 있는 공간상의 양 끝 점 사이의 거리



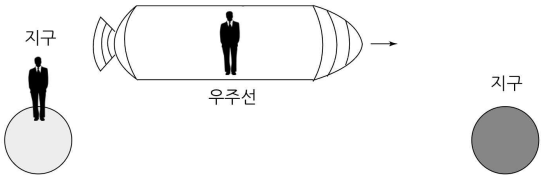
개념2 고유 길이

① 관측자에 대해 정지해 있는 물체의 길이 또는 두 점 사이의 거리이다.
(즉, 물체와 관측자의 상대 속도가 0일 때 관측한 거리이다.)
② 고유 시간과 고유 길이의 정의 자체가 아예 다르다. 연결 지어서 생각하지 말자.
③ 고유 길이는 상대적 길이의 최댓값이다.



개념3 길이 수축(Length contraction)

한 대상이 등속 운동하면 그 대상을 보는 멈춰있는 관측자의 입장에서 보여지는 대상의 길이는 줄어든다는 현상.
즉, 물체에 대해 상대적으로 운동하는 관찰자에 대해 그 물체의 크기가 상대 속도 방향으로 축소되어 측정되는 현상을 말한다.

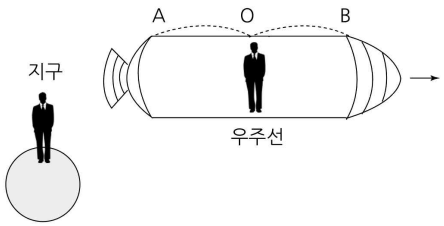


지구에서 본 우주선의 길이		우주선에서 본 우주선의 길이	
x축	y축	x축	y축
길이 수축	고유 길이	고유 길이	고유 길이

지구에서 본 지구와 행성 사이의 길이	우주선에서 본 지구와 행성 사이의 길이
고유 길이	길이 수축

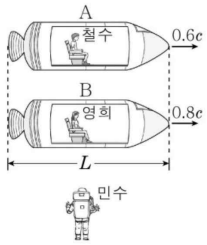
개념4 로렌츠 인자

지구 관성계에서 봤을 때 OA = OB라면 우주 관성계에서 보더라도 OA = OB이다.



예제1 시간의 비교

그림은 정지해 있는 민수에 대해 철수와 영희가 탄 우주선 A, B가 각각 일정한 속력 $0.6c$, $0.8c$로 같은 방향으로 운동하는 모습을 나타낸 것이다. 민수가 측정한 A, B의 길이는 L로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 우주선의 고유 길이는 B가 A보다 길다.
ㄴ. 민수가 측정할 때, 영희의 시간이 철수의 시간보다 빠르게 간다.
ㄷ. 영희가 측정할 때, 철수의 시간은 자신보다 느리게 간다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 우주선의 고유 길이는 B > A이다. (O)
ㄴ. 영희의 속력이 더 빠르므로 시간이 느리게 간다. (X)
ㄷ. BAB보다 = 느리게 간다. (O)

THEME

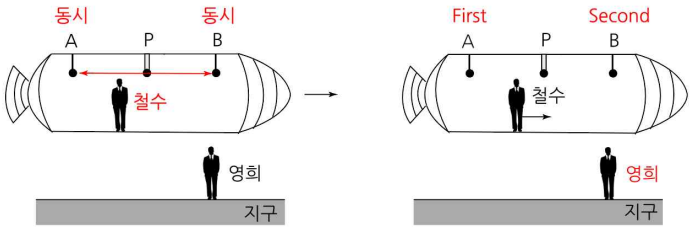
3 — 두 점의 관측

정리1 두 점의 관측

개념1 선행 추론법 (Prior reasoning)

A의 좌표계에서 위치가 다른 두 개의 점에서 두 개의 상황이 동시에 발생한다.
B의 좌표계에서 A가 관측한 사건을 보면 A와의 상대 속도의 반대 방향의 사건이 먼저 발생한다.

그림은 지구에 있는 영희에 대하여 철수가 광속에 가까운 속력으로 $+x$방향으로 움직이고 있는 상황이다.
철수의 관성계에서 광원 P에서 빛이 동시에 방출되어 검측기 A와 B에 동시에 빛이 도착했다.
영희의 관성계에서 철수가 오른쪽으로 진행하므로 왼쪽의 A에 먼저 빛이 도착된다.

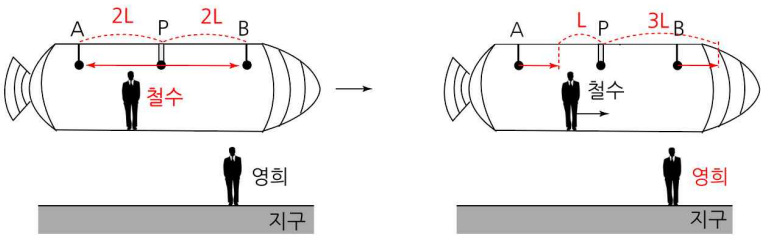


[철수의 관성계] [영희의 관성계]

개념2 사건 거리 비교법 (Event Distance comparison methode)

A의 좌표계에서 서로 다른 두 점에서 다른 시각에 두 사건이 발생했다.
A와 B 두 관측자가 걸린 시간을 비교하면 사건 사이의 거리가 길수록 걸린 시간이 더 길다.

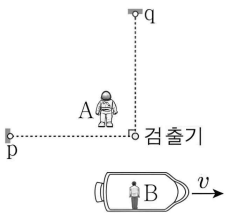
그림은 지구에 있는 영희에 대하여 철수가 광속에 가까운 속력으로 $+x$방향으로 움직이고 있는 상황이다.
철수의 관성계에서 P에서 사건 1이 발생하고, A, B에서 사건 2, 3이 발생한다고 하자.
영희의 관성계에서 A(사건 2)는 오른쪽으로 이동하여 P(사건 1)과의 거리는 L이다. 따라서 $t_{철수} > t_{영희}$이다.
영희의 관성계에서 B(사건 3)는 오른쪽으로 이동하여 P(사건 1)과의 거리는 3L이다. 따라서 $t_{철수} < t_{영희}$이다.



[철수의 관성계] [영희의 관성계]

예제1 선행 추론법과 사건 거리 비교법

그림과 같이 관찰자 A에 대해 관찰자 B가 탄 우주선이 광속에 가까운 속력 v로 등속도 운동한다. A의 관성계에서, 광원 p, q와 검출기는 정지해 있고, p와 검출기를 잇는 직선은 우주선의 운동 방향과 나란하다. B의 관성계에서, p와 q에서 동시에 방출된 빛은 검출기에 동시에 도달한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. p와 검출기 사이의 거리는 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 크다.
ㄴ. q에서 방출된 빛이 검출기에 도달할 때까지 걸린 시간은 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 크다.
ㄷ. A의 관성계에서, 빛은 p에서가 q에서보다 먼저 방출된다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

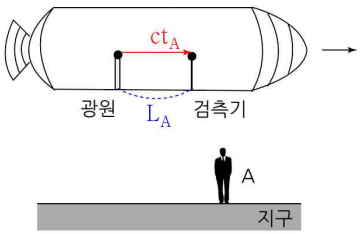
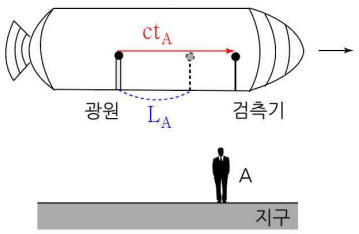
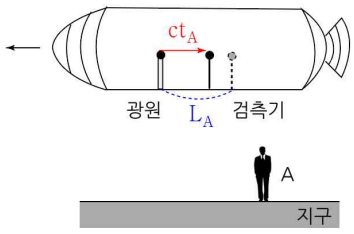
해설

ㄱ. B가 보면 길이 수축이 일어난다. (O)
ㄴ. B가 보면 검출기가 왼쪽으로 이동하여 사건 사이의 거리가 증가한다. 따라서 $t_A < t_B$이다. (X)
(사건 거리 비교법)
ㄷ. A가 B를 보면 오른쪽으로 이동하므로 왼쪽 사건이 먼저 일어난다. (O)
(선행 추론법)

정리2 두 지점 사이의 거리 vs 빛이 이동한 거리

개념1 한 관성계의 물리량

빛이 이동한 거리(ct_A)와 두 지점 사이의 거리(L_A)를 비교하면 아래와 같다.

$ct_A = L_A$인 상황	$ct_A > L_A$인 상황	$ct_A < L_A$인 상황
		

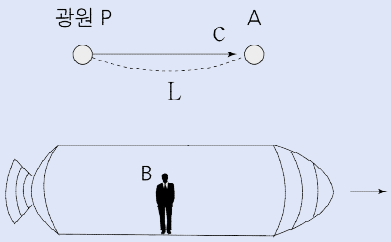
개념2 두 관성계의 물리량

관측자 A와 B가 두 지점 사이의 거리와 빛이 이동한 거리를 비교하는 과정에서, 예를 들어 $ct_A > L_B$와 같은 형태의 부등식이 주어졌다고 하자. 이때 "$L = ct$"라는 조건을 만족하는 관측자를 도입하여, 해당 관찰자를 기준으로 물리량을 치환하면 비교를 단순화할 수 있다. 이 방법은 광속 불변의 원리를 이용하여 모든 관측자에게 빛의 속도가 동일하다는 점을 활용하는 풀이법이다.

① 치환 결과가 거리에 대한 것이라면 길이 수축으로 비교를 한다.
② 치환 결과가 시간에 대한 것이라면 사건 거리 비교법으로 비교를 한다.

TIP 실전 분석

그림과 같이 광원 P가 정지해 있고, 관찰자 B가 탄 우주선이 P, A를 잇는 직선과 나란하게 등속도 운동을 오른쪽으로 하고 있다. B의 관성계에서, 빛이 P에서 A까지 도달하는 데 걸린 시간은 $\frac{L}{c}$이다. 라는 선지를 해결해보자.

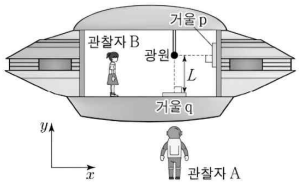


이 문제는 ct_B와 L의 관계성을 파악하면 된다. A의 관성계에서 $L = ct_A$를 만족하므로 t_A와 t_B의 크기 비교를 하면 된다. B의 관성계에서 A는 왼쪽으로 진행하므로 두 사건 사이의 거리가 작아진다.

즉, $t_A > t_B$이므로 양변에 c를 곱하여 $L > ct_B$이고 $t_B < \frac{L}{c}$이다.

예제2 거리를 시간으로 치환

그림은 관찰자 A에 대해 관찰자 B가 탄 우주선이 x축과 나란하게 광속에 가까운 속력으로 등속도 운동을 하고 있는 모습을 나타낸 것이다. B의 관성계에서 빛은 광원으로부터 각각 $+x$방향, $-y$방향으로 동시에 방출된 후 거울 p, q에서 반사하여 광원에 동시에 도달하며 광원과 q 사이의 거리는 L이다. 표는 A의 관성계에서 빛이 광원에서 p까지, p에서 광원까지 가는 데 걸린 시간을 나타낸 것이다



빛의 경로	시간
광원 → p	$0.4t_0$
p → 광원	$0.6t_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 우주선의 운동 방향은 $-x$방향이다.

ㄴ. $t_0 > \frac{2L}{c}$이다.

ㄷ. A의 관성계에서 광원과 p 사이의 거리는 L보다 작다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

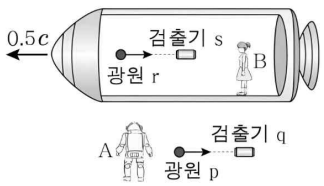
ㄱ. 외부 관찰자 A가 봤을 때 빛이 광원에서 p로 가는데 걸린 시간이 p에서 광원으로 가는 시간보다 작으므로 p가 왼쪽으로 움직이는 것이다.
따라서 우주선의 운동 방향은 $-x$방향이다. (O)

ㄴ. $t_0 = t_A > \frac{2L}{c}$의 양변을 c로 곱하면 $ct_A > 2L$이다.
이때 $2L = ct_B$를 만족하므로 $t_A > t_B$임을 확인하면 된다.
A가 보면 두 사건의 길이가 길어지므로 걸린 시간이 더 크다.
따라서 $t_A > t_B$이므로 $t_0 > \frac{2L}{c}$이다. (O)

ㄷ. 길이 수축에 의하여 A의 관성계에서 광원과 p 사이의 거리는 L보다 작다. (O)

예제3 시간을 거리로 치환

그림과 같이 관찰자 A에 대해 광원 p와 검출기 q는 정지해 있고, 관찰자 B, 광원 r, 검출기 s는 우주선과 함께 $0.5c$의 속력으로 직선 운동한다. A의 관성계에서 빛이 p에서 q까지, r에서 s까지 진행하는 데 걸린 시간은 t_0으로 같고, 두 빛의 진행 방향과 우주선의 운동 방향은 반대이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

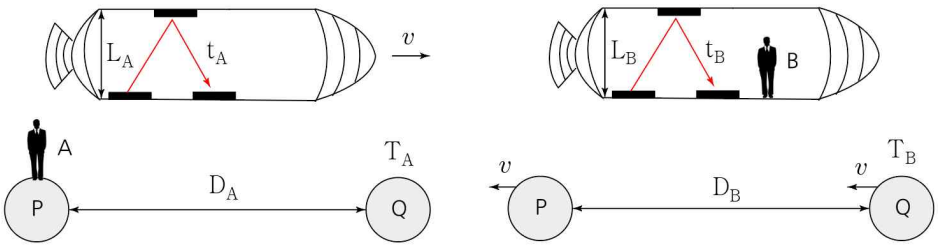
① A의 관성계에서, r에서 나온 빛의 속력은 $0.5c$이다.
② A의 관성계에서, r와 s 사이의 거리는 ct_0보다 작다.
③ B의 관성게에서, p와 q 사이의 거리는 ct_0보다 크다.
④ B의 관성게에서, A의 시간은 B의 시간보다 빠르게 간다.
⑤ B의 관성게에서, 빛이 r에서 s까지 진행하는 데 걸린 시간은 t_0보다 크다.

해설

① 빛의 속력은 c이다. (X)
② A가 보면 사건 사이의 거리가 짧아지므로 ct_0는 거리보다 작다. (X)
③ $ct_0 = L_A$이므로 B가 보면 길이 수축으로 인해 짧아진다. (X)
④ BAB보다 = 느리게 간다. (X)
⑤ A가 보면 사건 거리가 짧아지므로 $t_A = t_0 < t_B$이다. (O)

정리3 행성 사이의 운동에서 비례식

그림은 행성 P, Q 사이를 움직이는 우주선을 나타낸 것이다. 관측자 A는 행성과 동일한 관성계에 있고, 관측자 B는 우주선과 동일한 관성계에 있다. 이때 물리량 사이의 관계식을 구해보면 다음과 같다.



[A의 관성계] [B의 관성계]

개념1 공식 정리

물리량 사이의 관계를 정리하면 $\frac{D_A}{D_B}=\frac{vT_A}{vT_B}=\frac{T_A}{T_B}=\frac{nt_A}{nt_B}=\frac{t_A}{t_B}=\frac{\frac{L_A}{c}}{\frac{L_B}{c}}=\frac{L_A}{L_B}$ 이다. $\therefore \frac{D_A}{D_B}=\frac{T_A}{T_B}=\frac{t_A}{t_B}=\frac{L_A}{L_B}$

TIP 물리량의 의미

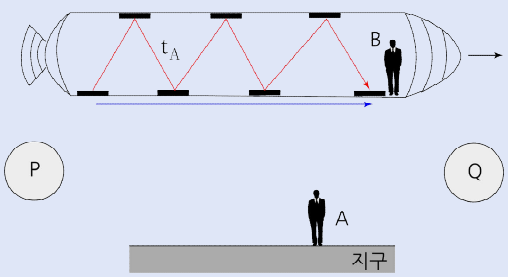
① 빛의 1회 왕복까지 걸린 시간은 t_A, t_B이다.
② 빛의 1회 왕복까지 빛의 이동 거리는 L_A, L_B이다.
③ 행성까지 우주선이 이동하는 데 걸린 시간은 T_A, T_B이다.
④ 행성까지 우주선이 이동한 거리는 D_A, D_B이다.

개념2 사건 벡터 (Event Vector)

빛의 진행은 벡터로 표현되며, $\vec{x}=\vec{vt}$를 만족한다. 이는 시점과 종점을 고려할 수 있다.
우주선이 점 P에서 출발하여 점 Q를 지날 때, 빛 시계가 n회 진동했다고 하자.
관찰자 A는 빛이 여러 번 아래로 진동하며 $+x$ 방향으로 이동했다고 본다.
이 벡터는 모든 벡터의 합이며, 우주선이 점 P에서 출발해 점 Q에 도달할 때까지 빛 시계가 n회 진동한 것으로 보인다.

TIP 사건 벡터의 의미

그림은 우주선이 행성 P에서 Q로 이동하는 상황이다.
우주선의 관성계에서 빛이 발사되어 3회 진동을 한 상황을 지구의 관성계에서 관측하면 빛은 3회 진동한 것으로 관측된다.
이때 빛이 총 이동한 거리는 $3ct_A$를 $3ct_B$ 만족하고, A의 관성계에서 사건 사이의 거리가 B의 관성계에서 사건 사이의 거리보다 크므로 빛이 총 이동한 거리는 A>B이다.



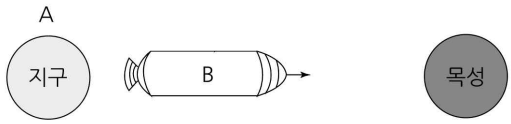
THEME

4 — 쌍둥이 역설

정리1 쌍둥이 역설

개념1 쌍둥이 역설

같은 날 태어난 쌍둥이 A, B가 있다. 이 둘은 젊어지고 싶어 우주여행을 기획한다. 지구에서 10광년 떨어진 별이 있다고 하자. 우주선은 지구에 대해 $0.8c$의 속도로 별을 향해 출발한다. 지구 쌍둥이 A의 입장에서는 우주선이 시간 팽창 되어 우주 쌍둥이 B의 시간이 느리게 간다. 하지만, 우주 쌍둥이 B의 입장에서도 A의 시간은 느리게 가기에 B가 지구에 도착했을 때 누가 더 어린지 구별이 안된다.



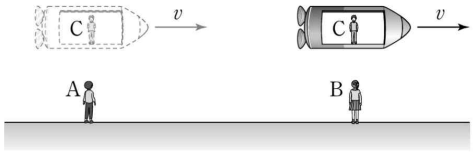
관측자	관측하는 시계	별로 가는데 걸린 시간	속도를 바꾸는데 걸린 시간	돌아오는데 걸린 시간	총 걸린 시간
지구 쌍둥이 A	지구의 시계	12.5년	무시	12.5년	25년
	로켓의 시계	7.5년	무시	7.5년	15년
우주 쌍둥이 B	지구의 시계	4.5년	16년	4.5년	25년
	로켓의 시계	7.5년	무시	7.5년	15년

개념2 왕복 사건

서로 만나는 사건이 일어난 것은 우주 여행을 하는 B가 지구로 돌아오기 위해 속도를 변화시켰기 때문이다.
가속되고 있는 계는 중력장 속을 여행하는 것과 마찬가지이고(등가 원리), 이것은 휘어진 시공간을 여행하는 것이라고 할 수 있다.
일반 상대성 이론에 의하면 중력장을 통과하는 동안에는 시간이 천천히 간다. 즉, 지구의 시계가 빨리 간다.
속도를 바꾸는데 걸리는 시간이 아주 짧다면 우주여행을 하는 쌍둥이는 이 시간을 무시할 수 있다.
그러나 이 동안에 지구의 시계는 아주 빨리 가서 16년이 흐른다.
따라서 지구에 돌아와 보면 지구에 남아있던 A의 나이는 지구에 남아 있던 동생이 자신의 시계로 관측한 것과 같이 25살을 더 먹게 된다.
여행을 출발할 때와 도착할 때의 가속도는 지구의 관측자와 같은 위치에서 일어남으로 시간지연이 일어나지 않는다.
중력장에 의한 시간 지연은 중력장안의 시계와 관측자 사이의 거리에도 비례하기 때문이다.
따라서 두 쌍둥이 모두 우주여행을 하고 돌아온 B가 10살이나 젊다고 측정하게 되어 역설은 사라진다.
결론적으로 움직이는 물체의 시간이 느리게 가는 것을 알 수 있다.

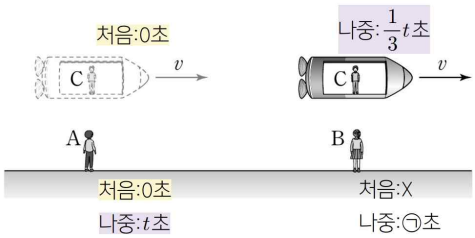
정리2 시각의 동시성

그림과 같이 관성계의 관찰자 A에 대해 관찰자 C가 탄 우주선이 일정한 속도 v로 운동한다. 관찰자 B는 A에 대해 정지해 있고, 관찰자 A, B, C는 각자의 시계 a, b, c를 가지고 있으며, 우주선이 A를 스치는 순간 a, c를 0으로 맞추었다.

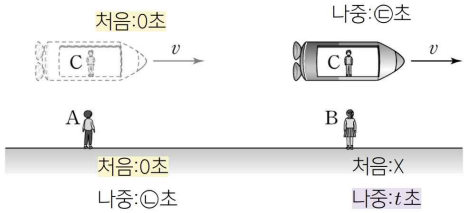


BC가 스치는 상황	a	b	c
A가 측정한 값	t	㉠	$\frac{1}{3}t$
C가 측정한 값	㉡	t	㉢

STEP1 자료를 통해 각 관성계에 대해서 시각을 적는다. (노란색 밑줄은 문제 조건, 보라색 밑줄은 표 조건이다.)

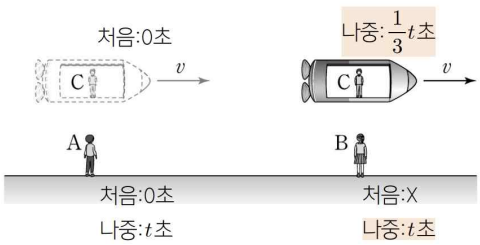


(가) 지면 관성계(A, B)가 측정한 값

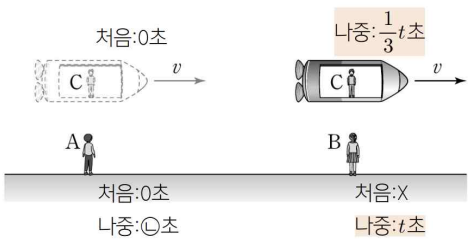


(나) 우주선 관성계(C)가 측정한 값

STEP2 한 점에서 시각의 동시성(㉠, ㉢ 해결) (주황색 밑줄은 시각의 동시성을 전달한 것이다.)



(다) 지면 관성계(A, B)가 측정한 값



(라) 우주선 관성계(C)가 측정한 값

STEP3 같은 관성계 내에서 시간 팽창 확인 (연두색 밑줄)

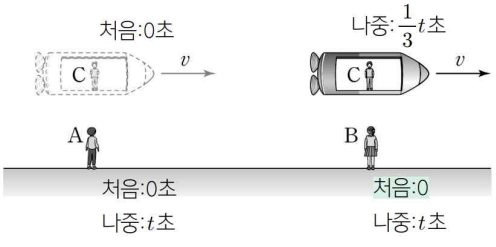
(다) A의 관성계에서 볼 때 A의 시간이 t만큼 지났다. → 같은 관성계에 있는 B의 시간도 t만큼 지난다.

→ A가 볼 때 B의 처음 시각은 0이다.

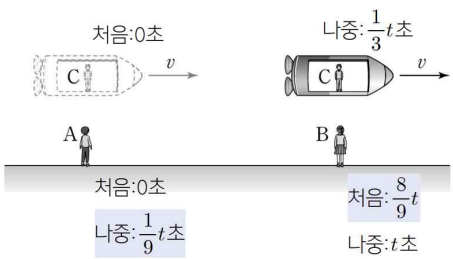
STEP4 다른 관성계와 시간 팽창 계수 확인 (하늘색 밑줄)

(다) A의 관성계에서 볼 때 C의 시간은 $\frac{1}{3}t$만큼 지난다. 즉, A가 C를 볼 때 시간 팽창된 정도는 3배이다.

(라) 반대로 C가 AB를 볼 때에도 시간 팽창된 정도는 3배가 되야한다. 따라서 C가 본 AB 계의 흐른 시간은 $\frac{1}{9}t$이다.



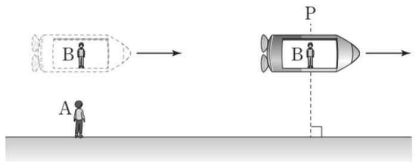
(마) 지면 관성계(A, B)가 측정한 값



(바) 우주선 관성계(C)가 측정한 값

예제1 시각의 동시성

그림과 같이 관찰자 B가 탄 우주선이 일정한 속력으로 직선 운동을 하여 관찰자 A를 스친 후, A에 대해 고정된 기준선 P를 통과한다. 우주선이 A를 스치는 순간, A의 시계와 B의 시계를 0으로 맞추었다. 표는 우주선이 P를 지나는 순간 A, B의 시계가 가리키는 값을 A, B가 각각 측정한 자료이다.



시계가 가리키는 값		
관찰자	A의 시계	B의 시계
A	$8t$	㉠
B	㉡	$4t$

㉠, ㉡으로 옳은 것은? (단, A, B는 관성계의 관찰자이고, 우주선의 크기는 무시한다.)

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

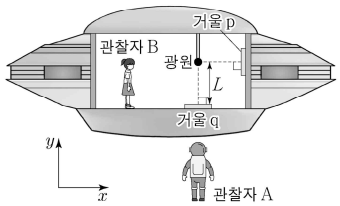
해설

B가 봤을 때 자신의 시계는 $4t$가 흘렀다.
그러면 A가 B의 시계를 관측할 때에도 ㉠$= 4t$가 흐른 것으로 관측된다. 시간 팽창이 2배만큼 일어난 것을 알 수 있다. 반대로 B의 관성계에서 A의 시계를 관측하게 되면 시간 팽창이 2배만큼 일어났으므로 ㉡$=2t$로 측정이 된다.

유형 01 특수 상대성 이론

01 2022학년도 6월 14번 정답률 33%

14. 그림은 관찰자 A에 대해 관찰자 B가 탄 우주선이 x축과 나란하게 광속에 가까운 속력으로 등속도 운동을 하고 있는 모습을 나타낸 것이다. B의 관성계에서 빛은 광원으로부터 각각 $+x$방향, $-y$방향으로 동시에 방출된 후 거울 p, q에서 반사하여 광원에 동시에 도달하며 광원과 q 사이의 거리는 L이다. 표는 A의 관성계에서 빛이 광원에서 p까지, p에서 광원까지 가는 데 걸린 시간을 나타낸 것이다.



빛의 경로	시간
광원 → p	$0.4t_0$
p → 광원	$0.6t_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 빛의 속력은 c이다.)

<보 기>

ㄱ. 우주선의 운동 방향은 $-x$방향이다.

ㄴ. $t_0 > \frac{2L}{c}$이다.

ㄷ. A의 관성계에서 광원과 p 사이의 거리는 L보다 작다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

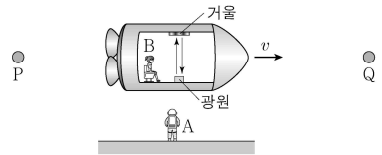
ㄱ. 외부 관찰자 A가 봤을 때 빛이 광원에서 p로 가는데 걸린 시간이 p에서 광원으로 가는 시간보다 작으므로 p가 왼쪽으로 움직이는 것이다.
따라서 우주선의 운동 방향은 $-x$방향이다. (O)

ㄴ. $t_0 = t_A > \frac{2L}{c}$의 양변을 c로 곱하면 $ct_A > 2L$이다.
이때 $2L = ct_B$를 만족하므로 $t_A > t_B$임을 확인하면 된다.
A가 보면 두 사건의 길이가 길어지므로 걸린 시간이 더 크다.
따라서 $t_A > t_B$이므로 $t_0 > \frac{2L}{c}$이다. (O)

ㄷ. 길이 수축에 의하여 A의 관성계에서 광원과 p 사이의 거리는 L보다 작다. (O)

02 2022학년도 9월 10번 정답률 42%

10. 다음은 특수 상대성 이론에 대한 사고 실험의 일부이다.

> 가설 Ⅰ : 모든 관성계에서 물리 법칙은 동일하다.
> 가설 Ⅱ : 모든 관성계에서 빛의 속력은 c로 일정하다.
>
> 관찰자 A에 대해 정지해 있는 두 천체 P, Q 사이를 관찰자 B가 탄 우주선이 광속에 가까운 속력 v로 등속도 운동을 하고 있다. B의 관성계에서 광원으로부터 우주선의 운동 방향에 수직으로 방출된 빛은 거울에서 반사되어 되돌아온다.
>
> 
>
>
> (가) 빛이 1회 왕복한 시간은 A의 관성계에서 t_A이고, B의 관성계에서 t_B이다.
> (나) A의 관성계에서 t_A동안 빛의 경로 길이는 L_A이고, B의 관성계에서 t_B동안 빛의 경로 길이는 L_B이다.
> (다) A의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리 D_A는 P에서 Q까지 우주선의 이동 시간과 v를 곱한 값이다.
> (라) B의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리 D_B는 P가 B를 지날 때부터 Q가 B를 지날 때까지 걸린 시간과 v를 곱한 값이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

<보 기>

ㄱ. $t_A > t_B$이다.
ㄴ. $L_A > L_B$이다.
ㄷ. $\frac{D_A}{D_B} = \frac{L_A}{L_B}$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

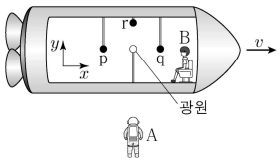
ㄱ. A가 봤을 때 사건 사이의 거리가 길어지므로 $t_A > t_B$이다. (O)

ㄴ. $L = ct$이고 $t_A > t_B$이므로 $L_A > L_B$이다. (O)

ㄷ. $\frac{D_A}{D_B} = \frac{vt_A}{vt_B} = \frac{t_A}{t_B} = \frac{ct_A}{ct_B} = \frac{L_A}{L_B}$ 관계를 만족하므로 $\frac{D_A}{D_B} = \frac{L_A}{L_B}$이다. (O)

03 2022학년도 수능 14번 정답률 35%

14. 그림과 같이 관찰자 A에 대해 관찰자 B가 탄 우주선이 $+x$방향으로 광속에 가까운 속력 v로 등속도 운동한다. B의 관성계에서 빛은 광원으로부터 각각 점 p, q, r를 향해 $-x$, $+x$, $+y$방향으로 동시에 방출된다. 표는 A, B의 관성계에서 각각의 경로에 따라 빛이 진행하는 데 걸린 시간을 나타낸 것이다.



빛의 경로	걸린 시간	
	A의 관성계	B의 관성계
광원 → p	t_1	㉠
광원 → q	t_1	t_2
광원 → r	㉡	t_2

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 빛의 속력은 c이다.)

<보 기>

ㄱ. ㉠은 t_1보다 작다.
ㄴ. ㉡은 t_2보다 크다.
ㄷ. B의 관성계에서 p에서 q까지의 거리는 $2ct_2$보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

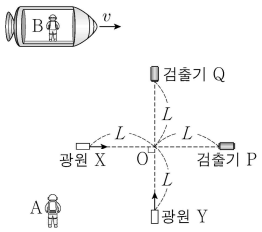
ㄱ. A가 볼 때 사건 사이의 거리가 짧아지므로 $t_A < t_B$이다.
따라서 ㉠은 t_1보다 크다. (X)

ㄴ. A가 볼 때 사건 사이의 거리가 길어지므로 $t_A > t_B$이다,
따라서 ㉡은 t_2보다 크다. (O)

ㄷ. A가 볼 때 p, q에 동시에 사건이 발생한다.
다른 관성계 B가 보면 A는 왼쪽으로 진행하기에 오른쪽 사건이 먼저 발생하는 것처럼 보인다.
즉, 광원에서 나온 빛이 q에 먼저 도착하기에 $L_p > L_q = ct_2$이다.
B의 관성계에서, p에서 q까지의 거리는 $2ct_2$보다 크다. (O)

04 2023학년도 6월 17번 정답률 41%

17. 그림과 같이 관찰자 A의 관성계에서 광원 X, Y와 검출기 P, Q가 점 O로부터 각각 같은 거리 L만큼 떨어져 정지해 있고 X, Y로부터 각각 P, Q를 향해 방출된 빛은 O를 동시에 지난다. 관찰자 B가 탄 우주선은 A에 대해 광속에 가까운 속력 v로 X와 P를 잇는 직선과 나란하게 운동한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

<보 기>

ㄱ. B의 관성계에서, 빛은 Y에서가 X에서보다 먼저 방출된다.
ㄴ. B의 관성계에서, 빛은 P와 Q에 동시에 도달한다.
ㄷ. Y에서 방출된 빛이 Q에 도달하는 데 걸리는 시간은 B의 관성계에서가 A의 관성계에서보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. A의 관성계에서 X와 Y에서 두 빛은 동시에 발사된다.
이를 B의 관성계에서 볼 때 A는 왼쪽으로 진행하므로 x축에 대해 오른쪽 사건인 Y에서 먼저 빛이 방출된다. (O)

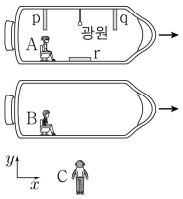
ㄴ. B의 관성계에서 오른쪽 사건인 P에 먼저 도달하는 것으로 보인다. (X)

ㄷ. B가 보면 사건 사이의 거리가 길어지므로 A가 측정한 시간보다 크다. (O)

05 2023학년도 9월 11번 정답률 38%

11. 다음은 특수 상대성 이론에 대한 사고 실험의 일부이다.

관찰자 C에 대해 관찰자 A, B가 타고 있는 우주선이 각각 광속에 가까운 서로 다른 속력으로 $+x$방향으로 등속도 운동하고 있다. A의 관성계에서, 광원에서 각각 $-x$, $+x$, $-y$방향으로 동시에 방출된 빛은 거울 p, q, r에서 반사되어 광원에 도달한다.



(가) A의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛은 p, q, r에서 동시에 반사된다.
(나) B의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛은 q보다 p에서 먼저 반사된다.
(다) C의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 r에 도달할 때까지 걸린 시간은 t_0이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A의 관성계에서, B와 C의 운동 방향은 같다.
ㄴ. B의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛은 p, q, r에서 반사되어 광원에 동시에 도달한다.
ㄷ. C의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 q에 도달할 때까지 걸린 시간은 t_0보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

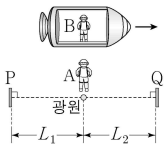
정 답 ⑤

해 설

ㄱ. B가 볼 때 왼쪽 사건이 먼저 발생했으므로 A는 오른쪽으로 상대적 운동을 한다. 따라서 B보다 A의 속력이 빠르다.
그러면 A의 관성계에서, B와 C의 운동 방향은 $-x$로 같다. (O)
ㄴ. 한 점의 동시성에 의해서 광원에 동시에 도달한다. (O)
ㄷ. q는 오른쪽으로 운동하므로 절반 시간인 t_0보다 크다. (O)

06 2023학년도 수능 12번 정답률 38%

12. 그림과 같이 관찰자 A에 대해 관찰자 B가 탄 우주선이 광원과 거울 P, Q를 잇는 직선과 나란하게 광속에 가까운 속력으로 등속도 운동한다. A의 관성계에서, P와 Q는 광원으로부터 각각 거리 L_1, L_2만큼 떨어져 정지해 있고, 빛은 광원으로부터 각각 P, Q를 향해 동시에 방출된다. B의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 P, Q에 도달하는 데 걸리는 시간은 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. $L_1 > L_2$이다.
ㄴ. A의 관성계에서, 빛은 P에서가 Q에서보다 먼저 반사된다.
ㄷ. 빛이 광원과 Q 사이를 왕복하는 데 걸리는 시간은 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설

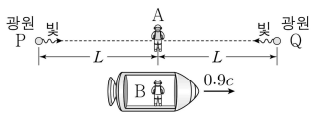
ㄱ. B가 볼 때 동시에 P, Q에 빛이 도달한다.
이를 A가 관측하게 되면 왼쪽 사건이 먼저 발생하므로 빛은 P에서 먼저 반사된다. 따라서 $L_1 < L_2$이다. (X)

ㄴ. 빛은 P에서 먼저 반사된다. (O)

ㄷ. B가 보면 사건 사이의 거리가 길어지므로 $t_A < t_B$이다. (X)

07 2024학년도 6월 9번 정답률 56%

9. 그림과 같이 관찰자 A에 대해 광원 P, Q가 정지해 있고, 관찰자 B가 탄 우주선이 P, A, Q를 잇는 직선과 나란하게 $0.9c$의 속력으로 등속도 운동을 하고 있다. A의 관성계에서, A에서 P, Q까지의 거리는 각각 L로 같고, P, Q에서 빛이 A를 향해 동시에 방출된다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, c는 빛의 속력이다.)

<보 기>

ㄱ. A의 관성계에서, B의 시간은 A의 시간보다 느리게 간다.
ㄴ. B의 관성계에서, 빛이 P에서 A까지 도달하는 데 걸린 시간은 $\frac{L}{c}$이다.
ㄷ. B의 관성계에서, 빛은 Q에서가 P에서보다 먼저 방출된다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

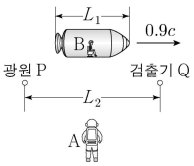
ㄱ. ABA = BAB 느리다. (O)

ㄴ. A와 B에 대한 물리량을 비교하고 있다.
A가 볼 때 $L = ct_A$이다. B가 보면 A는 왼쪽으로 가서 빛과 가까워진다. $t_A > t_B$이므로 $t_B < \frac{L}{c}$이다. (X)

ㄷ. B가 볼 때 P, Q에 동시에 빛이 발생하고, 동시에 빛이 도달한다. A가 볼 때 B는 왼쪽으로 진행하므로 오른쪽 사건이 먼저 일어난다. 즉, Q에서 빛이 먼저 나오고, Q에서 빛이 먼저 도달하는 것처럼 보인다. (O)

08 2024학년도 9월 6번 정답률 46%

6. 그림과 같이 관찰자 A에 대해 광원 P, 검출기 Q가 정지해 있고, 관찰자 B가 탄 우주선이 P, Q를 잇는 직선과 나란하게 $0.9c$의 속력으로 등속도 운동을 하고 있다. A의 관성계에서, 우주선의 길이는 L_1이고, P와 Q 사이의 거리는 L_2이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 빛의 속력은 c이다.)

<보 기>

ㄱ. A의 관성계에서, A의 시간은 B의 시간보다 느리게 간다.
ㄴ. B의 관성계에서, 우주선의 길이는 L_1보다 길다.
ㄷ. B의 관성계에서, P에서 방출된 빛이 Q에 도달하는 데 걸리는 시간은 $\frac{L_2}{c}$보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

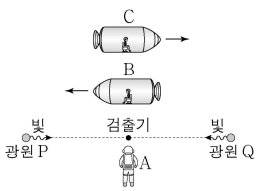
정 답 ②

해 설

ㄱ. BBA = 빠르다. (X)
ㄴ. B가 보면 고유 길이로 L_1보다 길다. (O)
ㄷ. $t_B > \frac{L_2}{c} = t_A$를 만족한다.
B가 봤을 때 사건 사이의 거리가 짧아진다.
따라서 $t_B < \frac{L_2}{c}$이다. (X)

09 2024학년도 수능 12번 정답률 53%

12. 그림과 같이 관찰자 A에 대해 광원 P, 검출기, 광원 Q가 정지해 있고 관찰자 B, C가 탄 우주선이 각각 광속에 가까운 속력으로 P, 검출기, Q를 잇는 직선과 나란하게 서로 반대 방향으로 등속도 운동을 한다. A의 관성계에서, P, Q에서 검출기를 향해 동시에 방출된 빛은 검출기에 동시에 도달한다. P와 Q 사이의 거리는 B의 관성계에서가 C의 관성계에서보다 크다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A의 관성계에서, B의 시간은 C의 시간보다 느리게 간다.
ㄴ. B의 관성계에서, 빛은 P에서가 Q에서보다 먼저 방출된다.
ㄷ. C의 관성계에서, 검출기에서 P까지의 거리는 검출기에서 Q까지의 거리보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ②

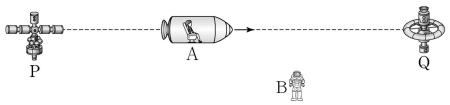
해 설

조건 1) PQ사이의 거리가 B > C이므로 속력은 B < C이다.
조건 2) A가 볼 때 P, Q에서 검출기를 향해 방출된 빛은 검출기에 동시에 도달한다.

ㄱ. A가 볼 때 C의 속력이 더 빠르므로 느리게 간다. (X)
ㄴ. B가 A를 보면 오른쪽으로 간다. 따라서 왼쪽 사건인 P가 먼저 방출된다. (O)
ㄷ. 비율은 유지된다. (X)

10 2025학년도 6월 7번 정답률 65%

7. 그림과 같이 관찰자 A가 탄 우주선이 우주 정거장 P에서 우주 정거장 Q를 향해 등속도 운동한다. A의 관성계에서, 관찰자 B의 속력은 $0.8c$이고 P와 Q 사이의 거리는 L이다. B의 관성계에서, P와 Q는 정지해 있다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, c는 빛의 속력이다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. A의 관성계에서, P의 속력은 Q의 속력보다 작다.
ㄴ. A의 관성계에서, A의 시간이 B의 시간보다 느리게 간다.
ㄷ. B의 관성계에서, P와 Q 사이의 거리는 L보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

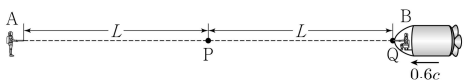
ㄱ. A의 관성계에서 P의 속력과 Q의 속력은 같다. (X)

ㄴ. BBA(보다)=빠르게 간다. (X)

ㄷ. A가 본 길이는 길이 수축된 길이이다. (O)

11 2025학년도 9월 11번 정답률 60%

11. 그림과 같이 관찰자 A에 대해, 검출기 P와 점 Q가 정지해 있고 관찰자 B가 탄 우주선이 A, P, Q를 잇는 직선과 나란하게 $0.6c$의 속력으로 등속도 운동을 한다. A의 관성계에서 B가 Q를 지나는 순간, A와 B는 동시에 P를 향해 빛을 방출한다. A의 관성계에서, A에서 P까지의 거리와 P에서 Q까지의 거리는 L로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, c는 빛의 속력이고, 우주선과 관찰자의 크기는 무시한다.)

<보 기>

ㄱ. A의 관성계에서, A가 방출한 빛의 속력과 B가 방출한 빛의 속력은 같다.
ㄴ. A의 관성계에서, B가 방출한 빛이 P에 도달하는 데 걸리는 시간은 $\frac{L}{c}$이다.
ㄷ. B의 관성계에서, A가 방출한 빛이 P에 도달하는 데 걸리는 시간은 B가 방출한 빛이 P에 도달하는 데 걸리는 시간보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

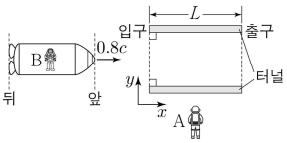
ㄱ. 광속 불변 원리로 빛의 속력은 같다. (O)

ㄴ. $L=ct_A$를 만족한다. (O)

ㄷ. B가 볼 때 점 P는 오른쪽으로 이동하므로 사건 사이의 거리는 왼쪽>오른쪽이다. 따라서 A가 방출한 빛이 P에 도달하는 데 걸리는 시간은 B가 방출한 빛이 P에 도달하는 데 걸리는 시간보다 크다. (O)

12 2025학년도 수능 9번 정답률 65%

9. 그림과 같이 관찰자 A에 대해 관찰자 B가 탄 우주선이 $+x$방향으로 터널을 향해 $0.8c$의 속력으로 등속도 운동한다. A의 관성계에서, x축과 나란하게 정지해 있는 터널의 길이는 L이고, 우주선의 앞이 터널의 출구를 지나는 순간 우주선의 뒤가 터널의 입구를 지난다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, c는 빛의 속력이다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. A의 관성계에서, 우주선의 앞이 터널의 입구를 지나는 순간부터 우주선의 뒤가 터널의 입구를 지나는 순간까지 걸린 시간은 $\frac{L}{0.8c}$보다 작다.
ㄴ. B의 관성계에서, 터널의 길이는 L보다 작다.
ㄷ. B의 관성계에서, 터널의 출구가 우주선의 앞을 지나고 난 후 터널의 입구가 우주선의 뒤를 지난다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

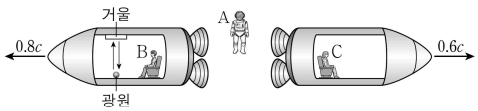
ㄱ. 우주선의 앞부분을 뮤온으로 생각을 하면 $0.8c$의 뮤온이 L을 지날 때 걸린 시간은 $\frac{L}{0.8c}$이다. (X)

ㄴ. B의 입장에서 길이 수축으로 인해 터널의 길이는 L보다 작다. (O)

ㄷ. B가 볼 때 A는 왼쪽으로 진행하므로 오른쪽 사건이 먼저 일어난다. (O)

13 2026학년도 6월 11번 정답률 64%

11. 그림과 같이 관찰자 A에 대해 관찰자 B, C가 탄 우주선이 각각 $0.8c$, $0.6c$의 속력으로 등속도 운동한다. A의 관성계에서, C가 탄 우주선의 길이는 L이다. B의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 광원과 거울을 왕복하는 데 걸리는 시간은 T이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, c는 빛의 속력이다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. A의 관성계에서, B의 시간은 C의 시간보다 느리게 간다.
ㄴ. A의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 광원과 거울을 왕복하는 데 걸리는 시간은 T보다 작다.
ㄷ. C의 관성계에서, C가 탄 우주선의 길이는 L보다 작다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

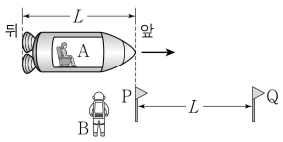
ㄱ. A의 관성계에서 B의 속력이 C의 속력보다 더 빠르므로 시간이 느리게 가는 것으로 관측된다. (O)

ㄴ. B가 본 시간은 고유시간이므로 $T_B < T_A$이다. (X)

ㄷ. A가 본 우주선의 길이는 수축된 길이이므로 고유 길이는 L보다 길다. (X)

14 2026학년도 9월 12번 정답률 66%

12. 그림과 같이 관찰자 A가 탄 우주선이 관찰자 B에 대해 광속에 가까운 속력으로 등속도 운동을 한다. 깃발 P, Q는 B에 대해 정지해 있고, A는 P, Q를 잇는 직선과 나란하게 운동한다. A의 관성계에서, P가 우주선의 앞에서 뒤까지 가는 데 걸리는 시간은 T이다. B의 관성계에서, 우주선의 길이와 P, Q 사이의 거리는 L로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A의 관성계에서, P, Q 사이의 거리는 L보다 작다.
ㄴ. A의 관성계에서, P가 우주선의 뒤를 지나기 전에 Q가 우주선의 앞을 지난다.
ㄷ. B의 관성계에서, 우주선의 앞이 P에서 Q까지 가는 데 걸리는 시간은 T보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

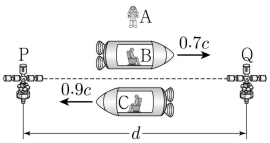
ㄱ. A의 관성계에서 PQ사이의 길이는 길이수축이 일어나므로 L보다 작다. (O)

ㄴ. 선행추론법에 의하여 A가 B를 보면 왼쪽으로 진행하므로 앞쪽 사건인 Q가 우주선의 앞을 지나는 사건이 먼저 일어나는 것처럼 보인다. (O)

ㄷ. B의 관성계에서 측정한 시간은 고유시간이므로 T보다 작다. (X)

15 2026학년도 수능 8번 정답률 65%

8. 그림과 같이 관찰자 A에 대해 관찰자 B, C가 탄 우주선이 각각 속력 $0.7c$, $0.9c$로 우주 정거장 P, Q를 잇는 직선과 나란하게 등속도 운동을 한다. A의 관성계에서, 정지해 있는 P와 Q 사이의 거리는 d이고 B, C가 탄 우주선의 길이는 같다. C의 관성계에서, C가 탄 우주선의 길이는 L이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, c는 빛의 속력이다.)

<보 기>

ㄱ. B의 관성계에서, B가 탄 우주선의 길이는 L보다 크다.
ㄴ. C의 관성계에서, Q가 C를 지나는 순간부터 P가 C를 지나는 순간까지 걸리는 시간은 $\frac{d}{0.9c}$보다 작다.
ㄷ. P와 Q 사이의 거리는 B의 관성계에서가 C의 관성계에서보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. A가 봤을 때 속도가 더 빠른 C와 B의 길이가 같다고 생각되는 것은 우주선의 고유길이는 $L_B < L_C$이다. (X)

ㄴ. $t_c < \frac{d}{0.9c} = t_A$는 옳다. 사건거리 비교법에 의하여 C가 관측하면 P는 오른쪽으로 이동하여 두 사건 사이의 거리가 짧아져 걸린 시간은 $t_c < t_A$이다. (O)

ㄷ. P와 Q 사이의 거리는 속도가 느린 B에서 더 크다. (O)

PART 8
핵반응

개념 유형

(1) 기본 개념

기출 유형

(1) 핵반응

THEME

1 — 기본 개념

정리1 핵반응

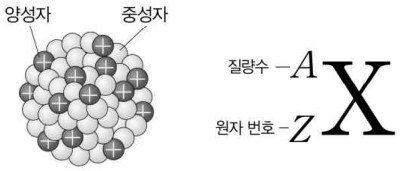
개념1 원자핵의 표현

① 원자핵의 질량수: 양성자수 + 중성자수

② 원자번호: 원자핵 속 양성자수

③ 동위원소: 양성자수는 같지만 중성자수가 다른 원자 (예: 중수소 ${}_1^2\mathrm{H}$, 삼중수소 ${}_1^3\mathrm{H}$)

전하량이 같아 화학적 성질은 동일하지만 물리적 성질은 다름.



개념2 핵반응

① 핵반응

원자핵이 분열(핵분열)하거나, 서로 합쳐지는 반응(핵융합)을 핵반응이라고 부른다.

② 성질

핵이 분열하거나 융합하는 동안 전후의 핵반응 전하량과 질량수는 보존된다.

③ 질량 결손

핵반응 후 핵반응 전보다 줄어든 질량의 합을 말하며, 핵반응 과정에서 에너지를 방출하기 때문에 질량 결손이 생긴다.

참고로 핵반응 후 질량의 총합은 무조건 줄어들고, 손실된 질량을 질량 결손이라한다.

손실된 질량만큼 $\Delta E=(\Delta m)c^2$만큼의 에너지가 방출된다.

개념3 핵반응식

${}_w^a\mathrm{A}+{}_x^b\mathrm{B} \rightarrow {}_y^c\mathrm{C}+{}_z^d\mathrm{D}+$에너지

① 전하량 보존 : $\mathrm{w}+\mathrm{x}=\mathrm{y}+\mathrm{z}$

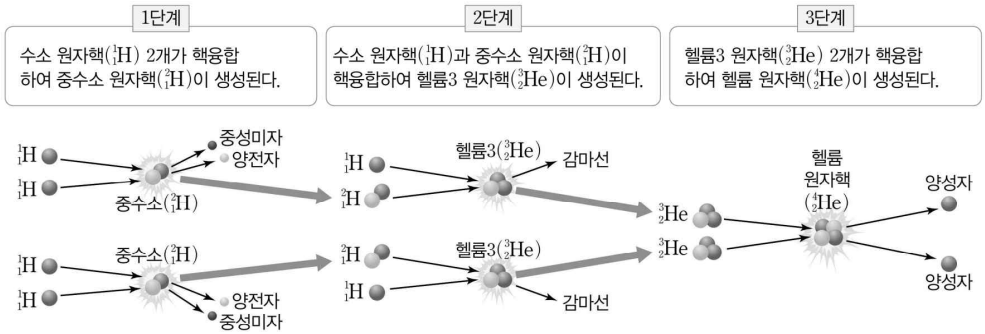
② 질량수 보존 : $\mathrm{a}+\mathrm{b}=\mathrm{c}+\mathrm{d}$

③ 질량은 결손이 일어난다. (전>후)

정리2 핵반응의 종류

개념1 핵융합

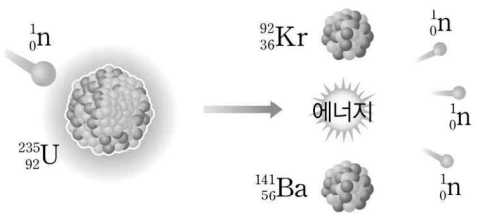
① 초고온 상태에서 가벼운 원자핵들이 융합하여 무거운 원자핵으로 변하는 반응이다.
② 나중 큰 원자의 질량수가 초기 큰 원자보다 작아진다.
③ 태양과 핵융합로에서 핵융합이 가능하다. 태양 중심부에서는 수소 원자핵과 수소 원자핵이 융합하여 중수소 원자핵이 되고, 중수소 원자핵과 중수소 원자핵이 핵융합하여 헬륨 원자핵으로 변한다



태양에서는 핵융합 과정에서 생긴 질량 결손에 의해 4×10^{20} MW(1초당 4×10^{20} J) 정도의 에너지를 방출하며, 매일 50조 톤의 수소를 헬륨으로 변환한다.

개념2 핵분열

① 한 원자핵에 중성자와 같은 입자가 충돌할 때 2개 이상의 다른 원자핵으로 나누어지는 반응이다.
② 나중 큰 원자의 질량수가 초기 큰 원자보다 증가한다.
③ 우라늄에 속도가 느린 중성자(저속 중성자) 1개를 흡수하면, 2개의 원자핵으로 분열하면서 2개~3개의 속도가 빠른 중성자(고속 중성자)를 방출한다



유형 01 핵반응

01 2022학년도 6월 6번 정답률 63%

6. 다음은 두 가지 핵반응이다.

(가) ${}_1^2\mathrm{H} + {}_1^2\mathrm{H} \rightarrow {}_2^3\mathrm{He} + \boxed{\text{㉠}} + 3.27\,\mathrm{MeV}$

(나) ${}_1^2\mathrm{H} + {}_1^2\mathrm{H} \rightarrow {}_1^3\mathrm{H} + \boxed{\text{㉡}} + 4.03\,\mathrm{MeV}$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. ㉠은 중성자이다.
ㄴ. ㉠과 ㉡은 질량수가 서로 같다.
ㄷ. 질량 결손은 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

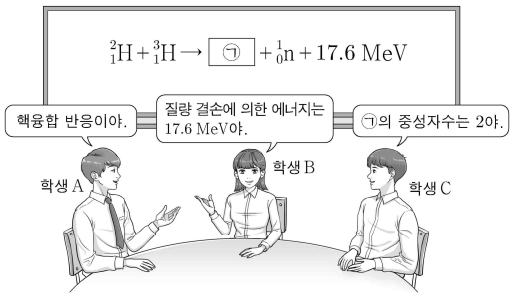
ㄱ. ㉠은 중성자이다. (O)

ㄴ. 중성자와 양성자는 질량수가 서로 같다. (O)

ㄷ. 질량 결손은 (가)<(나)이다. (O)

02 2022학년도 9월 2번 정답률 78%

2. 그림은 주어진 핵반응에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

① A ② C ③ A, B ④ B, C ⑤ A, B, C

정 답 ⑤

해 설

A. 핵융합이다. (O)

B. 질량 결손의 에너지는 17.6MeV이다. (O)

C. 질량수는 5−1=4이고, 양성자는 2이므로 중성자는 2이다. (O)

03 2022학년도 수능 2번 정답률 82%

2. 다음은 두 가지 핵반응이다.

(가) $^{235}_{92}\mathrm{U} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{141}_{56}\mathrm{Ba} + \boxed{\text{㉠}} + 3\,{}^{1}_{0}\mathrm{n} +$ 약 200 MeV

(나) $^{235}_{92}\mathrm{U} + \boxed{\text{㉡}} \rightarrow {}^{140}_{54}\mathrm{Xe} + {}^{94}_{38}\mathrm{Sr} + 2\,{}^{1}_{0}\mathrm{n} +$ 약 200 MeV

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. ㉠은 $^{94}_{38}\mathrm{Sr}$보다 질량수가 크다.
ㄴ. ㉡은 중성자이다.
ㄷ. (가)에서 질량 결손에 의해 에너지가 방출된다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

ㄱ. ㉠의 질량수는 $236-144=92$이다. (X)
ㄴ. 우라늄을 중성자로 때린다. (O)
ㄷ. 질량 결손에 의해 에너지가 방출된다. (O)

04 2023학년도 6월 12번 정답률 76%

12. 다음은 두 가지 핵반응을, 표는 원자핵 a~d의 질량수와 양성자수를 나타낸 것이다.

(가) $\mathrm{a} + \mathrm{a} \rightarrow \mathrm{c} + \boxed{\mathrm{X}} + 3.3\,\mathrm{MeV}$

(나) $\mathrm{a} + \mathrm{b} \rightarrow \mathrm{d} + \boxed{\mathrm{X}} + 17.6\,\mathrm{MeV}$

원자핵	질량수	양성자수
a	2	㉠
b	3	1
c	3	2
d	㉡	2

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 질량 결손은 (가)에서가 (나)에서보다 작다.
ㄴ. X는 중성자이다.
ㄷ. ㉡은 ㉠의 4배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 질량 결손은 (가)<(나)이다. (O)
ㄴ. a와 d를 보면 질량수와 양성자수에 각각 미지수가 있다.
따라서 (가)에서 (나)의 식을 빼자.
$\mathrm{a}-\mathrm{b}=\mathrm{c}-\mathrm{d} \rightarrow \mathrm{a}+\mathrm{d}=\mathrm{b}+\mathrm{c}$
1) 질량수 : $2+㉡=6 \rightarrow ㉡=4$
2) 양성자수 : $㉠+2=3 \rightarrow ㉠=1$
따라서 X는 중성자이다. (O)
ㄷ. 4배이다. (O)

05 2023학년도 9월 6번 정답률 57%

6. 다음은 두 가지 핵반응이다. A, B는 원자핵이다.

(가) $A+B \rightarrow {}_2^4He+{}_0^1n+17.6\,MeV$
(나) $A+A \rightarrow B+{}_1^1H+4.03\,MeV$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. (가)는 핵분열 반응이다.
ㄴ. (나)에서 질량 결손에 의해 에너지가 방출된다.
ㄷ. 중성자수는 B가 A의 2배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

ㄱ. B의 소거를 위하여 (가)와 (나)의 식을 더하자.

$3A={}_3^6$이므로 $A={}_1^2$이다. 그러면 $B={}_1^3$이 된다.

(가)는 핵융합 반응이다. (X)

ㄴ. (나)에서 질량 결손에 의해 에너지가 방출된다. (O)

ㄷ. 중성자수는 A는 1개이고 B는 2개이다. (O)

06 2023학년도 수능 3번 정답률 69%

3. 다음은 두 가지 핵반응이다. X, Y는 원자핵이다.

(가) ${}_1^2H+{}_1^1H \rightarrow X+5.49\,MeV$
(나) $X+X \rightarrow Y+{}_1^1H+{}_1^1H+12.86\,MeV$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. (가)에서 질량 결손에 의해 에너지가 방출된다.
ㄴ. Y는 ${}_2^4He$이다.
ㄷ. 양성자수는 Y가 X보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. 질량 결손에 의해 에너지가 방출된다. (O)

ㄴ. (가)에서 $X={}_2^3$이므로, $Y={}_2^4$이다. (O)

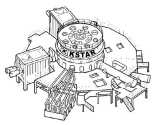
ㄷ. 양성자수는 Y와 X가 같다. (X)

07 2024학년도 6월 2번 정답률 86%

2. 다음은 우리나라의 핵융합 연구 장치에 대한 설명이다.

'한국의 인공 태양'이라 불리는 KSTAR는 바닷물에 풍부한 중수소($_1^2\mathrm{H}$)와 리튬에서 얻은 삼중수소($_1^3\mathrm{H}$)를 고온에서 충돌시켜 다음과 같이 핵융합 에너지를 얻기 위한 연구 장치이다.

$$_1^2\mathrm{H} + _1^3\mathrm{H} \rightarrow _2^4\mathrm{He} + \boxed{\text{㉠}} + \text{㉡ 에너지}$$



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. $_1^2\mathrm{H}$와 $_1^3\mathrm{H}$는 질량수가 같다.
ㄴ. ㉠은 중성자이다.
ㄷ. ㉡은 질량 결손에 의해 발생한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

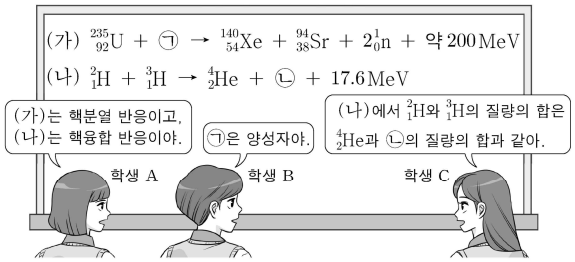
정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 질량수는 다르다. (X)
ㄴ. 중성자이다. (O)
ㄷ. 질량 결손에 의해 에너지가 나온다. (O)

08 2024학년도 9월 2번 정답률 64%

2. 다음은 핵반응 (가), (나)에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

① A ② B ③ A, C ④ B, C ⑤ A, B, C

정 답 ①

해 설

A. (가)는 핵분열이고 (나)는 핵융합이다. (O)
B. 중성자이다. (X)
C. 질량 결손에 의해서 같지 않다. (X)

09 2024학년도 수능 2번 정답률 63%

2. 다음은 두 가지 핵반응을, 표는 (가)와 관련된 원자핵과 중성자($_0^1\mathrm{n}$)의 질량을 나타낸 것이다.

(가) ㉠ + ㉠ → $_2^3\mathrm{He}$ + $_0^1\mathrm{n}$ + 3.27 MeV

(나) $_1^3\mathrm{H}$ + ㉠ → $_2^4\mathrm{He}$ + ㉡ + 17.6 MeV

입자	질량
㉠	M_1
$_2^3\mathrm{He}$	M_2
중성자($_0^1\mathrm{n}$)	M_3

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. ㉠은 $_1^1\mathrm{H}$이다.
ㄴ. ㉡은 중성자($_0^1\mathrm{n}$)이다.
ㄷ. $2M_1 = M_2 + M_3$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설

ㄱ. (가)의 오른쪽을 더하면 $_2^4$이므로 ㉠은 $_1^2$이다. (X)

ㄴ. (나)의 왼쪽을 더하면 $_2^5$이므로 ㉡은 $_0^1$이다.
따라서 중성자이다. (O)

ㄷ. (ㄷ)의 식은 (가)의 식을 나타낸다.
질량 결손에 의해서 $2M_1 > M_2 + M_3$이다. (X)

10 2025학년도 6월 4번 정답률 84%

4. 다음은 핵반응식을 나타낸 것이다. E_0은 핵반응에서 방출되는 에너지이다.

$$_{92}^{235}\mathrm{U} + {}_0^1\mathrm{n} \rightarrow {}_{56}^{141}\mathrm{Ba} + {}_{36}^{92}\mathrm{Kr} + \boxed{㉠}\ {}_0^1\mathrm{n} + E_0$$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. ㉠은 3이다.
ㄴ. 핵융합 반응이다.
ㄷ. E_0은 질량 결손에 의해 발생한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. ㉠은 3이다. (O)

ㄴ. 핵분열 반응이다. (X)

ㄷ. E_0는 질량 결손에 의해 발생한다. (O)

11 2025학년도 9월 4번 정답률 81%

4. 다음은 두 가지 핵반응이다. (가)와 (나)에서 방출되는 에너지는 각각 E_1, E_2이고, 질량 결손은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

(가) $\boxed{\text{㉠}} + {}^{1}_{0}\text{n} \rightarrow {}^{141}_{56}\text{Ba} + {}^{92}_{36}\text{Kr} + 3{}^{1}_{0}\text{n} + E_1$
(나) ${}^{2}_{1}\text{H} + {}^{3}_{1}\text{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\text{He} + {}^{1}_{0}\text{n} + E_2$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

<보 기>
ㄱ. ㉠의 질량수는 238이다.
ㄴ. (나)는 핵융합 반응이다.
ㄷ. E_1은 E_2보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설
ㄱ. 질량수는 235이다. (X)
ㄴ. (나)는 핵융합 반응이다. (O)
ㄷ. 문제 조건에서 질량 결손은 (가)>(나)이므로 $E_1 > E_2$이다. (O)

12 2025학년도 수능 2번 정답률 92%

2. 다음은 핵반응에 대한 설명이다.

원자로 내부에서 ${}^{235}_{92}\text{U}$ 원자핵이 중성자(${}^{1}_{0}\text{n}$) 하나를 흡수하면, ${}^{141}_{56}\text{Ba}$ 원자핵과 ${}^{92}_{36}\text{Kr}$ 원자핵으로 쪼개지며 세 개의 중성자와 에너지가 방출된다. 이 핵반응을 $\boxed{\text{㉠}}$ 반응이라 하고, 이때 ㉡방출되는 에너지를 이용해 전기를 생산할 수 있다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>
ㄱ. ${}^{235}_{92}\text{U}$ 원자핵의 질량수는 ${}^{141}_{56}\text{Ba}$ 원자핵과 ${}^{92}_{36}\text{Kr}$ 원자핵의 질량수의 합과 같다.
ㄴ. '핵분열'은 ㉠으로 적절하다.
ㄷ. ㉡은 질량 결손에 의해 발생한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설
ㄱ. 다르다. (X)
ㄴ. 핵분열이다. (O)
ㄷ. 질량 결손에 의해 발생한다. (O)

13 2026학년도 6월 2번 정답률 92%

2. 그림은 핵반응 Ⅰ, Ⅱ에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은? [3점]

① A ② C ③ A, B ④ A, C ⑤ B, C

정 답 ④

해 설

A. 무거운 원자핵이 쪼개지므로 핵분열이다. (O)
B. 핵융합에서는 질량 결손에 의한 에너지를 방출한다. (X)
C. 핵융합은 높은 온도에서 일어난다. (O)

14 2026학년도 9월 3번 정답률 91%

3. 다음은 핵반응에 대한 설명이다.

> 별에서는 높은 온도와 압력으로 인해 가벼운 원자핵들이 반응하여 무거운 원자핵이 생성되는 다음과 같은 핵반응이 일어난다.
>
> $${}_2^3\mathrm{He} + {}_2^3\mathrm{He} \rightarrow \boxed{\text{㉠}} + {}_1^1\mathrm{H} + {}_1^1\mathrm{H} + \text{에너지}$$
>
> 이 핵반응에서 ㉡ 질량 결손에 해당하는 에너지가 방출된다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 질량수는 ㉠이 ${}_2^3\mathrm{He}$보다 크다.
ㄴ. ㉡에서 질량 결손은 ${}_2^3\mathrm{He}$과 ${}_1^1\mathrm{H}$의 질량 차이이다.
ㄷ. 이 핵반응은 핵융합 반응이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

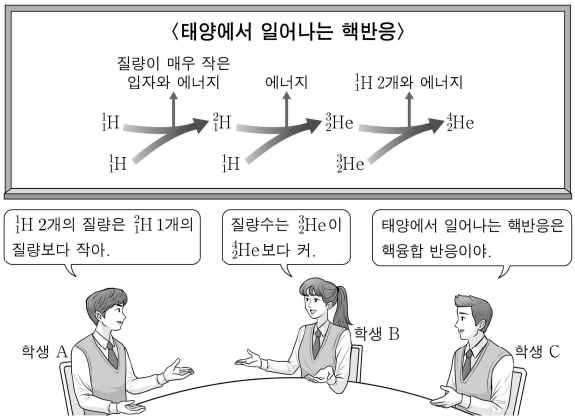
정 답 ④

해 설

ㄱ. ㉠은 ${}_2^4\mathrm{He}$이므로 질량수가 더 크다. (O)
ㄴ. 계에 대한 질량 차이이다. (X)
ㄷ. 핵융합 반응이다. (O)

15 2026학년도 수능 1번 정답률 92%

1. 그림은 태양에서 일어나는 핵반응에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은? [3점]

① A ② B ③ C ④ A, C ⑤ B, C

정 답 ③

해 설

A. 핵융합을 하게되면 질량 손실이 발생하므로 $_1^1H$ 2개의 질량은 $_1^2H$ 1개의 질량보다 크다. (X)

B. 질량수는 $_2^3He < _2^4He$이다. (X)

C. 태양에서 일어나는 핵반응은 핵융합이다. (O)