2027

물리학II 역학

CONNECT



수능에 필요한 모든 것을 담은 수능 공략서

UNOVA

Contents

1. 벡터의 합성

· 개념편 02
· 문제편 08

2. 토크

· 개념편 12
· 문제편 22

3. 1차원 운동

· 개념편 31
· 문제편 52

4. 포물선 운동

· 개념편 54
· 문제편 63

Contents

5. 2차원 운동

· 개념편 76
· 문제편 80

6. 등속 원운동

· 개념편 89
· 문제편 94

7. 원뿔 운동

· 개념편 99
· 문제편 107

8. 케플러 법칙

· 개념편 113
· 문제편 120

Contents

9. 일반 상대성 이론

· 개념편 129
· 문제편 135

10. 일과 에너지

· 개념편 146
· 문제편 155

11. 단진자 운동

· 개념편 163
· 문제편 168

12. 열역학

· 개념편 177
· 문제편 178

PART 1
벡터의 합성

개념 유형

01. 벡터의 합성
02. 실생활의 예

기출 유형

01. 벡터
02. 힘의 합성과 분해

THEME

1 — 벡터의 합성

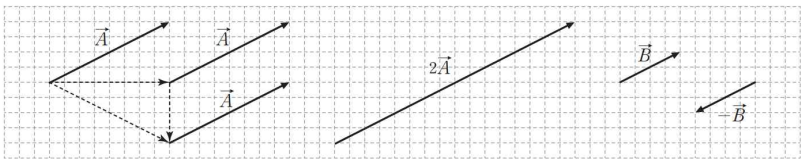
정리1 벡터의 합성

개념1 스칼라

① 스칼라는 좌표 변환(Coordinate transformation)에 의존하지 않는 물리량이다.
쉽게 설명할 때는 간략히 '방향을 가지고 있지 않고 크기만 가지고 있는 물리량'이라고도 표현한다
② 스칼라의 종류로는 이동 거리(s), 속력(v), 시간(t), 질량(m), 부피(V), 밀도(ρ) 등이 있다.

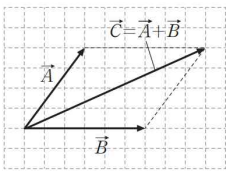
개념2 벡터

① 벡터는 방향과 크기를 둘 다 갖는 물리량이다.
② 벡터의 종류로는 힘($\vec{F}$), 전기장($\vec{E}$), 자기장($\vec{B}$) 등이 있다.

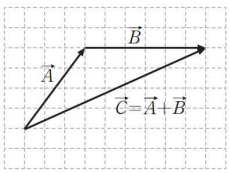


개념3 벡터의 합성

① 둘 이상의 벡터를 같은 효과를 갖는 하나의 벡터로 나타내는 것을 벡터의 합성이라고 한다
② 수능 물리학II에서 삼각형법만 알아도 충분하다. ($\vec{C}=\vec{A}+\vec{B}$)



평행사변형법

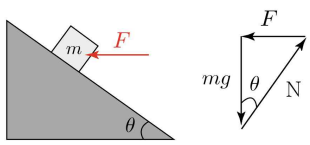
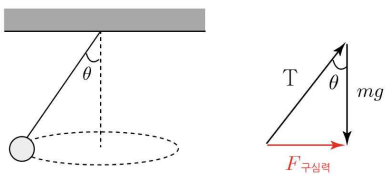


삼각형법

개념4 알짜힘의 합성

물리학I에서는 1차원적 힘에 대해서 나온다. 하지만 물리학II에서는 2차원적 힘에 대해서 출제가 된다.
따라서 힘의 벡터적 합성에 대해서 확실하게 이해를 하고 있어야 기하적으로 문제를 접근할 수 있다.

① 알짜힘이 0이면 합력 벡터의 값은 0이므로 폐곡선을 만든다.
② 알짜힘이 0이 아니면 합력 벡터의 값은 알짜힘을 만든다.

물체에 작용하는 알짜힘이 0인 경우 (실제 힘 벡터들을 합쳐서 0이 나온다.)	물체에 작용하는 알짜힘이 0이 아닌 경우 (실제 힘 벡터들을 합쳐서 알짜힘이 나온다.)
	

THEME

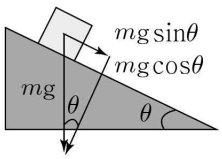
2 실생활의 예

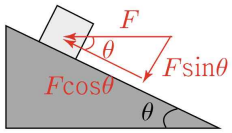
정리1 빗면의 힘

개념1 빗면에 있는 물체

빗면에 있는 물체에 작용하는 힘은 다음과 같다.

① 물체에 작용하는 중력은 mg이다.
② 빗면 방향으로 작용하는 중력은 $mg\sin\theta$이다.
③ 빗면의 수직 방향으로 작용하는 중력은 $mg\cos\theta$이다.
④ 물체에 작용하는 수직항력은 $mg\cos\theta$이다.
⑤ 물체에 작용하는 알짜힘은 $mg\sin\theta$이다.
⑥ 물체의 가속도는 $g\sin\theta$이다.
⑦ 물체에 수평 방향으로 힘을 줘서 정시키려면 $F=mg\tan\theta$를 만족한다.

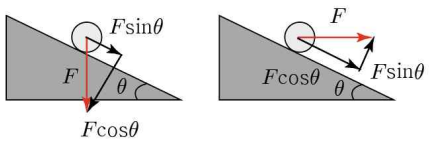
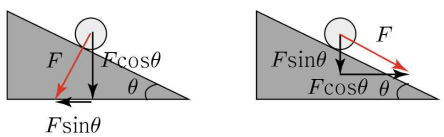




TIP 증명 과정

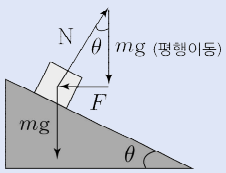
2가지 방법으로 증명할 수 있다. [증명1] x'축(빗면축)에 대한 힘의 평형과, [증명2] 벡터적 평형이 있다.

[증명1] x' 힘의 평형) $F\cos\theta=mg\sin\theta$에서 $F=mg\tan\theta$이다.

x, y방향의 힘을 x', y'으로 분해	x', y'방향의 힘을 x, y으로 분해
	

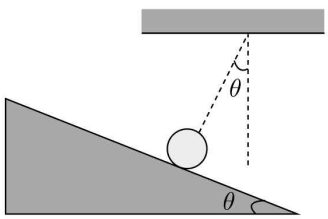
[증명2] 힘의 평형상태에서 물체에 작용하는 힘들을 연결하면 폐곡선이 된다.
(수직항력이 천장과 이루는 각은 아래 각도 꺾기 참조)

힘의 삼각형을 통해 $F=mg\tan\theta$이다.



개념2 각도 꺾기

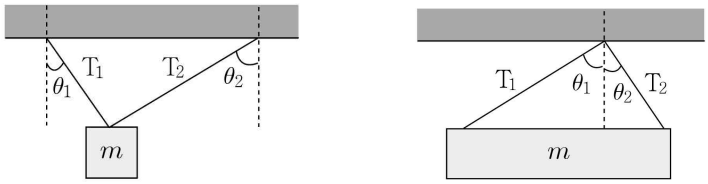
아래 그림과 같이 빗면에 대하여 각도를 꺾는 문제들이 많이 출제가 된다.
각도의 위상이 한 번 꺾이므로 천장과 이루는 각도가 θ가 되는 것을 알 수 있다.



정리2 두 줄에 매달린 한 물체

개념1 정지한 상황

그림은 질량이 m인 한 물체를 두 개의 실로 천장과 연결한 상황이다.
물체가 천장과 이루는 각도는 각각 θ_1, θ_2이다.



① $T_1\sin\theta_1 = T_2\sin\theta_2$에서 $\frac{T_1}{T_2}=\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}$이다. (즉, 장력의 비는 sin의 비의 역수이다.)

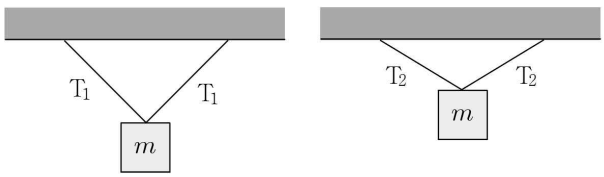
② 이 결과를 통해 두 실의 장력을 비교하면 연직 방향과 가까울수록 장력이 더 큰 것을 알 수 있다.

개념2 높아지는 상황

그림은 두 실이 이루는 각도가 동일할 때 실의 길이가 짧아져 물체가 위로 올라간 상황이다.

정지한 두 사건에 대하여 y축 힘의 평형은 $2T\cos\theta = mg$을 만족하고 $T=\frac{mg}{2\cos\theta}$이다. ($T_1 < T_2$)

따라서 물체가 위로 올라갈수록 θ의 값이 증가하여 장력은 ∞에 수렴하게 된다.



개념3 특정한 각도에서의 장력

물체가 천장과 연결된 각도에 따른 장력의 값은 아래와 같다.

$\theta_1 = 30^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$
$T_1 = \frac{1}{\sqrt{3}}mg$	$T_2 = \frac{1}{\sqrt{3}}mg$

$\theta_1 = 30^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$
$T_1 = (\sqrt{3}-1)mg$	$T_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\sqrt{3}-1)mg$

$\theta_1 = 45^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$
$T_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}mg$	$T_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}mg$

$\theta_1 = 60^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$
$T_1 = (\sqrt{3}-1)mg$	$T_2 = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}(\sqrt{3}-1)mg$

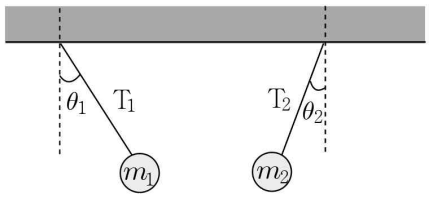
$\theta_1 = 60^\circ$	$\theta_2 = 60^\circ$
$T_1 = mg$	$T_2 = mg$

$\theta_1 = 30^\circ$	$\theta_2 = 60^\circ$
$T_1 = \frac{\sqrt{3}}{2}mg$	$T_2 = \frac{1}{2}mg$

정리3 두 줄에 매달린 두 물체

개념1 각도에 따른 물리량의 관계성

그림은 질량이 m_1, m_2인 도체구가 서로 인력을 작용하여 수평면과 나란한 방향으로 실에 매달려 정지해있는 상황이다.
이때 실이 연직면과 이루는 각도는 각각 θ_1, θ_2이다.



개념2 질량의 비

중력과 전기력을 정리하면 $m_1 g\tan\theta_1 = m_2 g\tan\theta_2 = F$의 관계를 만족한다.

이를 통해 질량 비는 $\frac{m_1}{m_2} = \frac{\tan\theta_2}{\tan\theta_1}$를 만족하는 것을 알 수 있다. (즉, 질량 비는 tan비의 역수이다.)

개념3 장력의 비

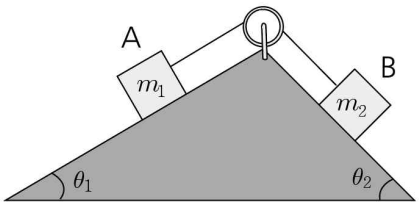
장력과 전기력을 정리하면 $T_1\sin\theta_1 = T_2\sin\theta_2 = F$의 관계를 만족한다.

이를 통해 $\frac{T_1}{T_2} = \frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}$를 만족하는 것을 알 수 있다. (즉, 장력의 비는 sin비의 역수이다.)

정리4 한 줄에 매달린 두 물체

개념1 두 빗면에 있는 평형 상태의 두 물체

그림은 빗면 위에 실로 연결된 두 개의 물체에 대한 상황이다.



개념2 질량의 비

빗면 중력에 대해서 생각해보면 $m_A\sin\theta_A = m_B\sin\theta_B$를 만족한다.

이를 통해 $\frac{m_A}{m_B} = \frac{\sin\theta_B}{\sin\theta_A}$를 만족하는 것을 알 수 있다. (즉, 질량 비는 sin비의 역수이다.)

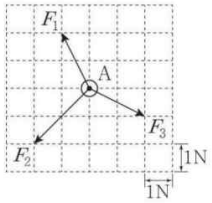
개념3 수직항력의 비

수직항력의 값을 생각해보면 $\frac{N_A}{N_B} = \frac{m_A g\cos\theta_A}{m_B g\cos\theta_B} = \frac{m_A}{m_B}\frac{\cos\theta_A}{\cos\theta_B} = \frac{\tan\theta_B}{\tan\theta_A}$이다.

이를 통해 수직항력의 비는 $\frac{N_A}{N_B} = \frac{\tan\theta_B}{\tan\theta_A}$를 만족하는 것을 알 수 있다. (즉, 수직항력의 비는 tan비의 역수이다.)

예제1

그림과 같이 마찰이 없는 평면에 놓인 물체 A에 평면과 나란한 방향으로 일정한 힘 F_1, F_2, F_3이 작용한다.

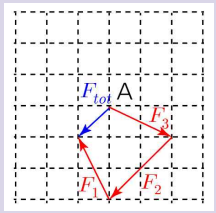


A에 작용하는 알짜힘의 크기는? (단, A의 크기는 무시한다.)

① $1N$ ② $\sqrt{2}N$ ③ $2N$ ④ $\sqrt{5}N$ ⑤ $2\sqrt{2}N$

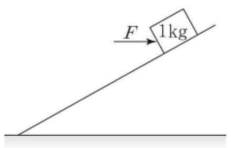
해설

벡터로 작도하면 다음과 같다.

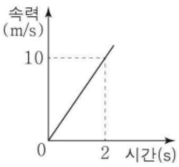


예제2

그림 (가)는 마찰이 없는 경사면에서 질량이 $1kg$인 물체에 수평면과 나란한 방향의 힘 F를 작용하였더니 물체가 정지하고 있는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 F를 제거한 순간부터 물체의 속력을 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

F의 크기는? (단, 중력 가속도는 $10m/s^2$이고, 물체의 크기는 무시한다.)

① $\frac{5\sqrt{3}}{3}N$ ② $\frac{5\sqrt{2}}{2}N$ ③ $\frac{10\sqrt{3}}{3}N$ ④ $5\sqrt{2}N$ ⑤ $5\sqrt{3}N$

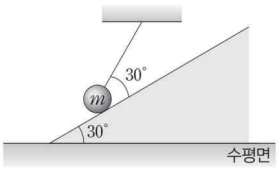
해설

STEP1 (나)에서 빗면 가속도가 $5m/s^2$이므로
빗면이 수평면과 이루는 각은 $\theta = 30^\circ$이다.

STEP2 $F = mg\tan\theta = \frac{10\sqrt{3}}{3}N$

예제3

그림과 같이 천장에 실로 연결된 물체가 경사각이 30°인 빗면에 놓여 있다. 천장에 연결된 실이 빗면과 이루는 각은 30°이고, 물체의 질량은 m이다.



빗면이 물체에 작용하는 힘의 크기는? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

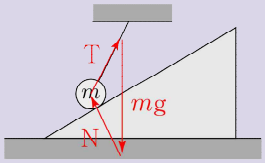
① $\frac{1}{\sqrt{5}}mg$ ② $\frac{1}{2}mg$ ③ $\frac{1}{\sqrt{3}}mg$ ④ $\frac{1}{\sqrt{2}}mg$ ⑤ $\frac{\sqrt{3}}{2}mg$

해설

성분을 분해해서 문제를 해결해도 되고, 벡터로 문제를 해결해도 된다.

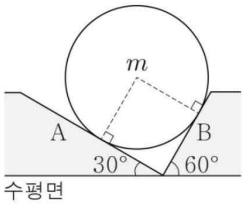
벡터로 힘을 평행이동 시키면 아래 그림과 같다.

따라서 $N\cos 30^\circ = \frac{1}{2}mg$에서 $N = \frac{1}{\sqrt{3}}mg$이다.



예제4

그림과 같이 마찰이 없는 빗면 A, B에 질량이 m이고 밀도가 균일한 구 모양의 물체가 정지해 있다. A, B가 수평면과 이루는 각은 각각 30°, 60°이다.

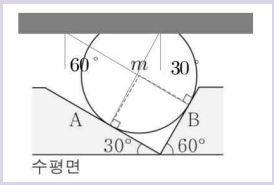


B가 물체에 작용하는 힘의 크기는? (단, 중력 가속도는 g이다.)

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

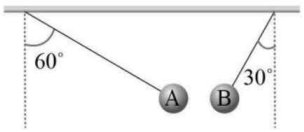
해설

빗면과 이루는 각이 θ이면 천장(연직선)과 이루는 각도가 θ이다. 따라서 답은 $\frac{1}{2}mg$이다.



예제5

그림과 같이 대전된 두 물체 A, B가 실에 매달려 같은 높이에 정지해 있다. A, B에 연결된 실은 연직선과 각각 60°, 30°의 각을 이루고 있다.



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

<보 기>

ㄱ. 질량은 B가 A의 3배이다.
ㄴ. 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 A에서가 B에서의 $\sqrt{3}$배이다.
ㄷ. 실이 B를 당기는 힘의 크기는 B가 A를 당기는 힘의 크기의 2배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

해설

ㄱ. $\frac{m_B}{m_A}=\frac{\tan\theta_A}{\tan\theta_B}=\frac{\sqrt{3}}{\frac{1}{\sqrt{3}}}=3$ (O)

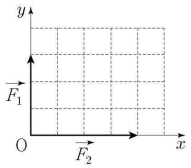
ㄴ. $\frac{T_A}{T_B}=\frac{\sin\theta_B}{\sin\theta_A}=\frac{\frac{1}{2}}{\frac{\sqrt{3}}{2}}=\frac{1}{\sqrt{3}}$ (X)

ㄷ. $\frac{T}{F}=\frac{1}{\sin30^\circ}=2$ (O)

유형 01 벡터

01 2022학년도 6월 1번 정답률 88%

1. 그림은 xy평면상의 힘 $\overrightarrow{F_1}$, $\overrightarrow{F_2}$를 나타낸 것이다. $\overrightarrow{F_1}$, $\overrightarrow{F_2}$의 크기는 각각 30N, 40N이다.



$\overrightarrow{F_1}+\overrightarrow{F_2}$의 크기는?

① 40N ② 50N ③ 60N ④ 70N ⑤ 80N

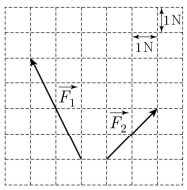
정 답 ②

해 설

두 벡터를 합성하면 $F=\sqrt{30^2+40^2}=50N$이다.

02 2024학년도 6월 1번 정답률 76%

1. 그림은 모눈종이에 힘 $\overrightarrow{F_1}$, $\overrightarrow{F_2}$를 나타낸 것이다.



$\overrightarrow{F_1}+\overrightarrow{F_2}$의 크기는?

① 3N ② 4N ③ 5N
④ 6N ⑤ 7N

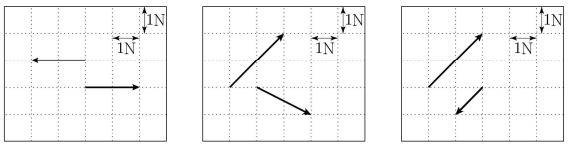
정 답 ④

해 설

두 벡터를 더하면 $\overrightarrow{F_1}+\overrightarrow{F_2}=6N$이다.

03 2025학년도 6월 1번 정답률 90%

1. 그림 A, B, C는 모눈종이에 서로 다른 두 힘을 벡터로 각각 나타낸 것이다.



두 힘의 합력이 0인 것만을 있는 대로 고른 것은?

① A ② C ③ A, B ④ B, C ⑤ A, B, C

정 답 ①

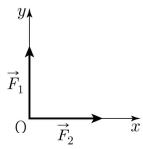
해 설

방향이 반대이고 크기가 같은 것을 고르자.

04 2026학년도 수능 1번 정답률 91%

1. 그림은 xy 평면상의 힘 $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$를 나타낸 것이다. $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$의 크기는 각각 1N이다.

$\vec{F}_1+\vec{F}_2$의 크기는?



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

정 답 ③

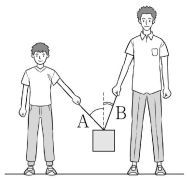
해 설

두 벡터를 합성하면 $F=\sqrt{2}$N이다.

유형 02 힘의 합성과 분해

01 2023학년도 6월 2번 정답률 75%

2. 그림은 두 학생이 줄 A, B를 이용하여 물체를 들고 있는 모습을 나타낸 것이다. 물체는 정지해 있고, 줄이 연직 방향과 이루는 각은 A가 B보다 크다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.
ㄴ. 줄이 물체를 당기는 힘의 크기는 A가 B보다 크다.
ㄷ. A, B가 물체를 당기는 힘의 합력의 크기는 물체에 작용하는 중력의 크기와 같다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

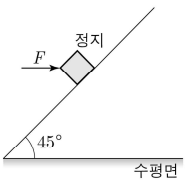
정 답 ③

해 설

ㄱ. 물체는 정지해 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. (O)
ㄴ. 줄이 물체를 당기는 힘의 크기는 y축과 가까운 B가 A보다 크다. (X)
ㄷ. A, B가 물체를 당기는 힘의 합력의 크기는 물체에 작용하는 중력의 크기와 같다. (O)

02 2026학년도 6월 6번 정답률 83%

6. 그림은 마찰이 없는 빗면에서 물체가 수평 방향으로 크기가 F인 힘을 받아 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. 빗면이 수평면과 이루는 각은 45°이다.



물체에 작용하는 중력과 빗면이 물체에 작용하는 힘의 크기를 각각 W, N이라고 할 때, F, W, N의 크기를 비교한 것으로 옳은 것은? [3점]

① $F=N=W$ ② $F=W<N$
③ $F<N=W$ ④ $N=W<F$
⑤ $W<F<N$

정 답 ②

해 설

힘의 삼각형을 그려보면 빗면의 힘은 수직항력 N이므로 $F=W<N$이다.

PART 2
토크

개념 유형

01. 기본 개념
02. 무게중심
03. 토크 변화량
04. 2차원 구조

기출 유형

01. 단층 구조
02. 복층 구조
03. 2차원 구조

THEME

1 — 기본 개념

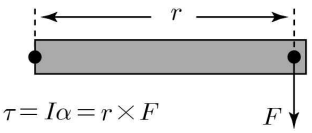
정리1 토크

개념1 토크(=돌림힘)

① 돌림힘은 물체를 회전시키는 원인이 되는 물리량이다. (회전되는 상황은 출제되지 않는다.)

② 돌림힘은 $\vec{\tau}=\vec{r}\times\vec{F}$ (τ는 "타우"라고 읽는다. 단위는 [N • m]이다.)

③ 막대가 회전하여 토크가 생기면 $\tau=I\frac{dw}{dt}=I\alpha$를 만족하며 각가속도가 생기게 된다.



$\tau=I\alpha=r\times F$

개념2 평형 상태

물체가 평형 상태에 있으면 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 만족한다.

① 힘의 평형 : 물체에 작용하는 알짜힘이 0이다. (위쪽에서 가해지는 힘의 합 = 아래쪽에서 가해지는 힘의 합)

② 돌림힘의 평형 : 물체에 작용하는 돌림힘의 합이 0이다. (시계 방향의 돌림힘 합 = 반시계 방향의 돌림힘 합)

TIP 돌림힘 평형시 회전축 재설정

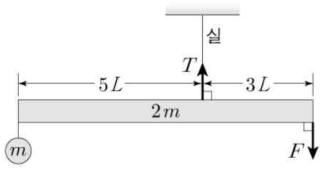
물체가 평형 상태라면 회전축을 어디로 잡던지 상관없이 돌림힘의 합은 0이 된다.

막대의 가운대를 회전축으로 잡아도 되고, 막대의 끝을 회전축으로 잡아도 된다.

하지만, 힘이 많아지게 되면 식이 길어지므로, 구하고 싶지 않은 값에 회전축으로 설정하자.

예제1 힘, 힘

그림과 같이 길이가 $8L$이고 질량이 $2m$인 막대가 왼쪽 끝으로부터 $2m$만큼 떨어진 지점에서 천장에 연결된 실에 매달려 수평을 이루며 정지해 있다. 막대의 왼쪽 끝에는 질량이 m인 물체가 실에 매달려 있고, 막대의 오른쪽 끝에는 크기가 인 힘이 작용하고 있다. 천장에 연결된 실이 막대를 당기는 힘의 크기는 T이다.



$\frac{T}{F}$는? (단, 막대의 밀도는 균일하며, 막대의 두께와 폭, 실의 질량은 무시한다.)

① $\frac{16}{7}$ ② $\frac{18}{7}$ ③ $\frac{20}{7}$ ④ $\frac{22}{7}$ ⑤ $\frac{24}{7}$

해설

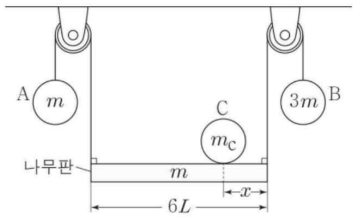
힘이 2개일 때는 토크로 힘을 제거해준다.

실) 토크평형) $5mg+2mg=3F$이므로 $F=\frac{7}{3}mg$이다.

힘의 평형) $T=3mg+\frac{7}{3}mg=\frac{16}{3}mg$이다.

예제2 힘, 거리

그림과 같이 길이가 $6L$인 나무판의 양 끝에 실로 연결된 물체 A, B와 나무판의 한쪽 끝으로부터 x만큼 떨어진 곳에 놓인 물체 C가 정지해 있다. 나무판, A, B, C의 질량은 각각 m, m, $3m$, m_C이다.



m_C와 x로 옳은 것은? (단, 나무판의 밀도는 균일하며, 나무판의 두께와 폭, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

	m_C	x		m_C	x
①	m	L	②	$2m$	L
③	$2m$	$2L$	④	$3m$	L
⑤	$3m$	$2L$			

해설

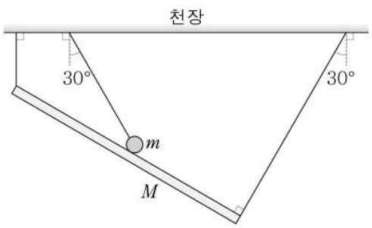
힘과 거리가 변수라면 힘의 평형으로 힘을 제거하자.
힘의 평형을 생각해보면 $m_C = 3m$임을 알 수 있다.

왼쪽 장력 힘분배를 통해 $mg = \frac{1}{2}mg + \frac{x}{6}3mg$에서

$x = L$이다.

예제3 힘, 힘, 힘

그림과 같이 질량이 M인 막대와 질량이 m인 구슬이 맞닿은 채로 수평한 천장에 연결된 실에 매달려 정지해 있다. 막대와 구슬이 맞닿은 지점은 막대의 중심이다.



$\frac{M}{m}$은? (단, 막대의 밀도는 균일하며, 막대의 두께와 폭, 구슬의 크기, 실의 질량과 모든 마찰은 무시한다.)

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

해설

STEP 1. 구슬
구슬에 작용하는 힘은 장력과 수직항력이고 두 힘은 모두 연직선에 대해서 30도의 각을 이루고 있다.

따라서 수직항력은 $\frac{1}{\sqrt{3}}mg$이다.

힘의 반작용에 의하여 막대에 가해지는 힘도 $\frac{1}{\sqrt{3}}mg$이다.

STEP 2. 막대
막대는 정지하여 모든 방향에 대해 힘의 평형을 만족하므로 빗면에 대해 힘의 평형을 써보자.
그러면 막대의 왼쪽에 작용하는 장력의 빗면 성분에

작용하는 힘은 $T_{\text{왼쪽, 빗면}} = \frac{1}{2}Mg$이다.

힘의 재분배를 통해

$T_{\text{왼쪽, 수직}} = \frac{\sqrt{3}}{2}Mg = \frac{\sqrt{3}}{3}mg + \frac{\sqrt{3}}{6}Mg$

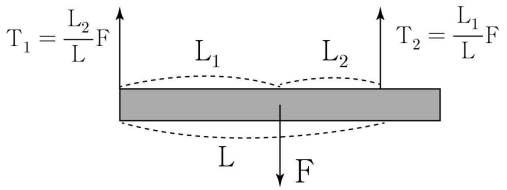
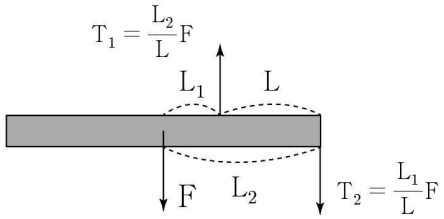
식을 정리하면 $M = \frac{2}{3}m$이다.

정리2 힘의 분배

개념1 힘의 분배

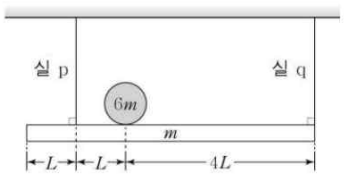
힘의 분배 공식은 $T=\frac{\text{상대방의 장력과 질량의 거리}}{\text{장력 사이의 거리}}F$이다. (두 그림에서 $T_1=\frac{L_2}{L}F$, $T_2=\frac{L_1}{L}F$을 만족한다.)

이때 내부의 힘을 분배하면 모두 위쪽으로 분배되고, 외부의 힘을 분배하면 멀리있는 쪽은 아래쪽으로 분배된다.

내부의 힘의 분배	외부의 힘의 분배
	

예제4

그림과 같이 물체가 놓인 막대가 실 p, q에 매달려 수평을 이루며 정지해 있다. 막대의 길이는 $6L$이고, 막대와 물체의 질량은 각각 m, $6m$이다.



q가 막대를 당기는 힘의 크기는? (단, 중력 가속도는 g이고, 막대의 밀도는 균일하며 막대의 두께와 폭, 물체의 크기, 실의 질량은 무시한다.)

① $\frac{3}{2}mg$ ② $\frac{8}{5}mg$ ③ $\frac{5}{3}mg$ ④ $\frac{13}{5}mg$ ⑤ $\frac{7}{2}mg$

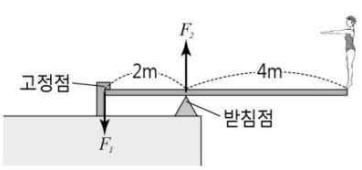
해설

힘의 재분배) $T=1\times\frac{2}{5}+6\times\frac{1}{5}=\frac{8}{5}mg$

추가적으로 두 힘은 모두 위쪽으로 작용한다.

예제5

그림은 전체 길이가 $6m$인 다이빙대 끝에 다이빙 선수가 서 있는 것을 나타낸 것이다. 다이빙대는 수평인 상태로 정지해 있다. 고정점에서 다이빙대에 연직 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 F_1이고, 받침점에서 다이빙대에 연직 위 방향으로 작용하는 힘의 크기는 F_2이다.



$F_1:F_2$는? (단, 다이빙대의 질량은 무시한다.)

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

해설

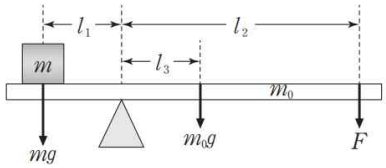
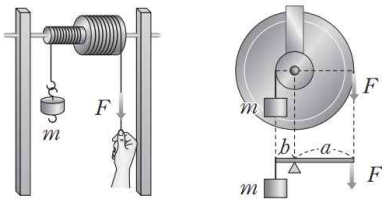
다이빙대의 질량이 없으므로 선수에 대해서만 생각하면 된다.
선수에 대해서 힘의 재분배를 생각해보면 $F_1:F_2=2:3$이다.

추가적으로 문제를 보면 고정점에서 다이빙대에 연직 아랫방향으로 힘을 준다고 나와있다.

정리3 도구를 이용한 평형 상태

개념1 지레와 축바퀴

지레와 축바퀴 모두 사람이 직접 들어올리기 힘든 물체를 들어 올릴 때 이용하는 도구이다. (도구를 쓰더라도 한 일의 양은 같다.)

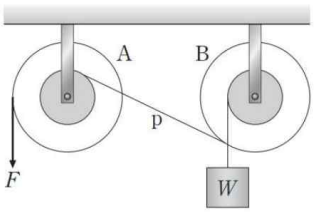
지레	축바퀴
	
물체를 올려놓은 막대가 수평을 유지하고 있는 동안 돌림힘의 합이 0이다. $l_1mg=l_2F+l_3m_0g$에서 $F=\dfrac{l_1m-l_3m_0}{l_2}g$이다.	추를 일정한 속도로 끌어올리는 동안 돌림힘의 합이 0이다. $aF=bmg$에서 $F=\dfrac{b}{a}mg$이다.

TIP 주의할 점

지레에서는 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 전부 고려해야 한다. 축바퀴에서는 돌림힘의 평형만 고려한다.

예제6

그림은 반지름의 비가 1 : 2인 작은 바퀴와 큰 바퀴로 구성된 동일한 축바퀴 A, B에서 A의 작은 바퀴의 가장자리와 B의 큰 바퀴의 가장자리를 실 p로 연결한 모습을 나타낸 것이다. B의 작은 바퀴에 무게가 W인 추를 실로 매달고 A의 큰 바퀴에 힘 F를 작용하였더니 추가 정지해 있었다.



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

<보 기>

ㄱ. F의 크기는 $4W$이다.
ㄴ. A에 작용하는 돌림힘의 합은 0이다.
ㄷ. p가 B에 작용하는 힘의 크기는 W이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. B를 통하여 p에 걸리는 장력은 $\frac{1}{2}W$이고,
A를 통하여 $F=\frac{1}{4}W$이다. (X)

ㄴ. A는 정지해있으므로 돌림힘의 합은 0이다. (O)

ㄷ. p가 B에 작용하는 힘은 $\frac{1}{2}W$이다. (X)

THEME

2 — 무게중심

정리1 무게중심

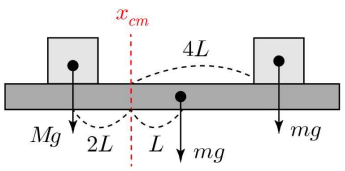
개념1 무게중심

① 무게중심은 물체를 구성하는 입자들의 평균 위치이다.

② 무게 중심의 위치는 $x_{cm}=\dfrac{F_1x_1+F_2x_2+F_3x_3+\cdots}{F_1+F_2+F_3+\cdots}$, $y_{cm}=\dfrac{F_1y_1+F_2y_2+F_3y_3+\cdots}{F_1+F_2+F_3+\cdots}$의 형식으로 구한다.

③ 무게 중심에 힘을 주면 계는 회전하지 않고 병진 운동만 한다.

예 계의 무게 중심(x_{cm})이 $x=2L$인 위치에 있을 때 M을 구하시오.



해설

풀이1. 무게 중심으로 구하기 [정석]

$x_{cm}=2L=\dfrac{0+3mgL+6mgL}{Mg+mg+mg}\rightarrow M=\dfrac{5}{2}m$

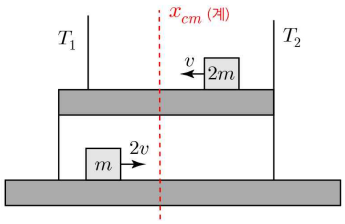
풀이2. x_{cm}에 대하여 토크 평형으로 구하기 [심화]

$2MgL=mgL+4mgL\rightarrow M=\dfrac{5}{2}m$

개념2 물체의 움직임에 대한 무게 중심 변화X

막대 위의 두 개의 물체가 움직일 때 장력이 변하지 않는다면(=계의 질량 중심이 변하지 않는다면) 다음 식을 만족한다.

예 그림은 질량이 있는 두 막대 위에서 질량이 m, $2m$인 두 물체가 등속도 운동을 하고 있다. 위쪽 막대에 작용하는 두 장력 T_1, T_2의 변화가 없을 때 두 물체의 속력의 비를 구하시오.



해설

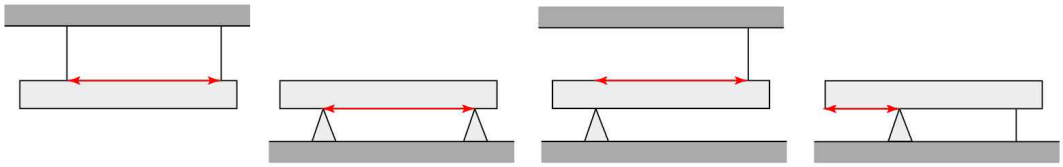
T_1과 T_2의 값이 변화가 없으므로 계의 질량 중심의 위치 x_{cm}은 변화가 없다.

따라서 계의 질량 중심에 대해서 두 물체의 토크 변화량은 평형을 유지한다. $m(dx_1)=2m(dx_2)$을 dt로 나누게 되면 $mv_1=2mv_2$를 만족하므로 속력의 비는 $2:1$이 된다.

정리2 회전하지 않을 조건

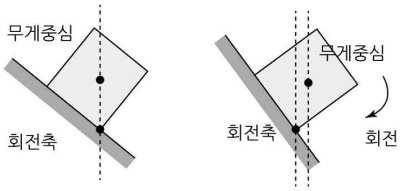
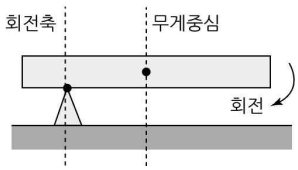
개념1 회전하지 않을 무게 중심의 조건

받침 영역 내에 무게 중심이 존재하면 토크 평형을 유지한다.
아래 그림에서 빨간색 영역에 계의 무게 중심이 존재해야 한다.



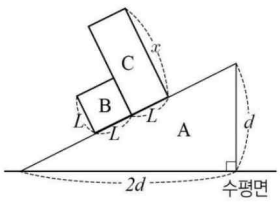
개념2 회전하기 직전의 상태

무게 중심과 받침대의 위치가 동일할 때가 바로 회전하기 직전의 상태이다.

빗면 상황	받침대 상황
	
첫 번째 상황은 회전하지 않는다. 두 번째 상황은 시계 방향으로 회전한다.	무게 중심이 받침대의 오른쪽에 있으므로 계는 시계 방향으로 회전한다.

예제1

그림과 같이 고정된 받침대 A 위에 정육면체 막대 B가 고정되어 있고, A 위에 직육면체 막대 C가 B의 한 면에 기대어 평형을 유지하고 있다.

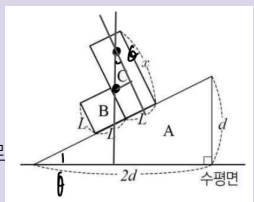


C가 평형을 유지하기 위한 C의 한 변의 길이 x의 최댓값은?
(단, C의 밀도는 균일하고, 마찰은 무시한다.)

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

해설

연직면에 대해서 질량 중심이 넘어가게 되면 C는 회전하게 된다. 큰 삼각형 or 작은 삼각형에 대해서 기하적 조건을 생각해 보자. 큰 삼각형은 밑변을 모르므로 작은 삼각형을 이용하자.

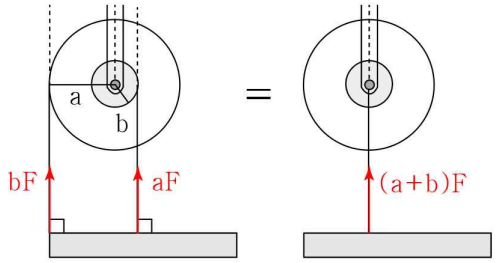


(참고로 C의 각도 구하기는 쉽다. 빗면과 연직선 각도는 같다.) $\tan\theta=\frac{1}{2}=\frac{\frac{1}{2}L}{\frac{x}{2}-L}$에서 $x=4L$이다.

정리3 두 힘의 합성

개념1 축바퀴의 합성

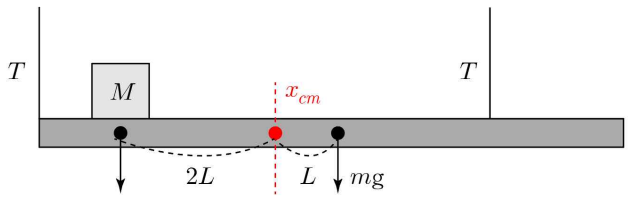
그림은 회전축에 대해서 거리비가 $a:b$로 떨어진 두 곳에 실로 막대와 연결시킨 상황이다.
막대의 입장에서 위쪽으로 $(a+b)F$의 힘으로 물체를 잡아당긴다고 생각할 수 있다.



개념2 장력의 합성

계가 평형을 이루고 있다면, 장력(위쪽 방향으로 힘 작용)에 의한 무게중심과 계의 무게중심(아래쪽으로 힘 작용)의 위치가 동일하다.

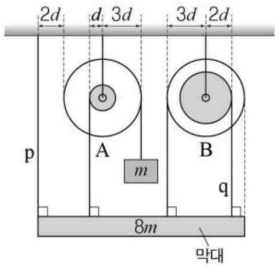
그림은 막대의 질량이 m, 물체의 질량이 M, 두 실에 작용하는 장력은 T로 동일하다.
[정리1]-[개념1]-[예시]-[풀이2]를 통해 다음과 같이 질량 M을 구할 수 있다.



장력의 질량 중심으로부터 물체 M과 m이 떨어진 거리는 $2:1$이므로 $M=\frac{1}{2}m$이다.

예제2

그림과 같이 길이 $16d$, 질량 $8m$인 밀도가 균일한 막대가 천장과 두 축바퀴 A, B에 실로 연결되어 수평을 이루며 정지해있다. A, B의 큰 바퀴의 반지름은 $3d$로 같고 작은 바퀴의 반지름은 각각 d, $2d$이며, A의 큰 바퀴에 질량 m인 물체가 매달려 있다. 천장과 막대에 연결된 실 p가 막대를 당기는 힘의 크기는 T이다.



B의 작은 바퀴의 실 q가 막대를 당기는 힘의 크기는? (단, 막대의 두께와 폭, 축바퀴의 두께, 실의 질량, 마찰은 무시한다.)

① $\frac{3}{2}T$ ② $\frac{8}{3}T$ ③ $\frac{12}{5}T$ ④ $\frac{13}{6}T$ ⑤ $\frac{16}{7}T$

해설

STEP 1. 상황 분석

A의 오른쪽에는 m이 연결되어있어서 장력을 합칠 수는 없고, A가 막대를 당기는 힘은 $3mg$이다.

B가 막대를 당기는 힘은 합칠 수 있고, 중심에 작용하는 힘을 $5F$ 라고 하자.

STEP 2. 답 구하기

힘 변수가 2개이므로 p에 대해서 토크 방정식을 생각해보자.

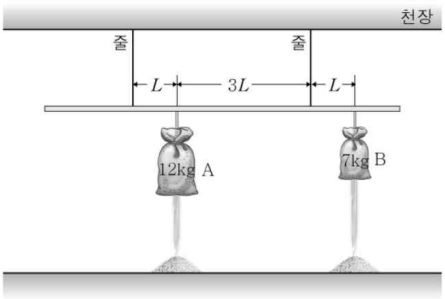
$64mg-12mg=65F$에서 $F=\frac{52}{65}mg=\frac{4}{5}mg$이다.

힘의 평형을 통해 $T+3mg+4mg=8mg$이므로 $T=mg$이다.

따라서 실 q에 작용하는 힘은 $3F=\frac{12}{5}T$이다.

예제3

그림과 같이 막대에 매달린 모래주머니 A, B에서 모래가 같은 시간 동안 같은 양 만큼씩 천천히 새어 나오면서 막대가 평형을 유지하고 있다. A, B의 처음 질량은 각각 $12kg$, $7kg$이다.



처음 상태부터 천장에 매달린 두 줄에 작용하는 힘의 크기가 같아지는 순간까지 A에서 새어 나온 모래의 질량은? (단, 막대와 줄의 질량은 무시한다.)

① $4kg$ ② $4.5kg$ ③ $5kg$ ④ $5.5kg$ ⑤ $6kg$

해설

장력이 서로 동일하므로 질량 중심은 줄의 중앙에 있다.

중앙으로부터 A, B가 떨어진 거리비는 $1:3$이다.

따라서 A와 B의 질량의 비는 $3:1$이다.

$12-m=3(7-m)$을 통해 $m=4.5kg$이다.

THEME

3 — 토크 변화량

정리1 토크 변화량

개념1 변화량 식 세우기

물체의 이동/추가로 인하여 토크가 변하였음에도 계가 평형 상태를 유지하고 있다면 계의 토크 변화량은 0이다.
따라서 아래와 같이 식을 생각할 수 있다. 토크 회전축을 잡을 때 왼쪽 받침대를 기준으로 하는 것이 좋다.

개념2 부호 설정

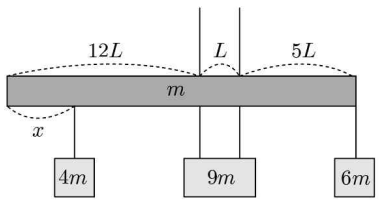
① 아래쪽 힘을 (+)으로 잡고, 위쪽 힘을 (−)로 잡는다.
② 물체가 멀어졌을 때(나중에 대하여) 토크가 증가하면 (+)으로 잡고, 토크가 감소하면 (−)으로 잡는다.
③ 곱셈의 결과가 (+)이면 시계 방향 토크가 생기고, (−)이면 반시계 방향 토크가 생긴다.

CASE1 물체의 움지임에서 힘의 변화가 없는 경우

나중 상황(오른쪽)과 처음 상황(왼쪽)에 대해서 계의 힘의 변화가 없다면 다음을 만족한다.

시계 토크 증가량 = 반시계 토크 증가량

예 그림에서 평형이 유지되는 x의 최댓값과 최솟값의 차를 구하시오.



해설

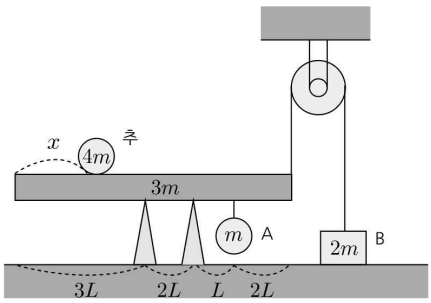
힘의 평형) 전체 힘은 $20mg$로 일정하다.
토크 평형) 물체의 토크 변화량 = $4mgx$ (시계 토크)
받침대의 토크 변화량 = $20mgL$ (반시계 토크)
따라서 $x=5L$이다.

CASE2 물체의 움지임에서 힘의 변화가 있는 경우

물리학II에서 질량 중심에 변화에 따른 장력 유/무에 대해서 출제가 많이 된다.

① 장력의 토크 변화량에 들어가는 거리는 장력이 작용하는 받침대와 장력 사이의 거리이다.
② 장력의 변화는 무조건 반시계 변화량을 만든다. (개념2를 사용해보면 쉽게 증명이 된다.)

예 그림에서 평형이 유지되는 x의 최댓값과 최솟값의 차를 구하시오.



해설

- 추의 토크 변화량 = $4mg\Delta x$ (시계 토크)
- 받침대의 토크 변화량 = $8mg \cdot 2L$ (반시계 토크)
- 장력의 토크 변화량 = $2mg \cdot 3L$ (반시계 토크)

따라서 $\Delta x=\frac{11}{2}L$이다.

THEME

4 — 2차원 구조

정리1 2차원 토크 평형

개념1 사각형 상황

① 토크

왼쪽, 위쪽 장력이 사라져야하므로 두 힘의 연장선이 겹치는 지점을 회전축으로 설정해야한다.

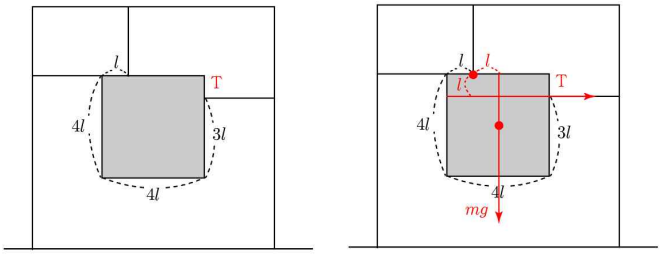
이후 토크 식($Tl=mgl$에서 $T=mg$이다.)을 세우면 $T=mg$가 나온다.

② 힘의 평형

힘의 평형은 x축과 y축 둘 다 생각을 해봐야한다.

x축에 대해서는 왼쪽 힘과 오른쪽 힘이 동일한 것을 알 수 있다.

y축에 대해서는 위쪽 힘과 중력이 동일한 것을 알 수 있다.



개념2 경첩 상황

① 토크

보편적으로 경첩을 회전축으로 잡는다.

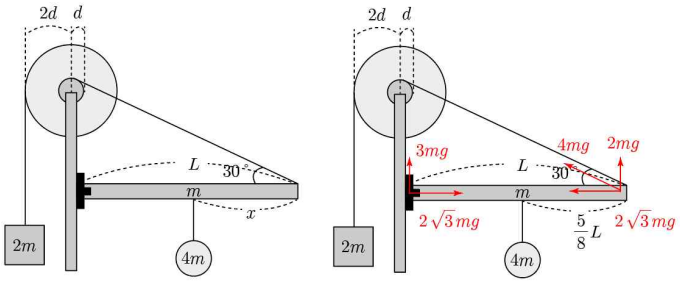
토크 식을 세워보면 $x=\frac{5}{8}L$로 거리를 구할 수 있다.

② 힘의 평형

힘의 평형은 x축과 y축 둘 다 생각을 해봐야한다.

경첩은 x축 평형에 의해 $F_x=2\sqrt{3}mg$이 작용한다.

y축 평형에 의해 $F_y=3mg$이 작용한다.



개념3 넘어가기 직전의 원 상황

① 토크

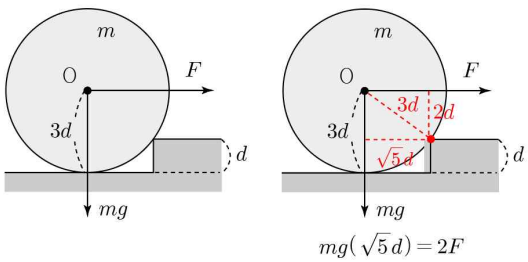
보편적으로 원과 모서리가 접하는 지점을 회전축으로 잡는다.

토크 식을 세워보면 $F=\frac{\sqrt{5}}{2}mg$이다.

② 힘의 평형

원이 아직 움직이고 있지 않으므로 힘의 평형을 만족하고 있다.

모서리가 원에게 작용하는 힘은 $F_x=F=mg$이고, $F_y=mg$이다.

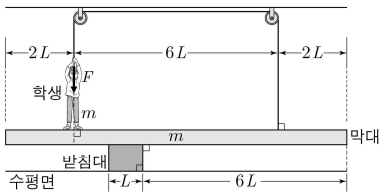


$mg(\sqrt{5}d)=2F$

유형 01 단층 구조

01 2023학년도 9월 14번 정답률 58%

14. 그림과 같이 받침대에 놓인 막대 위에서 학생이 막대에 연결된 실을 F의 힘으로 잡아당기고 있을 때 막대가 수평을 유지하고 있다. 막대와 받침대의 길이는 각각 $10L$, L이고, 막대와 학생의 질량은 각각 m이다.



막대가 수평을 유지하기 위한 F의 최댓값은? (단, 중력 가속도는 g이며, 막대의 밀도는 균일하고, 막대의 두께와 폭, 학생의 크기, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

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

정 답 ⑤

해 설

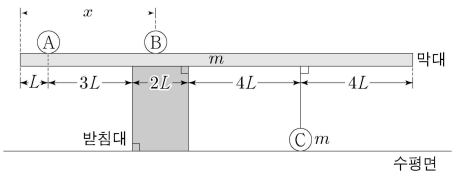
학생이 F를 최대로 당기면 무게 중심이 왼쪽으로 이동하여 받침대의 왼쪽이 회전축이 된다.

왼쪽 받침대) 토크 평형)

$(mg-F)L=mg(2L)-F(5L)$에서 $F=\frac{1}{4}mg$이다.

02 2023학년도 수능 15번 정답률 50%

15. 그림과 같이 받침대에 놓인 막대가 수평으로 평형을 유지하고 있을 때, 막대 위에 물체 A, B가 놓여 있고, 물체 C는 막대와 실로 연결되어 수평면 위에 놓여 있다. B는 막대의 왼쪽 끝에서 x만큼 떨어진 위치에 놓여 있으며, 막대가 수평으로 평형을 유지할 수 있는 x의 최솟값, 최댓값은 각각 $3L$, $9L$이다. 막대와 받침대의 길이는 각각 $14L$, $2L$이고, 막대와 C의 질량은 m으로 같으며, A, B의 질량은 각각 m_{A}, m_{B}이다.



$\frac{m_{\mathrm{A}}}{m_{\mathrm{B}}}$는? (단, 막대의 밀도는 균일하며, 막대의 두께와 폭, 실의 질량, 물체의 크기는 무시한다.) [3점]

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

정 답 ①

해 설

STEP1 x가 최대 (회전축 : 오른쪽 받침대)

$5\mathrm{A}-3\mathrm{B}=1$

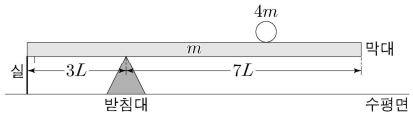
STEP2 x가 최소 (회전축 : 왼쪽 받침대)

$3\mathrm{A}+\mathrm{B}=3+6=9$

위의 두 식을 연립하면 $m_A=2m$, $m_B=3m$이다.

03 2024학년도 9월 14번 정답률 53%

14. 그림과 같이 받침대에 놓인 막대가 실에 연결되어 수평으로 평형을 유지하고 있고, 막대 위에 물체가 놓여 있다. 막대의 길이는 $10L$이고, 막대와 물체의 질량은 각각 m, $4m$이다. 막대의 평형을 유지하면서 물체의 위치를 막대 위에서 바꿀 때, 받침대가 막대를 떠받치는 힘의 크기의 최댓값과 최솟값은 각각 $F_{최대}$, $F_{최소}$이다.



$\frac{F_{최대}}{F_{최소}}$는? (단, 막대의 밀도는 균일하며, 막대의 두께와 폭, 실의 질량, 물체의 크기는 무시한다.) [3점]

① $\frac{11}{5}$ ② $\frac{13}{5}$ ③ 3 ④ $\frac{17}{5}$ ⑤ $\frac{19}{5}$

정 답 ③

해 설

STEP1 받침대가 막대를 떠받치는 힘이 최소

실이 막대에 작용하는 힘이 0일 때이다.

따라서 $F_{최소}=5mg$이다.

STEP2 받침대가 막대를 떠받치는 힘이 최대

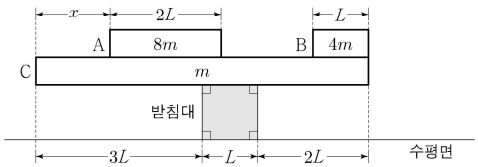
실에 작용하는 힘의 크기가 커져야하므로 물체가 막대의 오른쪽 끝에 있을 때 받침대가 막대를 떠받치는 힘이 최대이다.

토크평형) 실) $3F=5mg+40mg \rightarrow F=15mg$이다.

따라서 $\frac{F_{최대}}{F_{최소}}=3$이다.

4 2025학년도 6월 19번 정답률 65%

19. 그림은 수평면에 고정된 받침대 위에 놓인 막대 A, B, C가 수평으로 평형을 유지하고 있는 모습을 나타낸 것이다. A, B, C의 질량은 각각 $8m$, $4m$, m이고, C의 왼쪽 끝에서 A의 왼쪽 끝까지의 거리는 x이다.



A, B, C가 수평으로 평형을 유지하면서 A의 위치만을 바꿀 때, x의 최댓값과 최솟값의 차는? (단, 막대의 밀도는 각각 균일하고, 막대의 두께와 폭은 무시한다.) [3점]

① $\frac{7}{8}L$ ② $\frac{9}{8}L$ ③ $\frac{11}{8}L$ ④ $\frac{13}{8}L$ ⑤ $\frac{15}{8}L$

정 답 ④

해 설

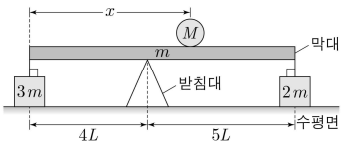
A의 변화량 = $8mg\Delta x$ (시계방향 토크 변화량)

수직항력 변화량 = $13mgL$ (반시계방향 토크 변화량)

두 식을 연립하면 $\Delta x=\frac{13}{7}L$이다.

05 2026학년도 6월 15번 정답률 67%

15. 그림과 같이 받침대에 놓인 길이가 $9L$이고 질량이 m인 막대가 수평을 이루며 정지해 있다. 막대의 왼쪽 끝에서 x만큼 떨어진 위치에 질량이 M인 물체가 놓여 있고, 막대 양 끝에 질량이 각각 $3m$, $2m$인 물체가 실로 연결되어 수평면 위에 놓여 있다. 막대가 수평으로 평형을 유지할 수 있는 x의 최솟값은 L이다.



M은? (단, 막대의 밀도는 균일하며, 막대의 두께와 폭, 실의 질량, 물체의 크기는 무시한다.) [3점]

① $\frac{5}{2}m$ ② $\frac{7}{2}m$ ③ $\frac{9}{2}m$ ④ $\frac{11}{2}m$ ⑤ $\frac{13}{2}m$

정 답 ②

해 설

x가 최소가 되면 질량 중심은 왼쪽으로 이동하고 더 왼쪽으로 M이 이동하면 회전축에 대하여 반시계 방향으로 회전하게 되는 것을 알 수 있다. 그러면 $2m$과 연결된 실이 팽팽하게 된다.

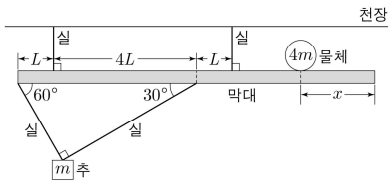
받침대에 대하여 오른쪽의 토크는 $\frac{1}{2}+10=\frac{21}{2}$이다.

왼쪽의 토크는 $(4-x)M=3M$

따라서 $M=\frac{7}{2}m$이다.

06 2026학년도 9월 12번 정답률 72%

12. 그림과 같이 길이가 $10L$인 막대가 천장에 연결된 실에 매달려 수평을 이루며 정지해 있다. 막대의 오른쪽 끝에서 x만큼 떨어진 위치에 질량이 $4m$인 물체가 놓여 있고, 막대에 연결된 실에 질량이 m인 추가 매달려 정지해 있다. 막대가 수평으로 평형을 유지할 수 있는 x의 최솟값은 L이다.

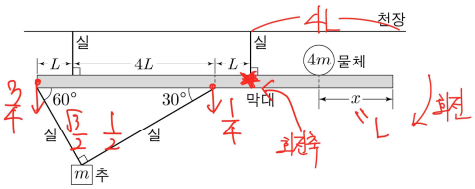


막대의 질량은? (단, 막대의 밀도는 균일하고, 막대의 두께와 폭, 추와 물체의 크기, 실의 질량은 무시한다.)

① $\frac{25}{4}m$ ② $\frac{27}{4}m$ ③ $\frac{29}{4}m$ ④ $\frac{31}{4}m$ ⑤ $\frac{33}{4}m$

정 답 ③

해 설



x가 더 최소가 된다면 시계 방향으로 회전을 하게 된다. 따라서 회전축은 중간에 있는 실이 된다.

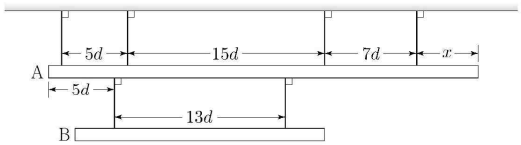
회전축에 대해서 토크식을 세우면

$\frac{3}{4}\times 6+\frac{1}{4}\times 1+M\times 1=4\times 3 \Rightarrow M=\frac{29}{4}m$이다.

유형 02 복층 구조

01 2022학년도 6월 18번 정답률 53%

18. 그림과 같이 막대 A와 B가 실에 매달려 수평을 이루며 정지해 있다. 실이 막대를 당기는 힘의 크기는 모두 같고, A의 길이는 $33d$이다.

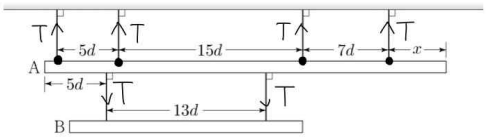


x는? (단, 막대의 밀도는 각각 균일하고, 막대의 두께와 폭, 실의 질량은 무시한다.)

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

정 답 ④

해 설



x를 구하려면 막대 A에 대해서 토크식을 세워야한다.
이때 A의 무게는 힘의 평형을 통해 $A=2T$ 이다.

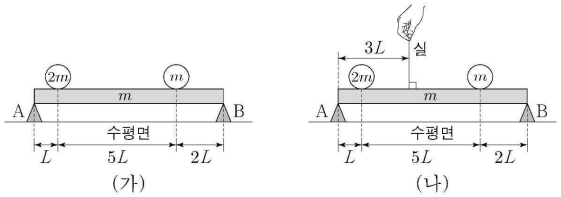
A의 오른쪽을 회전축으로 잡고 토크 식을 세워보자.

위쪽 토크) $x+(x+7)+(x+22)+(x+27)=4x+56$
아래쪽 토크) $(16.5\times2)+28+15=76$
ㄴA ㄴ왼 ㄴ오른쪽 아래 장력

두 식을 연립하면 $x=5d$이다.

02 2022학년도 9월 18번 정답률 69%

18. 그림 (가), (나)와 같이 받침대 A, B 위에 놓인 길이가 $8L$이고 질량이 m인 막대가 수평을 유지하고 있다. 막대의 왼쪽 끝으로부터 L, $6L$만큼 떨어진 지점에는 질량이 각각 $2m$, m인 물체가 놓여 있다. (가), (나)에서 A가 막대를 받치는 힘의 크기는 각각 F_1, F_2이고, (나)에서 막대의 왼쪽 끝으로부터 $3L$만큼 떨어진 지점에 연결된 실이 막대를 당기는 힘의 크기는 $\frac{6}{5}F_2$이다.

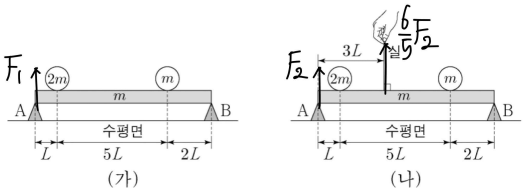


$\frac{F_1}{F_2}$은? (단, 막대의 밀도는 균일하며, 막대의 두께와 폭은 무시한다.) [3점]

① $\frac{11}{8}$ ② $\frac{3}{2}$ ③ $\frac{13}{8}$ ④ $\frac{7}{4}$ ⑤ $\frac{15}{8}$

정 답 ④

해 설 변화량을 사용해 문제를 해결하자.



A의 힘을 구해야하므로 회전축을 B로 하고서 변화량을 쓰자.
변화량을 쓰는 이유는 m의 물리량을 가진 물체들의 위치나 질량의 변화가 없기에 한번에 F_1과 F_2의 관계를 찾을 수 있기 때문이다.

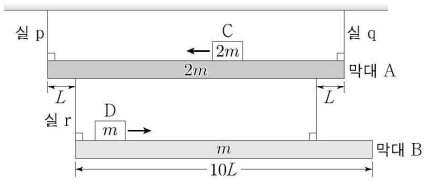
시계방향 토크) $\frac{6}{5}F_2 \cdot 5l = 6F_2 l$

반시계방향 토크) $(F_1 - F_2)8l$

두 식을 연립하면 $\therefore \frac{F_1}{F_2} = \frac{14}{8} = \frac{7}{4}$이다.

03 2022학년도 수능 18번 정답률 43%

18. 그림과 같이 실에 매달려 수평을 이루며 정지해 있는 막대 A, B 위에 물체 C, D가 서로 반대 방향으로 각각 등속도 운동을 하고 있다. C, D가 운동하는 동안 A, B는 수평을 이루며 정지해 있고, 실 p, q가 A를 당기는 힘의 크기는 서로 같다. A와 B의 길이는 $10L$로 같고, A와 C의 질량은 $2m$이며, B와 D의 질량은 m이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 막대의 밀도는 균일하며, 막대의 두께와 폭, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. 속력은 D가 C의 2배이다.

ㄴ. C와 D가 동일 연직선상에 있을 때, C는 A의 오른쪽 끝으로부터 $\frac{16}{3}L$만큼 떨어져 있다.

ㄷ. C가 A의 오른쪽 끝으로부터 $7L$만큼 떨어져 있을 때, 실 r가 B를 당기는 힘의 크기는 $\frac{3}{4}mg$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. C, D가 움직이는 동안 실 p, q가 당기는 힘의 크기가 동일하므로 계의 질량 중심은 정중앙에서 변화하지 않는다. 따라서 D의 속력이 C의 속력의 2배이다. (O)

ㄴ. 계의 질량 중심인 정중앙에 대해서 토크식을 세워보자. (단, A는 자신의 중심이므로 계산상 고려하지 않는다.)

$3mx = mL$ → CD는 정중앙에서 $x = \frac{1}{3}L$만큼 왼쪽에 있다.

ㄴCD ㄴB

따라서 C는 A의 오른쪽 끝으로 $\frac{16}{3}L$만큼 떨어져 있다. (O)

ㄷ. 막대 B와 물체 D에 대해서 힘분배를 사용하자.

(ㄴ)이후 C는 $\frac{5}{3}$만큼 이동했으므로 D는 $\frac{10}{3}$만큼 이동했다.

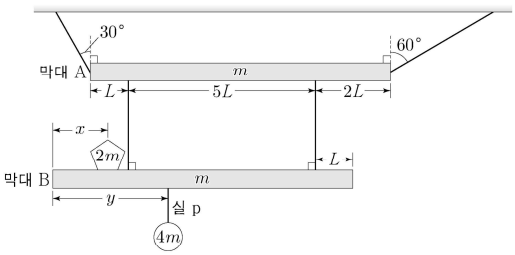
D는 A의 오른쪽 끝으로부터 2만큼 떨어져있다.

$T_r = \frac{3}{8}mg + \frac{1}{8}mg = \frac{1}{2}mg$ (X)

막대 물체

04 2023학년도 6월 19번 정답률 33%

19. 그림과 같이 길이가 $8L$이고 질량이 m인 막대 A, B가 실에 매달려 수평을 이루며 정지해 있다. B의 왼쪽 끝으로부터 x만큼 떨어진 지점에는 질량이 $2m$인 물체가 고정되어 있고, y만큼 떨어진 지점에는 질량이 $4m$인 물체가 실 p에 매달려 있다. p가 끊어졌을 때에도 A, B는 수평을 이루며 정지해 있다.



$x+y$는? (단, 막대의 밀도는 균일하고, 막대의 두께와 폭, 물체의 크기, 실의 질량은 무시한다.) [3점]

① $\frac{17}{4}L$ ② $\frac{9}{2}L$ ③ $\frac{19}{4}L$ ④ $5L$ ⑤ $\frac{21}{4}L$

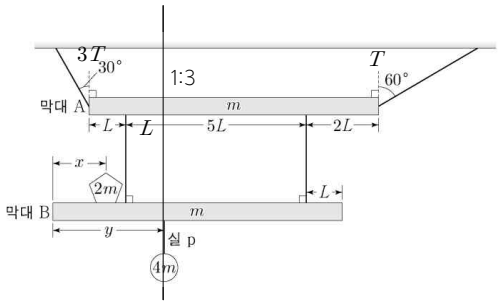
정 답 ②

해 설

STEP1 장력으로 추론한 질량 중심

A의 막대에 작용하는 x축 힘의 평형을 만족하고, tan를 이용하면 y축의 장력 비는 $\sqrt{3}:\frac{1}{\sqrt{3}}=3:1$이다. 질량 중심 비는 $1:3$이다.

A의 왼쪽에서 계의 질량 중심은 $2L$만큼 떨어져 있다.
(B의 왼쪽은 $3L$만큼 떨어져 있다.)



STEP2 무게를 통한 질량 중심

막대 B의 왼쪽 끝을 기준점으로 잡자.

끊어진 후) $2mg+mg=2mgs$이므로 $x=\frac{3}{2}L$이다.

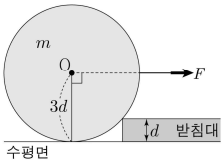
끊어지기 전) x의 값이 유지가 되려면 $4m$은 $y=3L$에 있다.

$\therefore x+y=\frac{9}{2}L$

유형 03 2차원 구조

01 2024학년도 6월 16번 정답률 34%

16. 그림은 질량이 m인 원판에 연결된 실을 수평 방향으로 크기 F인 힘으로 잡아당겨 원판이 수평면에 놓여 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. 점 O는 원판의 무게 중심이고, 원판의 반지름은 $3d$, 고정된 받침대의 높이는 d이다. F를 연속적으로 증가시켜 $F=F_0$일 때, 수평면이 원판에 작용하는 힘이 0이 되었다.

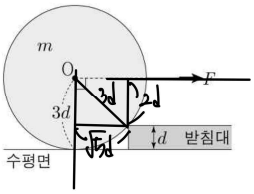


F_0은? (단, 중력 가속도는 g이고, 원판의 두께, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

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

정 답 ①

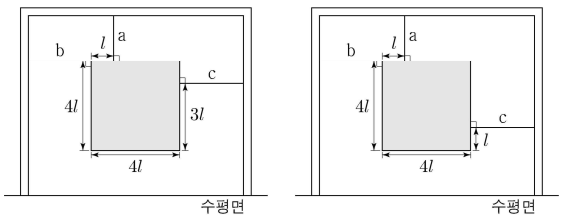
해 설



받침대를 회전축으로 힘과 중력의 거리비가 $2:\sqrt{5}$이므로 힘의 비는 $\sqrt{5}:2$이다. 따라서 $F=\frac{\sqrt{5}}{2}mg$ 이다.

02 2024학년도 수능 19번 정답률 37%

19. 그림 (가), (나)와 같이 한 변의 길이가 $4l$이고 정사각형인 동일한 물체가 실 a, b, c에 각각 매달려 수평을 이루며 정지해 있다. a는 연직선상에 있으며, b, c는 수평면과 나란하다.



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

<보 기>

ㄱ. a가 물체에 작용하는 힘의 크기는 (가)에서와 (나)에서가 같다.
ㄴ. (나)에서, a가 물체에 작용하는 힘의 크기는 b가 물체에 작용하는 힘의 크기의 3배이다.
ㄷ. c가 물체에 작용하는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 3배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

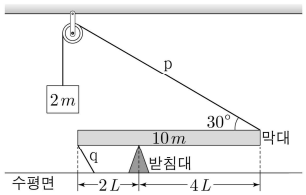
ㄱ. y축 힘의 평형에 의해서 (가)=(나)=mg이다. (O)

ㄴ. b가 물체에 작용하는 힘은 a와 c가 쓸모가 없다.
따라서 a와 c의 힘을 연장하여 만나는 점을 회전축으로 삼자.
그러면 회전축으로부터 b와 중력의 거리비가 3 : 1이므로
힘의 비는 1 : 3이다. 따라서 b가 물체에 작용하는 힘은
$\frac{1}{3}mg$이다.(O)

ㄷ. c가 물체에 작용하는 힘은 a와 b가 쓸모가없다.
따라서 a와 b의 힘을 연장하여 만나는 점을 회전축으로 삼자.
그러면 회전축으로부터 c와 중력의 거리비가 (가)에서는 1 : 1이고,
(나)에서는 3 : 1이다. (O)

3 2025학년도 9월 15번 정답률 76%

15. 그림과 같이 받침대에 놓인 길이가 $6L$이고 질량이 $10m$인 막대가 실 p, q에 연결되어 수평을 이루며 정지하고 있다. 막대의 오른쪽 끝에 연결된 p에 질량이 $2m$인 물체가 매달려 있고, 막대의 왼쪽 끝과 수평면은 q로 연결되어 있다. p와 막대가 이루는 각은 $30°$이다.



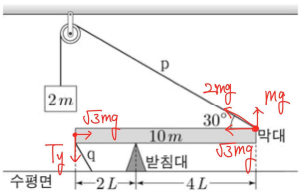
q가 막대에 작용하는 힘의 크기는? (단, 중력 가속도는 g이고, 막대의 밀도는 균일하며, 막대의 두께와 폭, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

① $2\sqrt{3}mg$ ② $\sqrt{15}mg$ ③ $3\sqrt{2}mg$ ④ $\sqrt{21}mg$ ⑤ $2\sqrt{6}mg$

정 답 ①

해 설

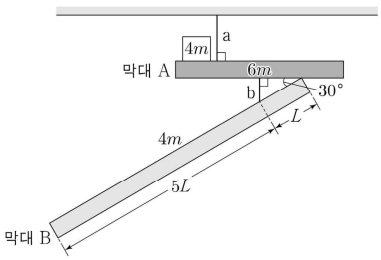
그림에 대해서 힘을 분석하면 아래와 같다.



받침대에 대해서 토크 방정식을 세우면 $2T_y = 10mg - 4mg$에서 $T_y = 3mg$이다. $T_q = \sqrt{3+9}\,mg = 2\sqrt{3}mg$이다.

4 2025학년도 수능 16번 정답률 55%

16. 그림과 같이 막대 A, B가 실 a, b에 연결되어 천장에 매달려 있고, 질량 $4m$인 물체가 A 위에 놓여 정지해 있다. A는 수평을 이루며, 길이가 $6L$인 B는 b에 매달려 A와 $30°$의 각을 이루고 정지해 있다. A, B의 질량은 각각 $6m$, $4m$이다. a가 A를 당기는 힘의 크기와 b가 B를 당기는 힘의 크기는 각각 T_a, T_b이다.



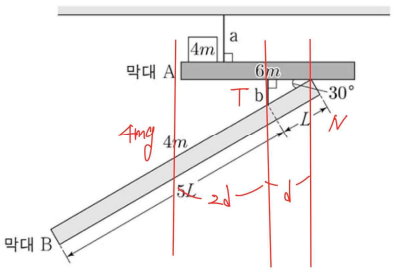
$\frac{T_b}{T_a}$는? (단, 막대의 밀도는 각각 균일하며, 막대의 두께와 폭, 실의 질량은 무시한다.)

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

정 답 ②

해 설

그림에 작용하는 힘을 체크하면 다음과 같다.



b의 선을 회전축으로 잡으면 $N = 8mg$이다.
N의 선을 회전축으로 잡으면 $T_b = 12mg$이다.

막대 A에 대해서 힘의 평형을 사용하면
$T_a + N = 10mg + T_b$에서 $T_a = 14mg$이다.

따라서 $\frac{T_b}{T_a} = \frac{6}{7}$이다.

PART 3
1차원 운동

개념 유형

01. 기본 개념
02. 등가속도 운동
03. 다중 섬광 사진
04. 다중 사건 풀이
05. 정지의 성질
06. 일정 시간 후의 모습
07. 변위 가속 분해

기출 유형

01. 1차원 운동

THEME

1 — 기본 개념

정리1 이동 거리와 변위

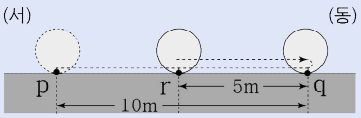
개념1 이동 거리

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

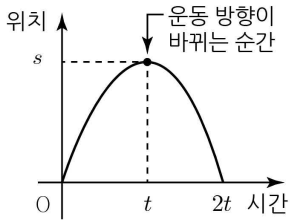
① 움직이는 물체에 대해서는 크기에 상관없이 하나의 입자로 기술하는 입자 모형을 사용한다.
문제에서 제시된 물체가 자동차, 공, 나무상자로 외형이 다르더라도 조건에 의해 질량을 무시한다면 질점으로 생각할 수 있다.

② 질점은 질량 중심에 힘이 가해지기 때문에 병진 운동(직선 상에서 움직이는 운동)만 한다.

정리2 그래프의 운동 해석

개념1 위치-시간 그래프

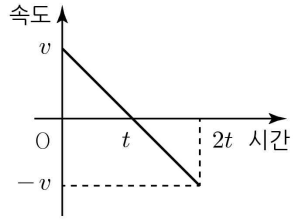
위치-시간 그래프는 말 그대로 사간에 따른 물체의 위치를 나타낸 것이다.
일반적으로 물체의 위치가 양(+)이라는 것은 물체가 기준점에 대해서 오른쪽에 있음을 의미한다.
만약 물체가 운동하던 도중 속도가 0이 된다면 접선의 기울기가 0이 된다.



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

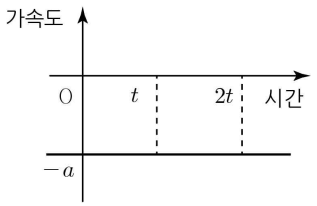
개념2 속도-시간 그래프

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)

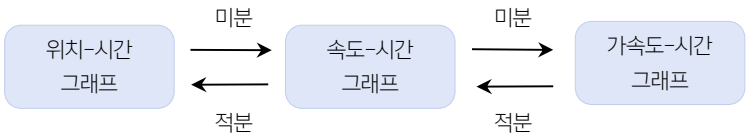
STEP1 등가속도 운동이므로 각 지점에서의 속도를 구한다.

STEP2 각 구간을 평균 속도로 연결한다.

② 가속도가 일정하게 커지는 그래프($y=ax$꼴)

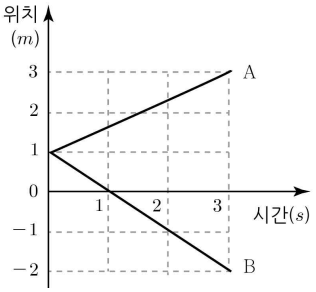
STEP1 가속도가 변하는 변가속도 그래프이므로 교육 과정으로 해결할 수 없다.
(물론 대학교에 가면 미적분학을 배워서 적분으로 문제를 해결한다.)

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.

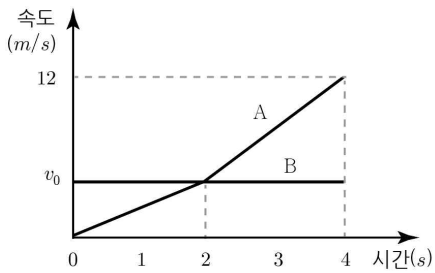
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

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

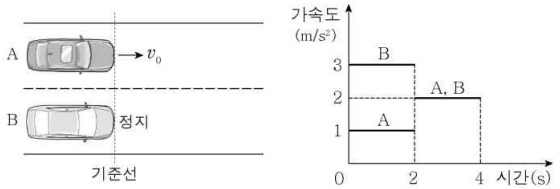
해설

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

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.

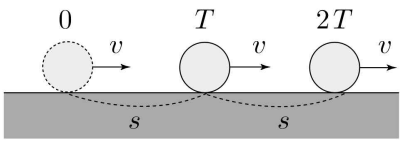
개념2 평균 속도와 순간 속도

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.

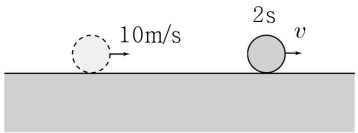
개념3 등속도 운동

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.



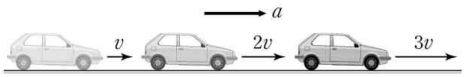
해설

$s=vt$에 의하여 $20m$를 움직인다.

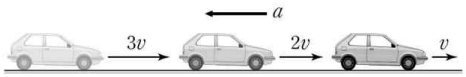
정리2 가속도

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.

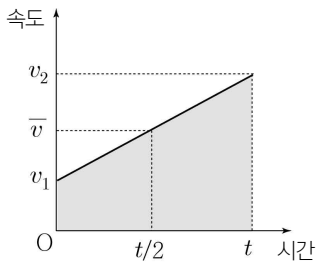


가속도의 방향이 운동 방향과 반대일 때, 속력이 감소한다.

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 $\vec{x}=\vec{\overline{v}}t=\frac{\vec{v}_1+\vec{v}_2}{2}t$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!!!)

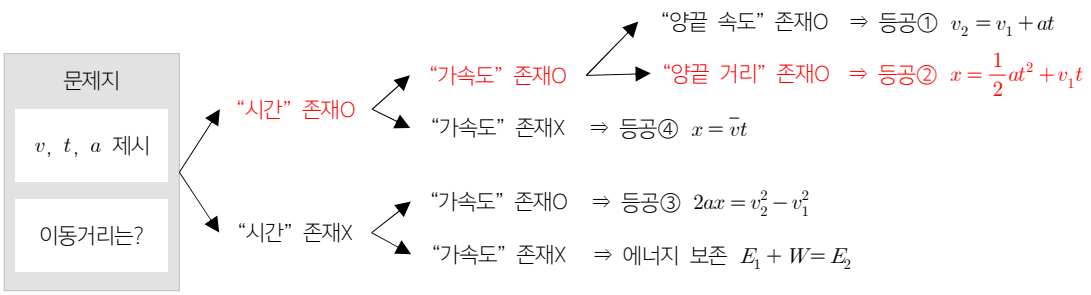
정리3 등가속도 공식의 풀이 알고리즘

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

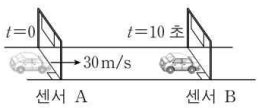
우리가 살고 있는 우주는 시간(4차원)과 공간(3차원)의 결합으로 이루어져 있다.
따라서 등가속도 공식 판별에서 제일 큰 범주는 조건과 구해야 하는 값에서 "시간"이 존재하는 지 확인해야 한다.
다음으로 공간은 가속도의 영향을 받으므로 "가속도"가 존재하는 지 확인해야 한다.
마지막으로 운동을 통해 "변위"가 존재하는 지 확인해야 한다.



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

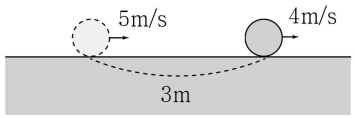
빨간색 박스는 문제에서 준 조건이다.
평균 속력 조건으로 나중 속력을 알 수 있으므로
문제 자체에서 3개의 조건을 준 것을 알 수 있다.

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.

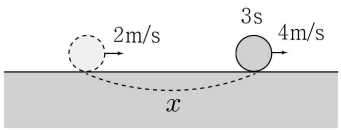
해설

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.

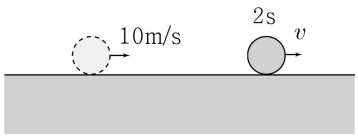
해설

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.



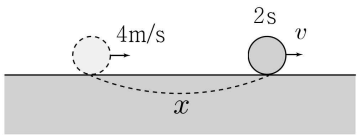
이때 나중 속력을 구하시오.

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.

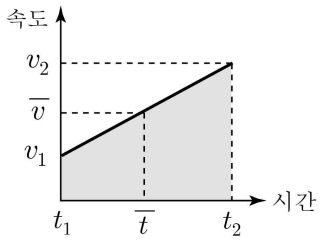
THEME

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.

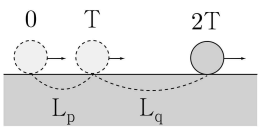


TIP 의미 해석

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.

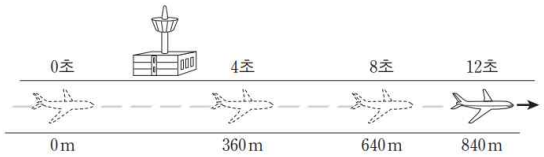
TIP 의미 해석

$L_2 - L_1 = c$, $L_3 - L_2 = c$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)

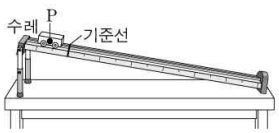
ㄷ. 정지하는 상황에 대해서 시간적 정보가 없으므로 등가속도 공식③을 통하여 $2 \cdot 5 \cdot x=100^2$에서 이동한 거리는 $1km$이다. (X)

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

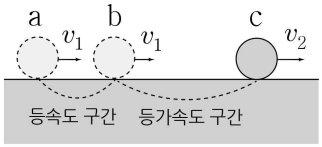
4 — 다중 사건 풀이법

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.

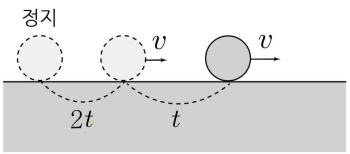
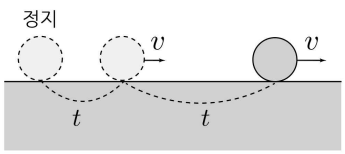
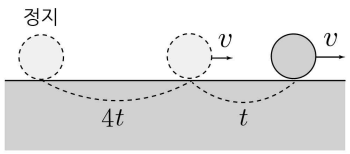


개념2 자주 나오는 비례식 정리

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

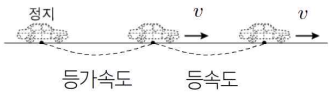
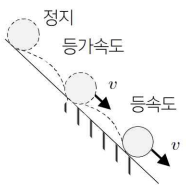
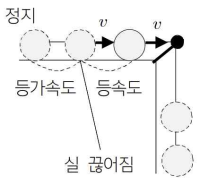
정지 상태에 대해서 등가속도 운동을 한 다음에 등속도 운동을 한다면 평균 속력의 비는 항상 $\frac{v}{2} : v = 1 : 2$를 만족한다.

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.

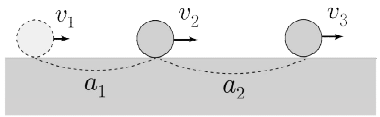
정리2 등가속도 + 등가속도 운동

개념1 두 구간의 해석 알고리즘

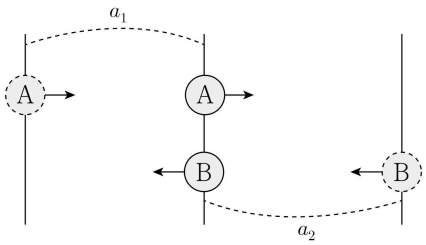
등가속도 + 등가속도 운동은 크게 2가지 상황이 있다.

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]

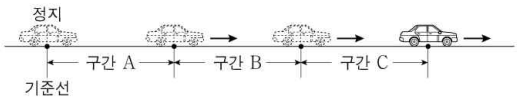


[CASE 2. 두 물체의 한 구간]

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.

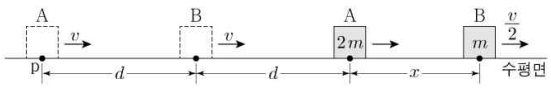
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 유형의 공식에 의하여 걸린 시간은 $2:1$이다. (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 $1:8$이다. (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 $1:2$이다.

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

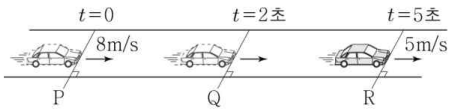
(양 끝 덧셈을 비교하자.) 걸린 시간은 동일하다.
이동 거리의 비가 $7:6$이고, A의 이동 거리가 $2d$이므로

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 $3m/s$

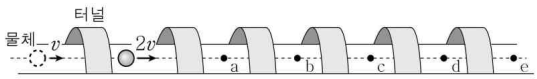
해설

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.

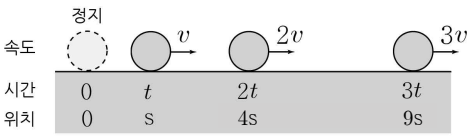
THEME

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.

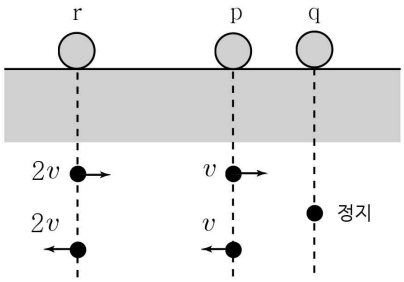


STEP1 "정지"를 보면 "정지"부터 해석하자.
(초기 속도가 0임을 이용한다.)

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

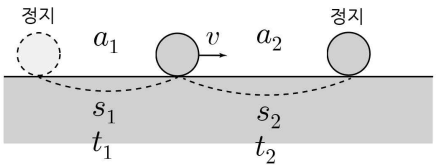
개념2 운동 방향이 바뀌는 유형

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.

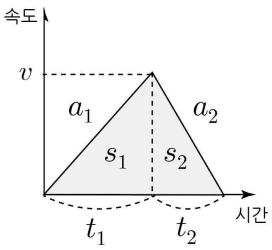


개념3 정지-정지의 성질

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.



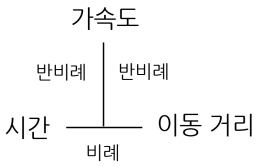
(가)



(나)

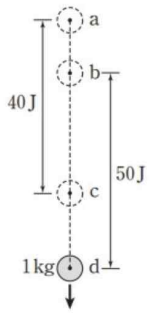
결과를 해석해보면 다음과 같다.

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

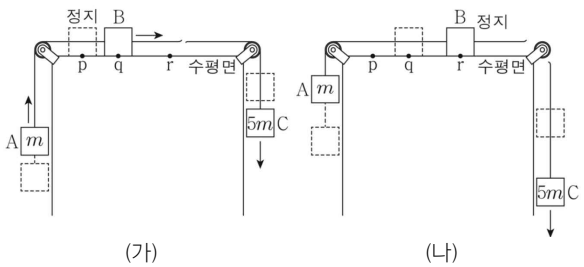
중력에 의한 퍼텐셜 에너지 차이 $40J$과 $50J$는 높이 차를 의미한다. (즉, $4m$, $5m$를 의미한다.)

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) $mg = (m+M)2a$

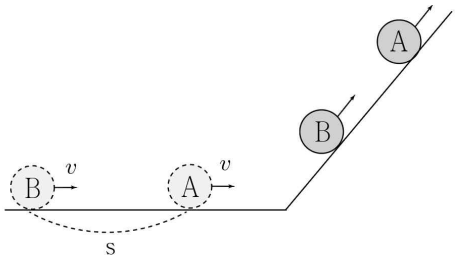
위의 두 식을 나누면 $\frac{8}{3} = \frac{6m+M}{m+M}$이고, $M = 2m$이다.

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

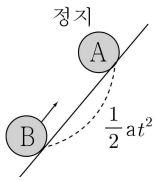
B는 v의 속력으로 t초 동안 s만큼 이동해야 한다.

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)

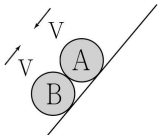
개념2 빗면에서 A가 정지한 상황



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.

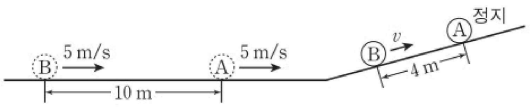
이때 속도 변화량은 $v_B-\Delta v=\Delta v-v_A$에서 $\Delta v=\frac{v_A+v_B}{2}$를 만족한다.

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.

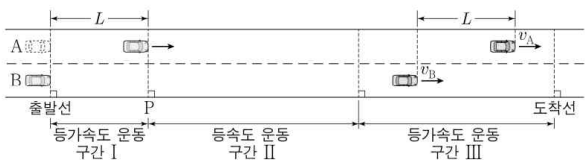
Q2) 역진의 원리로 A의 2초 후 속력은 $4m/s$이다.

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

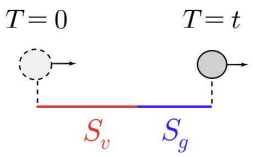
정리1 변위 가속 분해

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

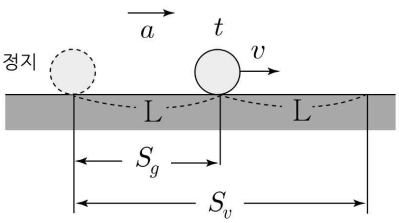
두 물체 A와 B의 속도의 비를 묻는 문제 ($\frac{v_A}{v_B}$를 찾으시오.)가 있다고 하자.

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

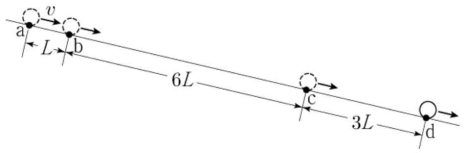
물체가 v의 속도로 t초 동안 진행하며 L만큼 이동하고 정지한다면

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

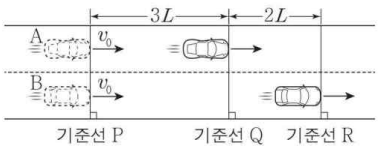
속도 변화량은 $\Delta v=\frac{2}{3}v$이다. 따라서 $v_b=\frac{5}{3}v$이다.

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

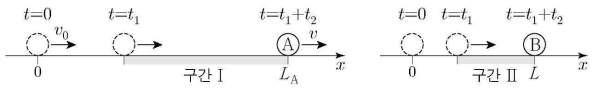
답에서 시간이 없으므로 A에 대해 구간 PQ에서
등가속도 공식 ③번을 적용하면

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

유형 01 1차원 운동

01 2022학년도 9월 20번 정답률 35%

20. 그림 (가), (나)는 물체 A, B가 x축상에서 직선 운동을 하는 것을 나타낸 것이다. A는 v_0의 속력으로 원점을 지나 t_1초 동안 등속 운동을 하다가 t_2초 동안 속력이 일정하게 증가하여 $x=L_A$인 지점에서 v의 속력이 된다. t_1, t_2초 동안 A가 이동한 거리의 비는 1 : 3이다. 원점에 정지해 있던 B는 t_1, t_2초 동안 각각 등가속도 운동을 하여 $x=L$인 지점에서 정지한다. t_1초 동안 A와 B가 이동한 거리의 비는 2 : 1이며, 구간 Ⅰ, Ⅱ에서 물체의 가속도 크기는 B가 A의 2배이다.



(가) (나)

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

<보 기>

ㄱ. $t_1=\frac{5}{12}t_2$이다.

ㄴ. v는 B의 최대 속력의 $\frac{3}{2}$배이다.

ㄷ. $L_A=\frac{40}{17}L$이다.

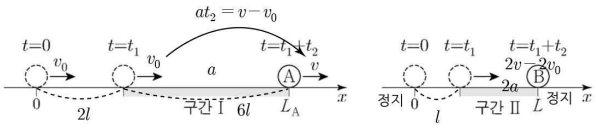
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

(가) 다중사건 ④→①

(나) 정지-정지



ㄱ. **STEP1** (가), (나)의 t_1 분석

평균 속력의 비가 $2:1=v_0:v-v_0$이다. 따라서 $v_0=2v-2v_0$에서 $v=\frac{3}{2}v_0$이다.

STEP2 (가)의 t_1, t_2 분석

평균 속력의 비가 4 : 5이다. 이동 거리의 비가 1 : 3이므로 걸린 시간의 비는 5 : 12이다. ($t=s\times v^{-1}$) (O)

ㄴ. B의 최대 속력은 $2v-2v_0=v_0$이다. (O)

ㄷ. (가)에서 $L_A=8l$이고, (나)에서 정지-정지에서 걸린 시간의 비가 5 : 12이므로 이동 거리의 비는 5 : 12가 된다.

따라서 $L=\frac{17}{5}l$이므로 $\frac{L_A}{L}=\frac{40}{17}$이다. (O)

PART 4
포물선 운동

개념 유형

01. 1차원 포물선
02. 2차원 포물선

기출 유형

01. 수평면 발사
02. 빗면 발사
03. 원형 트랙

THEME

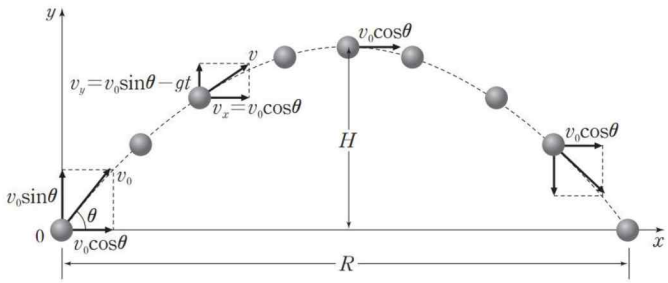
1 — 1차원 포물선

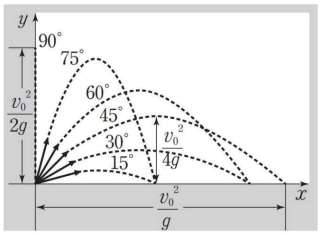
정리1 y축 변위가 0인 포물선 운동

개념1 포물선 운동의 특징

① 공기 저항이 없는 포물선 운동에서는 궤적이 최고점(중앙)을 기준으로 좌우 대칭이다.

② 발사각 45°에 대하여 최대 수평 도달 거리가 대칭성에 있다.
예를 들어 발사각 30°일 때와 60°일 때의 최대 수평 도달 거리가 동일하다.





개념2 y축 운동의 분석

y축에 대해서 단일 사건으로 접근하면 된다. 단일 사건의 결과를 공식화하여 암기하자.
추가적으로 높이 정보는 운동한 시간을 의미한다.

최고점 도달까지 걸린 시간	$T=\frac{v_0\sin\theta}{g}=\sqrt{\frac{2H}{g}}=\frac{2H}{v_0\sin\theta}$ (등공①) (등공②) (등공③)
최고점의 높이	$H=\frac{v_0^2\sin^2\theta}{2g}$ (등공③)

개념3 x축 운동의 분석

수평 도달 거리는 $\theta=45^\circ$일 때 R이 최대이고, $R=4H$이다.

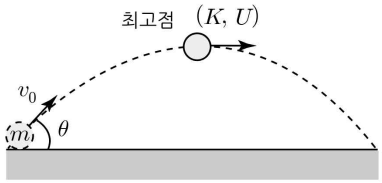
수평 도달 거리	$R=\frac{v_0^2\sin2\theta}{g}=\frac{2v_xv_y}{g}=\frac{4}{\tan\theta}H=\frac{2g}{\tan\theta}t^2$ (중요) (중요)

개념4 최고점의 에너지 조건

최고점에서 물체의 운동 에너지는 $K=\frac{1}{2}m(v_0\cos\theta)^2$이다.

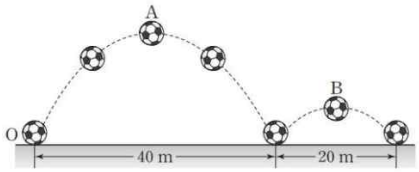
최고점에서 물체의 위치 에너지는 $U=mg(\frac{v_0^2\sin^2\theta}{2g})=\frac{1}{2}mv_0^2\sin^2\theta$이다.

두 식을 나누면 초기 발사각은 $\tan\theta=\sqrt{\frac{U}{K}}$이다.



예제1

그림은 운동장의 지점 O에서 찬 공의 위치를 1초 간격로 나타낸 것이다. A, B는 각각 최고점과 바닥에서 튀어 오른 후 최고점이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 공이 바닥에 충돌하는 시간과 공기 저항 및 공의 크기는 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.

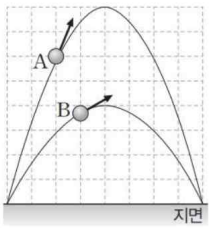
① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. A는 최고점까지 2초가 걸렸고, B는 최고점까지 1초가 걸렸다. 따라서 정지의 입장에서 A의 높이는 B의 높이의 4배이다. (X)
ㄴ. 4초동안 $40m$를 이동하므로 A에서 속력은 $10m/s$이다. (O)
ㄷ. x축 속력은 $10m/s$로 동일하다. (X)

예제2

그림은 지면에서 비스듬히 던진 물체 A, B의 운동 경로를 모눈종이 위에 나타낸 것이다.



최고점에서 A, B의 속력을 각각 v_A, v_B라고 할 때, $\frac{v_A}{v_B}$는?
(단, 공기 저항은 무시한다.)

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

해설

y축 정보는 걸린 시간을 의미한다.
높이비가 $2:1$이므로 걸린 시간은 $\sqrt{2}:1$이다.
수평 도달 거리가 동일하므로 $\frac{v_A}{v_B}=\frac{1}{\sqrt{2}}$이다.

THEME

2 — 2차원 포물선

정리1 한 개의 물체

개념1 변위 탄젠트

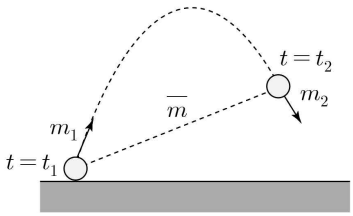
STEP1 두 점에서의 접선 기울기 계산

$t=t_1$에서의 접선 기울기(m_1) : $m_1=\dfrac{v_y}{v_x}=\dfrac{v_0\sin\theta-gt_1}{v_0\cos\theta}$,

$t=t_2$에서의 접선 기울기(m_2) : $m_2=\dfrac{v_y}{v_x}=\dfrac{v_0\sin\theta-gt_2}{v_0\cos\theta}$

두 기울기의 덧셈값을 계산해보면

$m_1+m_2=\dfrac{v_0\sin\theta-gt_1}{v_0\cos\theta}+\dfrac{v_0\sin\theta-gt_2}{v_0\cos\theta}=\dfrac{2v_0\sin\theta-g(t_1+t_2)}{v_0\cos\theta}$ 이다.



STEP2 두 점을 잇는 직선의 기울기 계산

$\overline{m}=\dfrac{y_{t2}-y_{t1}}{x_{t2}-x_{t1}}=\dfrac{(t_2-t_1)[v_0\sin\theta-\frac{1}{2}g(t_2+t_1)]}{v_0\cos\theta\,(t_2-t_1)}=\dfrac{2v_0\sin\theta-g(t_1+t_2)}{2v_0\cos\theta}$

STEP3 결론

따라서, $\overline{m}=\dfrac{m_1+m_2}{2}$를 만족하므로 초기 속도 기울기, 나중 속도 기울기, 두 점의 기하적 기울기는 등차수열 관계를 만족하는 것을 알 수 있다.

개념2 xy축 운동의 분석

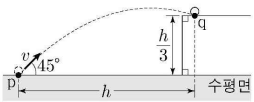
$x=(v_0\cos\theta)t$에서 $t=\dfrac{x}{v_0\cos\theta}$이다. $y=(v_0\sin\theta)t-\dfrac{1}{2}gt^2$에 대입하면 $y=v_0\sin\theta\left(\dfrac{x}{v_0\cos\theta}\right)-\dfrac{1}{2}g\left(\dfrac{x}{v_0\cos\theta}\right)^2$이다.

위 식을 정리하면 $y=x\tan\theta-\dfrac{g}{2v_0^2\cos^2\theta}x^2$을 만족한다.

(단, 이 공식은 유도 과정에 의하여 시간이 나와있지 않을 때 사용한다.)

예제1

그림과 같이 수평면상의 점 p에서 수평면과 45°의 각을 이루며 속력 v로 던져진 물체가 포물선 운동을 하여 높이 $\dfrac{h}{3}$인 위쪽 수평면 상의 점 q에 도달하였다. p에서 q까지 물체의 수평 이동 거리는 h이다.



v는? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기는 무시한다.)

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

해설

처음 기울기는 $+1$이고, 기하적 기울기는 $+\dfrac{1}{3}$이므로

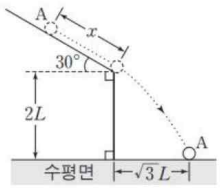
나중 기울기는 $-\dfrac{1}{3}$이다. 그러므로 q에서 y축 속력은

$\dfrac{\sqrt{2}}{6}v$이다. y축에 대해서 등가속도 공식 ③을 사용하면

$2g\dfrac{h}{3}=\dfrac{1}{2}v^2-\dfrac{1}{18}v^2$, $v=\sqrt{\dfrac{3}{2}gh}$ 이다.

예제2

그림과 같이 마찰이 없는 경사면에 물체 A를 가만히 놓았더니, A는 경사면을 따라 거리 x만큼 직선 운동한 후 수평면에서 높이가 $2L$인 지점에서부터 포물선 운동하여 수평면에 도달하였다. 경사면이 수평면과 이루는 각은 30°이고 A가 포물선 운동하는 동안의 수평 이동 거리는 $\sqrt{3}L$이다.



x는? (단, 물체는 동일 연직면에서 운동하며, 물체의 크기와 공기 저항은 무시한다.)

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

해설

STEP1 $h=2L$

공이 30°의 각으로 낙하하기 시작하므로 속력을 $2v$로 가정하면 $v_x=\sqrt{3}v$, $v_y=v$가 된다.

STEP2 $h=0$

변위 탄젠트를 생각해보면 처음 기울기는 $-\frac{1}{\sqrt{3}}$이고, 기하적 기울기는 $-\frac{2}{\sqrt{3}}$이므로 나중 기울기는 $-\frac{3}{\sqrt{3}}=-\sqrt{3}$이다. 따라서 $v_x=\sqrt{3}v$, $v_y'=3v$이다.

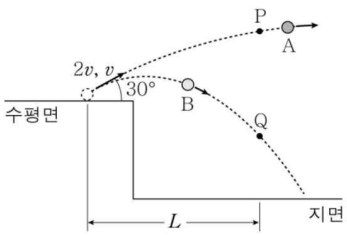
STEP3 빗면

연직면) 등공③) $2g(2L)=8v^2$에서 $gL=2v^2$이다.

빗면) 등공③) $2(\frac{1}{2}g)x=4v^2=2gL$에서 $x=2L$이다.

예제3

그림은 물체 A, B를 수평면과 30°의 각을 이루며 각각 $2v$, v의 속력으로 던졌을 때 A, B의 운동 경로를 나타낸 것이다. 던진 지점으로부터 수평 거리가 L일 때 A, B는 각각 경로상의 점 P, Q를 지난다.



P와 Q 사이의 거리는? (단, 중력 가속도는 g이고, 공기 저항 및 물체의 크기는 무시한다.)

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

해설

시간이 없으므로 $y=x\tan\theta-\frac{g}{2v_0^2\cos^2\theta}x^2$을 이용해보자.

$\triangle y=\frac{gL^2}{2\cos^2 30^\circ}(\frac{1}{v^2}-\frac{1}{4v^2})=\frac{gL^2}{\frac{3}{2}}\frac{3}{4v^2}=\frac{gL^2}{2v^2}$

정리2 두 개의 물체

개념1 중력 끄기

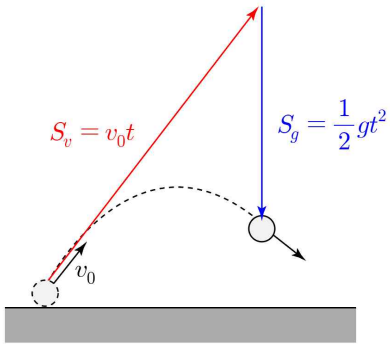
포물선에서 나중 좌표는 $(\vec{v}_x t,\ \vec{v}_y t - \frac{1}{2}\vec{g}t^2)$으로 표현할 수 있다.

여기서 $\vec{v}_x t$와 $\vec{v}_y t$를 합치면 초기 속도 벡터와 같다.

① 포물선 운동은 $S_v = v_0 t,\ S_g = \frac{1}{2}gt^2$로 표기가 가능하다.

② 만약 $\frac{S_g}{S_v} = n$의 관계에 있다면 $nv_0 t = \frac{1}{2}gt^2$를 만족하고 $gt = 2nv_0$이다.

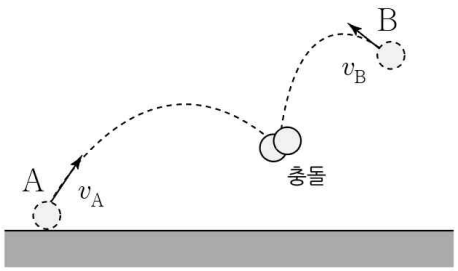
따라서 y축 속도 변화량은 $2nv_0$를 만족하게 한다.

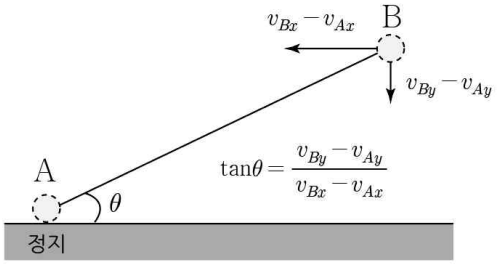


개념2 상대 속도

동일한 중력 상에 놓인 두 물체가 동시에 출발하여 동시에 충돌하는 상황에 대해서 생각해보자.

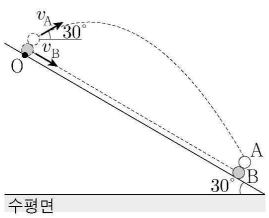
A의 입장에서 상대 가속도는 0이고, 상대 속도만 존재하여 B가 "나에게 등속도로 다가온다"라고 해석할 수 있다.





예제4

그림과 같이 경사각이 30°인 경사면의 점 O에서 물체 A, B를 동시에 발사하였더니 A는 B와 경사면의 한 점에서 만났다. A는 수평면과 30°의 각을 이루며 속력 v_A로 발사되어 포물선 운동을 하고, B는 속력 v_B로 발사되어 경사면을 따라 등가속도 직선 운동을 한다.



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

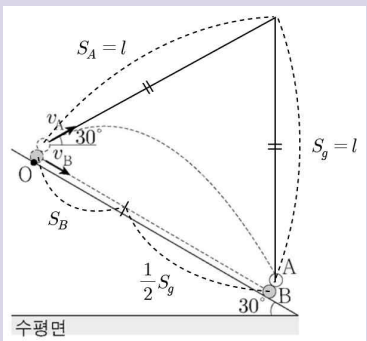
① $\frac{1}{2}$ ② $\frac{1}{3}$ ③ $\frac{1}{4}$ ④ $\frac{1}{5}$ ⑤ $\frac{1}{6}$

해설

A에 대해서 중력끄기를 사용하면 각도 정보를 이용하여 정삼각형임을 알 수 있고, $S_A = l,\ S_g = l$이라고 가정한다.

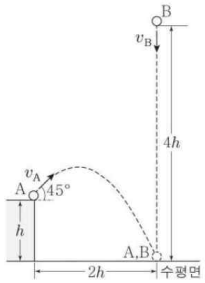
$S_B + \frac{1}{2}S_g = l$에서 $S_B = \frac{1}{2}l$이므로 $\frac{v_B}{v_A} = \frac{S_B}{S_A} = \frac{1}{2}$이다.

(B의 빗면 중력 가속도가 $\frac{1}{2}g$이기에 $\frac{1}{2}S_g$를 사용한다.)



예제5

그림과 같이 높이 h인 물체 A가 수평 방향과 45°의 각을 이루며 v_A의 속력으로 던져진 순간, 높이 $4h$인 지점에서 물체 B가 연직 아래 방향으로 v_B의 속력으로 던져진다. A는 포물선 운동하고, B는 등가속도 직선 운동하여 수평면의 같은 지점에 동시에 도달한다. A의 수평 이동 거리는 $2h$이다.



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

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

해설

A의 성분 속도를 v라고 하자.

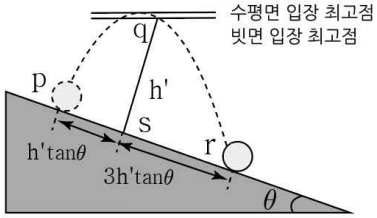
기하적 모양을 토대로 $\frac{v+v_B}{v}=\frac{3}{2}$이고,

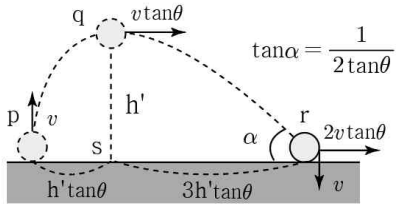
$v_B=\frac{1}{2}v$이다. 따라서 $\frac{v_B}{v_A}=\frac{1}{2\sqrt{2}}$이다.

정리3 기울어진 빗면

개념1 수직 투사

그림은 빗면에 대해서 수직하게 물체를 발사시키는 상황이다.





① 빗면의 입장에서 물체가 최고점까지 t초가 걸렸다면 최저점까지도 t초가 걸린다.

② 빗면의 입장에서 최고점까지 걸린 시간은 $t=\frac{v}{g\cos\theta}$이다.

③ 최고점에 대해 대칭되는 거리 비는 $1:3$이다. (수평면에서는 $1:1$이다.)

④ 최대 도달 거리와 높이의 관계는 $R'=4\tan\theta\cdot h'$을 만족한다. (수평면에서는 $R=\frac{4}{\tan\theta}h$이다.)

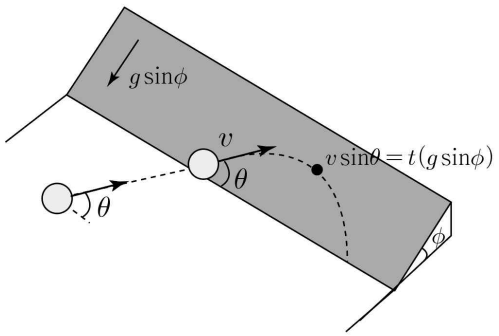
⑤ 물체가 빗면에 도착했을 때 속도 성분이 이루는 각을 α라고 하면 $\tan\alpha=\frac{1}{2\tan\theta}$를 만족한다.

⑥ 빗면에서 v의 속도로 발사했을 때 빗면 방향으로 이동한 거리를 L이라고 하자.

이때 속력이 n배가 된다면 이동한 거리는 n^2L이다. ($h=\frac{v^2}{2g\cos\theta}$에서 속력이 n배가 되면 h가 n^2배가 되어 그렇다.)

개념2 빗면에 진입하는 물체

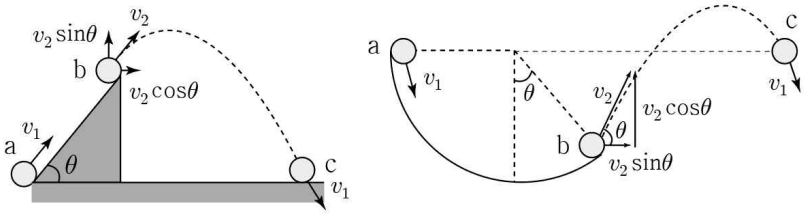
그림과 같이 빗면에 θ의 각으로 발사시킨 물체가 있다고 하자.
빗면 가속도는 $g\sin\phi$이므로 빗면에서 최고점에 도달할 때까지
걸린 시간은 $v\sin\theta=g\sin\phi\cdot t$을 통해 구할 수 있다.



정리4 에너지 보존

개념1 포물선과 에너지 보존

포물선에서 출제되는 에너지 보존 형태는 크게 2가지가 있다.



첫 번째 유형은 빗면 유형이다. 점 a, b, c는 모두 에너지 보존이 성립한다.
(빗면의 수직항력은 공의 운동 방향에 매 순간 수직이기에 비보존력이 한 일은 0J이다.)
그리고 빗면의 끝 부분에서 속도를 분해하면 $v_x = v_2\cos\theta$, $v_y = v_2\sin\theta$가 된다.

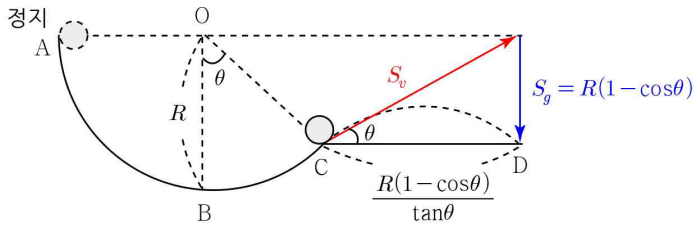
두 번째 유형은 원형 레일 유형이다. 점 a, b, c는 모두 에너지 보존이 성립한다.
(레일면의 수직항력은 공의 운동 방향에 매 순간 수직이기에 비보존력이 한 일은 0J이다.)
그리고 레일의 끝 부분에서 속도를 분해하면 $v_x = v_2\cos\theta$, $v_y = v_2\sin\theta$가 된다.

개념2 원형 레일 심화

정지 상태에서 포물선 운동은 변위 가속 분해를 통해 $\vec{x} = \vec{S}_v + \vec{S}_g$로 표현이 가능하다.

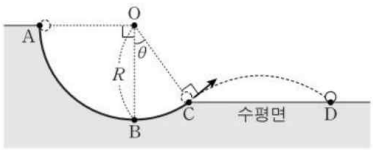
이때 $\angle COB$와 포물선 발사각이 θ로 동일하므로 $\overrightarrow{OC}$와 $\vec{S}_v$가 이루는 각은 90°이다.

따라서 그림과 같이 표현할 수 있고, 수평면에서 최대 도달 거리는 $\dfrac{R(1-\cos\theta)}{\tan\theta}$이다.



예제6

그림과 같이 중심이 O이고 반지름이 R인 원형 트랙의 A점에서 물체를 가만히 놓았더니, 물체가 원운동하면서 최저점 B를 지나 C점에서부터 포물선 운동을 하여 수평면의 D점에 도달하였다.



$\theta = 30^\circ$일 때, C와 D 사이의 거리는? (단, 물체는 동일 연직면 상에서 운동하며 물체의 크기와 마찰은 무시한다.)

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

해설

STEP1 AC

C에서 속도를 v라고 가정하면 $v^2 = 2g(\frac{\sqrt{3}}{2}R) = \sqrt{3}gR$ 이다.

STEP2 C에서 속도 분해

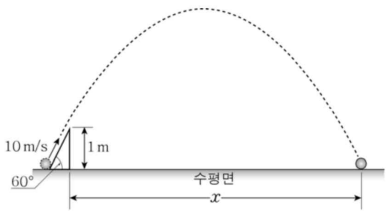
$v_x = \frac{\sqrt{3}}{2}v$, $v_y = \frac{1}{2}v$이다.

STEP3 CD

거리는 $\frac{v^2\sin 2\theta}{g} = \frac{\sqrt{3}gR\sin 60^\circ}{g} = \frac{3}{2}R$ 이다.

예제7

그림과 같이 수평면에서 $10m/s$의 속력으로 발사된 물체가 경사각이 60°이고, 마찰이 없는 빗면을 따라 운동하다가 빗면을 떠난 후부터 수평면에 도달할 때까지 수평 거리 x만큼 포물선 운동을 하였다. 빗면의 높이는 $1m$이다.



x는? (단, 중력 가속도는 $10m/s^2$이고, 물체의 크기는 무시한다.)

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

해설

STEP1 빗면의 끝

빗면의 끝에서 속력을 $2v$라고 가정하면 에너지 보존에 의하여 $10^2 = 4v^2 + 20$에서 $v = 2\sqrt{5}$이다.

빗면의 끝에서 속력을 분해하면 $v_x = 2\sqrt{5}$, $v_y = 2\sqrt{15}$이다.

STEP2 수평면

y) 등공②) $1 = 5t^2 - 2\sqrt{15}t$에서 $5t^2 - 2\sqrt{15}t - 1 = 0$이고,

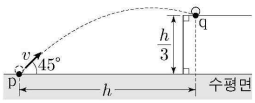
$t = \frac{\sqrt{15} + \sqrt{15+5}}{5} = \frac{\sqrt{15} + \sqrt{20}}{5}$ 이다.

$x = 2\sqrt{5}(\frac{\sqrt{15} + \sqrt{20}}{5}) = \frac{2}{5}(\sqrt{75} + \sqrt{100}) = 2(\sqrt{3} + 2)$

유형 01 수평면 발사

01 2022학년도 9월 6번 정답률 82%

6. 그림과 같이 수평면상의 점 p에서 수평면과 45°의 각을 이루며 속력 v로 던져진 물체가 포물선 운동을 하여 높이 $\frac{h}{3}$인 위쪽 수평면상의 점 q에 도달하였다. p에서 q까지 물체의 수평 이동 거리는 h이다.



v는? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기는 무시한다.)

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

정 답 ②

해 설

처음의 기울기가 $+1$이고, 기하적 기울기가 $+\frac{1}{3}$이므로

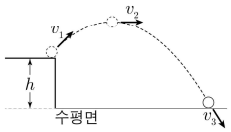
나중 기울기는 $-\frac{1}{3}$이다. p에서 y축 속력은 $\frac{1}{\sqrt{2}}v$이고,

q에서 y축 속력은 $\frac{1}{3\sqrt{2}}v$이다.

등공③) $2g(\frac{h}{3}) = \frac{1}{2}v^2 - \frac{1}{18}v^2 = \frac{4}{9}v^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{3gh}{2}}$ 이다.

02 2023학년도 9월 5번 정답률 85%

5. 그림은 수평면으로부터 높이 h인 곳에서 속력 v_1로 비스듬하게 위로 던져진 물체가 포물선 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. 물체의 속력은 최고점에서는 v_2이고, 수평면에 닿기 직전에는 v_3이다.



v_1, v_2, v_3을 비교한 것으로 옳은 것은? [3점]

① $v_3 > v_2 > v_1$ ② $v_3 > v_1 > v_2$ ③ $v_2 > v_3 > v_1$
④ $v_1 > v_3 > v_2$ ⑤ $v_1 > v_2 > v_3$

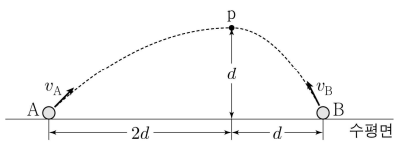
정 답 ②

해 설

에너지 보존을 떠올리면 $v_3 > v_1 > v_2$이다.

03 2024학년도 6월 18번 정답률 51%

18. 그림과 같이 각각 v_A, v_B의 속력으로 수평면과 비스듬하게 동시에 던져진 물체 A, B는 포물선 운동을 하여 점 p에서 만난다. p에서 A, B의 속도의 연직 성분은 각각 0이다. A와 B가 던져진 순간부터 만날 때까지 수평 이동 거리는 각각 $2d$, d이고, p의 높이는 d이다.



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

① $\frac{\sqrt{3}}{2}$ ② $\frac{\sqrt{10}}{4}$ ③ $\frac{3}{4}$ ④ $\frac{\sqrt{2}}{2}$ ⑤ $\frac{\sqrt{6}}{4}$

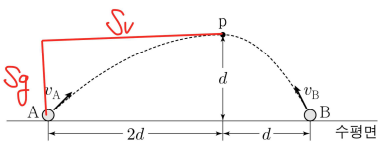
정 답 ②

해 설

두 물체의 충돌이므로 중력끄기를 이용하자.

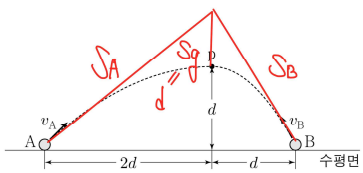
p점에서 중력끄기를 이용하면 $S_g = d$임을 알 수 있다.

(S_v는 필요 없으므로 무시해도 괜찮다.)



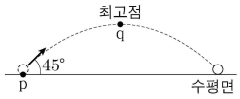
시작점에 대해서 중력끄기를 이용하면 $S_A = 2\sqrt{2}d$, $S_B = \sqrt{5}d$

이므로 $\frac{v_B}{v_A} = \frac{S_B}{S_A} = \frac{\sqrt{5}}{2\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{10}}{4}$ 이다.



04 2024학년도 9월 3번 정답률 62%

3. 그림과 같이 수평면상의 점 p에서 수평면과 45°의 각을 이루며 던져진 물체가 포물선 운동을 하여 최고점 q를 지나 수평면에 도달하였다. p에서 물체의 운동 에너지는 E_0이다.



q에서 물체의 운동 에너지는? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

① $\frac{\sqrt{2}}{8}E_0$ ② $\frac{1}{4}E_0$ ③ $\frac{\sqrt{2}}{4}E_0$ ④ $\frac{1}{2}E_0$ ⑤ $\frac{\sqrt{2}}{2}E_0$

정 답 ③

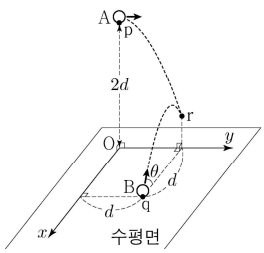
해 설

p에서 속력을 v라고 가정하면 q에서 속력은 $\frac{\sqrt{2}}{2}v$이므로

q에서의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}E_0$이다.

05 2024학년도 수능 13번 정답률 52%

13. 그림과 같이 점 p에서 물체 A를 $+y$방향으로 던진 순간, 점 q에서 물체 B를 x축에 나란한 연직면상에서 수평면과 θ의 각으로 던졌더니 두 물체가 각각 포물선 운동을 하여 점 r에서 만난다. p는 원점 O로부터 높이가 $2d$인 점이고, q는 x축과 y축으로부터 각각 d만큼 떨어진 수평면상의 점이다.



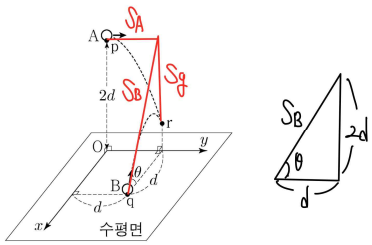
$\tan\theta$는? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

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

정 답 ②

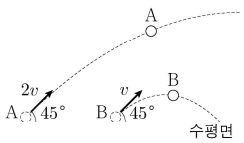
해 설

중력끄기를 이용하면 $\tan\theta = 2$이다.



06 2025학년도 6월 3번 답률 78%

3. 그림과 같이 45°의 각으로 수평면에서 각각 $2v$, v의 속력으로 발사된 물체 A, B가 포물선 운동을 한다. A, B가 발사된 순간부터 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간은 각각 t_A, t_B이다.



$\frac{t_A}{t_B}$는? (단, A와 B의 크기는 무시한다.)

① 1 ② 2 ③ 3 ④ 4 ⑤ 5

정 답 ②

해 설

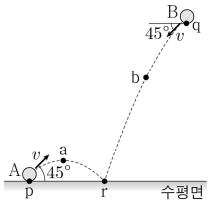
y축에 대해서 생각을 해보자.

시간을 구해야하고, 가속도를 알고, 속도를 알고 있으므로

등가속도 공식①을 통해 $\frac{t_A}{t_B} = 2$로 결정할 수 있다.

07 2026학년도 6월 19번 정답률 72%

19. 그림과 같이 점 p에서 물체 A를 수평면과 45°의 각으로 속력 v로 던진 순간, 물체 B는 수평면과 45°의 각을 이루며 속력 v로 점 q를 지난다. A, B는 각각 포물선 운동을 하여 수평면상의 점 r에 동시에 도달한다. A가 최고점 a를 지나는 순간 B는 점 b를 지난다.



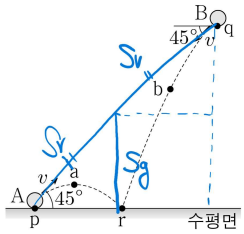
a와 b 사이의 거리는? (단, 중력 가속도는 g이고, A, B는 동일 연직면상에서 운동하며, 물체의 크기는 무시한다.)

① $\frac{\sqrt{2}v^2}{g}$ ② $\frac{v^2}{g}$ ③ $\frac{\sqrt{2}v^2}{2g}$ ④ $\frac{v^2}{2g}$ ⑤ $\frac{v^2}{3g}$

정 답 ①

해 설

두 물체가 충돌하므로
벡터로 표현하면 그림과 같다.

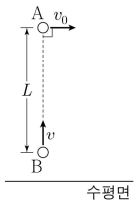


상대속도 입장에서 A가 최고점에 도달했을 때 상대적 거리는 등속도로 가까워지므로 S_v이다.

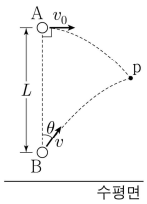
$S_v = vt$이고, 답의 형태를 만들어내기 위해서는 시간, 가속도, 속도로 만들어야하므로 등공 ①의 식을 만들어야 한다.
A는 t초 동안 y축의 속도 변화가 $\sqrt{2}v$만큼 일어나므로
$\sqrt{2}v = gt$를 만족한다. 따라서 $vt = \frac{\sqrt{2}v^2}{g}$이다.

08 2026학년도 9월 18번 정답률 78%

18. 그림 (가), (나)는 동일 연직선상에서 물체 A, B를 동시에 던진 순간을 나타낸 것이다. 이때 A, B의 높이 차는 L이고, A와 B의 속력은 각각 v_0, v이다. A는 (가)와 (나)에서 수평 방향으로 던져지고, B는 (가)에서는 연직 위 방향으로, (나)에서는 연직 방향과 θ의 각을 이루며 던져진다. (가)에서 A, B가 운동하는 동안 A와 B 사이의 최소 거리는 $\frac{L}{2}$이고, (나)에서 A, B는 점 p에 동시에 도달한다.



(가)



(나)

$\tan\theta$는? (단, 물체의 크기와 공기 저항은 무시한다.) [3점]

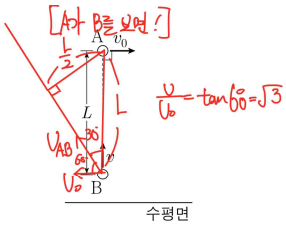
① $\frac{1}{4}$ ② $\frac{\sqrt{2}}{4}$ ③ $\frac{1}{2}$ ④ $\frac{\sqrt{2}}{2}$ ⑤ 1

정 답 ④

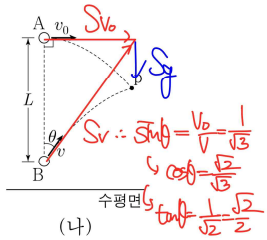
해 설

(가)에서 상대 속도의 기하적 내용을 토대로

$\frac{v}{v_0} = \tan 60^\circ = \sqrt{3}$을 만족한다.



(가)

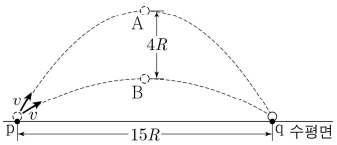


(나)

또한 (나)에서 $\sin\theta = \frac{v_0}{v} = \frac{1}{\sqrt{3}}$을 만족하므로 $\tan\theta = \frac{\sqrt{2}}{2}$이다.

09 2026학년도 수능 20번 정답률 73%

20. 그림과 같이 수평면상의 점 p에서 물체 A, B를 속력 v로 던졌더니 A, B가 각각 포물선 운동을 하여 수평면상의 점 q에 도달하였다. A, B의 최고점 높이의 차는 $4R$이고, p와 q 사이의 거리는 $15R$이다. A, B가 p에서 q까지 가는 데 걸린 시간은 각각 t_A, t_B이다.



$\frac{t_A}{t_B}$는? (단, 물체는 동일 연직면상에서 운동하고, 물체의 크기는 무시한다.) [3점]

① $\frac{13}{12}$ ② $\frac{6}{5}$ ③ $\frac{5}{4}$ ④ $\frac{8}{5}$ ⑤ $\frac{5}{3}$

정 답 ⑤

해 설

STEP1 상황 분석

두 공 A와 B의 이동거리가 동일하므로 두 공의 발사각은 45°에 대하여 대칭임을 알 수 있다. 따라서 공 A의 속도를 (v_x, v_y)라고 한다면 공 B의 속도는 (v_y, v_x)이다.

STEP2 식 세우기

y축의 AB에 대해서 등공 ③을 적용하면

$2g(h_A - h_B) = 2g \cdot 4R = v_y^2 - v_x^2 \Rightarrow v_y^2 - v_x^2 = 8gR$

x축의 A에 대해서 $15R = \frac{2v_x v_y}{g} \Rightarrow 2v_x v_y = 15gR$

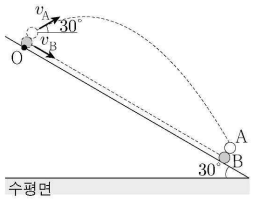
두 식을 연립하면 $v_x = \frac{3\sqrt{2}}{2}v$, $v_y = \frac{5\sqrt{2}}{2}v$이다.

따라서 $\frac{t_A}{t_B} = \frac{gt_A}{gt_B} = \frac{v_y}{v_x} = \frac{5}{3}$이다.

유형 02 빗면 발사

01 2022학년도 6월 11번 정답률 67%

11. 그림과 같이 경사각이 30°인 경사면의 점 O에서 물체 A, B를 동시에 발사하였더니 A는 B와 경사면의 한 점에서 만났다. A는 수평면과 30°의 각을 이루며 속력 v_A로 발사되어 포물선 운동을 하고, B는 속력 v_B로 발사되어 경사면을 따라 등가속도 직선 운동을 한다.



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

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

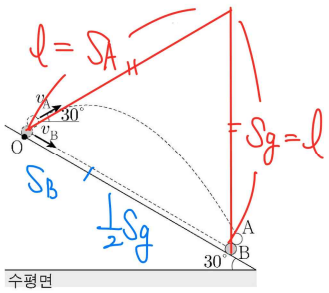
정 답 ①

해 설

A에 대해서 중력끄기를 사용하면 각도 정보를 이용하여 정삼각형임을 알 수 있고, $S_A = l$, $S_g = l$이라고 가정한다.

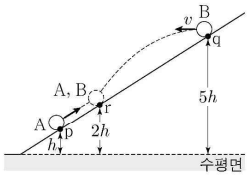
$S_B + \frac{1}{2}S_g = l$에서 $S_B = \frac{1}{2}l$이므로 $\frac{v_B}{v_A} = \frac{S_B}{S_A} = \frac{1}{2}$이다.

(B의 빗면 중력 가속도가 $\frac{1}{2}g$이기에 $\frac{1}{2}S_g$를 사용한다.)



02 2022학년도 수능 15번 정답률 64%

15. 그림과 같이 경사면 위에서 등가속도 직선 운동을 하던 물체 A가 점 p를 지나는 순간, 경사면 위의 점 q에서 물체 B를 수평 방향으로 속력 v로 던졌다. 경사면 위의 점 r에서 A의 속력이 0이 될 때 A가 B와 만났다. p, q, r의 높이는 각각 h, $5h$, $2h$이다.



v는? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체는 동일 연직면에서 운동하며, 물체의 크기, 마찰, 공기 저항은 무시한다.)

① $\frac{\sqrt{11gh}}{2}$ ② $\sqrt{3gh}$ ③ $\frac{\sqrt{13gh}}{2}$

④ $\frac{\sqrt{14gh}}{2}$ ⑤ $\frac{\sqrt{15gh}}{2}$

정 답 ②

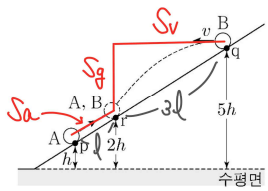
해 설

A와 B에 대해서 중력끄기를 사용하면 아래와 같다.

특히 A의 경우 정지를 하므로 정지에 대한 성질을 떠올려보면

$v = at$를 만족하고 양변에 t를 곱하면 $vt = at^2$에서 $S_v = 2S_a$이다.

문제 상황을 통해 $l = S_v - S_a = S_a$이다.



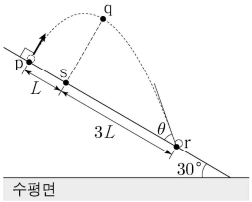
$\frac{S_a}{S_g} = \frac{g\sin\theta}{g} = \frac{1}{3\sin\theta}$에서 $\sin\theta = \frac{1}{\sqrt{3}}$이다.

$\frac{S_g}{S_v} = \tan\theta = \frac{1}{\sqrt{2}}$이므로 y축 속도 변화량은 $\sqrt{2}v_0$이다.

따라서 $2g(3h) = 2v_0^2$에서 $v_0 = \sqrt{3gh}$이다.

03 2023학년도 6월 17번 정답률 52%

17. 그림과 같이 수평면과 이루는 각이 30°인 빗면 위의 점 p에서 빗면에 수직인 방향으로 던져진 물체가 포물선 운동을 하여 빗면으로부터 가장 멀리 떨어진 점 q를 지나 빗면 위의 점 r에 빗면과 θ의 각을 이루며 도달한다. p와 r를 잇는 직선 위의 점 s에서 p까지의 거리와 r까지의 거리는 각각 L, $3L$이다.



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

<보 기>

ㄱ. 물체가 p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간과 q에서 r까지 이동하는 데 걸린 시간은 같다.

ㄴ. q에서 s까지의 거리는 $\sqrt{3}L$이다.

ㄷ. $\tan\theta=\frac{\sqrt{3}}{2}$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

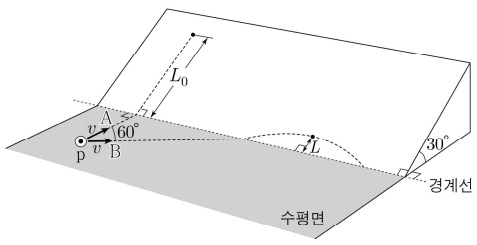
ㄱ. q는 빗면으로부터 가장 멀리 떨어진 점으로 빗면의 y'입장에서 pq, qr에서 운동 시간이 동일하다. (O)

ㄴ. $R=4\tan\theta\cdot h$에서 $h=\frac{1}{4\tan\theta}R=\frac{1}{4\tan30^\circ}4L=\sqrt{3}L$ (O)

ㄷ. $\tan\theta=\frac{1}{2\tan30^\circ}=\frac{\sqrt{3}}{2}$ (O)

04 2023학년도 9월 18번 정답률 39%

18. 그림과 같이 수평면 위의 점 p에서 발사된 물체 A는 수평면과 마찰이 없는 빗면을 따라 직선 운동을 하고, p에서 A의 운동 방향과 60°의 각을 이루며 발사된 물체 B는 수평면을 따라 직선 운동을 한 후 빗면을 따라 포물선 운동을 한다. p에서 A, B의 속력은 각각 v이고, 수평면상에서 A, B에는 같은 크기의 일정한 힘이 운동 방향의 반대 방향으로 작용한다. A와 B가 각각 도달하는 최고점과 경계선 사이의 거리는 L_0, L이다. A, B의 질량은 같고, 수평면과 빗면이 이루는 각은 30°이다.



L은? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기와 공기 저항은 무시한다.) [3점]

① $\frac{L_0}{2}-\frac{v^2}{2g}$ ② $\frac{L_0}{2}-\frac{v^2}{4g}$ ③ $\frac{L_0}{2}-\frac{v^2}{8g}$

④ $L_0-\frac{v^2}{2g}$ ⑤ $L_0-\frac{v^2}{4g}$

정 답 ②

해 설

STEP1 빗면

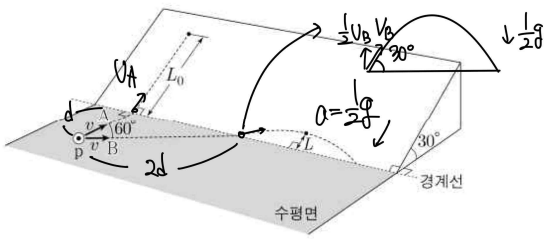
A) 등공③) $2(\frac{1}{2}g)(L_0)=v_A^2 \rightarrow v_A^2=gL_0$

B) 등공③) $2(\frac{1}{2}g)(L)=(\frac{1}{2}v_B)^2 \rightarrow v_B^2=4gL$

STEP2 수평면

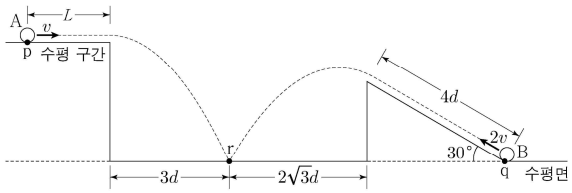
A) 등공③) $2ad=v^2-v_A^2$ B) 등공③) $4ad=v^2-v_B^2$

$\therefore 2v_A^2-v_B^2=v^2$를 정리하면 $\therefore L=\frac{L_0}{2}-\frac{v^2}{4g}$이다.



05 2023학년도 수능 19번 정답률 21%

19. 그림과 같이 물체 A가 수평 구간에서 속력 v로 점 p를 지나는 순간, 물체 B가 수평면과 경사각이 30°인 빗면이 만나는 점 q에서 속력 $2v$로 발사되었다. A는 등속도 운동을 한 후 포물선 운동을 하고, B는 등가속도 직선 운동을 한 후 포물선 운동을 하여, A와 B는 수평면상의 점 r에 동시에 도달한다. p에서부터 A가 등속도 운동을 한 구간의 길이는 L이고, 빗면에서 B가 운동한 구간의 길이는 $4d$이다. A, B의 포물선 운동에서 수평 이동 거리는 각각 $3d$, $2\sqrt{3}d$이다.



L은? (단, A와 B는 동일 연직면에서 운동하며, 물체의 크기와 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

① $2d$ ② $\sqrt{6}d$ ③ $2\sqrt{2}d$ ④ $3d$ ⑤ $2\sqrt{3}d$

정 답 ④

해 설

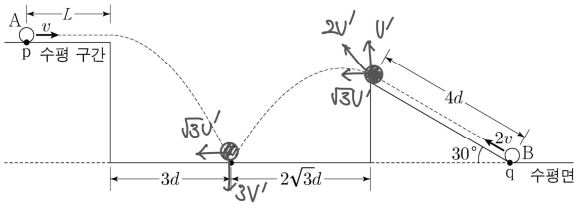
빗면의 끝에서 속력을 $2v$라고 가정하면, $v_x = \sqrt{3}v'$, $v_y = v'$이다.

r에서 속력은 $v_y' = v' + 2\frac{1}{\sqrt{3}}\sqrt{3}v' = 3v'$이다.

q와 r의 에너지 보존은 $3v'^2 + 9v'^2 = 4v^2$이고, $v' = \frac{1}{\sqrt{3}}v$이다.

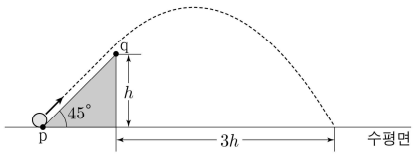
A와 B의 충돌 시간이 동일하므로 식을 정리하면

$\frac{L+3d}{v} = \frac{4d}{(\frac{\sqrt{3}}{3}+1)v} + \frac{2\sqrt{3}d}{v}$이고, $\therefore L = 3d$이다.



05 2024학년도 6월 20번 정답률 47%

20. 그림과 같이 수평면과 경사각이 45°인 경사면이 만나는 점 p에서 발사된 물체는 등가속도 직선 운동을 한 후, 수평면에서 높이가 h인 점 q에서부터 포물선 운동을 하여 수평면에 도달한다. p, q에서 물체의 운동 에너지는 각각 E_0, E이고, 물체가 포물선 운동을 하는 동안 수평 이동 거리는 $3h$이다.

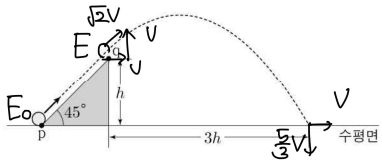


E는? (단, 물체의 크기와 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

① $\frac{8}{17}E_0$ ② $\frac{9}{17}E_0$ ③ $\frac{10}{17}E_0$ ④ $\frac{11}{17}E_0$ ⑤ $\frac{12}{17}E_0$

정 답 ②

해 설



처음 기울기는 $+1$이고, 기하적 기울기는 $-\frac{1}{3}$이므로

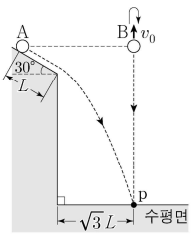
나중 기울기는 $-\frac{5}{3}$이다.

$E_0 = \frac{1}{2}m(v^2 + \frac{25}{9}v^2) = \frac{17}{9}mv^2$

$E = \frac{1}{2}m(2v^2) = mv^2 = \frac{9}{17}E_0$

06 2024학년도 9월 20번 정답률 33%

20. 그림과 같이 경사각이 30°인 마찰이 없는 빗면에서 물체 A를 가만히 놓은 순간, 물체 B를 A와 같은 높이에서 연직 위 방향으로 속력 v_0으로 발사하였다. A는 등가속도 직선 운동을 한 후 포물선 운동을 하고, B는 등가속도 직선 운동을 하여, A와 B는 수평면상의 점 p에 동시에 도달한다. A가 직선 운동을 한 구간의 길이는 L이고, A의 포물선 운동 구간에서 수평 이동 거리는 $\sqrt{3}L$이다.



v_0은? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기는 무시한다.)

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

정 답 ④

해 설

STEP1 A가 모서리에 도착

A가 모서리에 도착했을 때 속력을 $2v$라고 하자.

그러면 속도는 $(+\sqrt{3}v, -v)$이다.

STEP2 A가 p에 도착

빗면) $vt_1 = L$ 포물선) $\sqrt{3}vt_2 = \sqrt{3}L$이므로 $t_1 = t_2$이다.

변수 단순화를 통해 $v, t, L = 1$로 두자.

A) 빗면) 등공②) $1 = \frac{1}{4}g$에서 $g = 4$이다.

연직면) 등공②) $h = 1 + \frac{1}{2}g = 3$

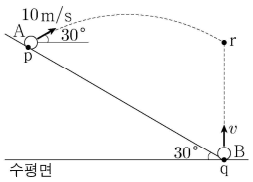
STEP3 B가 p에 도착

등공②) $\frac{7}{2} = -2v_0 + 2g$에서 $v_0 = \frac{9}{2}$이다. (단, $t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$ 꼴)

따라서 $v_0 = \frac{9}{8}\sqrt{gL}$이다.

07 2025학년도 6월 11번 정답률 73%

11. 그림과 같이 빗면 위의 점 p에서 물체 A를 수평 방향과 30°의 각으로 속력 10m/s로 던진 순간, 수평면상의 점 q에서 물체 B를 연직 위 방향으로 속력 v로 던졌더니, A와 B는 각각 등가속도 운동을 하여 던진 순간부터 1초 후에 점 r에서 만난다. p와 q를 잇는 직선이 수평면과 이루는 각은 30°이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 10m/s²이고, A와 B의 크기는 무시한다.)

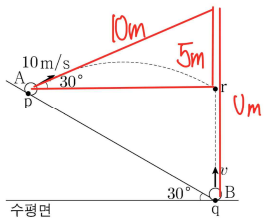
<보 기>

ㄱ. v는 10m/s이다.
ㄴ. p와 q 사이의 거리는 10m이다.
ㄷ. A의 최고점 높이는 수평면으로부터 6m이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

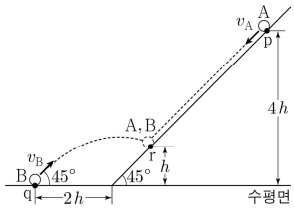
해 설



ㄱ. 중력끄기를 사용하면 $v = 10m/s$이다. (O)
ㄴ. pq사이의 거리는 $10m$이다. (O)
ㄷ. 평균 속도를 통해 $\frac{5}{2} \times \frac{1}{2} = 1.25m$만큼 올라간다.
따라서 수평면으로부터 $6.25m$이다. (X)

08 2025학년도 9월 16번 정답률 61%

16. 그림과 같이 경사각이 45°인 빗면을 따라 등가속도 직선 운동하는 물체 A가 빗면 위의 점 p를 속력 v_A로 지나는 순간, 수평면상의 점 q에서 물체 B가 수평면과 45°의 각을 이루며 속력 v_B로 발사되었다. A, B는 빗면 위의 점 r에서 만난다. p, r의 높이는 각각 $4h$, h이고, q는 수평면과 빗면이 만나는 점으로부터 $2h$만큼 떨어져 있다.

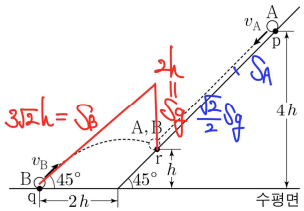


$\frac{v_B}{v_A}$는? (단, 물체는 동일 연직면상에서 운동하고, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

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

정 답 ②

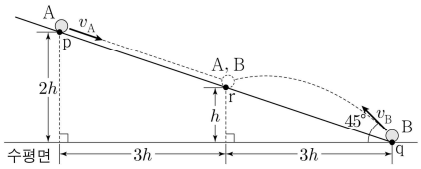
해 설



중력끄기를 사용하면 $S_B = 3\sqrt{2}h$, $S_g = 2h$이다.
A에 대해서 식을 세우면 $3\sqrt{2}h = S_A + \frac{\sqrt{2}}{2}S_g$이고,
$S_A = 2\sqrt{2}h$이다. 따라서 $\frac{v_B}{v_A} = \frac{3}{2}$이다.

09 2025학년도 수능 14번 정답률 60%

14. 그림과 같이 경사면을 따라 내려오던 물체 A가 점 p를 속력 v_A로 지나는 순간, 물체 B를 경사면과 수평면이 만나는 점 q에서 수평면에 대해 45°의 각으로 v_B의 속력으로 던졌다. A는 등가속도 직선 운동을 하고 B는 포물선 운동을 하여 경사면 위의 점 r에서 서로 만난다. p, r의 높이는 각각 $2h$, h이고, q에서 r까지 B의 수평 이동 거리는 $3h$이다.



$\frac{v_B}{v_A}$는? (단, 물체는 동일 연직면상에서 운동하고, 물체의 크기, 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

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

정 답 ④

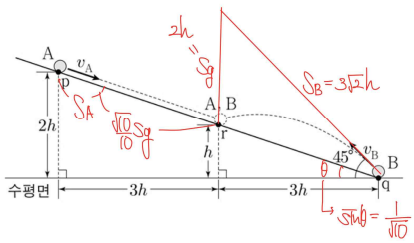
해 설

두 공이 충돌하므로 중력 끄기를 이용해보자.

B에 대해서 $S_B = 3\sqrt{2}h$, $S_g = 2h$이다.

A에 대해서 $S_A + \frac{\sqrt{10}}{10}S_g = \sqrt{10}h$이다.

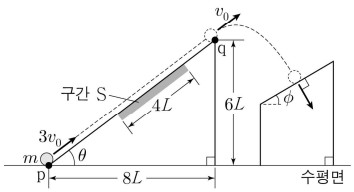
정리하면 $S_A = \frac{4\sqrt{10}}{5}h$이다.



따라서 $\frac{S_B}{S_A} = \frac{3\sqrt{2}}{\frac{4\sqrt{10}}{5}} = \frac{3\sqrt{5}}{4}$이다.

10 2025학년도 수능 18번 정답률 47%

18. 그림과 같이 경사각이 θ이고 높이가 $6L$인 경사면이 수평면과 만나는 점 p에서 질량 m인 물체를 $3v_0$의 속력으로 발사하였다. 물체는 경사면을 따라 운동하는 동안 길이가 $4L$인 구간 S를 지나고, 점 q에서 v_0의 속력으로 포물선 운동을 시작하여 경사각이 ϕ인 경사면 위에 수직으로 도달한다. 물체는 S를 지나는 동안 크기가 $\frac{mg}{2}$인 마찰력을 일정하게 받고, $\tan\theta = \frac{3}{4}$, $\tan\phi = \frac{1}{2}$이다.



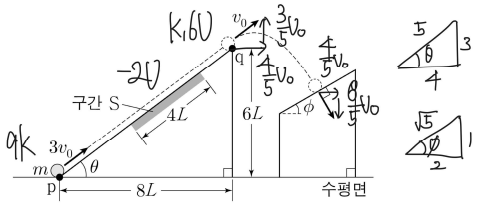
물체가 포물선 운동을 하는 동안 중력이 물체에 한 일은? (단, 물체는 동일 연직면상에서 운동하며, g는 중력 가속도이고, 물체의 크기, 구간 S 외의 모든 마찰은 무시한다.)

① $\frac{4}{5}mgL$ ② $\frac{8}{5}mgL$ ③ $\frac{11}{5}mgL$ ④ $\frac{13}{5}mgL$ ⑤ $3mgL$

정 답 ③

해 설

구간 S를 통과하면서 손실된 에너지는 $\frac{mg}{2}(4L) = 2mgL = 2U$이다. 따라서 $9K - 2U = K - 6U$를 만족하며 $K = U$이다.



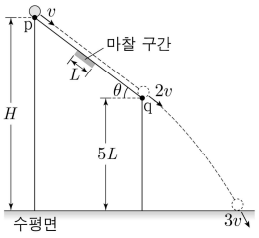
q에서 공이 발사될 때 $v_x = \frac{4}{5}v_0$, $v_y = \frac{3}{5}v_0$이다.

오른쪽 빗면에 도착했을 때 $v_y' = \frac{v_x}{\tan\phi} = \frac{8}{5}v_0$이다.

$\Delta K = \frac{1}{2}m(\frac{64}{25}v^2 - \frac{9}{25}v^2) = \frac{11}{5}(\frac{1}{2}mv^2) = \frac{11}{5}K = \frac{11}{5}U$이다.

11 2026학년도 6월 18번 정답률 63%

18. 그림과 같이 물체가 높이 H인 점 p에서 속력 v로 출발하여 경사각이 θ인 빗면을 따라 운동하는 동안 길이가 L인 마찰 구간을 지난다. 물체는 높이 $5L$인 점 q에서 $2v$의 속력으로 포물선 운동을 시작하여 수평면에 $3v$의 속력으로 도달한다. 물체는 마찰 구간에서 등속도 운동을 하며, $\tan\theta=\frac{3}{4}$이다.



H는? (단, 물체는 동일 연직면상에서 운동하며, 물체의 크기, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

① $\frac{37}{5}L$ ② $\frac{39}{5}L$ ③ $\frac{41}{5}L$ ④ $\frac{43}{5}L$ ⑤ $9L$

정 답 ④

해 설

STEP1 포물선 구간 분석하기

q에서 속도를 분해하면 $v_x=\frac{8}{5}v$, $v_y=\frac{6}{5}v$이다.

수평면에 도착했을 때 y축 속도는 $v_y'^2=9-\frac{64}{25}=\frac{161}{25}v^2$이다.

따라서 y축 등공③) $10gL=\frac{125}{25}v^2$ ⇒ $v^2=2gL$이다.

STEP2 빗면 구간 분석하기

빗면 구간의 높이는 $\frac{3}{5}L$이다. 따라서 손실된 에너지는 $\frac{3}{5}U$이다.

q에서의 에너지는 $4K+5U$이므로 p에서 에너지는

$K+U_H=4K+5U+\frac{3}{5}U=4K+\frac{28}{5}U$

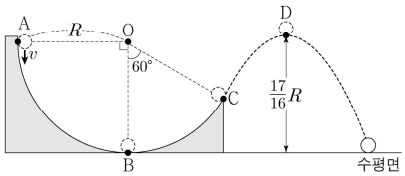
⇒ $U_H=3K+\frac{28}{5}U=\frac{3}{2}mv^2+\frac{28}{5}mgL=\frac{43}{5}mgL$

⇒ $H=\frac{43}{5}L$

유형 03 원형 트랙

01 2024학년도 수능 7번 정답률 46%

7. 그림과 같이 물체가 중심이 O이고 반지름이 R인 원형 트랙 위의 점 A를 속력 v로 지나 수평면상의 점 B를 통과하여 점 C까지 원운동을 한 후, 포물선 운동을 하여 최고점 D를 지나 수평면에 도달하였다. O와 C를 이은 선이 연직선과 이루는 각은 $60°$이고, D의 높이는 $\frac{17}{16}R$이다.



v는? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체는 동일 연직면상에서 운동하며, 물체의 크기와 마찰은 무시한다.)

① $\sqrt{\frac{gR}{4}}$ ② $\sqrt{\frac{3gR}{8}}$ ③ $\sqrt{\frac{gR}{2}}$ ④ $\sqrt{\frac{5gR}{8}}$ ⑤ $\sqrt{\frac{3gR}{4}}$

정 답 ③

해 설

C에서의 속력을 편의상 $2v'$라고 하겠다.

CD) y축) $3v'^2 = 2g \cdot \frac{9}{16}R \rightarrow v'^2 = \frac{3}{8}gR$

AC) 역에보) $4v'^2 - v^2 = 2g \cdot \frac{1}{2}R = gR$

위의 두 식을 연립하면 $v = \sqrt{\frac{gR}{2}}$이다.

PART 5
2차원 운동

개념 유형

01. 한 물체의 운동
02. 두 물체의 운동

기출 유형

01. 그래프 제시
02. 운동이 변하지 않는 상황
03. 운동이 변하는 상황

THEME

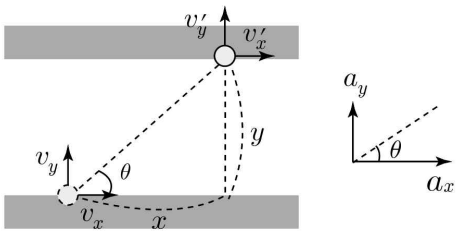
1 — 한 물체의 운동

정리1 대각선 운동의 해석

개념1 한 물체의 대각선 운동

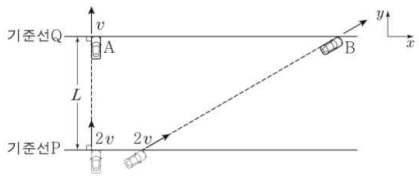
그림과 같이 물체가 초기 속력 $v=(v_x, v_y)$를 갖고, 등가속도 운동 $a=(a_x, a_y)$를 한다면 모든 성분이 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$\tan\theta = \frac{y}{x} = \frac{v_y}{v_x} = \frac{v_y'}{v_x'} = \frac{\overline{v_y}}{v_x} = \frac{a_y}{a_x}$$



예제1

그림과 같이 xy평면에서 자동차 A, B가 속력 $2v$로 기준선 P를 동시에 통과한 후, 각각 등가속도 직선 운동하여 기준선 Q를 동시에 통과한다. A의 운동 방향은 $+y$방향이고, Q를 통과하는 순간 A의 속력은 v이다. Q를 통과하는 순간 B의 속도는 y성분 크기는 $2v$이다. P와 Q 사이의 거리는 L이다.



B의 가속도의 크기는? (단, A, B의 크기는 무시한다.)

① $\frac{2v^2}{L}$ ② $\frac{3v^2}{L}$ ③ $\frac{4v^2}{L}$ ④ $\frac{5v^2}{L}$ ⑤ $\frac{6v^2}{L}$

해설

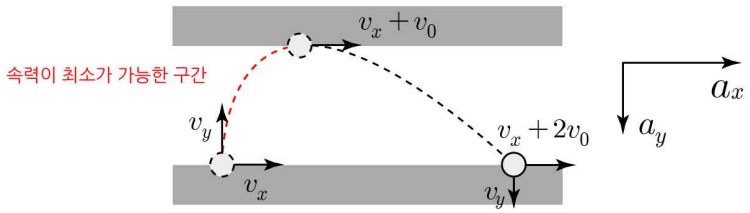
y축에 대해서 평균 속력이 동일하므로 $v_{By}=v$이다.

등가속도 공식③에서 $a_y=\frac{3v^2}{2L}$이고, $a=\frac{3v^2}{L}$이다.

정리2 한 물체의 2차원 운동

개념1 다시 되돌아옴

만약 물체에 대해서 x축과 y축에 대해 가속도가 있다고 하면 아래와 같이 유선형 그래프가 그려지게 된다.



① 공이 올라갈 때 t초가 걸렸다면 내려올 때도 t초가 걸린다.
② 공이 올라갈 때 속력이 v_y였다면 내려올 때도 속력이 v_y이다.
③ 속도 벡터와 가속도 벡터의 내적값이 0(수직)이라면 속력은 최소이다.
④ 초기 $v_x=0$이라면 최고점에 대한 거리비는 $1:3$이다.

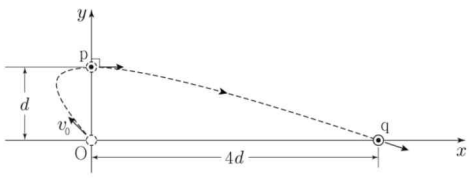
개념2 변위 탄젠트

포물선 운동에서 변위 탄젠트에 대해서 유도와 개념에 대해서 학습해봤습니다.
이번에는 일반적인 한 물체의 2차원 운동에 대해서 변위 탄젠트를 사용하는 방법을 학습해보도록 하겠습니다.

$$\frac{\overline{m}_1+\overline{m}_2}{2}=\overline{m}$$

예제2

그림과 같이 원점 O에서 v_0의 속력으로 발사된 물체가 xy평면에서 등가속도 운동하여 y축상의 점 p를 $+x$방향으로 통과한 후, x축상의 점 q를 지난다. O와 p 사이의 거리와 O와 q 사이의 거리는 각각 d, $4d$이다.



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

<보 기>

ㄱ. O에서 p까지 운동하는 데 걸린 시간과 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간은 같다.
ㄴ. 속도의 x성분의 크기는 O에서와 p에서가 같다.
ㄷ. q에서 물체의 속력은 $\sqrt{5}v_0$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. y축 정지(p)에 대해서 위치가 대칭이므로 걸린 시간은 동일하다. (O)
ㄴ. x축 정지에 대해서 위치가 대칭이므로 x축 속력은 동일하다. (O)
ㄷ. x) op, pq의 속도 변화량이 같으므로 $v_{qx}=3v_x$이다.
y) v_y로 던진 공은 다시 v_y로 내려온다.
pq에 대해서 2차원 변위 탄젠트를 생각해보자.
처음 기울기는 0이고, 변위 기울기는 $\frac{1}{4}$이다.
따라서 나중 기울기는 $\frac{1}{2}=\frac{v_y'}{v_x}=\frac{v_y}{2v_x}$이므로
$v_x=v_y$이다.
$v_0=(1,1)=\sqrt{2}$, $v_q=(3,1)=\sqrt{10}$이므로
$v_q=\sqrt{5}v_0$이다. (O)

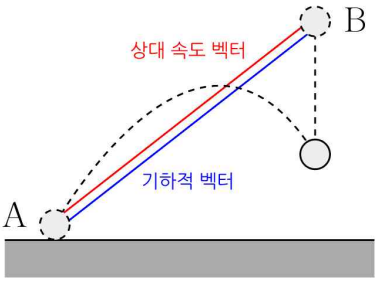
THEME

2 — 두 물체의 운동

정리1 두 물체의 운동

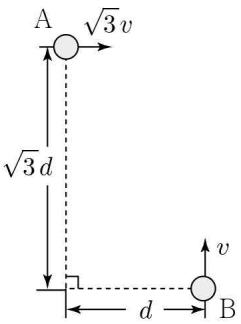
개념1 두 물체의 충돌이 일어남

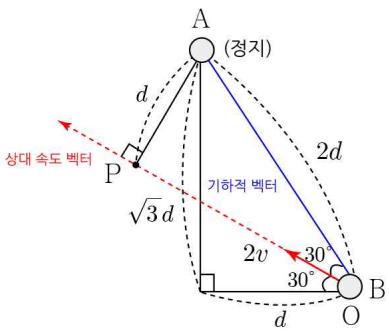
가속도가 같은 두 물체의 충돌이 일어날 때 상대 속도의 벡터는 기하적 벡터와 방향이 같다.



개념2 두 물체의 충돌이 일어나지 않음

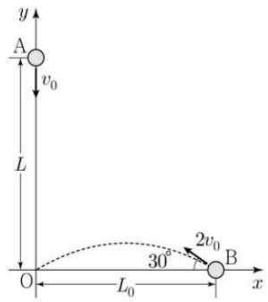
가속도가 같은 두 물체의 충돌이 일어나지 않으면 상대 속도의 벡터는 기하적 벡터와 방향이 같지 않다.
아래의 예시에서 두 물체는 충돌하지 않는 것을 알 수 있다.





예제1

그림과 같이 y축상의 $y=L$인 점에서 물체 A를 $-y$방향으로 속력 v_0으로, x축상의 $x=L_0$인 점에서 물체 B를 x축과 30°의 각을 이루며 속력 $2v_0$으로 동시에 발사시켰다. A, B는 xy평면에서 같은 가속도로 각각 등가속도 운동을 하여 원점 O에 동시에 도달한다.



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

<보 기>

ㄱ. 발사 순간부터 O에 도달할 때까지 걸린 시간은 $\frac{\sqrt{3}L_0}{3v_0}$이다.

ㄴ. 가속도의 크기는 $\frac{\sqrt{3}v_0^2}{L_0}$이다.

ㄷ. $L=\frac{2\sqrt{3}}{3}L_0$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. A는 직선 운동을 하고, B를 통해 가속도는 $-y$방향이다. B는 포물선 운동을 하고, v_0, $t=1$로 생각하자.

B) x) $\sqrt{3}=L_0$이다. 따라서 $\frac{\sqrt{3}L_0}{3v_0}=1$이다. (O)

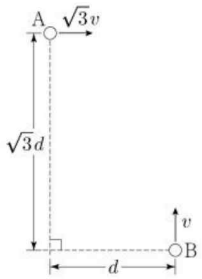
ㄴ. B) y) 등공① $a=\frac{2}{1}=2$이다. $\frac{\sqrt{3}v_0^2}{L_0}=1$이다. (X)

ㄷ. A가 B를 보면 대각선으로 다가온다.

기하적 성질을 통해 $L=\frac{2}{\sqrt{3}}L_0=\frac{2\sqrt{3}}{3}L_0$이다. (O)

예제2

그림은 수평 거리가 d이고 높이 차가 $\sqrt{3}d$인 두 지점에서 시간 $t=0$일 때, 물체 A는 수평 방향으로 $\sqrt{3}v$의 속력으로, 물체 B는 연직 위 방향으로 v의 속력으로 동시에 던져지는 것을 나타낸 것이다. A, B는 던져진 순간부터 각각 포물선 운동, 등가속도 직선 운동을 한다. $t=t_0$일 때, A와 B 사이의 거리는 최소가 된다.

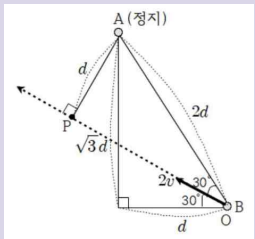


t_0은? (단, 물체의 크기는 무시하고, A와 B는 동일 연직면상에서 운동한다.)

① $\frac{\sqrt{2}d}{2v}$ ② $\frac{\sqrt{3}d}{2v}$ ③ $\frac{d}{v}$ ④ $\frac{\sqrt{5}d}{2v}$ ⑤ $\frac{\sqrt{6}d}{2v}$

해설

서로의 가속도가 동일하므로 상대 속도를 생각해보자.
또한 A와 B 사이의 거리가 최소라는 것은 v_{AB} 벡터가 A와 수직 직선일 때를 의미한다.



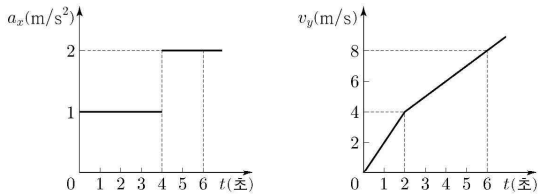
AB가 이루는 각은 60°이고, v_{AB}가 이루는 각은 30°이다.
BP의 거리는 $\sqrt{3}d$이므로

AB) $2vt=\sqrt{3}d$에서 $t=\frac{\sqrt{3}d}{2v}$이다.

유형 01 그래프 제시

01 2022학년도 6월 13번 정답률 60%

13. 그림은 물체가 힘을 받아 xy평면에서 운동할 때, 가속도의 x성분 a_x와 속도의 y성분 v_y를 각각 시간 t에 따라 나타낸 것이다. $t=0$일 때 물체는 정지해 있고, 물체의 질량은 1kg이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 알짜힘의 크기는 1초일 때가 3초일 때보다 크다.
ㄴ. 2초일 때, 물체의 운동 에너지는 20J이다.
ㄷ. 4초부터 6초까지 알짜힘이 한 일은 38J이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. 표를 통해 가속도 성분은 다음과 같다.
- 1초일 때 $a=(1,2)$
- 3초일 때 $a=(1,1)$

따라서 알짜힘의 크기는 1초일 때가 3초일 때 보다 크다. (O)

ㄴ. 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}\cdot 1\cdot(2^2+4^2)=10J$ (X)

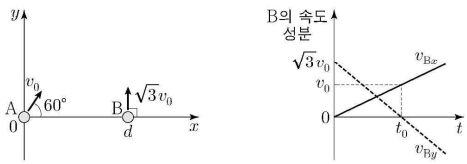
ㄷ. 알짜힘이 한 일은 운동 에너지 변화량과 같다.

$\frac{1}{2}\cdot 1\cdot(8^2+8^2-4^2-6^2)=38J$ (O)

$v_{6,x}\ v_{6,y}\ \ v_{4,x}\ \ v_{4,y}$

02 2022학년도 수능 20번 정답률 44%

20. 그림 (가)와 같이 시간 $t=0$일 때 원점에서 물체 A를 x축과 $60°$의 각을 이루며 속력 v_0으로, x축상의 $x=d$인 점에서 물체 B를 $+y$방향으로 속력 $\sqrt{3}v_0$으로 발사하였다. A, B는 xy평면에서 같은 가속도로 각각 등가속도 운동을 한다. 그림 (나)는 B의 속도의 x성분 v_{Bx}와 y성분 v_{By}를 t에 따라 나타낸 것이다.



(가) (나)

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

<보 기>

ㄱ. A의 가속도의 크기는 $\frac{2v_0}{t_0}$이다.

ㄴ. A는 x축상의 $x=\frac{3}{8}v_0t_0$인 점을 지난다.

ㄷ. $t=\frac{d}{2v_0}$일 때, A와 B 사이의 거리는 최소가 된다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

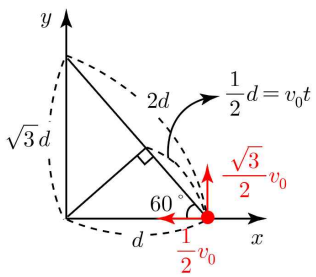
정 답 ⑤

해 설 각 축을 비교하여 문제를 해결해보자.

ㄱ. A의 가속도는 B의 가속도와 같으므로 $a=\frac{2v_0}{t_0}$이다. (O)

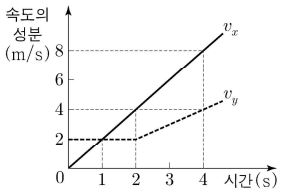
ㄴ. A의 초기 속도를 분해해보면 $v_x=\frac{1}{2}v_0$, $v_y=\frac{\sqrt{3}}{2}v_0$이다.
A가 수평면에 도달할 때 y축 속도 변화량은 $\sqrt{3}v_0$이므로 t_0가 걸린다. x축 속도 변화는 v_0만큼 증가하므로 $v_x=\frac{3}{2}v_0$
이고, 평균 속력을 계산해보면 $x=v_0t_0$이다. (X)

ㄷ. A와 B의 가속도가 동일하므로 상대 속도를 생각해보자.
상대 속도를 통하여 직선 거리일 때가 거리의 최소이다.
상대 속도를 분해하보면 $60°$의 각이다. AB사이의 거리가 d(빗면)이므로 $t=\frac{d}{2v_0}$이다. (O)



03 2023학년도 6월 13번 정답률 48%

13. 그림은 질량이 1 kg인 물체가 힘을 받아 xy 평면에서 운동할 때, 속도의 x 성분 v_x와 y 성분 v_y를 시간에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 물체의 가속도의 크기는 1초일 때가 3초일 때의 $\frac{2}{3}$배이다.
ㄴ. 2초부터 4초까지 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 30 J이다.
ㄷ. 2초부터 4초까지 물체는 직선 경로를 따라 운동한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. $a_1=(2,0)$, $a_3=(2,1)$ → $a=\frac{2}{\sqrt{5}}$ (X)

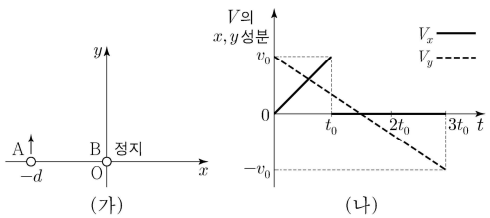
ㄴ. 알짜힘이 한 일은 운동 에너지 변화량과 같다.

$W_{net}=\frac{1}{2}(64-16+16-4)=30J$ (O)

ㄷ. $v_2=(4,2)$, $a=(2,1)$로 성분 벡터가 같으므로 직선 경로를 따라 운동한다. (O)

04 2024학년도 수능 20번 정답률 40%

20. 그림 (가)와 같이 xy 평면에서 시간 $t=0$일 때 물체 A는 $+y$ 방향으로 x 축상의 $x=-d$인 점을 지나고, 물체 B는 원점 O에 정지해 있다. 정지해 있던 B는 $t=t_0$일 때 O에서 $+x$ 방향으로 속력 v_0으로 출발한다. A와 B는 각각 운동하는 동안 서로 다른 가속도로 등가속도 운동을 하다가 $t=3t_0$일 때 x 축에서 만난다. 그림 (나)는 A, B의 속도의 차(A의 속도 − B의 속도)를 V라 할 때, V의 x, y 성분 V_x, V_y를 각각 t에 따라 나타낸 것이다.



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

<보 기>

ㄱ. $t=2t_0$일 때 B의 속력은 $2v_0$이다.
ㄴ. $d=v_0t_0$이다.
ㄷ. A는 y 축상의 $y=\frac{4}{3}d$인 점을 지난다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

STEP1 A의 가속도와 속도 분석

$a_A(+1, -\frac{2}{3})$, $V_0(0, +1)$, $V_{t_0}(+1, +\frac{1}{3})$이다.

STEP2 B의 가속도와 속도 분석

상대 기울기와 상대 속도를 통하여 구할 수 있다.

$a_B(+1, 0)$, $V_{t_0}(+1, 0)$이다.

ㄱ. $t=2t_0$일 때 B의 속력은 $2v_0$이다. (O)

ㄴ. B의 x축에 대해서 평균 속도를 사용하면

$x=\frac{v_0+3v_0}{2}2t_0=4v_0t_0$

A의 x축에 대해서 평균 속도를 사용하면

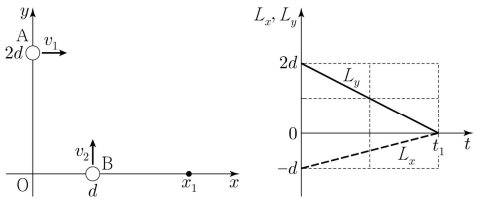
$x+d=\frac{3v_0}{2}3t_0=\frac{9}{2}v_0t_0$에서 $d=\frac{1}{2}v_0t_0$이다. (X)

ㄷ. A가 $x=0$이 되는 시간은 $d=\frac{1}{2}v_0t_0=\frac{1}{2}\frac{v_0}{t_0}T^2$에서

$T=t_0$이고, y축에 대하여 0부터 t_0까지 평균 속도를 사용하면 $\frac{2}{3}v_0t_0=\frac{4}{3}d$이다. (O)

05 2025학년도 수능 20번 정답률 31%

20. 그림 (가)와 같이 xy 평면에서 시간 $t=0$일 때 물체 A는 $+x$ 방향으로 속력 v_1로 y 축상의 $y=2d$인 점을 지나고, 물체 B는 $+y$ 방향으로 속력 v_2로 x 축상의 $x=d$인 점을 지난다. A와 B는 각각 등가속도 운동을 하다가, $t=t_1$일 때 $+x$ 축상의 $x=x_1$인 점에서 만난다. 이때 A의 속도의 x 성분 크기는 y 성분 크기의 $\frac{9}{4}$ 배이다. 그림 (나)는 A, B의 위치를 각각 (A_x, A_y), (B_x, B_y)라 할 때, $L_x=A_x-B_x$, $L_y=A_y-B_y$를 t에 따라 나타낸 것이다.



(가)

(나)

x_1은? (단, 물체의 크기는 무시한다.) [3점]

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

정 답 ①

해 설

상대 속도를 통해 $v_2=2v$, $v_1=v$라고 가정할 수 있다.
그리고 조건에 의해 $x=x_1$에서 A의 속력을 $v_x=9v'$, $v_y=4v'$이라고 가정해보자.

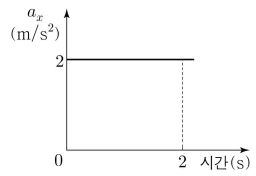
AB) $vt=d$

A) y) $2v't=2d \rightarrow v'=v$

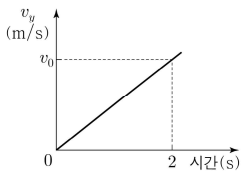
A) x) $\frac{v_1+9v'}{2}t=5vt=5d=x_1$이므로 $x_1=5d$이다.

06 2026학년도 6월 3번 정답률 94%

3. 그림 (가)와 (나)는 xy 평면에서 등가속도 운동을 하는 물체의 가속도의 x 성분 a_x와 속도의 y 성분 v_y를 각각 시간에 따라 나타낸 것이다. 가속도의 크기는 $2\sqrt{2}\,\mathrm{m/s^2}$이다.



(가)



(나)

(나)에서 v_0은? [3점]

① 2 ② 4 ③ 6 ④ 8 ⑤ 10

정 답 ②

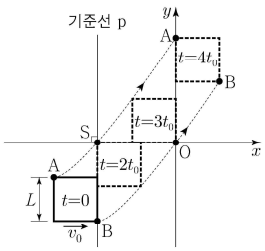
해 설

$a_x=2$이므로 $a_y=2$이다. 따라서 $v_y=4$이다.

유형 02 운동이 변하지 않는 상황

01 2023학년도 6월 20번 정답률 25%

20. 그림은 xy평면에서 한 변의 길이가 L인 정사각형 고리의 꼭짓점 A, B가 등가속도 운동하는 모습을 나타낸 것이다. 시간 $t=0$일 때 고리의 한 변은 기준선 p를 지나고, 이때 고리의 속력은 v_0이고 운동 방향은 $+x$방향이다. 점 S는 p와 x축이 만나는 점이다. 표는 A, B의 운동에 대한 자료이다.



시간 t	A, B의 운동
0	B는 p를 지난다.
$2t_0$	A는 S를 지난다.
$3t_0$	B는 원점 O를 지난다.
$4t_0$	A는 y축을 지난다.

$t=3t_0$일 때, B의 속력은?

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

정 답 ③

해 설

STEP1 x축 분석

$v_{t_0}=\frac{L_0}{2t_0}$, $v_{3.5t_0}=\frac{L_0}{t_0}$ → $a_x=\frac{\frac{L_0}{t_0}-\frac{L_0}{2t_0}}{2.5t_0}=\frac{L_0}{5t_0^2}$

등공①) $v_{t_0}=\frac{L}{2t_0}=v_0+\frac{L_0}{5t_0}$ → $v_0=\frac{3L_0}{10t_0}$

등공①) $v_x=v_0+\frac{L_0}{5t_0^2}\cdot 3t_0=v_0+\frac{3L_0}{5t_0}=3v_0$

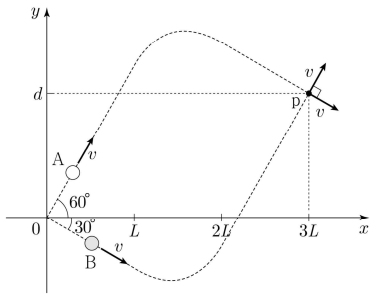
STEP2 y축 분석

등공②) $L_0=\frac{1}{2}a_y[(3t_0)^2-(2t_0)^2]$ → $a_y=\frac{2L_0}{5t_0^2}$

등공①) $v_y=\frac{2L_0}{5t_0^2}\cdot 3t_0=4v_0$ → $\therefore v_{3t_0}=5v$

02 2023학년도 9월 20번 정답률 29%

20. 그림과 같이 원점에서 물체 A, B를 x축과 각각 60°, 30°의 각을 이루며 속력 v로 동시에 발사하였다. xy평면상에서 운동하는 A, B는 $0\le x<L$에서 등속도 운동, $L\le x\le 2L$에서 등가속도 운동, $x>2L$에서 등속도 운동을 하여 점 p에서 만난다. p에서 두 물체의 속력은 v로 같고 운동 방향은 서로 수직이다. A, B가 $L\le x\le 2L$을 지나는 데 걸린 시간은 서로 같다.



d는? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

① $\left(\frac{3\sqrt{3}}{2}-1\right)L$ ② $\left(\frac{1+2\sqrt{3}}{3}\right)L$ ③ $(2\sqrt{3}-2)L$

④ $\left(1+\frac{\sqrt{3}}{4}\right)L$ ⑤ $\left(2-\frac{\sqrt{3}}{3}\right)L$

정 답 ⑤

해 설

STEP1 조건 분석 (걸린 시간)

$L\sim 2L$에서 운동한 시간이 동일하려면 평균 속도가 동일하다.
따라서 A와 B의 x축 속도의 덧셈 값이 동일하다.

$\frac{1}{2}v+v\cos\theta=\frac{\sqrt{3}}{2}v+v\sin\theta$를 만족하는 $\theta=30^\circ$이다.
(단, θ는 p에서 수평면과 벡터가 이루는 각이다.)

STEP2 기하적 높이 (A로 분석)

$h_1=L\tan 60^\circ=\sqrt{3}L$, $h_3=L\tan 30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{3}L$

마지막으로 $v_{x=L}=(1,\sqrt{3})$, $v_{x=2L}=(\sqrt{3},-1)$라고 하자.

그러면 $\overline{m_1}=\frac{\sqrt{3}}{\frac{\sqrt{3}+1}{2}}=\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3}+1}$, $\overline{m_2}=\frac{-2}{\sqrt{3}+1}$이다

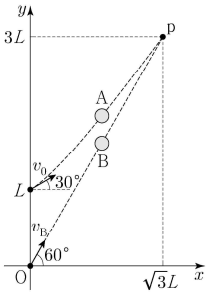
변위 기울기는 $\overline{m}=\frac{\sqrt{3}-1}{\sqrt{3}+1}=2-\sqrt{3}$이므로 $h_2=(2-\sqrt{3})L$

STEP3 정답

$d=\sqrt{3}+2-\sqrt{3}-\frac{\sqrt{3}}{3}=(2-\frac{\sqrt{3}}{3})L$

03 2023학년도 수능 12번 정답률 40%

12. 그림과 같이 y축상의 $y=L$인 점에서 물체 A를 x축과 30°의 각을 이루며 속력 v_0으로, 원점 O에서 물체 B를 x축과 60°의 각을 이루며 속력 v_B로 동시에 발사하였더니 A, B가 같은 가속도로 xy평면에서 각각 등가속도 운동을 하여 점 p에 동시에 도달한다.



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

<보 기>

ㄱ. $v_B=\dfrac{\sqrt{3}v_0}{2}$이다.

ㄴ. 발사 순간부터 p에 도달할 때까지 걸린 시간은 $\dfrac{L}{v_0}$이다.

ㄷ. 가속도의 크기는 $\dfrac{2\sqrt{3}v_0^2}{L}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설 A가 B를 보면 $+y$방향 직선 운동으로 다가온다.

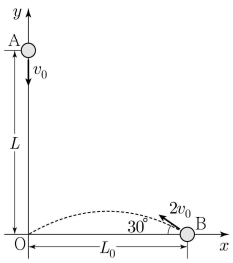
ㄱ. AB) x) $\dfrac{\sqrt{3}}{2}v_0=\dfrac{1}{2}v_B \rightarrow v_B=\sqrt{3}v_0$ (X)

ㄴ. AB) y) 상대 속도는 $v_0=1$라고 하고, $t=1$이면 $L=1$이다. (O)

ㄷ. 등공② $2\sqrt{3}=\sqrt{3}+\dfrac{1}{2}a$에서 $a=2\sqrt{3}$이다. (O)

04 2024학년도 6월 12번 정답률 47%

12. 그림과 같이 y축상의 $y=L$인 점에서 물체 A를 $-y$방향으로 속력 v_0으로, x축상의 $x=L_0$인 점에서 물체 B를 x축과 30°의 각을 이루며 속력 $2v_0$으로 동시에 발사시켰다. A, B는 xy평면에서 같은 가속도로 각각 등가속도 운동을 하여 원점 O에 동시에 도달한다.



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

<보 기>

ㄱ. 발사 순간부터 O에 도달할 때까지 걸린 시간은 $\dfrac{\sqrt{3}L_0}{3v_0}$이다.

ㄴ. 가속도의 크기는 $\dfrac{\sqrt{3}v_0^2}{L_0}$이다.

ㄷ. $L=\dfrac{2\sqrt{3}}{3}L_0$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. A는 직선 운동을 하고, B를 통해 가속도는 $-y$방향이다.
B는 포물선 운동을 하고, v_0, $t=1$로 생각해보자.

B) x) $\sqrt{3}=L_0$이다. 따라서 $\dfrac{\sqrt{3}L_0}{3v_0}=1$이 나온다. (O)

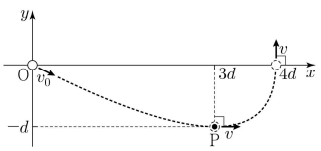
ㄴ. B) y) 등공①) $a=\dfrac{2}{1}=2$이다. $\dfrac{\sqrt{3}v_0^2}{L_0}=1$이다. (X)

ㄷ. A가 B를 보면 대각선으로 다가온다.

기하적 성질을 통해 $L=\dfrac{2}{\sqrt{3}}L_0=\dfrac{2\sqrt{3}}{3}L_0$이다. (O)

05 2025학년도 9월 20번 정답률 58%

20. 그림과 같이 xy평면에서 등가속도 운동하는 물체가 시간 $t=0$일 때, v_0의 속력으로 원점 O를 지난다. 물체가 점 P를 지날 때 $+x$방향으로 속력 v로 운동하고, x축상의 $x=4d$인 점을 지날 때 $+y$방향으로 속력 v로 운동한다.



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

<보 기>

ㄱ. 가속도의 크기는 $\frac{\sqrt{2}v^2}{2d}$이다.

ㄴ. $v_0=2v$이다.

ㄷ. O부터 P까지 이동하는 데 걸린 시간은 $\frac{3d}{v}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

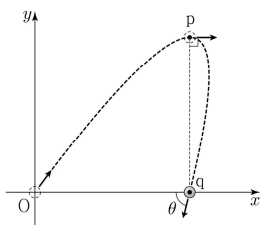
ㄱ. $x=3d\sim4d$를 통하여 같은 시간 동안 속도 변화량이 동일하므로 $a_x=a_y$임을 알 수 있다. 또한 답의 형태를 통해 등가속도 공식③을 사용하면 $a_x=\frac{v^2}{2d}$이므로 $a=\frac{\sqrt{2}v^2}{2d}$이다. (O)

ㄴ. O에서 x축 속도는 $2v$이므로 $v_0=\sqrt{5}v$이다. (X)

ㄷ. 평균 속도를 사용하면 $\frac{1}{2}vt=d$에서 $t=\frac{2d}{v}$이다. (X)

06 2026학년도 9월 14번 정답률 64%

14. 그림과 같이 등가속도 운동을 하는 물체가 xy평면에서 원점 O, 점 p, x축상의 점 q를 지난다. 물체의 가속도의 y성분 크기는 x성분 크기의 2배이다. p와 q의 x좌표는 서로 같고, 물체가 p를 지날 때 물체의 운동 방향은 x축과 나란하며, 물체가 q를 지날 때 물체의 운동 방향이 x축과 이루는 각은 θ이다.



$\tan\theta$는? (단, 물체의 크기는 무시한다.) [3점]

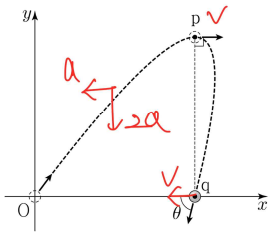
① 2 ② 4 ③ 6 ④ 8 ⑤ 10

정 답 ②

해 설

가속도 조건에 따라 x축 속도 변화가 $2v$이면 y축의 속도 변화는 $4v$이다.

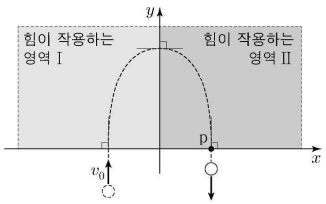
따라서 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}=4$이다.



유형 03 운동이 변하는 상황

01 2022학년도 수능 9번 정답률 79%

9. 그림과 같이 $+y$방향으로 속력 v_0으로 등속도 운동을 하던 입자가 힘이 작용하는 영역 Ⅰ, Ⅱ에서 각각 포물선 운동을 하여 x축상의 점 p를 지난다. 입자는 xy평면에서 운동하고, Ⅰ에서 운동 에너지 감소량은 Ⅱ에서 운동 에너지 증가량과 같다.



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

<보 기>

ㄱ. p에서 입자의 속력은 v_0이다.
ㄴ. 입자에 작용하는 알짜힘의 x성분의 방향은 Ⅰ에서와 Ⅱ에서가 서로 반대이다.
ㄷ. 입자에 작용하는 알짜힘의 y성분의 크기는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설 시간적 조건이 없으므로 등공③으로 생각해보자.

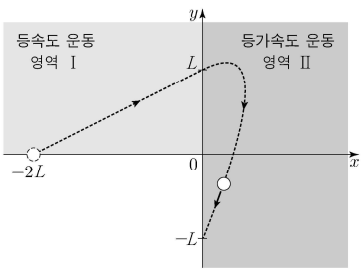
ㄱ. 조건을 보면 Ⅰ에서 운동 에너지 감소량은 Ⅱ에서 운동 에너지 증가량과 같다. 따라서 p에서의 속력도 v_0가 된다. (O)

ㄴ. 가속도의 방향은 반대가 된다. (O)

ㄷ. 가속도의 크기는 같다. (X)

02 2024학년도 9월 17번 정답률 53%

17. 그림과 같이 x축상의 $x=-2L$인 지점에서 발사된 물체가 y축상의 $y=L$인 지점을 지나 y축상의 $y=-L$인 지점에 도달한다. 물체는 xy평면상의 영역 Ⅰ, Ⅱ에서 각각 등속도 운동과 등가속도 운동을 한다. 물체가 Ⅰ, Ⅱ에서 운동하는 데 걸린 시간은 같고, Ⅱ에서 가속도의 x, y성분은 각각 a_x, a_y이다.



$\frac{a_y}{a_x}$는? (단, 물체의 크기는 무시한다.) [3점]

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

정 답 ②

해 설

STEP1 영역Ⅰ

기하적 모양을 통해 $v_x=2v=2$, $v_y=v=1$라고 할 수 있다.

(등속도식을 만족하기 위해 $v=1$, $t=1$, $L=1$로 셋팅하자.)

STEP2 영역Ⅱ (조건에 의해 영역Ⅱ 운동 시간은 1이다.)

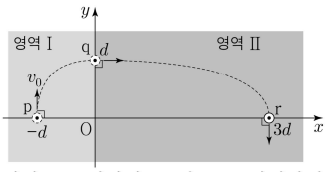
x) 0.5초 후에 속력이 0이 되므로 $a_x=2$이다.

y) 등공② $2=\frac{1}{2}a_y-1$에서 $a_y=6$이다.

따라서 $\frac{a_y}{a_x}=\frac{3}{2}$이다.

03 2026학년도 6월 16번 정답률 79%

16. 그림과 같이 x축상의 $x=-d$인 점 p에서 $+y$방향으로 속력 v_0으로 발사된 물체가 y축상의 $y=d$인 점 q를 $+x$방향으로 지나, x축상의 $x=3d$인 점 r를 $-y$방향으로 지난다. 물체는 xy평면상의 영역 Ⅰ, Ⅱ에서 가속도의 크기가 각각 a_1, a_2인 등가속도 운동을 한다.



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

<보 기>

ㄱ. 물체가 q에서 r까지 이동하는 데 걸린 시간은 p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간의 3배이다.

ㄴ. r에서 물체의 속력은 $\frac{v_0}{3}$이다.

ㄷ. $a_1 < a_2$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

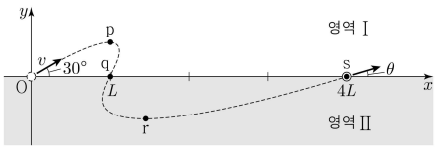
ㄱ. 시간이 있고, 가속도가 없으므로 등공④를 이용해서 비교하자. x축에 대해서 평균 속도의 비는 1:1이고, 이동 거리의 비가 1:3이므로 걸린 시간의 비는 1:3이다. (O)

ㄴ. 영역 Ⅰ에서 x축과 y축에 대해서 이동 거리의 비가 1:1이므로 평균 속력의 비는 1:1이다. 따라서 q에서 x축 속도는 v_0이다.
영역 Ⅱ에서 x축과 y축에 대해서 이동 거리의 비가 3:1이므로 평균 속력의 비는 3:1이다. x축의 평균 속력은 $\frac{v_0}{2}$이므로 y축의 평균 속력은 $\frac{v_0}{6}$이다. 따라서 $v_r=\frac{v_0}{3}$이다. (O)

ㄷ. 등공①을 이용하면
$a_1=\sqrt{2}$, $a_2=\frac{1}{3}\sqrt{1+\frac{1}{9}}=\frac{\sqrt{10}}{9}$이다. (X)

04 2026학년도 수능 17번 정답률 72%

17. 그림과 같이 xy평면의 원점 O에서 물체를 x축과 30°의 각을 이루며 속력 v로 발사하였더니, 물체가 점 p, q, r를 지나, x축과 θ의 각을 이루며 점 s를 지난다. 물체는 xy평면상의 영역 Ⅰ, Ⅱ에서 가속도가 서로 다른 등가속도 운동을 한다. p와 r는 각각 Ⅰ, Ⅱ에서 x축과 물체 사이의 거리가 최대인 점이고, q와 s는 각각 $x=L$, $x=4L$인 x축상의 점이다. p와 y축 사이의 거리는 L이고, $\tan\theta=\frac{1}{2\sqrt{3}}$이다.



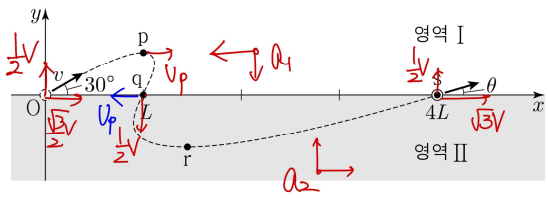
r와 x축 사이의 거리는? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

① $\frac{3\sqrt{3}}{10}L$ ② $\frac{7\sqrt{3}}{20}L$ ③ $\frac{2\sqrt{3}}{5}L$ ④ $\frac{9\sqrt{3}}{20}L$ ⑤ $\frac{\sqrt{3}}{2}L$

정 답 ①

해 설

$\tan\theta=\frac{1}{2\sqrt{3}}=\frac{\frac{1}{2}v}{v_x}$ ⇒ $v_x=\frac{1}{2}v\times 2\sqrt{3}=\sqrt{3}v$이다.



1. 영역Ⅰ의 분석

x축) $\frac{\sqrt{3}}{2}v$, $-v_p$의 평균이 v_p이므로 $\frac{\sqrt{3}}{2}v-v_p=2v_p$에서

$v_p=\frac{\sqrt{3}}{6}v$이다.

2. 영역Ⅱ의 분석

x축) 등공 ④) $\left(\sqrt{3}-\frac{\sqrt{3}}{6}\right)vt=3L$ ⇒ $vt=\frac{18L}{5\sqrt{3}}$

y축) 등공 ④) $h=\frac{1}{2}vt=\frac{3\sqrt{3}}{10}L$이다.

PART 6
등속 원운동

개념 유형

01. 등속 원운동
02. 상대적 거리

기출 유형

01. 단순 개념
02. 원운동 그래프

THEME

1 — 등속 원운동

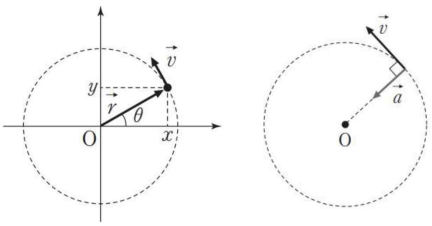
정리1 등속 원운동

개념1 등속 원운동의 수학적 표현

STEP1 위치 : $\vec{r} = (r\cos\theta, r\sin\theta) = (r\cos wt, r\sin wt)$

STEP2 속도 : $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = wr(-\sin wt, \cos wt)$ → $v = rw$

STEP3 가속도 : $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = -w^2 r(\cos wt, \sin wt) = -w^2\vec{r}$ → $a = rw^2$



개념2 속도와 가속도의 특징

① 속도의 방향은 접선 방향이고, 속도의 크기가 일정하다.
② 가속도의 방향은 구심 방향이고, 가속도의 크기가 일정하다.
③ 구심력은 알짜힘이다. 원심력은 물체가 느끼는 관성력으로, 구심 반대 방향으로 작용하는 것처럼 느껴진다.
④ 구심력은 $F = m\frac{v^2}{r} = \frac{2K}{r}$으로 표현할 수 있다.

	접선 속도	구심 가속도
방향	변함(접선)	변함(구심)
크기	일정(v)	일정($a = \frac{v^2}{r} = rw^2$)

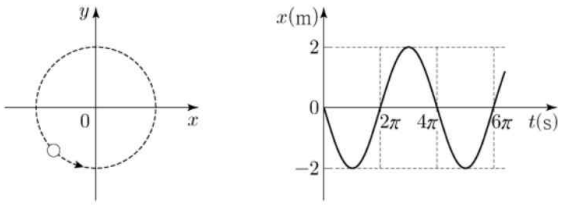
개념3 등속 원운동의 물리량

어떤 공식을 사용할 지는 등가속도 알고리즘을 생각하면 좋다. 동일하게 시간, 속도, 거리, 가속도가 들어있기 때문이다.

물리량	정의	단위
주기(T)	물체가 한 바퀴 회전하는 데 걸리는 시간 $T = \frac{2\pi r}{v} = 2\pi\sqrt{\frac{r}{a}}$	s (초)
진동수(f)	1초 동안 회전하는 횟수, $f = \frac{1}{T}$	Hz (헤르츠)
접선 속도(v)	$v = \sqrt{ar} = \frac{2\pi r}{T}$	m/s
각속도(w)	$w = \frac{2\pi}{T}$	rad/s
구심 가속도(a)	$a = \frac{v^2}{r} = rw^2 = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$	m/s^2

예제1

그림 (가)는 xy평면에서 원점을 중심으로 등속 원운동을 하는 물체를 나타낸 것이고, (나)는 (가)에서 물체 위치의 x성분을 시간 t에 따라 나타낸 것이다.



(가) (나)

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

<보 기>

ㄱ. 각속도의 크기는 $1rad/s$이다.
ㄴ. 속력은 $1m/s$이다.
ㄷ. 가속도의 크기는 $1m/s^2$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

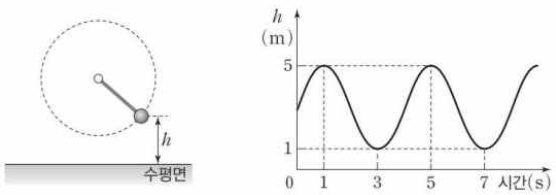
ㄱ. 주기가 4π이므로 $w=\frac{2\pi}{T}=\frac{1}{2}rad/s$이다. (X)

ㄴ. $v=rw=1m/s$이다. (O)

ㄷ. $a=rw^2=\frac{1}{2}m/s^2$이다. (X)

예제2

그림 (가)는 연직면에서 막대에 연결된 물체가 일정한 속력으로 원운동을 하는 모습을 나타낸 것이고, (나)는 수평면으로부터 물체의 높이 h를 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가) (나)

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

<보 기>

ㄱ. 물체의 속력은 $\pi m/s$이다.
ㄴ. 2초일 때 물체의 가속도의 크기는 $\frac{\pi^2}{2}m/s^2$이다.
ㄷ. 막대가 물체에 작용하는 힘의 방향은 3초일 때와 5초일 때가 같다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. $v=\frac{2\pi r}{T}=\frac{2\pi\times 2}{4}=\pi m/s$이다. (O)

ㄴ. $a=\frac{v^2}{r}=\frac{\pi^2}{2}m/s^2$이다. (O)

ㄷ. 물체의 구심 가속도의 크기는 $\frac{\pi^2}{2}$로써 중력 가속도보다 작다.

STEP1 3초일 때
물체가 3초일 때 최하점에 놓여있고 중력은 아래 방향이므로 막대가 물체에게 작용하는 힘의 방향은 위쪽이어야만 한다

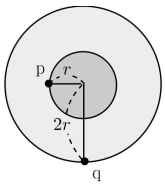
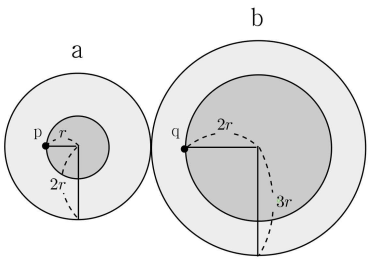
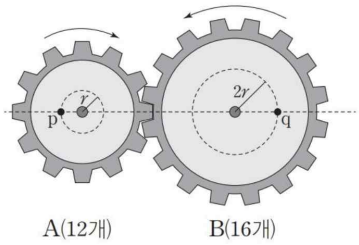
STEP2 5초일 때
중력이 구심력보다 크므로 막대가 물체에게 작용하는 힘의 방향은 위쪽이어야만 한다. (O)

실은 항상 물체를 잡아당기지만, 그 외의 물건들은 물체를 밀 수도 있다. (토크에서 장력 분배에서도 나옴)

정리2 여러 가지 원운동

개념1 간단한 원운동

한 개의 원운동에서는 반지름에 상관없이 주기가 동일하다.
두 개의 원운동에서는 접하고 있는 원의 겉면에 따라 주기가 정해진다.

한 개의 원	두 개의 원	두 개의 바퀴
		

A(12개) B(16개)

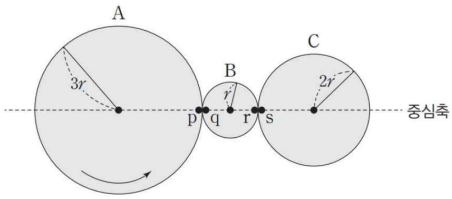
주기	p : q = 1 : 1
속력($v \propto \frac{s}{t}$)	p : q = 1 : 2
구심 가속도($a \propto \frac{s}{t^2}$)	p : q = 1 : 2

속력($v \propto \frac{s}{t}$)	a : b = 1 : 1 p : q = 3 : 4
회전 주기($t \propto \frac{s}{v}$)	a : b = 2 : 3 p : q = 2 : 3
구심 가속도($a \propto \frac{s}{t^2}$)	a : b = 3 : 2 p : q = 9 : 8

속력($v \propto \frac{s}{t}$)	p : q = 2 : 3
회전 주기($t \propto \frac{s}{v}$)	p : q = 3 : 4
구심 가속도($a \propto \frac{s}{t^2}$)	p : q = 8 : 9

개념2 복잡한 원운동

그림은 원 A는 반시계 방향으로 회전하고 있고, 원 B의 주기가 2초인 상황이다.



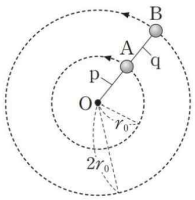
① 주기
반지름의 비에 따라 $T_A = 6$, $T_B = 2$, $T_C = 4$가 된다.

② 회전 방향
A의 회전 방향은 시계 반대 방향이므로 B의 회전 방향은 시계 방향이고 C의 회전 방향은 시계 반대 방향이다.

③ p와 q, r와 s가 중심축상에서 다시 처음으로 동시에 만나는 시간
반지름은 C가 B의 2배이므로 C의 주기는 4초이다. p와 q, r와 s가 중심축상에서 다시 처음으로 동시에 만나는 시각은 A, B, C 주기의 최소 공배수일 때이다. 따라서 12초 일 때이다.

예제3

그림과 같이 마찰이 없는 수평면에서 실 p, q로 연결된 물체 A, B가 같은 각속도로 등속 원운동을 하고 있다. A, B의 원운동의 반지름은 각각 r_0, $2r_0$이고, A, B의 질량은 서로 같다.



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

<보 기>

ㄱ. 속력은 A가 B보다 작다.
ㄴ. 구심 가속도의 크기는 B가 A의 2배이다.
ㄷ. p가 A를 당기는 힘의 크기는 q가 B를 당기는 힘의 크기의 $\frac{3}{2}$배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. $v=rw$에 의하여 속력은 A < B이다. (O)

ㄴ. $a=rw^2$에 의하여 A와 B 거리의 비가 $1:2$이므로 구심 가속도의 크기 비도 $1:2$이다. (O)

ㄷ. B의 관성계) $T_q-2f=0$ (단, f는 원심력)
A의 관성계) $T_p-T_q-f=0$이므로 $T_p=3f$이다.
따라서 $\frac{T_p}{T_q}=\frac{3}{2}$이다. (O)

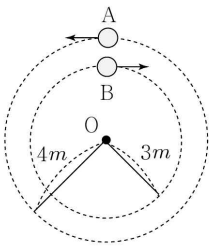
THEME

2 — 상대적 거리

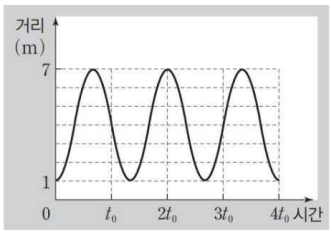
정리1 상대적 거리

개념1 서로 반대 방향으로 진행하는 두 물체

그림 (가)는 점 O를 중심으로 서로 반대 방향으로 궤도 반지름이 각각 $4m$, $3m$인 등속 원운동을 하는 물체 A, B의 어느 순간의 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 A가 1회전하는 동안 A와 B 사이의 거리를 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

그림 (나)를 통하여 A와 B의 충돌까지 걸린 시간은 $\frac{4}{3}t_0$이다.

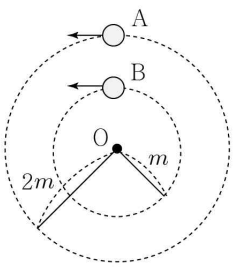
A와 B의 각속도를 각각 w_A, w_B라고 하면, A와 B가 만날 때까지 이동한 각도의 합은 2π이다.

따라서 $(w_A+w_B)\frac{4}{3}t_0=2\pi$를 만족한다.

조건에 의하여 A의 주기는 $4t_0$이므로 $w_A=\frac{2\pi}{4t_0}=\frac{\pi}{2t_0}$이고, $w_B=\frac{\pi}{t_0}$이므로 B의 주기는 $2t_0$이다.

개념2 서로 같은 방향으로 진행하는 두 물체

그림은 점 O를 중심으로 서로 같은 방향으로 궤도 반지름이 각각 $2m$, $1m$인 등속 원운동을 하는 물체 A, B의 어느 순간의 모습을 나타낸 것이다. A, B의 주기는 4초와 1초이다. 언제 처음으로 어디서 겹치는 지 구하시오.



A의 각속도는 $w_A=\frac{2\pi}{4}=\frac{\pi}{2}$이고, B의 각속도는 $w_B=\frac{2\pi}{1}=2\pi$이다.

$(w_B-w_A)t=2\pi$에서 $t=\frac{4}{3}$초이다. B는 $\frac{1}{3}$초마다 120°씩 회전하므로 y축으로부터 왼쪽으로 120°만큼 회전한 곳에서 만난다.

유형 01 단순 개념

01 2022학년도 9월 1번 정답률 88%

1. 그림은 등속 원운동을 하는 물체에 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

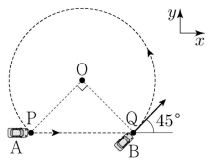
정 답 ⑤

해 설

A. 구심력의 크기는 일정하다. (O)
B. 가속도의 방향은 원의 중심 방향이다. (O)
C. 속력은 일정하다. (O)

02 2024학년도 9월 15번 정답률 48%

15. 그림과 같이 점 P에 정지해 있던 자동차 A가 점 Q를 향해 등가속도 직선 운동을 시작하는 순간, xy평면에서 점 O를 중심으로 등속 원운동을 하는 자동차 B가 x축과 45°의 각을 이루며 Q를 지난다. A가 P에서 Q까지 등가속도 운동하는 데 걸린 시간과 B가 Q에서 P까지 운동하는 데 걸린 시간은 같다. A의 가속도의 크기는 a_0이다.



B의 구심 가속도의 크기는? (단, A, B의 크기는 무시한다.)

① $\frac{\sqrt{2}\pi^2}{16}a_0$ ② $\frac{3\sqrt{2}\pi^2}{16}a_0$ ③ $\frac{5\sqrt{2}\pi^2}{16}a_0$
④ $\frac{7\sqrt{2}\pi^2}{16}a_0$ ⑤ $\frac{9\sqrt{2}\pi^2}{16}a_0$

정 답 ⑤

해 설

A와 B의 가속도 관계를 구하려면 사용되는 등가속도 공식 형태가 동일해야한다.
정보가 나와있는 A에 대해서 생각해보면 시간이 있고, 가속도가 있고, 변위가 있으므로 등공②에서 $\sqrt{2}r=\frac{1}{2}a_0t^2$를 만족한다.
B에 대해서도 등공②의 형태가 되어야 약분이 되므로
$a_B=\frac{4\pi^2r}{T^2}=\frac{4\pi^2r}{\frac{16}{9}t^2}=\frac{9r}{4t^2}=\frac{9\sqrt{2}}{16}a_0$이다.
(B가 QP를 진행하는 데 걸린 시간을 t라고 가정했으므로 한 바퀴를 회전하는 데 걸린 시간은 $\frac{4}{3}t$이다.)

03 2025학년도 6월 2번 정답률 82%

2. 그림은 일정한 각속도로 회전하는 팽이에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다. 점 P, Q는 팽이에 고정된 점이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은? [3점]

① A ② C ③ A, B ④ B, C ⑤ A, B, C

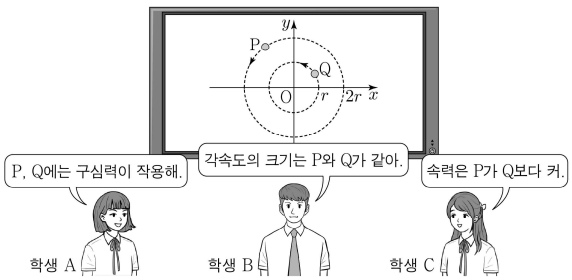
정 답 ③

해 설

A. P의 속력은 일정하다. (O)
B. 속력은 Q가 P보다 크다. (O)
C. Q의 구심 가속도 방향은 운동 방향에 수직이다. (X)

04 2026학년도 6월 2번 정답률 93%

2. 그림은 xy 평면에서 원점 O를 중심으로 반지름이 각각 $2r$, r인 원 궤도를 따라 같은 주기로 등속 원운동을 하는 물체 P, Q에 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

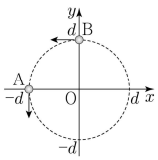
정 답 ⑤

해 설

ㄱ. P, Q는 구심 방향으로 구심력이 작용한다. (O)
ㄴ. 각속도의 크기는 $w=\frac{2\pi}{T}$이므로 동일하다. (O)
ㄷ. $v=rw$에 의하여 반지름이 큰 P > Q이다. (O)

05 2026학년도 수능 6번 정답률 76%

6. 그림과 같이 xy평면에서 물체 A, B가 각각 원점 O를 중심으로 반지름이 d인 원 궤도를 따라 등속 원운동을 한다. 시각 $t=0$일 때 A, B는 각각 x축상의 $x=-d$인 점, y축상의 $y=d$인 점을 지나고, $t=t_0$일 때 A, B가 처음 만난다. 속력은 A가 B보다 작고, B의 주기는 t_0이다.



$t=0$부터 t_0까지, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기는 무시한다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. 이동 거리는 A가 B보다 작다.
ㄴ. 각속도의 크기는 A가 B보다 작다.
ㄷ. 구심 가속도의 크기는 A가 B의 $\frac{3}{4}$배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

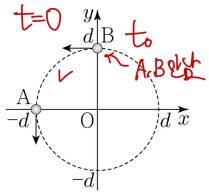
정 답 ③

해 설

ㄱ. 이동 거리는 A < B이다. (O)

ㄴ. $v=rw$에 의하여 $w_A < w_B$이다. (O)

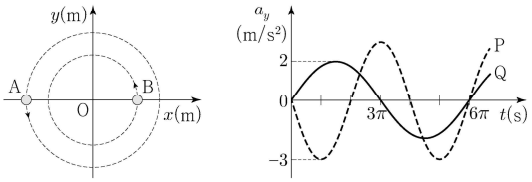
ㄷ. $\frac{a_B}{a_A}=\frac{v_B^2}{v_A^2}=\frac{4^2}{3^2}=\frac{16}{9}$이다. ()X



유형 02 원운동 그래프

01 2023학년도 6월 14번 정답률 56%

14. 그림 (가)는 xy 평면에서 원점 O를 중심으로 등속 원운동을 하는 두 물체 A, B가 시간 $t=0$일 때 x축을 지나는 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 t에 따른 A, B의 가속도의 y성분 a_y를 순서 없이 P, Q로 나타낸 것이다.



(가) (나)

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

<보 기>

ㄱ. Q는 A의 가속도의 y성분을 나타낸 것이다.
ㄴ. B의 속력은 3m/s이다.
ㄷ. $t=3\pi$초일 때 B의 운동 방향은 $-x$방향이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

(가)에서는 정보가 없으므로 (나)를 통해서 접근하자.

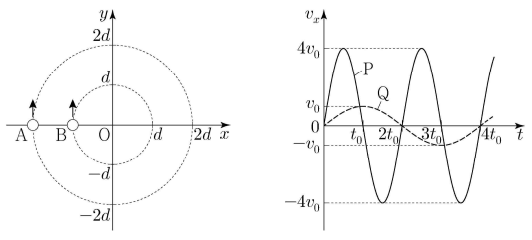
ㄱ. 시간이 있고, 가속도가 있고, 거리가 있으므로 등공②이다.
$r \propto at^2$을 이용하면 P : Q = 2 : 3이므로 P = B, Q = A이다. (O)

ㄴ. $a=\frac{4\pi^2 r}{T^2} \rightarrow 3=\frac{4\pi^2 r}{16\pi^2} \rightarrow r=12m$이고,
$v=\frac{2\pi r}{T}=\frac{2\pi \cdot 12}{4\pi}=12m/s$이다. (X)

ㄷ. $t=3\pi$일 때 B의 위치는 가속도 방향과 위상이 반대다.
따라서 $-y$인 지점에 위치하고 있다.
반시계 방향으로 회전하고 있으므로 B의 운동 방향은
$+x$방향이다. (X)

02 2024학년도 수능 9번 정답률 60%

9. 그림 (가)는 xy 평면에서 원점 O를 중심으로 반지름이 각각 $2d$, d인 원 궤도를 따라 등속 원운동을 하는 물체 A, B가 시간 $t=0$일 때 x축을 지나는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 t에 따른 A, B의 속도의 x성분 v_x를 순서 없이 P, Q로 나타낸 것이다. A에 작용하는 구심력의 크기는 B에 작용하는 구심력의 크기의 2배이다.



(가) (나)

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

<보 기>

ㄱ. P는 A의 v_x이다.
ㄴ. 가속도의 크기는 A가 B의 8배이다.
ㄷ. 질량은 A가 B의 $\frac{1}{4}$배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

(가)에서는 정보가 없으므로 (나)를 통해서 접근하자.

ㄱ. 시간이 있고, 가속도가 없으므로 등공④이다.
P와 Q의 속력비가 4 : 1이고 주기비가 1 : 2이므로 반지름비는 2 : 1이다. 따라서 P는 A이다. (O)

ㄴ. 등공①을 사용하면 A와 B의 속력의 비는 4 : 1이고, 주기의 비는 1 : 2이므로 가속도비는 8 : 1이다. (O)

ㄷ. 알짜힘과 가속도를 알고 있으므로 $F=ma$ 를 사용하자.
가속도비는 2 : 1이고, 가속도비는 8 : 1이므로 질량비는 1 : 4이다. (O)

PART 7
원뿔 운동

개념 유형

01. 물체의 회전
02. 원뿔 운동

기출 유형

01. 물체의 회전
02. 원뿔 운동
03. 벨로드롬

THEME

1 물체의 회전

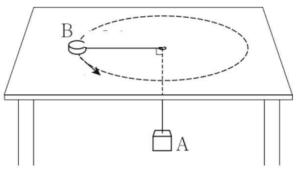
정리1 물체의 회전

개념1 평행한 등속 원운동

[그림1] 플라스틱 관에 길이가 변형되지 않는 실을 넣는다. 양 끝에 질량이 m인 고무마개와 질량이 M인 쇠고리를 연결하였다.
[그림2] 책상에 구멍을 뚫고 길이가 변형되지 않는 실을 넣는다. 양 끝에 질량이 m인 B와, 질량이 M인 A를 연결하였다.



(그림1)



(그림2)

쇠고리에 대해서 운동 방정식을 세우면 $Mg = f$이다. (단, f는 장력이다.)

고무마개에 대해서 운동 방정식을 세우면 $f = m\dfrac{v^2}{r}$이다. 두 식을 연립하면 $Mg = m\dfrac{v^2}{r}$이다.

① $Mg = m\dfrac{v^2}{r} = \dfrac{4\pi^2 mr}{T^2}$ → $T_{주기}^2 \propto \dfrac{m}{M}r$

② $v = \dfrac{2\pi r}{T}$ → $v^2 \propto \dfrac{M}{m}r$

③ $a = \dfrac{v^2}{r}$ → $a \propto \dfrac{M}{m}$

④ $F = ma$ → $F \propto M$

개념2 기울어진 물체의 회전

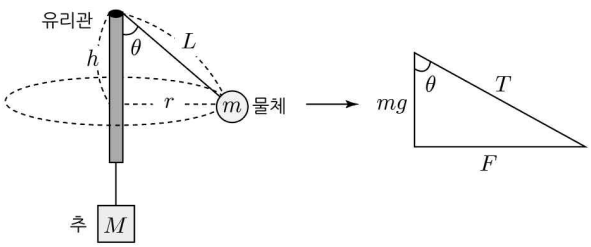
① $v^2 = rg\tan\theta = hg\tan^2\theta$ → $v = \tan\theta\sqrt{hg}$

② $M = \dfrac{m}{\cos\theta}$ → $M > m$

③ $F_{구심력} = mg\tan\theta = Mg\sin\theta$

④ $T_{장력} = Mg = \dfrac{mg}{\cos\theta}$

⑤ $T_{주기} = 2\pi\sqrt{\dfrac{h}{g}}$ (원뿔 운동과 공식이 같다.)

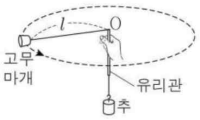


예제1 수평한 물체의 회전

다음은 구심력에 관한 실험 과정이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 가늘고 매끄러운 유리관을 통과한 실의 한쪽 끝에 고무 마개를 연결하고 다른 끝에 추를 연결한다.



(나) 고무마개에서 유리관 위쪽 끝 O까지의 실의 길이를 l로 일정하게 유지하면서 고무마개를 등속 원운동시킨다.

(다) 고무마개가 10회전하는 데 걸리는 시간을 측정한다.

(라) 추의 질량만 증가시켜 과정 (나), (다)를 반복한다.

(라)에서 증가하는 물리량만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 고무마개의 주기
ㄴ. 고무마개의 속력
ㄷ. 고무마개에 작용하는 구심력의 크기

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

실의 길이가 변화하지 않는 조건이 있다.

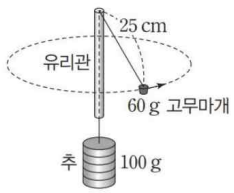
ㄱ. $T^2 \propto \frac{m}{M}r$으로 주기가 감소한다. (X)

ㄴ. $v^2 \propto \frac{M}{m}r$으로 속력이 증가한다. (O)

ㄷ. $F \propto M$으로 구심력의 크기가 증가한다. (O)

예제2 수평하지 않은 물체의 회전

그림과 같이 유리관을 통과한 실의 한 쪽 끝에는 질량이 $60g$인 고무마개가 연결되어 수평면에서 등속 원운동 하며, 반대쪽 끝에는 전체 질량이 $100g$인 추가 연결되어 정지해있다. 유리관 끝에서 고무마개까지 실의 길이는 $25cm$이다.



고무마개에 작용하는 힘과 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 $10m/s^2$이고, 실의 질량과 모든 마찰 및 고무마개의 크기는 무시한다.)

<보 기>

ㄱ. 구심력의 크기는 $0.6N$이다.
ㄴ. 원운동의 반지름은 $20cm$이다.
ㄷ. 회전 속력은 $\frac{2\sqrt{6}}{3}m/s$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. $T=\frac{mg}{\cos\theta}$에서 $0.1\times10=\frac{0.06\times10}{\cos\theta}$이고,

$\cos\theta=\frac{3}{5}$이다.

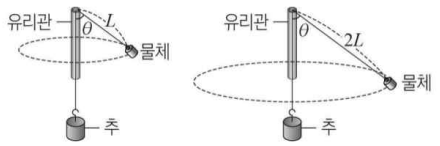
따라서 $F_{구심력}=mg\tan\theta=0.6\times\frac{4}{3}=0.8N$이다. (X)

ㄴ. 원운동의 반지름은 $l\sin\theta=25\times\frac{4}{5}=20cm$이다. (O)

ㄷ. $v=\sqrt{rg\tan\theta}=\sqrt{0.2\times10\times\frac{4}{3}}=\frac{2\sqrt{6}}{3}m/s$이다. (O)

예제3 수평하지 않은 물체의 회전

그림 (가), (나)와 같이 고정된 유리관을 통해 동일한 추와 실로 연결된 물체가 각각 등속 원운동을 하고 있다. (가)와 (나)의 유리관 위쪽 끝에서 물체까지 실의 길이는 각각 L, $2L$이고, 실과 연직선이 이루는 각은 θ로 같다.



(가) (나)

(가)에서 물체의 주기를 T_0이라 할 때, (나)에서 물체의 주기는?
(단, 물체의 크기, 유리관의 굵기, 실의 질량 및 모든 마찰은 무시한다.)

① T_0 ② $\sqrt{2}\,T_0$ ③ $2T_0$ ④ $2\sqrt{2}\,T_0$ ⑤ $4T_0$

해설

$T=2\pi\sqrt{\frac{h}{g}}$의 공식을 이용하여 실의 길이가 2배가 되었으므로 각도에 무관하게 주기는 $\sqrt{2}$배가 되어 $\sqrt{2}\,T_0$이다.

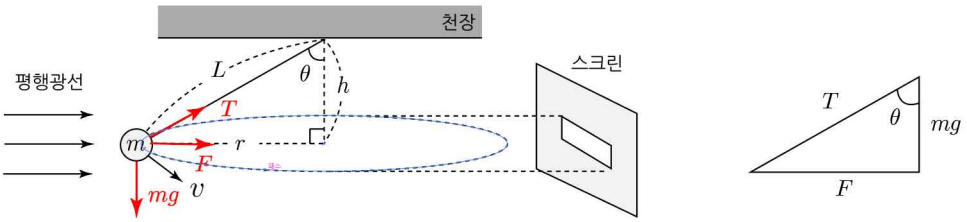
THEME

2 원뿔 운동

정리1 원뿔 운동

개념1 원뿔 운동

그림은 천장에 대해서 원뿔 운동을 하고 있는 상황을 나타낸 것이다.
원뿔 운동을 할 때 ①장력 ②속도 ③장력 ④구심 가속도의 방향은 서로 수직이다.



개념2 물리량

원뿔 운동을 하는 물체의 물리량을 표기하면 다음과 같다.

속력	$mg\tan\theta = mg\frac{r}{h} = m\frac{v^2}{r}$을 만족한다. $v = r\sqrt{\frac{g}{h}} = \sqrt{rg\tan\theta}$에서 $v = \tan\theta\sqrt{hg}$이다. ① 원뿔 운동하는 물체의 속력은 $v = \tan\theta\sqrt{hg}$이다. ② 스크린에 나타난 그림자의 최대 속력은 $v = \tan\theta\sqrt{hg}$이다.
주기	$v = \frac{2\pi r}{T}$를 통해 $T = 2\pi\sqrt{\frac{h}{g}}$이다. ① 각도에 상관없이 물체가 아래로 내려갈수록 주기가 커진다. ② "정지"의 성질처럼 비례식을 생각해 볼 수 있다. (h에 T가 대응하면 $4h$에 $2T$가 대응한다.)
각속도	$v = rw$를 통해 $w = \sqrt{\frac{g}{h}}$이다. (물체가 아래로 내려갈수록 각속도는 작아진다.)
구심력	$F = mg\tan\theta$이다.
장력	$f = \frac{mg}{\cos\theta}$

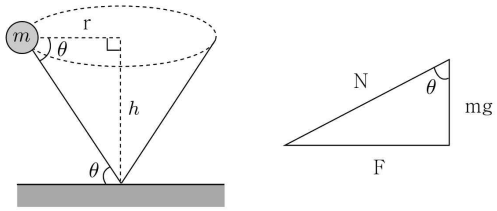
개념3 조건의 제시에서 높이의 기하적 조건 획득 (높이를 구하는 것이 핵심이다.)

주기의 비율	$T = 2\pi\sqrt{\frac{h}{g}}$ → $T^2 \propto h$ (자주 나옴)
각속도의 비율	$w = \sqrt{\frac{g}{h}}$ → $\frac{1}{w^2} \propto h$ (자주 나옴)
속도의 비율	$v = r\sqrt{\frac{g}{h}} = \sqrt{\frac{r^2}{h}g}$ → $\frac{r^2}{v^2} \propto h$ (아직 0번 출제)

정리2 벨로드롬

개념1 벨로드롬(Velodrome)

그림은 물체가 기울어진 빗면에서 등속 원운동을 하는 모습이다. 또한 빗면이 수평면과 이루는 각은 θ이다.



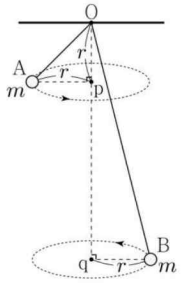
개념2 물리량

벨로드롬 운동을 하는 물체의 물리량을 표기하면 다음과 같다.

속력	$F=mg\tan\theta=m\frac{v^2}{r}$를 통해 $v=\sqrt{rg\tan\theta}$이고, $v=\sqrt{hg}$이다. (단, 여기서 h는 높이이다.)
주기	$v=\frac{2\pi r}{T}$를 통해 $T=2\pi\sqrt{\frac{r}{g\tan\theta}}$이고, $T=\frac{2\pi}{\tan\theta}\sqrt{\frac{h}{g}}$이다. ① 각도가 일정하다면 물체가 위로 올라갈수록 주기가 커진다. ② 높이가 일정한데 각도가 커지면, 주기는 작아진다.
알짜힘(구심력)	$F=mg\tan\theta$이다.
역학적 에너지	① $K=\frac{1}{2}mv^2$ ② $U=mgh=mgr\tan\theta=mv^2=2K$이므로 $U=2K$이다. ③ $E=3K=\frac{3}{2}mv^2$ $\therefore K:U:E=1:2:3$

예제1

그림과 같이 물체 A, B가 각각 실에 매달려 동일 연직선상에 있는 점 p, q를 중심으로 반지름이 r인 등속 원운동을 한다. A, B가 매달린 실의 끝의 점 O에서 p까지의 거리는 r이다. 질량은 A, B가 m으로 같고, 주기는 B가 A의 2배이다.



B에 작용하는 구심력의 크기는? (단, 중력 가속도는 g이고, A, B의 크기는 무시한다.)

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

해설

STEP1 주기와 높이의 관계식

주기는 B가 A의 2배이다.

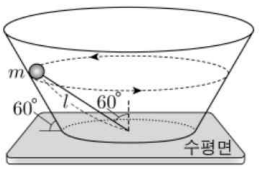
따라서 B의 높이는 $4r$이다.

STEP2 B의 구심력

$F_{\text{구심력}} = mg\tan\theta = \frac{1}{4}mg$이다.

예제2

그림과 같이 질량이 m인 물체가 수평면에 실로 연결되어 수평면과 60°를 이루는 원뿔대의 안쪽 면을 따라 등속 원운동을 한다. 실의 길이는 l이고, 실과 연직 방향이 이루는 각은 60°이며, 원운동의 주기는 $\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$이다.



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

<보 기>

ㄱ. 물체의 속력은 $\sqrt{3gl}$이다.
ㄴ. 물체의 구심력의 크기는 $2\sqrt{3}mg$이다.
ㄷ. 실이 물체에 작용하는 힘의 크기는 mg이다

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. $v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi(\frac{\sqrt{3}}{2}l)}{\pi\sqrt{\frac{l}{g}}} = \sqrt{3gl}$이다. (O)

ㄴ. $F = m\frac{v^2}{r} = m\frac{3gl}{\frac{\sqrt{3}}{2}l} = 2\sqrt{3}mg$이다. (O)

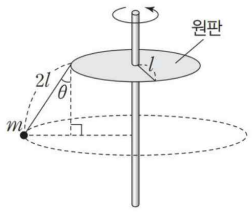
ㄷ. $y)$ $mg + \frac{1}{2}T = \frac{1}{2}N$에서 $N - T = 2mg$이다.

$x)$ $\frac{\sqrt{3}}{2}N + \frac{\sqrt{3}}{2}T = 2\sqrt{3}mg$에서 $N + T = 4mg$이다.

두 식을 연립하면 $T = mg$이다.

예제3

그림과 같이 질량이 m인 물체가 회전하는 수평 원판 끝에 연결된 줄에 매달려 등속 원운동을 한다. 원판의 반지름과 줄의 길이는 각각 l, $2l$이고, 실이 연직 방향과 이루는 각은 θ이다.



물체의 속력은? (단, 중력 가속도는 g이고, 줄의 질량 및 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

① $\sqrt{gl\tan\theta}$ ② $\sqrt{2gl\tan\theta}$
③ $\sqrt{gl(1+2\sin\theta)}$ ④ $\sqrt{2gl\tan\theta(1+\sin\theta)}$
⑤ $\sqrt{gl\tan\theta(1+2\sin\theta)}$

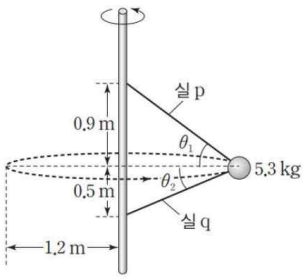
해설

$m\frac{v^2}{r}=mg\tan\theta$에 의하여 $v=\sqrt{rg\tan\theta}$이다.

$r=2l\sin\theta+l$이므로 $v=\sqrt{gl\tan\theta(1+2\sin\theta)}$이다.

예제4

그림과 같이 질량이 $5.3kg$인 물체가 연직 방향의 막대에 고정시킨 실 p, q에 매달려 등속 원운동 하고 있다. 물체가 원운동 하는 원궤도의 반지름은 $1.2m$, p와 q가 막대에 고정된 지점에서 물체의 원 궤도 중심까지의 거리는 각각 $0.9m$, $0.5m$이다. θ_1, θ_2는 p와 q가 각각 원 궤도면과 이루는 각이고, 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 p가 q의 2배이다.



p가 물체를 당기는 힘의 크기 T와 물체에 작용하는 구심력의 크기 F는? (단, 중력 가속도는 $10m/s^2$이고, 실의 질량, 막대의 두께, 물체의 크기는 무시한다.)

	T	F		T	F
①	130N	160N	②	130N	164N
③	134N	160N	④	134N	164N
⑤	134N	168N			

해설

실 p, q가 물체를 당기는 힘은 조건에 의하여 T, $\frac{1}{2}T$이다.

$\sin\theta_1=\frac{3}{5}$, $\cos\theta_1=\frac{4}{5}$, $\sin\theta_2=\frac{5}{13}$, $\cos\theta_2=\frac{12}{13}$이다.

STEP1 y축 운동 방정식

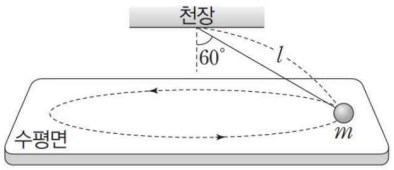
$\frac{3}{5}T=53+\frac{5}{13}(\frac{1}{2}T)$에서 $T=130N$이다.

STEP2 x축 운동 방정식

$F=\frac{4}{5}T+\frac{12}{13}(\frac{1}{2}T)=\frac{82}{65}T=164N$이다.

예제5

그림과 같이 질량이 m인 물체가 천장에 실로 연결되어 수평면에서 등속 원운동을 한다. 실의 길이는 l이고, 실과 연직 방향이 이루는 각은 60°이며, 원운동의 주기는 $4\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$이다



수평면이 물체를 떠받치는 힘의 크기는? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기와 실의 질량은 무시한다.)

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

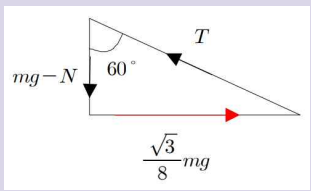
해설

STEP1 구심력 구하기

$$F_{\text{구심력}} = m\frac{4\pi^2 r}{T^2} = m\frac{4\pi^2(\frac{\sqrt{3}}{2}l)}{16\pi^2\frac{l}{g}} = \frac{\sqrt{3}}{8}mg$$

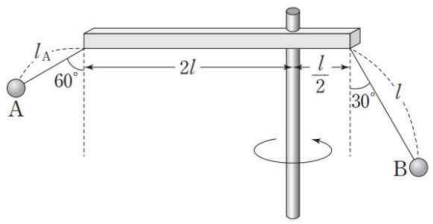
STEP2 힘의 삼각형 그리기

$mg-N=\frac{1}{8}mg$에서 $N=\frac{7}{8}mg$이다.



예제6

그림은 수평한 막대 끝에 연결된 길이가 각각 l_A, l인 가는 철사에 물체 A, B를 매달고 A, B를 수평면과 나란하게 일정한 각속도로 원운동을 시키는 것을 나타낸 것이다. 회전축으로부터 막대의 양 끝까지 거리는 각각 $2l$, $\frac{l}{2}$이고, A, B를 매단 철사가 연직선과 이루는 각은 각각 60°, 30°이다. 질량은 B가 A의 3배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 막대와 철사는 같은 연직면 위에 있고, 철사의 질량, 물체의 크기, 막대의 두께와 폭, 회전축의 두께는 무시한다.)

<보 기>

ㄱ. 철사가 물체를 당기는 힘의 크기는 A가 B의 3배이다.

ㄴ. l_A는 l의 $\frac{1}{3}$배이다.

ㄷ. 구심력의 크기는 A와 B가 같다

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 장력은 $T=\frac{mg}{\cos\theta}$이므로 $\text{A}:\text{B}=\frac{1}{\frac{1}{2}}:\frac{3}{\frac{\sqrt{3}}{2}}=1:\sqrt{3}$

이다. (X)

ㄴ. A의 운동 방정식 $\sqrt{3}mg=m(\frac{\sqrt{3}}{2}l_A+2l)w^2$

B의 운동 방정식 $\sqrt{3}mg=3m(\frac{1}{2}l+\frac{1}{2}l)w^2$이다.

두 식을 연립하면 $\frac{\sqrt{3}}{2}l_A+2l=3l$이고, $l_A=\frac{2\sqrt{3}}{3}l$

이다. (X)

ㄷ. $F_{\text{구심력}}=mg\tan\theta$에서 $\text{A}:\text{B}=1:1$로 동일하다. (O)

유형 01 물체의 회전

01 2022학년도 6월 5번 정답률 83%

5. 다음은 등속 원운동에 대한 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 그림과 같이 줄의 한쪽은 고무마개에 연결하고 다른 쪽은 플라스틱 관을 통과시켜 추에 연결한다.

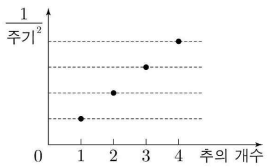


(나) 플라스틱 관 끝에서 고무마개까지 줄의 길이 l을 일정하게 유지한 채 고무마개를 등속 원운동시켜 주기를 측정한다.

(다) 고무마개의 질량은 변화시키지 않고, 추의 개수를 증가시켜 (나)를 반복한다.

〔실험 결과〕

○ 가로축을 추의 개수, 세로축을 $\frac{1}{\text{주기}^2}$로 하여 그래프로 나타낸다.



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

<보 기>

ㄱ. 원운동의 주기는 추의 개수가 3개일 때가 1개일 때보다 작다.
ㄴ. 고무마개의 속력은 추의 개수가 4개일 때가 2개일 때보다 크다.
ㄷ. 추의 개수가 증가할수록 고무마개에 작용하는 구심력의 크기는 증가한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

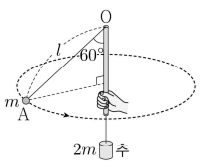
ㄱ. $T^2 \propto \frac{m}{M} r$ (O)

ㄴ. $v^2 \propto \frac{M}{m} r$ (O)

ㄷ. $F \propto M$ (O)

02 2025학년도 9월 6번 정답률 76%

6. 그림과 같이 물체 A가 추와 실로 연결되어 등속 원운동을 한다. A와 추의 질량은 각각 m, $2m$이다. 연직 방향으로 세운 관의 끝점 O에서 A까지 실의 길이는 l이고, 실이 연직 방향과 이루는 각은 $60°$이다.



A의 운동 에너지는? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기, 관의 굵기, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

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

정 답 ④

해 설

A의 운동 에너지를 mgl의 형태로 표현하려면 v를 gl의 형태로 표현해야한다. 이는 운동의 정보를 내포해야한다.

$v^2 = \sqrt{rg\tan\theta} = \sqrt{\frac{3}{2}gl}$ 에서 $K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{4}mgl$이다.

03 2025학년도 수능 10번 정답률 74%

10. 다음은 구심력에 대한 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 그림과 같이 줄의 한쪽은 질량 m인 고무마개에 연결하고 다른 쪽은 플라스틱관을 통과시켜 질량 $20m$인 추에 연결한다.

(나) 원 궤도의 반지름 r를 일정하게 유지하면서 고무마개를 등속 원운동시켜 주기 T를 구한다.

(다) 추의 개수를 바꾸어 (나)를 반복한다.

(라) r를 바꾸어 (나), (다)를 반복한다.



〔실험 결과〕

추의 개수(개)	$r=r_1$일 때 $\frac{1}{T^2}(\mathrm{s}^{-2})$	$r=r_2$일 때 $\frac{1}{T^2}(\mathrm{s}^{-2})$
1	19.5	32.5
2	39.0	65.0

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

<보 기>

ㄱ. 줄이 고무마개를 당기는 힘의 크기는 추의 개수가 2개일 때가 1개일 때보다 크다.

ㄴ. $r=r_1$일 때, 고무마개의 속력은 추의 개수가 2개일 때가 1개일 때보다 크다.

ㄷ. $r_1 > r_2$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 추의 개수가 늘어나면 장력은 증가한다. (O)

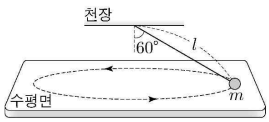
ㄴ. 추의 개수가 늘어나면 속력은 증가한다. (O)

ㄷ. 주기는 $r_1 > r_2$이므로 길이는 $r_1 > r_2$이다. (O)

유형 02 원뿔 운동

01 2022학년도 수능 10번 정답률 65%

10. 그림과 같이 질량이 m인 물체가 천장에 실로 연결되어 수평면에서 등속 원운동을 한다. 실의 길이는 l이고, 실과 연직 방향이 이루는 각은 $60°$이며, 원운동의 주기는 $4\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$이다.



수평면이 물체를 떠받치는 힘의 크기는? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기와 실의 질량은 무시한다.)

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

정 답 ④

해 설

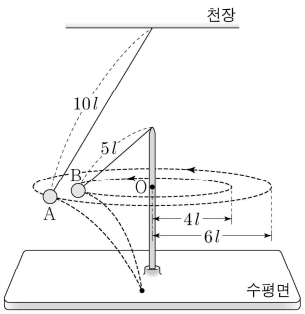
$$a=\frac{4\pi^2 r}{T^2}=\frac{4\pi^2(\frac{\sqrt{3}}{2}l)}{16\pi^2\frac{l}{g}}=\frac{\sqrt{3}}{8}g$$

$(mg-N)\tan\theta=ma$

$\sqrt{3}(mg-N)=\frac{\sqrt{3}}{8}mg \rightarrow N=\frac{7}{8}mg$이다.

02 2023학년도 수능 20번 정답률 28%

20. 그림과 같이 물체 A, B가 각각 실에 연결되어 같은 높이에서 점 O를 중심으로 등속 원운동을 하다가 실이 동시에 끊어져 각각 포물선 운동을 한 후 수평면의 한 점에 동시에 도달한다. A, B에 연결된 실의 길이는 각각 $10l$, $5l$이고, A, B의 원운동 궤도 반지름은 각각 $6l$, $4l$이다.



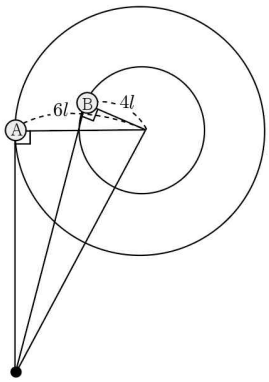
수평면으로부터 O까지의 높이는? (단, 물체의 크기와 실의 질량은 무시한다.)

① $10l$ ② $11l$ ③ $12l$ ④ $13l$ ⑤ $14l$

정 답 ③

해 설

STEP1 문제의 이해



STEP2 원운동

$v_A=\sqrt{6l\cdot g\cdot\frac{3}{4}}=\sqrt{\frac{9}{2}gl}$, $v_B=\sqrt{4l\cdot g\cdot\frac{4}{3}}=\sqrt{\frac{16}{3}gl}$

이므로 $s_A=3\sqrt{3}d$, $s_B=4\sqrt{2}d$로 거리를 가정할 수 있다.

$36l^2+27d^2=32d^2+16l^2$에 의해서 $d=2l$을 만족한다.

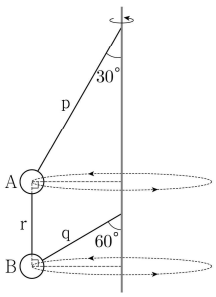
따라서 A가 낙하할 때까지 수평면에서 이동한 거리는 $6\sqrt{3}l$이다.

STEP3 포물선 계산

$$h=\frac{1}{2}gt^2=\frac{1}{2}g(\frac{s_A}{v_A})^2=\frac{1}{2}g(\frac{6\sqrt{3}l}{\sqrt{\frac{9}{2}gl}})^2=12l$$

03 2024학년도 6월 17번 정답률 51%

17. 그림과 같이 질량이 m으로 같은 물체 A, B가 실 p, q, r로 연결되어 등속 원운동을 한다. A, B가 원운동을 하는 동안 p, q, r가 연직 방향과 이루는 각은 각각 30°, 60°, 0°이다.



r가 A에 작용하는 힘의 크기는? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기와 실의 질량은 무시한다.) [3점]

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

정 답 ③

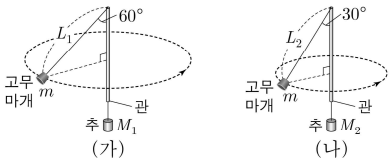
해 설

A, B가 이루는 각이 0° 이므로 접선 속도가 동일하다.
(접선 속도가 다르면 각이 생긴다.) 따라서 구심력도 동일하다.

p) $F=(mg+T)\tan 30^\circ$
q) $F=(mg-T)\tan 60^\circ$
$\therefore \frac{mg+T}{mg-T}=3 \rightarrow T=\frac{1}{2}mg$

04 2026학년도 9월 10번 정답률 51%

10. 그림 (가), (나)와 같이 추와 실로 연결된 질량 m인 고무마개가 각각 등속 원운동을 한다. (가), (나)에서 추의 질량은 각각 M_1, M_2이고, 연직 방향으로 고정한 관의 끝에서 고무마개까지 실의 길이는 각각 L_1, L_2이며, 실이 관과 이루는 각은 각각 60°, 30°이다. (가), (나)에서 고무마개의 각속도는 서로 같다.



$\frac{L_1}{L_2}$은? (단, 고무마개의 크기, 관의 굵기, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

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

정 답 ④

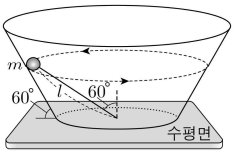
해 설

(가), (나)에서 고무마개의 가속도가 서로 같으므로
$T=2\pi\sqrt{\frac{h}{g}}$에 의하여 높이가 같음을 알 수 있다.
$\frac{1}{2}L_1=\frac{\sqrt{3}}{2}L_2$이므로 $\frac{L_1}{L_2}=\sqrt{3}$이다.

유형 03 벨로드롬

01 2023학년도 9월 17번 정답률 35%

17. 그림과 같이 질량이 m인 물체가 수평면에 실로 연결되어 수평면과 $60°$를 이루는 원뿔대의 안쪽 면을 따라 등속 원운동을 한다. 실의 길이는 l이고, 실과 연직 방향이 이루는 각은 $60°$이며, 원운동의 주기는 $\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$이다.



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

<보 기>

ㄱ. 물체의 속력은 $\sqrt{3gl}$이다.
ㄴ. 물체의 구심력의 크기는 $2\sqrt{3}mg$이다.
ㄷ. 실이 물체에 작용하는 힘의 크기는 mg이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. $v=\frac{2\pi r}{T}=\frac{2\pi(\frac{\sqrt{3}}{2}l)}{\pi\sqrt{\frac{l}{g}}}=\sqrt{3gl}$ (O)

ㄴ. $F=m\frac{v^2}{r}=m\frac{3gl}{\frac{\sqrt{3}}{2}l}=2\sqrt{3}mg$ (O)

ㄷ. y) $N\cos 60^\circ=mg+T\cos 60^\circ \rightarrow N-T=2mg$
x) $N\sin 60^\circ+T\sin 60^\circ=2\sqrt{3}mg \rightarrow N+T=4mg$
$\therefore T=mg$ (O)

PART 8
케플러 법칙

개념 유형

01. 탈출 속력
02. 케플러 법칙

기출 유형

01. 케플러 법칙
02. 그래프가 포함된 케플러 법칙

THEME

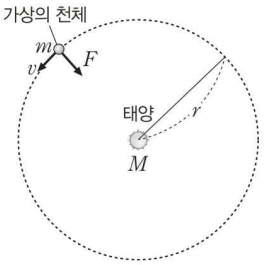
1 탈출 속력

정리1 원운동 하는 천체

개념1 등속 원운동의 수학적 표현

공전 속력은 운동 방정식 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$에서 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$이다.

(단, r은 천체와 태양의 질량 중심 사이의 거리)



개념2 원운동을 하는 천체의 에너지

① 운동 에너지에 속력을 대입하면 $K=\frac{1}{2}mv^2=G\frac{Mm}{2r}$이므로 $K=G\frac{Mm}{2r}$이다.

② 중력 퍼텐셜 에너지는 $U(r)-U(\infty)=-\int_{\infty}^{r}Fdr=-\int_{\infty}^{r}-\frac{GmM}{r^2}dr=[-G\frac{mM}{r}]_{\infty}^{r}=-G\frac{mM}{r}$에서 $U=-G\frac{mM}{r}$이다.

(에너지 부호가 음수가 되는 이유는 무한 원점에서 중력 퍼텐셜 에너지를 0으로 잡았기 때문이다.)

③ 역학적 에너지는 $E=-G\frac{mM}{2r}$이다.

④ 에너지의 비율은 $K:U:E=1:-2:-1$이다.

원운동 하는 천체에서 사용 가능한 공식	
속력	$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$
가속도	$a=\frac{GM}{r^2}$
주기	$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$

개념3 원운동을 하는 천체의 공전 주기

공전 주기는 운동 방정식 $G\frac{Mm}{r^2}=\frac{4\pi^2mr}{T^2}$에서 $T^2=\frac{4\pi^2}{GM}r^3$이다.

정리2 중력으로부터 탈출하는 천체

개념1 중력 탈출 속력

중력 탈출 속력이란 천체가 태양의 중력으로부터 완전히 자유로워지는 최소한의 속도이다.

즉, 무한 원점에 속력이 0(운동 에너지=0)으로 도착하는 상황이다.

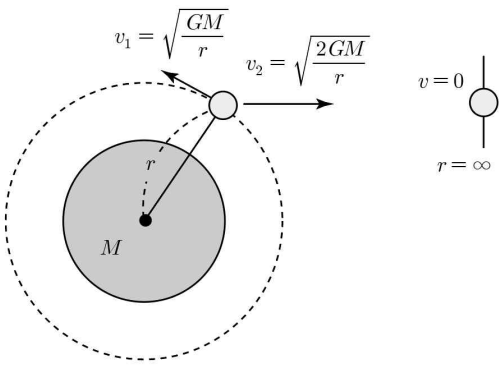
태양으로부터 r만큼 떨어져있을 때 천체의 초기 에너지는 $(\frac{1}{2}mv^2,-G\frac{Mm}{r})$이고, 나중 운동 에너지와 나중 위치 에너지는 0이므로

에너지 보존에 의하여 $\frac{1}{2}mv^2=G\frac{Mm}{r}$, $v\geq\sqrt{\frac{2GM}{r}}$을 만족하면 태양의 중력으로부터 천체가 탈출할 수 있다.

개념2 탈출 속력의 비

태양으로부터 r만큼 떨어져있을 때

중력 탈출 속력은 원운동 할 수 있는 속력의 $\sqrt{2}$배이다.



THEME

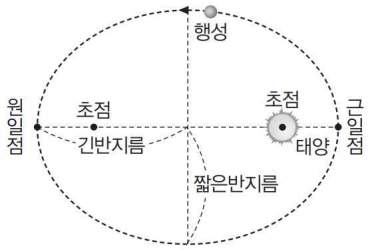
2 케플러 법칙

정리1 케플러 제 1법칙 (타원 궤도 법칙)

개념 타원 궤도 법칙

태양계 내의 모든 행성들은 태양을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 공전한다.

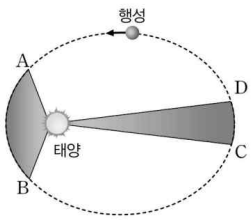
① 타원 : 평면 위에서 고정된 두 점으로부터 거리의 합이 일정한 점들의 집합
② 초점 : 타원에서 고정된 두 점을 초점이라고 한다.
③ 장반경 : 긴 지름의 절반이 장반경이다.
④ 단반경 : 짧은 지름의 절반이 단반경이다.
⑤ 원일점 : 태양 주위를 도는 천체의 위치 중 태양과 가장 먼 지점이 원일점이다.
⑥ 근일점 : 태양 주위를 도는 천체의 위치 중 가장 가까운 지점이 근일점이다.

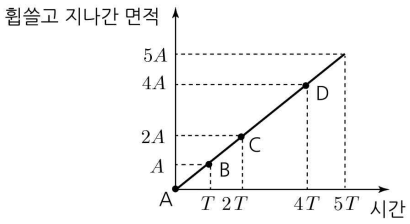


정리2 케플러 제 2법칙 (면적 속도 일정 법칙)

개념1 면적 속도 일정 법칙

면적 속도 일정 법칙은 행성이 태양 주위를 공전할 때, 행성과 태양을 연결하는 선분이 동일한 시간 동안 쓸고 지나가는 면적이 항상 일정하다는 법칙이다.





개념2 증명 과정

STEP1 행성의 위치를 극좌표계 (r, θ)로 나타내자.

행성이 미소 시간 dt동안 이동하는 동안, 미소면적 dA는 다음과 같이 계산 할 수 있다.)

$A = \frac{1}{2}r^2\theta$에서 $dA = \frac{1}{2}r^2 d\theta$이다. 따라서 면적 속도 $\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2}r^2\frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{2}r^2 w$이다.

STEP2 각운동량과의 관계

행성의 각운동량 L은 $L = r \times p = r \times mv = mr^2 w$이다.

이 식을 면적 속도 식에 대입하면 $\frac{dA}{dt} = \frac{L}{2m}$이다.

여기서 뉴턴 역학에서 태양의 중력은 토크를 발생시키지 않으므로, 각운동량 L이 보존됨을 알 수 있다.

따라서 $\frac{dA}{dt}$는 일정하므로 행성과 태양을 연결하는 선분은 같은 시간 동안 같은 면적을 쓸고 지나간다.

정리3 케플러 제 3법칙 (조화 법칙)

개념1 조화 법칙

조화 법칙은 행성의 공전 주기 T와 타원의 반장축 a 사이의 관계를 나타낸다.

개념2 증명 과정

STEP1 각운동량 보존법칙 적용

행성의 각운동량 L은 중력은 중심력이므로 보존이 된다.

따라서 각운동량은 $L=r\times p=r\times mv=mr^2w$=상수를 만족한다. (단, r은 태양으로부터 행성까지의 거리이다.)

STEP2 타원 운동의 면적 속도 일정 법칙 적용 (케플러 제2법칙)

케플러 제2법칙(면적 속도 일정 법칙)에 따르면, 공전하는 동안 단위 시간당 쓸고 지나가는 면적 속도 $\frac{dA}{dt}$는 일정하다.

$\frac{dA}{dt}=\frac{1}{2}r^2w=\frac{L}{2m}$상수 (여기서 w는 각속도이다.)

STEP3 타원의 면적 A

타원의 전체 면적 A는 $A=\pi ab$를 만족한다. (단, a=반장축, b=단반축이다.)

행성이 한 바퀴 도는 데 걸리는 시간 T는 $T=\frac{\text{전체 면적}}{\text{단위 시간당 면적 속도}}=\frac{\pi ab}{\frac{L}{2m}}$이다.

STEP4 각운동량 L 계산

각운동량 L은 타원운동에서 뉴턴 역학을 활용하여 구할 수 있다.

$L=m\sqrt{GMa(1-e^2)}$ (단, e는 이심률이고 a는 반장축이다.)

따라서 $T=\frac{\pi ab}{\frac{\sqrt{GMa(1-e^2)}}{2}}$를 만족한다.

STEP5 반단축과 반장축의 관계

타원의 반단축 $b=a\sqrt{1-e^2}$을 만족한다.

이를 대입하면 $T=\frac{\pi a^2\sqrt{1-e^2}}{\frac{\sqrt{GMa(1-e^2)}}{2}}=2\pi\sqrt{\frac{a^3}{GM}}$이다. (이 공식은 이심률 e에 무관하게 성립한다.)

개념3 암기 쉽게 하기

주기의 제곱은 장지름의 세제곱에 비례한다.

① 주기는 두 글자이다. → 제곱
② 장지름은 세 글자이다. → 세제곱

개념4 자주 나오는 비례식 (비율은 거리<시간 이다.)

① 장지름이 2배 = 주기가 $2\sqrt{2}$배
② 장지름이 3배 = 주기가 $3\sqrt{3}$배
③ 장지름이 4배 = 주기가 8배
④ 장지름이 9배 = 주기가 27배

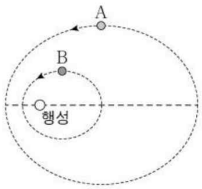
개념5 힘의 정보가 제시되어 있을 때 거리의 비율 구하기

두 행성에 대하여 힘의 정보를 제시한 다음에 이를 통해 거리의 비율을 찾아 주기의 비를 구하게 하는 형식이 자주 출제가 된다.

따라서 $F=G\frac{mM}{r^2}$에서 $r^2\propto\frac{m}{F}$로 거리를 찾을 수 있다.

예제1

그림은 질량이 같은 위성 A, B가 행성을 한 초점으로 타원 궤도를 따라 운동하는 모습을 나타낸 것이다. 표는 A, B에 작용하는 만유인력 크기의 최댓값과 최솟값을 나타낸 것이다.



위성	만유인력 크기	
	최댓값	최솟값
A	$\frac{9}{4}F_0$	$\frac{9}{49}F_0$
B	$9F_0$	F_0

A, B의 공전 주기를 각각 T_A, T_B라 할 때 $\frac{T_B}{T_A}$는? (단, A, B에는 행성에 의한 만유인력만 작용한다.)

① $\frac{1}{27}$ ② $\frac{4}{27}$ ③ $\frac{8}{27}$ ④ $\frac{16}{27}$ ⑤ $\frac{25}{27}$

해설

STEP1 각 물체의 거리 비 찾기

원일점과 근일점의 거리는 $7r$, $2r$이다. (r은 가정값)

B의 원일점과 근일점의 거리는 $3R$, R이다. (R은 가정값)

STEP2 힘에 대입

A, B의 힘의 최댓값에 $r^2 \propto \frac{m}{F}$을 넣어 생각해보자.

그러면 근일점의 거리 비는 $2:1$이 된다.

따라서 $R=r$이다.

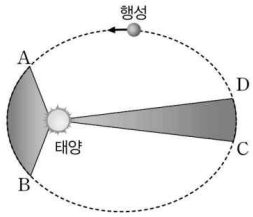
STEP3 답 구하기

장지름이 $\frac{L_B}{L_A}=\frac{4}{9}$이므로 $\frac{T_B}{T_A}=\frac{8}{27}$이다.

정리4 행성의 이동

개념1 한 개의 타원 운동

① 구간(AB, CD)을 이동하는 데 걸린 시간과 면적의 비교
행성이 구간 AB, CD에서 이동하는 데 걸린 시간이 1 : 2라고 하면,
구간 AB의 면적과 구간 CD의 면적의 비는 1 : 2이다.



② 여러 점(A, B, C, D)에서 속도의 비교
각운동량 보존 법칙에 의하여 $r_{원일점}v_{원일점} = r_{근일점}v_{근일점}$이 성립한다.
태양으로부터 점 A와 점 D 사이의 거리 비가 2 : 1이면 속력 비는 1 : 2이다.

③ 행성이 근일점에서 원일점으로 이동할 때
- 속력과 가속도의 크기가 작아진다.
- 중력이 한 일 < 0 (운동 에너지 감소, 퍼텐셜 에너지 증가, 역학적 에너지 일정)

개념2 두 개의 타원 운동

그림은 한 개의 태양을 초점으로 하는 두 개의 행성 A와 B가 공전하고 있는 상황이다.
행성 A와 B가 동일한 지점을 지날 때 속력과 가속도는 아래와 같다.

① 속력

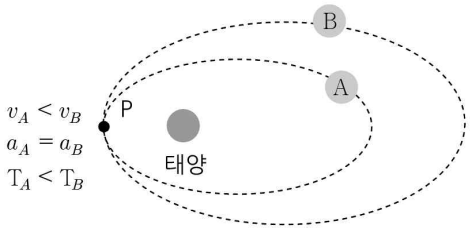
장지름이 큰 행성이 동일한 점에서 속력이 크다. ($v = \sqrt{GM(\frac{2}{r} - \frac{1}{a})}$)

② 가속도

장지름과 관련없이 동일하다. ($a = \frac{GM}{r^2}$)

③ 주기

장지름이 큰 행성이 주기가 크다. ($T = 2\pi\sqrt{\frac{a^3}{GM}}$)

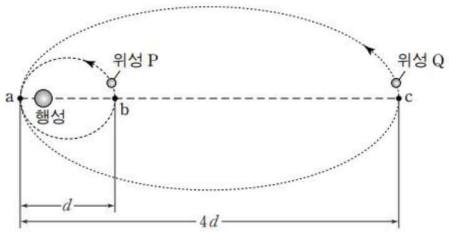


TIP 타원 운동에서 구할 수 있는 물리량

물리학 II의 타원 운동에 대해서 값을 구할 수 있는 것은 교육 과정상 가속도 공식($a = \frac{GM}{r^2}$)밖에 없다.
만약 타원 운동에 대해서 속력 또는 주기를 구하라고 나와있다면 이것은 원운동을 이용해서 풀어야 한다.

예제2

그림은 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 공전하는 위성 P와 Q가 각각 행성에서 가장 먼 지점 b, c를 지난 어느 순간의 모습을 나타낸 것이다. a는 P와 Q가 행성과 가장 가까운 지점이다. a와 c 사이의 거리는 a와 b 사이의 거리의 4배이다.



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

<보 기>

ㄱ. a를 지나는 순간의 가속도의 크기는 P가 Q보다 작다.
ㄴ. P의 운동 에너지는 b에서 a로 운동하는 동안 증가한다.
ㄷ. 공전 주기는 Q가 P의 8배이다.

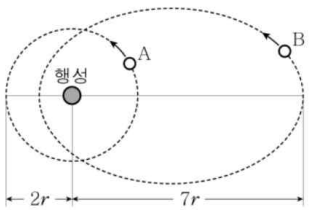
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. a를 지나는 순간 가속도의 크기는 P와 Q가 같다. (X)
ㄴ. 속력이 증가하므로 운동 에너지는 증가한다. (O)
ㄷ. 장지름이 4배이므로 주기는 8배이다. (O)

예제3

그림과 같이 위성 A는 질량이 M인 행성을 중심으로 하는 원 궤도를, 위성 B는 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동한다. A의 궤도 반지름은 $2r$, 행성의 중심에서 B의 중심까지 최대 거리는 $7r$이다. B의 가속도 크기의 최댓값은 A의 가속도 크기의 4배이다.



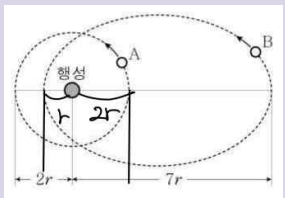
B의 공전 주기는? (단, 중력 상수는 G이고, A, B에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

① $2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ ② $4\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ ③ $8\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$
④ $12\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ ⑤ $16\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$

해설

STEP1 문제 해석하기

가속도 조건을 통하여 거리를 그림과 같이 체크할 수 있다.



STEP2 B의 분석

공전 주기를 물어봤으므로 B로는 구할 수 없는 물리량이다.
따라서 원운동하는 A를 이용해야 한다.

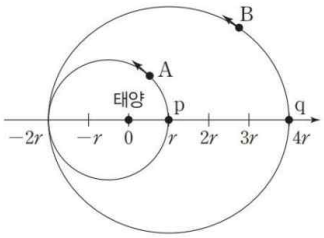
A의 공전 주기 $T_A^2 = \frac{32\pi^2}{GM}r^3$이다.

긴지름은 B가 A의 2배이므로 주기는 $2\sqrt{2}$배이다.

따라서 $T_B = 16\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ 이다.

예제4

그림은 태양을 한 초점으로 타원 궤도를 따라 운동하는 소행성 A, B의 공전 궤도를 나타낸 것이다. A의 공전 주기는 T이고, p, q는 각각 A의 근일점과 B의 원일점이며, p에서 A가 받는 중력의 크기와 q에서 B가 받는 중력의 크기는 같다.



q에서 B의 가속도의 크기는?

① $\frac{25\pi^2 r}{8T^2}$ ② $\frac{26\pi^2 r}{8T^2}$ ③ $\frac{27\pi^2 r}{8T^2}$ ④ $\frac{28\pi^2 r}{8T^2}$ ⑤ $\frac{29\pi^2 r}{8T^2}$

해설

타원 운동하는 B에 대해 선지에서 시간이 들어있는 항이 있으므로 원운동하는 A를 이용해야 한다.

STEP1 A의 분석

A에 대해서 $a_{\frac{3}{2}r} = \frac{6\pi^2 r}{T}$을 만족한다.

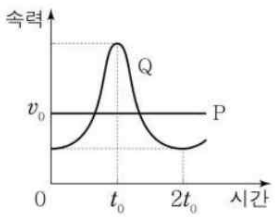
STEP2 B의 분석

가속도는 거리의 제곱에 반비례하므로

$a_{4r} = \frac{6\pi^2 r}{T} \times \frac{(\frac{3}{2})^2}{4^2} = \frac{6\pi^2 r}{T} \times \frac{9}{16} = \frac{27\pi^2 r}{8T}$이다.

예제5

그림은 동일한 행성 주위에서 각각 원 궤도와 타원 궤도를 따라 운동하는 위성 P, Q의 속력을 시간에 따라 나타낸 것이다. P, Q의 공전 주기는 P가 Q의 8배이다.



Q의 궤도의 긴반지름은? (단, P, Q에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

① $\frac{v_0 t_0}{4\pi}$ ② $\frac{v_0 t_0}{2\pi}$ ③ $\frac{v_0 t_0}{\pi}$ ④ $\frac{2v_0 t_0}{\pi}$ ⑤ $\frac{4v_0 t_0}{\pi}$

해설

타원 운동하는 Q에 대해 선지에서 속력 항이 들어있으므로 원운동하는 P를 이용해야 한다.

STEP1 P의 분석

시간이 있고, 가속도가 없으므로 등공 ④ $v_0 = \frac{2\pi r}{16t_0} = \frac{\pi r}{8t_0}$

에서 $r = \frac{8v_0 t_0}{\pi}$이다.

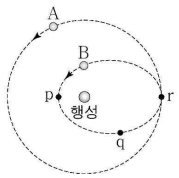
STEP2 Q의 분석

긴반지름은 P가 Q의 4배이므로 $r_B = \frac{2v_0 t_0}{\pi}$이다.

유형 01 케플러 법칙

01 2022학년도 수능 7번 정답률 75%

7. 그림과 같이 위성 A는 행성을 중심으로 하는 원 궤도를, 위성 B는 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동하고 있다. 점 p는 B가 행성으로부터 가장 가까운 지점이고, 점 q는 B의 공전 궤도상의 점이다. B가 행성으로부터 가장 먼 지점 r에서 A, B의 궤도가 접한다. B에 작용하는 중력의 크기는 p에서가 r에서의 9배이다. B가 p에서 q까지 가는 데 걸리는 시간은 T이고, B의 공전 주기는 $6T$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 위성에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

<보 기>

ㄱ. A의 공전 주기는 $\frac{9\sqrt{6}}{2}T$이다.
ㄴ. B가 q에서 r까지 가는 데 걸리는 시간은 $2T$이다.
ㄷ. r에서 속력은 A가 B보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. $R_B = 2r$이라면 $R_A = 3R$이다. $n = \frac{3}{2}$이다.

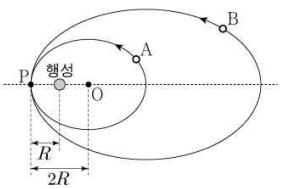
$$T_A = \frac{3\sqrt{3}}{2\sqrt{2}}6T = \frac{3\sqrt{6}}{4}6T = \frac{9\sqrt{6}}{2}T \text{ (O)}$$

ㄴ. $3T - T = 2T$ (O)

ㄷ. 장반경이 큰 A가 더 빠르다. (O)

02 2023학년도 6월 5번 정답률 72%

5. 그림은 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 공전하는 위성 A, B를 나타낸 것이다. 점 O는 A의 궤도의 중심이고, 점 P는 A, B가 행성으로부터 가장 가까운 지점이다. A의 궤도의 긴반지름은 $2R$이고, P와 행성 중심 사이의 거리는 R이다. 공전 주기는 B가 A의 $2\sqrt{2}$배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 위성에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

<보 기>

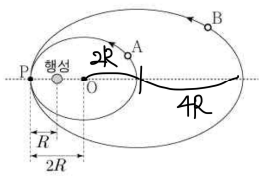
ㄱ. B의 궤도의 긴반지름은 $4R$이다.
ㄴ. P에서 가속도의 크기는 A가 B보다 작다.
ㄷ. B에 작용하는 중력의 크기의 최댓값은 최솟값의 49배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. B의 장반경은 $4R$이다. (O)

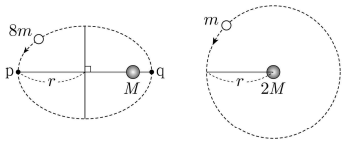


ㄴ. P에서 가속도는 같다. (X)

ㄷ. 거리비가 1 : 7이므로 중력의 최댓값과 최솟값의 비는 49배이다. (O)

03 2023학년도 9월 11번 정답률 85%

11. 그림 (가)는 질량 $8m$인 위성이 질량 M인 행성을 한 초점으로 하는 긴반지름 r인 타원 궤도를 따라 운동하는 것을 나타낸 것이다. 점 p, q는 각각 행성으로부터 가장 먼 지점과 가장 가까운 지점이다. 그림 (나)는 질량 m인 위성이 질량 $2M$인 행성을 중심으로 하는 반지름 r인 원 궤도를 따라 운동하는 것을 나타낸 것이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 위성에 작용하는 중력의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
ㄴ. (가)에서 위성의 속력은 p에서가 q에서보다 크다.
ㄷ. 위성의 공전 주기는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

ㄱ. (가)에서 행성이 q에 있고, 위성이 p에 있다면

$F_{min} = G\frac{8mM}{4r^2} < F_{가}$이다.

$F_{나} = G\frac{2mM}{r^2}$이므로 중력의 크기는 (가)에서가 더 크다. (O)

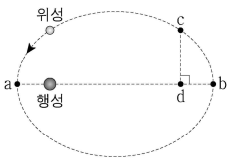
ㄴ. 행성과 더 가까운 q에서 속력이 더 크다 .(X)

ㄷ. 다른 행성을 축으로 가지고 있으므로 케플러 3법칙을 떠올리자.

$T^2 = \frac{4\pi^2}{GM}r^3$이므로 행성의 질량이 더 큰 (나)에서 공전 주기가 더 느리다. (X)

04 2024학년도 9월 4번 정답률 62%

4. 그림은 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 공전하는 위성을 나타낸 것이다. 점 a, b, c는 궤도상의 지점이며, 점 d는 타원 궤도의 두 초점 중 하나이다. 위성의 공전 주기는 T이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 위성의 속력은 a에서가 b에서보다 크다.
ㄴ. 위성이 b에서 c까지 가는 데 걸리는 시간은 $\frac{T}{4}$보다 크다.
ㄷ. 위성에 작용하는 중력의 크기는 c에서가 a에서보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

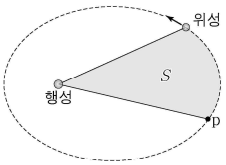
ㄱ. 속력은 a > b이다. (O)

ㄴ. b에서 c까지 가는 데 걸리는 시간은 $\frac{T}{4}$보다 작다. (X)

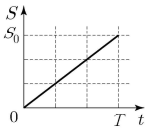
ㄷ. 위성에 작용하는 중력의 크기는 a > c이다. (X)

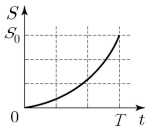
05 2025학년도 6월 6번 정답률 63%

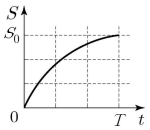
6. 그림과 같이 위성이 행성을 한 초점으로 하고 면적이 S_0인 타원 궤도를 따라 공전하고 있다. 위성이 궤도상의 점 p를 지난 순간부터 시간 t 동안 위성의 중심과 행성의 중심을 연결한 선분이 쓸고 지나가는 면적은 S이다.

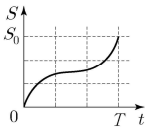


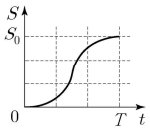
공전 주기 T 동안, S를 t에 따라 나타낸 그래프로 가장 적절한 것은? [3점]

① 

② 

③ 

④ 

⑤ 

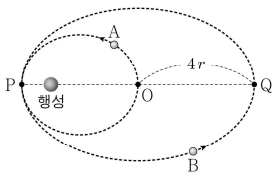
정 답 ①

해 설

케플러 제 2법칙에 의하여 답은 ①이다.

06 2025학년도 9월 8번 정답률 76%

8. 그림은 위성 A, B가 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동하는 것을 나타낸 것이다. A, B가 행성으로부터 가장 먼 지점은 각각 점 O와 점 Q이고, A, B가 행성으로부터 가장 가까운 지점은 점 P로 같다. B의 궤도는 중심이 O이고 긴반지름이 $4r$이다. A에 작용하는 중력의 크기는 P에서가 O에서의 9배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 위성에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

<보 기>

ㄱ. A의 속력은 P에서가 O에서보다 크다.
ㄴ. B의 가속도의 크기는 P에서가 Q에서의 36배이다.
ㄷ. 공전 주기는 B가 A의 2배이다.

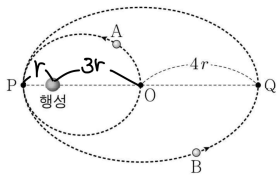
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

ㄱ. A의 속력은 가까운 P에서가 O에서보다 크다. (O)

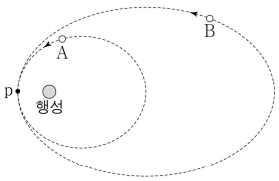
ㄴ. A에 작용하는 중력의 크기 조건을 통해 거리를 알 수 있다. P와 Q에 대해서 거리의 비가 1 : 7이므로 49배이다. (X)



ㄷ. 장지름의 비가 1 : 2이므로 공전 주기는 $2\sqrt{2}$배이다. (X)

07 2025학년도 수능 9번 정답률 80%

9. 그림과 같이 질량이 같은 위성 A, B가 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 각각 공전하고 있다. 점 p는 A, B가 행성으로부터 가장 가까운 지점이다. A에 작용하는 중력의 크기는 A가 행성으로부터 가장 가까운 지점에서 $9F_0$이고 가장 먼 지점에서 F_0이다. A, B의 공전 주기는 각각 T, $2\sqrt{2}\,T$이고, B에 작용하는 중력의 크기의 최솟값은 F_B이다.



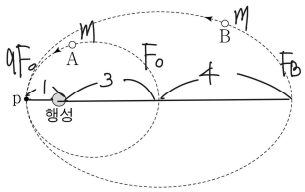
F_B는? (단, 위성에는 행성에 의한 중력만 작용한다.) [3점]

① $\frac{5}{49}F_0$ ② $\frac{1}{7}F_0$ ③ $\frac{9}{49}F_0$ ④ $\frac{11}{49}F_0$ ⑤ $\frac{2}{7}F_0$

정 답 ①

해 설

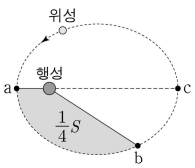
문제의 조건을 그림에 표기하면 아래와 같다.



거리가 1일 때 $9F_0$이므로 거리가 7이면 $F_B = \frac{9}{49}F_0$이다.

08 2026학년도 6월 5번 정답률 88%

5. 그림과 같이 위성이 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동한다. 위성의 공전 주기는 T이고, 점 a, c는 각각 위성이 행성의 중심으로부터 가장 가까운 지점과 가장 먼 지점이며, 점 b는 궤도상의 한 지점이다. 타원의 면적은 S이며, 위성이 a에서 b까지 운동하는 동안 위성과 행성의 중심을 연결한 직선이 쓸고 지나가는 면적은 $\frac{1}{4}S$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 위성에 작용하는 중력의 크기는 a에서가 b에서보다 크다.
ㄴ. 위성의 운동 에너지는 a에서가 c에서보다 크다.
ㄷ. 위성이 b에서 c까지 운동하는 데 걸리는 시간은 $\frac{1}{4}T$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

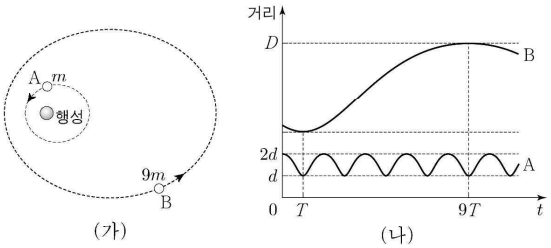
해 설

ㄱ. 위성에 작용하는 중력의 크기는 a > b이다. (O)
ㄴ. 운동 에너지는 근일점에서가 크다. (O)
ㄷ. 면적이 $\frac{1}{4}S$이므로 걸린 시간은 $\frac{1}{4}T$이다. (O)

유형 02 그래프가 포함된 케플러 법칙

01 2022학년도 6월 14번 정답률 62%

14. 그림 (가)는 질량이 각각 m, $9m$인 위성 A, B가 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동하는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 행성으로부터 A, B까지의 거리를 시간 t에 따라 나타낸 것이다. $t=T$일 때 A, B에 작용하는 중력의 크기는 같다.



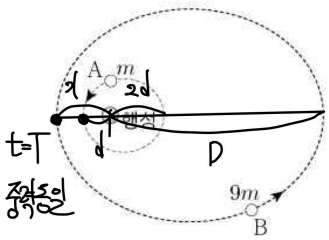
D는? (단, A, B에는 행성에 의한 중력만 작용한다.) [3점]

① $5d$ ② $6d$ ③ $7d$ ④ $8d$ ⑤ $9d$

정 답 ⑤

해 설

B의 주기는 $16T$이고, A는 $8T$동안 4개의 파동이 있으므로 주기가 $2T$이다. 주기의 비가 $1:8$이므로 장반경의 비는 $1:4$이다.



A의 긴지름은 $3d$이므로 B의 긴지름은 $12d$가 된다.

$\therefore x+D=12d$

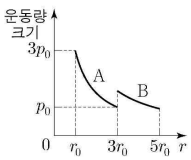
$t=T$일 때 중력 조건을 보자.

$F=\frac{m}{d^2}=\frac{9m}{x^2}$을 통하여 $\therefore x=3d$

$\therefore D=9d$

02 2022학년도 9월 14번 정답률 72%

14. 그림은 위성 A, B가 동일한 행성을 한 초점으로 하는 각각의 타원 궤도를 따라 한 주기 동안 운동할 때, A와 B의 운동량 크기를 행성 중심과 위성 중심 사이의 거리 r에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

<보 기>

ㄱ. A의 운동 에너지는 최댓값이 최솟값의 9배이다.
ㄴ. 가속도 크기의 최댓값은 A가 B의 9배이다.
ㄷ. 공전 주기는 B가 A의 $2\sqrt{2}$배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

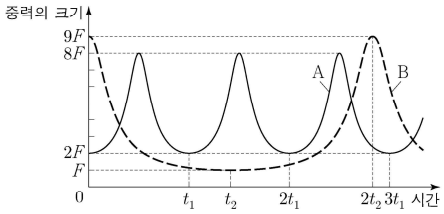
ㄱ. $K=\frac{p^2}{2m}$공식을 이용하면 최댓값이 최솟값의 9배이다. (O)

ㄴ. 속력이 최대일 때 가속도 크기도 최대임을 이용하면 A는 r_0, B는 $3r_0$일 때이다. 또한 가속도의 크기는 거리에만 의존하므로 가속도 크기의 최댓값은 A가 B의 9배이다. (O)

ㄷ. $R_A=2r_0$, $r_B=4r_0$이므로 공전 주기는 B가 A의 $2\sqrt{2}$배이다. (O)

03 2023학년도 수능 16번 정답률 52%

16. 그림은 위성 A와 B가 동일한 행성을 한 초점으로 하는 각각의 타원 궤도를 따라 운동할 때, A와 B에 작용하는 중력의 크기를 시간에 따라 나타낸 것이고, $t_2=\sqrt{2}t_1$이다. 행성 중심으로부터 A, B의 궤도상의 점까지의 거리는 각각 r_A, r_B이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B에는 행성에 의한 중력만 작용한다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. 타원 궤도의 긴반지름은 B가 A의 2배이다.
ㄴ. r_B의 최솟값은 r_A의 최댓값보다 크다.
ㄷ. 질량은 B가 A의 $\frac{81}{32}$배이다.

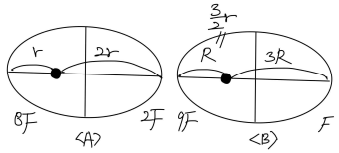
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. B의 주기 = $2t_2=2\sqrt{2}t_1$
A의 주기 = t_1
따라서 긴반지름은 B가 A의 2배이다. (O)

ㄴ.



위의 긴반지름 결과로 $3r\times2=4R \rightarrow R=\frac{3}{2}r$이다.

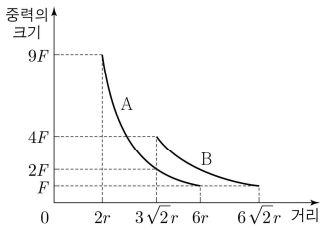
r_B의 최솟값$=R=\frac{3}{2}r$

r_A의 최댓값$=2r$ (X)

ㄷ. $\frac{9F}{8F}=\frac{m_B}{\frac{9}{4}}\frac{1}{m_A} \rightarrow \frac{m_B}{m_A}=\frac{81}{32}$ (O)

04 2024학년도 6월 4번 정답률 71%

4. 그림은 질량이 서로 다른 위성 A, B가 동일한 행성을 한 초점으로 하는 각각의 타원 궤도를 따라 한 주기 동안 운동할 때, A, B에 작용하는 중력의 크기를 행성의 중심으로부터 A, B 중심까지의 거리에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B에는 행성에 의한 중력만 작용한다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. A의 궤도의 긴반지름은 $4r$이다.
ㄴ. 질량은 A가 B보다 작다.
ㄷ. 가속도 크기의 최댓값은 A가 B보다 크다.

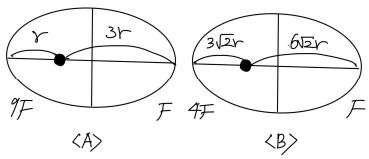
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 그림을 통하여 A의 궤도의 긴반지름은 $4r$이다. (O)

ㄴ.

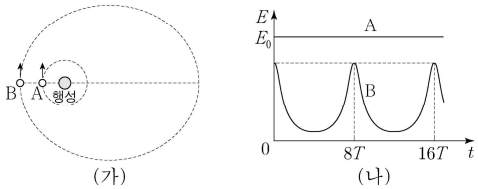


같은 F를 갖는 점을 비교해보면 거리는 B가 더 멀리 떨어져 있다. 따라서 $m_A<m_B$ (O)

ㄷ. A의 거리가 행성과 더 가깝다. 따라서 가속도는 A가 B보다 크다. (O)

05 2024학년도 수능 15번 정답률 49%

15. 그림 (가)는 동일한 평면에서 질량이 M인 행성을 중심으로 원운동을 하는 위성 A와, 같은 행성을 한 초점으로 타원 운동을 하는 위성 B가 가장 가까워진 순간의 모습을 나타낸 것이다. 이때 A 중심과 B 중심 사이의 거리는 A의 궤도 반지름과 같다. 그림 (나)는 (가)의 순간부터 A, B의 운동 에너지 E를 시간 t에 따라 나타낸 것이다. A의 질량은 m이고, 공전 주기는 T이며, 운동 에너지는 E_0이다.



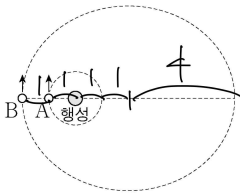
$t=4T$일 때, A 중심과 B 중심 사이의 거리는? (단, 중력 상수는 G이고, A, B에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

① $\frac{3GMm}{E_0}$ ② $\frac{7GMm}{2E_0}$ ③ $\frac{4GMm}{E_0}$ ④ $\frac{9GMm}{2E_0}$ ⑤ $\frac{5GMm}{E_0}$

정 답 ②

해 설

A와 B의 주기비가 1 : 8이다. 따라서 지름비는 1 : 4이다.



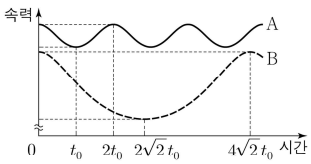
$t=4T$일 때 A는 행성의 왼쪽에 위치하고, B는 행성의 오른쪽에 위치한다. A와 B의 거리는 7이다.

원운동하는 A의 운동 에너지는 $E_0=G\frac{Mm}{2r}$이다.

따라서 답은 $\frac{7GMm}{2E_0}$이다.

06 2026학년도 9월 3번 정답률 90%

3. 그림은 위성 A와 B가 동일한 행성을 한 초점으로 하는 각각의 타원 궤도를 따라 운동할 때, A와 B의 속력을 시간에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B에는 행성에 의한 중력만 작용한다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. A의 공전 주기는 $2t_0$이다.
ㄴ. B의 가속도의 크기는 $2\sqrt{2}t_0$일 때가 $4\sqrt{2}t_0$일 때보다 크다.
ㄷ. 타원 궤도의 긴반지름은 B가 A의 $\sqrt{2}$배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

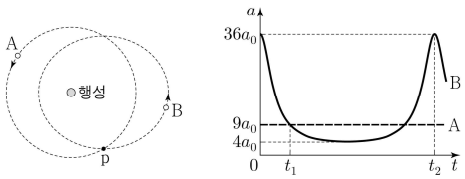
ㄱ. A의 공전주기는 $2t_0$이다. (O)

ㄴ. $2\sqrt{2}t_0$일 때 속력이 최소이므로 원일점이다.
따라서 가속도의 크기는 $2\sqrt{2}t_0<4\sqrt{2}t_0$이다. (X)

ㄷ. B의 공전 주기는 $4\sqrt{2}t_0$이므로 $T_B=2\sqrt{2}\,T_A$이다.
따라서 긴반지름은 B가 A의 2배이다. (X)

07 2024학년도 수능 15번 정답률 49%

12. 그림 (가)와 같이 위성 A는 행성을 중심으로 원 궤도를 따라 운동하고, 위성 B는 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동한다. 점 p는 A와 B의 궤도가 교차하는 지점이다. 그림 (나)는 A와 B의 가속도 크기 a를 시간 t에 따라 나타낸 것이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A와 B에는 행성에 의한 중력만 작용한다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. B의 속력은 t_1일 때가 t_2일 때보다 크다.
ㄴ. t_1일 때, B는 p를 지난다.
ㄷ. A와 B의 공전 주기는 서로 같다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

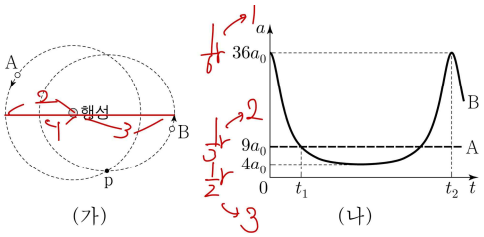
정 답 ⑤

해 설

ㄱ. t_2에서는 가속도가 최대이므로 근일점이다. 따라서 속력이 최대이다. (X)

ㄴ. A와 B의 가속도의 크기가 동일하므로 동일한 거리만큼 떨어져 있음을 알 수 있다. B가 근일점에서 원일점으로 진행하고 있으니 p를 지난다. (O)

ㄷ. 장지름이 같아 공전 주기는 서로 같다. (O)



(가) (나)

PART 9
일반 상대성 이론

개념 유형

01. 관성력
02. 빛의 휘어짐
03. 일반 상대성 이론

기출 유형

01. 관성력
02. 일반 상대성 이론
03. 등가 원리

THEME

1 — 관성력

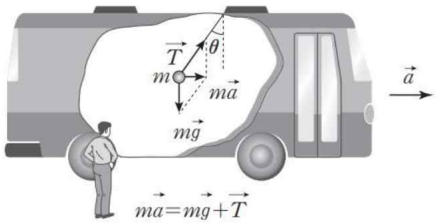
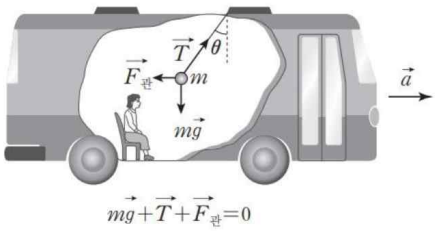
정리1 관성력

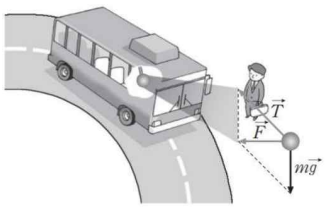
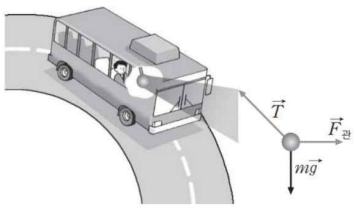
개념1 좌표계

① 관성 좌표계 : 정지 또는 등속 직선 운동을 하는 관찰자를 기준으로 하는 좌표계 (특수 상대성 이론)
② 가속 좌표계 : 가속도 운동을 하는 관찰자를 기준으로 하는 좌표계 (일반 상대성 이론)

개념2 관성력

비관성계에 있는 물체(탑승자)는 가속하는 동안에도 원래의 운동 상태를 유지하려고 한다. (관성 법칙)
이를 가능하게 해 주는 힘이 바로 관성력이다. 관성력은 실제로 존재하지 않는 힘이다. 즉, 관성력은 겉보기 힘이다.
① 관성력의 방향 : 외부 관찰자가 볼 때의 물체의 가속 방향과 반대 방향으로 작용한다.
② 관성력의 크기 : 외부 관찰자가 봤을 때 알짜힘의 크기와 동일하다.
③ 수식 : $F_{\text{관성력}}=-ma$ 또는 $F_{\text{관성력}}=mg\tan\theta$이다.

(가) 지면에 서 있는 사람이 본 추의 가속도 운동 외부 관찰자가 봤을 때 물체의 알짜힘 = ma	(나) 버스 안에 정지한 사람이 본 힘의 평형 내부 관찰자가 봤을 때 물체의 알짜힘 = 0
	

(가) 지면에 서 있는 사람이 본 추의 가속도 운동	(나) 버스 안에 정지한 사람이 본 힘의 평형
	

개념3 외부 관찰자가 본 힘과 내부 관찰자가 본 힘

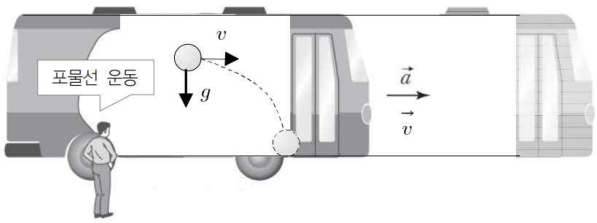
① 버스 상황에서 힘의 상각형을 통해 장력은 $T=\dfrac{mg}{\cos\theta}=\dfrac{F_{\text{관성력}}}{\sin\theta}$이다.
② 외부 관찰자가 측정한 장력의 크기와 내부 관찰자가 측정한 장력의 크기는 같다.

정리2 물체의 움직임

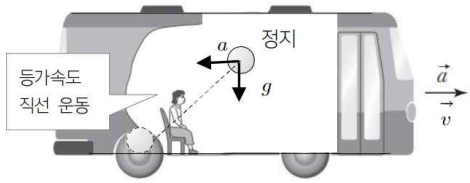
개념1 물체의 낙하

내부 관찰자가 볼 때 정지한 공이 있다고 하자. 이 공을 낙하시킬 때 내부 관찰자와 외부 관찰자가 관측한 내용에 대해서 분석해보자.

① 외부 관찰자가 볼 때 가속도가 x축 방향만 존재하므로 물체는 포물선 운동하는 것으로 관측된다. (공은 앞으로 이동하는 것으로 관측)
② 내부 관찰자가 볼 때 정지 상태에서 가속도가 존재하므로 등가속도 직선 운동하는 것으로 관측된다. (공이 뒤로 이동하는 것으로 관측)



[외부 관찰자]

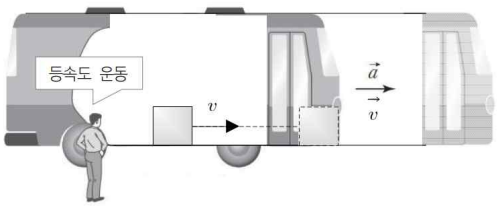


[내부 관찰자]

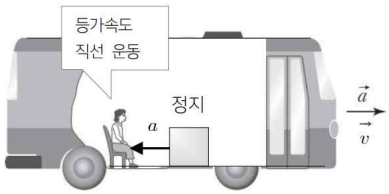
개념2 물체의 운동

내부 관찰자가 볼 때 정지한 공이 있다고 하자. 이 공을 낙하시킬 때 내부 관찰자와 외부 관찰자가 관측한 내용에 대해서 분석해보자.

① 외부 관찰자가 볼 때 바닥의 마찰이 존재하지 않으므로 물체에 작용하는 가속도가 없기에 물체는 등속도 운동하는 것으로 보인다.
② 내부 관찰자가 볼 때 정지 상태에서 가속도가 왼쪽으로 작용하므로 등가속도 직선 운동하는 것으로 보인다.



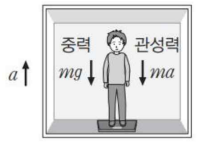
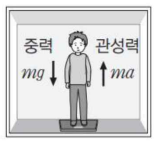
[외부 관찰자]



[내부 관찰자]

정리3 엘리베이터 상황

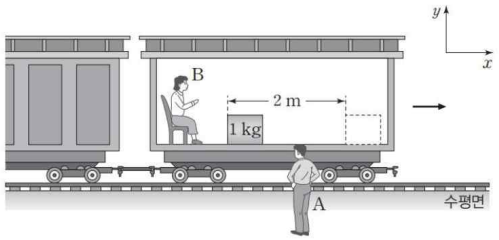
① 외부에서 봤을 때 엘리베이터가 위쪽으로 가속하면 위쪽의 힘(장력 or 수직항력)의 크기는 커진다.
② 외부에서 봤을 때 엘리베이터가 아래쪽으로 가속하면 위쪽의 힘의 크기는 작아진다.

가속도	가속도가 위 방향일 때	없음	가속도가 아래 방향일 때
엘리베이터 운동 상태			
관성력	아래쪽 방향 ma		위쪽 방향 ma
사람의 무게	$mg+ma$	mg	$mg-ma$

③ 가속도가 위 방향일 때 내부 관측자가 측정한 가속도의 크기는 $g+a$이다.
만약 측정 가속도가 중력의 n배가 되면 바닥에서 속력은 $\sqrt{n}$배, 낙하 시간은 $\frac{1}{\sqrt{n}}$배가 된다.

예제1

그림과 같이 수평면에 정지해 있는 관찰자 A에 대해 $+x$ 방향으로 등가속도 운동을 하는 기차 안에 관찰자 B가 정지해 있다. B의 좌표계에서 시간 $t=0$일 때 마찰이 없는 수평한 기차 바닥에 정지해 있던 질량이 $1kg$인 물체가 등가속도 운동을 하여 $t=1$초일 때까지 $-x$방향으로 $2m$만큼 운동하였다.



$t=0$일 때부터 $t=1$초일 때까지, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기와 공기 저항은 무시한다.)

<보 기>

ㄱ. A의 좌표계에서 기차의 가속도의 크기는 $4m/s^2$이다.
ㄴ. A의 좌표계에서 물체는 등가속도 운동을 한다.
ㄷ. B의 좌표계에서 물체에 작용하는 관성력의 크기는 $4N$이다.

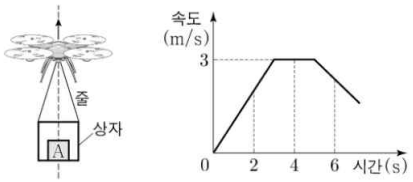
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. B의 입장에서 등공②를 통하여 $2=\frac{1}{2}a$에서 $a=4$이다.
따라서 A의 좌표계에서 기차의 가속도는 4이다. (O)
ㄴ. A의 좌표계에서 마찰은 없고 초기에 정지해 있으므로 물체는 정지한 것처럼 보인다. (X)
ㄷ. B의 좌표계에서 물체에 작용하는 관성력은 $4N$이다. (O)

예제2

그림 (가)는 드론으로 줄을 당겨 상자를 연직 위 방향으로 이동시키는 모습을 나타낸 것이고, (나)는 지표면에 고정된 관성 좌표계에서 측정한 상자의 속도를 시간에 따라 나타낸 것이다. 상자 내부에 놓인 물체 A는 상자와 접촉한 상태로 연직선을 따라 운동하다.



(가) (나)

상자에 고정된 좌표계에서, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A에 작용하는 관성력의 방향은 2초일 때와 6초일 때가 같다.
ㄴ. 4초일 때 A에 작용하는 알짜힘은 0이다.
ㄷ. A가 상자를 누르는 힘의 크기는 4초일 때가 6초일 때보다 작다

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 가속도의 방향이 반대이므로 관성력의 방향도 반대이다. (X)
ㄴ. 4초일 때 A에 작용하는 알짜힘은 0이다. (O)
ㄷ. 6초일 때 가속도의 방향은 아래 방향이므로 상자를 누르는 힘은 4초>6초이다. (X)

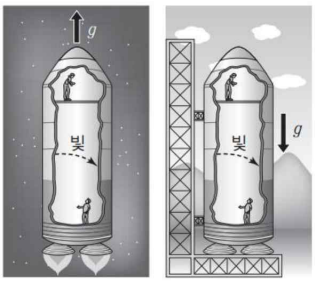
THEME

2 — 빛의 휘어짐

정리1 등가 원리

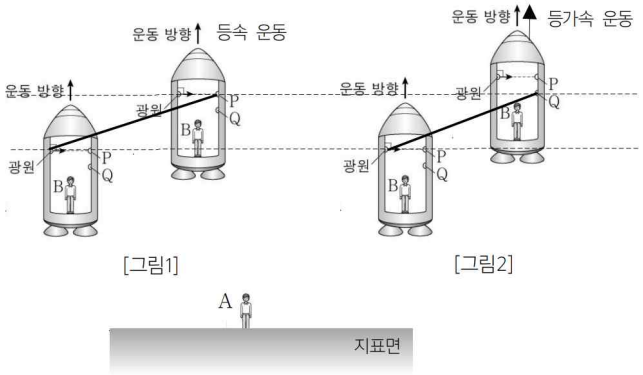
개념1 등가 원리 (equivalence principle)

균일한 중력장이 존재하는 정지계와 균일하게 가속하는 좌표계는 물리적으로 완전히 동등하다.
즉, 실험적으로 내부 관찰자는 자신의 상태를 구분할 수 없다. 이것이 등가 원리이다.
내부 관측자가 볼 때 위로 가속하는 우주선에서 질량이 있는 물체를 가만히 두면 아래로 낙하한다.
질량이 없는 빛도 물체의 움직임과 같이 아래로 휘어진 경로를 따라 이동한다.



개념2 내부의 빛을 관측

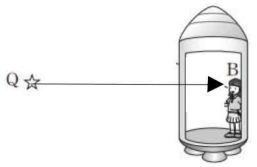
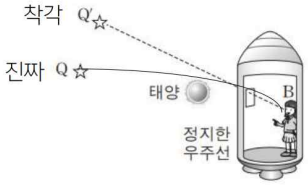
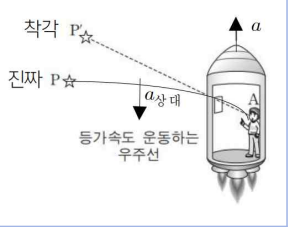
우주 공간에서 물체 또는 빛을 $+x$방향으로 발사할 때 관측자 A, B가 측정한 결과는 다음과 같다.
(지표면 공간이라면 중력을 고려해줘야 한다. 이때 빛도 물체와 같이 진행 경로가 중력의 영향을 받는다.)



	[그림1]	[그림2]
외부 관측자 A	(+,+)방향으로 등속도 운동	(+,+)방향으로 등속도 운동
내부 관측자 B	(+, 0)방향으로 등속도 운동	(+,−)방향으로 포물선 운동

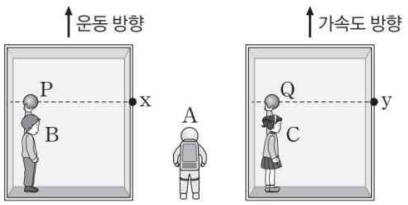
개념3 외부의 빛을 관측

① 우주선이 등속도 운동을 하는 데, 태양이 빛의 경로를 꺾는다면 내부 관측자는 빛 Q는 Q′에 있는 것처럼 착각을 한다.
② 우주선이 위로 가속된다면 상대 가속도에 의해서 외부의 계는 아래쪽으로 가속도가 있는 것으로 보인다.
(내부 관측자는 외부에 태양이 있는 것과 동일한 측정 결과를 얻는다.)

정지(등속)	정지(등속) - 행성 추가	가속
		

예제1

그림과 같이 텅 빈 우주 공간에서 학생 A에 대해 학생 B, C가 탑승한 우주선이 화살표 방향으로 각각 등속 직선 운동, 등가속도 직선 운동을 하고 있다.



B, C가 각각 물체 P, Q를 점 x, y를 향해 발사할 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A가 관측할 때, P는 x에 도달한다.
ㄴ. A가 관측할 때, Q는 직진한다.
ㄷ. C가 관측할 때, Q는 y에 도달한다.

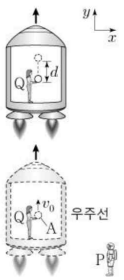
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. B가 탄 우주선은 등속 직선 운동을 하므로 A가 관측하면 P는 x에 도달한다. (O)
ㄴ. A가 관측하면 Q는 직진 운동을 한다. (O)
(C가 관측하면 포물선 운동을 한다.)
ㄷ. C가 관측하면 Q는 y의 아래에 도달한다. (X)

예제2

그림과 같이 텅 빈 우주 공간에서 정지한 관찰자 P에 대해 정지해 있던 우주선이 $+y$방향으로 직선 운동하며, 우주선의 가속도는 일정하다. 우주선에 탄 관찰자 Q는 질량이 m인 물체 A를 던졌다가 받았다. Q가 관측할 때, A는 $+y$방향으로 v_0의 속력으로 던져져 등가속도 직선 운동하여 던진 위치로부터 d만큼 떨어진 최고점까지 도달했다가 던진 위치로 되돌아왔다.



Q가 A를 던진 순간부터 받은 순간까지, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A의 크기는 무시한다.)

<보 기>

ㄱ. P가 관측할 때, A는 등속 직선 운동한다.
ㄴ. Q가 관측할 때, A에 작용하는 관성력의 방향은 $+y$방향이다.
ㄷ. Q가 관측할 때, A에 작용하는 관성력의 크기는 $\frac{mv_0^2}{2d}$

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. P가 관측할 때, A는 등속 직선 운동한다. (O)
ㄴ. Q가 관측할 때, A에 작용하는 관성력의 방향은 $-y$방향이다. (X)
ㄷ. A의 가속도는 $2ad=v_0^2$이므로 $F=\frac{mv_0^2}{2d}$이다. (O)

THEME

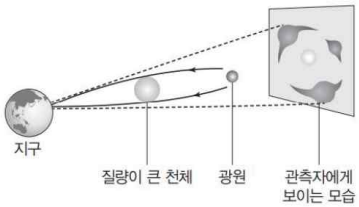
3 일반 상대성 이론

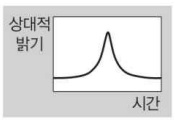
정리1 일반 상대성 이론의 예

개념1 중력 렌즈 효과

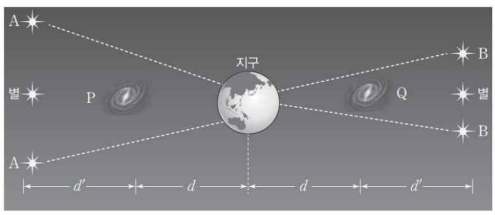
① 먼 곳에 있는 밝은 별로부터 빛이 지구에 도달할 때 중간에 질량이 매우 큰 천체가 있으면 빛은 휘어져 별의 상이 여러 개로 보일 수 있다. 이처럼 중력이 볼록 렌즈처럼 빛을 휘게 하는 것을 중력 렌즈 효과라고 한다.

② 지구, 질량이 큰 천체, 광원이 직선을 이룰 때 지구에서 측정한 별빛의 상대적 밝기가 최대이다. 질량이 큰 천체가 위에서 아래로 내려올 때 그래프는 아래와 같다.





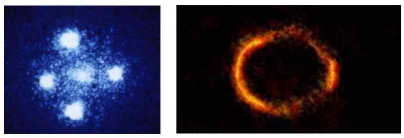
③ 중력이 더 클수록 별빛은 더 휘어 광원이 위쪽에 있는 것으로 지구에서 착각하여 관측하게 된다. 그림은 멀리 떨어져 있는 밝은 별에서 오는 빛이 은하 P, Q와 같이 무거운 천체가 있을 때 휘어져서 각각 A와 B에 있는 것처럼 보이는 것을 나타낸 것이다. A가 B보다 더 많이 휘어있으므로 은하 P가 은하 Q보다 질량이 더 크다.



개념2 아인슈타인의 십자가

① 중력 렌즈 역할을 하는 은하단의 질량 분포, 광원-렌즈-관측자의 상대적 위치 등에 따라 '아인슈타인의 십자가'와 같은 상이나 '아인슈타인의 고리'와 같은 원형의 상을 관측할 수있다.

② 만약 은하단의 질량이 더 커지게 된다면 굴절이 커지므로 더 큰 고리로 보인다.



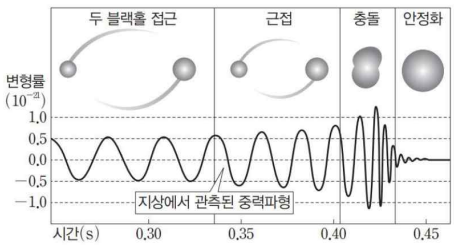
개념3 별에 따른 시공간의 휘어짐

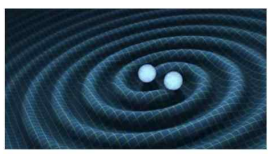
일반 상대성 이론에 의하면 천체에 따라 주변 시공간을 휘게 하는 정도가 다른데 태양, 백색 왜성, 중성자별 주위의 시공간의 휘어짐을 비교하면 그림과 같이 나타낼 수 있다. 질량이 충분히 커지져서 탈출 속도가 광속을 넘어가면 빛 조차도 빠져 나오지 못하게 되는데, 이것을 블랙홀이라고 한다.



개념4 중력파

질량에 의해 시공간이 휘어져 있으므로 초신성 폭발과 같은 현상이 발생하여 질량의 공간적 분포에 변화가 있게 되면 주위의 시공간이 요동을 치게 되고, 이 흔들림이 파동(광속)으로 퍼져 나가는 것을 중력파라고 한다. 음파가 공기를 압축·확장하듯이 중력파는 공간을 수축 및 팽창시키는 것으로 알려져 있다. 블랙홀의 존재는 방출되는 X선과 중력파를 통해 LIGO 간섭계로 파악할 수 있다.

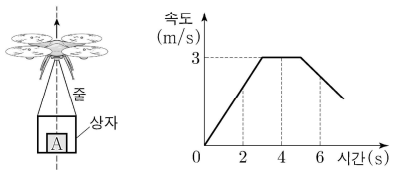




유형 01 관성력

01 2023학년도 6월 9번 정답률 73%

9. 그림 (가)는 드론으로 줄을 당겨 상자를 연직 위 방향으로 이동시키는 모습을 나타낸 것이고, (나)는 지표면에 고정된 관성 좌표계에서 측정한 상자의 속도를 시간에 따라 나타낸 것이다. 상자 내부에 놓인 물체 A는 상자와 접촉한 상태로 연직선을 따라 운동한다.



(가) (나)

상자에 고정된 좌표계에서, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A에 작용하는 관성력의 방향은 2초일 때와 6초일 때가 같다.
ㄴ. 4초일 때 A에 작용하는 알짜힘은 0이다.
ㄷ. A가 상자를 누르는 힘의 크기는 4초일 때가 6초일 때보다 작다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

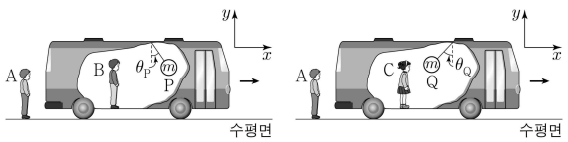
정 답 ②

해 설

ㄱ. A에 작용하는 관성력의 방향은 2초, 6초가 반대이다. (X)
ㄴ. 4초일 때 알짜힘은 0이다. (O)
ㄷ. 6초일 때 관성력은 위쪽이므로 A가 상자를 누르는 힘은 4초일 때가 6초일 때 보다 더 크다. (X)

02 2024학년도 6월 10번 정답률 50%

10. 그림 (가), (나)와 같이 수평면에 정지한 관찰자 A에 대해 관찰자 B, C가 탄 버스가 $+x$방향으로 각각 직선 운동을 하고 있다. 버스의 천장에는 질량이 m으로 같은 물체 P, Q가 각각 실에 매달려 있고 실과 연직선이 이루는 각은 각각 θ_P, θ_Q로 일정하며, $\theta_P < \theta_Q$이다.



(가) (나)

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

<보 기>

ㄱ. A의 좌표계에서, P의 운동 방향과 P의 가속도의 방향은 같다.
ㄴ. A의 좌표계에서, P에 작용하는 알짜힘의 크기는 Q에 작용하는 알짜힘의 크기보다 작다.
ㄷ. C의 좌표계에서, Q에 작용하는 관성력의 방향은 $+x$방향이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

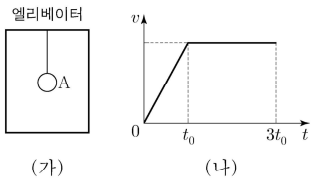
정 답 ②

해 설

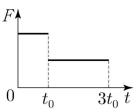
ㄱ. A의 좌표계에서, P의 운동 방향과 P의 가속도 방향은 반대이다. (X)
ㄴ. 각도 조건을 통하여 P에 작용하는 알짜힘의 크기는 Q에 작용하는 알짜힘의 크기보다 작다. (O)
ㄷ. 그림을 보면 $+x$방향이다. (X)

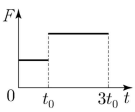
03 2024학년도 수능 5번 정답률 62%

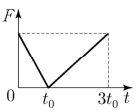
5. 그림 (가)는 엘리베이터의 천장에 실로 매달린 물체 A가 지표면에 고정된 관성 좌표계에 대해 엘리베이터와 함께 정지해 있는 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 순간부터 엘리베이터가 A와 함께 연직 위 방향으로 운동할 때, 지표면에 고정된 관성 좌표계에서 측정한 A의 속력 v를 시간 t에 따라 나타낸 것이다.

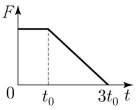


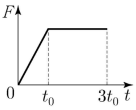
실이 A를 당기는 힘의 크기 F를 t에 따라 나타낸 것으로 가장 적절한 것은? [3점]

① 

② 

③ 

④ 

⑤ 

정 답 ①

해 설

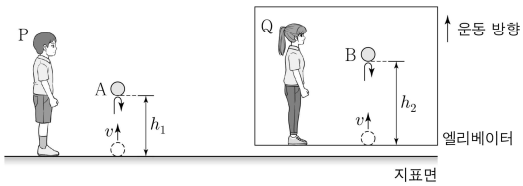
$0 \sim t_0$) 위쪽으로 속력이 증가하면 장력은 증가한다.

$t_0 \sim 3t_0$) 등속도 운동

위의 내용을 만족하는 그림은 ①이다.

04 2026학년도 6월 10번 정답률 81%

10. 그림과 같이 지표면에 있는 관찰자 P에 대해 물체 A는 지표면에서 연직 위 방향으로 속력 v로 던져져 등가속도 직선 운동을 하고, 엘리베이터를 탄 관찰자 Q에 대해 물체 B는 엘리베이터의 바닥에서 연직 위 방향으로 속력 v로 던져져 등가속도 직선 운동을 한다. 엘리베이터는 P에 대해 연직 위 방향으로 직선 운동을 한다. P의 좌표계에서 A가 높이 h_1인 최고점에 도달하는 데 걸린 시간은 t_1이며, Q의 좌표계에서 B가 높이 h_2인 최고점에 도달하는 데 걸린 시간은 t_2이다. $h_1 < h_2$이다.



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

<보 기>

ㄱ. $t_1 > t_2$이다.
ㄴ. Q의 좌표계에서 B의 가속도의 크기는 g보다 작다.
ㄷ. P의 좌표계에서 엘리베이터의 가속도 방향은 연직 위 방향이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설

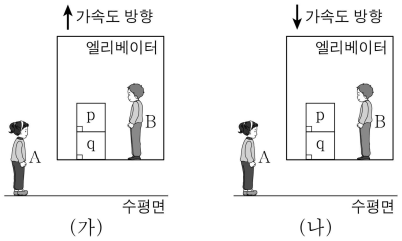
ㄱ. 시간과 속도에 대한 정보가 있으므로 등공 ④로 생각을 해보자
$\frac{v}{2}t_1 = h_1 < \frac{v}{2}t_2 = h_2$이므로 $t_1 < t_2$이다. (X)

ㄴ. 등공 ①로 생각을 해보면 $v = at$에서 시간과 가속도는 반비례하므로 $a_1 > a_2$이다. (O)

ㄷ. 가속도 정보를 토대로 엘리베이터의 가속도 방향은 연직 아래 방향이다. (X)

05 2026학년도 9월 17번 정답률 80%

17. 그림 (가), (나)와 같이 수평면에 정지한 관찰자 A에 대해 관찰자 B가 탄 엘리베이터가 같은 크기의 가속도로 각각 연직 위, 연직 아래 방향으로 연직선상에서 등가속도 운동을 한다. (가)와 (나)에서 질량이 같은 두 물체 p, q가 수평인 엘리베이터 바닥에 포개져 B에 대해 정지해 있다. B의 좌표계에서, 엘리베이터 바닥이 q를 떠받치는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{3}{2}$배이다.



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

<보 기>

ㄱ. (가), (나)에서 엘리베이터의 가속도의 크기는 $\frac{1}{5}g$이다.

ㄴ. A의 좌표계에서, q에 작용하는 알짜힘의 크기는 (가)에서와 (나)에서가 서로 같다.

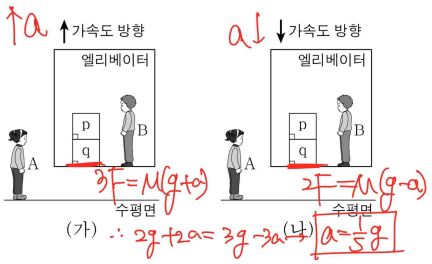
ㄷ. (가)에서, q가 p를 떠받치는 힘의 크기는 A의 좌표계에서와 B의 좌표계에서가 서로 같다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 문제에 주어진 정보를 바탕으로 계산하면 $a=\frac{1}{5}g$이다. (O)



ㄴ. $m_q a$로 알짜힘은 동일하다. (O)

ㄷ. 측정값은 동일하다. (O)

유형 02 일반 상대성 이론

01 2022학년도 6월 2번 정답률 88%

2. 다음은 탈출 속도와 어떤 천체에 대한 설명이다.

> 물체가 천체의 중력을 벗어나 무한히 먼 곳까지 가기 위한 [A] 속도를 탈출 속도라고 한다. 천체의 반지름이 일정할 때 천체의 질량이 [B] 수록 탈출 속도는 커진다. 탈출 속도가 매우 커서 빛조차 벗어날 수 없는 천체를 [C] 이라고 한다.

A, B, C로 가장 적절한 것은?

	A	B	C
①	최소	클	블랙홀
②	최소	작을	블랙홀
③	최소	클	백색 왜성
④	최대	작을	블랙홀
⑤	최대	클	백색 왜성

정 답 ①

해 설

A. 최소
B. 클
C. 블랙홀

02 2023학년도 6월 1번 정답률 84%

1. 그림은 학생 A, B, C가 블랙홀에 대해 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은? [3점]

① A ② B ③ A, C ④ B, C ⑤ A, B, C

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. (O)
ㄴ. (O)
ㄷ. (O)

03 2023학년도 9월 1번 정답률 88%

1. 다음은 아인슈타인이 제시한 이론에 대한 설명이다.

> 아인슈타인의 [A] 이론에 따르면 질량이 매우 큰 천체는 볼록 렌즈와 같은 역할을 하여 근처를 지나는 빛의 경로를 휘게 한다. 이를 [B] 효과라고 한다.

A, B로 가장 적절한 것은? [3점]

	A	B
①	일반 상대성	광전
②	일반 상대성	도플러
③	일반 상대성	중력 렌즈
④	특수 상대성	도플러
⑤	특수 상대성	중력 렌즈

정 답 ③

해 설

A. 일반 상대성
B. 중력 렌즈

04 2024학년도 6월 2번 정답률 73%

2. 다음은 어떤 파동에 대한 설명이다.

> 블랙홀끼리의 충돌과 같이 질량의 공간적 분포에 큰 변화가 생기면 주위 시공간의 변화가 퍼져 나가는데, 이것을 [A] 라고 한다. 이 파동은 아인슈타인의 [B] 이론으로 설명할 수 있다.

A, B로 가장 적절한 것은?

	A	B
①	전자기파	특수 상대성
②	초음파	특수 상대성
③	초음파	일반 상대성
④	중력파	일반 상대성
⑤	중력파	특수 상대성

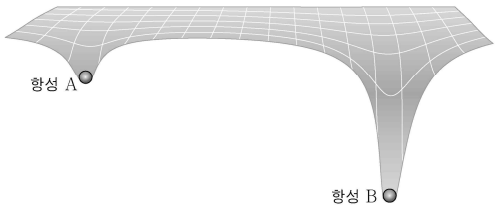
정 답 ④

해 설

A : 중력파
B : 일반 상대성

05 2025학년도 6월 10번 정답률 85%

10. 그림은 크기가 같고 질량이 다른 항성 A, B 주변의 시공간이 휘어진 모습을 모식적으로 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 항성 주변의 시공간은 항성의 질량에 의해 휘어진다.
ㄴ. 질량은 A가 B보다 작다.
ㄷ. 항성 표면에서의 탈출 속력은 A에서가 B에서보다 작다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 항성 주변의 시공간은 항성의 질량에 의해 휘어진다. (O)
ㄴ. 질량은 B가 A보다 더 크다. (O)
ㄷ. 탈출 속력은 A에서가 B에서보다 작다. (O)

06 2025학년도 9월 4번 정답률 88%

4. 다음은 탈출 속도와 어떤 천체에 대한 설명이다.

> 물체가 천체의 중력을 벗어나 무한히 먼 곳까지 가기 위한 최소 속도를 탈출 속도라고 한다. 탈출 속도가 매우 커서 빛조차 벗어날 수 없는 천체를 [㉠](이)라고 하는데, [㉠] 주변에서는 ㉡중력이 매우 커서 시공간이 극도로 휘어진다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 천체의 반지름이 일정할 때, 천체의 질량이 클수록 탈출 속도는 작아진다.
ㄴ. '블랙홀'은 ㉠에 해당한다.
ㄷ. ㉡은 아인슈타인의 일반 상대성 이론으로 설명된다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 질량이 클수록 탈출 속도는 증가한다. (X)
ㄴ. 빛조차 빠져나올 수 없는 천체를 '블랙홀'이라고 한다. (O)
ㄷ. 시공간이 휘어지는 것은 일반 상대성 이론이다. (O)

07 2026학년도 6월 1번 정답률 94%

1. 다음은 어떤 천체와 관련된 설명이다.

> 질량이 매우 크고 지름이 매우 작아 탈출 속력이 빛의 속력보다 커서 내부의 빛조차 빠져나가지 못하는 천체를 [㉠]이라고 한다. 별에서 나온 빛이 [㉠] 주변을 지나면 빛이 휘어져 별의 상이 여러 개로 보일 수 있는데 이러한 현상은 [㉡]의 한 예이다.

㉠, ㉡으로 가장 적절한 것은?

	㉠	㉡
①	블랙홀	전자기 유도
②	태양	전자기 유도
③	블랙홀	중력 렌즈 효과
④	태양	중력 렌즈 효과
⑤	블랙홀	상호 유도

정 답 ③

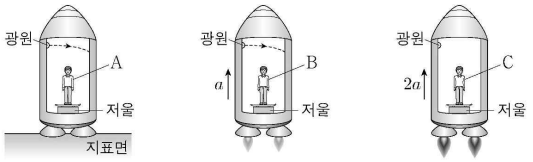
해 설

빛조차 빠져나가지 못하는 천체를 **블랙홀**이라고 한다.
빛이 휘어져 별의 상이 여러개로 보이는 현상을 **중력 렌즈 효과**라고 한다.

유형 03 등가 원리

01 2022학년도 6월 3번 정답률 82%

3. 그림 (가)는 학생 A가 탄 우주선이 지표면에 정지해 있는 모습을, (나)와 (다)는 학생 B, C가 탄 우주선이 텅 빈 우주 공간에서 같은 방향의 가속도 a, $2a$로 운동하는 모습을 각각 나타낸 것이다. 각 우주선의 광원에서 빛이 방출되고, A가 관측한 (가)의 빛과 B가 관측한 (나)의 빛의 경로는 동일하다. A, B, C의 질량은 같다.



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

<보 기>

ㄱ. a의 크기는 지표면에서 중력 가속도의 크기와 같다.
ㄴ. 저울에 측정된 힘의 크기는 (나)에서가 (다)에서보다 작다.
ㄷ. B가 관측한 (나)의 빛은 C가 관측한 (다)의 빛보다 많이 휘어진다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

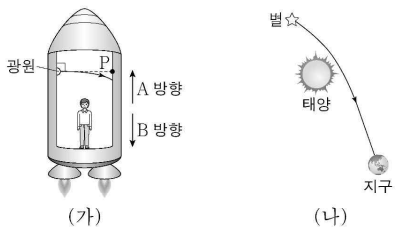
정 답 ④

해 설

ㄱ. (O)
ㄴ. (O)
ㄷ. (X)
딱히 다룰 만한 내용은 없음.

02 2022학년도 9월 3번 정답률 88%

3. 그림 (가)는 텅 빈 우주 공간에서 등가속도 운동을 하는 우주선 안의 광원에서 점 P를 향해 발사된 빛이 휘어져 반대편 벽면에 도달한 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 태양 근처를 지나온 별빛이 휘어져 지구에 도달한 것을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. (가)에서 우주선의 가속도 방향은 B 방향이다.
ㄴ. (가)에서 우주선의 가속도 크기가 클수록 빛이 휘어진 정도는 크다.
ㄷ. (나)는 태양 주변의 휘어진 시공간에 의해 발생하는 현상이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

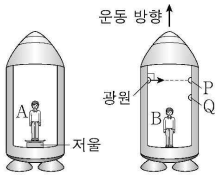
정 답 ④

해 설

ㄱ. 관성력이 $-y$방향이므로 우주선의 가속도 방향은 A이다. (X)
ㄴ. (O)
ㄷ. (O)

03 2022학년도 수능 5번 정답률 75%

5. 그림과 같이 텅 빈 우주 공간에서 학생 A가 탑승한 우주선에 대해 학생 B가 탑승한 우주선이 등가속도 직선 운동을 하고 있다. A가 탑승한 우주선에서 저울에 측정된 힘은 0이다. B가 탑승한 우주선 내부의 광원에서 수직으로 검출기 P를 향해 발사된 빛 신호는 검출기 Q에 도달한다.



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

<보 기>

ㄱ. A가 관찰할 때, 광원에서 발사된 빛은 직진한다.
ㄴ. B가 관찰할 때, 광원에서 발사된 빛은 휘어진다.
ㄷ. B가 탑승한 우주선의 속도의 방향과 가속도의 방향은 서로 같다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

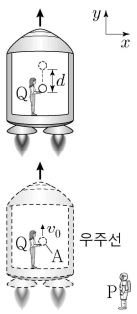
정 답 ⑤

해 설

ㄱ. (O)
ㄴ. (O)
ㄷ. 운동 방향은 $+y$이고, 가속도 방향도 $+y$다. (O)

04 2023학년도 수능 7번 정답률 73%

7. 그림과 같이 텅 빈 우주 공간에서 정지한 관찰자 P에 대해 정지해 있던 우주선이 $+y$방향으로 직선 운동하며, 우주선의 가속도는 일정하다. 우주선에 탄 관찰자 Q는 질량이 m인 물체 A를 던졌다가 받았다. Q가 관찰할 때, A는 $+y$방향으로 v_0의 속력으로 던져져 등가속도 직선 운동하여 던진 위치로부터 d만큼 떨어진 최고점까지 도달했다가 던진 위치로 되돌아왔다.



Q가 A를 던진 순간부터 받은 순간까지, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A의 크기는 무시한다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. P가 관측할 때, A는 등속 직선 운동한다.
ㄴ. Q가 관측할 때, A에 작용하는 관성력의 방향은 $+y$방향이다.
ㄷ. Q가 관측할 때, A에 작용하는 관성력의 크기는 $\frac{mv_0^2}{2d}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

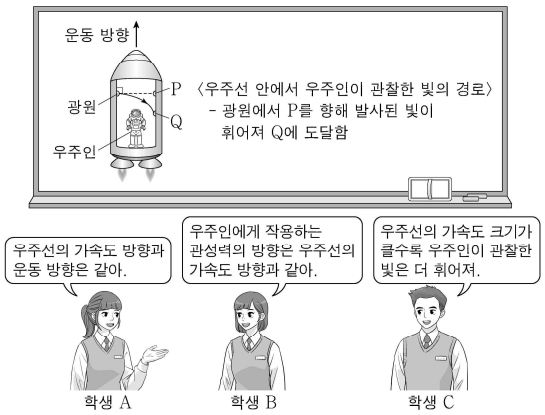
해 설

ㄱ. (O)
ㄴ. $-y$ 방향이다. (X)
ㄷ. 답의 꼴이 등공③ 이다.

등공③) $2ad = v_0^2 \rightarrow a = \frac{v_0^2}{2d} \rightarrow F_{\text{관성력}} = \frac{mv_0^2}{2d}$ (O)

05 2024학년도 9월 2번 정답률 80%

2. 그림은 텅 빈 우주 공간에서 등가속도 직선 운동하는 우주선과 우주선에서 일어나는 현상에 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 ④

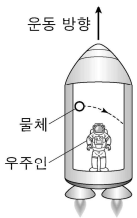
해 설

A. 운동 방향과 가속도 방향은 $+y$로 같다. (O)
B. 관성력과 가속도는 방향이 항상 반대이다. (X)
C. 가속도가 크면 빛은 더 휘어진다. (O)

06 2025학년도 6월 4번 정답률 80%

4. 다음은 텅 빈 우주 공간의 우주선에서 일어나는 현상에 대한 설명이다.

○ 그림과 같이 [A] 운동을 하는 우주선에 탄 우주인이 관찰할 때, 우주선 안에서 던진 물체는 지표면에서 던진 것처럼 포물선 운동을 한다.
○ 우주선에 탄 우주인은 물체의 운동이 우주선의 [A] 운동에 의한 관성력 때문인지, 중력에 의한 것인지 구별할 수 없는데, 이를 [B]라고 한다.



A와 B로 가장 적절한 것은? [3점]

	A	B
①	등속도	등가 원리
②	등가속도	등가 원리
③	등속도	광속 불변 원리
④	등가속도	광속 불변 원리
⑤	등속도	전자기 유도

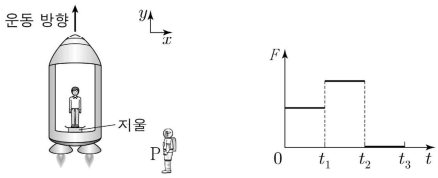
정 답 ②

해 설

A. 등가속도 운동을 하면 물체는 아래로 관성력을 받는다.
B. 구별할 수 없는 상황을 등가 원리라고 한다.

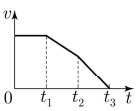
07 2025학년도 수능 7번 정답률 82%

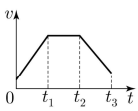
7. 그림 (가)는 텅 빈 우주 공간에서 정지한 관찰자 P에 대해 우주선이 $+y$방향으로 직선 운동하고 있는 모습을, (나)는 우주선이 운동하는 동안 P가 관찰한 저울에서 측정된 힘 F를 시간 t에 따라 나타낸 것이다.

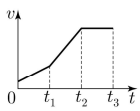


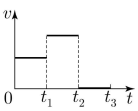
(가) (나)

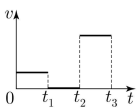
$0 \sim t_3$ 동안 P가 관찰한 우주선의 속도 v를 t에 따라 나타낸 것으로 가장 적절한 것은?

① 

② 

③ 

④ 

⑤ 

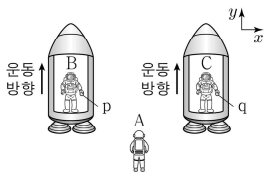
정 답 ④

해 설

우주선의 가속도가 존재하지 않는다면 저울에 측정되는 힘은 0이다. 따라서 $0 \sim t_1$에서는 위쪽으로 가속도가 존재한다. 초기 속도는 위쪽이므로 이를 만족하는 것은 ③이다.

08 2026학년도 수능 10번 정답률 67%

10. 그림과 같이 텅 빈 우주 공간에서 정지한 관찰자 A에 대해 관찰자 B, C가 탄 우주선이 각각 일정한 가속도로 $+y$방향으로 직선 운동을 한다. B가 관찰할 때 가만히 놓은 물체 p와 C가 관찰할 때 가만히 놓은 물체 q는 각각 $-y$방향으로 운동하며, B가 관찰할 때 p가 거리 h만큼 이동하는 데 걸리는 시간이 C가 관찰할 때 q가 h만큼 이동하는 데 걸리는 시간보다 작다.



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

<보 기>

ㄱ. A가 관찰할 때, B의 가속도 방향은 $+y$방향이다.
ㄴ. A가 관찰할 때, 가속도의 크기는 B가 C보다 크다.
ㄷ. B가 관찰할 때, p에 작용하는 관성력의 방향은 $-y$방향이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 가만히 놓은 물체가 $-y$로 이동하려면 가속도는 $+y$방향이다. (O)
ㄴ. 걸린 시간을 토대로 $a_B > a_C$임을 알 수 있다. (O)
ㄷ. 관성력은 외부 가속도와 반대인 $-y$방향이다. (O)

PART 10
일과 에너지

개념 유형

01. 기본 개념
02. 높이가 같은 두 빗면
03. 마찰면이 있는 빗면

기출 유형

01. 단순한 상황
02. 레일 상황
03. 빗면 상황

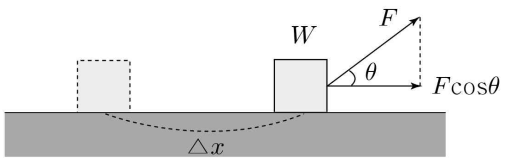
THEME
1 — 기본 개념

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.)

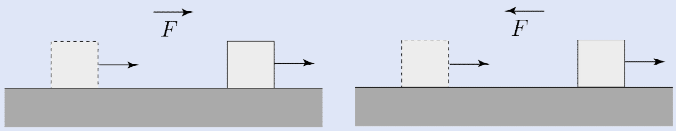
이를 교과 과정으로 표현하면 $W = F\Delta x\cos\theta$이다. (참고로 힘은 벡터이지만, 일은 스칼라이다.)



TIP 일의 부호

일은 스칼라이지만 양(+)과 음(−)의 값을 모두 가질 수 있다. 부호가 방향을 의미하는 것은 아니다.

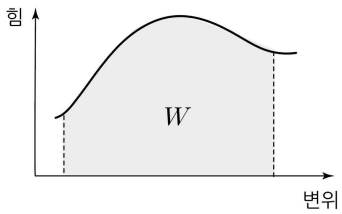
① 양의 일($W>0$)은 힘의 방향과 변위의 방향 동일하다.
② 음의 일($W<0$)은 힘의 방향과 변위의 방향 반대이다.



[$W>0$인 경우] [$W<0$인 경우]

개념2 힘-변위 그래프

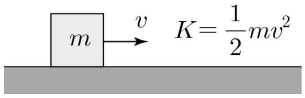
일의 정의 $W_x = \int \vec{F}_x \cdot d\vec{x}$에 의하여 힘-변위 그래프에서 면적은 일을 의미한다.



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 : $F_{A,\text{알짜}}=m_Aa=\frac{dp_A}{dt}=\frac{dK_A}{ds}$

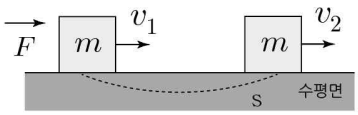
② A의 운동 에너지 : $K_A=\frac{1}{2}mv_A^2=\frac{p_A^2}{2m_A}=m_Aas$

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.)



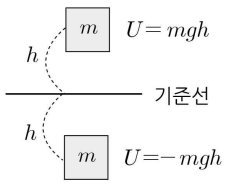
정리3 중력 퍼텐셜 에너지

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.

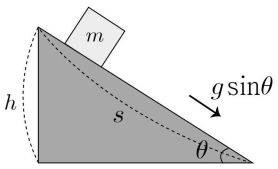
③ 기준선보다 물체가 아래에 있다면, 중력 위치 에너지는 음수가 될 수 있다.
(단, h는 기준선으로부터 떨어진 거리이다.)



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)



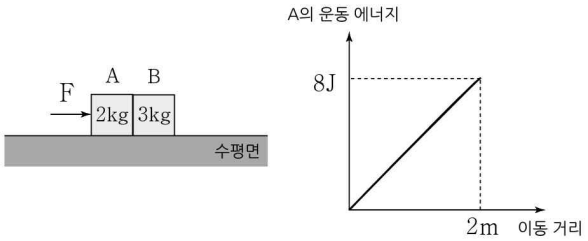
개념3 중력 퍼텐셜 에너지 변화량

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.

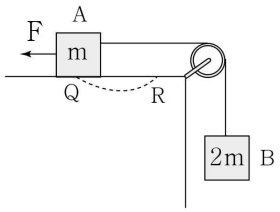


해설

$W_{A,\text{알짜}} = \Delta K_{\text{알짜}}$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

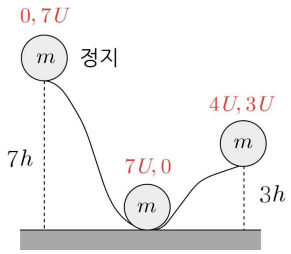
조건을 통해 $\frac{\Delta K_A}{\Delta U_B} = \frac{mas}{2mgs} = 1$에서 $a = 2g$임을 알 수 있다. $a = 2g = \frac{F-2mg}{3m}$을 통해 $F = 8mg$이다.

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.

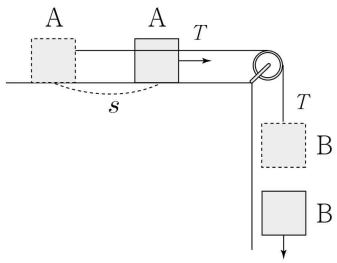
  A는 운동 방향으로 비보존력(장력)이 작용하므로 역학적 에너지가 Ts만큼 증가한다.

- 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.)

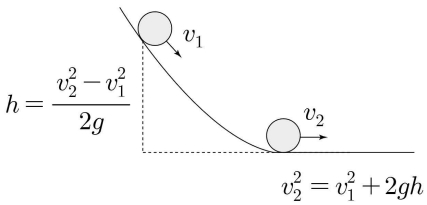


개념3 역학적 에너지 보존 공식

$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgh$를 정리하면 다음과 같은 공식이 나온다.

① 속도 공식 : $v^2 = v_0^2 + 2gh$ (항상 위쪽 속력이 아래쪽 속력보다 크다.)

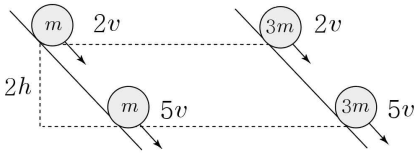
② 높이 공식 : $h = \frac{v^2 - v_0^2}{2g}$



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?

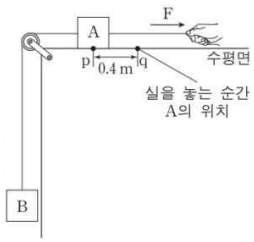
개념 다중 사건의 알고리즘 최종 정리

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	STEP 1. 각 점마다 등공① STEP 2. 각 구간 등공④	STEP 1. 각 구간 등공④ STEP 2. 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.)

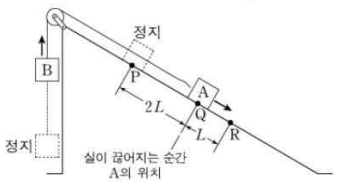
pq) 등공③) $2 \times 5 \times \frac{2}{5} = v^2 \rightarrow v = 2m/s$

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.)

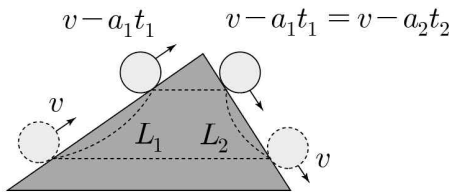
$\therefore K_A=\frac{1}{2}\times 3\times 6=9J$

THEME

2 — 높이가 같은 두 빗면

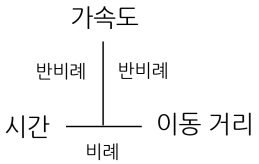
정리1 마찰이 없는 상황

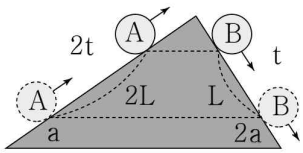
두 개의 레일에 대해서 높이가 같은 두 지점에 대해서 에너지 보존을 통해 다음을 만족한다.



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.

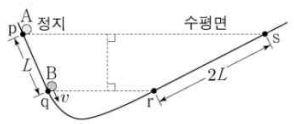
이를 정리하면 물체의 운동에서 봤던 정지-정지 유형의 성질과 동일하다.



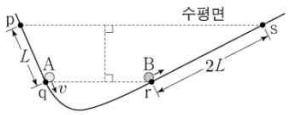


예제1 시간의 비O + 가속도의 비O

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 $1:2$이므로 걸린 시간의 비는 $1:2$이고, 빗면 가속도 비는 $2:1$임을 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

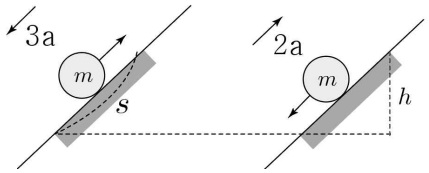
개념1 마찰 구간의 가속도 제시

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.

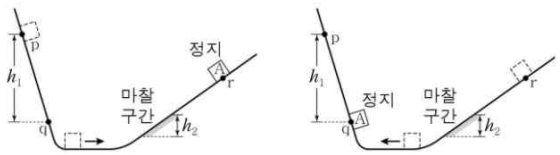


[올라가는 상황] [내려가는 상황]

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

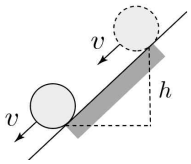
STEP1 힘 계산
올라갈 때 물체의 가속도는 아래로 $3a$이고,
내려갈 때 물체의 가속도는 위로 a이다.
따라서 $a_g = a$이고, $a_f = 2a$이다.
$a_f = 2a_g$이므로 $W_{손실} = 2mgh_2$이다.

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.

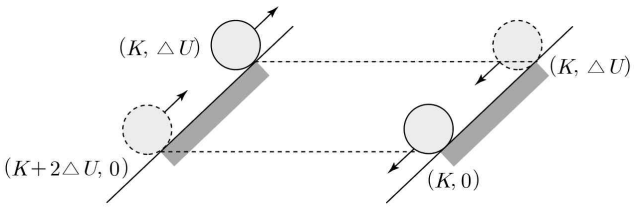
정리2 마찰 구간을 등속도로 내려오는 상황

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.



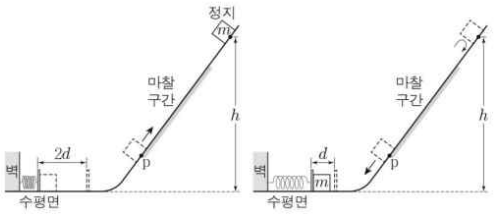
① 내려올 때 마찰 구간에서 등속도 운동을 하므로 $W_{마찰}=\triangle U$이다.
② 마찰 구간에서 한 일은 $W_{마찰}=f_k \cdot s$이고, 운동 마찰력은 수직 항력과 마찰 계수와 관련이 있다.
따라서 물체의 질량이 바뀌거나 접촉면이 바뀌지 않는다면 물체가 올라갈 때와 내려갈 때 마찰 구간에서 한 일은 같다.
③ 나중에 운동 에너지를 K라고 하면 처음의 운동 에너지는 $K+2\triangle U$ $(=K+2W_{마찰})$이다.



[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 단순한 상황

01 2025학년도 9월 7번 정답률 63%

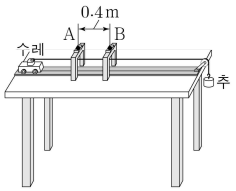
7. 다음은 일과 에너지의 관계를 알아보기 위한 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 그림과 같이 질량이 각각 0.3kg, 0.1kg인 수레와 추를 실로 연결한다.

(나) 수평한 실험대 위에서 수레를 가만히 놓아 수레와 추를 등가속도 직선 운동시킨다.

(다) 수레가 0.4m 떨어진 두 지점 A, B를 지나는 순간, 수레의 속력을 각각 측정한다.



〔실험 결과〕

A에서 측정된 속력	B에서 측정된 속력
0.5m/s	1.5m/s

수레가 A에서 B까지 이동하는 동안, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 $10\,m/s^2$이고, 수레의 크기, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. 수레의 역학적 에너지 증가량은 추의 역학적 에너지 감소량과 같다.

ㄴ. 추의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 0.4J이다.

ㄷ. 수레에 작용하는 알짜힘이 한 일은 0.3J이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 계에 외력이 작용하지 않으므로 계는 역학적 에너지 보존이 된다. 따라서 수레의 역학적 에너지 증가량은 추의 역학적 에너지 감소량과 같다. (O)

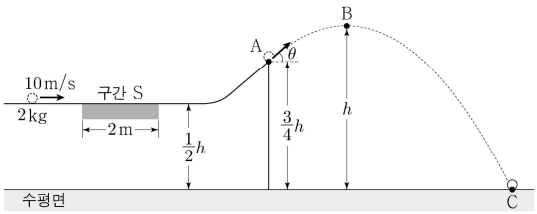
ㄴ. 추의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $mgh = 0.1 \times 10 \times 0.4 = 0.4J$이다. (O)

ㄷ. 수레에 작용하는 알짜힘이 한 일은 수레의 운동 에너지 변화량과 동일하므로 $\frac{1}{2} \times \frac{3}{10} \times (\frac{0}{4} - \frac{1}{4}) = 0.3J$이다. (O)

유형 02 레일 상황

01 2023학년도 6월 18번 정답률 52%

18. 그림과 같이 높이 $\frac{1}{2}h$인 평면에서 10m/s의 속력으로 등속도 운동하던 질량 2kg인 물체가 구간 S를 지난 후, 점 A에서부터 포물선 운동을 하여 최고점 B를 지나 수평면 위의 점 C에 도달한다. 물체는 길이가 2m인 S를 지나는 동안 운동 방향과 반대 방향으로 크기가 일정한 힘 F를 받는다. A, B의 높이는 각각 $\frac{3}{4}h$, h이고, A에서 물체의 운동 방향이 수평 방향과 이루는 각은 θ이다. B, C에서 물체의 운동 에너지는 각각 40J, 120J이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 $10\,m/s^2$이고, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시하며, 물체는 동일 연직면상에서 운동한다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. F의 크기는 5N이다.
ㄴ. $h=4m$이다.
ㄷ. $\tan\theta=\frac{\sqrt{2}}{2}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

ㄱ. BC) 에너지 보존) $40+2gh=120 \rightarrow h=4m$ (ㄴ)

처음-C) $\frac{1}{2}(2)(100)+40-F(2)=120 \rightarrow \therefore F=10N$ (X)

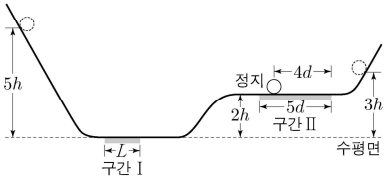
ㄷ. B의 운동 에너지 조건으로 $40=\frac{1}{2}\times2\times v_B^2 \rightarrow v_x^2=40$이고,

AB) 에너지 보존) $v_A^2=2(g)(1)+40=60$에서 $v_y^2=20$이다.

따라서 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}=\sqrt{\frac{20}{40}}=\frac{\sqrt{2}}{2}$ (O)

02 2023학년도 수능 13번 정답률 61%

13. 그림과 같이 높이 $5h$인 점에서 가만히 놓은 물체가 궤도를 따라 운동하여 수평 구간 Ⅰ, Ⅱ를 지나 높이 $3h$인 지점에서 속력이 0이 된 후, 다시 내려와 Ⅱ에서 $4d$만큼 이동하여 정지하였다. Ⅰ과 Ⅱ의 길이는 각각 L, $5d$이고, 높이차는 $2h$이다. Ⅰ, Ⅱ에서 물체가 운동하는 동안 물체에 크기가 F_0인 일정한 힘이 운동 방향과 반대 방향으로 작용한다.



L은? (단, 물체는 동일 연직면에서 운동하고, 물체의 크기, 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

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

정 답 ④

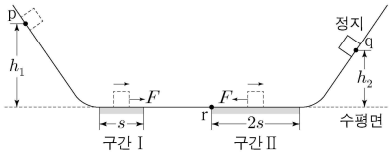
해 설

정지~$4d$) $3U-4W_2=2U \rightarrow 4W_2=U$

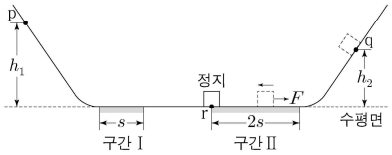
정지~정지) $5U-W_1-5W_2=3U \rightarrow W_2=3W_1$

03 2025학년도 6월 16번 정답률 72%

16. 그림 (가)는 높이 h_1인 점 p에서 가만히 놓은 물체가 수평면에서 구간 Ⅰ, Ⅱ를 지나 높이 h_2인 점 q에 도달하여 정지한 순간을, (나)는 (가)에서 q에 정지한 물체가 내려와 Ⅱ를 지나 점 r에 정지한 것을 나타낸 것이다. 물체에 크기가 F인 일정한 힘이 Ⅰ에서는 운동 방향과 같은 방향으로, Ⅱ에서는 운동 방향과 반대 방향으로 작용한다. Ⅰ, Ⅱ의 길이는 각각 s, $2s$이다.



(가)



(나)

$\frac{h_1}{h_2}$은? (단, 물체는 동일 연직면상에서 운동하고, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.) [3점]

① $\frac{17}{12}$ ② $\frac{3}{2}$ ③ $\frac{19}{12}$ ④ $\frac{5}{3}$ ⑤ $\frac{7}{4}$

정 답 ②

해 설

STEP1 (가)의 에너지 보존

$U_1 - W = U_2$

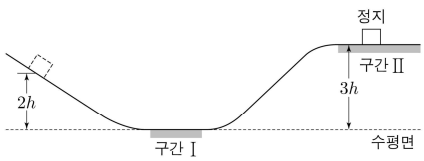
STEP2 (나)의 에너지 보존

$U_2 - 2W = 0$

따라서 $\frac{h_1}{h_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{3}{2}$이다.

04 2026학년도 수능 19번 정답률 74%

19. 그림과 같이 높이 $2h$인 곳에서 가만히 놓은 물체가 궤도를 따라 운동하여 수평면의 구간 Ⅰ을 지나고 높이 $3h$인 수평 구간 Ⅱ에서 정지한다. Ⅰ, Ⅱ에서 이동하는 동안 물체에는 수평 방향으로 같은 크기의 일정한 힘이 각각 작용하며, 물체가 Ⅱ에서 이동하는 데 걸리는 시간은 Ⅰ을 지나는 데 걸리는 시간의 $\sqrt{3}$배이다. Ⅰ과 Ⅱ에서 역학적 에너지 변화량의 크기는 각각 $E_{\text{Ⅰ}}$, $E_{\text{Ⅱ}}$이다.

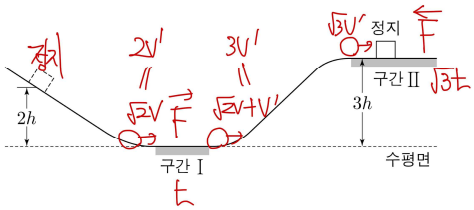


$\frac{E_{\text{Ⅰ}}}{E_{\text{Ⅱ}}}$은? (단, 물체는 동일 연직면상에서 운동하고, 물체의 크기, 공기 저항, 모든 마찰은 무시한다.)

① $\frac{13}{9}$ ② $\frac{14}{9}$ ③ $\frac{5}{3}$ ④ $\frac{16}{9}$ ⑤ 2

정 답 ③

해 설



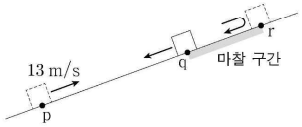
높이 h에 대해서 $v = \sqrt{2gh}$를 만족한다고 하자.
구간 Ⅰ를 통과하고 구간 Ⅱ를 지나기 전에 대해서
역학적 에너지 보존은
$(\sqrt{2}v + v')^2 = (3v')^2 + 6gh = (3v)'^2 + 3v^2$
이 식을 정리하면 $v = \sqrt{2}v'$이다.

따라서 손실된 에너지는 운동 에너지의 변화와 같으므로
속도 제곱의 변화만 확인하면 $\frac{E_{\text{Ⅰ}}}{E_{\text{Ⅱ}}} = \frac{9-4}{3} = \frac{5}{3}$이다.

유형 03 빗면 상황

01 2022학년도 6월 20번 정답률 39%

20. 그림과 같이 질량이 1kg인 물체가 경사면의 점 p를 13m/s의 속력으로 지나 점 q를 통과하여 최고점 r에 도달한 후, 다시 q를 지난다. 물체가 p에서 q에 도달하는 데 걸린 시간은 1초이고, q에서 r를 거쳐 다시 q에 도달하는 데 걸린 시간은 3초이다. qr 구간에서는 일정한 크기의 마찰력이 물체에 작용한다. qr 구간에서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 올라갈 때가 내려올 때의 4배이다.



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

<보 기>

ㄱ. 물체가 q에서 r에 도달하는 데 걸린 시간은 1초이다.
ㄴ. 경사면을 내려올 때 p에서 물체의 속력은 11m/s이다.
ㄷ. 물체가 q에서 r를 거쳐 다시 q에 도달하는 동안 감소한 역학적 에너지는 24J이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. qr에 대해서 등공② $s=\frac{1}{2}at^2$를 쓰자.

이동 거리는 동일하고, 가속도 비가 4:1이므로 걸린 시간은 1:2이다. 따라서 q에서 r로 가는데 걸린 시간은 1초이다. (O)

ㄴ. pq의 가속도는 $a_g=\frac{a_1+a_2}{2}=\frac{5}{2}a$이고, qr의 가속도는 $4a$이다.

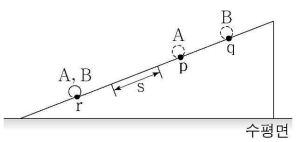
pr에서 등공① $\frac{5}{2}a+4a=\frac{13}{2}a=13$, $a=2m/s^2$이다.

따라서 q에서 속력은 4이다. pq에 대해서 시간적 조건이 없으므로 등공③으로 생각해보면 속도 제곱의 변화량이 동일하다. $169-64=v^2-16$에서 $v=11m/s$이다.

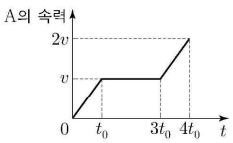
ㄷ. 운동 에너지 변화량) $\frac{1}{2}(1)(48)=24J$

02 2022학년도 9월 19번 정답률 38%

19. 그림 (가)와 같이 기울기가 일정한 경사면 위의 점 p에 물체 A를 시간 $t=0$일 때 가만히 놓고 일정한 시간이 지난 후 점 q에 물체 B를 가만히 놓으면, A, B가 구간 s를 지나 $t=4t_0$일 때 점 r에서 만난다. A, B는 질량이 같고, s에서 일정한 힘을 받아 각각 v, $2v$의 속력으로 등속도 운동을 한다. 그림 (나)는 A의 속력을 t에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

q에서 r까지 B의 운동 에너지 증가량과 중력 퍼텐셜 에너지 감소량을 각각 E_1, E_2라 할 때, $\frac{E_1}{E_2}$은? (단, 물체의 크기, 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

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

정 답 ②

해 설

STEP1 E_1 구하기

q에서 r까지 B의 운동 에너지의 증가량은 r에서의 운동 에너지와 같다. 따라서 r에서의 속력을 구하면 된다.

구간 s를 통과하고 나서 이동 거리가 동일하므로 속도 제곱의 변화량은 $3v^2=v'^2-4v^2$에서 $v'=\sqrt{7}v$이다.

따라서 $E_1=\frac{7}{2}mv^2$이다.

STEP2 E_2 구하기

A의 빗면 운동에 대하여 등공③ $2g'(\frac{1}{2}d)=v^2$에서 $g'd=v^2$이다.

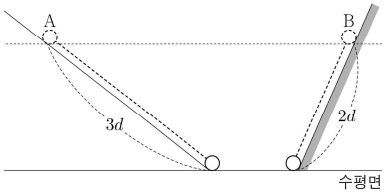
마찰 구간에서 잃어버린 에너지는 $W=mg'(2d)=2mv^2$이다.

따라서 처음 B의 위치 에너지는 $E_2=\frac{11}{2}mv^2$이다.

$\therefore \frac{E_1}{E_2}=\frac{7}{11}$이다.

03 2024학년도 6월 14번 정답률 49%

14. 그림과 같이 질량이 같은 물체 A, B를 경사각이 다른 경사면의 같은 높이에서 동시에 가만히 놓았더니 각각 등가속도 운동을 하여 수평면에 동시에 도달한다. A는 마찰이 없는 경사면을 따라 $3d$ 만큼, B는 마찰이 있는 경사면을 따라 $2d$ 만큼 이동하였다. 수평면에 도달한 순간 A의 운동 에너지는 E_0이다.



B를 가만히 놓았을 때부터 B가 수평면에 도달할 때까지, B의 역학적 에너지 감소량은? (단, 물체의 크기는 무시한다.) [3점]

① $\frac{5}{9}E_0$ ② $\frac{1}{2}E_0$ ③ $\frac{4}{9}E_0$ ④ $\frac{7}{18}E_0$ ⑤ $\frac{1}{3}E_0$

정 답 ①

해 설

STEP1 물체의 운동

시간이 있고, 가속도가 없다.즉, 평균 속도를 이용하면, 수평면에서 $v_A = 3v$, $v_B = 2v$가 된다.

STEP2 에너지 보존

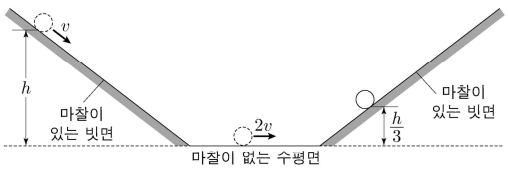
A) $9K = E_0$

B) $2v$로 도달하므로 $5K$의 에너지 손실이 발생했다.

따라서 B의 역학적 에너지 감소량은 $\frac{5}{9}E_0$이다.

04 2024학년도 9월 12번 정답률 48%

12. 그림과 같이 높이 h인 지점을 속력 v로 지난 물체가 마찰이 없는 수평면에서 속력 $2v$로 운동하여, 높이 $\frac{h}{3}$인 지점에서 속력이 0이 되었다. 두 빗면의 경사각은 같고, 두 빗면에서는 같은 크기의 일정한 마찰력이 작용한다. 물체는 동일 연직면에서 빗면과 수평면을 따라 운동한다.



v는? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기와 공기 저항은 무시한다.) [3점]

① $\sqrt{\frac{4gh}{15}}$ ② $\sqrt{\frac{2gh}{5}}$ ③ $\sqrt{\frac{8gh}{15}}$ ④ $\sqrt{\frac{16gh}{15}}$ ⑤ $\sqrt{\frac{8gh}{5}}$

정 답 ①

해 설

처음~중간) $K + U - 3W = 4K \rightarrow 3W = -3K + U$

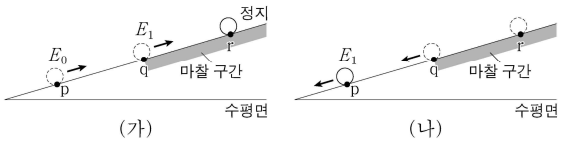
중간~끝) $4K - W = \frac{1}{3}U \rightarrow W = 4K - \frac{1}{3}U$

$-3K + U = 12K - U$에서 $K = \frac{2}{15}U$이다.

$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{2}{15}mgh$에서 $v = \sqrt{\frac{4gh}{15}}$ 이다.

05 2024학년도 수능 12번 정답률 53%

12. 그림 (가), (나)와 같이 질량이 m인 물체가 빗면의 점 p를 지나 마찰 구간의 시작점 q를 통과하여 최고점 r에 도달한 후, 다시 q와 p를 지난다. (가)의 마찰 구간에서 물체의 역학적 에너지 감소량은 (나)의 마찰 구간에서 물체의 운동 에너지 증가량과 같다. (가)와 (나)의 qr 구간에서는 물체에 같은 크기의 일정한 마찰력이 작용한다. 물체의 운동 에너지는 (가)의 p를 지날 때 E_0이고, (가)의 q를 지날 때와 (나)의 p를 지날 때가 E_1로 같다.



E_1은? (단, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

① $\frac{2}{5}E_0$ ② $\frac{3}{5}E_0$ ③ $\frac{2}{3}E_0$ ④ $\frac{4}{5}E_0$ ⑤ $\frac{5}{6}E_0$

정 답 ②

해 설

STEP1 조건 분석

(나)의 q에서 운동 에너지를 K라고 하고, 마찰면에서 손실된 에너지를 W라고 하면 조건은 $W=K$를 만족한다.

STEP2 처음과 끝의 연결

pp) $2W=E_0-E_1$ → 답을 구하려면 W를 E_0로 표현해야함.

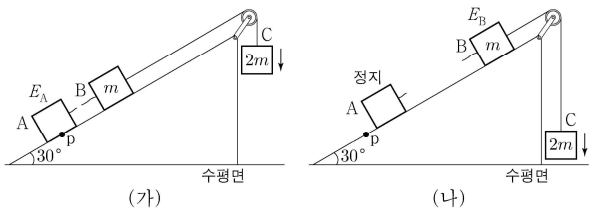
STEP3 내부적 연결

qq) $2W=E_1-K$ → $W=\frac{1}{3}E_1$

따라서 $E_1=\frac{3}{5}E_0$이다.

06 2025학년도 6월 17번 정답률 64%

17. 그림 (가)와 같이 실로 연결된 물체 A, B, C가 일정한 속력으로 운동하다가, A가 빗면 위의 점 p를 지날 때 A와 B를 연결한 실이 끊어진다. 그림 (나)는 (가)에서 실이 끊어진 순간부터 A, B가 각각 등가속도 운동하여 A가 정지한 순간을 나타낸 것이다. (가)에서 A가 p를 지날 때 A의 운동 에너지는 E_A이고, (나)에서 A가 정지한 순간 B의 운동 에너지는 E_B이다. B, C의 질량은 각각 m, $2m$이고, 빗면이 수평면과 이루는 각은 $30°$이다.



$\frac{E_B}{E_A}$는? (단, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

① $\frac{7}{6}$ ② $\frac{4}{3}$ ③ $\frac{3}{2}$ ④ $\frac{5}{3}$ ⑤ $\frac{11}{6}$

정 답 ②

해 설

(가)에서 등속도 운동을 한다고 나와있으므로 $m_A=3m$이다.

(나)에서 A의 가속도는 $\frac{1}{2}g$, BC의 가속도는 $\frac{1}{2}g$이다.

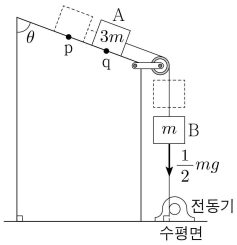
시간이 있고, 가속도가 있고, 속도가 있으므로 등공①에 대입하면

(나)에서 BC의 속도는 $2v$이다. (단, (가)에서 계의 속도가 v이다.)

$\frac{E_B}{E_A}=\frac{m\times 4v^2}{3m\times v^2}=\frac{4}{3}$

06 2026학년도 9월 13번 정답률 53%

13. 그림은 질량이 각각 $3m$, m인 물체 A, B를 전동기와 실로 연결하고 A를 빗면의 점 p에 가만히 놓았더니 A와 B가 각각 등가속도 운동을 하여 A가 점 q를 지나는 모습을 나타낸 것이다. A가 p에서 q까지 운동하는 동안, 전동기와 연결된 실이 B에 작용하는 힘의 크기는 $\frac{1}{2}mg$로 일정하고 A, B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 각각 $2E_0$, E_0이다. 빗면이 연직 방향과 이루는 각은 θ이다.



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

<보 기>

ㄱ. $\cos\theta = \frac{2}{3}$이다.

ㄴ. q에서 A의 운동 에너지는 $2E_0$이다.

ㄷ. A에 연결된 실이 A에 작용하는 힘의 크기는 $\frac{5}{8}mg$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. 에너지 감소량 조건을 이용하면 $2mgh = 3mg'h \Rightarrow g' = \frac{2}{3}g$

따라서 $\sin(90^\circ - \theta) = \cos\theta = \frac{2}{3}$이다. (O)

ㄴ. 운동 방향과 장력의 방향이 같아서 역학적 에너지는 증가한다. (X)

ㄷ. 계의 가속도는 $a = \frac{\left(\frac{1}{2}+1+2\right)mg}{4m} = \frac{7}{8}g$이고,

B에 대해서 $T = mg + \frac{1}{2}mg - \frac{7}{8}mg = \frac{5}{8}mg$이다. (O)

PART 11
단진자 운동

개념 유형

01. 기본 개념
02. 그래프의 해석
03. 가속 좌표계

기출 유형

01. 단진동 실험
02. 단진동 상황

THEME

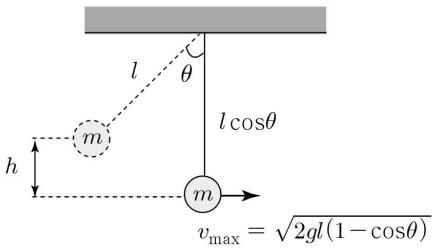
1 — 기본 개념

정리1 단진자 운동

개념1 단진자 운동

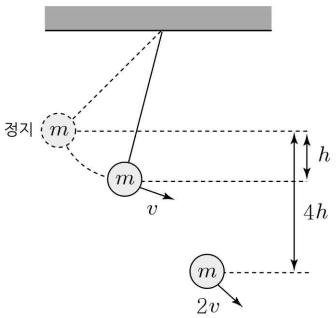
단진자 운동은 질량을 무시할 수 있는 줄에 작은 물체를 매달고 줄을 기울였다가 놓으면 물체가 연직면에서 왕복 운동을 한다.

① 물체는 최하점에서 속력이 최대이고, 가속도의 크기는 구심 방향으로 0이 아니다. 그 이유는 장력이 중력보다 크기 때문이다.
(참고로 진자는 매 순간 가속도의 크기와 방향이 바뀐다.)
② 물체는 최고점에서 속력이 0이고, 가속도는 접선 방향으로 최대이다.
(바로 접선 속력을 만들어야하기 때문이다.)



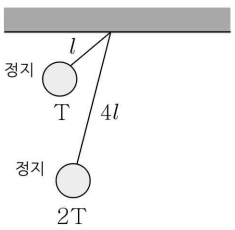
개념2 진자의 속도

① 장력은 매 순간 운동 방향에 대해서 수직으로 작용하므로 장력이 한 일은 0이다. 따라서 장력이 있어도 에너지 보존이 성립한다.
② 역학적 에너지 보존에 의해 $\frac{1}{2}mv_{max}^2 = mgl(1-\cos\theta)$이므로 $v_{max} = \sqrt{2gl(1-\cos\theta)}$이다.
③ 매 순간 에너지 보존이 일어나므로 실이 임의의 지점에서 끊어지더라도 거리 비는 속도 제곱의 비를 만족한다.



개념3 진자의 주기

① $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ (증명은 2차 미분 방정식을 풀어야하므로 생략한다.)
② 두 단진자의 거리 비가 1 : 4이면 주기 비는 1 : 2이다.



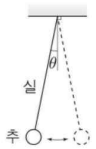
개념4 진자의 각도

$v^2 = 2gl(1-\cos\theta)$에서 $\cos\theta = 1-\frac{v^2}{2gl}$이고, $T^2 = 4\pi^2\frac{l}{g}$에서 $l = \frac{T^2}{4\pi^2 g}$이므로 $\cos\theta = 1-\frac{v^2}{2gl} = 1-\frac{v^2}{2g\frac{T^2}{4\pi^2 g}} = 1-2\pi^2\frac{v^2}{T^2}$이다.

따라서 두 진자에 대한 θ를 비교하면 $\frac{v}{T}$가 작아야 θ가 작다.

예제1

그림과 같이 단진자를 연직선과 이루는 각 θ만큼 당긴 후 가만히 놓았더니 단진자가 운동하고 있다. 표는 θ를 동일하게 하고, 실의 길이와 추의 질량을 변화시킨 단진자를 가만히 놓았을 때, 운동하는 단진자의 주기를 나타낸 것이다.



(가)

단진자	실의 길이	추의 질량	단진자의 주기
A	l	$2m$	T_1
B	$2l$	m	T_2
C	$2l$	$2m$	T_2

(나)

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

<보 기>

ㄱ. A의 추는 등가속도 운동한다.
ㄴ. $T_1 < T_2$다.
ㄷ. 추의 운동 에너지의 최댓값은 B와 C가 같다.

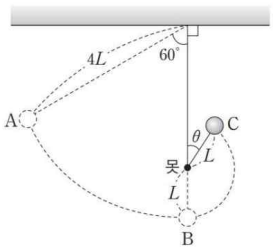
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 추는 등가속도 운동을 하지 않는다. (X)
ㄴ. 거리 비가 $1:2$이므로 주기 비는 $1:\sqrt{2}$이다. (O)
ㄷ. 추의 운동 에너지의 최댓값은 B < C이다. (X)

예제2

그림은 길이가 $4L$인 실에 연결된 물체를 점 A에서 가만히 놓았더니 물체가 최하점 B를 지나면서 고정된 못에 의해 방향이 꺾여 점 C에 도달한 순간을 나타낸 것이다. 실과 연직선이 이루는 각은 A와 C에서 각각 60°, θ이다. 못과 B, 못과 C 사이의 거리는 L로 같고 물체의 운동 에너지는 B에서가 C에서의 6배이다.



$\tan\theta$ 는? (단, 실의 질량, 물체와 못의 크기 및 공기 저항은 무시한다.)

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

해설

C에서 물체의 운동 에너지를 E_0라 하면 B에서 물체의 운동 에너지는 $6E_0$이므로 역학적 에너지는 $6E_0$이다.
$A(0, 6E_0)$, $B(6E_0, 0)$, $C(E_0, 5E_0)$이다.

각도를 구하려면 거리의 정보를 담고 있는 중력 퍼텐셜 에너지의 비교로 구해야 한다.

$\frac{U_C}{U_A} = \frac{5E_0}{6E_0} = \frac{mg(L+L\cos\theta)}{mg(2L)}$에서 $\cos\theta = \frac{2}{3}$이므로

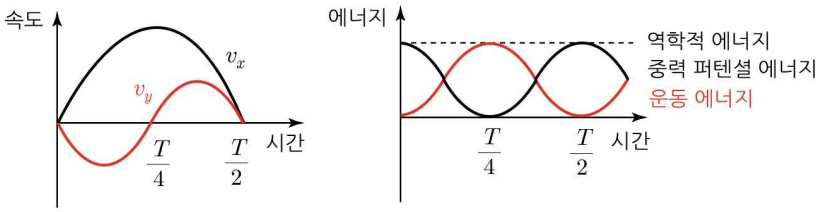
$\tan\theta = \frac{\sqrt{5}}{2}$이다.

THEME

2 그래프의 해석

정리1 여러 가지 그래프

개념 그래프의 해석



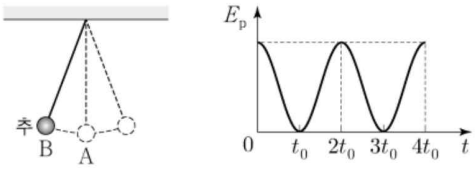
① x의 함수만 주기가 $T_{\text{함수}} = T_{\text{단진자}}$ T이다. (미분 또는 적분해도 주기는 변하지 않는다.)

② 그 외의 모든 함수(운동 에너지, 중력 퍼텐셜 에너지, y의 함수)는 주기가 $T_{\text{함수}} = \frac{T_{\text{단진자}}}{2}$이다.

다른 표현으로 $T_{\text{단진자}} = 2T_{\text{함수}}$이다.

예제1

그림 (가)는 실에 매달려 점 A를 중심으로 단진동하는 추가 최고점 B에 도달한 순간의 모습을, (나)는 추의 중력 퍼텐셜 에너지 E_p를 시간 t에 따라 나타낸 것이다.



(가) (나)

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

<보 기>

ㄱ. 진자의 주기는 $2t_0$이다.
ㄴ. $3t_0$일 때, 추의 운동 에너지는 최대이다.
ㄷ. 추의 역학적 에너지는 A에서가 B에서보다 크다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 에너지의 주기는 $\frac{T}{2} = 2t_0$에서 $T = 4t_0$이다. (X)

ㄴ. 중력 퍼텐셜 에너지가 최소이므로 운동 에너지는 최대이다. (O)

ㄷ. 추의 역학적 에너지는 A에서와 B에서가 동일하다. (X)

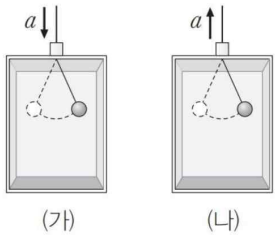
THEME

3 가속 좌표계

정리1 가속 좌표계에서 단진자의 주기

개념1 엘리베이터 상황

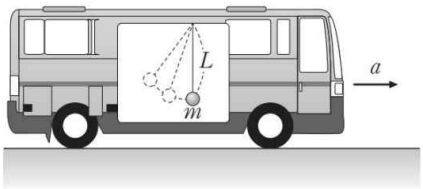
그림 (가), (나)는 일정한 가속도로 운동하고 있는 승강기의 천장에 매달려 같은 진폭으로 진동하고 있는 같은 길이의 단진자를 나타낸 것으로, (가)와 (나)에서 승강기의 가속도 방향은 각각 중력 방향, 중력 반대 방향이고, 가속도의 크기는 a로 같다.



① 내부 관찰자가 봤을 때 추에 작용하는 관성력의 크기는 (가)와 (나)가 같다.
② 내부 관찰자가 봤을 때 중력 가속도의 크기는 (가)에서 $g-a$, (나)에서 $g+a$이므로 단진자의 주기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
③ 내부 관찰자가 봤을 때 중력 가속도의 크기가 (가)에서가 (나)에서보다 작으므로 최하점에서 추의 속력은 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

개념2 버스 상황

그림은 수평면에서 일정한 크기의 가속도 a로 직선 경로를 따라 운동하고 있는 버스를 나타낸 것으로, 버스의 천장에 연결된 길이가 L이고 질량이 m인 단진자가 주기 T로 운동하고 있다.



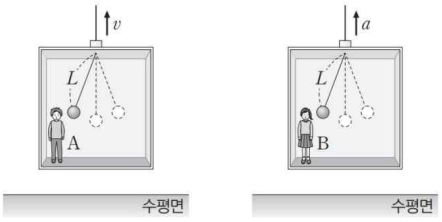
등속도 운동을 하는 버스에서 이 단진자의 주기를 T_0이라 할 때,

$T=T_0\sqrt{\dfrac{g}{\sqrt{g^2+a^2}}}$ 이다. (가속도 방향이 왼쪽이더라도 주기는 T로 동일하다.)

따라서 단진자의 주기에 들어가는 가속도 항은 알짜 가속도의 크기임을 알 수 있다.

예제1

그림 (가)는 크기가 v인 일정한 속도로, (나)는 크기가 a인 일정한 가속도로 연직 위로 운동하고 있는 엘리베이터를 나타낸 것이다. (가)와 (나)의 엘리베이터 바닥면에 사람 A와 B가 정지해 있다. 수평면에 대해 (가)에서 속도의 방향과 (나)에서 가속도의 방향은 모두 연직 위이고, (가)와 (나)에서 진자의 길이는 L로 같다.



(가) (나)

(가)와 (나)에서 진자의 진폭이 같을 때, A와 B가 측정한 진자의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, 중력 가속도는 g이고, A와 B 기준에서 추의 엘리베이터 바닥면에 대한 최저점에서 중력 퍼텐셜 에너지는 0이다.)

<보 기>

ㄱ. 주기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
ㄴ. 역학적 에너지는 (가)에서와 (나)에서가 같다.
ㄷ. 최대 운동 에너지는 (나)에서가 (가)에서의 $\frac{g+a}{g}$배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

해설

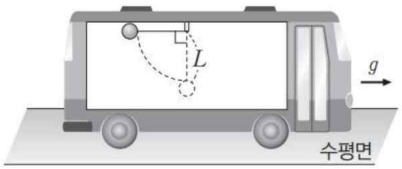
ㄱ. (가)와 (나)의 엘리베이터 안에서 중력 가속도는 각각 g, $g+a$와 같으므로 주기는 (가)>(나)이다. (O)

ㄴ. 바닥면에 대해 추의 최저점으로부터 추를 놓은 위치까지의 높이차가 같으므로 추를 놓는 순간 A와 B가 측정한 추의 중력 퍼텐셜 에너지는 (나)에서가 (가)에서의 $\frac{g+a}{g}$배이다. (X)

ㄷ. 역학적 에너지 보존에 의하여 $\frac{g+a}{g}$배이다. (O)

예제2

그림은 수평면에서 크기가 g인 일정한 가속도로 운동하는 버스 안에서 길이가 L인 실에 매달린 추를 실이 수평면과 나란한 상태로 가만히 놓았을 때 추가 진동하고 있는 모습을 나타낸 것이다.

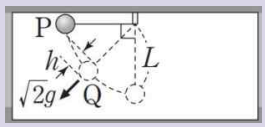


버스 바닥면에 대한 추의 속력의 최댓값은?
(단, 수평면에서 중력 가속도는 g이고, 추의 크기는 무시한다.)

① $\sqrt{2gL}$ ② $\sqrt{(2-\sqrt{2})gL}$ ③ $\sqrt{2\sqrt{2}gL}$
④ $\sqrt{(2\sqrt{2}-2)gL}$ ⑤ $2\sqrt{gL}$

해설

내부 관찰자가 봤을 때 버스 안에서 낙하하는 물체의 가속도는 $\sqrt{2}g$이고, 방향은 바닥면에 대해 45°이다.



따라서 버스 바닥면에 대한 추의 속력이 최대일 때는 뒤쪽으로 45°만큼 진행했을 때이다.
버스 안의 공간에 대해서 역학적 에너지 보존을 사용하자.
P와 Q의 높이차 $h=(1-\cos 45^\circ)L=(1-\frac{1}{\sqrt{2}})L$이고
$v_{max}^2=2(\sqrt{2}g)h=(2\sqrt{2}-2)gL$

유형 01 단진동 실험

01 2022학년도 9월 4번 정답률 85%

4. 다음은 단진자에 대한 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 추를 진자의 길이가 l이 되도록 실에 연결하여 스탠드에 매단다.

(나) 그림과 같이 실이 연직 방향과 충분히 작은 각 θ_0을 이루도록 추를 당겼다 놓은 후, 추가 10회 왕복하는 데 걸린 시간을 측정한다.

(다) (가)에서 실을 진자의 길이가 $2l$이 되도록 바꾸고 (나)를 반복한다.



〔실험 결과〕

과정	10회 왕복 시간
(나)	t_0
(다)	t_1

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

<보 기>

ㄱ. $t_0 < t_1$이다.

ㄴ. 추의 운동 에너지 최댓값은 (나)에서가 (다)에서보다 크다.

ㄷ. (다)에서 추를 놓은 직후 추에 작용하는 알짜힘은 0이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

ㄱ. 실의 길이가 길어졌으므로 주기가 길어진다. (O)

ㄴ. 높이가 증가했으므로 운동 에너지 최댓값도 증가한다. (X)

ㄷ. 추를 놓으면 알짜힘은 접선 방향으로 존재한다. (X)

02 2023학년도 수능 4번 정답률 78%

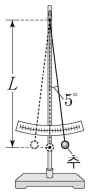
4. 다음은 단진자에 대한 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 그림과 같이 단진자 실험 장치를 준비한다.

(나) 실이 연직 방향과 5°를 이루도록 추를 당겼다가 놓은 후, 추가 10번 왕복하는 시간을 측정하여 진자의 주기 T를 구한다.

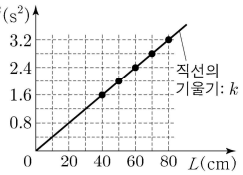
(다) 실의 길이를 조정하여 진자의 길이 L을 10 cm씩 변화시켜 (나)를 반복한다.



〔실험 결과〕

○ 가로축을 L, 세로축을 T^2으로 하여 그래프로 나타낸다.

○ 그래프에서 구한 직선의 기울기는 k이다.



〔결론〕

○ T^2은 L에 비례한다.

○ 실험에서 구한 중력 가속도의 크기는 ㉠이다.

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

<보 기>

ㄱ. T는 $L=80\,\text{cm}$일 때가 $L=40\,\text{cm}$일 때의 2배이다.

ㄴ. 추의 최대 속력은 $L=70\,\text{cm}$일 때와 $L=50\,\text{cm}$일 때가 같다.

ㄷ. $\dfrac{4\pi^2}{k}$은 ㉠에 해당한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설

ㄱ. 길이가 2배가 되면 주기는 $\sqrt{2}$배가 된다. (X)

ㄴ. 길이가 길어지면 최대 속력은 커진다. (X)

ㄷ. $T^2=4\pi^2\dfrac{L}{g} \rightarrow \dfrac{T^2}{L}=\dfrac{4\pi^2}{g}=k \rightarrow g=\dfrac{4\pi^2}{k}$ (O)

03 2026학년도 6월 8번 정답률 71%

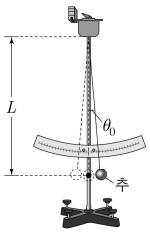
8. 다음은 단진자에 대한 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 그림과 같이 진자의 길이 L이 L_0이 되도록 추를 실에 연결하여 스탠드에 매단다.

(나) 실이 연직 방향과 충분히 작은 각 θ_0을 이루도록 추를 당겼다 가만히 놓은 후, 추가 10번 왕복하는 데 걸린 시간을 측정하여 진자의 주기를 구한다.

(다) (가)에서 L이 $2L_0$이 되도록 바꾸고 (나)를 반복한다.



〔실험 결과〕

과정	진자의 길이	10번 왕복 시간	진자의 주기
(나)	L_0	t_1	T_1
(다)	$2L_0$	t_2	T_2

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

<보 기>

ㄱ. $T_1 = \frac{t_1}{10}$이다.

ㄴ. $T_1 > T_2$이다.

ㄷ. 추의 최대 속력은 (나)에서가 (다)에서보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

ㄱ. 10번 왕복 시간이 t_1이므로 진자의 주기는 $T_1 = \frac{t_1}{10}$이다. (O)

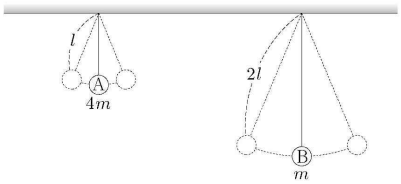
ㄴ. 진자의 길이가 길면 주기가 길어진다. (X)

ㄷ. 진자의 길이가 길면 최대 속력은 크다. (X)

유형 02 단진동 상황

01 2022학년도 6월 10번 정답률 68%

10. 그림은 길이가 각각 l, $2l$인 실에 추 A, B가 연결되어 단진동을 하는 모습을 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각 $4m$, m이고 최저점에서 추의 속력은 B가 A의 2배이다.



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

<보 기>

ㄱ. 최저점에서 추의 운동 에너지는 A와 B가 같다.
ㄴ. 최고점과 최저점의 높이차는 B가 A의 4배이다.
ㄷ. 주기는 B가 A의 2배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

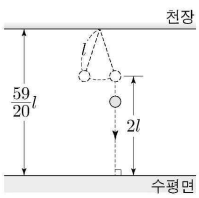
ㄱ. $K_A=\frac{1}{2}(4m)v^2$, $K_B=\frac{1}{2}m(4v^2)$로 같다. (O)

ㄴ. 역학적 에너지 보존으로 생각해보자. $v^2=2gh$를 만족한다. 속력이 2배이므로 높이차는 4배이다. (O)

ㄷ. $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$에 의해서 주기는 B가 A의 $\sqrt{2}$배이다. (X)

02 2022학년도 수능 12번 정답률 74%

12. 그림과 같이 추가 천장에 실로 연결되어 단진동을 하다가 최고점에서 실이 끊어져 등가속도 직선 운동을 한다. 실의 길이는 l이고, 실이 끊어진 순간부터 추가 수평면에 도달할 때까지 추의 이동 거리는 $2l$이며, 천장의 높이는 $\frac{59}{20}l$이다. 단진동을 하는 동안 추의 최대 속력은 v_1이고, 수평면에 도달하는 순간 추의 속력은 v_2이다.



$\frac{v_2}{v_1}$는? (단, 추의 크기와 실의 질량은 무시한다.) [3점]

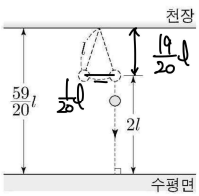
① $2\sqrt{5}$ ② 5 ③ $\sqrt{30}$ ④ 6 ⑤ $2\sqrt{10}$

정 답 ⑤

해 설

천장과 추의 최고점까지의 높이차는 $\frac{59}{20}l-2l=\frac{19}{20}l$이다.

추의 최저점과 최고점까지의 높이차는 $l-\frac{19}{20}l=\frac{1}{20}l$이다.



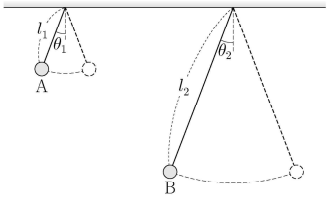
역학적 에너지 보존을 통해 속도를 비교해보자.

v_1은 $\frac{1}{20}l$만큼 낙하하고, v_2는 $2l$만큼 낙하한다.

따라서 $\frac{v_2}{v_1}=\sqrt{\frac{h_2}{h_1}}=2\sqrt{10}$이다.

03 2023학년도 6월 8번 정답률 61%

8. 그림과 같이 물체 A, B가 길이가 l_1, l_2인 실에 연결되어 단진동을 한다. A, B가 최고점일 때 실이 연직 방향과 이루는 각은 θ_1, θ_2이다. 주기는 B가 A의 2배이고, 최대 속력은 B가 A의 $\sqrt{2}$배이다.



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

<보 기>

ㄱ. $l_2 = 4l_1$이다.
ㄴ. 최고점과 최저점의 높이차는 B가 A의 2배이다.
ㄷ. $\theta_1 > \theta_2$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

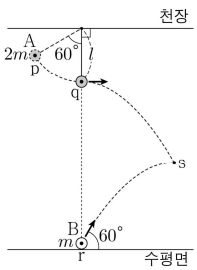
정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 주기를 통하여 $l_2 = 4l_1$이다. (O)
ㄴ. 최고점과 최저점의 높이차는 최대 속력을 통하여 B가 A의 2배이다. (O)
ㄷ. $v = \sqrt{2gl(1-\cos\theta)}$를 통하여 $\theta_1 > \theta_2$ (O)

04 2023학년도 9월 12번 정답률 56%

12. 그림과 같이 실에 연결하여 점 p에서 가만히 놓은 물체 A가 점 q를 지나는 순간 실이 끊어지고, 이때 점 r에서 수평면에 대해 60°의 방향으로 물체 B가 발사된다. A, B는 각각 포물선 운동을 하여 점 s에서 만난다. 실의 길이는 l이고, A와 B의 질량은 각각 $2m$, m이다. A가 p에 있을 때 실이 연직선과 이루는 각은 60°이며, 실이 천장에 매달린 점과 q, r는 동일 연직선상에 있다. s는 B의 포물선 경로에서 최고점이고, s에서 A와 B의 운동 에너지의 합은 E_0이다.



E_0은? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기와 실의 질량은 무시한다.) [3점]

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

정 답 ③

해 설

STEP1 A의 분석
q에서 물체의 속력을 v라고 하면 역학적 에너지 보존에 의해서 $v^2 = gl$이다.

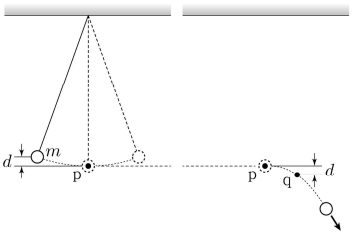
STEP2 B의 분석
A, B가 s에서 만나므로 B의 x성분 속도는 $\sqrt{gl}$이다.
따라서 B의 y성분 속도는 $\sqrt{3gl}$이 된다.

STEP3 s의 분석
충돌할 때 A는 $(\sqrt{gl}, -\sqrt{3gl})$, B는 $(\sqrt{gl}, 0)$이다.

$$E_0 = \frac{1}{2}\times 2m \times (gl+3gl) + \frac{1}{2}\times m \times gl = \frac{9}{2}mgl$$

05 2024학년도 6월 11번 정답률 53%

11. 그림 (가)와 같이 질량이 m인 물체가 실에 연결되어 주기가 T인 단진동을 할 때, 물체의 최저점 p와 최고점의 높이 차는 d이다. 그림 (나)는 (가)의 p에서 실이 끊어져 물체가 포물선 운동하는 모습을 나타낸 것이고, q는 p로부터 연직 아래 방향으로 거리가 d인 포물선 경로의 한 지점이다.



(가) (나)

물체의 운동과 에너지에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기와 실의 질량은 무시한다.)

<보 기>

ㄱ. p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간은 $\frac{T}{4}$보다 작다.
ㄴ. (가)의 p에서, 운동 에너지는 mgd이다.
ㄷ. 속력은 q에서가 p에서의 $\sqrt{2}$배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

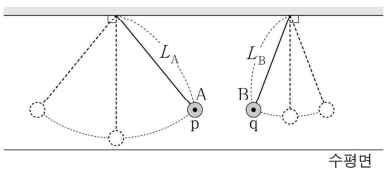
정 답 ⑤

해 설

ㄱ. $\frac{T}{4}$는 (가)에서 이동하는 데 걸리는 시간이다.
(나)에서는 장력이 없기 때문에 더 빨리 낙하한다. (O)
ㄴ. 역학적 에너지 보존에 의해서 운동 에너지는 mgd가 된다. (O)
ㄷ. q에서 y축 속도는 등공③에 의해서 $v_y=\sqrt{2gd}$를 만족한다.
q에서 x축 속도는 (가)의 에너지 보존으로 $v_x=\sqrt{2gd}$이다.
따라서 속력은 q에서가 p에서의 $\sqrt{2}$배이다. (O)

06 2025학년도 수능 5번 정답률 79%

5. 그림과 같이 길이가 L_A, L_B인 실에 연결된 질량이 같은 추 A, B를 수평면으로부터 높이가 같은 점 p, q에서 동시에 가만히 놓았더니 각각 단진동을 하였다. A, B가 놓인 순간부터 p, q에 동시에 도달하는 데 걸리는 최소 시간은 t_0이다. A, B의 진동 주기는 각각 T_A, T_B이고, $\frac{L_B}{L_A}=\frac{100}{121}$이다.



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

<보 기>

ㄱ. $\frac{T_B}{T_A}=\frac{10}{11}$이다.
ㄴ. $t_0=10T_A$이다.
ㄷ. A와 B의 최대 운동 에너지는 같다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

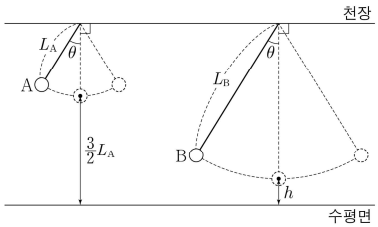
정 답 ④

해 설

ㄱ. $\frac{T_B}{T_A}=\sqrt{\frac{L_B}{L_A}}=\frac{10}{11}$이다. (O)
ㄴ. 최소 시간은 주기의 최소 공배수이므로 $t_0=10T_A$이다. (O)
ㄷ. 최대 운동 에너지는 mgh인데 h는 A>B이다. (X)

07 2026학년도 9월 9번 정답률 77%

9. 그림과 같이 길이가 각각 L_A, L_B인 실에 연결된 추 A, B가 각각 단진동을 한다. A와 B의 최고점에서 실이 연직 방향과 이루는 각은 θ로 같고, A와 B의 최저점과 수평면 사이의 거리는 각각 $\frac{3}{2}L_A$, h이다. 단진동의 주기는 A가 B의 $\frac{2}{3}$배이다.



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

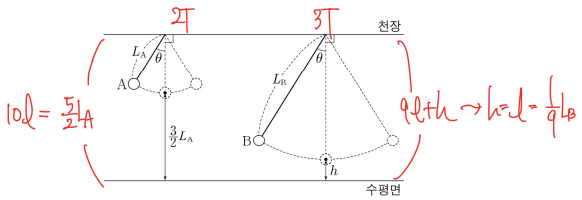
<보 기>

ㄱ. $L_A : L_B = \sqrt{2} : \sqrt{3}$이다.
ㄴ. 최대 속력은 B가 A의 3배이다.
ㄷ. $h = \frac{1}{9}L_B$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설



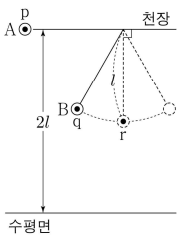
ㄱ. 주기의 비가 2 : 3이므로 길이의 비는 4 : 9이다. (X)

ㄴ. 최대 속력은 $\sqrt{2gh}$에 의하여 $\frac{3}{2}$배이다. (X)

ㄷ. 그림을 참고하면 $h = \frac{1}{9}L_B$이다. (O)

08 2026학년도 수능 8번 정답률 53%

8. 그림과 같이 물체 A가 높이 $2l$인 천장의 한 점 p에, 물체 B가 길이 l인 실에 연결되어 점 q에 정지해 있다. A, B를 각각 p, q에서 동시에 가만히 놓았더니 A는 등가속도 운동을, B는 단진동을 한다. 점 r는 B의 최저점이다.



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

<보 기>

ㄱ. B의 속력이 처음으로 최대가 될 때, A의 높이는 l보다 작다.
ㄴ. 높이 l에서 A의 속력은 r에서 B의 속력보다 작다.
ㄷ. B의 역학적 에너지는 q에서가 r에서보다 작다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

ㄱ. B의 속력이 처음으로 최대가 될 때는 $\frac{1}{4}T = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}$이다.
이때 A의 높이는
$h = 2l - \frac{1}{2}gt^2 \approx 2l - \frac{1}{2}g \times \frac{\pi^2}{4}\frac{l}{g} = 2l - \frac{9}{9}l < l$이다. (O)

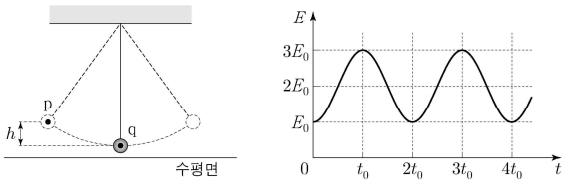
ㄴ. 역학적 에너지는 A > B이므로 같은 높이에서 속력은 A > B이다. (X)

ㄷ. B의 역학적 에너지는 서로 동일하다. (X)

유형 03 단진동 그래프

01 2024년 실시 6월 8번 정답률 80%

8. 그림 (가)는 물체가 실에 연결되어 단진동을 하는 모습을 나타낸 것이다. 최고점 p와 최저점 q의 높이 차는 h이다. 그림 (나)는 물체가 q를 지나는 순간부터 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 E를 시간 t에 따라 나타낸 것이다.



(가) (나)

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

<보 기>

ㄱ. 단진동의 주기는 t_0이다.
ㄴ. p에서 물체의 역학적 에너지는 $3E_0$이다.
ㄷ. q에서 물체의 속력은 $\sqrt{2gh}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

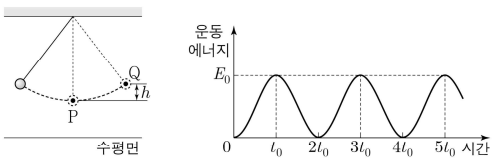
ㄱ. 단진자의 그래프에서 x축외의 나머지 그래프의 주기는 $\frac{T}{2}=2t_0$이다. 따라서 $T=4t_0$임을 알 수 있다. (X)

ㄴ. 최고점에서 물체가 정지하므로 역학적 에너지는 $3E_0$이다. (O)

ㄷ. 높이가 h이므로 $v_{max}=\sqrt{2gh}$이다. (O)

02 2024년 실시 9월 5번 정답률 73%

5. 그림 (가)는 추가 실에 연결되어 단진동을 하는 모습을 나타낸 것이고, (나)는 추의 운동 에너지를 시간에 따라 나타낸 것이다. 점 P, Q는 각각 추의 최저점과 최고점이고, P와 Q의 높이 차는 h이다.



(가) (나)

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

<보 기>

ㄱ. 추의 역학적 에너지는 P에서와 Q에서가 같다.
ㄴ. 추가 P로부터 높이가 $\frac{h}{2}$인 지점을 지날 때, 추의 운동 에너지는 $\frac{E_0}{2}$이다.
ㄷ. 단진동의 주기는 $2t_0$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. 추의 역학적 에너지는 P에서와 Q에서가 E_0로 같다. (O)

ㄴ. 추가 P로부터 높이가 $\frac{h}{2}$인 지점을 지나면 위치 에너지가 $\frac{E_0}{2}$이므로 운동 에너지는 $\frac{E_0}{2}$이다. (O)

ㄷ. $\frac{T}{2}=2t_0$에서 $T=4t_0$이다. (X)

PART 12
열역학

개념 유형

01. 기본 개념

기출 유형

01. 열역학

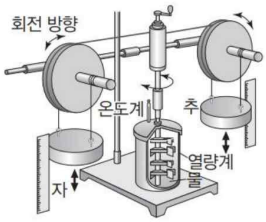
THEME

1 — 기본 개념

정리1 줄의 실험 장치

개념1 줄의 실험 장치

영국의 물리학자인 줄(Joule)은 외부와 열의 이동이 없도록 차단한 용기에 있는 물에 역학적으로 일을 해주었을 때 물의 온도가 변하는 것을 보여줌으로써 열이 에너지의 한 형태라는 것을 증명하였다.



물의 온도가 증가하는 이유는 용기와 연결된 장력이 한 일이 열에너지로 전환되기 때문이다.
따라서 무턱대고 추의 중력 퍼텐셜 에너지 변화를 대입해 답을 구하지 말자.

$$Th = cm\triangle T \times J$$

개념2 열의 일당량

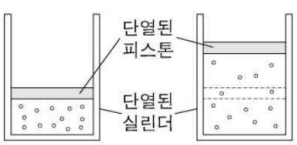
J는 열의 일당량이다. $1cal = 4.2J$을 만족한다. (암기팁 둘 다 4글자이다.)

개념3 고립계의 물질은 열을 받으면 무조건 온도가 증가한다.

열역학 제 1법칙은 에너지 보존 법칙으로 $Q = W + \triangle U$를 만족한다.
여기까지 학습한 학생에게 그럼 어떤 기체에 열에너지를 가하면 무조건 온도가 증가하니? 라고 질문을 한다면 선뜻 답하지 못한다.
정답은 열역학 제 2법칙에 의해서 기체가 열에너지를 받을 때 기체가 외부에 한 일은 $0 < W < Q_+$사이에 있다.
따라서 열에너지를 받으면 무조건 기체가 한 일은 양수이고, 온도 증가량도 양수가 된다.
반대로 열에너지를 빼앗기면 무조건 기체가 한 일은 음수이고, 온도 증가량도 음수가 된다.

예제1

그림 (가)는 일정량의 기체가 들어 있는 실린더에 피스톤이 정지해 있는 실린더에 피스톤이 정지해 있는 모습을, (나)는 (가)의 기체에 25cal의 열을 서서히 가하였더니 피스톤이 이동하여 평형을 이루며 정지한 모습을 나타낸 것이다. (가)→(나) 과정에서 기체가 한 일은 42J이다.



(가)→(나) 과정에서 기체의 내부 에너지 변화량은? (단, 열의 일당량은 4.2J/cal이고, 피스톤의 마찰은 무시한다.)

① $21J$ ② $42J$ ③ $63J$ ④ $105J$ ⑤ $147J$

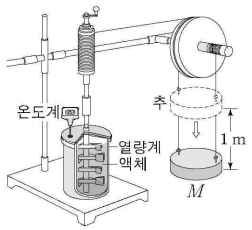
해설

답이 J의 형태이므로 J의 형태로 바꿔서 풀자.
기체에 가한 열은 $25cal = 25 \times 4.2J = 105J$이고,
기체가 외부로 한 일은 42J이므로 기체의 내부 에너지 변화량은 63J이다.

유형 01 열역학

01 2021년 실시 6월 4번 정답률 83%

4. 그림과 같이 줄의 실험 장치에서 질량이 M인 추가 일정한 속력으로 1 m만큼 낙하했을 때, 액체의 온도가 0.1 ℃만큼 증가했다. 액체의 질량은 500 g이고, 비열은 1 cal/g·℃이다.



M은? (단, 중력 가속도는 10 m/s^2, 열의 일당량은 4.2 J/cal이고, 실의 질량은 무시하며, 추의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량은 모두 액체의 온도 변화에만 사용된다.)

① 12 kg ② 15 kg ③ 18 kg ④ 21 kg ⑤ 24 kg

정 답 ④

해 설

$J(cm\triangle T)=Mgh$를 통해서

$M(10)(1)=4.2(0.5)(1)(0.1)$ → $M=21kg$

02 2022년 실시 6월 7번 정답률 67%

7. 다음은 열의 일당량에 대한 실험이다.

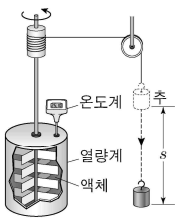
〔실험 과정〕

(가) 액체 A를 단열된 열량계에 가득 채운다.

(나) 액체의 질량을 측정하고, 질량 15 kg인 추를 낙하시킨다.

(다) 추가 일정한 속력으로 거리 $s=0.8$ m만큼 낙하한 구간에서 액체의 온도 변화를 측정하고 열의 일당량을 계산한다.

(라) 열량계에 채워진 A를 비우고 비열이 A의 2배인 액체 B를 가득 채우고, (나)와 (다)를 반복한다.



〔실험 결과〕

액체	액체의 온도 변화(℃)	액체의 질량(kg)	열의 일당량(J/cal)
A	0.3	0.2	4.2
B	0.1	㉠	4.2

이 실험에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 10 m/s^{2}이고, 실의 질량은 무시하며, 추의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량은 모두 액체의 온도 변화에만 사용된다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. s만큼 낙하하는 동안 추의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 120 J이다.

ㄴ. A의 비열은 1200 J/kg·℃이다.

ㄷ. ㉠은 0.3이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

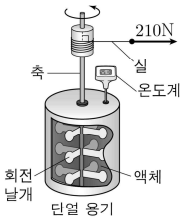
ㄱ. $mgs=15\times10\times0.8=120J$ (O)

ㄴ. $120=0.2\times c\times0.3$에서 $c=2000\,J/kg\cdot℃$ (X)

ㄷ. B의 비열이 A의 2배이고 온도 변화가 $\frac{1}{3}$배이므로 액체의 질량은 $0.3kg$이 된다. (O)

03 2023년 실시 6월 3번 정답률 67%

3. 그림과 같이 줄의 실험 장치에서 실을 수평 방향으로 크기가 210 N인 힘으로 0.2 m만큼 잡아 당겼더니 힘이 한 일이 모두 액체의 온도 변화에 사용되어 액체의 온도가 0.1℃ 만큼 증가하였다. 액체의 질량은 0.1 kg이고, 열의 일당량은 4.2 J/cal이다.



액체의 비열(cal/kg·℃)은?

① 1000 ② 1200 ③ 1400 ④ 1600 ⑤ 1800

정 답 ①

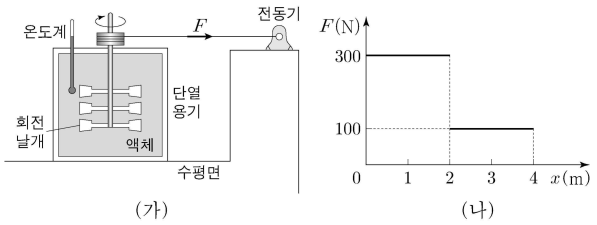
해 설

$210(0.2) = 4.2\,(c)(0.1)(0.1)$

$c = 1000 cal/kg \cdot ℃$

04 2024년 실시 6월 9번 정답률 73%

9. 그림 (가)와 같이 줄의 실험 장치에 연결된 전동기가 실을 수평 방향으로 힘 F를 작용하여 4 m만큼 잡아당겼더니, F가 한 일이 모두 액체의 온도 변화에 사용되어 액체의 온도가 0.4℃ 만큼 증가하였다. 그림 (나)는 (가)에서 실을 당긴 거리 x에 따른 F를 나타낸 것이다. 액체의 비열은 4000 J/kg·℃이다.



(가) (나)

액체의 질량은? [3점]

① 0.5 kg ② 0.6 kg ③ 0.7 kg ④ 0.8 kg ⑤ 0.9 kg

정 답 ①

해 설

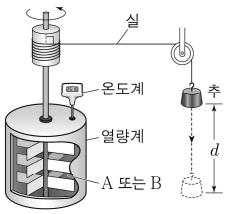
전동기가 액체에 한 일은 8이다. (계수만 따져서 하겠음.)

cal 단위가 보이지 않으므로 단순 계산을 하자.

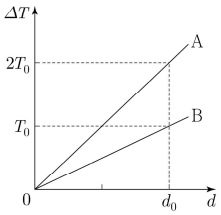
$cm\Delta t = 4 \times m \times 4 = 8$에서 $m = 0.5 kg$이다.

05 2026년 실시 6월 9번 정답률 67%

9. 그림 (가)는 질량이 M인 추가 일정한 속력으로 거리 d만큼 낙하하였을 때 액체의 온도 변화 ΔT를 측정하는 줄의 실험 장치를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 질량이 m인 액체 A 또는 B를 단열된 열량계에 채웠을 때 ΔT를 d에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

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

<보 기>

ㄱ. d가 클수록 액체가 얻은 열량이 크다.
ㄴ. d가 같을 때, 액체가 얻은 열량은 A가 B보다 크다.
ㄷ. 비열은 A가 B보다 작다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

ㄱ. d가 클수록 액체가 얻은 열량이 크다. (O)
ㄴ. d가 같으면 얻은 열량은 같다. (X)
ㄷ. A는 온도 변화가 크므로 비열은 작다. (O)