수능특강

과학탐구영역

물리학 Ⅱ

이 책의 **차례**

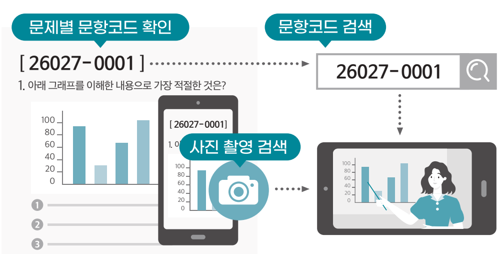
Contents

학생

인공지능 DANCHOQ

푸리봇 문|제|검|색

EBS*i* 사이트와 **EBS*i* 고교강의 APP** 하단의 **AI 학습도우미 푸리봇**을 통해 문항코드를 검색하면 푸리봇이 해당 문제의 해설과 해설 강의를 찾아 줍니다. **사진 촬영으로도 검색**할 수 있습니다.



선생님

EBS 교사지원센터

교재 관련 자|료|제|공

교재의 문항 한글(HWP) 파일과 교재이미지, 강의자료를 무료로 제공합니다.

• 교사지원센터(teacher.ebsi.co.kr)에서 '교사인증' 이후 이용하실 수 있습니다.
• 교사지원센터에서 제공하는 자료는 교재별로 다를 수 있습니다.

이 책의 **구성과 특징**

Structure

교육과정의 핵심 개념 학습과 문제 해결 능력 신장

[EBS 수능특강]은 고등학교 교육과정과 교과서를 분석·종합하여 개발한 교재입니다.
본 교재를 활용하여 대학수학능력시험이 요구하는 교육과정의 핵심 개념과 다양한 난이도의 수능형 문항을 학습함으로써 문제 해결 능력을 기를 수 있습니다. EBS가 심혈을 기울여 개발한 [EBS 수능특강]을 통해 다양한 출제 유형을 연습함으로써, 대학수학능력시험 준비에 도움이 되기를 바랍니다.

충실한 개념 설명과 보충 자료 제공

1. 핵심 개념 정리

주요 개념을 요약·정리하고 탐구 상황에 적용하였으며, 보다 깊이 있는 이해를 돕기 위해 보충 설명과 관련 자료를 풍부하게 제공하였습니다.

과학 돋보기

개념의 통합적인 이해를 돕는 보충 설명 자료나 배경 지식, 과학사, 자료 해석 방법 등을 제시하였습니다.

탐구자료 살펴보기

주요 개념의 이해를 돕고 적용 능력을 기를 수 있도록 시험 문제에 자주 등장하는 탐구 상황을 소개하였습니다.

2. 개념 체크 및 날개 평가

본문에 소개된 주요 개념을 요약·정리하고 간단한 퀴즈를 제시하여 학습한 내용을 갈무리하고 점검할 수 있도록 구성하였습니다.

단계별 평가를 통한 실력 향상

[EBS 수능특강]은 문제를 수능 시험과 유사하게 **수능 2점 테스트, 수능 3점 테스트**로 구분하여 제시하였습니다. 수능 2점 테스트는 필수적인 개념을 간략한 문제 상황으로 다루고 있으며, 수능 3점 테스트는 다양한 개념을 복잡한 문제 상황이나 탐구 활동에 적용하였습니다.

01 힘과 평형

1 힘의 합성과 분해

(1) 스칼라량과 벡터량

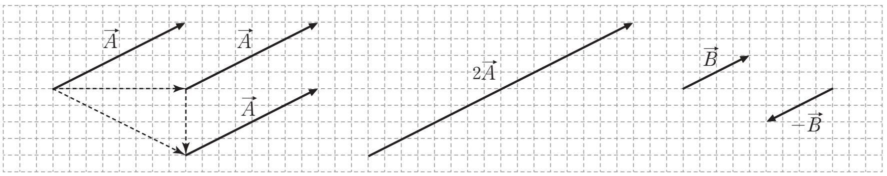
① **스칼라량**: 길이, 질량, 시간, 이동 거리, 속력, 에너지 등과 같이 크기만으로 표시할 수 있는 물리량을 스칼라(scalar)량이라고 한다.

② **벡터량**: 1차원 직선이나 2차원 평면이나 3차원 공간에서의 운동을 표시하기 위해서는 크기와 방향을 함께 표시해야 한다. 이와 같이 크기뿐만 아니라 방향을 함께 나타내는 물리량을 벡터(vector)량이라고 한다.

- 벡터량의 예: 변위, 속도, 가속도, 힘, 운동량 등
- 벡터량의 표시: 벡터량을 표시할 때에는 일반적으로 $\boldsymbol{A}$와 같이 굵은 글씨로 나타내거나, $\vec{A}$와 같이 문자 위에 화살표를 붙여서 나타낸다.
- 벡터량의 크기: $\vec{A}$의 크기는 $|\vec{A}|$와 같이 절댓값으로 나타내거나 A와 같이 화살표를 쓰지 않고 나타낸다.

과학 돋보기 **벡터의 여러 가지 특징**

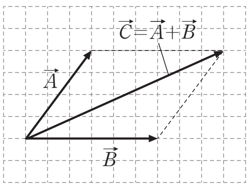
- 벡터는 화살표로 나타낸다.
- 벡터는 크기와 방향이 같으면 동일한 벡터이다. 따라서 벡터를 평행 이동하여도 처음 벡터와 같은 벡터이다.
- $2\vec{A}$는 $\vec{A}$와 방향은 같고, 크기는 2배이다.
- $-\vec{B}$는 $\vec{B}$와 크기는 같고, 방향은 반대이다.



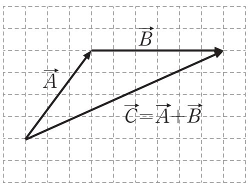
(2) 벡터의 합성: 둘 이상의 벡터를 같은 효과를 갖는 하나의 벡터로 나타내는 것을 벡터의 합성이라고 한다.

① **평행사변형법**: 두 벡터 $\vec{A}$와 $\vec{B}$를 이웃한 두 변으로 하는 평행사변형을 그리면, 평행사변형의 대각선 $\vec{C}$가 벡터의 합이 된다. 즉, 합성 벡터의 방향은 대각선의 방향과 같고, 크기는 대각선의 길이와 같다.

② **삼각형법**: $\vec{B}$의 시작점을 $\vec{A}$의 끝점으로 평행 이동시키면, $\vec{A}$의 시작점과 $\vec{B}$의 끝점을 연결한 화살표 $\vec{C}$가 벡터의 합이 된다.



평행사변형법



삼각형법

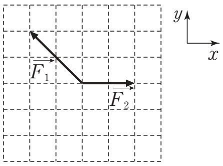
개념 체크

➔ **스칼라량**: 크기만으로 나타낼 수 있는 물리량

➔ **벡터량**: 크기와 방향을 함께 나타내는 물리량

1. 변위, 속도, 힘 등과 같이 크기와 방향을 함께 나타내는 물리량을 (　　)이라고 한다.

[2~3] 그림은 xy 평면의 모눈종이에 힘 $\vec{F_1}$, $\vec{F_2}$를 나타낸 것이다. (단, 모눈 간격은 1 N이다.)

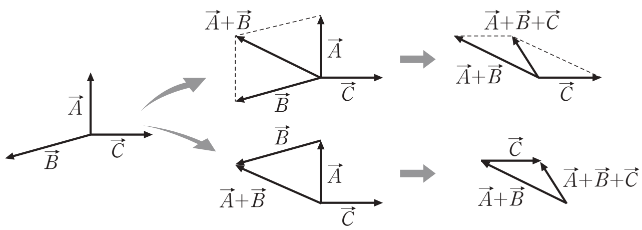


2. $\vec{F_1}+\vec{F_2}$의 방향은?

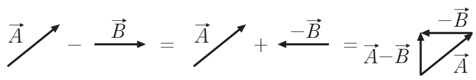
3. $\vec{F_1}+\vec{F_2}$의 크기는?

정답
1. 벡터량
2. $+y$방향
3. 2 N

③ **여러 벡터의 합성**: 세 개 이상의 벡터를 합성하는 경우에는 두 벡터를 합성하는 방법을 반복하여 벡터의 합을 구한다.



④ **벡터의 차**: $\vec{A}$에서 $\vec{B}$를 빼는 것은 $\vec{A}$에 $-\vec{B}$를 더하는 것과 같다.

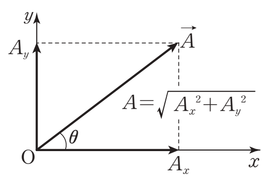


(3) 벡터의 분해: 벡터의 합성과는 반대로 한 개의 벡터를 두 개 이상의 벡터로 나누는 것을 벡터의 분해라고 한다.

① 벡터의 합성을 만족하는 임의 방향으로 벡터를 분해할 수 있지만, 일반적으로 직교 좌표축을 이용하여 서로 수직인 벡터로 분해한다.

② **벡터의 성분**: $\vec{A}$를 $\vec{A_x}+\vec{A_y}$로 나타낼 때 $\vec{A_x}$, $\vec{A_y}$를 $\vec{A}$의 성분 벡터라 하고, A_x, A_y를 각각 $\vec{A}$의 x성분, y성분이라고 한다. 따라서 $\vec{A}$가 x축과 이루는 각이 θ일 때, 다음 관계가 성립한다.

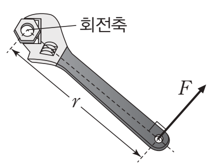
$$A_x=A\cos\theta,\ A_y=A\sin\theta,\ A=\sqrt{A_x^2+A_y^2}$$



2 돌림힘

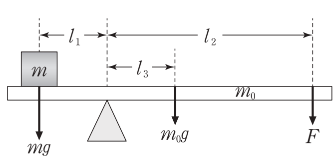
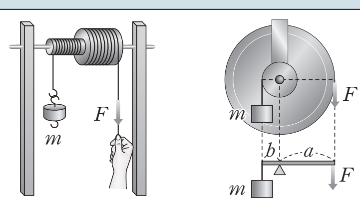
(1) 돌림힘: 물체의 회전 운동을 변화시키는 원인을 돌림힘 또는 토크라고 한다.

① **돌림힘의 크기**: 회전 팔의 길이를 r(회전축으로부터 힘이 수직으로 작용하는 지점까지의 거리), 회전 팔에 수직으로 작용한 힘의 크기를 F라고 하면, 돌림힘의 크기 τ는 다음과 같다.



$$\tau=r\times F\ [\text{단위: N}\cdot\text{m}]$$

② **지레와 축바퀴**: 지레나 축바퀴를 이용하면 작은 힘으로 무거운 물체를 들어 올릴 수 있다.

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

개념 체크

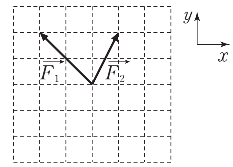
➲ **벡터의 분해**: 한 개의 벡터를 두 개 이상의 벡터로 나누는 것

➲ **돌림힘**: 물체의 회전 운동을 변화시키는 원인

➲ **돌림힘의 크기**: 회전 팔의 길이와 회전 팔에 수직 방향으로 작용하는 힘의 크기를 곱한 것과 같다.

$$\tau=r\times F$$

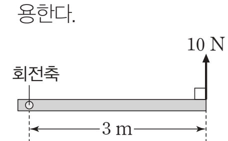
[1~2] 그림은 xy 평면의 모눈종이에 힘 $\vec{F_1}$, $\vec{F_2}$를 나타낸 것이다. (단, 모눈 간격은 1 N이다.)



1. $\vec{F_1}-\vec{F_2}$의 방향은?

2. $\vec{F_1}-\vec{F_2}$의 크기는?

3. 그림과 같이 막대의 회전축으로부터 3 m 떨어진 지점에 10 N의 힘이 작용한다.



회전축을 중심으로 하여 막대에 작용하는 10 N의 힘에 의한 돌림힘의 크기는 (   ) N·m이다.

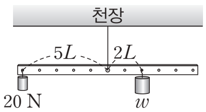
정답

1. $-x$방향
2. 3 N
3. 30

개념 체크

➲ **물체의 평형 조건**: 물체에 작용하는 알짜힘이 0이고, 물체에 작용하는 돌림힘의 합이 0일 때이다.

[1~3] 그림과 같이 무게가 각각 20 N, w인 추를 매달아 놓은 막대가 실로 천장에 연결되어 수평을 유지하고 있다. (단, 막대의 질량은 무시한다.)



1. 막대에 작용하는 알짜힘은 (   )이다.

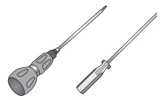
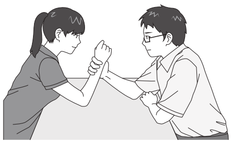
2. w는 (   ) N이다.

3. 실이 막대를 당기는 힘의 크기는 (   ) N이다.

정답
1. 0
2. 50
3. 70

과학 돋보기 **회전 팔의 길이와 돌림힘의 크기**

회전 팔의 길이가 길면 작은 힘으로도 필요한 돌림힘을 낼 수 있으며, 회전 팔의 길이가 길수록 같은 힘을 작용할 때 더 큰 돌림힘을 얻을 수 있다.

드라이버	팔씨름
드라이버의 손잡이가 두꺼우면 회전 팔의 길이가 길기 때문에 같은 힘을 작용할 때 더 큰 돌림힘을 얻을 수 있다. 따라서 쉽게 나사를 조이거나 풀 수 있다. 	팔목을 잡고 팔씨름을 하면, 회전축으로부터 힘점까지의 거리가 짧아진다. 따라서 돌림힘이 작아져서 불리하다. 

3 물체의 평형

(1) 평형 상태: 물체에 작용하는 힘들이 평형 조건을 만족하면, 물체가 평형 상태에 있다고 한다.

① 평형 조건

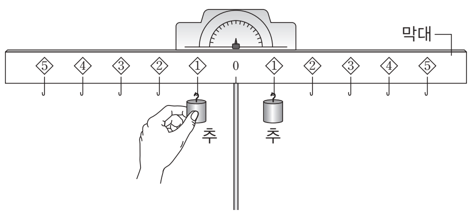
- 힘의 평형: 물체에 작용하는 알짜힘이 0이다.
- 돌림힘의 평형: 물체에 작용하는 돌림힘의 합이 0이다.
  (회전축 위에서 보았을 때 시계 방향으로 회전할 때 돌림힘의 방향을 (+)로 정하면, 시계 반대 방향으로 회전할 때 돌림힘의 방향은 (−)이다.)

② 평형 상태에서 가능한 운동: 정지, 등속 직선 운동

탐구자료 살펴보기 **막대 수평 맞추기**

과정 (1) 일정한 간격으로 눈금이 매겨진 막대의 중심을 스탠드에 걸어 막대를 수평으로 맞춘다.

(2) 막대의 왼쪽 부분의 눈금에 매달린 추의 개수와 위치를 변화시켰을 때 막대를 수평으로 유지하기 위한 막대의 오른쪽 눈금에 매달 추의 개수와 위치를 알아본다. (추의 질량은 일정하다.)



결과

	막대의 왼쪽					막대의 오른쪽				
눈금	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5
(가)	−	−	−	1개	1개	−	−	1개	−	−
(나)	−	2개	−	−	−	−	−	1개	−	1개
(다)	−	−	1개	−	1개	−	2개	−	−	−

- 막대 왼쪽의 (눈금×추의 개수)의 합과 막대 오른쪽의 (눈금×추의 개수)의 합이 같을 때 막대는 수평을 유지한다.

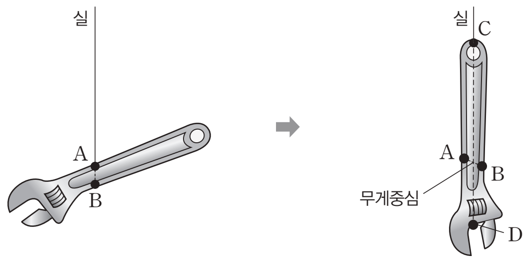
point • 막대가 수평을 유지할 때 막대에 작용하는 돌림힘의 합은 0이다.

(2) 무게중심: 물체를 구성하는 입자들의 전체 무게가 한 곳에 작용한다고 볼 수 있는 점이다.

① 균일한 물질로 이루어진 공이나 정육면체의 무게중심은 중앙에 있다.

② 무게중심을 받치면 물체 전체를 떠받칠 수 있다.

③ **무게중심 찾기**: 물체의 가장자리를 실에 매달면 무게중심은 실의 연장선에 있다. 따라서 $\overline{AB}$와 $\overline{CD}$가 만나는 점이 무게중심이다.



(3) 구조물의 안정성

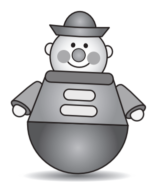
① **구조물이 안정적인 조건**: 구조물이 안정한 평형 상태에 있어야 한다.

② **구조물의 안정성**: 바닥이 넓고 무게중심이 낮을수록 구조물의 안정성이 높다.

③ **실생활에서 구조물의 안정성**

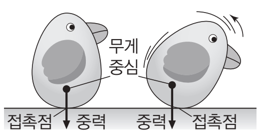
- 모빌이나 오뚝이는 안정한 평형 상태에 있다. 따라서 한쪽으로 기울였다 놓으면 흔들리다가 처음과 같은 평형 상태로 되돌아온다.
- 아치형 다리는 위에서 누르는 힘을 아치를 이루는 돌들에 잘 분산시키며, 힘이 작용할수록 아치를 이루는 돌들이 강하게 끼게 되어 안정성이 증가한다.

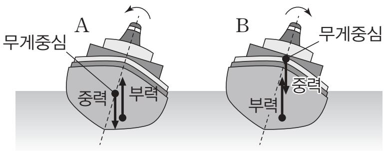

모빌


오뚝이


아치형 다리

과학 돋보기 **안정한 평형과 불안정한 평형**





오뚝이의 무게중심 위치는 낮기 때문에 오뚝이가 기울어지면 무게중심이 위로 올라간다. 따라서 오뚝이를 밀었다 놓으면 접촉점을 회전축으로 하는 중력에 의한 돌림힘이 오뚝이를 원래 상태로 돌아가게 한다.	A와 같이 무게중심이 낮은 배는 조금 기울어지면 무게중심을 회전 중심으로 하는 부력에 의한 돌림힘이 배를 원래 상태로 돌아가게 한다. B와 같이 무게중심이 높은 배는 조금 기울어져도 무게중심을 회전 중심으로 하는 부력에 의한 돌림힘이 배를 더 기울어지게 한다. 따라서 A는 안정한 평형 상태에 있고, B는 불안정한 평형 상태에 있다.

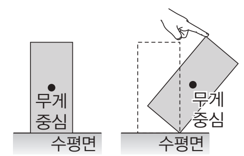
개념 체크

➲ **무게중심**: 물체를 구성하는 입자들의 평균 위치

➲ **안정한 평형과 불안정한 평형**: 안정한 평형 상태에서는 물체가 약간 기울어질 때 처음 위치로 다시 되돌아오고, 불안정한 평형 상태에서는 물체가 약간 기울어지더라도 평형 상태로 되돌아오지 못한다.

1. 구조물의 바닥이 (넓을수록 , 좁을수록) 무게중심이 (높을수록 , 낮을수록) 구조물의 안정성이 높다.

[2~3] 그림 (가), (나)와 같이 물체가 수평면에 정지해 있다. (나)에서는 물체를 손으로 잡고 있다.



(가) (나)

2. (가)에서 물체는 돌림힘의 평형 상태에 있다. (○ , ×)

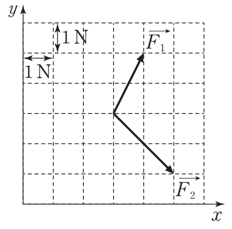
3. (나)에서 손을 치우면 물체는 (가)의 상태로 되돌아가는 방향으로 회전한다. (○ , ×)

정답

1. 넓을수록, 낮을수록
2. ○
3. ×

[26027-0001]

01 그림은 xy 평면에 힘 벡터 $\vec{F_1}$, $\vec{F_2}$를 나타낸 것이다. 모눈 간격은 1 N이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

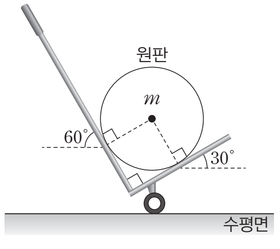
보기

ㄱ. $\vec{F_1}$의 y성분의 크기는 1 N이다.
ㄴ. $\vec{F_1}+\vec{F_2}$의 방향은 $+x$방향이다.
ㄷ. $\vec{F_1}+\vec{F_2}$의 크기는 3 N이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0002]

02 그림과 같이 질량이 m이고, 밀도가 균일한 원판이 수레의 양쪽 빗면에 접촉하여 정지해 있다. 두 빗면의 경사각은 각각 60°, 30°이다.

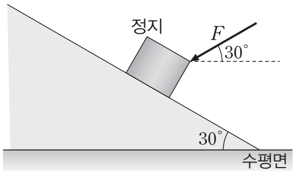


경사각이 60°인 수레의 빗면이 원판에 작용하는 힘의 크기는? (단, 중력 가속도는 g이고, 원판의 두께와 마찰은 무시한다.)

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

[26027-0003]

03 그림과 같이 경사각이 30°이고, 마찰이 없는 빗면에 놓인 물체에 크기가 F인 힘을 수평 방향과 30°의 각을 이루는 방향으로 작용하였더니 물체가 정지해 있다.



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

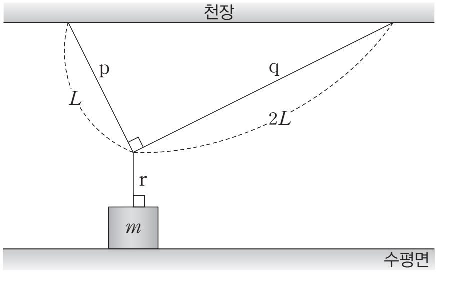
보기

ㄱ. 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.
ㄴ. 빗면이 물체에 작용하는 힘의 크기는 $\sqrt{3}F$이다.
ㄷ. 물체에 작용하는 중력의 크기는 F이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0004]

04 그림과 같이 수평면과 나란한 천장에 연결된 실 p, q와 실 r가 연결되어 있고 수평면에 놓인 물체가 r와 연직 방향으로 연결되어 정지해 있다. p, q는 길이가 각각 L, $2L$이고, 서로 수직이다. 수평면이 물체를 떠받치는 힘의 크기는 $\frac{1}{6}mg$이다.

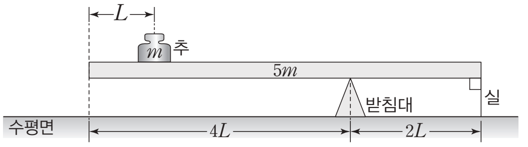


p가 천장을 당기는 힘의 크기는? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기, 실의 질량은 무시한다.)

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

[26027-0005]

05 그림과 같이 받침대 위에 놓인 길이가 $6L$, 질량이 $5m$인 막대가 수평을 이루며 정지해 있다. 막대의 왼쪽 끝에서 L만큼 떨어진 지점에는 질량이 m인 추가 놓여 있고, 막대의 오른쪽 끝은 실로 수평면에 연결되어 있다.



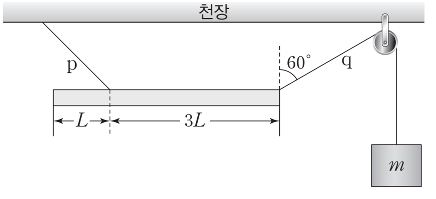
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 막대의 밀도는 균일하며, 막대의 두께와 폭, 추의 크기, 실의 질량은 무시한다.)

보기
ㄱ. 막대에 작용하는 돌림힘의 합은 0이다.
ㄴ. 실이 막대를 당기는 힘의 크기는 $4mg$이다.
ㄷ. 받침대가 막대를 떠받치는 힘의 크기는 $9mg$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0006]

06 그림과 같이 길이가 $4L$인 막대가 수평을 이루며 정지해 있다. 막대의 왼쪽 끝에서 L만큼 떨어진 지점은 실 p로 천장에 연결되어 있고, 막대의 오른쪽 끝은 질량이 m인 물체와 실 q로 연결되어 있다. q가 연직 방향과 이루는 각은 $60°$이다.

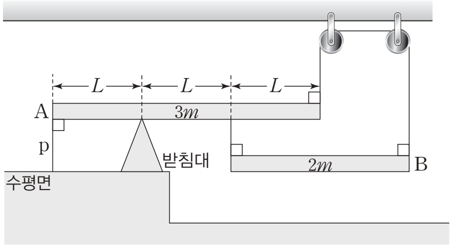


p가 막대를 당기는 힘의 크기는? (단, 중력 가속도는 g이고, 막대의 밀도는 균일하며, 막대의 두께와 폭, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

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

[26027-0007]

07 그림과 같이 받침대 위에 놓인 길이가 $3L$인 막대 A와 막대 B가 실로 연결되어 수평을 이루며 정지해 있다. A의 왼쪽 끝은 실 p로 수평면과 연결되어 있다. A, B의 질량은 각각 $3m$, $2m$이다. 받침대는 크기가 F인 힘으로 A를 떠받치고 있고, p가 A를 당기는 힘의 크기는 T이다.

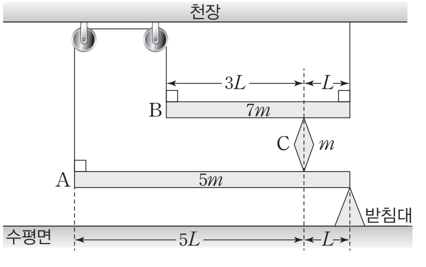


$\frac{F}{T}$는? (단, 막대의 밀도는 각각 균일하며, 막대의 두께와 폭, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

① 7 ② $\frac{15}{2}$ ③ 8 ④ $\frac{17}{2}$ ⑤ 9

[26027-0008]

08 그림과 같이 받침대에 놓인 길이가 $6L$인 막대 A와 물체 C에 놓인 길이가 $4L$인 막대 B가 실로 연결되어 수평을 이루며 각각 정지해 있다. B의 오른쪽 끝은 실로 천장에 연결되어 있고, C는 두 막대의 오른쪽 끝으로부터 L만큼 떨어진 지점에 있다. A, B, C의 질량은 각각 $5m$, $7m$, m이다.



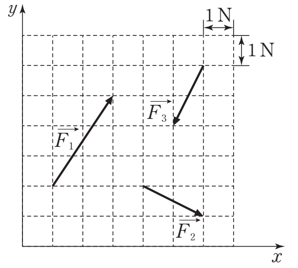
받침대가 A를 떠받치는 힘의 크기는? (단, 중력 가속도는 g이고, 막대의 밀도는 각각 균일하며, 막대의 두께와 폭, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

① $4mg$ ② $5mg$ ③ $6mg$ ④ $7mg$ ⑤ $8mg$

$\vec{F_1}$, $\vec{F_2}$, $\vec{F_3}$을 합성할 때, 벡터를 평행 이동시켜 각 벡터의 시작점과 끝점을 연속적으로 연결한다.

[26027-0009]

01 그림은 xy 평면에 힘 벡터 $\vec{F_1}$, $\vec{F_2}$, $\vec{F_3}$을 나타낸 것이다. 모눈 간격은 1 N이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

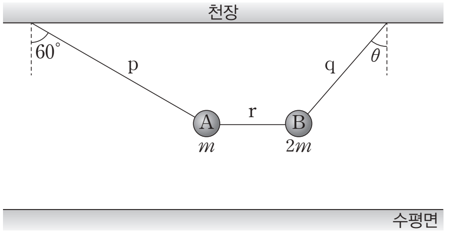
ㄱ. $\vec{F_1}$의 x성분의 크기는 2 N이다.
ㄴ. $\vec{F_1}+\vec{F_2}+\vec{F_3}$의 크기는 3 N이다.
ㄷ. $\vec{F_1}-\vec{F_2}$의 방향과 $\vec{F_1}+\vec{F_2}+\vec{F_3}$의 방향은 서로 수직이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

A, B에 작용하는 알짜힘이 0이므로 p가 A를 당기는 힘의 수평 성분과 q가 B를 당기는 힘의 수평 성분의 크기는 같다.

[26027-0010]

02 그림과 같이 천장에 실 p, q로 매단 두 물체 A, B가 수평면과 나란한 실 r로 연결되어 정지해 있다. A, B의 질량은 각각 m, $2m$이고, p, q가 연직 방향과 이루는 각은 각각 60°, θ이다.



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

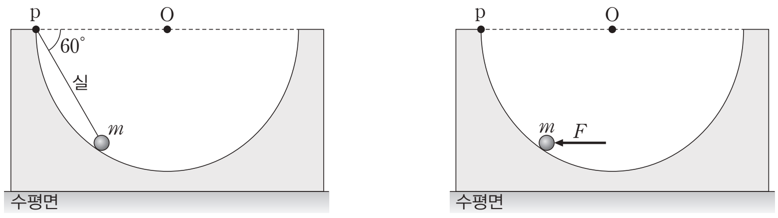
보기

ㄱ. r가 A를 당기는 힘의 크기는 $\sqrt{3}mg$이다.
ㄴ. $\tan\theta=\frac{\sqrt{3}}{2}$이다.
ㄷ. q가 B를 당기는 힘의 크기는 p가 A를 당기는 힘의 크기의 $\frac{\sqrt{7}}{2}$배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0011]

03 그림 (가)와 같이 질량이 m인 물체가 반구형 그릇의 점 p에 실로 매달려 정지해 있다. 실이 수평 방향과 이루는 각은 60°이다. 그림 (나)는 (가)에서 실을 제거하고 물체에 수평 방향으로 크기가 F인 힘을 작용하였더니 물체가 정지한 모습을 나타낸 것이다. 점 O는 구의 중심이고, (가), (나)에서 물체의 높이는 같다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

보기

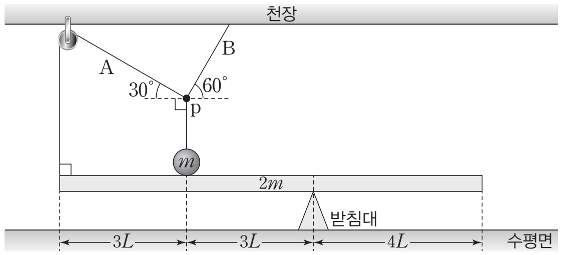
ㄱ. (가)에서 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 $\frac{\sqrt{3}}{3}mg$이다.
ㄴ. (나)에서 $F=mg$이다.
ㄷ. 반구형 그릇의 안쪽 면이 물체에 작용하는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

물체가 정지해 있을 때 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

[26027-0012]

04 그림과 같이 받침대에 놓인 질량이 $2m$이고, 길이가 $10L$인 막대가 수평을 이루며 정지해 있다. 막대의 왼쪽 끝에서 $3L$만큼 떨어진 지점에는 질량이 m인 물체가 막대의 왼쪽 끝과 연결된 실 A와 천장과 연결된 실 B에 실로 연결되어 정지해 있다. 세 실이 만나는 점 p에서 A, B가 수평 방향과 이루는 각은 각각 30°, 60°이다.



받침대가 막대를 떠받치는 힘의 크기는? (단, 중력 가속도는 g이고, 막대의 밀도는 균일하며, 막대의 두께와 폭, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

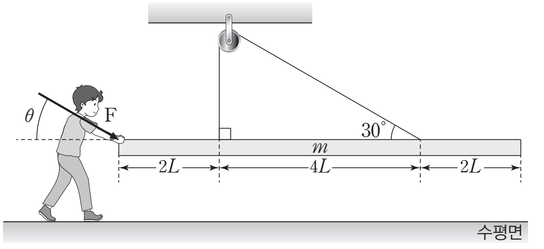
① mg ② $\frac{5}{4}mg$ ③ $\frac{3}{2}mg$ ④ $\frac{7}{4}mg$ ⑤ $2mg$

A가 막대의 왼쪽 끝을 당기는 힘의 크기를 T라고 하면 물체와 연결된 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 $2T$이다.

실이 막대에 작용하는 힘을 수평 성분과 연직 성분으로 분해한다. 막대에 작용하는 알짜힘은 0이다.

[26027-0013]

05 그림과 같이 질량이 m이고, 길이가 $8L$인 막대가 사람으로부터 수평 방향에 대해 θ의 각을 이루는 방향으로 힘 $\mathbf{F}$를 받아 수평을 이루며 정지해 있다. 막대의 왼쪽 끝으로부터 각각 $2L$, $6L$만큼 떨어진 지점은 실로 서로 연결되어 있다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 막대의 밀도는 균일하며, 막대의 두께와 폭, 실의 질량, 실과 도르래 사이의 마찰은 무시한다.)

보기

ㄱ. 막대에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄴ. F의 연직 방향 성분의 크기는 $\frac{2}{5}mg$이다.

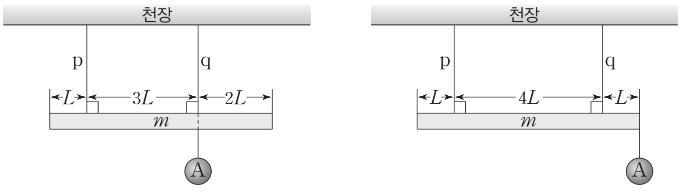
ㄷ. $\tan\theta=\frac{\sqrt{3}}{6}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

(가), (나)에서 실 p, q가 막대를 당기는 힘의 합력은 서로 같다.

[26027-0014]

06 그림 (가), (나)는 질량이 m이고 길이가 $6L$인 막대가 천장에 연결된 실 p, q에 매달려 수평을 이루며 정지해 있는 두 경우를 나타낸 것이다. 물체 A는 (가)에서는 막대의 오른쪽 끝으로부터 $2L$만큼 떨어진 지점에, (나)에서는 막대의 오른쪽 끝에 실로 각각 매달려 있다. p가 막대를 당기는 힘의 크기는 (가)에서와 (나)에서가 같다.



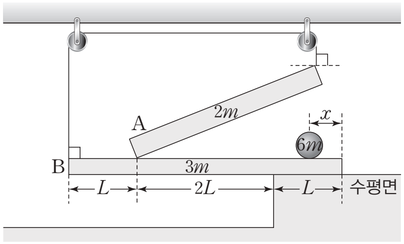
(가) (나)

A의 질량은? (단, 막대의 밀도는 균일하며, 막대의 두께와 폭, 실의 질량은 무시한다.)

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

[26027-0015]

07 그림과 같이 막대 A와 실로 연결된 길이가 $4L$인 막대 B가 수평을 이루며 정지해 있다. A, B의 질량은 각각 $2m$, $3m$이다. B의 왼쪽 끝 지점으로부터 L만큼 떨어진 지점에는 A의 왼쪽 끝이 접촉해 있고, A의 오른쪽 끝과 연결된 실이 수평 방향과 이루는 각은 $90°$이다. B의 오른쪽 끝으로부터 x만큼 떨어진 지점에는 질량이 $6m$인 물체가 놓여 있다.



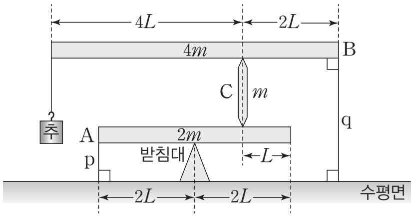
B가 수평을 유지할 수 있는 x의 최댓값은? (단, 막대의 밀도는 각각 균일하며, 막대의 두께와 폭, 실의 질량, 물체의 크기, 모든 마찰은 무시한다.)

① $\frac{2}{3}L$　② $\frac{17}{24}L$　③ $\frac{3}{4}L$　④ $\frac{19}{24}L$　⑤ $\frac{11}{12}L$

x가 최댓값일 때 수평면이 B의 오른쪽 끝에 작용하는 힘은 0이다.

[26027-0016]

08 그림과 같이 길이가 각각 $4L$, $6L$인 막대 A, B가 수평을 유지하며 정지해 있다. A의 위에는 물체 C가 놓여 있고, C의 위에는 B가 놓여 있다. B의 왼쪽 끝에는 추가 실에 매달려 있고, A의 왼쪽 끝과 B의 오른쪽 끝은 수평면과 실 p, q로 연결되어 있다. A, B, C의 질량은 각각 $2m$, $4m$, m이고, p가 A를, q가 B를 당기는 힘의 크기는 서로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 막대의 밀도는 각각 균일하며, 막대의 두께와 폭, 실의 질량은 무시한다.)

보기

ㄱ. p가 A를 당기는 힘의 크기는 $8mg$이다.
ㄴ. 추의 질량은 $2m$이다.
ㄷ. 수평면에 놓인 받침대가 A를 떠받치는 힘의 크기는 $26mg$이다.

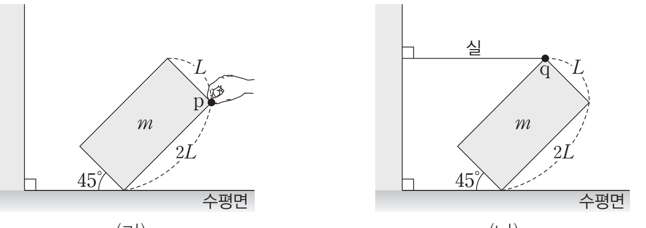
① ㄱ　② ㄴ　③ ㄱ, ㄷ　④ ㄴ, ㄷ　⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

C가 B에 작용하는 힘의 크기를 F라고 하면, C가 A에 작용하는 힘의 크기는 $F+mg$이다.

회전 팔의 길이를 r, 회전 팔에 수직으로 작용하는 힘의 크기를 F라고 하면, 돌림힘의 크기는 $r \times F$이다.

[26027-0017]

09 그림 (가), (나)와 같이 길이가 각각 L, $2L$인 직육면체 모양의 물체가 (가)에서는 꼭짓점 p에 연직 방향으로 힘이 작용하고, (나)에서는 꼭짓점 q에 수평면과 나란한 실이 벽과 연결되어 각각 정지해 있다. (가), (나)에서 물체의 바닥면과 수평면이 이루는 각은 $45°$이다.



(가)　　　　(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 밀도는 균일하며, 실의 질량과 물체의 두께는 무시한다.)

보기

ㄱ. (가)에서 p에 작용하는 힘의 방향은 연직 위 방향이다.

ㄴ. (나)에서 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 $\frac{1}{6}mg$이다.

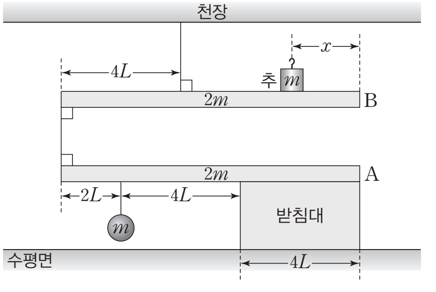
ㄷ. 수평면이 물체를 수직으로 떠받치는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

① ㄱ　② ㄷ　③ ㄱ, ㄴ　④ ㄴ, ㄷ　⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

x가 최솟값일 때와 최댓값일 때, 받침대의 왼쪽 끝점 또는 오른쪽 끝점이 A에 작용하는 힘은 0이다.

[26027-0018]

10 그림과 같이 받침대에 놓인 막대 A와 천장에 연결된 실에 매달린 막대 B가 실로 연결되어 수평을 이루며 정지해 있다. A, B의 질량은 $2m$이고, 길이는 $10L$로 서로 같다. A의 왼쪽 끝으로부터 $2L$만큼 떨어진 지점에는 질량이 m인 물체가 매달려 있고, B의 오른쪽 끝으로부터 x만큼 떨어진 지점에는 질량이 m인 추가 놓여 있다.



$0 < x < 6L$에서 A, B가 모두 수평을 이루며 정지해 있을 수 있는 x의 최댓값과 최솟값의 차는? (단, 막대의 밀도는 각각 균일하며, 막대의 두께와 폭, 추의 크기, 실의 질량은 무시한다.)

① $3L$　② $\frac{16}{5}L$　③ $\frac{17}{5}L$　④ $\frac{18}{5}L$　⑤ $\frac{19}{5}L$

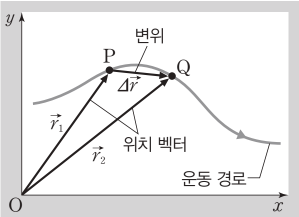
02 물체의 운동 (1)

1 속도와 가속도

(1) 변위: 물체의 위치 변화량을 나타내는 벡터량이다.

① **위치 벡터**: 물체의 위치를 나타내는 벡터이다. $\vec{r}_1$, $\vec{r}_2$는 점 P, Q의 위치를 나타내는 위치 벡터이다.

② **변위**: 위치 변화량을 변위라고 한다. 따라서 P에서 Q까지 연결한 화살표 $\Delta\vec{r}$는 P에서 Q까지의 변위이다.



(2) 속도

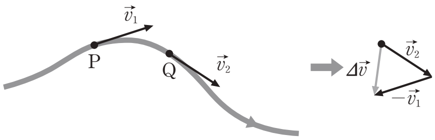
① **평균 속도**: 변위를 걸린 시간으로 나눈 값이다. 따라서 P에서 Q까지 걸린 시간이 Δt이면 평균 속도 $\vec{v}_{평}$은 다음과 같다.

$$\vec{v}_{평}=\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

② **순간 속도**: 시간 간격 Δt가 거의 0일 때의 평균 속도를 순간 속도라고 한다. 따라서 순간 속도의 방향은 운동 경로의 접선 방향과 같다.

(3) 가속도

① **속도 변화량**: P, Q에서의 속도가 각각 $\vec{v}_1$, $\vec{v}_2$이면, P에서 Q까지의 속도 변화량은 $\Delta\vec{v}=\vec{v}_2-\vec{v}_1$이다.



② **평균 가속도**: 속도 변화량을 걸린 시간으로 나눈 값이 가속도이다. 따라서 P에서 Q까지 걸린 시간이 Δt이면 평균 가속도 $\vec{a}_{평}$은 다음과 같다.

$$\vec{a}_{평}=\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

③ **순간 가속도**: 시간 간격 Δt가 거의 0일 때의 평균 가속도를 순간 가속도라고 한다.

④ **등가속도 운동**: 가속도가 일정한 운동이다.

- 시간에 따라 속도가 일정하게 증가하거나 감소한다.
- 등가속도 직선 운동의 공식: 직선상에서 가속도 a로 등가속도 운동을 하는 물체의 처음 속도가 v_0이면 시간 t일 때의 속도 v와 변위 s는 다음과 같은 관계가 있다.

$$v=v_0+at$$
$$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$$
$$v^2-v_0^2=2as$$

개념 체크

➲ **변위**: 물체의 위치 변화량

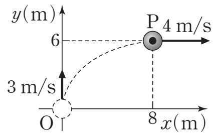
➲ **평균 속도($\vec{v}_{평}$)**: 물체의 변위($\Delta\vec{r}$)를 걸린 시간(Δt)으로 나눈 값

$$\vec{v}_{평}=\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

➲ **평균 가속도($\vec{a}_{평}$)**: 물체의 속도 변화량($\Delta\vec{v}$)을 걸린 시간(Δt)으로 나눈 값

$$\vec{a}_{평}=\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

[1~3] 그림은 xy 평면에서 운동하는 물체의 운동 경로를 나타낸 것이다. 원점 O와 점 P에서 물체의 속력은 각각 3 m/s, 4 m/s이고, 방향은 각각 $+y$방향, $+x$방향이다. 물체가 O에서 P까지 이동하는 데 걸린 시간은 4초이다.



1. O에서 P까지 물체의 변위의 크기는 (　　) m이다.

2. O에서 P까지 물체의 평균 속도의 크기는 (　　) m/s이다.

3. O에서 P까지 물체의 평균 가속도의 크기는 (　　) m/s^2이다.

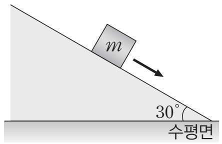
정답

1. 10
2. $\frac{5}{2}$
3. $\frac{5}{4}$

개념 체크

➔ 물체에 작용하는 알짜힘과 가속도: 물체에 작용하는 알짜힘의 방향과 가속도의 방향은 같고, 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 가속도의 크기에 비례한다.

[1~3] 그림과 같이 질량이 m인 물체가 경사각이 $30°$인 빗면을 따라 등가속도 직선 운동을 한다. (단, 중력 가속도는 g이고, 마찰은 무시한다.)



1. 물체의 가속도의 크기는 (　　)이다.

2. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 (　　)이다.

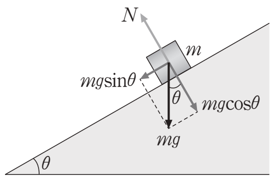
3. 빗면이 물체를 떠받치는 힘의 크기는 (　　)이다.

정답
1. $\frac{1}{2}g$
2. $\frac{1}{2}mg$
3. $\frac{\sqrt{3}}{2}mg$

과학 돋보기

기울기가 일정한 빗면 위에서의 운동

그림과 같이 질량이 m인 물체가 수평면과의 각이 θ이고 마찰이 없는 빗면을 미끄러져 내려가는 동안 물체는 등가속도 직선 운동을 한다. 물체에 작용하는 힘은 중력 mg와 수직 항력 N이다. 물체의 운동을 분석하기 위해 중력 mg는 빗면에 나란한 방향의 성분과 빗면에 수직인 방향의 성분으로 나누어 각각의 방향으로 운동을 생각한다.



- 빗면에 나란한 방향으로 작용하는 힘의 크기: $mg\sin\theta$
- 빗면에 수직인 방향으로 작용하는 힘의 크기: $N-mg\cos\theta$

물체에 작용하는 알짜힘은 빗면에 나란한 방향이므로 물체의 가속도의 크기가 a일 때 $ma=mg\sin\theta$에서 물체의 가속도의 크기는 $a=g\sin\theta$이다. 빗면에 수직인 방향으로 작용하는 알짜힘은 0이므로 $N-mg\cos\theta=0$에서 수직 항력 $N=mg\cos\theta$이다.

탐구자료 살펴보기

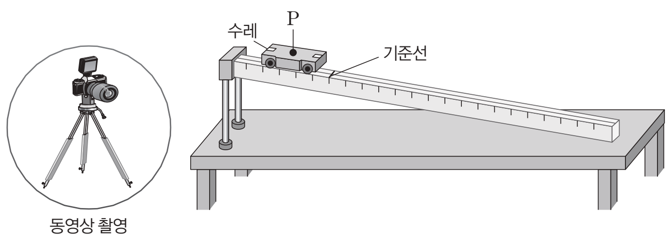
등가속도 운동

과정

(1) 그림과 같이 빗면에서 직선 운동을 하는 수레를 디지털 카메라로 동영상 촬영한다.

(2) 동영상 분석 프로그램을 사용하여 수레의 한 점 P가 기준선을 통과하는 순간부터 0.1초 간격으로 P의 위치를 기록하여 속도와 가속도를 구한다.

(3) 빗면의 경사각을 바꾸어 과정 (1), (2)를 반복한다.



결과

• 빗면의 경사각이 작을 때

시간(s)	0		0.1		0.2		0.3		0.4		0.5
위치(cm)	0		6		14		24		36		50
속도(m/s)		0.6		0.8		1.0		1.2		1.4	
가속도(m/s²)			2		2		2		2		

• 빗면의 경사각이 클 때

시간(s)	0		0.1		0.2		0.3		0.4		0.5
위치(cm)	0		8		20		36		56		80
속도(m/s)		0.8		1.2		1.6		2.0		2.4	
가속도(m/s²)			4		4		4		4		

point

• 수레는 등가속도 운동을 한다.
• 빗면의 경사각이 클수록 수레의 가속도의 크기는 크다.

2 평면에서 등가속도 운동

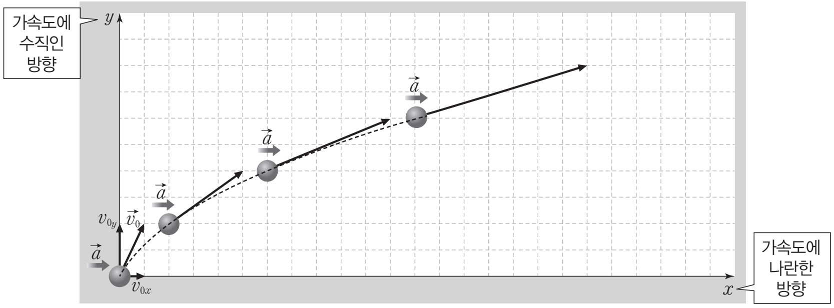
(1) 평면에서 등가속도 운동: 운동 방향이 변하는 등가속도 운동에서 가속도와 나란한 방향으로는 등가속도 운동을, 가속도와 수직인 방향으로는 등속도 운동을 한다.

(2) 평면에서 등가속도 운동의 분석

① 가속도가 일정하므로 가속도의 크기와 방향이 변하지 않는다.

② 가속도를 가속도에 나란한 방향과 수직인 방향으로 분해하면 운동을 쉽게 파악할 수 있다.

③ 가속도 방향을 x방향으로 정하면 가속도의 y성분은 0이다. 따라서 y방향으로는 속도가 변하지 않는 등속도 운동을 하고, x방향으로는 등가속도 운동을 한다.



④ 처음 위치를 원점으로 할 때, 물체의 가속도가 $\vec{a}=(a,\ 0)$이고 처음 속도가 $\vec{v}_0=(v_{0x},\ v_{0y})$이면, 시간 t일 때 속도 $\vec{v}=(v_x,\ v_y)$와 위치 $\vec{r}=(x,\ y)$는 다음과 같다.

- x방향: $v_x=v_{0x}+at$, $x=v_{0x}t+\frac{1}{2}at^2$
- y방향: $v_y=v_{0y}=$일정, $y=v_{0y}t$

(3) 평면에서 등가속도 운동의 경로

① $y=v_{0y}t$에서 $t=\frac{y}{v_{0y}}$이다. 이 관계를 $x=v_{0x}t+\frac{1}{2}at^2$에 대입하면 다음 관계가 성립한다.

$$x=\frac{v_{0x}}{v_{0y}}y+\frac{a}{2{v_{0y}}^2}y^2$$

② 운동 경로: x와 y의 관계식이 $x=py+qy^2$ 형태이다. 따라서 평면 위에서 운동 방향이 변하는 등가속도 운동을 하는 물체는 포물선 경로를 따라 운동한다.

3 중력장에서의 직선 운동

(1) 자유 낙하 운동

① 자유 낙하 운동: 물체가 중력의 영향만으로 낙하하는 운동이다.

② 중력 가속도: 진공에서 낙하하는 물체는 약 9.8 m/s^{2}의 가속도로 등가속도 운동을 하는데, 이 값을 중력 가속도라 하고 g로 표시한다.

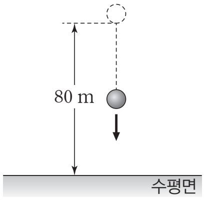
③ 속도와 낙하 거리: 물체를 가만히 놓은 후 시간 t 후의 속도 v, 낙하 거리 h는 다음 관계를 만족한다.

$$v=gt,\ h=\frac{1}{2}gt^2,\ v^2=2gh$$

개념 체크

➲ **등가속도 운동**: 속도가 시간에 따라 일정하게 변하는 운동으로, 물체에 작용하는 알짜힘의 크기와 방향이 모두 일정한 운동이다.

[1~2] 그림은 높이가 80 m인 지점에서 가만히 놓은 물체가 등가속도 직선 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. (단, 중력 가속도는 10 m/s^{2}이고, 물체의 크기는 무시한다.)



1. 물체를 가만히 놓은 순간부터 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간은 (   ) 초이다.

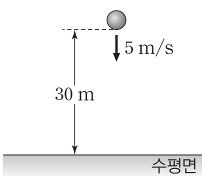
2. 수평면에 도달하는 순간 물체의 속력은 (   ) m/s이다.

정답
1. 4
2. 40

개념 체크

➔ 자유 낙하 운동과 연직 아래로 던진 물체의 운동: 물체에 일정하게 작용하는 중력에 의해 물체의 속도가 1초에 약 9.8 m/s씩 변하는 등가속도 직선 운동을 한다.

[1~2] 그림과 같이 높이가 30 m인 지점에서 물체를 연직 아래 방향으로 5 m/s의 속력으로 던졌다. 물체는 등가속도 직선 운동을 한다. (단, 중력 가속도는 10 m/s² 이고, 물체의 크기는 무시한다.)

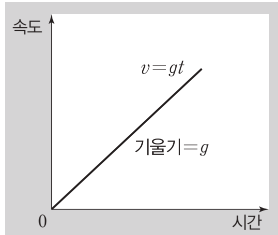


1. 물체를 던진 순간부터 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간은 ( )초이다.

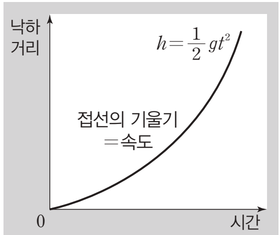
2. 수평면에 도달하는 순간 물체의 속력은 ( ) m/s이다.

정답
1. 2
2. 25

④ 시간에 따른 속도와 낙하 거리 그래프



속도-시간 그래프



낙하 거리-시간 그래프

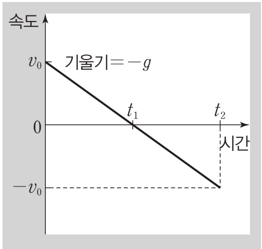
과학 돋보기 **자유 낙하 하는 물체에 대한 생각**

(2) 연직 아래로 던진 물체의 운동: 연직 아래 방향을 (+)방향으로 정하고 물체를 던진 속도를 v_0이라고 하면, 물체는 처음 속도가 v_0이고 가속도가 g인 등가속도 직선 운동을 한다.

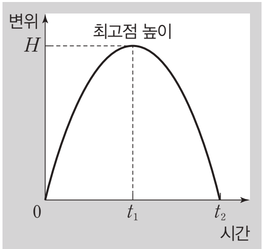
$$v=v_0+gt,\ h=v_0t+\frac{1}{2}gt^2,\ v^2-v_0^2=2gh$$

(3) 연직 위로 던진 물체의 운동: 연직 위 방향을 (+)방향으로 정하고 물체를 던진 속도를 v_0이라고 하면, 물체는 처음 속도가 v_0이고 가속도가 $-g$인 등가속도 직선 운동을 한다.

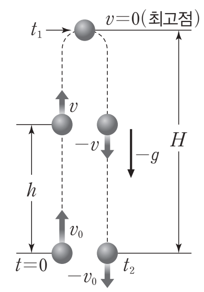
$$v=v_0-gt,\ h=v_0t-\frac{1}{2}gt^2,\ v^2-v_0^2=-2gh\ (h\text{: 변위})$$



속도-시간 그래프



변위-시간 그래프



① 최고점까지 올라가는 데 걸리는 시간 t_1: 최고점에서 속력이 0이므로, $v=v_0-gt$에 $v=0$, $t=t_1$을 대입하면 다음과 같다.

$$t_1=\frac{v_0}{g}$$

② 출발점으로 되돌아올 때까지 걸리는 시간 t_2: 출발점으로 되돌아오면 올라간 높이가 0이므로, $h=v_0t-\frac{1}{2}gt^2$에 $h=0$, $t=t_2$를 대입하면 다음과 같다.

$$t_2=\frac{2v_0}{g}=2t_1$$

③ 최고점 높이 H: 물체가 올라가는 최고점 높이 H는 다음과 같다.

$$H=\frac{{v_0}^2}{2g}$$

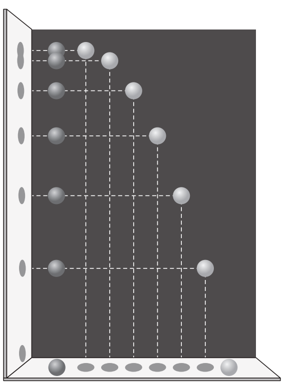
• $v^2-{v_0}^2=-2gh$에서 $v=0$, $h=H$를 대입하면 $H=\frac{{v_0}^2}{2g}$이다.

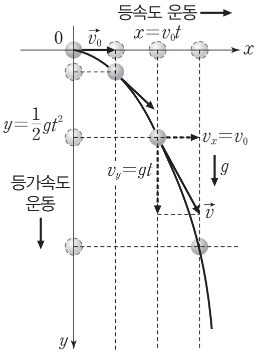
• H는 시간 $t_1=\frac{v_0}{g}$ 동안 자유 낙하 하는 거리와 같으므로 $H=\frac{1}{2}g{t_1}^2=\frac{1}{2}g\left(\frac{v_0}{g}\right)^2=\frac{{v_0}^2}{2g}$이다.

• 역학적 에너지가 보존되므로 $\frac{1}{2}m{v_0}^2=mgH$에서 $H=\frac{{v_0}^2}{2g}$이다.

4 포물선 운동

(1) 수평 방향으로 던진 물체의 운동: 물체를 수평 방향으로 던지면, 물체는 수평 방향으로는 등속도 운동을 하고 연직 아래 방향으로는 가속도가 g인 등가속도 운동(자유 낙하 운동)을 한다.





① 가속도: 공기 저항을 무시하면 물체에 작용하는 힘은 중력뿐이므로 $\vec{F}=m\vec{a}=m\vec{g}$에서 $\vec{a}=\vec{g}$이다. 따라서 가속도는 연직 아래 방향으로 크기가 g이다.

[수평 방향의 운동] 등속도 운동	[연직 방향의 운동] 자유 낙하 운동
가속도: $a_x=0$	가속도: $a_y=g$
속도: $v_x=v_0$	속도: $v_y=gt$
변위: $x=v_0t$	변위: $y=\frac{1}{2}gt^2$

② 낙하 시간 T: 높이 H에서 수평 방향으로 던진 물체가 바닥에 떨어질 때까지 걸리는 시간은 $H=\frac{1}{2}gT^2$에서 다음과 같다.

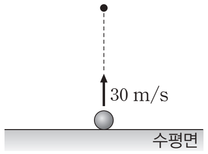
$$T=\sqrt{\frac{2H}{g}}$$

개념 체크

➲ **연직 위로 던진 물체의 운동:** 올라갈 때는 속력이 일정하게 감소하고, 내려올 때는 속력이 일정하게 증가하는 등가속도 운동이다.

➲ **수평 방향으로 던진 물체의 운동:** 수평 방향으로는 등속도 운동을 하고, 연직 방향으로는 자유 낙하와 같은 등가속도 운동을 한다.

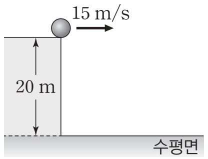
[1~2] 그림과 같이 물체를 수평면에서 연직 위 방향으로 30 m/s의 속력으로 던진다. 물체는 등가속도 직선 운동을 하여 최고점에 도달한다. (단, 중력 가속도는 10 m/s^{2}이고, 물체의 크기는 무시한다.)



1. 물체를 던진 순간부터 최고점에 도달할 때까지 걸린 시간은 (　　)초이다.

2. 최고점 높이는 (　　) m 이다.

[3~4] 그림과 같이 높이가 20 m인 지점에서 물체를 수평 방향으로 15 m/s의 속력으로 던졌다. 물체는 포물선 운동을 하여 수평면에 도달한다. (단, 중력 가속도는 10 m/s^{2}이고, 물체의 크기는 무시한다.)



3. 물체를 던진 순간부터 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간은 (　　)초이다.

4. 수평면에 도달하는 순간 물체의 속력은 (　　) m/s이다.

정답

1. 3　2. 45
3. 2　4. 25

③ 수평 도달 거리 R: 속도의 수평 성분이 v_0으로 일정하므로 수평 도달 거리는 다음과 같다.

$$R=v_0T=v_0\sqrt{\frac{2H}{g}}$$

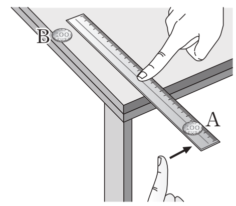
④ 운동 경로: $x=v_0t$와 $y=\frac{1}{2}gt^2$에서 t를 소거하여 정리하면 다음과 같다.

$$y=\frac{g}{2{v_0}^2}x^2$$

• y가 x에 대한 2차식이므로 운동 경로는 포물선이다.

탐구자료 살펴보기 **수평 방향으로 던진 동전의 운동 관찰**

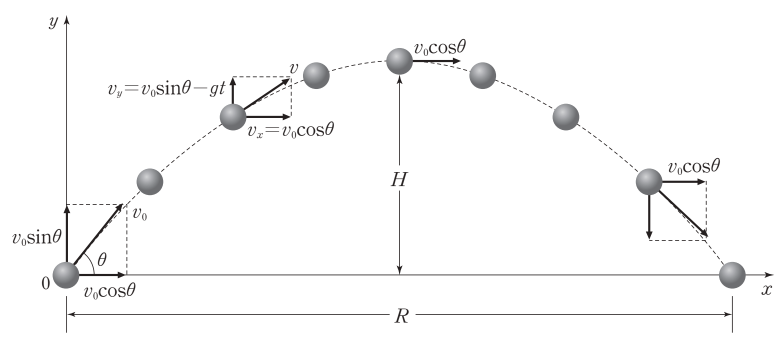
과정 (1) 그림과 같이 자와 동전을 놓고, 손가락으로 자의 중심을 누른다.
(2) 자의 한쪽 끝을 손가락으로 튕겨서, A는 자유 낙하 운동시키고, B는 수평 방향으로 던진다.
(3) A, B 중 어느 동전이 바닥에 먼저 떨어지는지 관찰한다.
(4) 자를 튕기는 속도를 변화시키면서 과정 (3)을 반복한다.



결과 • (3)의 결과: A, B가 동시에 바닥에 떨어진다.
• (4)의 결과: 자를 튕기는 속도를 변화시켜도 A, B가 동시에 바닥에 떨어진다.

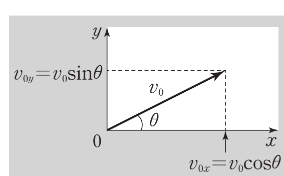
point • 수평으로 던진 물체는 수평 방향으로는 등속도 운동을, 연직 방향으로는 자유 낙하와 같은 운동을 한다.

(2) 비스듬히 던진 물체의 운동: 비스듬히 던진 물체에도 중력만 작용하므로 가속도는 중력 가속도와 같다. 따라서 수평 방향으로는 등속도 운동을, 연직 방향으로는 가속도가 $-g$인 등가속도 운동(연직 위로 던진 물체의 운동)을 한다.



① 처음 속도: 물체를 속력 v_0으로 수평면과 θ의 각으로 던지면, 처음 속도 $\vec{v_0}$의 x성분 v_{0x}와 y성분 v_{0y}는 각각 다음과 같다.

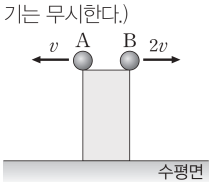
$$v_{0x}=v_0\cos\theta$$
$$v_{0y}=v_0\sin\theta$$



개념 체크

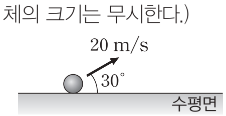
➔ 비스듬히 던진 물체의 운동: 수평 방향으로는 등속도 운동을 하고, 연직 방향으로는 가속도가 $-g$인 등가속도 운동을 한다.

1. 그림과 같이 수평면으로부터 같은 높이에서 물체 A, B를 수평 방향으로 각각 v, $2v$의 속력으로 던진다. A, B는 포물선 운동을 한다. (단, 물체의 크기는 무시한다.)



수평 도달 거리는 B가 A의 (　　)배이다.

[2~3] 그림과 같이 물체를 수평면과 30°의 각을 이루며 20 m/s의 속력으로 던진다. 물체는 포물선 운동을 하여 수평면에 도달한다. (단, 중력 가속도는 10 m/s^{2}이고, 물체의 크기는 무시한다.)



2. 수평면에서 던지는 순간 속도의 수평 성분의 크기는 (　　) m/s이고, 연직 성분의 크기는 (　　) m/s이다.

3. 물체가 수평면에서 최고점까지 이동하는 데 걸린 시간은 (　　)초이다.

정답
1. 2
2. $10\sqrt{3}$, 10
3. 1

② x방향으로는 $v_0\cos\theta$의 일정한 속도로 등속도 운동을 하고, y방향으로는 $v_0\sin\theta$의 속도로 연직 위로 던진 물체와 같은 운동을 한다.

[x방향의 운동] 등속도 운동	[y방향의 운동] 연직 위로 던진 물체의 운동
가속도: $a_x=0$	가속도: $a_y=-g$
속도: $v_x=v_0\cos\theta=$일정	속도: $v_y=v_0\sin\theta-gt$
변위: $x=(v_0\cos\theta)t$	변위: $y=(v_0\sin\theta)t-\frac{1}{2}gt^2$

③ 운동 경로: $x=v_0t\cos\theta$와 $y=v_0t\sin\theta-\frac{1}{2}gt^2$에서 t를 소거하여 정리하면 다음과 같다.

$$y=x\tan\theta-\frac{g}{2{v_0}^2\cos^2\theta}x^2$$

• y가 x에 대한 2차식이므로 운동 경로는 포물선이다.

④ 최고점 도달 시간 t_1: 최고점에서 속도의 y성분이 0이다. 따라서 $v_y=v_0\sin\theta-gt$에서 $0=v_0\sin\theta-gt_1$이므로 최고점 도달 시간 t_1은 다음과 같다.

$$t_1=\frac{v_0\sin\theta}{g}$$

⑤ 처음 던진 높이에 도달하는 시간 t_2: 처음 던진 높이에 도달하는 순간 $y=0$이므로, $0=(v_0\sin\theta)t_2-\frac{1}{2}g{t_2}^2$에서 처음 높이에 도달하는 시간 t_2는 다음과 같다.

$$t_2=\frac{2v_0\sin\theta}{g}$$

• 최고점까지 올라가는 데 걸리는 시간과 최고점에서 처음 던진 높이까지 떨어지는 데 걸리는 시간이 같다.
• 올라가는 궤도와 내려오는 궤도가 정확하게 대칭이다.

⑥ 최고점 높이 H: $0^2-{v_0}^2\sin^2\theta=-2gH$에서 물체가 올라가는 최고점 높이 H는 다음과 같다.

$$H=\frac{{v_0}^2\sin^2\theta}{2g}$$

⑦ 수평 도달 거리 R: 속도의 수평 성분이 $v_x=v_0\cos\theta$이므로, 수평 도달 거리는 $R=v_xt_2=\frac{2{v_0}^2\sin\theta\cos\theta}{g}$인데 $2\sin\theta\cos\theta=\sin2\theta$이므로 수평 도달 거리 R는 다음과 같다.

$$R=\frac{{v_0}^2\sin2\theta}{g}$$

• $2\theta=90°$일 때 $\sin2\theta$가 최대이므로 R가 최대이다. 따라서 던지는 각이 $45°$일 때 수평 도달 거리가 최대이다.
• $\sin2\theta=\sin(180°-2\theta)=\sin2(90°-\theta)$이므로, 던지는 각이 θ일 때와 $90°-\theta$일 때 수평 도달 거리가 같다.

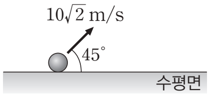
개념 체크

➔ 비스듬히 던진 물체의 최고점 높이와 수평 도달 거리: 물체를 속력 v_0으로 수평 방향과 θ의 각으로 던지면 물체의 최고점 높이 H와 수평 도달 거리 R는 다음과 같다.

$$H=\frac{{v_0}^2\sin^2\theta}{2g}$$

$$R=\frac{{v_0}^2\sin2\theta}{g}$$

[1~3] 그림과 같이 물체를 수평면과 $45°$의 각을 이루며 $10\sqrt{2}$ m/s의 속력으로 던진다. 물체는 포물선 운동을 하여 수평면에 도달한다. (단, 중력 가속도는 10 m/s^{2}이고, 물체의 크기는 무시한다.)



1. 최고점에서 물체의 속력은 (　　) m/s이다.

2. 최고점 높이는 (　　) m이다.

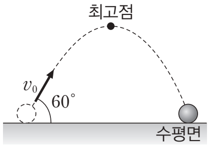
3. 물체가 포물선 운동을 하는 동안 수평 도달 거리는 (　　) m이다.

정답
1. 10
2. 5
3. 20

개념 체크

➡ **비스듬히 던진 물체의 속력:** 물체가 수평면에서 속력 v로 각 θ를 이루며 발사된 순간으로부터 t만큼의 시간이 지났을 때, 수평 방향의 속도는 $v\cos\theta$이고 연직 방향의 속도는 $v\sin\theta - gt$이다.

[1~4] 그림과 같이 수평면과 60°의 각을 이루며 v_0의 속력으로 던져진 물체가 포물선 운동을 하여 6초 후 수평면에 도달한다. (단, 중력 가속도는 10 m/s²이고, 물체의 크기는 무시한다.)



1. v_0은 (　　) m/s이다.

2. 최고점 높이는 (　　) m이다.

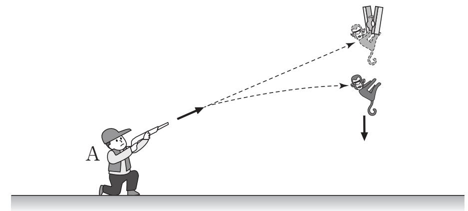
3. 최고점에서 물체의 속력은 (　　) m/s이다.

4. 물체가 포물선 운동을 하는 동안 수평 도달 거리는 (　　) m이다.

과학 돋보기 　원숭이 인형 맞히기

원숭이 인형을 잡고 있던 집게에서 인형이 떨어지는 순간, A가 장난감 총을 발사한다. 이때 A는 어디를 겨냥해야 인형을 맞힐 수 있을까?

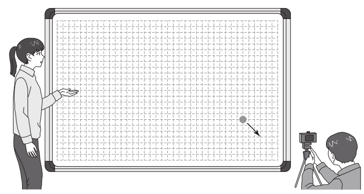
총알은 날아가면서 포물선 운동을 하고, 인형은 자유 낙하 한다. 이때 총알과 인형의 가속도가 같으므로, 인형의 입장에서 보면 총알은 등속 직선 운동을 한다. 따라서 A는 인형의 처음 위치를 겨냥해야 떨어지는 인형을 맞힐 수 있다.



탐구자료 살펴보기 　비스듬히 던진 물체의 운동 동영상 분석

과정

(1) 모눈이 그려진 칠판과 디지털 카메라를 고정한다.
(2) 공을 비스듬히 던지고 공의 운동을 촬영한다.
(3) 촬영한 파일을 동영상 분석 프로그램으로 재생한다.
(4) 0.1초 간격으로 수평 방향 위치와 연직 방향 위치를 기록한다.



결과

시간(s)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
수평 위치(m)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3
연직 위치(m)	0	0.245	0.392	0.441	0.392	0.245	0

결과 분석

• 수평 방향

시간(s)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
위치(m)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3
구간 거리(m)		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
구간 속도(m/s)		5	5	5	5	5	5

➡ 수평 방향으로는 5 m/s의 일정한 속도로 운동한다.

• 연직 방향

시간(s)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
위치(m)	0	0.245	0.392	0.441	0.392	0.245	0
구간 변위(m)		0.245	0.147	0.049	−0.049	−0.147	−0.245
구간 속도(m/s)		2.45	1.47	0.49	−0.49	−1.47	−2.45
가속도(m/s²)			−9.8	−9.8	−9.8	−9.8	−9.8

➡ 연직 방향으로는 −9.8 m/s²으로 등가속도 운동을 한다.

point

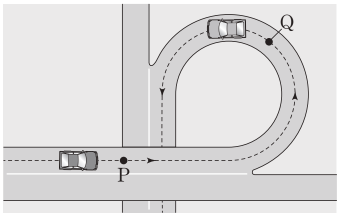
• 수평 방향으로는 등속도 운동을 한다.
• 연직 방향으로는 중력 가속도로 등가속도 운동을 한다.

정답

1. $20\sqrt{3}$
2. 45
3. $10\sqrt{3}$
4. $60\sqrt{3}$

[26027-0019]

01 그림은 자동차가 곡선 경로를 따라 운동하는 모습을 나타낸 것이다. 점 P, Q는 자동차의 운동 경로상에 있다.



자동차가 P에서 Q까지 운동하는 동안, 자동차의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

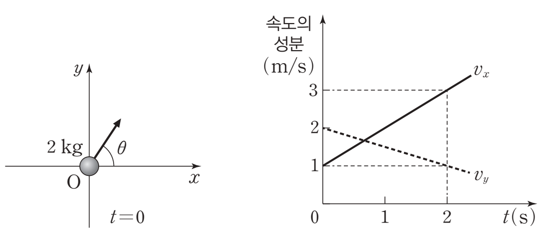
보기

ㄱ. 등속도 운동을 한다.
ㄴ. 이동 거리는 변위의 크기보다 크다.
ㄷ. 평균 속도의 크기는 평균 속력보다 작다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0020]

02 그림 (가)는 xy 평면에서 질량이 2 kg인 물체가 시간 $t=0$일 때 x축과 각 θ를 이루며 원점 O를 지나는 모습을, (나)는 물체의 속도의 x성분 v_x와 y성분 v_y를 t에 따라 나타낸 것이다.



(가) (나)

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

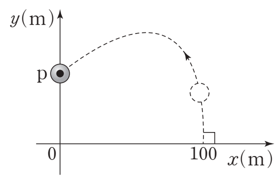
보기

ㄱ. $\tan\theta=2$이다.
ㄴ. 1초일 때, 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\sqrt{5}$ N이다.
ㄷ. 0초부터 2초까지 물체의 변위의 크기는 5 m이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0021]

03 그림과 같이 xy 평면에서 시간 $t=0$일 때, x축상의 100 m인 지점에서 $+y$방향으로 운동을 시작한 물체가 등가속도 운동을 하여 y축상의 점 p에 도달한다. 표는 물체의 위치의 x성분 S_x와 속도의 y성분 v_y를 나타낸 것이다.



- $S_x=100-4t^2$
- $v_y=50-16t$

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

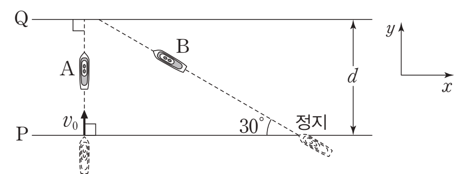
보기

ㄱ. p에 도달하는 순간 물체의 속력은 50 m/s이다.
ㄴ. 원점과 p 사이의 거리는 50 m이다.
ㄷ. 가속도의 x성분의 크기는 y성분의 크기의 2배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0022]

04 그림과 같이 xy 평면에서 보트 A가 속력 v_0으로 $+y$방향으로 기준선 P를 통과하는 순간, P에 정지해 있던 보트 B가 P와 30°의 각을 이루는 방향으로 출발한다. P에서 기준선 Q까지 A, B는 각각 등속도, 등가속도 직선 운동을 하여 Q에 동시에 도달한다. P와 Q 사이의 거리는 d이다.



A, B가 P에서 Q까지 운동하는 동안, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 보트의 크기는 무시한다.)

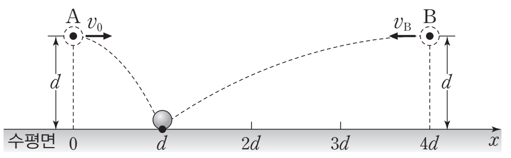
보기

ㄱ. 평균 속력은 A와 B가 같다.
ㄴ. Q에서 B의 속도의 x성분의 크기는 $2\sqrt{3}v_0$이다.
ㄷ. B의 가속도의 크기는 $\frac{v_0^2}{d}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

[26027-0023]

05 그림과 같이 높이가 d인 두 지점에서 물체 A, B를 x축과 나란한 방향으로 각각 v_0, v_B의 속력으로 던졌더니 A, B가 각각 포물선 운동을 하여 x축상의 $x=d$인 지점에 도달한다.



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

보기

ㄱ. $v_B=3v_0$이다.

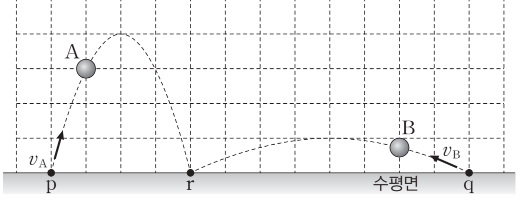
ㄴ. 던져진 순간부터 $x=d$인 지점에 도달할 때까지 평균 속력은 B가 A보다 크다.

ㄷ. 수평면에 도달하는 순간, B의 속력은 $\sqrt{13}v_0$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0024]

06 그림은 점 p, q에서 각각 v_A, v_B의 속력으로 던져진 물체 A, B가 포물선 운동을 하는 모습을 모눈종이에 나타낸 것이다. A, B는 서로 다른 시간 동안 운동하여 점 r에 각각 도달한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 모눈 간격은 동일하고, 물체의 크기는 무시한다.)

보기

ㄱ. 포물선 운동을 하는 시간은 A가 B의 2배이다.

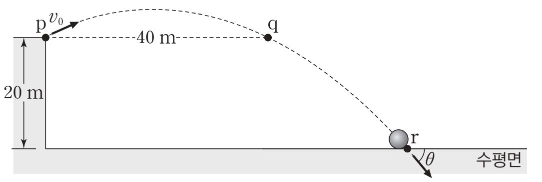
ㄴ. 최고점에서의 속력은 B가 A의 4배이다.

ㄷ. $v_A>v_B$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0025]

07 그림과 같이 점 p에서 v_0의 속력으로 던져진 물체가 포물선 운동을 하여 점 q를 지나 수평면과 θ의 각을 이루며 수평면상의 점 r에 도달한다. p와 q 사이의 거리는 40 m이고, 물체가 p에서 q까지 운동하는 데 걸리는 시간은 2초이다. p와 q의 높이는 20 m이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 10 m/s^{2}이고, 물체의 크기는 무시한다.)

보기

ㄱ. 수평면으로부터 최고점의 높이는 25 m이다.

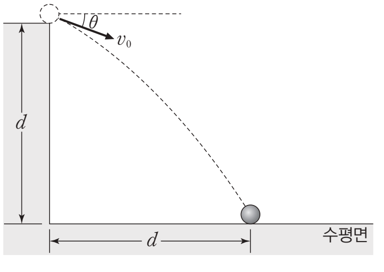
ㄴ. $v_0=10\sqrt{5}$ m/s이다.

ㄷ. $\tan\theta=\dfrac{\sqrt{5}}{2}$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0026]

08 그림과 같이 높이가 d인 지점에서 v_0의 속력으로 수평 방향에 대해 θ의 각을 이루는 방향으로 던져진 물체가 포물선 운동을 하여 수평면에 도달하였다. $\tan\theta=\dfrac{1}{3}$이고, 물체가 던져진 순간부터 수평면에 도달할 때까지 물체의 수평 이동 거리는 d이다.

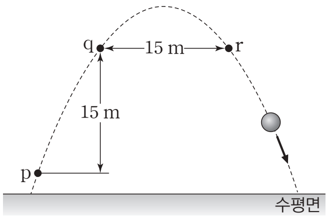


v_0은? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기는 무시한다.)

① $\sqrt{\dfrac{5}{6}gd}$ ② $\sqrt{gd}$ ③ $\sqrt{\dfrac{7}{6}gd}$ ④ $\sqrt{\dfrac{4}{3}gd}$ ⑤ $\sqrt{\dfrac{3}{2}gd}$

[26027-0027]

09 그림과 같이 물체가 포물선 운동을 하여 점 p를 지나 높이가 같은 점 q, r를 지난다. p와 q의 높이 차와 q와 r 사이의 거리는 15 m로 같다. 물체가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간은 1초이다.



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

보기

ㄱ. p에서 q까지 물체의 속도 변화량의 크기는 10 m/s 이다.

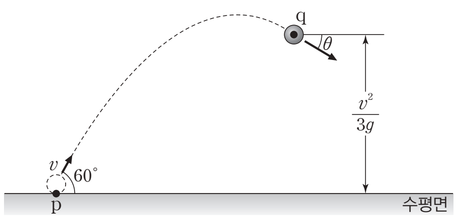
ㄴ. 물체가 q에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은 1초이다.

ㄷ. r에서 물체의 속력은 $\frac{25}{2}$ m/s이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0028]

10 그림과 같이 수평면상의 점 p에서 60°의 각으로 v의 속력으로 던져진 물체가 포물선 운동을 한다. 높이가 $\frac{v^2}{3g}$인 점 q에서 물체의 운동 방향은 수평 방향에 대해 θ의 각을 이룬다.



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

보기

ㄱ. q에서 물체의 속력은 $\frac{\sqrt{3}}{3}v$이다.

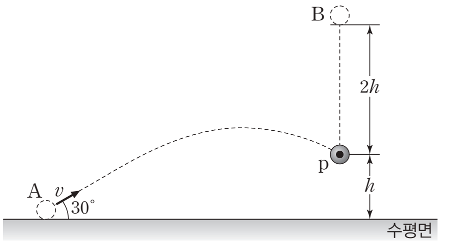
ㄴ. $\tan\theta=\frac{2}{3}$이다.

ㄷ. 최고점의 높이는 $\frac{3v^2}{8g}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0029]

11 그림과 같이 물체 A를 수평면에 대해 30°의 각으로 v의 속력으로 던진 순간, 높이 $3h$인 지점에서 물체 B를 가만히 놓았더니 A, B가 각각 포물선 운동과 등가속도 직선 운동을 하여 높이가 h인 점 p에 동시에 도달한다.

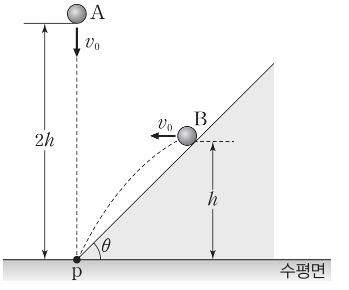


v는? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기는 무시한다.)

① $\sqrt{3gh}$ ② $3\sqrt{gh}$ ③ $2\sqrt{3gh}$
④ $\sqrt{15gh}$ ⑤ $3\sqrt{2gh}$

[26027-0030]

12 그림과 같이 높이가 $2h$인 지점에서 물체 A를 연직 아래 방향으로 속력 v_0으로 던진 순간, 빗면상의 높이가 h인 지점에서 물체 B를 수평 방향으로 속력 v_0으로 던졌다. 빗면의 경사각은 θ이다. A, B는 각각 등가속도 직선 운동, 포물선 운동을 하여 빗면의 끝점 p에 동시에 도달한다.



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

보기

ㄱ. $\tan\theta=1$이다.

ㄴ. 중력 가속도의 크기는 $\frac{4{v_0}^2}{h}$이다.

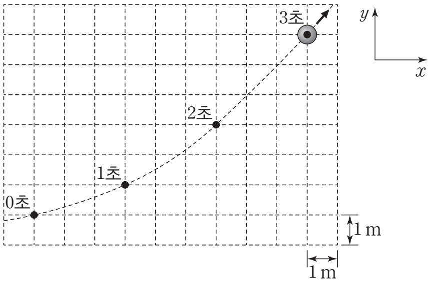
ㄷ. p에 도달하는 순간 B의 속력은 $\sqrt{2}v_0$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0031]

물체는 x방향으로는 등속도 운동을 하고, y방향으로는 등가속도 운동을 한다.

01 그림은 xy 평면에서 등가속도 운동을 하는 물체의 위치를 1초 간격으로 나타낸 것이다. 모눈 간격은 1 m이다.



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

보기

ㄱ. 가속도의 방향은 $+y$방향이다.

ㄴ. 가속도의 크기는 $1\ \mathrm{m/s^2}$이다.

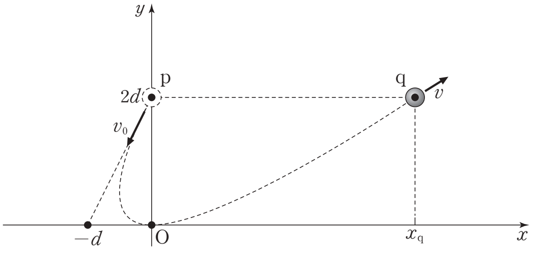
ㄷ. 1초일 때 속력은 $\dfrac{3\sqrt{2}}{2}\ \mathrm{m/s}$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0032]

물체가 p에서 O까지 운동하는 데 걸린 시간과 O에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간은 같다.

02 그림과 같이 y축상의 $y=2d$인 지점에서 x축상의 $x=-d$인 지점을 향해 v_0의 속력으로 발사된 물체가 xy 평면에서 등가속도 운동하여 원점 O를 통과한 후 점 q를 v의 속력으로 지난다. O에서 물체의 운동 방향은 $+x$방향이고, q의 좌표는 $(x_q, 2d)$이다.



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

보기

ㄱ. $v=\sqrt{\dfrac{13}{5}}v_0$이다.

ㄴ. $x_q=4d$이다.

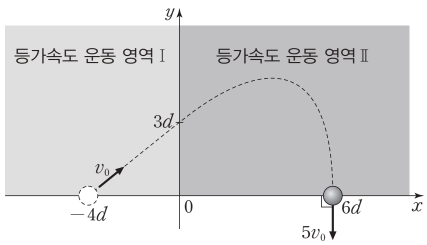
ㄷ. 가속도의 크기는 $\dfrac{\sqrt{2}v_0^2}{5d}$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답과 해설 7쪽

[26027-0033]

03 그림과 같이 x축상의 $x=-4d$인 지점에서 v_0의 속력으로 발사된 물체가 직선 운동하여 y축상의 $y=3d$인 지점을 통과한 후, x축상의 $x=6d$인 지점을 $5v_0$의 속력으로 $-y$방향으로 지난다. 물체는 xy 평면상의 영역 Ⅰ, Ⅱ에서 각각 크기가 a_1, a_2인 가속도로 등가속도 운동을 한다.



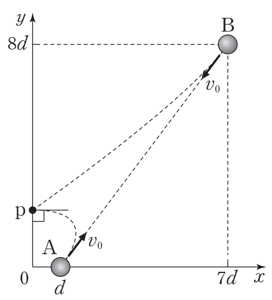
$\frac{a_2}{a_1}$는? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

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

물체가 $(0, 3d)$를 지날 때 물체의 속도의 x성분의 크기는 y성분의 크기의 $\frac{4}{3}$배이다.

[26027-0034]

04 그림과 같이 좌표 $(d, 0)$, $(7d, 8d)$인 지점에서 v_0의 같은 속력으로 서로를 향해 동시에 발사된 물체 A, B가 xy 평면에서 같은 가속도로 각각 등가속도 운동을 하여 y축상의 점 p에 동시에 도달한다. p에 도달하는 순간 A의 운동 방향은 $-x$방향이다.



p에 도달하는 순간 A, B의 속력을 각각 v_A, v_B라고 할 때, $\frac{v_B}{v_A}$는? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

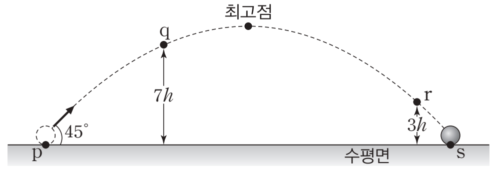
① $\sqrt{\frac{34}{5}}$ ② $\sqrt{\frac{37}{5}}$ ③ $\sqrt{\frac{39}{5}}$ ④ $\sqrt{\frac{41}{5}}$ ⑤ $\sqrt{\frac{43}{5}}$

발사되는 순간, A의 속도의 x성분, y성분은 각각 $\frac{3}{5}v_0$, $\frac{4}{5}v_0$이고, B의 속도의 x성분, y성분은 각각 $-\frac{3}{5}v_0$, $-\frac{4}{5}v_0$이다.

물체가 포물선 운동을 하는 동안 속도의 연직 성분의 변화량의 크기는 시간에 비례한다.

[26027-0035]

05 그림과 같이 수평면상의 점 p에서 수평면에 대해 $45°$의 방향으로 던져진 물체가 포물선 운동을 하여 높이가 각각 $7h$, $3h$인 점 q, r를 지나 수평면상의 점 s에 도달한다. 표는 물체가 각 구간을 운동하는 데 걸린 시간을 나타낸 것이다.



구간	시간
p에서 q	$3t_0$
q에서 r	㉠
r에서 s	t_0

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

보기

ㄱ. ㉠은 $6t_0$이다.

ㄴ. 물체의 속력은 r에서가 q에서의 $\sqrt{\dfrac{41}{29}}$배이다.

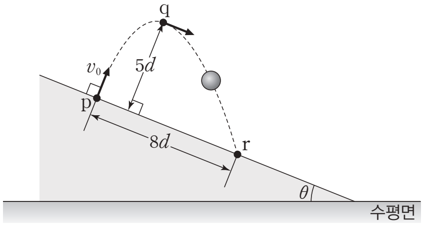
ㄷ. 최고점의 높이는 $\dfrac{25}{3}h$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

q에서 물체의 운동 방향은 빗면과 나란하므로 빗면에 대해 수직 방향 속도는 0이다.

[26027-0036]

06 그림과 같이 수평면과 이루는 각이 θ인 빗면상의 점 p에서 빗면에 수직인 방향으로 v_0의 속력으로 던져진 물체가 포물선 운동을 하여 점 q를 지나 빗면상의 점 r에 도달한다. p와 q에서 물체의 운동 방향은 서로 수직이다. 빗면에서 q까지의 거리는 $5d$이고, p와 r 사이의 거리는 $8d$이다.



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

보기

ㄱ. 물체가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간은 $\dfrac{10d}{v_0}$이다.

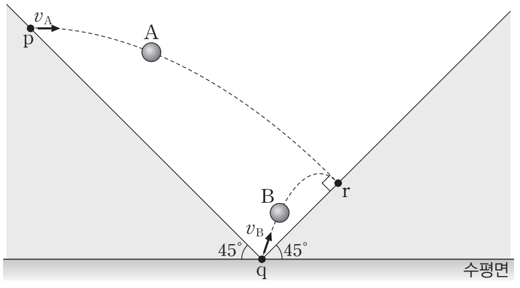
ㄴ. $\tan\theta=\dfrac{2}{5}$이다.

ㄷ. r에서 물체의 속도의 연직 성분의 크기는 수평 성분의 크기의 $\dfrac{33}{10}$배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0037]

07 그림과 같이 왼쪽 빗면상의 점 p에서 물체 A를 수평 방향으로 v_A의 속력으로 던지는 순간, 두 빗면이 만나는 점 q에서 v_B의 속력으로 물체 B를 수평면에 대해 비스듬히 던졌더니 A, B가 각각 포물선 운동을 하여 오른쪽 빗면상의 점 r에 동시에 도달한다. 양쪽 빗면의 경사각은 45°로 같다. r에 도달하는 순간 B의 운동 방향은 오른쪽 빗면에 수직인 방향이다.



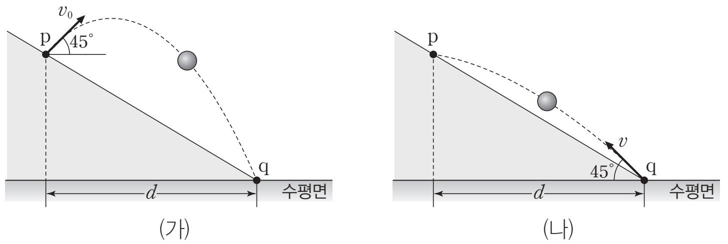
$\dfrac{v_B}{v_A}$는? (단, 물체는 동일 연직면에서 운동하며, 물체의 크기는 무시한다.)

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

B가 포물선 운동을 하는 동안 평균 속도의 수평 성분의 크기와 연직 성분의 크기는 서로 같다.

[26027-0038]

08 그림 (가)와 같이 빗면상의 점 p에서 v_0의 속력으로 수평 방향과 45°의 각을 이루는 방향으로 던져진 물체가 포물선 운동을 하여 빗면과 수평면이 만나는 점 q에 도달한다. 그림 (나)와 같이 (가)의 q에서 v의 속력으로 수평 방향과 45°의 각을 이루는 방향으로 던져진 물체가 포물선 운동을 하여 p에 도달한다. 물체가 수평 방향으로 d만큼 운동하는 데 걸린 시간은 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.



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

보기

ㄱ. $v=2v_0$이다.

ㄴ. p의 높이는 $\dfrac{5}{8}d$이다.

ㄷ. (나)에서 물체가 p에 도달하는 순간 속도의 수평 성분의 크기는 속도의 연직 성분의 크기의 4배이다.

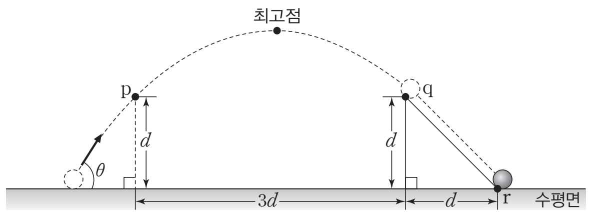
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

물체가 포물선 운동을 하는 동안 속도의 수평 성분의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

경사면의 수평 길이와 높이가 d로 같으므로 p, q에서 물체의 운동 방향은 수평 방향에 대해 45°의 각을 이룬다.

[26027-0039]

09 그림과 같이 수평면에 대해 θ의 각을 이루며 던져진 물체가 점 p와 최고점을 지나 점 q까지 포물선 운동을 한 후, q에서부터 빗면을 따라 등가속도 직선 운동을 하여 수평면상의 점 r에 도달한다. p와 q 사이의 거리는 $3d$이고, p와 q의 높이는 d로 같다.



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

보기

ㄱ. 최고점의 높이는 $\frac{7}{4}d$이다.

ㄴ. 물체의 속력은 r에서가 p에서의 $\sqrt{\frac{5}{3}}$배이다.

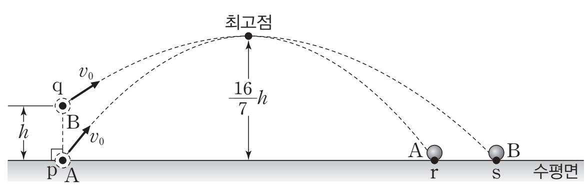
ㄷ. $\tan\theta = \sqrt{\frac{7}{3}}$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

던져진 위치로부터 A, B의 최고점 높이는 각각 $\frac{16}{7}h$, $\frac{9}{7}h$이다.

[26027-0040]

10 그림과 같이 수평면상의 점 p에서 물체 A를 v_0의 속력으로, p에서 연직 위로 높이 h인 점 q에서 물체 B를 v_0의 속력으로 수평면에 대해 각각 비스듬한 방향으로 던졌더니 A, B가 포물선 운동을 하여 A는 점 r에, B는 s에 도달한다. r, s는 수평면상의 점이다. 수평면으로부터 A, B의 최고점의 높이는 $\frac{16}{7}h$로 같다. 최고점에서 A의 속력은 $\frac{3}{5}v_0$이다.



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

보기

ㄱ. 던져진 순간부터 최고점까지 운동하는 데 걸리는 시간은 A가 B보다 크다.

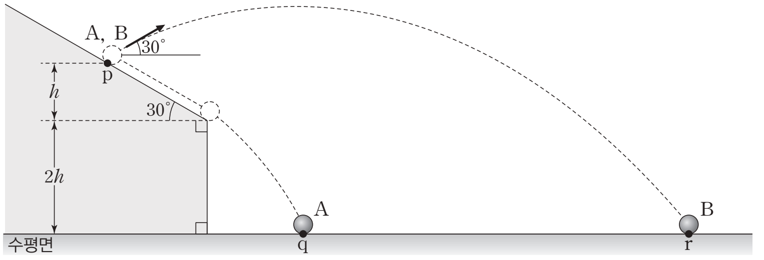
ㄴ. s에 도달하는 순간 B의 속력은 $\frac{4\sqrt{2}}{5}v_0$이다.

ㄷ. r와 s 사이의 거리는 $\frac{9}{8}h$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0041]

11 그림과 같이 높이가 $3h$이고 경사각이 $30°$인 빗면상의 점 p에서 물체 A를 가만히 놓는 순간 물체 B를 수평 방향과 $30°$의 각을 이루며 발사시켰더니 A는 빗면에서 등가속도 직선 운동을 한 후 포물선 운동을 하여 점 q에, B는 포물선 운동을 하여 점 r에 동시에 도달한다. q, r는 수평면상의 점이다.



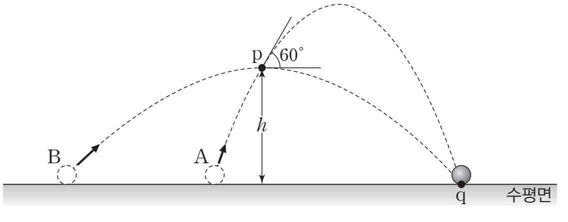
q와 r 사이의 거리는? (단, 물체는 동일 연직면에서 운동하며, 물체의 크기, 마찰은 무시한다.)

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

A가 빗면에서 $2h$만큼 운동하는 동안, 가속도의 크기는 $g\sin 30° = \frac{1}{2}g$이다.

[26027-0042]

12 그림과 같이 수평면에서 물체 A, B를 시간 차 Δt를 두고 던졌더니 A, B가 각각 점 p를 지나는 포물선 운동을 하여 수평면상의 점 q에 동시에 도달한다. p는 B의 최고점으로 높이는 h이다. p에서 A, B의 속력은 같고, A의 운동 방향은 수평 방향과 $60°$의 각을 이룬다.



Δt는? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체는 동일 연직면에서 운동하며, 물체의 크기는 무시한다.)

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

p에서 속도의 수평 성분의 크기는 B가 A의 2배이므로 A, B가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간은 A가 B의 2배이다.

03 물체의 운동(2)

1 등속 원운동

(1) 등속 원운동: 원 궤도를 따라 일정한 속력으로 회전하는 운동이다.

(2) 주기와 진동수

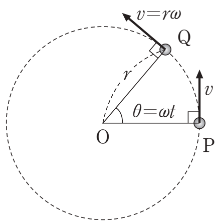
① **주기**: 등속 원운동 하는 물체가 한 바퀴 회전하는 데 걸리는 시간이다.

② **진동수**: 1초 동안 회전하는 횟수이다. 단위는 Hz(헤르츠)이다.

③ **주기와 진동수의 관계**: 주기가 0.1초이면 1초 동안 10바퀴 회전한다. 이와 같이 주기 T와 진동수 f는 서로 역수 관계이다.

$$f=\frac{1}{T},\quad T=\frac{1}{f}$$

(3) 각속도: 1초 동안 회전하는 중심각의 변화이다. 단위는 rad/s이다.



① 회전 반지름이 정해지면 회전한 각만 이용하여 물체의 위치를 나타낼 수 있다.

② 시간 t 동안 회전하는 중심각이 θ이면 각속도의 크기 ω는 다음과 같다.

$$\omega=\frac{\theta}{t},\ \theta=\omega t$$

③ **속력과 각속도**: P에서 Q까지 호의 길이가 $l=r\theta$이다. 속력은 $v=\frac{l}{t}$이고, $\frac{l}{t}=r\frac{\theta}{t}$이므로 다음 관계가 성립한다.

$$\boxed{v=r\omega,\ \omega=\frac{v}{r}}$$

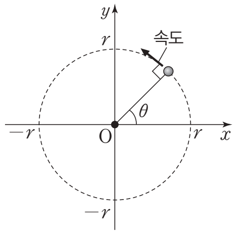
④ **주기, 진동수와 각속도**: 1초 동안 f바퀴 회전하면 중심각은 $2\pi f$만큼 회전한다. 따라서 다음 관계가 성립한다.

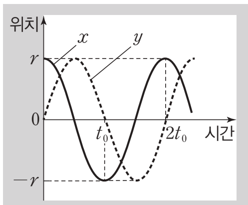
$$\omega=2\pi f=\frac{2\pi}{T}$$

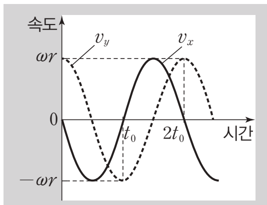
과학 돋보기 **등속 원운동에서 물체의 위치와 속도**

그림과 같이 시간 $t=0$일 때 x축의 $x=r$를 통과한 물체가 xy 평면에서 반지름 r, 각속도의 크기 $\omega=\frac{\theta}{t}$로 등속 원운동을 하고 있다.

위치의 x성분은 $x=r\cos\theta=r\cos\omega t$이고 y성분은 $y=r\sin\theta=r\sin\omega t$이다. 속도의 x성분은 $v_x=-\omega r\sin\omega t$이고 y성분은 $v_y=\omega r\cos\omega t$이다.







개념 체크

➔ **주기와 각속도의 관계**: 등속 원운동 하는 물체의 주기를 T, 각속도의 크기를 ω라고 할 때 $T=\frac{2\pi}{\omega}$이다.

➔ **회전 반지름과 속력의 관계**: 일정한 각속도로 등속 원운동 하는 물체에서 회전 반지름이 클수록 속력이 빠르다.

$$v=r\omega$$

1. 일정한 속력으로 원운동을 하는 물체의 각속도의 크기가 $\frac{1}{2}\pi$ rad/s일 때, 이 물체의 원운동의 주기는 (　　)초이다.

2. 반지름이 4 m인 원 궤도를 따라 주기가 2초인 등속 원운동을 하는 물체가 있다. 이 물체의 속력은 (　　) m/s이다.

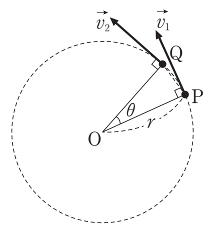
3. 반지름이 2 m인 원 궤도를 따라 6 m/s의 일정한 속력으로 원운동을 하는 물체의 각속도의 크기는 (　　) rad/s이다.

정답
1. 4
2. 4π
3. 3

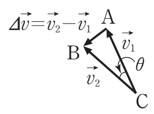
2 구심 가속도와 구심력

(1) 구심 가속도

① **속도 변화량 $\Delta\vec{v}$**: 그림 (가)와 같이 점 P, Q에서의 속도가 각각 $\vec{v}_1$, $\vec{v}_2$이면, (나)와 같이 속도 변화량은 $\Delta\vec{v}=\vec{v}_2-\vec{v}_1$이다.



(가)

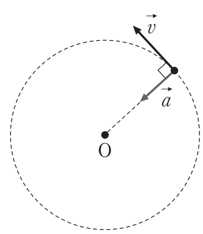


(나)

- P에서 Q까지 중심각이 θ이므로 (나)에서 $\vec{v}_1$과 $\vec{v}_2$가 이루는 각은 θ이다.
- $\vec{v}_1$, $\vec{v}_2$의 크기가 같으므로 △ABC는 이등변 삼각형이다. 따라서 ∠CAB=∠CBA이다.
- 걸린 시간이 매우 짧도록 P, Q를 가까이 하면 θ가 매우 작아진다. 따라서 물체의 속력이 v일 때, $|\Delta\vec{v}|\approx v\theta$, ∠CAB=∠CBA≈90°이다.
- 순간 속도의 크기와 방향: 걸린 시간이 거의 0이 되도록 극한을 취하면, $|\Delta\vec{v}|=v\theta$이고 ∠CAB=∠CBA=90°이다.

② **가속도 $\vec{a}$**: $\vec{a}=\dfrac{\Delta\vec{v}}{t}$이므로, 가속도의 크기와 방향은 다음과 같다.

- 크기: $|\vec{a}|=\dfrac{|\Delta\vec{v}|}{t}=\dfrac{v\theta}{t}$이다. $\dfrac{\theta}{t}=\omega$이고, $\omega=\dfrac{v}{r}$이므로 가속도의 크기는 $a=v\omega=\dfrac{v^2}{r}=r\omega^2$이다.
- 방향: $\Delta\vec{v}$의 방향은 운동 방향에 수직이다. 원에서 그은 법선은 원의 중심을 지나므로, 가속도 $\vec{a}$의 방향은 원의 중심을 향한다.

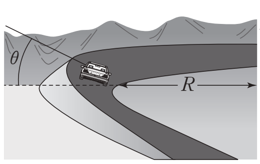


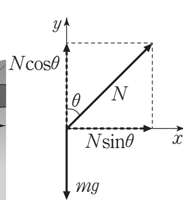
③ **구심 가속도**: 등속 원운동 하는 물체의 가속도의 방향은 항상 원의 중심을 향한다. 따라서 등속 원운동의 가속도를 구심 가속도라고 한다.

- 크기: $a=v\omega=\dfrac{v^2}{r}=r\omega^2$이다.
- 방향: 원운동의 중심 방향이다.

과학 돋보기 **자동차가 곡선 도로를 안전하게 주행하기 위한 도로의 경사각**

곡선 도로에서 자동차의 속력을 줄이지 않고 주행하게 되면 도로 바깥쪽으로 미끄러져 위험할 수 있다. 이때 곡선 도로면을 경사지게 만들면 도로가 미끄럽더라도 자동차가 안전하게 주행할 수 있다. 질량이 m인 자동차가 곡선 도로의 반지름이 R이고 수평면과 경사면이 이루는 각이 θ인 도로를 따라 속력 v로 운동할 때 경사면에 수직 방향으로 경사면이 자동차를 미는 힘의 크기를 N이라 하고, 경사면과 나란한 방향의 마찰을 무시하면, 자동차에 작용하는 힘은 다음과 같다.





$N\sin\theta=ma_x$ ··· ①, $N\cos\theta-mg=0$에서 $N=\dfrac{mg}{\cos\theta}$ ··· ②

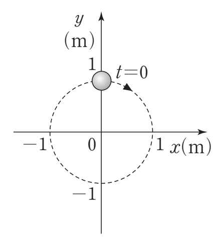
②를 ①에 대입하여 정리하면, $ma_x=\dfrac{mg}{\cos\theta}\times\sin\theta=mg\tan\theta$이다. $a_x=\dfrac{v^2}{R}$이므로 $\tan\theta=\dfrac{v^2}{gR}$이다. 즉, 최대 속력이 V인 곡선 도로를 안전하게 주행하기 위해서는 $\tan\theta\fallingdotseq\dfrac{V^2}{gR}$으로 경사각을 설계해야 한다.

개념 체크

➲ **구심 가속도($\vec{a}$)**: 등속 원운동 하는 물체의 구심 가속도의 방향은 원의 중심 방향이고, 크기는 $a=\dfrac{v^2}{r}=r\omega^2$이다.

1. 반지름이 4 m인 원 궤도를 따라 2 m/s의 일정한 속력으로 원운동을 하는 물체가 있다. 이 물체의 가속도의 크기는 (　　) m/s²이다.

[2~3] 그림은 xy 평면에서 시계 방향으로 등속 원운동을 하는 물체의 시간 t=0인 순간의 모습을 나타낸 것이다. 원운동의 반지름은 1 m이고, 주기는 4초이다.



2. 물체의 속력은 (　　) m/s이다.

3. t=2초일 때 물체의 가속도의 방향은 (　　)방향이고, 가속도의 크기는 (　　) m/s²이다.

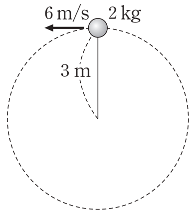
정답

1. 1
2. $\dfrac{\pi}{2}$
3. $+y$, $\dfrac{\pi^2}{4}$

개념 체크

➔ **구심력(F)**: 등속 원운동 하는 물체에 작용하는 구심력의 방향은 원의 중심 방향이고, 크기는 $F=\frac{mv^2}{r}=mr\omega^2$이다.

[1~4] 그림과 같이 반지름이 3 m인 원 궤도를 따라 6 m/s의 일정한 속력으로 원운동을 하는 질량이 2 kg인 물체가 있다.



1. 물체의 각속도의 크기는 ( ) rad/s이다.

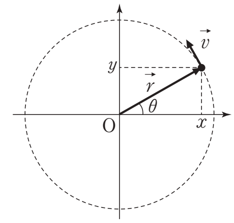
2. 원운동의 주기는 ( ) 초이다.

3. 물체의 구심 가속도의 크기는 ( ) m/s^2이다.

4. 물체에 작용하는 구심력의 크기는 ( ) N이다.

정답
1. 2
2. π
3. 12
4. 24

과학 돋보기 미분법을 이용한 구심 가속도 계산



- 위치 $\vec{r}$는 다음과 같다.

$$\vec{r}=(r\cos\theta,\ r\sin\theta)=(r\cos\omega t,\ r\sin\omega t)$$

- 속도 $\vec{v}$는 위치 $\vec{r}$를 시간에 대하여 미분한 값과 같다.

$$\vec{v}=\frac{d\vec{r}}{dt}=\omega r(-\sin\omega t,\ \cos\omega t)$$

- 가속도 $\vec{a}$는 속도 $\vec{v}$를 시간에 대하여 미분한 값과 같다.

$$\vec{a}=\frac{d\vec{v}}{dt}=-\omega^2 r(\cos\omega t,\ \sin\omega t)=-\omega^2\vec{r}$$

> - $\vec{a}$의 크기는 $\omega^2 r=\frac{v^2}{r}$이다.
> - $\vec{a}$의 방향은 $-\vec{r}$ 방향이다. 따라서 원의 중심을 향한다.

- 가속도의 방향이 운동 방향과 나란하면 물체의 속력이 변하므로, 물체의 속력이 일정하면 물체의 운동 방향과 나란한 방향으로 물체의 가속도 성분이 없다. 등속 원운동을 하는 물체의 운동 방향은 원의 접선 방향이므로, 물체의 구심 가속도의 방향은 원의 중심을 향한다.

(2) 구심력: $\vec{F}=m\vec{a}$이므로 등속 원운동 하는 물체에 작용하는 힘의 방향은 가속도의 방향과 같이 원의 중심을 향한다. 이와 같이 등속 원운동 하는 물체에 작용하는 힘은 원의 중심 방향을 향하므로 구심력이라고 한다.

① 크기: $F=ma=\frac{mv^2}{r}=mr\omega^2$

② 방향: 원운동의 중심 방향이다.

탐구자료 살펴보기 구심력

과정

(1) 그림과 같이 플라스틱 관에 나일론 실을 통과시킨 후, 실의 한쪽 끝에는 쇠고리를, 반대쪽 끝에는 고무마개를 연결한다.

(2) 고무마개가 회전 반지름이 일정한 등속 원운동을 하도록 회전시키면서 고무마개가 10회 회전하는 시간을 측정하여 주기를 구한다.

(3) 회전 반지름을 일정하게 유지한 후, 쇠고리의 개수를 변화시키면서 주기를 측정한다.

결과

쇠고리의 개수(개)	10회 회전하는 시간(초)	주기(초)	$\frac{1}{주기^2}\left(\frac{1}{초^2}\right)$
10	4.0	0.40	6.25
20	2.8	0.28	12.8
30	2.3	0.23	18.9

- 쇠고리의 개수와 $\left(\frac{1}{주기}\right)^2$은 비례한다.
- 반지름이 일정하므로 속력은 주기에 반비례한다. 따라서 쇠고리의 개수는 (속력)^{2}에 비례한다.

point
- 회전 반지름이 일정할 때, 구심력의 크기는 속력의 제곱에 비례한다. ➡ $F\propto v^2$

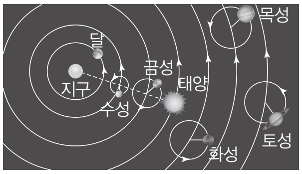
3 케플러 법칙

(1) 천동설과 지동설

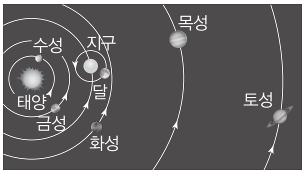
① **천동설(지구 중심설)**: 지구가 우주의 중심에 있고, 모든 천체들이 지구 주위를 회전한다는 우주론이다.

② **지동설(태양 중심설)**: 지구를 비롯한 행성들이 태양 주위를 회전한다는 우주론이다. 16세기 중엽 천체의 운동을 쉽게 설명하기 위해 코페르니쿠스가 제안하였다.

③ **브라헤의 관측**: 브라헤는 수십 년 동안 행성의 운동을 정밀하게 측정하였다.



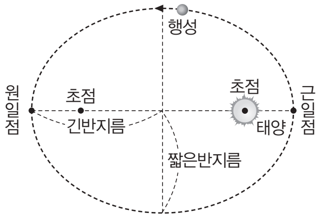
천동설: 지구가 우주의 중심이고 행성이나 태양, 별들이 지구 둘레를 완벽한 원 모양으로 돌고 있다는 설



지동설: 지구를 포함한 행성들이 태양 주위를 돌고 있다는 설

(2) 케플러 법칙: 케플러는 브라헤로부터 물려받은 방대한 자료를 분석하여, 행성 운동에 관한 세 가지 법칙을 발견하였다.

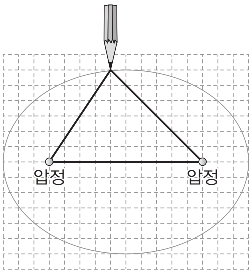
① **타원 궤도 법칙(케플러 제1법칙)**: 태양계 내의 모든 행성들은 태양을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 공전한다.



- 타원과 초점: 평면 위에서 고정된 두 점으로부터 거리의 합이 일정한 점들의 집합을 타원이라 하고, 고정된 두 점을 초점이라고 한다.
- 긴반지름: 두 초점을 연결한 직선이 타원과 만나는 두 점 사이의 거리가 긴지름이고, 긴지름의 절반이 긴반지름이다.
- 짧은반지름: 두 초점을 연결한 선분의 수직이등분선이 타원과 만나는 두 점 사이의 거리가 짧은지름이고, 짧은지름의 절반이 짧은반지름이다.
- 원일점과 근일점: 태양 주위를 도는 천체의 위치 중 태양과 가장 먼 지점이 원일점이고, 가장 가까운 지점이 근일점이다.

탐구자료 살펴보기 **타원 궤도 그리기**

과정 (1) 그림과 같이 모눈종이 위에 압정을 꽂고 거리를 측정한다.
(2) 실을 적당한 길이로 자른 후, 양 끝을 묶는다.
(3) 실을 압정에 걸고 연필로 팽팽하게 당기면서 타원을 그린다.



결과 • 실의 길이가 일정하므로, 연필심에서 두 압정까지 거리의 합이 일정하다.

point • 타원은 평면 위의 두 초점으로부터 거리의 합이 일정한 점들의 집합이다.

개념 체크

➲ 타원 궤도 법칙(케플러 제1법칙): 태양계 내의 모든 행성들은 태양을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 공전한다.

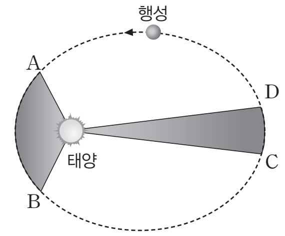
1. 태양계 내의 모든 행성들은 태양을 하나의 ( ) 으로 하는 ( ) 궤도를 따라 운동한다.

2. 태양의 중심으로부터 근일점까지의 거리를 r_1, 원일점까지의 거리를 r_2라 할 때 타원 궤도의 긴반지름은 ( )이다.

정답

1. 초점, 타원
2. $\frac{r_1+r_2}{2}$

② **면적 속도 일정 법칙(케플러 제2법칙)**: 태양과 행성을 연결하는 선분이 같은 시간 동안 쓸고 지나가는 면적은 일정하다.



- 그림에서 두 부채꼴의 면적이 같으면 AB의 길이가 CD의 길이보다 길다. 따라서 근일점 근처에서가 원일점 근처에서보다 속력이 빠르다.
- 행성이 태양으로부터 가까울 때는 속력이 크고, 멀 때는 속력이 작다. 따라서 행성의 속력은 근일점에서 최대이고, 원일점에서 최소이다.
- 행성이 태양에 가까워지는 동안에는 속력이 증가하고, 멀어지는 동안에는 속력이 감소한다. 따라서 원일점에서 근일점으로 이동하는 동안에는 속력이 증가하고, 근일점에서 원일점으로 이동하는 동안에는 속력이 감소한다.

③ **조화 법칙(케플러 제3법칙)**: 행성의 공전 주기의 제곱은 긴반지름의 세제곱에 비례한다. 따라서 행성의 공전 주기를 T, 긴반지름을 a라고 하면 다음 관계가 성립한다.

$$T^2 \propto a^3 \Rightarrow T^2 = ka^3 \ (k\text{: 비례 상수})$$

- 공전 궤도의 긴반지름이 길수록 공전 주기가 길다.
- 긴반지름의 길이가 2배, 3배, 4배, … 증가하면, 공전 주기는 $2\sqrt{2}$배, $3\sqrt{3}$배, $4\sqrt{4}=8$배, … 증가한다.

탐구자료 살펴보기 **조화 법칙 알아보기**

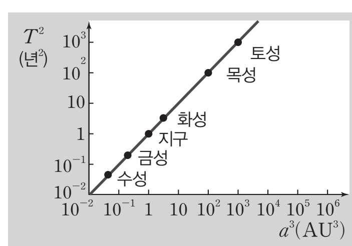
자료 제시된 자료를 이용하여 표의 빈칸을 채우고, 주기와 긴반지름의 관계를 쉽게 파악할 수 있는 그래프를 그려 보자.

행성	공전 주기 T(년)	긴반지름 a(AU)	T^2(년^2)	a^3(AU^3)
수성	0.241	0.387		
금성	0.615	0.723		
지구	1.000	1.000		
화성	1.880	1.520		
목성	11.900	5.200		
토성	29.400	9.580		

[출처] 미국항공우주국(NASA)

분석

행성	T^2(년^2)	a^3(AU^3)
수성	0.058	0.058
금성	0.378	0.378
지구	1.000	1.000
화성	3.534	3.512
목성	141.61	140.61
토성	864.36	879.22



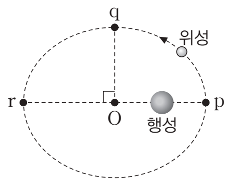
point • 행성의 공전 주기의 제곱은 긴반지름의 세제곱에 비례한다.

개념 체크

➔ **면적 속도 일정 법칙(케플러 제2법칙)**: 태양과 행성을 연결하는 선분이 같은 시간 동안 쓸고 지나가는 면적은 일정하다.

➔ **조화 법칙(케플러 제3법칙)**: 행성의 공전 주기의 제곱은 긴반지름의 세제곱에 비례한다.

[1~2] 그림과 같이 위성이 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동하고 있다. p, q, r는 궤도상의 점이며, O는 타원 궤도의 중심이다.



1. 위성이 p에서 q까지 운동하는 데 걸리는 시간은 q에서 r까지 이동하는 데 걸리는 시간보다 (작다 , 크다).

2. 위성의 속력은 p에서가 r에서보다 (작다 , 크다).

3. 위성 A, B가 동일한 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동하고 있다. A, B의 타원 궤도의 긴반지름이 각각 r, $4r$일 때, 공전 주기는 B가 A의 (　　)배이다. (단, A, B에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

정답
1. 작다
2. 크다
3. 8

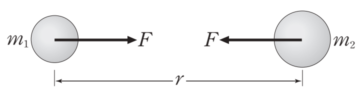
4 중력 법칙

(1) 뉴턴 중력 법칙의 발견 과정: 뉴턴은 케플러 법칙을 분석하여 중력 법칙을 발견하였다.

① 행성이 태양 주위를 도는 가속도 운동을 하는 까닭은 태양이 행성을 당기는 힘이 작용하기 때문이다.

② 뉴턴은 태양과 행성뿐만 아니라 질량이 있는 모든 물체 사이에 서로 당기는 힘이 작용한다고 생각하였으며, 이 힘을 중력이라고 하였다.

(2) 뉴턴 중력 법칙: 두 물체 사이에 작용하는 중력의 크기는 두 물체의 질량의 곱에 비례하고 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 질량이 각각 m_1, m_2이고, 떨어진 거리가 r인 두 물체 사이에 작용하는 중력의 크기 F는 다음과 같다.



$$F=G\frac{m_1m_2}{r^2}\ (G\text{: 중력 상수})$$

① 중력은 항상 당기는 방향으로 작용한다.

② 중력은 천체의 운동에 결정적인 영향을 미치는 힘이다.

③ 두 물체 사이의 거리가 2배, 3배, 4배, … 로 멀어지면, 중력의 크기는 $\frac{1}{4}$배, $\frac{1}{9}$배, $\frac{1}{16}$배 … 가 된다.

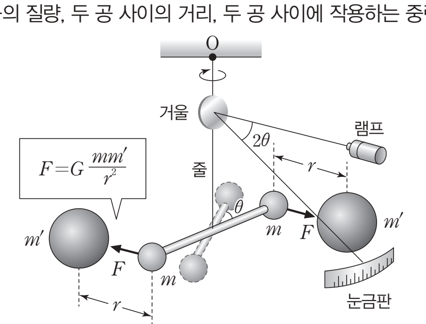
과학 돋보기 **중력 상수 측정**

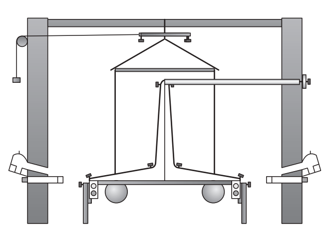
중력 법칙이 발표된 지 약 100년 후, 영국의 물리학자 캐번디시는 비틀림 저울을 이용한 실험을 통하여 중력 상수 G를 측정하였다.

$$G=6.67\times10^{-11}\ \mathrm{N\cdot m^2/kg^2}$$

[중력 상수 측정 과정]

- 줄에 연결된 막대의 양 끝에 질량이 m인 공을 고정시키고, 질량이 m'인 공을 가까이 가져간다.
- 공 사이의 중력에 의해 줄이 약간 비틀리면서 거울에서 반사하는 빛의 방향이 약간 변한다.
- 반사하는 빛의 방향 변화로부터 줄이 비틀린 정도를 측정하여 중력을 구한다.
- 두 공의 질량, 두 공 사이의 거리, 두 공 사이에 작용하는 중력의 크기를 정확히 측정하여 중력 상수를 구한다.



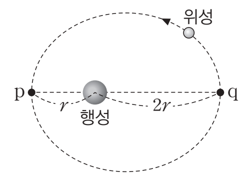


개념 체크

● **뉴턴 중력 법칙**: 두 물체 사이에 작용하는 중력의 크기는 두 물체의 질량의 곱에 비례하고 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다.

$$F=G\frac{m_1m_2}{r^2}$$

[1~3] 그림과 같이 위성이 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동하고 있다. p, q는 각각 위성이 행성으로부터 가장 가까운 점과 가장 먼 점으로 행성의 중심으로부터 각각 r, $2r$만큼 떨어져 있다.



1. 위성이 q에서 p까지 운동하는 동안 위성의 속력은 (감소 , 증가)한다.

2. 행성이 위성에 작용하는 중력의 크기는 p에서가 q에서의 (   )배이다.

3. 위성의 가속도의 크기는 p에서가 q에서의 (   ) 배이다.

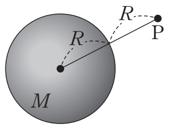
정답

1. 증가
2. 4
3. 4

개념 체크

➔ **중력 가속도:** 반지름이 R이고, 질량이 M인 행성의 표면 근처에서 중력 가속도의 크기는 $\frac{GM}{R^2}$이다.

[1~2] 그림은 질량이 M이고 반지름이 R인 행성을 나타낸 것이다. (단, 중력 상수는 G이다.)



1. 행성의 표면에 질량이 m인 물체가 있을 때 물체에 작용하는 중력의 크기는 (　　)이다.

2. 행성의 중심으로부터 $2R$만큼 떨어진 점 P에서 중력 가속도의 크기는 (　　)이다.

3. 표는 행성 A, B의 질량과 반지름을 나타낸 것이다.

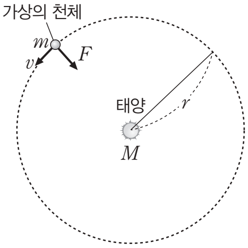
행성	질량	반지름
A	$4M$	R
B	M	$2R$

행성의 표면에서 중력 가속도의 크기는 A에서가 B에서의 (　　)배이다.

정답
1. $\frac{GMm}{R^2}$
2. $\frac{GM}{4R^2}$
3. 16

과학 돋보기 **중력 법칙 유도**

뉴턴은 태양계의 행성뿐만 아니라 태양 주위를 도는 모든 천체들이 케플러 제3법칙을 따른다고 생각하였다. 따라서 반지름 r, 속력 v, 주기 T로 등속 원운동을 하는 질량 m인 가상의 천체도 케플러 제3법칙을 따른다.



등속 원운동을 하므로 이 천체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $F=\frac{mv^2}{r}$이고, 이 힘에 의해 천체가 등속 원운동을 한다.

$T=\frac{2\pi r}{v}$에서 $v^2=\frac{4\pi^2r^2}{T^2}$이므로 $F=\frac{4\pi^2mr}{T^2}$이고, 케플러 제3법칙에 따라 $T^2=kr^3$이므로 F는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F=\frac{4\pi^2m}{kr^2}$$

힘이 천체의 질량 m에 비례하므로, 작용 반작용 법칙에 따라 힘은 태양의 질량 M에도 비례한다. 따라서 $F\propto\frac{Mm}{r^2}$과 같이 나타낼 수 있으며, 비례 상수를 G라고 하면 다음과 같다.

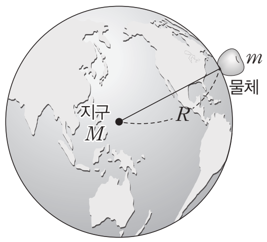
$$F=G\frac{Mm}{r^2}$$

뉴턴은 이러한 힘은 태양과 천체뿐만 아니라, 질량이 있는 모든 물체 사이에 작용한다고 생각하였다. 따라서 질량이 각각 m_1, m_2이고, 떨어진 거리가 r인 두 물체 사이에 작용하는 중력의 크기는 다음과 같다.

$$F=G\frac{m_1m_2}{r^2}$$

(3) 중력 가속도: 천체 표면 근처에서 낙하하는 물체에 작용하는 힘이 천체의 중력뿐일 때의 가속도이다. 일반적으로 g로 표시하며, 질량이 m인 물체에 작용하는 중력의 크기는 mg이다.

① 지구의 질량이 M, 반지름이 R이면, 지표면에서 질량이 m인 물체에 작용하는 중력의 크기는 $F=G\frac{Mm}{R^2}$이다.



② 지표면에서 중력의 크기는 mg이므로, $\frac{GMm}{R^2}=mg$에서 중력 가속도는 다음과 같다.

$$g=\frac{GM}{R^2}$$

- 밀도가 ρ이면 $M=\frac{4}{3}\pi R^3\rho$이므로, $g=\frac{4}{3}\pi\rho GR$이다.
- 밀도가 같으면 반지름이 클수록 중력 가속도가 크다.
- 달에서의 중력 가속도는 지구에서의 약 $\frac{1}{6}$배이다.

(4) 인공위성의 운동: 지구 주위를 등속 원운동 하는 인공위성에는 지구의 중력이 구심력으로 작용한다.

① **회전 속력:** 지구의 중력이 구심력으로 작용하므로 $\frac{GMm}{r^2}=\frac{mv^2}{r}$에서 회전 속력은 회전 반지름의 제곱근에 반비례한다.

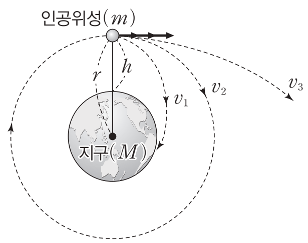
$$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$$

② **공전 주기:** $v=\frac{2\pi r}{T}$이므로 $\frac{2\pi r}{T}=\sqrt{\frac{GM}{r}}$에서 공전 주기의 제곱은 반지름의 세제곱에 비례한다.

$$T^2=\frac{4\pi^2}{GM}r^3,\ T^2\propto r^3$$

과학 돋보기 **정지궤도 인공위성**

그림과 같이 지구 중심으로부터 r만큼 떨어진 지점에서 물체를 수평 방향으로 던질 때 물체의 속력이 특정한 조건(중력=구심력)을 만족하면 물체는 지구 주위를 일정한 속력으로 계속 돌게 된다($v_1<v_2<v_3$).



- 인공위성의 운동: 지구 주위를 등속 원운동 하는 인공위성에는 지구의 중력이 구심력으로 작용한다.
  ➡ $\frac{GMm}{r^2}=\frac{mv^2}{r}$
- 인공위성의 속력(v)과 주기(T): $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$, $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$
- 정지궤도 인공위성의 고도(h): 지구의 자전 주기와 인공위성의 공전 주기가 같으면 지표면에서 관찰할 때 인공위성은 항상 같은 위치에 정지해 있는 것으로 보인다. 정지궤도 인공위성의 공전 궤도 반지름이 약 42000 km이므로 지표면으로부터 고도 h는 약 35800 km 정도이다.

(5) 탈출 속력: 물체가 천체의 표면에서 탈출할 수 있는 최소한의 속력이다.

① **중력 퍼텐셜 에너지:** 질량이 m인 물체가 질량이 M인 천체의 중심으로부터 거리 r만큼 떨어져 있으면, 천체로부터 무한히 멀리 떨어진 지점을 중력 퍼텐셜 에너지의 기준으로 할 때 중력 퍼텐셜 에너지 E_p는 다음과 같다.

$$E_p=-\frac{GMm}{r}$$

② **탈출 조건:** 아무리 멀리 가도 속력이 0이 되지 않아야 하므로 역학적 에너지가 0보다 크거나 같아야 한다. 따라서 물체가 반지름이 r인 천체를 탈출하기 위해서는 천체의 표면에서 속력 v가 다음 조건을 만족해야 한다.

$$\text{탈출 조건: }\frac{1}{2}mv^2-\frac{GMm}{r}\geq 0 \Rightarrow v\geq\sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

③ **탈출 속력:** 탈출 조건을 만족하는 최소한의 속력인 탈출 속력 v_e는 다음과 같다.

$$v_e=\sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

④ 지구 표면에서의 탈출 속력은 약 11.2 km/s이다.

개념 체크

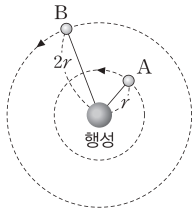
➲ **지구 주위를 등속 원운동 하는 인공위성의 속력(v):** 지구가 인공위성에 작용하는 중력이 인공위성에는 구심력으로 작용한다.

$$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$$

➲ **탈출 속력(v_e):** 물체가 반지름이 r인 천체의 표면에서 탈출할 수 있는 최소한의 속력이다.

$$v_e=\sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

[1~2] 그림과 같이 위성 A, B가 행성을 중심으로 하는 원 궤도를 따라 운동하고 있다. A, B의 원 궤도의 반지름은 각각 r, $2r$이다. (단, A, B에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)



1. 위성의 속력은 A가 B의 (　　)배이다.

2. 위성의 공전 주기는 B가 A의 (　　)배이다.

3. 표는 행성 A, B의 질량과 반지름을 나타낸 것이다.

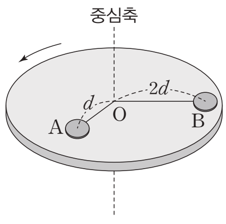
행성	질량	반지름
A	$2M$	R
B	M	$2R$

행성의 표면에서 탈출 속력은 A에서가 B에서의 (　　)배이다.

정답
1. $\sqrt{2}$
2. $2\sqrt{2}$
3. 2

[26027-0043]

01 그림과 같이 축을 중심으로 일정한 각속도로 회전하는 원판에 물체 A, B가 고정되어 있다. A, B가 원판의 중심 O로부터 떨어진 거리는 각각 d, $2d$이고, 질량은 A가 B의 2배이다.



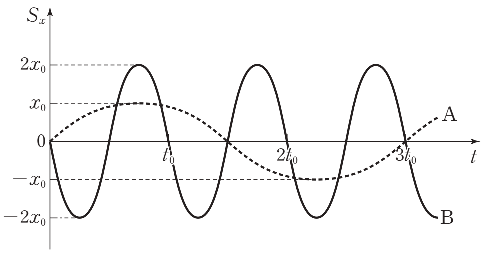
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

보기
ㄱ. 속력은 B가 A의 2배이다.
ㄴ. 가속도의 크기는 A가 B의 2배이다.
ㄷ. 물체에 작용하는 구심력의 크기는 A와 B가 같다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0044]

02 그림은 xy 평면에서 원점을 중심으로 등속 원운동을 하는 두 물체 A, B의 위치의 x성분 S_x를 시간 t에 따라 나타낸 것이다. A, B의 가속도의 크기는 각각 a_A, a_B이다.

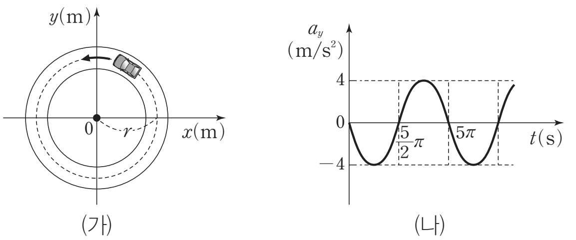


$\dfrac{a_B}{a_A}$는? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

① 12 ② 15 ③ 17 ④ 18 ⑤ 21

[26027-0045]

03 그림 (가)는 xy 평면에서 원점을 중심으로 시계 반대 방향으로 반지름이 r인 원 궤도를 따라 등속 원운동을 하는 자동차를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 시간 t에 따른 자동차의 가속도의 y성분 a_y를 나타낸 것이다.



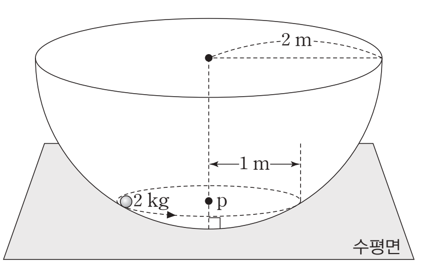
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 자동차의 크기는 무시한다.)

보기
ㄱ. $r=25$ m이다.
ㄴ. 자동차의 속력은 10 m/s이다.
ㄷ. $t=\frac{5}{4}\pi$초일 때, 자동차의 운동 방향은 $+x$방향이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0046]

04 그림과 같이 수평면에 고정된 반지름이 2 m인 반구의 내부에서 질량이 2 kg인 물체가 점 p를 중심으로 반구의 안쪽 면을 따라 반지름이 1 m인 등속 원운동을 한다.

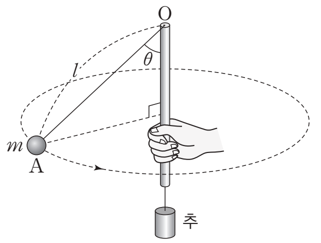


물체에 작용하는 구심력의 크기는? (단, 중력 가속도는 10 m/s² 이고, 물체의 크기, 모든 마찰은 무시한다.)

① $\dfrac{\sqrt{3}}{5}$ N ② $\dfrac{10\sqrt{3}}{5}$ N ③ $\dfrac{10\sqrt{3}}{3}$ N ④ $\dfrac{20\sqrt{3}}{5}$ N ⑤ $\dfrac{20\sqrt{3}}{3}$ N

[26027-0047]

05 그림과 같이 질량이 m인 물체 A가 추와 실로 연결되어 수평면과 나란하게 등속 원운동을 한다. 연직 방향으로 세운 관의 끝점 O에서 A까지 실의 길이는 l이고, 실이 연직 방향과 이루는 각은 θ이다.



$\tan\theta=\frac{4}{3}$일 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기, 관의 굵기, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

보기

ㄱ. 추의 질량은 $\frac{5}{3}m$이다.

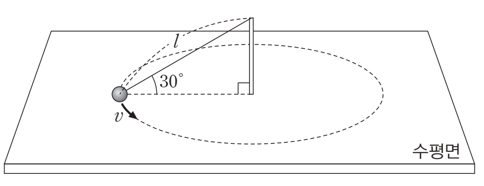
ㄴ. A에 작용하는 구심력의 크기는 $\sqrt{3}mg$이다.

ㄷ. A의 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{3l}{5g}}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0048]

06 그림과 같이 물체가 수평면에 연직 방향으로 세운 관의 끝점에 실로 연결되어 v의 속력으로 수평면에서 등속 원운동을 한다. 관의 끝점에서 물체까지 실의 길이는 l이고, 수평면이 실과 이루는 각은 30°이다. 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 수평면이 물체를 떠받치는 힘의 크기의 2배이다.

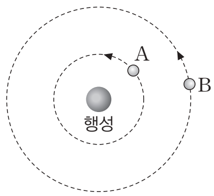


v는? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기, 관의 굵기, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

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

[26027-0049]

07 그림과 같이 위성 A, B가 행성을 중심으로 등속 원운동을 한다. 표는 A, B의 질량과 속력을 나타낸 것이다.



위성	질량	속력
A	m	$\sqrt{2}v_0$
B	$2m$	v_0

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 위성에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

보기

ㄱ. 가속도의 크기는 A가 B보다 크다.

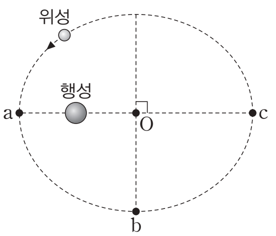
ㄴ. 위성에 작용하는 중력의 크기는 A가 B의 4배이다.

ㄷ. 공전 주기는 B가 A의 $2\sqrt{2}$배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0050]

08 그림과 같이 위성이 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동한다. O는 타원의 중심이다. 표는 위성이 점 a에서 점 b까지, b에서 점 c까지 운동하는 데 걸린 시간을 나타낸 것이다. 위성의 공전 주기는 $6t_0$이다. a와 c는 각각 타원 궤도상에서 행성과 가장 가까운 점과 가장 먼 점이다.



이동 경로	걸린 시간
a에서 b	t_0
b에서 c	㉠

위성의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. ㉠은 $2t_0$이다.

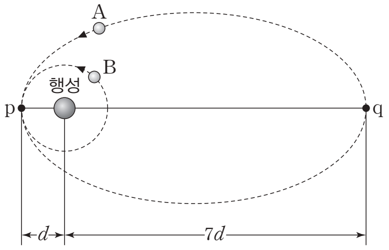
ㄴ. 속력은 a에서가 b에서보다 크다.

ㄷ. a에서 가속도의 크기는 최대이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0051]

09 그림은 행성을 한 초점으로 타원 운동하는 위성 A와 행성을 중심으로 원운동하는 위성 B를 나타낸 것이다. 점 p는 A, B의 궤도가 접하는 지점으로 A가 행성으로부터 가장 가까운 점이고, 점 q는 A가 행성으로부터 가장 먼 지점이다. 행성의 중심으로부터 p, q까지의 거리는 각각 d, $7d$이다. p에서 B의 속력은 v이다.



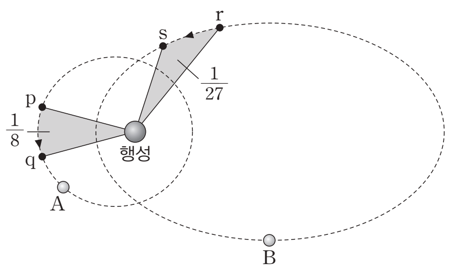
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 위성에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

보기
ㄱ. p에서 A와 B의 가속도의 크기는 같다.
ㄴ. A에 작용하는 중력의 최댓값은 최솟값의 49배이다.
ㄷ. A의 공전 주기는 $\frac{8\pi d}{v}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

[26027-0052]

10 그림과 같이 위성 A, B가 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 각각 운동하고 있다. A가 점 p에서 점 q까지 운동하는 동안, B는 점 r에서 점 s까지 운동하며, 이때 위성과 행성을 연결한 선분이 쓸고 지나가는 면적은 A는 타원 궤도 면적의 $\frac{1}{8}$만큼을, B는 타원 궤도 면적의 $\frac{1}{27}$만큼을 쓸고 지나간다.

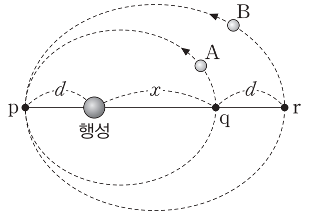


A, B의 타원 궤도의 긴반지름을 각각 a_A, a_B라고 할 때, $a_A : a_B$는? (단, 위성에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

① 1 : 2 ② 4 : 9 ③ 2 : 5 ④ 5 : 14 ⑤ 1 : 3

[26027-0053]

11 그림과 같이 위성 A, B가 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 각각 운동하고 있다. A, B가 행성으로부터 가장 가까운 지점은 점 p로 같고, 가장 먼 지점은 각각 점 q, r이다. p와 행성 중심 사이의 거리와 q와 r 사이의 거리는 d로 같다. 표는 A, B의 가속도 크기의 최솟값 a_{min}과 주기를 나타낸 것이다.



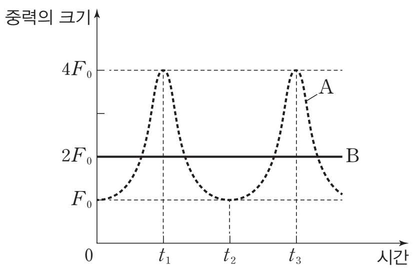
위성	a_{min}	주기
A	a_0	T
B	㉠	$\frac{8\sqrt{3}}{9}T$

행성의 중심과 q 사이의 거리를 x라 할 때, x와 ㉠으로 옳은 것은? (단, 위성에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

	x	㉠
①	$\frac{3}{2}d$	$\frac{1}{3}a_0$
②	$\frac{3}{2}d$	$\frac{4}{9}a_0$
③	$2d$	$\frac{1}{3}a_0$
④	$2d$	$\frac{4}{9}a_0$
⑤	$3d$	$\frac{4}{9}a_0$

[26027-0054]

12 그림은 위성 A, B가 동일한 행성을 한 초점으로 각각 타원 운동, 원운동을 할 때, A와 B에 작용하는 중력의 크기를 시간에 따라 나타낸 것이다. t_2일 때 행성으로부터 떨어진 거리는 A와 B가 같다.



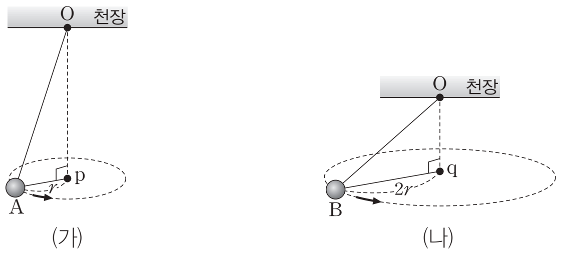
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 위성에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

보기
ㄱ. 질량은 B가 A의 2배이다.
ㄴ. t_1부터 t_2까지 A의 속력은 증가한다.
ㄷ. B의 공전 주기는 $\frac{8\sqrt{3}}{9}(t_3-t_1)$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0055]

01 그림 (가), (나)와 같이 물체 A, B가 천장의 점 O에 실로 연결되어 점 p, q를 중심으로 반지름이 각각 r, $2r$인 등속 원운동을 한다. O와 p 사이의 거리는 O와 q 사이의 거리의 2배이고, 질량은 A가 B의 8배이다.



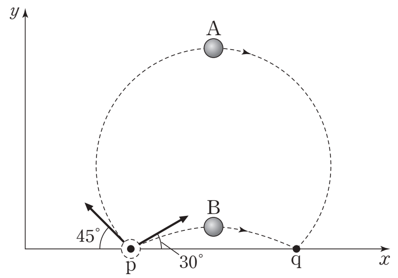
A, B에 작용하는 구심력의 크기를 각각 F_A, F_B라고 할 때, $\frac{F_B}{F_A}$는? (단, 물체의 크기와 실의 질량은 무시한다.)

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

물체에 작용하는 구심력은 실이 물체를 당기는 힘과 물체에 작용하는 중력의 합력과 같다.

[26027-0056]

02 그림과 같이 xy 평면에서 물체 A, B가 점 p에서 점 q까지 서로 다른 속력으로 등속 원운동을 한다. p에서 A, B의 운동 방향이 x축과 이루는 각은 각각 45°, 30°이다. 표는 물체의 질량과 물체가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간을 나타낸 것이다.



구분	A	B
질량	m_0	$9m_0$
p에서 q까지 걸린 시간	$3t_0$	$2t_0$

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

보기

ㄱ. 각속도의 크기는 A가 B의 3배이다.

ㄴ. 속력은 A가 B의 $\frac{3\sqrt{2}}{2}$배이다.

ㄷ. 구심력의 크기는 A가 B의 $\frac{\sqrt{2}}{2}$배이다.

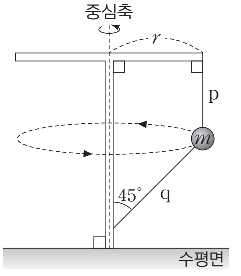
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

원운동의 반지름이 r이고, 각속도의 크기가 ω일 때 물체의 속력은 $v=r\omega$이고, 구심력의 크기는 $F=mr\omega^2$이다.

p, q가 물체를 당기는 힘과 물체에 작용하는 중력의 합력이 물체에 작용하는 구심력이다.

[26027-0057]

03 그림과 같이 실 p, q에 연결된 질량이 m인 물체가 두 막대와 함께 회전하며 반지름이 r인 등속 원운동을 한다. p는 수평한 막대의 한쪽 끝에, q는 연직 방향의 막대에 연결되어 있다. q가 연직 방향과 이루는 각은 45°이다. p가 물체를 당기는 힘의 크기는 물체에 작용하는 구심력의 크기의 3배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 막대의 두께, 물체의 크기, 실의 질량은 무시한다.)

보기

ㄱ. p가 물체를 당기는 힘의 크기는 $\frac{3}{2}mg$이다.

ㄴ. 물체의 속력은 $\sqrt{\frac{gr}{2}}$이다.

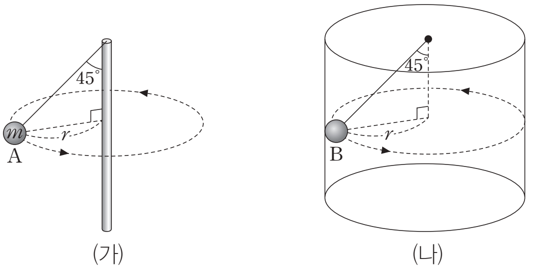
ㄷ. 물체의 주기는 $\pi\sqrt{\frac{3r}{g}}$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

원운동의 주기는 A가 B의 $\sqrt{2}$배이고, 원운동의 주기는 $T=\frac{2\pi}{\omega}$이므로 각속도의 크기는 B가 A의 $\sqrt{2}$배이다.

[26027-0058]

04 그림 (가)와 같이 막대의 한쪽 끝에 실로 연결된 질량이 m인 물체가 등속 원운동을 한다. 그림 (나)는 실에 매달린 물체가 원기둥의 안쪽면을 따라 등속 원운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. (가), (나)에서 원운동의 반지름은 r이고, 실이 연직 방향과 이루는 각은 45°로 서로 같다. 원운동의 주기는 A가 B의 $\sqrt{2}$배이고, 운동 에너지는 B가 A의 4배이다.



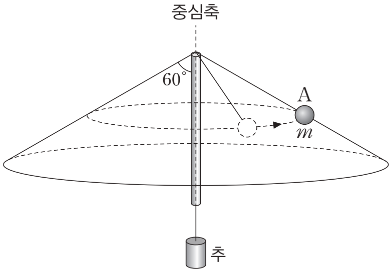
(가) (나)

(나)에서 원기둥의 안쪽면이 B에 작용하는 힘의 크기는? (단, 중력 가속도는 g이고, 막대의 두께, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

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

[26027-0059]

05 그림과 같이 추와 실로 연결된 질량이 m인 물체 A가 원뿔의 바깥면을 따라 등속 원운동을 한다. A와 연결된 실이 연직 방향으로 세운 관과 이루는 각은 60°이다. A에 작용하는 구심력의 크기는 원뿔의 바깥 면이 A에 작용하는 힘의 크기의 2배이다.



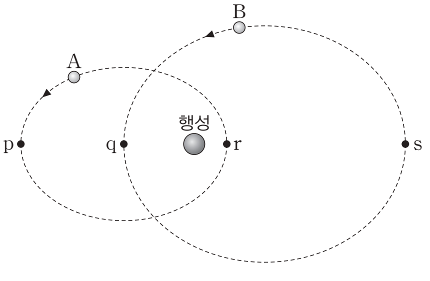
추의 질량은? (단, 물체의 크기와 실의 질량, 관의 두께, 모든 마찰은 무시한다.)

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

실이 A를 당기는 힘의 크기는 추에 작용하는 중력의 크기와 같다.

[26027-0060]

06 그림과 같이 위성 A, B가 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 각각 운동하고 있다. 점 p, r는 A가 행성의 중심으로부터 가장 먼 지점과 가장 가까운 점이고, 점 q, s는 B가 행성의 중심으로부터 가장 가까운 지점과 가장 먼 지점이다. 표는 A, B에 작용하는 중력의 크기의 최댓값과 최솟값을 나타낸 것이다. p와 q 사이의 거리와 q와 r 사이의 거리는 같고, A의 공전 주기는 T이다.



위성	중력의 크기	
	최댓값	최솟값
A	$2F_0$	$\frac{2}{25}F_0$
B	F_0	$\frac{1}{9}F_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 위성에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

보기

ㄱ. A의 운동 에너지는 p에서가 r에서보다 크다.
ㄴ. 질량은 B가 A의 2배이다.
ㄷ. B의 공전 주기는 $\frac{4\sqrt{3}}{9}T$이다.

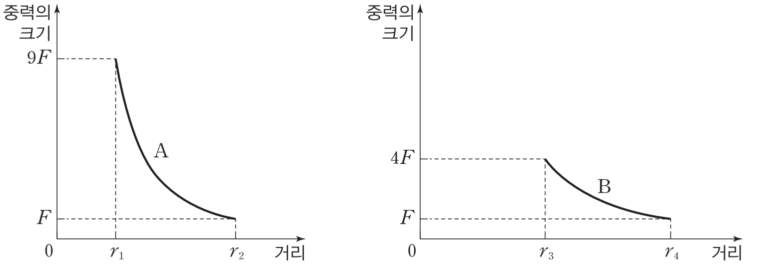
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

위성에 작용하는 중력의 크기는 행성으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례하고, 위성의 질량에 비례한다.

행성의 공전 주기의 제곱은 긴 반지름의 세제곱에 비례한다.

[26027-0061]

07 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 떨어진 거리에 따라 나타낸 것으로, $r_2-r_1=\frac{4}{3}d$이고, $r_4-r_3=\sqrt{2}d$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 위성에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

보기

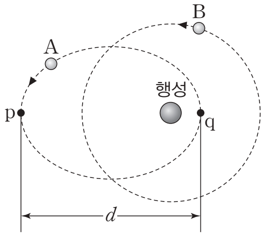
ㄱ. $r_4=\sqrt{2}r_2$이다.
ㄴ. 공전 주기는 B가 A보다 크다.
ㄷ. 질량은 B가 A의 4배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

위성에는 행성에 의한 중력만 작용하므로 위성의 가속도의 크기는 행성으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다.

[26027-0062]

08 그림과 같이 위성 A는 행성을 한 초점으로 하는 타원 운동을 하고, 위성 B는 행성을 중심으로 크기가 a_0인 가속도로 등속 원운동을 한다. 점 p, q는 각각 타원 궤도상에서 A가 행성의 중심으로부터 가장 먼 지점과 가장 가까운 지점이다. 표는 A의 위치에 따른 A의 가속도의 크기를 나타낸 것이다. p와 q 사이의 거리는 d이다.



A의 위치	A의 가속도의 크기
p	$\frac{9}{25}a_0$
q	$9a_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 위성에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

보기

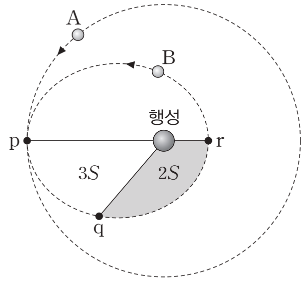
ㄱ. A가 p에서 q로 운동하는 동안 A의 속력은 증가한다.
ㄴ. A, B가 각각 1회 공전하는 동안 면적 속도의 크기는 A가 B보다 크다.
ㄷ. A의 공전 주기는 $\pi\sqrt{\frac{2d}{a_0}}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0063]

09 그림과 같이 위성 A는 행성을 중심으로 하는 원 궤도를, 위성 B는 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동한다. 점 p는 A, B의 궤도가 접하는 점으로 B가 행성으로부터 가장 먼 지점이다. 점 r는 B가 행성으로부터 가장 가까운 지점이다. p에서 q까지와 q에서 r까지 B가 운동하는 동안, B와 행성의 중심을 잇는 선분이 쓸고 지나가는 면적은 각각 $3S$, $2S$이다. A의 공전 주기는 T_0이고, B에 작용하는 중력의 크기의 최댓값은 최솟값의 9배이다.

행성과 위성을 연결한 선분이 같은 시간 동안 쓸고 지나가는 면적은 일정하다.



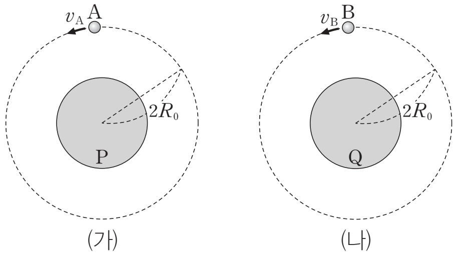
B가 p에서 q까지 이동하는 데 걸리는 시간은? (단, 위성에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

① $\frac{\sqrt{6}}{15}T_0$　② $\frac{2\sqrt{6}}{15}T_0$　③ $\frac{\sqrt{6}}{5}T_0$　④ $\frac{4\sqrt{6}}{15}T_0$　⑤ $\frac{\sqrt{6}}{3}T_0$

[26027-0064]

10 그림 (가), (나)와 같이 위성 A, B가 행성 P, Q를 중심으로 각각 v_A, v_B의 속력으로 등속 원운동을 한다. A, B의 원 궤도의 반지름은 $2R_0$으로 같다. 표는 P, Q의 질량, 반지름, 행성 표면에서의 탈출 속력을 나타낸 것이다.

천체의 질량을 M, 반지름을 R, 중력 상수를 G라 할 때, 천체 표면에서 물체의 탈출 속력은 $v=\sqrt{\frac{2GM}{R}}$이다.



행성	질량	반지름	탈출 속력
P	M_0	R_0	v_0
Q	㉠	R_0	$2v_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. A에 작용하는 구심력의 크기는 P가 A에 작용하는 중력의 크기와 같다.
ㄴ. ㉠은 $4M_0$이다.
ㄷ. $2v_0 > v_B > v_A$이다.

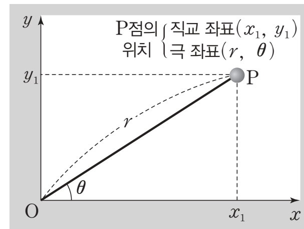
① ㄱ　② ㄴ　③ ㄱ, ㄷ　④ ㄴ, ㄷ　⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 일반 상대성 이론

1 가속 좌표계와 관성력

(1) 가속 좌표계

① **좌표계**: 관찰이나 측정을 위해 특정한 위치를 원점으로 하여 특정 방향의 축을 정하고, 좌표로 물체의 위치를 나타내는 기준틀을 말한다. 예 직교 좌표계, 극 좌표계



② **관성 좌표계**: 관찰자가 위치한 기준계가 정지 또는 등속도로 움직이는 좌표계를 말하며, 관성 좌표계에서 물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 물체는 정지해 있거나 등속도 운동을 한다. 즉, 뉴턴 운동 법칙이 성립하는 좌표계를 관성 좌표계라고 한다.

③ **가속 좌표계**: 가속도 운동을 하는 좌표계이다. 예 속도가 변하는 버스, 회전하는 놀이 기구

(2) 관성력: 가속 좌표계에서 뉴턴 운동 제2법칙을 적용하기 위해 도입한 가상의 힘으로, 가속도가 $\vec{a}$인 가속 좌표계에서 질량이 m인 물체에 작용하는 관성력의 크기는 ma이고, 방향은 계의 가속도와 반대 방향이다.

$$\vec{F}_{관}=-m\vec{a}$$

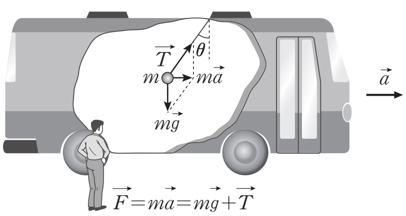
① 가속도 운동을 하는 버스

- 버스 밖의 관찰자: 그림 (가)에서 관찰자는 중력 $m\vec{g}$와 줄이 추를 당기는 힘 $\vec{T}$의 합력에 의해 추가 버스와 같은 가속도 $\vec{a}$로 운동하는 것으로 관측한다.

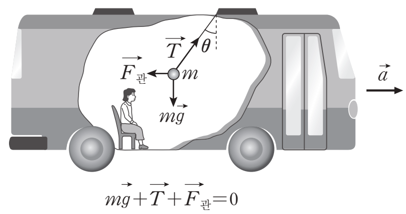
$$m\vec{g}+\vec{T}=\vec{F}=m\vec{a}$$

- 버스 안의 관찰자: 그림 (나)에서 관찰자는 추에 작용하는 중력 $m\vec{g}$, 줄이 추를 당기는 힘 $\vec{T}$, 버스의 가속 운동에 의한 관성력 $\vec{F}_{관}$이 평형을 이루어 추가 정지한 것으로 관측한다.

$$m\vec{g}+\vec{T}+\vec{F}_{관}=0$$



(가) 버스 밖에 정지한 사람이 본 추의 가속도 운동



(나) 버스 안에 정지한 사람이 본 힘의 평형

② 가속도 운동을 하는 엘리베이터

- 엘리베이터 밖의 관찰자: 그림 (가)에서 관찰자는 용수철의 탄성력 $\vec{F}_k$와 중력 $m\vec{g}$의 합력 $\vec{F}$에 의해 추가 엘리베이터와 같은 가속도 $\vec{a}$로 운동을 하는 것으로 관측한다.

$$m\vec{g}+\vec{F}_k=\vec{F}=m\vec{a}$$

- 엘리베이터 안의 관찰자: 그림 (나)에서 관찰자는 용수철의 탄성력 $\vec{F}_k$, 중력 $m\vec{g}$, 엘리베이터의 가속 운동에 의한 관성력 $\vec{F}_{관}$이 평형을 이루어 추가 정지한 것으로 관측한다.

$$m\vec{g}+\vec{F}_k+\vec{F}_{관}=0$$

개념 체크

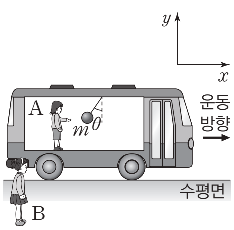
➲ **관성 좌표계**: 정지 또는 등속도 운동 중인 좌표계

➲ **가속 좌표계**: 가속도 운동 중인 좌표계

➲ **관성력**: 가속 좌표계에서 뉴턴 운동 제2법칙을 적용하기 위해 도입한 가상의 힘으로, 관성력의 방향은 계의 가속도의 방향과 반대 방향이다.

1. 관찰자가 위치한 기준계가 정지 또는 등속도로 움직이는 좌표계를 (　　)라고 한다.

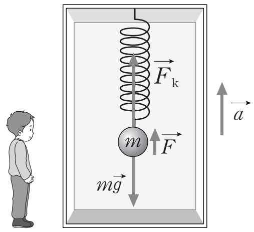
[2~3] 그림은 수평면에 정지한 관찰자 B에 대해 관찰자 A가 탄 버스가 $+x$방향으로 직선 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. A가 관찰할 때, 질량이 m인 물체는 물체가 연결된 실이 연직선과 θ의 각을 이루며 정지해 있다. (단, 중력 가속도는 g이고, 실의 질량은 무시한다.)



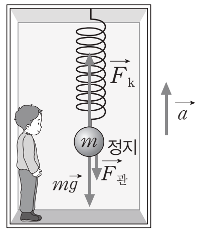
2. B의 좌표계에서 버스의 가속도 방향은 (　　)방향이다.

3. A의 좌표계에서 물체에 작용하는 관성력의 크기는 (　　)이다.

정답
1. 관성 좌표계
2. $+x$
3. $mg\tan\theta$



(가) 엘리베이터 밖에 정지한 사람이 본 추의 가속도 운동

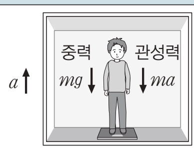
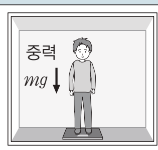
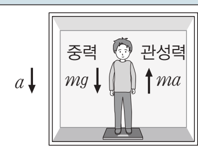


(나) 엘리베이터 안에 정지한 사람이 본 힘의 평형

탐구자료 살펴보기 엘리베이터에서 몸무게 변화 분석

과정 엘리베이터가 위로 가속될 때, 정지 또는 등속도 운동을 할 때, 아래로 가속될 때 엘리베이터 안에서 체중계의 측정값을 확인한다.

결과

가속도	크기가 a이고, 위 방향일 때	없음	크기가 a이고, 아래 방향일 때
엘리베이터의 운동 상태			
	위로 올라가면서 속력 증가, 아래로 내려가면서 속력 감소	정지, 등속도 운동	위로 올라가면서 속력 감소, 아래로 내려가면서 속력 증가
관성력	크기: ma, 방향: 아래쪽	작용하지 않음	크기: ma, 방향: 위쪽
체중계의 측정값	$mg+ma$	mg	$mg-ma$

point
- 엘리베이터의 가속도의 방향이 위쪽이면 체중계의 측정값은 mg보다 더 크게 측정되고, 엘리베이터의 가속도의 방향이 아래쪽이면 체중계의 측정값은 mg보다 더 작게 측정된다.
- 가속도의 크기가 a인 가속 좌표계에서 질량이 m인 물체에 작용하는 관성력의 크기는 ma이고, 방향은 엘리베이터의 가속도와 반대 방향이다.

③ 원운동을 하는 버스

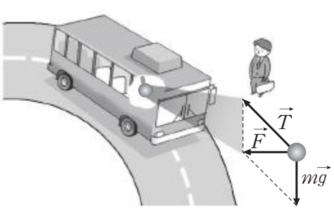
- 버스 밖의 관찰자: 그림 (가)에서 관찰자는 중력 $m\vec{g}$와 줄이 추를 당기는 힘 $\vec{T}$의 합력 $\vec{F}$를 구심력으로 하여 버스와 같은 가속도로 추가 원운동을 하는 것으로 관측한다.

$$m\vec{g}+\vec{T}=\vec{F}=m\vec{a}$$

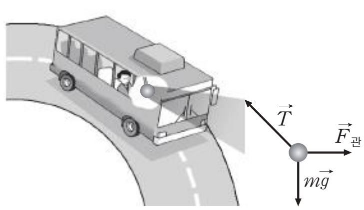
- 버스 안의 관찰자: 그림 (나)에서 관찰자는 추에 작용하는 중력 $m\vec{g}$, 줄이 추를 당기는 힘 $\vec{T}$, 관성력인 원심력 $\vec{F}_{관}$이 평형을 이루어 추가 정지해 있는 것으로 관측한다.

$$m\vec{g}+\vec{T}+\vec{F}_{관}=0$$

- 원심력: 등속 원운동을 하는 좌표계 안에서 나타나는 관성력을 원심력이라고 한다.



(가) 지면에 서 있는 사람이 본 추의 가속도 운동

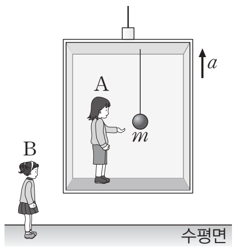


(나) 버스 안에 정지한 사람이 본 힘의 평형

개념 체크

➲ 원심력: 등속 원운동을 하는 좌표계 안에서 관측할 때 물체에 작용하는 것으로 보이는(관측되는) 관성력을 원심력이라고 한다.

[1~3] 그림과 같이 수평면에 정지한 관찰자 B에 대해 관찰자 A가 탄 엘리베이터가 연직 위 방향으로 가속도의 크기가 a로 일정한 운동을 한다. A가 관측할 때, 엘리베이터에 질량이 m인 물체가 실에 연결되어 정지해 있다. (단, 중력 가속도는 g이고, 실의 질량은 무시한다.)



1. A가 관측할 때, 물체에 작용하는 관성력의 크기는 (　　)이다.

2. A가 관측할 때, 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 (　　)이다.

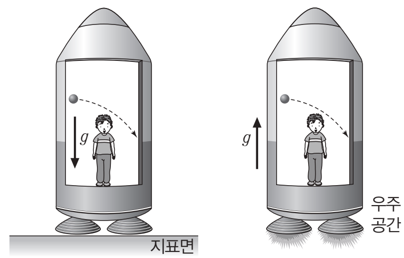
3. B가 관측할 때, 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 (　　)이다.

정답
1. ma
2. $mg+ma$
3. $mg+ma$

2 등가 원리와 일반 상대성 이론

(1) 등가 원리: 관성력과 중력은 근본적으로 구별할 수 없다는 원리이다.

① 그림 (가)와 같이 중력이 작용하는 지표면에 정지해 있는 우주선 안에서 물체를 수평 방향으로 던지면 물체는 중력 가속도 g로 포물선 운동을 하며 낙하한다.



(가) (나)

② 그림 (나)와 같이 텅 빈 우주 공간에서 일정한 가속도 g로 운동하는 우주선 안에서 물체를 수평 방향으로 던지면 우주선 안의 관찰자에게 물체는 가속도 g로 포물선 운동을 하며 낙하하는 것으로 관찰된다.

➡ 우주선 안의 관찰자는 물체의 낙하 운동이 중력에 의한 것인지, 우주선의 가속도 운동에 의한 것인지 구별할 수 없으며, 중력과 관성력을 구별할 수 없다는 것이 등가 원리이다.

(2) 관성 질량과 중력 질량

① **관성 질량**: $F=ma$에 나타나는 질량 m을 관성 질량이라고 한다.

② **중력 질량**: 물체가 중력장에 놓여 있을 때 받는 중력의 크기를 중력 가속도(=단위 질량이 받는 중력)의 크기로 나눈 값을 중력 질량이라고 한다. 즉, 두 물체 사이의 중력 $F=G\frac{m_1m_2}{r^2}$에서 m_1, m_2를 중력 질량이라고 한다.

③ **관성 질량과 중력 질량의 관계**: 중력 가속도의 크기가 g인 중력장에 놓은 물체에 작용하는 중력은 $F=m_g g$ (m_g: 중력 질량)이고, 중력에 의한 뉴턴 운동 제2법칙은 $F=m_i a$ (m_i: 관성 질량)이다. 따라서 가속도는 $a=\frac{m_g}{m_i}g$이다. 중력장 내에서 물체들은 모두 동일한 가속도 g를 가진다는 사실로부터 중력 질량(m_g)과 관성 질량(m_i)은 같다는 것을 알 수 있다. 이것은 중력에 의한 현상과 관성력에 의한 현상을 구별할 수 없다는 등가 원리로 설명될 수 있다.

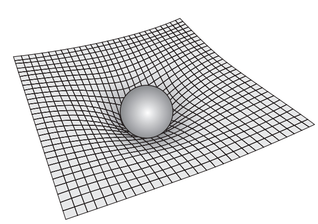
(3) 시공간의 휘어짐과 일반 상대성 이론

① **일반 상대성 이론**: 아인슈타인은 등가 원리를 바탕으로 뉴턴의 중력 이론과는 다른 새로운 중력 이론인 일반 상대성 이론을 발전시켰다.

➡ 아인슈타인은 중력을 힘으로 간주하지 않고 시공간의 휘어짐과 관련이 있다고 제안하였다.

② **질량과 시공간의 휘어짐**: 태양 주위의 행성들이 궤도 운동을 하는 것은 태양의 질량에 의해 휘어져 있는 주위의 시공간을 따라 행성들이 운동을 한다는 것이다.

➡ 질량에 의해 태양 주위의 시공간이 휘어져 있다.



③ **일반 상대성 이론의 증거**

- 수성의 세차 운동: 수성의 근일점은 100년에 574″만큼 변하는 것으로 관측되었는데, 뉴턴의 중력 법칙을 적용하여 계산할 경우 근일점이 100년에 531″만큼 변하는 것으로 예측되어 43″라는 관측값과의 오차를 설명하지 못한다. 반면, 태양의 질량에 의해 시공간이 휘어져 있다는 일반 상대성 이론을 적용하여 계산하면 오차를 설명할 수 있다.

개념 체크

➲ **등가 원리**: 관성력과 중력은 구별할 수 없다.

➲ **질량과 시공간**: 질량에 의해 주위의 시공간이 휘어져 있으며 휘어진 시공간을 따라 물체와 빛이 진행한다.

1. 등가 원리에 의하면 중력과 관성력은 구별할 수 있다. (○ , ×)

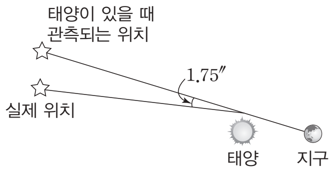
2. 일반 상대성 이론에 의하면 행성의 질량에 의해 행성 주위의 (　　)이 휘어진다.

3. 수성의 세차 운동은 일반 상대성 이론의 증거이다. (○ , ×)

정답

1. ×
2. 시공간
3. ○

• 빛의 휨: 태양 주위의 시공간이 휘어져 있다면 그 근처를 지나는 빛도 휘어질 것으로 예측하였다. 영국의 과학자 에딩턴은 1919년 일식이 일어났을 때 태양 주위에서 관측한 별의 위치와 몇 개월 전 밤하늘에서 관측한 별의 위치를 비교하여 태양 근처에서 빛이 휘어지는 각도는 대략 1.75″로 매우 작지만 관측값에 차이가 있음을 발견하였고, 이는 일식 때 태양 근처를 지나는 별빛이 휘어지면서 지구에 도달한다는 일반 상대성 이론의 예측이 옳음을 증명한 것이다.

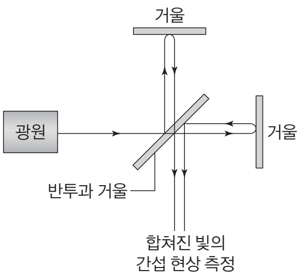


• 중력에 의한 시간 지연: 일반 상대성 이론에 의하면 중력의 영향으로 시공간이 휘어지는데, 시공간이 많이 휘어진 곳일수록 시간이 느리게 간다. GPS 위성에서 시간 정보를 지구로 송신할 때 지표면으로부터의 높이 차에 의한 중력 차를 고려하여 시간 지연을 보정한 값으로 보낸다.

• 중력파: 질량에 의해 시공간이 휘어져 있으므로 초신성 폭발과 같은 현상이 발생하여 질량의 공간적 분포에 변화가 있게 되면 주위의 시공간이 요동을 치게 되고, 이 흔들림이 파동으로 퍼져 나가는 것을 중력파라고 한다.

과학 돋보기 **중력파 검출**

최근 라이고(LIGO, Laser Interferometer Gravitational−wave Observatory)에서는 중력파 검출 장치를 통해 100여년 전 아인슈타인이 일반 상대성 이론에서 예언한 중력파 검출에 성공하였다. 이 장치는 4 km의 터널을 빛이 수백 번 왕복하면서 중력파에 의한 시공간의 미세한 변화를 측정하게 되는데, 두 블랙홀이 병합하면서 시공간이 일그러지면 반투과 거울을 이용하여 합쳐진 두 빛의 간섭이 평소와 다르게 관측되어 중력파를 검출한다.



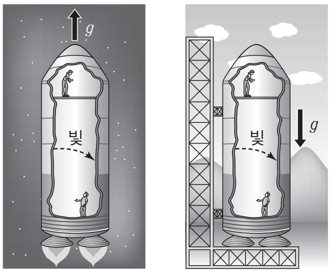
3 중력 렌즈 효과

(1) 빛의 휘어짐

① 가속도 운동하는 우주선: 그림 (가)와 같이 가속도 운동하는 우주선의 한쪽 벽면에서 방출된 빛은 우주선 안의 관찰자가 볼 때 휘어져 진행하게 된다.

② 중력장에 있는 우주선: 그림 (나)와 같이 지구 표면에 정지해 있는 우주선의 한쪽 벽면에서 방출된 빛도 등가 원리에 의해 (가)에서 가속하는 경우와 같이 휘어져 진행하게 된다.

➡ 빛은 지구의 질량에 의해 휘어진 시공간을 따라 진행한다.



(가) (나)

개념 체크

➲ **일반 상대성 이론의 증거**: 수성의 세차 운동에 의한 근일점 변화, 중력 렌즈 현상, 중력에 의한 시간 지연, 중력파의 검출

1. 일반 상대성 이론에 의하면 중력이 강한 곳은 약한 곳보다 시간이 (느리게 , 빠르게) 간다.

2. 질량의 공간적 분포의 변화에 의해 시공간이 요동치게 되고, 이 흔들림이 퍼져나가는 파동을 (　　) 라고 한다.

3. 천체의 질량에 의해 휘어진 시공간을 따라 진행하는 빛은 휘어지며 진행한다. (○ , ×)

정답
1. 느리게
2. 중력파
3. ○

개념 체크

➔ **중력 렌즈 효과**: 중력 렌즈 효과에 의한 상의 수와 모양, 위치는 은하나 별까지의 거리, 은하의 질량 분포, 은하의 상대적 위치 등에 따라 다르게 나타난다.

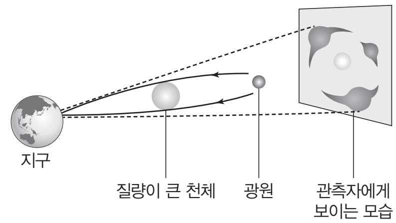
1. 중력 렌즈 효과는 일반 상대성 이론의 증거이다. (○ , ×)

2. 중력 렌즈 효과는 질량이 큰 천체에 의해 (㉠)의 휘어짐이 발생하고, 이 휘어진 (㉠)을 따라 빛이 진행하여 나타나는 현상이다. ㉠은?

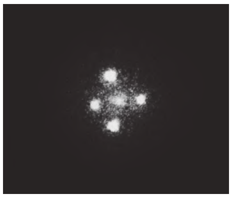
정답
1. ○
2. 시공간

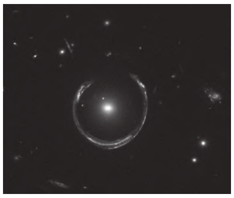
(2) 중력 렌즈 효과

① **중력 렌즈 효과**: 먼 곳에 있는 밝은 별로부터 나온 빛이 지구에 도달할 때 중간에 질량이 매우 큰 천체가 있으면 빛은 휘어져 별의 상이 여러 개로 보일 수 있다. 이처럼 중력이 렌즈처럼 빛을 휘게 하는 것을 중력 렌즈 효과라고 한다.



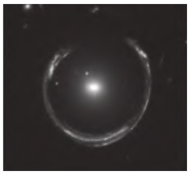
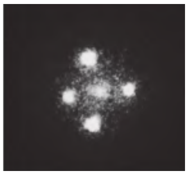
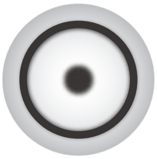
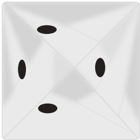
② **아인슈타인의 십자가와 아인슈타인의 고리**: 퀘이사와 같이 지구로부터 매우 멀리 떨어진 광원으로부터 나온 빛이 은하단과 같은 질량이 큰 천체 주위를 지나 지구의 관찰자에게 도달할 때, 은하단의 중력 렌즈 효과로 인해 빛의 상이 여러 개로 보이거나 다양한 형태로 나타난다. 중력 렌즈 역할을 하는 은하단의 질량 분포, 광원－렌즈－관찰자의 상대적 위치 등에 따라 '아인슈타인의 십자가'와 같은 상이나 '아인슈타인의 고리'와 같은 원형의 상을 관측할 수 있다.


아인슈타인의 십자가


아인슈타인의 고리

과학 돋보기 **중력 렌즈 효과**

(가)와 같이 유리로 만든 공을 이용하면 아인슈타인의 고리를 중력이 없이도 흉내 낼 수 있다. 유리공을 작은 검은색 원 위에 적당히 떨어뜨려 놓고 보면 동그란 고리 모양이 추가로 만들어지는 것을 볼 수 있다. 고리 모양은 점으로부터 시작된 빛이 유리공을 통과하는 동안 빛의 방향이 꺾이면서 모양이 변한 이미지이다. (나)와 같이 아인슈타인의 십자가도 유리로 만든 피라미드로 흉내 낼 수 있다. 유리 피라미드를 점 위에 올려놓고 보면 점 하나가 4개의 점으로 보인다.

구분	(가) 아인슈타인의 고리	(나) 아인슈타인의 십자가
실제		
모형		

4 블랙홀

(1) 천체 표면에서의 탈출 속력

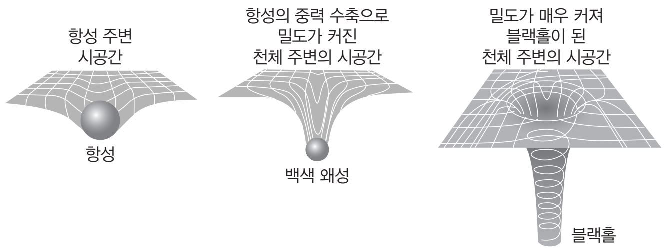
① **탈출 속력**: 물체가 천체의 중력을 벗어나 무한히 먼 곳까지 가기 위한 최소한의 속력을 탈출 속력이라고 한다.

② 천체의 질량이 M, 반지름이 R인 천체 표면에서의 탈출 속력은 $\sqrt{\frac{M}{R}}$에 비례한다. 만약 천체의 질량이 일정한데 반지름이 매우 작아지면 탈출 속력은 300000 km/s보다 커질 수 있으며, 이런 천체는 빛조차 빠져나가지 못하게 한다.

(2) 블랙홀: 질량이 아주 큰 별이 진화의 마지막 단계에서 자체 중력이 매우 커서 스스로 붕괴되어 빛조차도 탈출할 수 없는 천체를 블랙홀이라고 한다.

➡ 중력이 클수록 시간이 느리게 가며, 블랙홀의 어떤 경계에서는 시간이 멈춘 것처럼 보이는데, 이를 사건의 지평선이라고 한다.

① **항성의 밀도 변화에 따른 시공간의 휘어짐**: 일반 상대성 이론에 따르면 질량이 큰 천체일수록 주변의 시공간을 휘게 하는 정도가 크며, 중력에 의한 수축으로 극도로 밀도가 큰 천체는 시공간을 극단적으로 휘게 만든다.



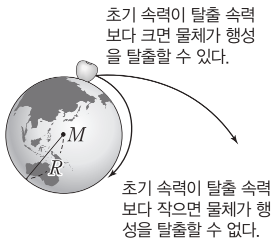
② **블랙홀의 형성**: 별이 핵융합 과정을 끝내고 초신성 폭발 이후 남은 질량이 태양 질량의 약 3배~4배를 넘으면 별은 계속 붕괴하여 밀도가 극도로 커지며 결국 블랙홀이 된다.

③ **블랙홀의 발견**: 블랙홀 주변의 물질이 블랙홀로 빨려 들어갈 때 매우 높은 온도로 가열되어 X선을 방출하는데, 이 X선을 관측하여 블랙홀을 발견할 수 있다.

과학 돋보기 **탈출 속력과 블랙홀의 사건의 지평선**

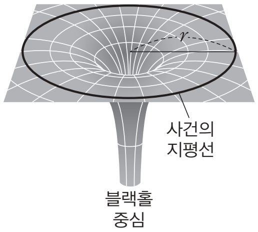
1. 탈출 속력(Escape Velocity): 천체로부터 무한히 먼 곳에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지를 0으로 정하면, 반지름 R, 질량 M인 천체의 중심에서 거리 r만큼 떨어진 곳에 있는 질량 m인 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 $U=-\frac{GMm}{r}$ (G: 중력 상수)이다. 따라서 천체의 중심으로부터 거리 r인 곳에서 속력 v로 운동하는 물체의 역학적 에너지는 다음과 같다.

$$E=K+U=\frac{1}{2}mv^2-\frac{GMm}{r}$$



천체 표면에서 탈출 속력 v_e로 발사된 물체는 천체로부터 멀어져 무한히 먼 곳에서는 속력이 0이 되고, 물체의 중력 퍼텐셜 에너지도 0이므로 $E\geq0$이면 물체는 천체의 중력을 벗어나 무한히 먼 곳으로 탈출할 수 있게 된다. 천체 표면에서 속력 v_e로 발사된 물체의 역학적 에너지는 $E=\frac{1}{2}mv_e^2-\frac{GMm}{R}=0$이므로 탈출 속력은 $v_e=\sqrt{\frac{2GM}{R}}$이다.

2. 블랙홀의 사건의 지평선(Event Horizon): 블랙홀의 질량을 M이라 할 때, 블랙홀의 중심으로부터 거리가 r인 지점에서의 탈출 속력은 $v_e=\sqrt{\frac{2GM}{r}}$이다. r에서의 탈출 속력이 빛의 속력과 같은 c인 경우, 블랙홀 중심에서 반지름 r인 경계면을 사건의 지평선이라고 한다. 즉, 사건의 지평선에서는 탈출 속력이 빛의 속력과 같다. 따라서 사건의 지평선 안쪽에서는 탈출 속력이 빛의 속력보다 크므로 사건이 지평선 안쪽에서 발생한 사건(빛)은 블랙홀을 벗어날 수 없다.



개념 체크

➲ **블랙홀**: 시공간을 극단적으로 휘게 만들어 빛조차도 빠져나올 수 없는 천체이다.

1. 물체가 천체의 중력을 벗어나 무한히 먼 곳까지 가기 위한 최소한의 속력을 탈출 속력이라고 한다. (○ , ×)

2. 질량이 M이고 반지름이 R인 천체의 표면에서의 탈출 속력을 v라 할 때, 질량이 $4M$이고 반지름이 $2R$인 천체의 표면에서의 탈출 속력은 (   ) 이다.

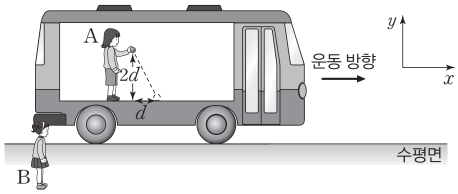
3. 블랙홀 내부에서 탈출 속력은 빛의 속력보다 (크다 , 작다).

정답

1. ○
2. $\sqrt{2}v$
3. 크다

[26027-0065]

01 그림과 같이 수평면에서 $+x$방향으로 운동하는 버스 안에 서 있는 관찰자 A가 버스 바닥에서부터 높이 $2d$인 지점에서 물체를 가만히 놓았다. A가 관측할 때, 물체가 등가속도 직선 운동을 하여 버스 바닥에 도달할 때까지 $+x$방향으로 이동한 거리는 d이다. 관찰자 B는 수평면에 대해 정지해 있다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기는 무시한다.)

보기

ㄱ. 버스의 가속도 방향은 $+x$방향이다.

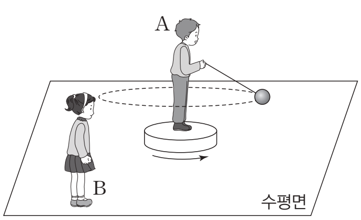
ㄴ. A가 관측할 때, 물체의 가속도의 크기는 $\frac{\sqrt{5}}{2}g$이다.

ㄷ. B가 관측할 때, 물체는 포물선 운동을 한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0066]

02 그림은 회전 원판 위에 서 있는 관찰자 A가 실에 연결된 물체와 함께 등속 원운동을 하는 모습을 나타낸 것으로 관찰자 B는 수평면에 대해 정지해 있다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. A의 좌표계에서 물체는 힘의 평형 상태이다.

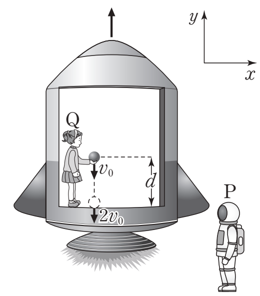
ㄴ. B의 좌표계에서 물체에 원심력이 작용한다.

ㄷ. 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 A가 관측할 때가 B가 관측할 때보다 작다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0067]

03 그림과 같이 텅 빈 우주 공간에서 정지한 관찰자 P에 대해 우주선이 $+y$방향으로 등가속도 직선 운동을 한다. 우주선에 탄 관찰자 Q가 물체를 $-y$방향으로 속력 v_0으로 던져 바닥에 닿을 때 물체의 속력은 $2v_0$이고, 낙하 거리는 d이다.



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

보기

ㄱ. P가 관측할 때, 물체는 등속도 운동을 한다.

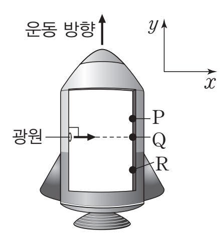
ㄴ. Q가 관측할 때, 물체의 낙하 시간은 $\frac{d}{v_0}$이다.

ㄷ. P가 관측할 때, 우주선의 가속도 크기는 $\frac{3{v_0}^2}{2d}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0068]

04 그림과 같이 텅 빈 우주 공간에서 우주선이 $+y$방향으로 직선 운동을 하며, 우주선 내부의 광원에서 $+x$방향으로 Q를 향해 빛을 방출한다. P, Q, R는 우주선 벽면의 점이며, P와 Q 사이의 거리는 Q와 R 사이의 거리보다 작다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 빛이 P에 도달할 때 우주선의 가속도 방향은 $-y$방향이다.

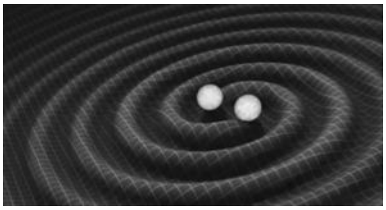
ㄴ. 우주선이 등속도 운동을 하면 빛이 Q에 도달한다.

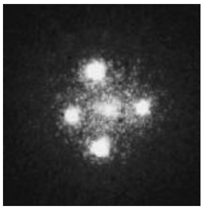
ㄷ. 우주선의 가속도 크기는 빛이 P에 도달할 때가 R에 도달할 때보다 크다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0069]

05 그림 (가)는 쌍성에 의해 발생하는 중력파의 모습을 나타낸 것이고, (나)는 중력 렌즈 현상을 촬영한 아인슈타인 십자가 사진이다.


(가)


(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

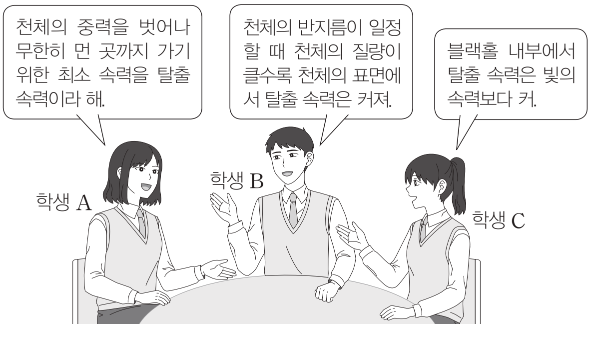
보기

ㄱ. (가)는 일반 상대성 이론의 증거가 된다.
ㄴ. (나)는 뉴턴의 중력 법칙으로 설명이 된다.
ㄷ. (나)는 질량이 큰 천체에 의해 시공간이 휘어지기 때문에 나타나는 현상이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0070]

06 그림은 학생 A, B, C가 탈출 속력에 대해 대화하는 모습을 나타낸 것이다.

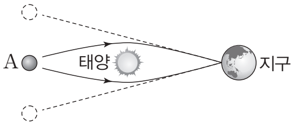


제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

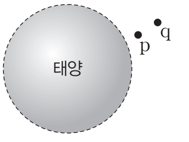
① A ② B ③ A, C ④ B, C ⑤ A, B, C

[26027-0071]

07 그림 (가)는 태양에 의해 중력 렌즈 효과가 나타나는 별 A의 모습을 나타낸 것이고, (나)는 우주 공간의 한 지점에 지구가 위치할 때 지구에서 관측한 A의 위치를 나타낸 것이다. 점 p, q는 일식이 일어날 때 관측되는 A의 위치와 밤에 관측되는 A의 위치를 순서 없이 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

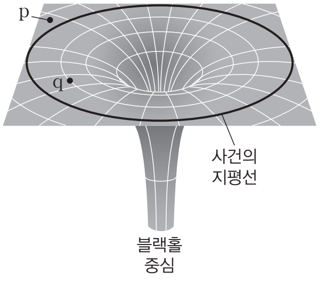
보기

ㄱ. (가)는 태양 근처의 시공간이 휘어진 결과이다.
ㄴ. (나)에서 p는 밤에 관측되는 A의 위치이다.
ㄷ. (나)에서 q는 태양의 중력에 의해 A에서 발생한 빛의 진행 경로가 휘어져 관측되는 위치이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0072]

08 그림은 블랙홀 주변의 시공간이 휘어진 모습을 나타낸 것으로 블랙홀의 중심을 기준으로 점 p와 q는 각각 사건의 지평선 바깥쪽과 안쪽에 위치한 고정된 점이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

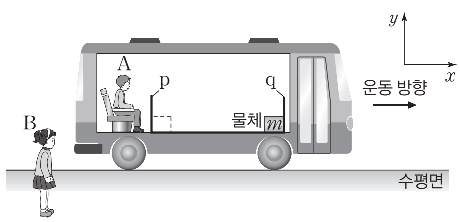
ㄱ. 탈출 속력은 p에서가 q에서보다 크다.
ㄴ. 시간은 p에서가 q에서보다 느리게 간다.
ㄷ. q에서 발생한 빛은 블랙홀에서 빠져나올 수 없다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

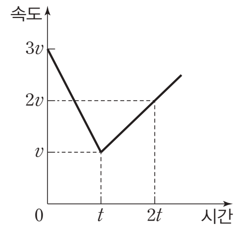
[26027-0073]

버스의 가속도 방향과 버스 내부의 관성력 방향은 반대이고, 버스의 가속도 크기를 a라 할 때 관성력의 크기는 ma이다.

01 그림 (가)와 같이 수평면에서 $+x$방향으로 운동하는 버스 안에 고정된 벽 p, q가 버스 바닥에 대해 수직으로 세워져 있다. 버스에 대해 정지한 관찰자 A의 좌표계에서 질량이 m인 물체는 시간 0부터 t까지 q에 접촉되어 버스 바닥에 정지해 있고, 시간 t일 때 $-x$방향으로 운동을 시작하여 시간 $2t$일 때 p와 충돌한다. 그림 (나)는 수평면에 정지한 관찰자 B의 좌표계에서 측정한 버스의 속도를 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 버스 바닥은 수평면과 나란하고, 물체의 크기, 버스 바닥과 물체 사이의 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

보기

ㄱ. A의 좌표계에서, $0.5t$일 때 q가 물체에 작용하는 힘의 크기는 $\frac{2mv}{t}$이다.

ㄴ. B의 좌표계에서, $1.5t$일 때 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

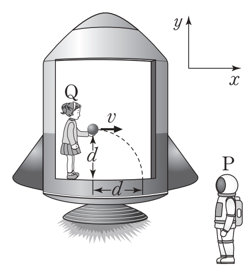
ㄷ. A의 좌표계에서, p와 q 사이의 거리는 $\frac{3}{2}vt$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0074]

우주선의 가속도 방향과 우주선 내부에서 관측되는 관성력의 방향은 반대 방향이다.

02 그림과 같이 텅 빈 우주 공간에서 정지한 관찰자 P에 대해 우주선이 $+y$방향으로 등가속도 직선 운동을 한다. 우주선에 탄 관찰자 Q는 우주선 바닥 면으로부터 높이 d인 지점에서 질량이 m인 물체를 $+x$방향으로 속력 v로 던진다. 물체가 포물선 운동을 하여 우주선 바닥에 닿을 때까지 x축 방향으로 이동한 거리는 d이다.



Q가 관측할 때 물체가 포물선 운동을 하는 동안, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

보기

ㄱ. P가 관측할 때, 물체는 등속 직선 운동을 한다.

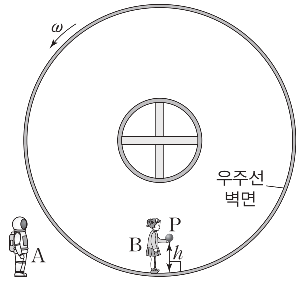
ㄴ. P가 관측할 때, 우주선의 가속도 방향은 $+y$방향이다.

ㄷ. Q가 관측할 때, 물체에 작용하는 관성력의 크기는 $\frac{2mv^2}{d}$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0075]

03 그림은 텅 빈 우주 공간에서 정지한 관찰자 A에 대해 우주선과 우주선에 탑승한 관찰자 B가 각속도 ω로 등속 원운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. B가 우주선 벽면으로부터 거리 h인 지점에 들고 있던 물체 P를 가만히 놓을 때 P가 우주선 벽면에 도달할 때까지 걸린 시간 t를 측정한다. 표는 걸린 시간 t를 각속도 ω에 따라 나타낸 것이다.



각속도 ω	걸린 시간 t
ω_1	t_0
ω_2	$1.2t_0$

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

보기

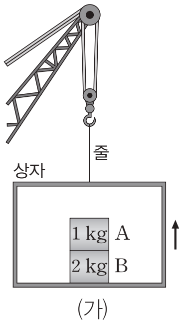
ㄱ. $\omega_1 > \omega_2$이다.
ㄴ. 우주선 벽면이 B를 떠받치는 힘의 크기는 ω_1일 때가 ω_2일 때보다 크다.
ㄷ. A가 관측할 때, t 동안 P는 등속 직선 운동을 한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

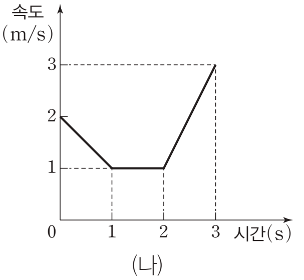
B의 좌표계에서 P는 원심력에 의해 낙하하는 것으로 관측된다.

[26027-0076]

04 그림 (가)는 기중기에 줄로 연결된 상자가 연직 위로 운동하는 모습을 나타낸 것으로, 상자 안에는 질량이 각각 1 kg, 2 kg인 물체 A, B가 놓여 있다. 그림 (나)는 (가)에서 상자의 속도를 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

상자의 좌표계에서, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 10 m/s^{2}이다.)

보기

ㄱ. 0.5초일 때, A가 B를 누르는 힘의 크기는 11 N이다.
ㄴ. 1.5초일 때, B에 작용하는 관성력은 0이다.
ㄷ. 2.5초일 때, A에 작용하는 관성력의 크기를 F_1, B가 상자를 누르는 힘의 크기를 F_2라 하면 $F_1 : F_2 = 1 : 12$이다.

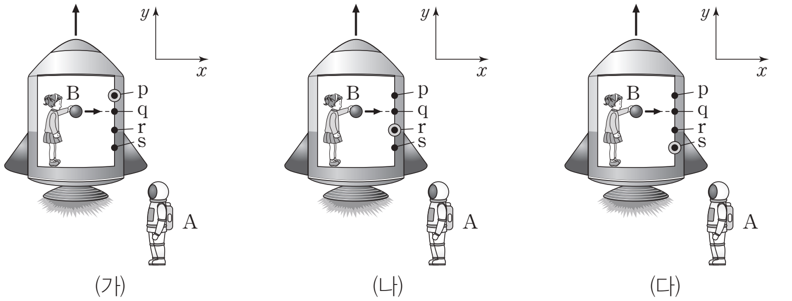
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

상자의 가속도 방향의 반대 방향으로 A, B에는 관성력이 작용하고, 관성력의 크기는 물체의 질량에 상자의 가속도 크기를 곱한 값과 같다.

B가 관찰할 때, 물체는 $+x$ 방향으로는 등속도 운동을, y축 방향으로는 등가속도 직선 운동을 한다.

[26027-0077]

05 그림 (가), (나), (다)는 텅 빈 우주 공간에서 정지한 관찰자 A에 대해 우주선이 $+y$방향으로 등가속도 직선 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. 우주선에 탄 관찰자 B는 같은 위치에서 $+x$방향으로 점 q를 향해 물체를 동일한 속력으로 던진다. (가), (나), (다)에서 물체는 y축에 나란한 벽면의 점 p, r, s에 각각 도달하고, p와 q, q와 r, r와 s 사이의 거리는 모두 같다.



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

보기

ㄱ. (가)에서 우주선의 가속도 방향은 $-y$방향이다.

ㄴ. B가 관찰할 때, (나)와 (다)에서 $+x$방향으로 던져진 물체가 각각 r와 s에 도달할 때까지 걸리는 시간은 (다)에서가 (나)에서보다 길다.

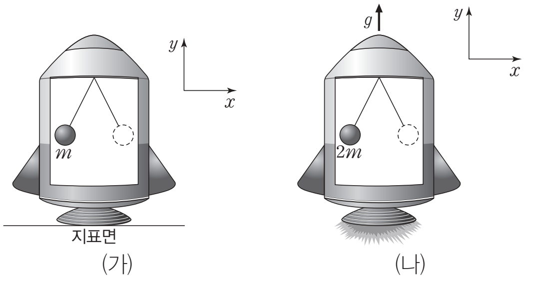
ㄷ. 우주선의 가속도 크기는 (다)에서가 (가)에서의 $\sqrt{2}$배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

(나)에서 우주선은 가속도 운동을 하므로 가속도 방향의 반대 방향으로 우주선 내부의 물체는 관성력이 작용한다.

[26027-0078]

06 그림 (가)와 (나)는 동일한 우주선 내부에서 질량이 각각 m, $2m$인 물체가 길이가 같은 실에 연결되어 단진동하는 모습을 나타낸 것이다. (가)에서 우주선은 지표면에 정지해 있고, (나)에서 우주선은 텅 빈 우주 공간에서 가속도의 방향은 $+y$방향이고, 크기는 g로 등가속도 직선 운동을 한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 지표면에서 중력 가속도는 g이고, 실의 질량과 물체의 크기는 무시한다.)

보기

ㄱ. (나)에서 물체에 작용하는 관성력의 크기는 $2mg$이다.

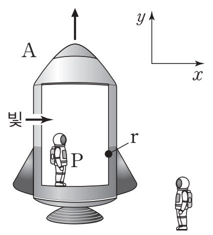
ㄴ. (나)에서 우주선 안에 있는 사람은 물체가 단진동을 하는 까닭이 중력 때문인지 우주선의 가속도 운동 때문인지 구분할 수 없다.

ㄷ. 물체의 주기는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

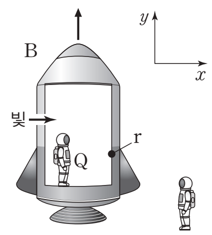
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0079]

07 그림 (가)와 (나)는 텅 빈 우주 공간에서 정지한 관찰자에 대해 $+y$방향으로 운동하는 우주선 A, B의 틈으로 $+x$방향으로 진행하는 빛이 각각 입사하는 모습을 나타낸 것이다. 표는 A, B에 탄 관찰자 P, Q가 우주선 벽의 동일한 위치의 점 r에 빛이 도달하는 모습을 관찰한 내용이다.



(가)



(나)

관찰자	관찰 내용
P	빛은 틈에서 r까지 직진한다.
Q	빛은 틈에서 r까지 휘어지며 진행한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

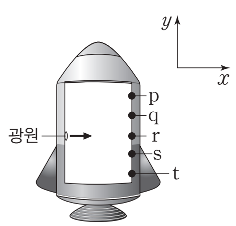
ㄱ. (가)에서 우주선은 등가속도 운동을 한다.
ㄴ. (나)에서 Q가 우주선 바닥을 누르는 힘이 작용한다.
ㄷ. 일반 상대성 이론에 의해 P의 시간은 Q의 시간보다 느리게 간다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

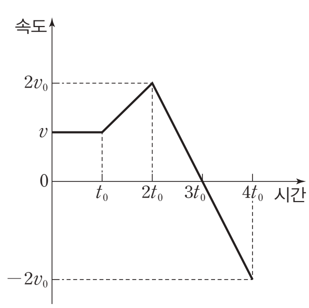
가속도 운동하는 우주선 내부에서 진행하는 빛은 우주선의 가속도 방향의 반대 방향으로 관성력이 작용하여 휘어지며 진행한다.

[26027-0080]

08 그림 (가)는 텅 빈 우주 공간에서 y축과 나란한 방향으로 운동하는 우주선을 나타낸 것으로, 광원에서 $+x$방향으로 검출기 r를 향해 빛이 발사된다. 그림 (나)는 (가)의 우주선의 속도를 시간에 따라 나타낸 것으로 $+y$방향의 속도가 양(+)이다. (가)에서 광원에서 발사된 빛은 우주선의 속도에 따라 검출기 p, q, r, s, t 중 한 곳에 도달한다. p와 q, q와 r, r와 s, s와 t 사이 거리는 같다.



(가)



(나)

각각의 시간 $0 \sim t_0$, $t_0 \sim 2t_0$, $2t_0 \sim 3t_0$, $3t_0 \sim 4t_0$ 동안 빛이 도달하는 검출기로 가장 적절한 것은?

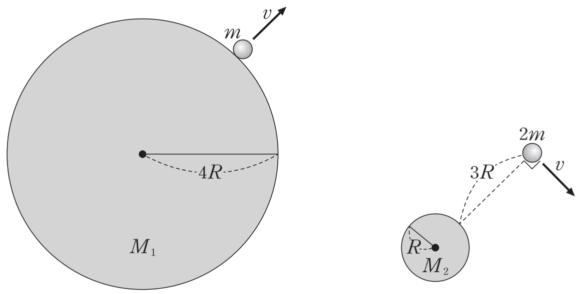
	$0 \sim t_0$	$t_0 \sim 2t_0$	$2t_0 \sim 3t_0$	$3t_0 \sim 4t_0$
①	r	s	p	p
②	r	s	p	t
③	r	q	t	p
④	s	t	p	t
⑤	s	t	q	r

우주선 내부에서 관성력 방향으로 빛의 진행 방향이 휘어지고, 관성력이 클수록 빛은 많이 휘어진다.

질량이 M이고 행성의 중심으로부터 거리가 r인 지점에서의 탈출 속력은 $\sqrt{\frac{2GM}{r}}$이다.

[26027-0081]

09 그림 (가)는 반지름이 $4R$인 행성의 표면에서 표면에 대해 수직 방향으로 질량이 m인 물체를 속력 v로 던지는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 반지름이 R인 행성의 표면으로부터 $3R$ 떨어진 지점에서 질량이 $2m$인 물체를 행성의 중심 방향에 대해 수직 방향으로 속력 v로 던지는 모습을 나타낸 것이다. v는 던지는 위치에서 물체가 행성의 중력을 벗어나 무한히 먼 곳까지 가기 위한 최소 속력이고, v는 (가)와 (나)에서 같다.



(가) (나)

(가)에서 행성의 질량을 M_1, (나)에서 행성의 질량을 M_2라 할 때, $\frac{M_1}{M_2}$은? (단, 물체는 행성에 의한 중력만 작용하고, 물체의 크기는 무시한다.)

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

가림막에 가려진 광원의 빛이 카메라에서 관측된다는 것은 광원에서 발생한 빛이 렌즈를 통과하며 진행 방향이 바뀌었음을 의미한다.

[26027-0082]

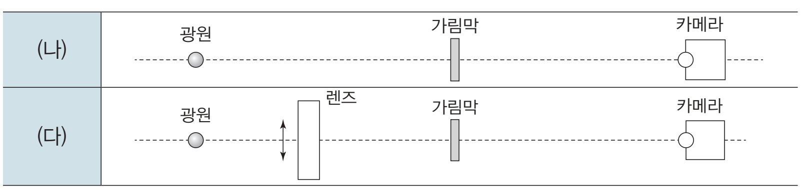
10 다음은 일반 상대성 이론에 따른 빛의 휘어짐을 흉내 내는 실험이다.

[실험 과정]

(가) 광원, 가림막, 카메라를 직선상에 설치한다.

(나) 광원을 켜고 카메라로 광원에서 발생하는 빛을 관찰한다.

(다) 광원과 가림막 사이에서 렌즈의 위치를 변화시키며 (나)를 반복한다.



[실험 결과]

- (나) 광원에서 발생하는 빛이 관측되지 않는다.
- (다) 광원에서 발생하는 빛이 관측된다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. (다)에서 사용하는 렌즈는 오목 렌즈이다.

ㄴ. 카메라에서 관측되는 광원의 위치는 실제 광원의 위치와 일치한다.

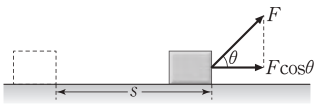
ㄷ. 중력 렌즈 효과에 의해 빛이 휘어짐을 흉내 내는 실험이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 일과 에너지

1 일과 운동 에너지

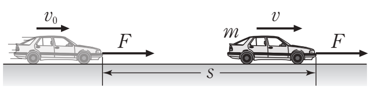
(1) 일: 물체가 일직선을 따라 거리 s만큼 움직이는 동안 크기가 F인 일정한 힘이 운동 방향과 θ의 각을 이루며 작용했을 때, 그 힘이 물체에 한 일은 다음과 같다.



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

(2) 일·운동 에너지 정리

① 일·운동 에너지 정리: 질량 m인 물체에 일정한 알짜 힘(합력) F를 작용하여 힘의 방향으로 거리 s만큼 이동시킬 때, 알짜힘 F가 한 일은 다음과 같이 구한다.



$W=Fs=mas$ …㉠, $2as=v^2-v_0^2$ …㉡

㉡에서 $as=\dfrac{v^2-v_0^2}{2}$이므로 ㉠에 대입하면 W는 다음과 같다.

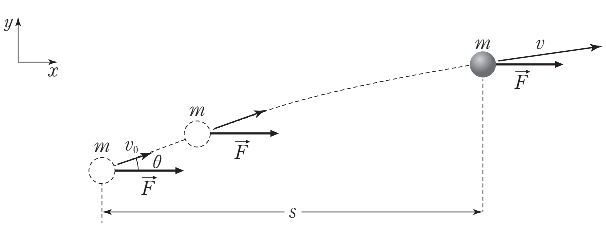
$$W=Fs=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2=\Delta E_\text{k}$$

➡ 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량(ΔE_k)과 같다. 이를 일 · 운동 에너지 정리라고 한다.

② 물체에 작용한 알짜힘의 방향이 물체의 운동 방향과 같으면 물체의 운동 에너지는 증가하고, 알짜힘의 방향이 물체의 운동 방향과 반대이면 물체의 운동 에너지는 감소한다.

과학 돋보기 2차원에서 일 · 운동 에너지 정리

일 · 운동 에너지 정리는 작용하는 힘이 일정하지 않거나 경로가 직선이 아닌 일반적인 경우에도 성립한다. 그림과 같이 xy 평면에서 x축에 대해 θ의 각을 이루며 처음 속력 v_0으로 운동하는 질량 m인 물체에 x축과 나란하게 일정한 알짜힘 $\vec{F}$가 작용할 때, 알짜힘이 물체에 한 일을 구해 보자.



① 물체가 x축 방향으로 거리 s만큼 이동했을 때 속력을 v, 이때 x축 방향의 속도 성분을 v_x, 가속도의 크기를 a라고 하면 x축 방향의 물체의 처음 속도 성분은 $v_0\cos\theta$이므로 등가속도 직선 운동에서 $2as=v_x^2-(v_0\cos\theta)^2$이다.

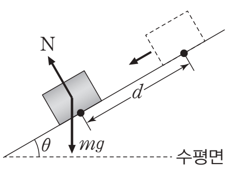
② y축 방향의 속도 성분 v_y는 물체의 이동 거리와 관계없이 $v_0\sin\theta$로 일정하다. 따라서 $v^2=v_x^2+v_y^2=(v_0\cos\theta)^2+2as+(v_0\sin\theta)^2=v_0^2+2as$가 성립한다.

③ 가속도 법칙에서 $a=\dfrac{F}{m}$이므로 ②의 식에 대입하면 $v^2=v_0^2+2\dfrac{F}{m}s$이고, 정리하면 $Fs=\dfrac{1}{2}mv^2-\dfrac{1}{2}mv_0^2$이 되어 2차원에서도 알짜힘이 물체에 한 일이 물체의 운동 에너지 변화량과 같다는 일 · 운동 에너지 정리가 성립함을 알 수 있다.

개념 체크

➲ **일·운동 에너지 정리**: 알짜힘이 한 일만큼 물체의 운동 에너지가 변한다.

[1~2] 그림은 마찰이 없고 경사각이 θ인 빗면을 따라 중력 mg와 빗면이 물체를 받치는 힘 N을 받아 거리 d를 등가속도 운동을 하는 물체의 모습이다.



1. N이 물체에 한 일은 0이다. (○, ×)

2. d만큼 운동하는 동안 물체의 운동 에너지 변화량은 (   )이다.

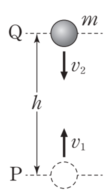
정답
1. ○
2. $mgd\sin\theta$

개념 체크

➔ **중력이 한 일**: 물체가 자유 낙하 할 때, 중력이 물체에 한 일만큼 물체의 운동 에너지가 증가한다.

1. 질량이 m인 물체가 높이 h만큼 자유 낙하 할 때, 중력이 물체에 한 일은 (　　)이고, 물체의 운동 에너지 변화량은 (　　)이다. (단, 중력 가속도는 g이다.)

[2~3] 그림은 질량이 m인 물체가 기준선 P에서 연직 위로 속력 v_1로 던져져 최고점에 도달한 후 P에서 높이 h인 기준선 Q를 아래 방향으로 속력 v_2로 지나는 모습이다.



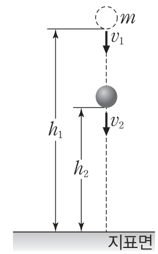
2. 물체가 P에서 Q까지 운동하는 동안, 중력이 물체에 한 일은 $-mgh$이다. (○, ×)

3. 물체가 P에서 Q까지 운동하는 동안, 알짜힘이 물체에 한 일은 $\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$이다. (○, ×)

정답
1. mgh, mgh
2. ○
3. ○

2 힘이 하는 일

(1) 중력이 한 일: 질량 m인 물체가 자유 낙하 할 때 물체에는 크기가 mg인 일정한 중력이 알짜힘으로 작용한다.



① 물체가 자유 낙하 하여 (h_1-h_2)를 이동하는 동안 물체에 작용하는 중력이 한 일은 $W=mg(h_1-h_2)$이다.

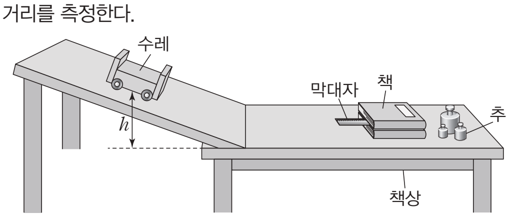
② 지표면으로부터 물체의 높이가 h_1, h_2가 되었을 때 속력을 각각 v_1, v_2라고 하면, 등가속도 운동에서 $2g(h_1-h_2)=v_2^2-v_1^2$이므로 물체에 작용하는 중력이 한 일은 다음과 같다.

$$W=mg(h_1-h_2)=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2=\varDelta E_{\mathrm{k}}$$

➡ 자유 낙하 하는 물체에 작용하는 중력이 한 일은 물체의 운동 에너지 증가량과 같다.

탐구자료 살펴보기 **일과 에너지의 관계 확인**

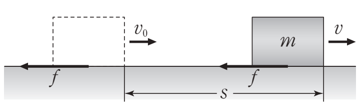
과정
(1) 책상면으로부터 높이 h인 곳에서 수레를 가만히 놓아 막대자에 충돌시켜 막대자가 이동하는 거리를 측정한다.
(2) 수레의 높이 h는 일정하게 하고 수레에 추를 올려 수레의 전체 질량을 증가시킨 후, 수레를 가만히 놓아 막대자에 충돌시켜 막대자가 이동하는 거리를 측정한다.
(3) 수레의 질량은 일정하게 하고 수레의 높이 h를 증가시킨 후, 수레를 가만히 놓아 막대자에 충돌시켜 막대자가 이동하는 거리를 측정한다.



결과
- 수레의 전체 질량이 증가할수록 막대자의 이동 거리가 크다.
- 수레의 높이가 증가할수록 막대자의 이동 거리가 크다.

point
- 수레의 질량과 수레의 높이가 증가할수록 빗면에서 수레에 작용하는 알짜힘이 한 일은 크다.
- 수레에 작용하는 알짜힘이 한 일이 클수록 책상면에서 막대자와 충돌하기 전 수레의 운동 에너지는 크다.
- 책과 막대자 사이의 마찰력이 한 일이 클수록 책상면에서 수레가 막대자와 충돌하는 동안 수레의 운동 에너지 감소량은 크다.

(2) 마찰력이 한 일: 수평면에서 속력 v_0으로 운동하던 질량 m인 물체에 크기가 f로 일정한 마찰력이 알짜힘으로 작용한다.



① 물체가 거리 s만큼 이동하는 동안 마찰력이 한 일은 $W=-fs$이다.

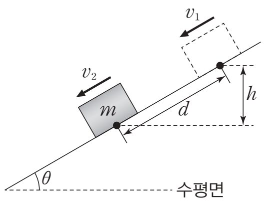
② 물체가 s만큼 이동하였을 때 속력을 v, 가속도의 크기를 a라고 하면, 등가속도 운동에서

$-2as=v^2-v_0^2$이다. $a=\frac{f}{m}$이므로 $W=-fs=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2=\varDelta E_{\mathrm{k}}$이다.

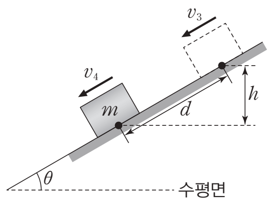
➡ 물체에 작용하는 마찰력이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

탐구자료 살펴보기 **경사면을 따라 운동하는 물체의 일과 에너지**

자료 그림 (가)는 마찰이 없는 빗면을 따라 거리 d를 운동하는 물체를 나타낸 것이고, (나)는 크기가 f인 마찰력이 작용하는 빗면을 따라 거리 d를 운동하는 물체를 나타낸 것이다.



(가)



(나)

분석

	(가)	(나)
알짜힘	$mg\sin\theta$	$mg\sin\theta-f$
알짜힘이 한 일	$mg\sin\theta\times d$ $=mgd\sin\theta=mgh$	$(mg\sin\theta-f)\times d$ $=mgd\sin\theta-fd=mgh-fd$

point

(가)	알짜힘이 한 일은 운동 에너지 변화량과 같으므로 $mgh=\frac{1}{2}mv_2^{\,2}-\frac{1}{2}mv_1^{\,2}=\varDelta E_{\mathrm{k}}$이다. ➡ 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 운동 에너지 증가량과 같으므로 역학적 에너지가 보존된다.
(나)	알짜힘이 한 일은 운동 에너지 변화량과 같으므로 $mgh-fd=\frac{1}{2}mv_4^{\,2}-\frac{1}{2}mv_3^{\,2}=\varDelta E_{\mathrm{k}}$이고, $-fd=\varDelta E_{\mathrm{k}}-mgh$이다. • $v_4>v_3$일 때: 마찰력이 한 일은 운동 에너지 증가량과 중력 퍼텐셜 에너지 감소량의 차와 같다. • $v_4<v_3$일 때: 마찰력이 한 일은 운동 에너지 감소량과 중력 퍼텐셜 에너지 감소량의 합과 같다. • $v_4=v_3$일 때: 마찰력이 한 일은 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같다. ➡ 마찰력이 한 일은 물체의 역학적 에너지 감소량과 같다.

3 포물선 운동과 역학적 에너지

(1) 포물선 운동을 하는 물체의 역학적 에너지: 포물선 운동을 하는 물체는 운동하는 동안 매 순간의 역학적 에너지가 같다.

① 발사 지점에서 역학적 에너지 E_0: 수평면에서 질량 m인 물체를 속력 v_0, 발사 각도 θ로 발사하여 물체가 포물선 운동을 한다고 하자. 물체를 발사한 수평면을 중력 퍼텐셜 에너지의 기준면으로 하면, 발사 지점에서 물체의 역학적 에너지(E_0)는 다음과 같다.

$$E_0=K_0+U_0=\frac{1}{2}mv_0^{\,2}+0=\frac{1}{2}m(v_{0x}^{\,2}+v_{0y}^{\,2})$$

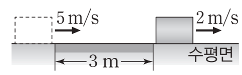
② 임의의 시간 t일 때 운동 에너지 $K(t)$: 시간 t일 때 속도의 수평 방향 성분을 v_x, 연직 방향 성분을 v_y라고 할 때 v_x, v_y는 각각 다음과 같다.

$$v_x=v_{0x}=v_0\cos\theta,\ v_y=v_{0y}-gt=v_0\sin\theta-gt$$

개념 체크

➲ **마찰력이 한 일**: 물체에 작용하는 마찰력이 알짜힘일 때, 마찰력이 물체에 한 일만큼 물체의 운동 에너지가 변한다.

[1~2] 그림은 수평면에서 속력 $5\ \mathrm{m/s}$로 직선 운동을 하던 질량이 $2\ \mathrm{kg}$인 물체가 거리가 $3\ \mathrm{m}$이며 일정한 크기의 마찰력이 작용하는 구간을 통과한 후 $2\ \mathrm{m/s}$로 직선 운동을 하는 모습이다. (단, 물체의 크기, 공기 저항은 무시한다.)



1. 마찰력이 하는 일의 양은 (　　) J이다.

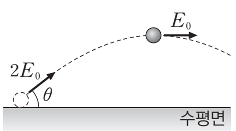
2. 마찰력의 크기는 (　　) N이다.

정답
1. 21
2. 7

개념 체크

➔ 포물선 운동을 하는 물체의 역학적 에너지: 포물선 운동을 하는 물체의 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지의 합은 위치에 관계없이 일정하다.

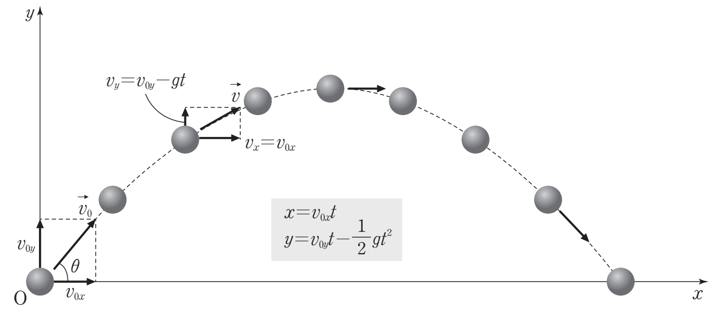
[1~2] 그림은 수평면과 θ의 각을 이루며 운동 에너지 $2E_0$으로 던져진 물체가 포물선 운동을 하여 최고점에서 운동 에너지가 E_0인 모습을 나타낸 것이다. (단, 물체의 크기는 무시한다.)



1. 물체가 수평면에서 최고점까지 운동하는 동안 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 (　　)이다.

2. θ는 (　　)°이다.

정답
1. E_0
2. 45



따라서 물체의 운동 에너지 $K(t)$는 다음과 같다.

$$K(t)=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m(v_x{}^2+v_y{}^2)=\frac{1}{2}m\{(v_0\cos\theta)^2+(v_0\sin\theta-gt)^2\}$$

③ 임의의 시간 t일 때 중력 퍼텐셜 에너지 $U(t)$: 시간 t일 때 연직 방향 변위는 $y=(v_0\sin\theta)t-\frac{1}{2}gt^2$이고, 중력 퍼텐셜 에너지 $U(t)$는 연직 방향의 변위에만 의존하므로 $U(t)$는 다음과 같다.

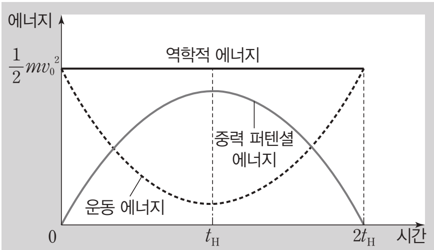
$$U(t)=mgy=mg\{(v_0\sin\theta)t-\frac{1}{2}gt^2\}$$

④ 임의의 시간 t일 때 역학적 에너지 $E(t)$: 시간 t일 때 물체의 역학적 에너지 $E(t)$는 운동 에너지 $K(t)$와 중력 퍼텐셜 에너지 $U(t)$의 합으로 주어진다.

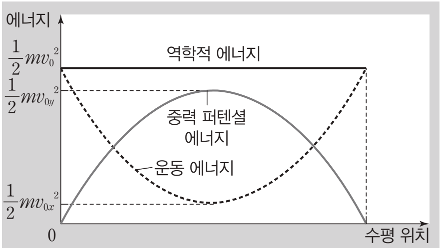
$$E(t)=K(t)+U(t)=\frac{1}{2}mv^2+mgy$$
$$=\frac{1}{2}m\{(v_0\cos\theta)^2+(v_0\sin\theta-gt)^2\}+mg\{(v_0\sin\theta)t-\frac{1}{2}gt^2\}$$
$$=\frac{1}{2}mv_0{}^2=E_0$$

➡ 수평면에서 발사하는 순간의 운동 에너지와 같고, 시간에 의존하지 않는 상수이다. 따라서 포물선 운동에서 역학적 에너지는 보존된다.

(2) 포물선 운동의 에너지-시간 그래프와 에너지-수평 위치 그래프



에너지-시간 그래프



에너지-수평 위치 그래프

탐구자료 살펴보기 포물선 운동을 하는 물체의 역학적 에너지

과정 (1) 질량이 100 g인 물체를 수평면과 30°의 각을 이루며 10 m/s의 속력으로 던지고 0.1초 간격으로 다중섬광사진을 찍는다.
(2) 사진을 분석하여 수평면으로부터 물체의 높이, 수평 방향 속도 크기 v_x, 연직 방향 속도 크기 v_y를 구한다.
(3) 물체의 중력 퍼텐셜 에너지, 운동 에너지, 역학적 에너지를 구한다.

시간(초) 0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0

결과 (2)의 결과

시간(s)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
높이(m)	0	0.45	0.80	1.05	1.20	1.25	1.20	1.05	0.80
v_x(m/s)	$5\sqrt{3}$	$5\sqrt{3}$	$5\sqrt{3}$	$5\sqrt{3}$	$5\sqrt{3}$	$5\sqrt{3}$	$5\sqrt{3}$	$5\sqrt{3}$	$5\sqrt{3}$
v_y(m/s)	5	4	3	2	1	0	1	2	3

(3)의 결과 (단, 중력 가속도는 10 m/s²이다.)

시간(s)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
중력 퍼텐셜 에너지(J)	0	0.45	0.8	1.05	1.20	1.25	1.20	1.05	0.8
운동 에너지(J)	5	4.55	4.20	3.95	3.80	3.75	3.80	3.95	4.20
역학적 에너지(J)	5	5	5	5	5	5	5	5	5

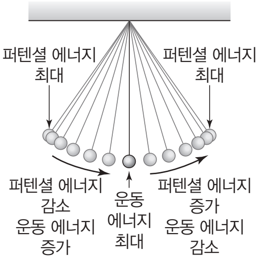
point
- 시간에 따라 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 최고점까지 증가하다가 최고점 이후에 감소한다.
- 시간에 따라 물체의 운동 에너지는 최고점까지 감소하다가 최고점 이후에 증가한다.
- 시간에 따라 역학적 에너지는 일정하다.

4 단진자와 역학적 에너지

(1) 단진자의 역학적 에너지

① 단진자 운동과 역학적 에너지: 질량을 무시할 수 있는 줄에 작은 물체를 매달고 연직 방향에 대해 줄을 기울였다가 놓으면 물체가 연직면에서 왕복 운동하는데, 이를 단진자라고 한다. 공기 저항과 마찰을 무시하면 단진자의 역학적 에너지는 보존된다.

➡ 그림과 같이 진자가 출발점에서 진동의 중심을 향해 아래 방향으로 운동할 때 운동 에너지의 증가량은 중력 퍼텐셜 에너지의 감소량과 같고, 진동의 중심을 지나 출발점과 높이가 같은 지점에 도달하는 동안 운동 에너지의 감소량은 중력 퍼텐셜 에너지의 증가량과 같다.



- 진동의 중심(최저점): 복원력과 수평 방향으로의 가속도가 0이고, 속력은 최대이다.
  ➡ 속력이 최대이므로 운동 에너지는 최대이고, 중력 퍼텐셜 에너지는 최소이다.
- 진동의 양 끝(최고점): 복원력과 수평 방향으로의 가속도의 크기가 최대이고, 속력은 0이다.
  ➡ 속력이 0이므로 운동 에너지는 0이고, 중력 퍼텐셜 에너지는 최대이다.

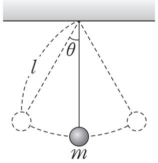
개념 체크

➲ **복원력:** 계가 평형점으로부터 벗어났을 때 원래의 상태로 되돌아가려는 힘이다.

➲ **단진자 운동에서의 역학적 에너지:** 단진자 운동에서 물체가 최고점에서 출발하는 순간에 중력 퍼텐셜 에너지가 최대이고, 운동 에너지는 0이다. 물체가 최저점을 지나는 순간에는 운동 에너지가 최대이고 중력 퍼텐셜 에너지는 최소가 된다.

1. 단진자 운동하는 물체가 최고점에서 최저점으로 운동하는 동안 물체의 역학적 에너지는 일정하다. (○ , ×)

[2~3] 그림과 같이 길이가 l인 실에 연결된 질량이 m인 물체를 연직 방향과 실이 이루는 각을 θ로 하여 가만히 놓았더니 물체가 단진동을 한다. (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기와 실의 질량은 무시한다.)



2. 최저점에서 물체의 운동 에너지는 (   )이다.

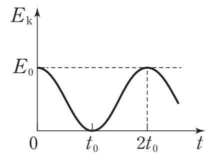
3. 물체가 최고점에서 최저점으로 운동하는 동안 실이 물체를 당기는 힘이 하는 일은 0이다. (○ , ×)

정답
1. ○
2. $mgl(1-\cos\theta)$
3. ○

개념 체크

➔ 진폭 θ가 충분히 작아야만 단진자가 단진동을 하므로 단진동하는 단진자라고 상황이 제시되었을 경우, 별도의 언급이 없어도 진폭 θ가 충분히 작다고 전제한다.

[1~3] 그림은 길이가 l인 실에 연결되어 단진자 운동을 하는 물체의 운동 에너지 E_k를 시간 t에 따라 나타낸 것이다.

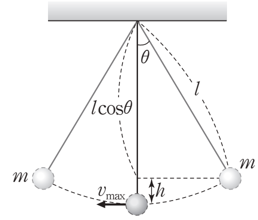


1. 최고점과 최저점의 중력 퍼텐셜 에너지 차는 (   )이다.

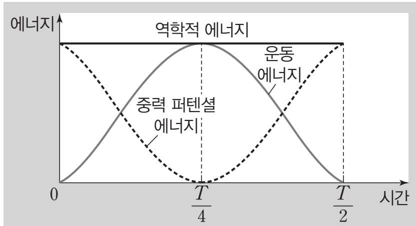
2. 단진자의 주기는 (   )이다.

3. 실의 길이만을 $2l$로 바꾸면 단진자의 주기는 (   )이다.

② 최저점에서 진자의 속력 v_{max}: 그림과 같이 길이 l, 질량 m인 단진자를 진폭 θ로 진동시킬 때, 최저점에서 중력 퍼텐셜 에너지를 0으로 하면, 최저점과 최고점의 높이 차가 h이므로 최고점에서 역학적 에너지는 $mgh=mgl(1-\cos\theta)$이고, 최저점에서 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}mv_{max}{}^2$이므로 $\frac{1}{2}mv_{max}{}^2=mgl(1-\cos\theta)$에서 $v_{max}=\sqrt{2gl(1-\cos\theta)}$이다.



(2) 단진자 운동의 에너지-시간 그래프: 진자의 최저점에서 진자의 중력 퍼텐셜 에너지를 0이라고 하면, 주기가 T인 단진자에 대해 시간에 따른 역학적 에너지는 그림과 같다.



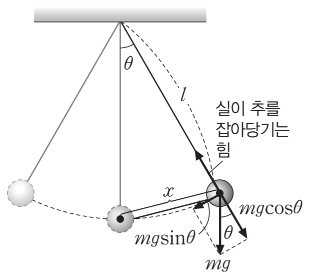
(3) 단진동하는 단진자의 주기: 진폭 θ가 매우 작으면 단진자의 주기는 진자의 길이에만 의존한다.

① 추에 작용하는 힘: θ가 매우 작으므로 그림에서 $\sin\theta\approx\frac{x}{l}$이다.

추에 작용하는 접선 방향의 힘은 $F=-mg\sin\theta\approx-\frac{mg}{l}x$이고, (−)부호는 복원력이 변위와 반대 방향임을 의미한다.

② 진자의 주기(T): $\omega^2=\frac{g}{l}$, $\omega=\frac{2\pi}{T}$이므로 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$이다.

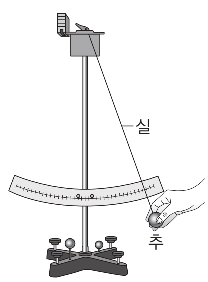
③ 진자의 등시성: 단진자의 주기는 추의 질량이나 진폭에 관계없이 진자의 길이에만 관계가 있다.



탐구자료 살펴보기 단진자의 주기 측정

과정

(1) 추를 매단 실의 끝을 스탠드에 고정하여 추가 진동할 수 있게 장치한다.
(2) 추가 10회 왕복하는 데 걸린 시간으로부터 진자의 주기를 측정한다.
(3) 추의 질량을 0.3 kg, 진폭을 θ로 하고 진자의 길이를 각각 1.0 m, 0.5 m, 0.25 m로 바꾸어 가면서 과정 (2)를 반복한다.
(4) 추의 질량을 0.3 kg, 진자의 길이를 1.0 m로 하고 진폭을 각각 $\frac{1}{2}\theta$, $\frac{3}{2}\theta$, 3θ로 바꾸어 가면서 과정 (2)를 반복한다.
(5) 진자의 길이를 1.0 m, 진폭을 θ로 하고 추의 질량을 각각 0.1 kg, 0.2 kg, 0.3 kg으로 바꾸어 가면서 과정 (2)를 반복한다.



결과

(3)의 결과

진자의 길이	주기
1.0 m	2.01 s
0.5 m	1.42 s
0.25 m	1.00 s

(4)의 결과

진폭	주기
$\frac{1}{2}\theta$	2.00 s
$\frac{3}{2}\theta$	2.01 s
3θ	2.02 s

(5)의 결과

추의 질량	주기
0.1 kg	1.99 s
0.2 kg	2.00 s
0.3 kg	2.01 s

point

• 단진자 주기 식에 의한 예상값 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$과 실험 측정값이 거의 일치한다.
• 진자의 길이가 길어질수록 진자의 주기는 길어진다.
• 진자의 주기는 진폭과 질량에 관계없이 거의 일정하다.

정답
1. E_0
2. $4t_0$
3. $4\sqrt{2}t_0$

5 열과 일의 전환

(1) 온도와 열

① **온도**: 물체의 차고 더운 정도를 수치로 나타낸 것을 온도라고 한다. 물체를 구성하고 있는 입자들의 평균 운동 에너지가 클수록 물체의 온도가 높다.

② **열**: 에너지의 한 형태로, 물체 사이의 온도 차에 의해 이동하는 에너지이다.
- 열은 자연적으로 고온에서 저온으로 이동한다.
- 고온의 물체에서 저온의 물체로 이동한 열에너지의 양을 열량이라고 한다.
- 열량의 단위는 kcal 또는 J을 사용한다.

③ 비열과 열용량
- 비열(c): 어떤 물질 1 kg의 온도를 1 K 높이는 데 필요한 열량을 의미한다.
  - 대체로 액체의 비열은 크고, 고체의 비열은 작다.
  - 비열의 단위 : J/kg·K, J/kg·℃, kcal/kg·K, kcal/kg·℃

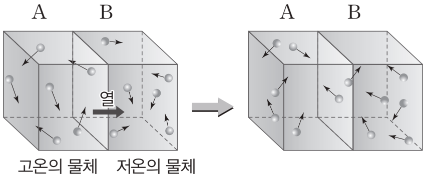
금속	비열(kcal/kg·℃)	비금속	비열(kcal/kg·℃)
알루미늄	0.215	물	1.00
철	0.107	바닷물	0.93
구리	0.092	에틸 알코올	0.58
은	0.056	얼음(−10 ℃)	0.53
수은	0.033	유리	0.20
납	0.031	실리콘	0.17

실온에서 여러 가지 물질의 비열 (얼음 제외)

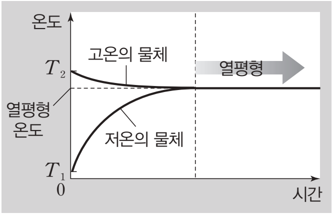
- 열용량(C): 어떤 물체의 온도를 1 K 높이는 데 필요한 열량을 의미한다.
  - 질량 m인 물체의 열용량 C와 비열 c의 관계는 다음과 같다. ➡ $C=cm$
  - 열용량의 단위 : J/K, J/℃, kcal/K, kcal/℃

④ 열평형
- 열평형 상태: 온도가 서로 다른 두 물체 A, B를 접촉시켜 놓으면 얼마 후 A, B의 온도가 같아지는데, 이때 A, B는 열평형 상태에 도달했다고 한다. 이는 접촉면을 통해 고온인 물체 A에서 저온인 물체 B로 열에너지가 이동하여 평형 상태가 되기 때문이다.
- 열량 보존 법칙: 열평형 상태에 도달할 때까지 고온의 물체 A가 잃은 열량은 저온의 물체 B가 얻은 열량과 같은데, 이를 열량 보존 법칙이라고 한다. 이때 물체가 서로 주고받은 열량 Q는 다음과 같다.

$$Q=cm\Delta T=C\Delta T \ (c\text{: 비열, } m\text{: 질량, } C\text{: 열용량, } \Delta T\text{: 온도 변화량})$$



분자 운동과 열의 이동



열의 이동과 열평형

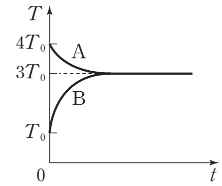
개념 체크

➜ **비열**: 어떤 물질 1 kg의 온도를 1 K 높이는 데 필요한 열량이다.
➜ **열용량**: 어떤 물체의 온도를 1 K 높이는 데 필요한 열량이다.

1. 열은 에너지의 한 형태로 자연적으로 고온에서 저온으로 이동한다. (○ , ×)

2. (　　)은 어떤 물질 1 kg의 온도를 1 ℃ 높이는 데 필요한 열량이다.

[3~4] 그림은 온도가 $4T_0$인 물체 A와 온도가 T_0인 물체 B를 접촉시켰을 때 두 물체의 온도 T를 시간 t에 따라 나타낸 것이다.



3. 열용량은 A가 B보다 크다. (○ , ×)

4. A와 B의 온도가 같아진 상태를 (　　) 상태라고 한다.

정답
1. ○
2. 비열
3. ○
4. 열평형

개념 체크

➔ **내부 에너지:** 물체를 구성하는 입자들의 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 총합이다.

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

1. 열이 일로 전환되는 예로 옳은 것을 모두 고르시오.

ㄱ. 망치로 못을 내리치면 망치와 못의 온도가 올라간다.
ㄴ. 찌그러진 탁구공을 뜨거운 물에 넣으면 탁구공이 원래 모양으로 돌아온다.
ㄷ. 자동차의 열기관이 작동하여 자동차가 움직인다.

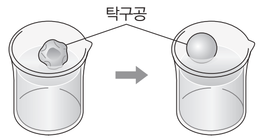
2. 물체를 구성하는 입자들의 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 총합을 (　　) 에너지라고 한다.

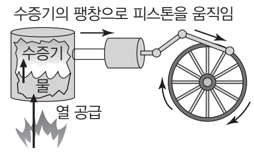
정답
1. ㄴ, ㄷ
2. 내부

(2) 열과 일의 전환

① 열이 일로 전환되는 예

- 주전자에 물을 담고 끓일 때 주전자 뚜껑이 달그락거린다. ➡ 물이 끓을 때 발생된 수증기의 열에너지가 주전자의 뚜껑을 밀어 올리는 일을 하여 뚜껑이 달그락거린다.
- 찌그러진 탁구공을 뜨거운 물속에 넣으면 탁구공이 원래 모양으로 돌아온다. ➡ 뜨거운 물에 의해 탁구공 안에 있는 기체는 열을 공급받고 이로 인해 분자 운동이 활발해진 기체가 탁구공 안쪽 표면을 밀어내는 일을 하여 원래 모양으로 펴진다.
- 증기 기관, 자동차, 제트기의 엔진과 같이 열기관에서 열이 일로 전환된다.





② 일이 열로 전환되는 예

- 사포로 물체를 문지를 때 열이 발생된다.
- 망치로 못을 내리치면 망치와 못의 온도가 올라간다.
- 모래가 들어 있는 통을 여러 번 흔들면 모래의 온도가 올라간다.
- 추운 겨울에 손을 비비면 마찰에 의해 열이 발생하여 손이 따뜻해진다.

(3) 내부 에너지

① 내부 에너지(U): 물체를 구성하는 입자들의 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 총합이다.

② 일과 내부 에너지의 관계

- 망치로 못을 내리칠 때 망치와 못의 온도가 올라가는 까닭: 망치와 못의 충돌로 인해 망치와 못을 구성하는 분자들의 운동이 활발해지면서 내부 에너지가 증가한 것이므로 망치의 역학적 에너지가 내부 에너지로 전환한 것이다.
- 모래가 들어 있는 통을 여러 번 흔들었을 때 모래의 온도가 올라가는 까닭: 모래 사이의 충돌과 마찰로 인해 모래의 내부 에너지가 증가한 것이므로 통의 흔들림에 의한 역학적 에너지가 내부 에너지로 전환한 것이다.

③ 이상 기체의 내부 에너지: 이상 기체의 경우 분자들 사이의 상호 작용이 없으므로 이상 기체의 내부 에너지는 분자들의 운동 에너지의 총합과 같다.

(4) 열역학 제1법칙

① 외부에서 계에 가해 준 열량(Q)은 계의 내부 에너지의 변화량($\varDelta U$)과 계가 외부에 해 준 일(W)의 합과 같다.

$$Q=\varDelta U+W$$

② 열역학 제1법칙은 역학적 에너지와 열을 포함하는 에너지 보존 법칙의 또 다른 표현이다.

③ 열역학 제1법칙에서 부호의 의미: 계가 일을 받으면 $W<0$, 일을 하면 $W>0$, 주위로 열을 방출하면 $Q<0$, 주위로부터 열을 흡수하면 $Q>0$이다.

물리량	(+)	(−)
Q	열 흡수	열 방출
$\varDelta U$	내부 에너지 증가	내부 에너지 감소
W	외부에 일을 함	외부에서 일을 받음

6 열의 일당량

(1) 줄의 실험 장치와 에너지 전환

① **줄의 실험 장치:** 영국의 물리학자인 줄(Joule)은 외부와 열의 이동이 없도록 차단한 용기에 있는 물에 역학적으로 일을 해 주었을 때 물의 온도가 변하는 것을 보여줌으로써 열이 에너지의 한 형태라는 것을 증명하였다.

② **줄의 실험 장치에서 에너지 전환:** 추의 중력 퍼텐셜 에너지 → 회전 날개의 운동 에너지 → 회전 날개와 물의 마찰로 인한 열에너지

(2) 열의 일당량 J: 추가 낙하하는 동안 중력이 추에 한 일 W와 열량계 속에서 회전 날개와 물의 마찰로 발생한 열량 Q 사이에는 다음 관계가 성립한다.

$$W=JQ$$

① 비례 상수 J를 열의 일당량이라고 하며, 그 값은 $J=4.2\times10^3$ J/kcal이다.

② 1 kcal의 열에너지가 4.2 kJ의 역학적 에너지에 해당함을 의미한다.

개념 체크

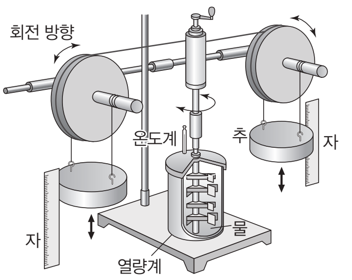
➲ **열의 일당량:** 열 1 cal에 해당하는 일의 양은 4.2 J이다.

1. 줄의 실험 장치는 열이 에너지의 한 형태라는 것을 증명하였다. (○ , ×)

2. 4.2 kJ의 일로 1 kcal의 열에너지를 만들 수 있다. (○ , ×)

탐구자료 살펴보기 줄의 실험과 열의 일당량

자료 1843년 줄은 추가 낙하하는 동안 중력이 추에 해 준 일과, 그로 인해 열량계 속에 들어 있는 회전 날개가 회전하면서 물과 마찰에 의해 발생하는 열 사이의 관계를 측정하였다.



질량이 15 kg인 추 2개를 1.5 m만큼 낙하시키는 실험을 20회 반복하였더니 질량이 5 kg인 물의 온도가 약 0.42 ℃ 높아졌을 때, 추가 낙하하는 동안 감소한 역학적 에너지와 마찰에 의해 발생한 열량을 구해 보자. (단, 중력 가속도는 9.8 m/s^2, 물의 비열 c는 1 kcal/kg·℃이다.)

- 추 1개의 질량(M): 15 kg
- 추가 낙하한 거리(h): 1.5 m
- 추의 낙하 횟수(N): 20회
- 물의 질량(m): 5 kg
- 물의 온도 변화(ΔT): 0.42 ℃

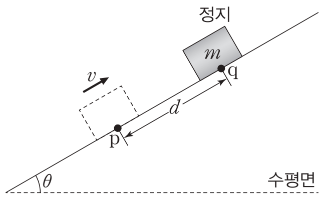
분석
- 추 2개가 1번 낙하하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $\Delta U=2Mgh=441$(J)이다.
- 추 2개가 20번 낙하하는 동안 감소한 역학적 에너지는 $\Delta E=20\times\Delta U=8820$(J)이다.
- 회전 날개와 물의 마찰로 인해 발생한 열량(=물이 얻은 열량)은 $Q=cm\Delta T=2.1$(kcal)이다.

point
- 추가 등속도로 낙하하는 동안 감소한 역학적 에너지는 중력이 한 일과 같고, 중력이 추에 한 일 W는 열량계에서 회전 날개와 물의 마찰로 인해 발생한 열량 Q와 같다.
- 1 kcal의 열량에 해당하는 역학적 에너지는 4.2×10^3 J이다.

정답
1. ○
2. ○

[26027-0083]

01 그림은 경사각이 θ이고 마찰이 없는 빗면을 따라 등가속도 운동을 하는 질량이 m인 물체가 빗면의 점 p를 속력 v로 통과하여 빗면의 점 q에서 속력이 0이 되는 모습을 나타낸 것이다. p와 q 사이의 거리는 d이다.



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

보기

ㄱ. p에서 물체의 운동 에너지는 $mgd\sin\theta$이다.

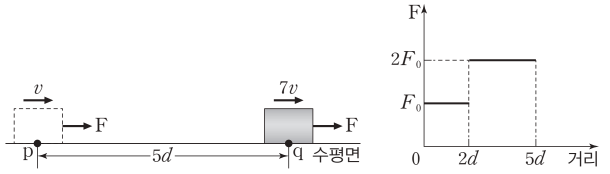
ㄴ. p와 q에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 차는 $\frac{1}{2}mv^2$이다.

ㄷ. p에서 q까지 이동하는 동안 빗면이 물체를 떠받치는 힘이 물체에 한 일은 $mgd\cos\theta$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0084]

02 그림 (가)는 질량이 m인 물체가 수평 방향의 힘 F를 받아 운동하는 모습을 나타낸 것으로, 거리가 $5d$인 점 p와 q를 각각 속력 v, $7v$로 통과한다. 그림 (나)는 (가)의 물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 F를 이동 거리에 따라 나타낸 것이다.



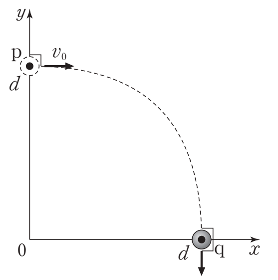
(가) (나)

v는? (단, 물체의 크기, 공기 저항과 모든 마찰은 무시한다.)

① $\sqrt{\frac{F_0d}{4m}}$ ② $\sqrt{\frac{F_0d}{3m}}$ ③ $\sqrt{\frac{F_0d}{2m}}$ ④ $\sqrt{\frac{2F_0d}{3m}}$ ⑤ $\sqrt{\frac{F_0d}{m}}$

[26027-0085]

03 그림과 같이 xy 평면에서 y축상의 $y=d$인 점 p에서 $+x$방향으로 속력 v_0으로 발사된 물체가 등가속도 운동을 하여 x축상의 $x=d$인 점 q를 $-y$방향으로 지난다. 물체의 질량은 m이다.



물체가 p에서 q까지 운동하는 동안, 물체에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

보기

ㄱ. 운동 시간은 $\frac{2d}{v_0}$이다.

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

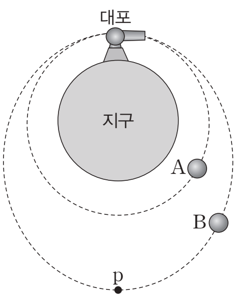
ㄷ. 알짜힘이 한 일은 mv_0^2이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0086]

04 다음은 뉴턴의 사고 실험에 대한 내용이다.

그림은 지구의 지표면에 고정된 대포에서 질량이 같은 대포알 A, B를 발사하는 모습이다. A는 지구를 중심으로 원 궤도를, B는 지구를 한 초점으로 타원 궤도를 따라 운동한다. 점 p는 B가 지구로부터 가장 먼 지점이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B에는 지구에 의한 중력만 작용한다.)

보기

ㄱ. A가 원 궤도를 운동하는 동안 A에 작용하는 중력이 A에 하는 일은 0이다.

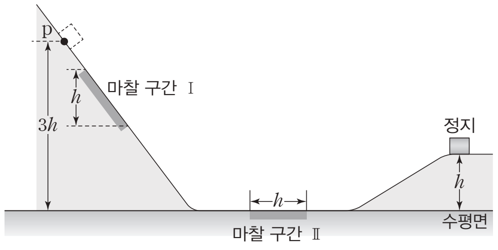
ㄴ. 대포에서 p로 가는 동안 B의 운동 에너지는 감소한다.

ㄷ. 역학적 에너지는 B가 A보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0087]

05 그림과 같이 높이 $3h$인 빗면의 점 p에서 가만히 놓은 물체가 마찰 구간 Ⅰ, Ⅱ를 차례로 지나 높이 h인 지점에서 정지한다. Ⅰ에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 운동 에너지 증가량의 3배이며, Ⅱ에서 물체에 작용하는 마찰력의 크기는 일정하다. Ⅰ의 높이 차와 Ⅱ의 수평 거리는 h로 같다.

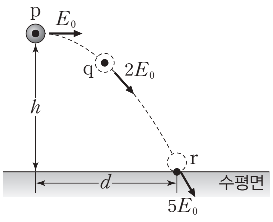


Ⅱ에서 물체의 가속도의 크기는? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.)

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

[26027-0088]

06 그림은 수평면으로부터 높이 h인 점 p에서 수평 방향으로 던져진 물체가 포물선 운동을 하여 점 q를 지나 수평면상의 점 r에 도달하는 모습을 나타낸 것이다. p, q, r에서 물체의 운동 에너지는 각각 E_0, $2E_0$, $5E_0$이고, 물체의 수평 이동 거리는 d이다.



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

〈보기〉

ㄱ. p에서 r까지 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $4E_0$이다.

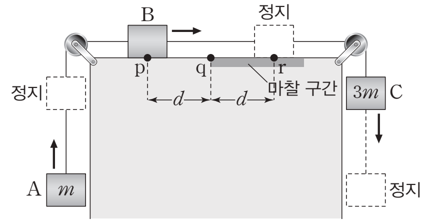
ㄴ. p와 q의 높이 차는 $\frac{h}{4}$이다.

ㄷ. $d=h$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0089]

07 그림은 물체 A, B, C를 실로 연결하여 수평면의 점 p에서 B를 가만히 놓으면 p에서 점 q까지 등가속도 운동을 하고, q에서 점 r까지 일정한 크기의 마찰력이 작용하여 r에 정지하는 모습을 나타낸 것이다. B가 p에서 q까지 운동하는 동안 C의 역학적 에너지 감소량은 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량의 $\frac{9}{5}$배이다. A와 C의 질량은 각각 m, $3m$이고, p에서 q, q에서 r 사이의 거리는 d로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 실의 질량과 물체의 크기, 마찰 구간을 제외한 모든 마찰은 무시한다.)

〈보기〉

ㄱ. B의 질량은 m이다.

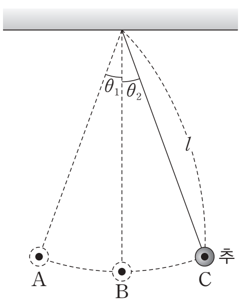
ㄴ. 마찰력의 크기는 $3mg$이다.

ㄷ. B가 q에서 r까지 운동하는 동안 A에 연결된 실이 A를 당기는 힘이 한 일은 $\frac{6}{5}mgd$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0090]

08 그림은 길이가 l인 실에 연결된 추를 점 A에서 가만히 놓을 때 최저점 B를 지나 C에서 속력이 0이 된 순간의 모습을 나타낸 것이다. 실이 연직선과 이루는 각은 A와 C에서 각각 θ_1, θ_2이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실의 질량과 추의 크기, 공기 저항 및 모든 마찰은 무시한다.)

〈보기〉

ㄱ. $\theta_1=\theta_2$이다.

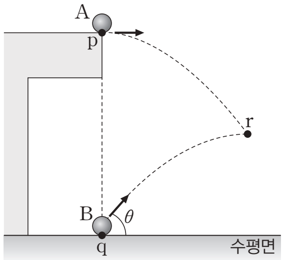
ㄴ. A에서 B까지 추는 등가속도 운동을 한다.

ㄷ. 추의 운동 에너지는 B에서 최대이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0091]

09 그림과 같이 동일 연직선 상의 점 p, q에서 질량이 m으로 같은 물체 A, B가 동시에 던져져 각각 포물선 운동을 하여 점 r에서 만난다. r에 도달할 때 B의 속도의 연직 성분은 0이다.



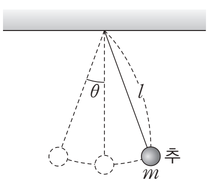
p에서 수평 방향으로 던져지는 A의 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지는 각각 E_0, $6E_0$이고, q에서 수평면과 각 θ를 이루며 던져지는 B의 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지는 각각 $4E_0$, 0이다.
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기는 무시한다.)

보기
ㄱ. $\tan\theta=2$이다.
ㄴ. r의 높이는 $\dfrac{3E_0}{mg}$이다.
ㄷ. r에서 만나는 순간 운동 에너지는 A가 B의 3배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0092]

10 그림은 길이가 l인 실에 매달린 질량이 m인 추가 단진동하는 모습을 나타낸 것으로 최고점에서 실이 연직선과 이루는 각은 θ이다. 표는 l, m, θ를 변화시킬 때 주기 T를 측정한 결과를 나타낸 것이다.



실험	l	m	θ	T
Ⅰ	l_0	m_0	θ_0	T_1
Ⅱ	$2l_0$	m_0	θ_0	T_2
Ⅲ	l_0	$2m_0$	$2\theta_0$	T_3
Ⅳ	$2l_0$	$2m_0$	$2\theta_0$	T_4

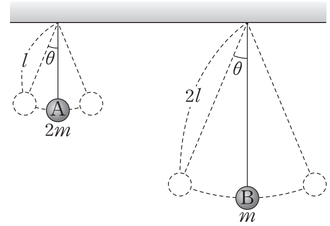
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실의 질량과 추의 크기는 무시한다.)

보기
ㄱ. $T_1=T_3<T_2=T_4$이다.
ㄴ. 추의 최대 속력은 Ⅰ과 Ⅱ에서가 같다.
ㄷ. 추에 작용하는 알짜힘의 최대 크기는 Ⅳ에서가 Ⅲ에서보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0093]

11 그림은 길이가 각각 l, $2l$인 실에 추 A, B가 연결되어 단진동하는 모습을 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각 $2m$, m이고, 최고점에서 실이 연직선과 이루는 각은 θ로 같다.



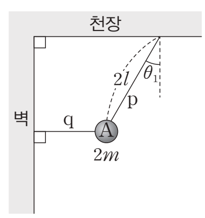
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실의 질량과 추의 크기는 무시한다.)

보기
ㄱ. 추의 주기는 A와 B가 같다.
ㄴ. 최고점에서 최저점으로 이동할 때 중력 퍼텐셜 에너지 변화량은 A와 B가 같다.
ㄷ. 최저점에서의 속력은 B가 A의 $\sqrt{2}$배이다.

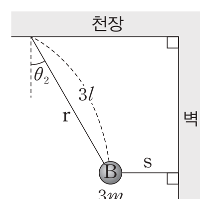
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0094]

12 그림 (가)와 (나)는 질량이 각각 $2m$, $3m$인 물체 A, B가 천장과 벽에 실 p, q, r, s로 연결되어 정지한 모습을 나타낸 것이다. p와 r의 길이는 각각 $2l$, $3l$이고, p와 r가 연직선과 이루는 각은 각각 θ_1, θ_2이다. q가 A를 당기는 힘의 크기는 s가 B를 당기는 힘의 크기의 $\dfrac{2}{3}$배이다.



(가)



(나)

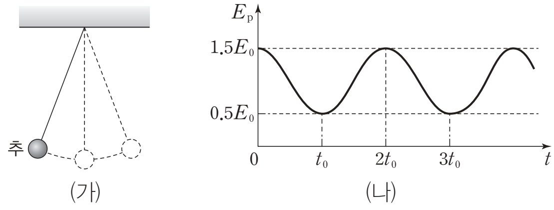
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실의 질량과 물체의 크기는 무시한다.)

보기
ㄱ. $\theta_1<\theta_2$이다.
ㄴ. p가 A를 당기는 힘의 크기는 r가 B를 당기는 힘의 크기의 $\dfrac{2}{3}$배이다.
ㄷ. q와 s를 끊었을 때 단진동하는 A, B의 최대 속력은 B가 A보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0095]

13 그림 (가)는 실에 매달린 추가 단진동하는 모습을 나타낸 것이고, (나)는 (가)에서 추의 중력 퍼텐셜 에너지 E_p를 시간 t에 따라 나타낸 것이다.



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

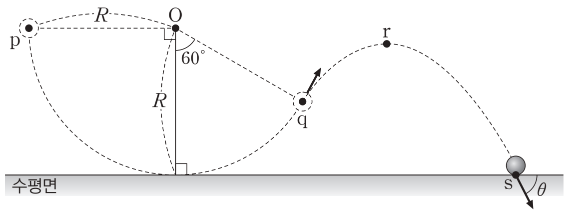
보기

ㄱ. 추의 주기는 $2t_0$이다.
ㄴ. 추의 최대 운동 에너지는 E_0이다.
ㄷ. $t=2t_0$일 때 추에 작용하는 알짜힘은 0이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0096]

14 그림과 같이 수평면에서 높이가 R인 점 O에 고정된 길이가 R인 실에 연결된 물체를 O의 연직선과 90°를 이루는 점 p에서 가만히 놓았을 때, O를 지나는 연직선과 60°를 이루는 점 q에서 실이 끊어져 물체가 포물선 운동을 하여 최고점 r를 지나 수평면의 점 s에 수평면과 각 θ를 이루며 도달한다.



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

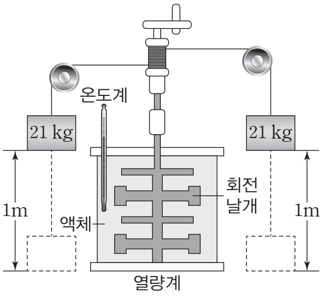
보기

ㄱ. 물체의 운동 에너지는 q에서가 r에서의 2배이다.
ㄴ. 수평면으로부터 r의 높이는 $\frac{7}{8}R$이다.
ㄷ. $\tan\theta=\sqrt{7}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0097]

15 그림과 같이 줄의 실험 장치에 액체 1 kg을 넣고 질량이 각각 21 kg인 추 두 개를 등속도로 1 m 낙하시켰더니 액체의 온도가 0.1 ℃ 상승하였다. 열의 일당량은 4.2 J/cal이다.

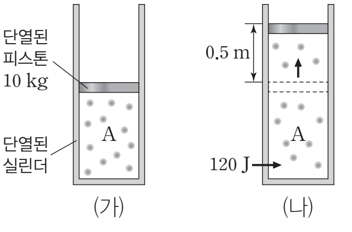


액체의 비열은? (단, 중력 가속도는 10 m/s²이고, 실의 질량은 무시하며, 추의 역학적 에너지 변화량은 모두 액체의 온도 변화에만 사용된다.)

① 1000 cal/kg·℃ ② 1200 cal/kg·℃
③ 1400 cal/kg·℃ ④ 1600 cal/kg·℃
⑤ 1800 cal/kg·℃

[26027-0098]

16 그림 (가)는 이상 기체 A가 들어 있는 실린더에서 질량이 10 kg인 피스톤이 정지해 있는 모습을, (나)는 (가)의 A에 열에너지 120 J을 가하여 피스톤이 0.5 m 이동해 정지한 모습을 나타낸 것이다.



(가) → (나) 과정에서, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 10 m/s²이고, 피스톤의 두께와 마찰은 무시하고, 대기압은 일정하다.)

보기

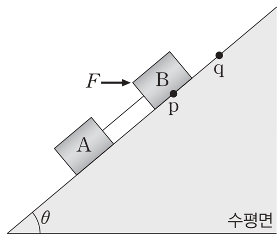
ㄱ. A의 압력은 증가한다.
ㄴ. 피스톤의 역학적 에너지 변화량은 50 J이다.
ㄷ. A의 내부 에너지 변화량은 70 J이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

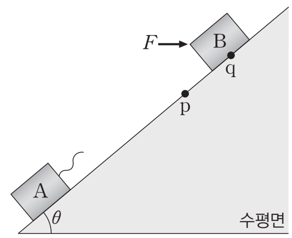
[26027-0099]

질량이 m인 물체가 경사각이 θ인 빗면에 놓여 있을 때 물체에 작용하는 중력의 빗면 성분의 힘의 크기는 $mg\sin\theta$이다.

01 그림 (가)는 질량이 m으로 같은 물체 A, B가 실로 연결되어 정지한 모습을 나타낸 것으로, 빗면상의 점 p에 놓인 B에는 수평 방향으로 크기가 F인 힘이 작용한다. 그림 (나)는 (가)에서 실이 끊어진 후 A는 빗면 아래 방향으로, B는 F가 수평 방향으로 작용하여 p에서 빗면의 점 q까지 각각 등가속도 직선 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 ⟨보기⟩에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 실의 질량과 모든 마찰, 물체의 크기는 무시한다.)

보기

ㄱ. $F=2mg\sin\theta$이다.

ㄴ. (나)에서 A와 B의 가속도 크기는 같다.

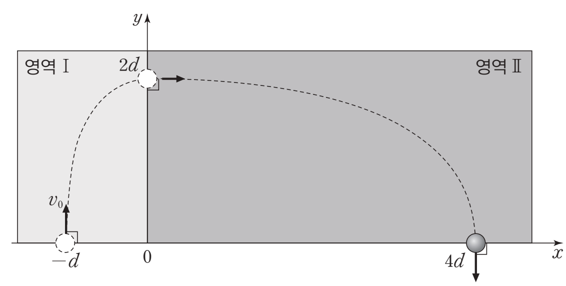
ㄷ. (나)에서 B가 p에서 q까지 운동하는 동안 B의 운동 에너지 증가량과 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 같다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0100]

Ⅰ과 Ⅱ에서 물체가 각각 등가속도 운동을 하므로 x축 방향과 y축 방향으로 각각 등가속도 직선 운동을 한다.

02 그림과 같이 x축상의 $x=-d$인 점에서 $+y$방향으로 속력 v_0으로 발사된 물체가 영역 Ⅰ에서 등가속도 운동을 하여 y축상의 $y=2d$인 점을 $+x$방향으로 지난 후, 영역 Ⅱ에서 등가속도 운동을 하여 x축상의 $x=4d$인 점을 $-y$방향으로 지난다.



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

보기

ㄱ. y축상의 $y=2d$인 점을 통과할 때 물체의 속력은 $\frac{v_0}{2}$이다.

ㄴ. 물체의 가속도의 크기는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 8배이다.

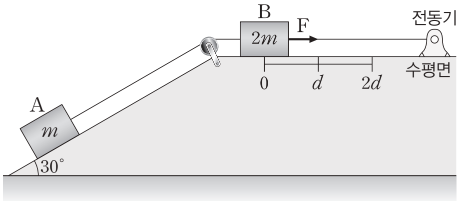
ㄷ. Ⅰ에서 알짜힘이 물체에 한 일을 W_{I}, Ⅱ에서 알짜힘이 물체의 한 일을 W_{II}라 할 때 $\left|\frac{W_{\mathrm{I}}}{W_{\mathrm{II}}}\right|=4$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

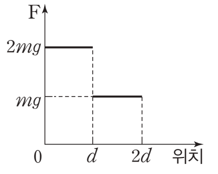
정답과 해설 21쪽

[26027-0101]

03 그림 (가)와 같이 경사각이 30°인 빗면에 질량이 m인 물체 A가 수평면에 놓여 있는 질량이 $2m$인 물체 B와 실로 연결되어 정지해 있다. B는 전동기와 실로 연결되어 있고 전동기는 B를 수평 방향의 힘 F로 당긴다. 그림 (나)는 (가)에서 F를 B의 위치에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 실의 질량, 물체의 크기와 모든 마찰은 무시한다.)

보기

ㄱ. $0\sim d$를 이동하는 동안 역학적 에너지 변화량은 A가 B보다 작다.

ㄴ. $d\sim 2d$를 이동하는 동안 A의 운동 에너지 변화량과 중력 퍼텐셜 에너지 변화량은 같다.

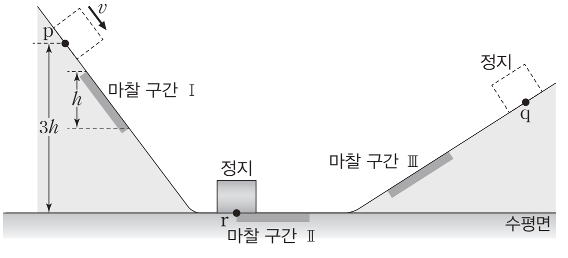
ㄷ. 위치가 $2d$일 때 B의 운동 에너지는 $\frac{4}{3}mgd$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

전동기가 B에게 한 일은 A와 B의 역학적 에너지 증가량과 같다. 또한, 빗면의 경사각이 30°이므로 A가 빗면을 따라 d만큼 이동하면 A의 높이는 $\frac{d}{2}$만큼 변한다.

[26027-0102]

04 그림은 수평면에서 높이가 $3h$인 빗면의 점 p를 속력 v로 통과한 물체가 마찰 구간 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ을 차례로 지나 빗면의 점 q에 정지한 후 Ⅲ, Ⅱ를 차례로 지나 Ⅱ의 끝 지점인 r에 정지한 모습을 나타낸 것이다. Ⅰ의 높이 차는 h이고 Ⅰ에서 물체는 등속도 운동을 하며, Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ을 한 번 통과할 때 물체의 역학적 에너지 감소량은 서로 같다. Ⅰ, Ⅲ의 구간 거리는 같고, p와 q에서 물체의 가속도의 크기는 각각 $3a$, $2a$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.)

보기

ㄱ. $v=2\sqrt{gh}$이다.

ㄴ. q의 높이는 $2h$이다.

ㄷ. Ⅲ을 통과하는 동안 물체의 운동 에너지의 감소량은 q를 향해 올라갈 때가 q에서 내려올 때의 5배이다.

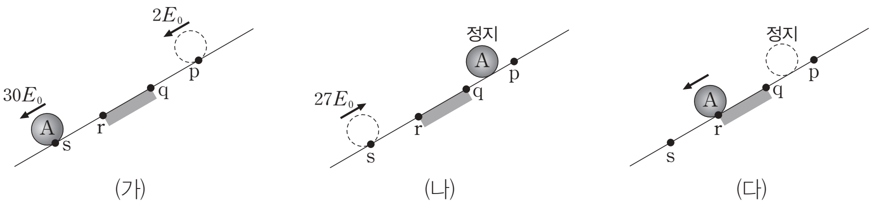
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

빗면에서 물체의 가속도는 $g\sin\theta$이고, 마찰 구간 Ⅰ과 Ⅲ에서 구간 거리가 같으므로 Ⅰ과 Ⅲ의 높이 비는 3 : 2이다. 따라서 Ⅲ의 높이 차는 $\frac{2}{3}h$이다.

마찰이 없는 구간에서는 역학적 에너지가 보존되고, 마찰 구간에서는 역학적 에너지가 손실된다.

[26027-0103]

05 그림 (가)는 빗면의 점 p를 운동 에너지 $2E_0$으로 통과하는 물체 A가 일정한 마찰력이 작용하는 빗면의 점 q와 r 사이를 지나 빗면의 점 s를 운동 에너지 $30E_0$으로 지나는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 A가 s를 운동 에너지 $27E_0$으로 지나 q와 p의 중간 지점에서 속력이 0이 되는 모습을, 그림 (다)는 (나)에서 A가 r를 지나는 모습을 나타낸 것이다. p와 q 사이, q와 r 사이, r와 s 사이의 거리는 같고, 마찰 구간인 q와 r 사이를 내려갈 때와 올라갈 때 역학적 에너지 감소량은 같다.



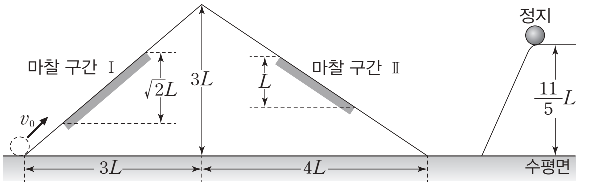
(다)에서 r를 지날 때, A의 운동 에너지는? (단, 물체의 크기, 마찰 구간을 제외한 모든 마찰 및 공기 저항은 무시한다.)

① $12E_0$ ② $13E_0$ ③ $14E_0$ ④ $15E_0$ ⑤ $16E_0$

역학적 에너지 감소량은 마찰력이 한 일과 같다.

[26027-0104]

06 그림과 같이 수평면에서 v_0으로 출발한 물체가 동일 연직면 궤도를 따라 운동하여 높이가 $\frac{11}{5}L$인 지점에서 정지한다. 마찰 구간 Ⅰ, Ⅱ의 높이 차는 각각 $\sqrt{2}L$, L이고, Ⅰ, Ⅱ가 포함된 빗면의 최고 높이는 $3L$로 같고 수평 거리는 각각 $3L$, $4L$이다. Ⅰ, Ⅱ에서 물체에게 작용하는 마찰력의 크기는 같고, Ⅱ에서 물체는 등속도 운동을 한다.

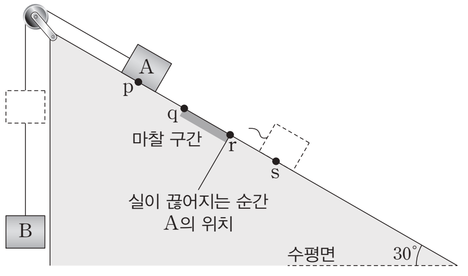


v_0은? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기와 마찰 구간을 제외한 모든 마찰은 무시한다.)

① $\sqrt{\frac{38}{5}gL}$ ② $\sqrt{8gL}$ ③ $\sqrt{\frac{44}{5}gL}$ ④ $\sqrt{\frac{46}{5}gL}$ ⑤ $\sqrt{\frac{49}{5}gL}$

[26027-0105]

07 그림과 같이 물체 A, B를 실로 연결하고 경사각이 30°인 빗면의 점 p에서 A를 가만히 놓았더니 빗면의 점 q, r, s를 지나며 운동한다. p에서 q, q에서 r, r에서 s 구간의 길이는 같고, 각 구간을 A는 각각 등가속도 운동을 하며 A가 r를 지나는 순간 B와 연결된 실이 끊어진다. q에서 r 구간은 마찰력이 작용하는 구간이다. 표는 각 지점에서 A의 운동 에너지 E를 나타낸 것이다.



위치	E
p	0
q	$2E_0$
r	$3E_0$
s	$8E_0$

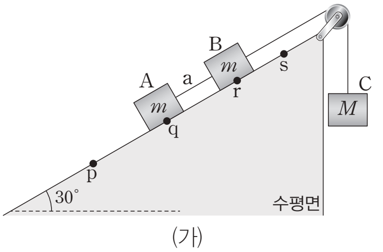
p~q 구간과 q~r 구간에서 A의 역학적 에너지 감소량을 각각 E_1, E_2라 할 때, $\frac{E_1}{E_2}$은? (단, 물체의 크기, 마찰 구간 외의 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

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

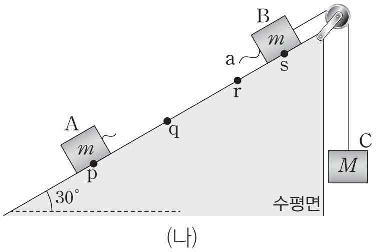
물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

[26027-0106]

08 그림 (가)는 질량이 각각 m, m, M인 물체 A, B, C가 실로 연결되어 정지해 있는 모습을 나타낸 것으로 A와 B는 경사각이 30°인 빗면 위의 점 q, r에 각각 위치한다. 그림 (나)는 (가)에서 A와 B를 연결한 실 a를 끊으면 A와 B는 각각 등가속도 운동을 하여 빗면 위의 점 p, s를 동시에 지나는 모습을 나타낸 것이다.



(가)



(나)

A가 q에서 p까지 운동하는 동안, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기, 실의 질량, 공기 저항과 모든 마찰은 무시한다.)

보기

ㄱ. $M=m$이다.
ㄴ. 운동 에너지 증가량은 A가 C의 4배이다.
ㄷ. C의 역학적 에너지 감소량은 B의 운동 에너지 증가량의 3배이다.

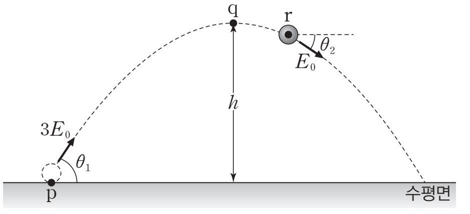
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

(가)에서 A, B, C는 정지한 상태이므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이고, (나)에서 알짜힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

포물선 운동을 하는 동안 물체의 수평 성분 속력은 일정하고, p와 r에서 운동 에너지의 비가 3 : 1이므로 속력의 비는 $\sqrt{3}$: 1이다.

[26027-0107]

09 그림과 같이 수평면상의 점 p에서 수평면과 θ_1의 각을 이루며 운동 에너지 $3E_0$으로 던져진 물체가 포물선 운동을 하여 높이 h인 최고점 q를 지나 수평면과 θ_2의 각을 이루는 점 r를 운동 에너지 E_0으로 지난다. $\theta_1+\theta_2=90°$이다.



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

보기

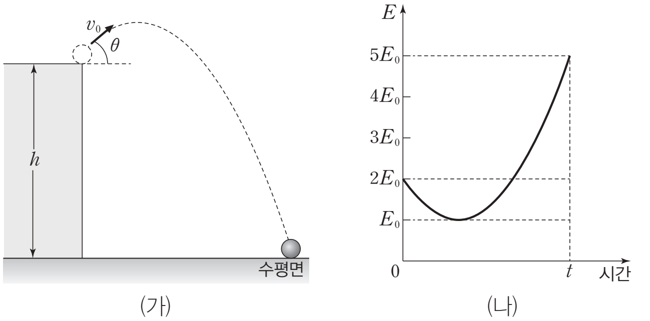
ㄱ. 속도의 연직 성분의 크기는 p에서가 r에서의 3배이다.
ㄴ. q에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 운동 에너지의 3배이다.
ㄷ. q와 r의 높이 차는 $\frac{h}{9}$이다.

① ㄱ　② ㄷ　③ ㄱ, ㄴ　④ ㄴ, ㄷ　⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0108]

물체가 포물선 운동을 하는 동안 물체의 운동 에너지의 증가량은 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같다.

10 그림 (가)는 높이가 h인 지점에서 수평면과 θ의 각을 이루며 속력 v_0으로 던져진 물체가 포물선 운동을 하여 수평면에 도달하는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 물체가 던져진 순간부터 수평면에 도달하는 시간 t까지 물체의 운동 에너지 E를 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가)　(나)

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

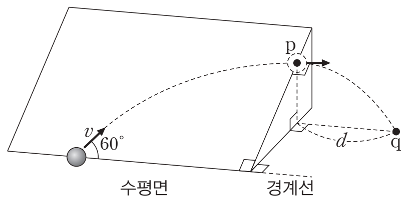
보기

ㄱ. $\tan\theta=1$이다.
ㄴ. $h=\frac{3{v_0}^2}{2g}$이다.
ㄷ. $t=\frac{3\sqrt{2}v_0}{g}$이다.

① ㄱ　② ㄴ　③ ㄱ, ㄷ　④ ㄴ, ㄷ　⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0109]

11 그림과 같이 빗면과 수평면의 경계선에서 경계선과 60°의 각을 이루며 속력 v로 발사된 물체는 빗면을 따라 포물선 운동을 한 후 빗면 모서리의 점 p를 지나 수평면의 점 q에 도달한다. 물체가 p를 지날 때 속도의 방향은 수평면과 나란하며, p에서 q까지 수평 거리는 d이다.



d는? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

① $\dfrac{\sqrt{3}v^2}{2g}$　② $\dfrac{\sqrt{3}v^2}{3g}$　③ $\dfrac{\sqrt{3}v^2}{4g}$　④ $\dfrac{\sqrt{3}v^2}{6g}$　⑤ $\dfrac{\sqrt{3}v^2}{8g}$

물체가 빗면을 따라 운동하는 동안 속도의 수평 성분은 일정하고, 역학적 에너지는 보존된다.

[26027-0110]

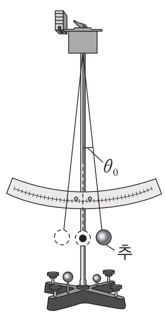
12 다음은 단진자에 대한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 단진자 실험 장치를 준비한다.

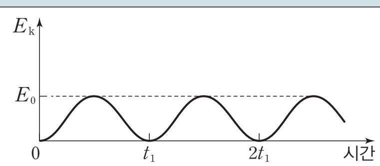
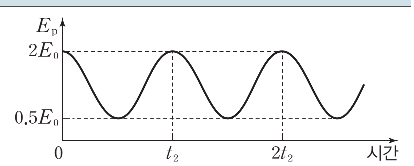
(나) 실의 길이 또는 추의 질량을 실험 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ과 같이 변화시키며, 실이 연직 방향과 각도 θ_0을 이루도록 추를 당겼다가 가만히 놓는다.

(다) 추의 운동 에너지 E_k 또는 중력 퍼텐셜 에너지 E_p를 시간에 따라 측정한다.



실험	실의 길이	추의 질량
Ⅰ	l_0	m_0
Ⅱ	l_0	㉠
Ⅲ	$\dfrac{l_0}{2}$	$2m_0$

[실험 결과]

Ⅰ의 결과	Ⅱ의 결과
	

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. ㉠은 $2m_0$이다.

ㄴ. $t_1 < t_2$이다.

ㄷ. Ⅲ에서 추의 최대 운동 에너지는 E_0이다.

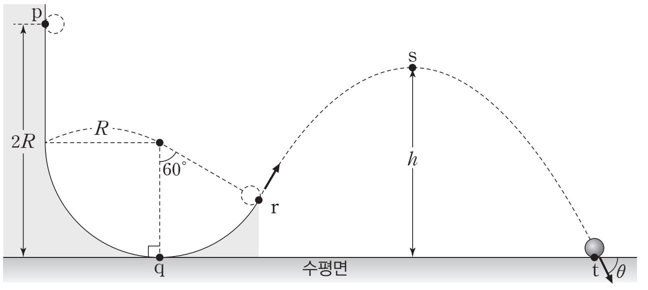
① ㄴ　② ㄷ　③ ㄱ, ㄴ　④ ㄱ, ㄷ　⑤ ㄴ, ㄷ

추의 최대 운동 에너지는 최고점과 최저점의 높이 차에 의한 중력 퍼텐셜 에너지 변화량(ΔE_p)과 같다.

원 궤도의 최저점에서 물체에 작용하는 알짜힘은 원의 중심 방향으로 향하는 구심력과 같고, 물체의 질량을 m, 최저점에서의 속력을 v라 할 때, 구심력의 크기는 $F=\frac{mv^2}{R}$이다.

[26027-0111]

13 그림과 같이 수평면으로부터 높이 $2R$인 점 p에서 가만히 놓은 물체가 자유 낙하 하여 반지름이 R인 원형 트랙을 따라 원운동을 한 후 원의 중심에서 연직선과 이루는 각이 $60°$인 원형 트랙의 점 r에서부터 포물선 운동을 하여 수평면의 점 t에 도달한다. 점 q는 원형 트랙과 수평면이 맞닿는 지점이고, 수평면으로부터 높이 h인 점 s는 포물선 운동의 최고점이며, 물체가 t에 도달할 때 수평면과 이루는 각은 θ이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 물체의 크기와 모든 마찰 및 공기 저항은 무시한다.)

보기

ㄱ. q에서 수평면이 물체를 떠받치는 힘의 크기는 물체의 중력의 크기의 4배이다.

ㄴ. $h=\frac{13}{8}R$이다.

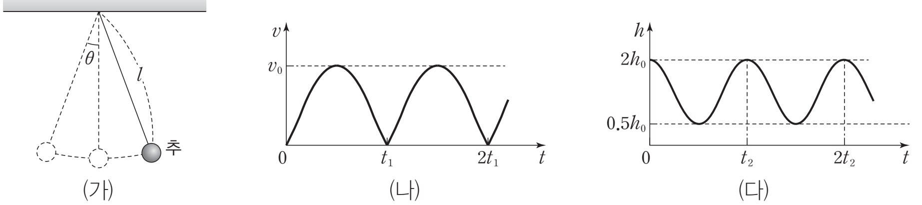
ㄷ. $\tan\theta=\sqrt{\frac{13}{4}}$이다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

추의 최고점과 최저점의 높이 차는 $h=l(1-\cos\theta)$이다.

[26027-0112]

14 그림 (가)는 길이가 l인 실에 매달린 추가 단진동하는 모습을 나타낸 것으로 최고점에서 실이 연직선과 이루는 각은 θ이다. 그림 (나)는 (가)에서 추의 속력 v를 시간 t에 따라, (다)는 (가)에서 추의 높이 h를 시간 t에 따라 나타낸 것이다.



(가) (나) (다)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 실의 질량과 추의 크기는 무시한다.)

보기

ㄱ. $t_1=t_2$이다.

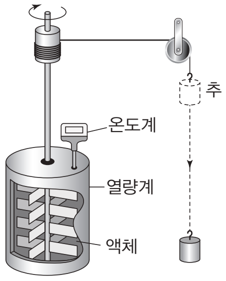
ㄴ. $h_0=\frac{2}{3}l(1-\cos\theta)$이다.

ㄷ. $v_0=\sqrt{3gh_0}$이다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0113]

15 그림은 열량계에 연결된 추가 일정한 속력으로 낙하하는 모습을 나타낸 것이다. 표는 이 장치에서 추의 질량과 낙하 거리, 액체의 질량과 온도 변화량, 액체의 비열을 나타낸 것이다.



추의 질량	20 kg
추의 낙하 거리	0.8 m
액체의 질량	0.2 kg
액체의 온도 변화량	0.5℃
액체의 비열	1600 J/kg · ℃

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 $10\ \mathrm{m/s^2}$이고, 실의 질량과 공기 저항, 회전축 및 도르래의 마찰은 무시한다.)

보기

ㄱ. 액체가 흡수한 열에너지는 160 J이다.
ㄴ. 추의 역학적 에너지 감소량은 액체가 흡수한 열에너지와 같다.
ㄷ. 외부에서 열량계의 액체에 160 J의 열에너지를 공급하면 추의 높이를 0.8 m 높일 수 있다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

일은 모두 열로 전환될 수 있지만 열은 모두 일로 전환될 수 없다.

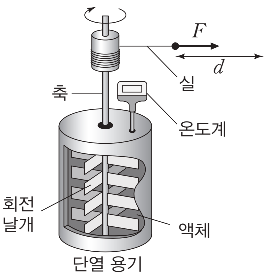
[26027-0114]

16 다음은 열과 일의 관계에 대한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 줄의 실험 장치에 액체 0.2 kg을 넣고 실에 일정한 힘 F를 수평 방향으로 작용하여 일정한 속력으로 잡아당긴다.

(나) F의 크기와 F를 작용한 거리 d를 변화시키며 액체의 온도 변화량 ΔT를 측정한다.



[실험 결과]

실험	F(N)	d(m)	ΔT(℃)
Ⅰ	420	2	0.50
Ⅱ	140	3	㉠
Ⅲ	㉡	4	0.50

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 열의 일당량은 4.2 J/cal이고, 실의 질량은 무시하며, 실을 당기는 힘이 한 일은 모두 액체의 온도 변화에만 사용된다.)

보기

ㄱ. ㉠은 0.25이다.
ㄴ. ㉡은 210이다.
ㄷ. 액체의 비열은 2000 cal/kg · ℃이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

액체의 비열(c)은 액체가 흡수하는 열량(Q)에 비례하고 액체의 질량(m)과 액체의 온도 변화량(ΔT)에 반비례한다.

06 전기장과 정전기 유도

1 전기장과 전기력선

(1) 쿨롱 법칙

① **전하**: 모든 전기 현상의 근원으로, 양(+)전하와 음(−)전하가 있다. 전하의 흐름을 전류라고 한다.

② **전하량**: 물질이 가지고 있는 전하의 양을 전하량이라고 하며, 전하량의 단위는 C(쿨롬)을 사용한다.

• 1 C: 도선에 1 A의 전류가 흐를 때 1초 동안 도선의 한 단면을 지나가는 전하량이다.

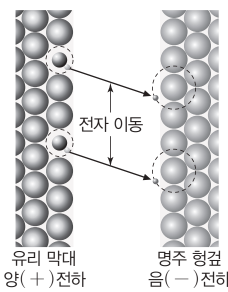
③ **기본 전하량**: 전하량은 일반적으로 전자나 양성자의 전하량의 정수배가 되는 불연속적인 값만 갖는다. 전자나 양성자의 전하량의 크기를 기본 전하량이라고 하며, e로 표시한다.

• 기본 전하량 $e=1.602\times10^{-19}$ C

④ **대전체**: 보통 물체는 양(+)전하와 음(−)전하의 양이 같아 전기적으로 중성을 띠고 있지만 전하의 이동에 의하여 양(+)전하나 음(−)전하를 띠게 된 물체를 대전체라고 한다. 물체가 전기를 띠는 현상을 대전이라고 한다.

⑤ **마찰 전기**: 서로 다른 재질의 두 물체를 마찰시켰을 때 전자가 에너지를 얻어 이동하면 각 물체는 전기를 띠게 되는데, 이것을 마찰 전기라고 한다. 이때 전자를 잃은 물체는 양(+)전하를 띠게 되고, 전자를 얻은 물체는 음(−)전하를 띠게 된다.

예 유리 막대와 명주 헝겊을 마찰시키면, 유리 막대에서 명주 헝겊 쪽으로 전자가 이동하여 유리 막대는 양(+)전하를 띠고 명주 헝겊은 음(−)전하를 띤다.



⑥ **전기력**: 전하와 전하 사이에 상호 작용하는 힘을 말하며, 양(+)전하와 양(+)전하 또는 음(−)전하와 음(−)전하 사이에는 밀어내는 방향으로 전기력이 작용하고, 양(+)전하와 음(−)전하 사이에는 끌어당기는 방향으로 전기력이 작용한다.

개념 체크

➔ **전하**: 모든 전기 현상의 근원으로, 양(+)전하와 음(−)전하가 있다.

➔ **대전**: 물체가 전하의 이동으로 전기를 띠게 되는 현상이다.

1. 전기적으로 중성인 물체가 전하의 이동에 의하여 양(+)전하나 음(−)전하를 띠게 되는 현상을 (　　)이라고 하고, 전하를 띠게 된 물체를 (　　)라고 한다.

2. 양(+)전하와 양(+)전하 또는 음(−)전하와 음(−)전하 사이에는 서로 (당기는 , 밀어내는) 전기력이 작용한다.

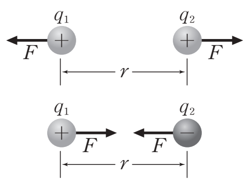
3. 양(+)전하와 음(−)전하 사이에는 서로 (당기는 , 밀어내는) 전기력이 작용한다.

과학 돋보기 전기 현상과 자기 현상의 발견 및 발전 과정

• 중국 문헌에 따르면 자기 현상은 이미 기원전 2000년경에 관찰되었으며, 고대 그리스에서도 기원전 700년경에 전기와 자기 현상을 관찰하였다. 그리스 사람들은 천연 자철광에 철이 붙는 것을 보고 자기력에 관하여 알았다.
• electricity라는 단어는 '호박'을 뜻하는 그리스 단어 elektron에서 비롯된 것이고, magnetism이라는 단어는 자철광이 처음 발견된 지방의 이름 Magnesia에서 비롯된 것이다.
• 1799년 마찰을 통해 얻은 정전기 외에 전류를 지속적으로 공급할 수 있는 볼타 전지가 발명되어 전기 현상에 관한 실험이 폭발적으로 발전하게 되었다.
• 전기와 자기 현상은 고대부터 알려져 있었지만 19세기 초까지 과학자들은 전기와 자기 현상이 서로 관련된 것임을 알지 못했다.
• 1820년 외르스테드는 전류가 흐르는 회로 근처에서 나침반 바늘이 움직이는 것을 발견하였고, 1831년 거의 동시에 패러데이와 헨리는 자석 근처에서 도선을 움직이거나 도선 근처에서 자석을 움직이면 도선에 전류가 생성되는 것을 발견하였다.
• 1865년 맥스웰은 알려진 사실과 실험적 사실을 기초로 현재 우리가 알고 있는 전자기학 법칙을 만들어 냈다.

정답
1. 대전, 대전체
2. 밀어내는
3. 당기는

⑦ **쿨롱 법칙**: 두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 점전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 두 점전하가 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다. 전하량의 크기가 각각 q_1, q_2인 두 점전하 사이의 거리가 r일 때 두 점전하에 작용하는 전기력의 크기 F는 다음과 같다.

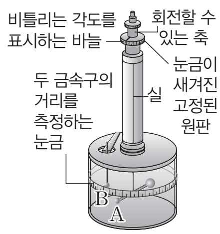


$$F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$$

k는 쿨롱 상수로, 진공에서 $k=8.99\times10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}$이다.

과학 돋보기 **비틀림 저울**

비틀림 저울은 자기력, 전기력, 중력 등 작은 크기의 힘을 측정하는 기구이다. 물체 사이의 상호 작용에 의해 저울 축에 비틀림이 생기는데, 저울 축이 비틀리는 각도는 힘이 클수록 커지므로 회전 각도를 측정하여 전기력이나 자기력, 중력의 크기를 구한다.
프랑스의 물리학자 쿨롱은 전하 A를 저울 축에 매달아 평형을 이루게 한 후, 다른 전하 B를 가까이 할 때 전기력을 측정하였다. A, B 사이의 거리, A, B의 전하량에 따라 저울 축이 비틀어지는 각도를 측정하여 전기력의 크기를 구하였다.
한편 영국의 물리학자인 캐번디시는 비틀림 저울을 이용하여 중력 상수를 측정하는 데 성공하였다.



(2) 전기장: 전하 주위에 다른 전하를 놓으면 두 전하 사이에는 전기력이 작용한다. 이는 전하가 주변 공간에 전기장을 만들기 때문이다. 전기장은 전하뿐만 아니라 시간에 따라 변하는 자기장에 의해서도 생성된다.

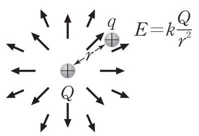
① **전기장의 세기**: 전기장이 형성된 공간에 놓인 단위 양전하($+1$ C)에 작용하는 전기력의 크기를 전기장의 세기라고 한다. 전하량의 크기가 q인 전하에 작용하는 전기력의 크기가 F일 때 전기장의 세기 E는 다음과 같다.

$$E=\frac{F}{q}\ [\text{단위: N/C}]$$

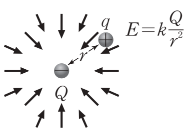
② **전기장의 방향**: 전기장 내에서 양(+)전하가 받는 힘(전기력)의 방향이다.

③ **점전하 주위의 전기장**: 전하량의 크기가 Q인 점전하로부터 떨어진 거리가 r인 곳에서 전하량의 크기가 q인 전하에 작용하는 전기력의 크기는 $F=k\frac{Qq}{r^2}$이다. 따라서 전하량의 크기가 Q인 점전하로부터 떨어진 거리가 r인 곳에서 전기장의 세기 E는 다음과 같다.

$$E=\frac{F}{q}=k\frac{Q}{r^2}$$



양(+)전하 주위의 전기장



음(−)전하 주위의 전기장

개념 체크

➲ **쿨롱 법칙**: 두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 점전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 두 전하 사이 거리의 제곱에 반비례한다.
➲ **전기장**: 전하 주변에는 전기장이 형성되어 다른 전하에 전기력이 작용한다.

1. 두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 점전하의 (　　)의 크기의 곱에 비례하고, 두 점전하 사이의 (　　)의 제곱에 반비례한다.

2. 전기장의 세기가 E인 공간에 놓인 전하량의 크기가 q인 전하에 작용하는 전기력의 크기는 (　　)이다.

3. 전기장의 방향은 전기장 내에서 (양(+)전하 , 음(−)전하)가 받는 전기력의 방향이다.

정답
1. 전하량, 거리
2. qE
3. 양(+)전하

개념 체크

➔ **전기력선**: 전기장 내에 양(+)전하를 놓았을 때, 양(+)전하에 작용하는 전기력의 방향을 연속적으로 연결한 가상의 선이다.

1. 전기장 내에 있는 양(+)전하에 작용하는 전기력의 방향을 공간에 따라 연속적으로 연결한 선을 (　　)이라고 한다.

2. 전기력선 위의 한 점에서 그은 접선의 방향이 그 점에서의 전기장의 방향이다. (○, ×)

3. 전하의 종류가 같은 두 점전하가 고정되어 있을 때, 전기장이 0인 지점은 두 점전하 사이에 있다. (○, ×)

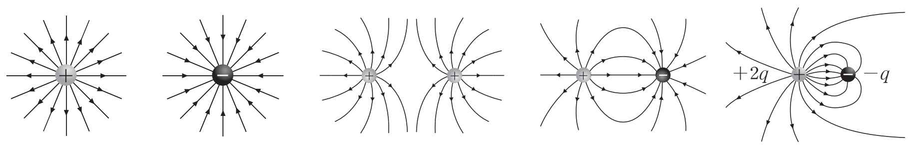
정답
1. 전기력선
2. ○
3. ○

(3) 전기력선

① 전기력선: 전기장 내에 있는 양(+)전하에 작용하는 전기력의 방향을 공간에 따라 연속적으로 연결한 선을 전기력선이라고 한다. 전기력선의 방향은 양(+)전하가 받는 전기력의 방향과 같다.

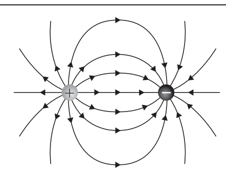
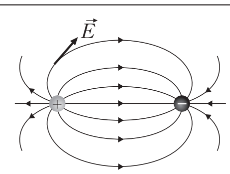
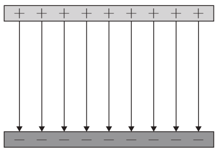
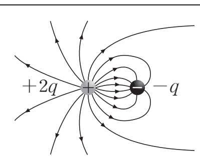
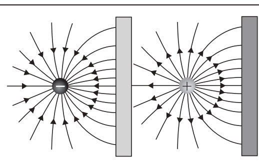
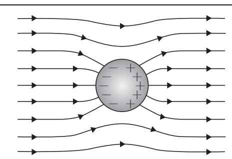
② 전기력선의 특징
- 양(+)전하에서 나오는 방향, 음(−)전하로 들어가는 방향이다.
- 서로 교차하거나 도중에 갈라지거나 끊어지지 않는다.
- 전기력선 위의 한 점에서 그은 접선의 방향이 그 점에서의 전기장의 방향이다.
- 전기장에 수직인 단위 면적을 지나는 전기력선의 수(밀도)는 전기장의 세기에 비례한다.

③ 여러 가지 전기력선
- 전하량이 같은 두 전하에 의한 전기력선은 좌우 대칭인 모양을 띤다.
- 전기장이 0인 지점은 전하의 종류가 같을 때는 두 전하 사이에 있고, 전하의 종류가 다를 때는 전하량이 작은 전하의 바깥쪽에 있다.



탐구자료 살펴보기 전기장을 전기력선으로 표현

자료 다음은 전기력선을 그릴 때 적용해야 할 내용이다.

 전기력선은 양(+)전하에서 나와서 음(−)전하로 들어간다. 단, 무한대에서 나오거나 들어가는 경우도 있다.	 어떤 위치에서 전기장의 방향은 그 점에서 전기력선의 접선 방향이며, 전기력선이 조밀할수록 전기장이 세다.	 균일한 전기장은 등간격의 전기력선으로 나타낸다.
 전하에서 나오거나 전하로 들어가는 전기력선의 수(밀도)는 전하량의 크기에 비례한다.	 전기력선은 도체 표면에 수직인 방향으로 나오거나 들어간다.	 전기력선은 도체 안에는 존재하지 않는다.

분석
- 전기력선은 양(+)전하에서 나오는 방향, 음(−)전하로 들어가는 방향이다.
- 전기력선은 분리되거나 교차되지 않는다.

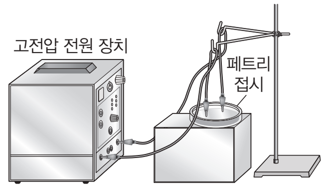
탐구자료 살펴보기 **전기장의 모양 알아보기**

과정

(1) 페트리 접시에 베이비오일을 넣은 다음, 털실을 1 mm 이하의 길이로 잘라 오일에 넣고 유리 막대로 잘 저어 준다.

(2) 2개의 전극을 고전압 전원 장치의 (+)단자와 (−)단자에 도선으로 연결하고 베이비오일 속에 담근 상태에서 전원을 켠 다음, 전압을 높이면서 털실 조각의 배열을 관찰한다.

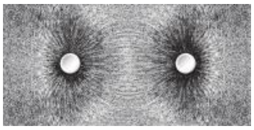
(3) 2개의 전극을 고전압 전원 장치의 (+)단자와 (+)단자에 도선으로 연결하고 베이비오일 속에 담근 상태에서 전원을 켠 다음, 전압을 높이면서 털실 조각의 배열을 관찰한다.

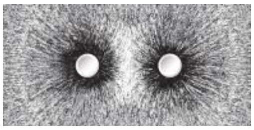


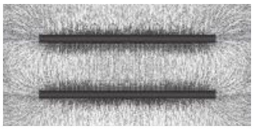
(4) 2개의 금속판을 고전압 전원 장치의 (+)단자와 (−)단자에 도선으로 연결하고 평행하게 마주 보도록 하여 베이비오일 속에 넣어 전원을 켠 다음, 전압을 높이면서 털실 조각의 배열을 관찰한다.

결과

- (+), (−)전극 사이의 털실 조각은 두 극을 연결하는 모양으로 배열된다.
- (+), (+)전극 사이의 털실 조각은 두 극 사이에서 서로 밀어내는 모양으로 배열된다.
- 평행한 (+), (−)극판 사이에서 털실 조각은 균일하게 두 극판에 수직으로 배열된다.


(+), (−)전극 사이의 털실 조각


(+), (+)전극 사이의 털실 조각


(+), (−)극판 사이의 털실 조각

point

- 털실 조각들은 전기력선의 모양으로 배열된다.

2 정전기 유도와 유전 분극

(1) 도체와 절연체

① **도체**: 비저항이 작아 전류가 잘 흐르는 물질을 도체라고 한다.

예 구리, 알루미늄, 금과 같은 금속 등

- 도체 내부에서 전기장은 0이다.
- 도체가 대전되면 전하는 표면에만 분포한다.
- 도체에는 특정 원자에 속박되지 않고 여러 원자 사이를 자유롭게 이동할 수 있는 자유 전자가 많다.

② **절연체**: 비저항이 커서 전류가 잘 흐르지 못하는 물질을 절연체 또는 부도체라고 한다.

예 유리, 종이, 고무, 나무, 순수한 물 등

- 절연체의 전자들은 대부분 원자에 속박되어 있으며, 자유 전자가 없다.
- 절연체에도 열 또는 강한 전기장을 가하거나 불순물을 첨가하면 전류를 흐르게 할 수 있다.

(2) 정전기 유도와 유전 분극

① **도체에서의 정전기 유도**: 대전되지 않은 도체에 대전체를 가까이 하면 도체 내의 자유 전자의 이동에 의해 대전체와 가까운 쪽에는 대전체와 다른 종류의 전하가 유도되고, 먼 쪽에는 대전체와 같은 종류의 전하가 유도되는 현상이다.

개념 체크

➔ 도체와 절연체: 도체에는 여러 원자 사이를 자유롭게 이동할 수 있는 자유 전자가 많고, 절연체에는 자유 전자가 거의 없다.

➔ 도체에서의 정전기 유도: 도체에 대전체를 가까이 하면 전기력에 의한 자유 전자의 이동에 의해 대전체와 가까운 쪽에는 대전체와 다른 종류의 전하가 유도되고, 대전체와 먼 쪽에는 대전체와 같은 종류의 전하가 유도된다.

1. 비저항이 작아 전류가 잘 흐르는 물질을 ( )라고 한다.

2. 절연체에는 원자에 속박되지 않은 자유 전자가 많다. (○ , ×)

정답

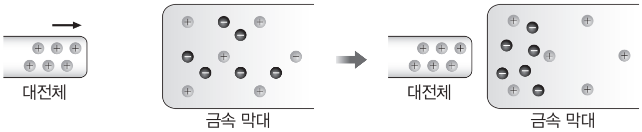
1. 도체
2. ×

개념 체크

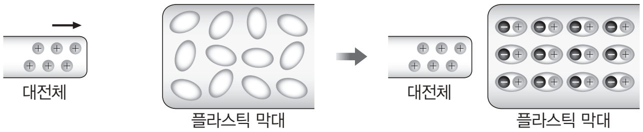
➔ **유전 분극**: 절연체에는 자유 전자가 없지만 원자나 분자에 속박되어 있는 전자가 전기력을 받아 분극되는 현상이다.

1. 대전되지 않은 도체에 (+)대전체를 가까이 하면 (+)대전체와 도체 사이에는 서로 (당기는 , 밀어내는) 전기력이 작용한다.

2. 절연체에 대전체를 가까이 하면 절연체의 양쪽 끝에는 대전체와 같은 종류와 다른 종류의 전하가 각각 배열되는데, 이를 (   )이라 한다.



② **절연체에서의 유전 분극**: 절연체 내부에는 자유 전자가 없기 때문에 도체와 같이 전자의 이동에 의한 정전기 유도 현상은 일어나지 않지만 분자나 원자 내부에서 전기력에 의하여 분극되는 현상이 일어난다. 따라서 절연체에 대전체를 가까이 하면 절연체의 양쪽 끝에 대전체와 같은 종류와 다른 종류의 전하가 각각 배열된다. 이를 유전 분극이라고 한다.



과학 돋보기 **검전기의 정전기 유도 현상**

검전기는 금속판과 금속박으로 구성되어 있으며, 검전기를 대전시켜 전하의 종류를 확인할 수 있다.

(가) 금속판에 (+)대전체를 접근시키면 금속판은 음(−)전하, 금속박은 양(+)전하가 유도되어 금속박이 벌어진다.

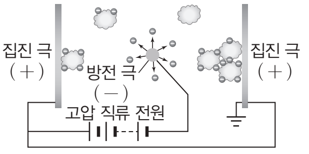
(나) (가)의 금속판에 손을 접촉시키면 손에서 검전기로 전자가 이동하여 금속박이 오므라든다.

(다) (나)에서 손을 떼고 (+)대전체를 금속판에서 멀리 하면, 금속판과 금속박은 모두 음(−)전하를 띠고 금속박은 다시 벌어진다.

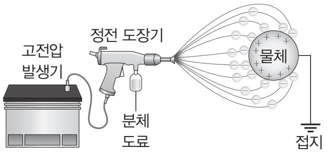
(라) 음(−)전하로 대전된 검전기의 금속판에 (−)대전체를 가까이 하면 금속박이 더 벌어진다.

(3) 정전기 유도 현상의 이용

① **전기 집진기**: 발전소나 보일러에서 연소 후 배출되는 배기가스 중에서 오염된 먼지를 제거하는 기구이다. 집진기 내에 대전된 극판을 배열시키고 방전 극과 집진 극 사이에 높은 전압을 걸어 주면 방전 극에서 발생한 전자에 의해 먼지가 음(−)전하로 대전되어 (+)극인 집진 극으로 끌려가 모인다.



② **정전 도장**: 자동차와 같은 금속을 도색할 때, 도색을 할 물체를 접지시키고 페인트를 뿌리는 분무 장치에 강한 음극을 걸어 페인트 입자를 음(−)전하로 대전시킨다. 음(−)전하로 대전된 페인트의 정전기 유도 효과로 접지된 물체는 양(+)전하로 대전되고 전기적 인력이 작용하여 페인트가 물체 뒷면까지 달라붙는다.



정답
1. 당기는
2. 유전 분극

③ **음식물 포장 랩:** 음식물을 포장할 때 사용하는 랩을 분리하는 과정에서 랩이 대전되는데, 이 때 대전된 전하는 그릇이나 다른 랩에 유전 분극에 의한 표면 전하를 유도한다. 따라서 랩끼리 또는 랩과 그릇을 서로 잘 달라붙게 한다. 전하를 띤 랩은 손가락에도 정전기 유도에 의한 다른 종류의 전하를 유도하므로 랩이 손가락에도 잘 달라붙는다.

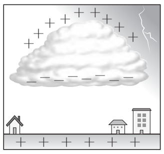
(4) 정전기의 피해를 줄이는 예

① **방전:** 대전된 물체나 어떤 계에서 전하를 잃고 전기적으로 중성화되거나, 기체 등의 절연체가 강한 전기장으로 인해 절연성을 상실하고 전류가 흐르는 현상이다.

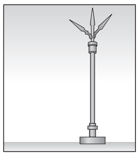
- 번개: 대전된 구름과 지표 사이의 방전 현상이다. 구름 내부에서 위쪽은 양(+)전하를, 아래쪽은 음(−)전하를 띤다. 지면과 가까운 구름의 아래쪽이 음(−)전하를 띠기 때문에 정전기 유도에 의해 지표면이 양(+)전하로 대전되어 구름 아래쪽의 음(−)전하가 지표면으로 이동한다.

② **접지:** 감전, 정전기에 의한 화재나 고장 등을 방지할 목적으로 전기 기기를 지면과 도선으로 연결하는 것을 접지라고 한다.

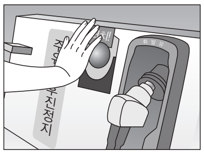
- 피뢰침: 번개가 칠 때는 많은 양의 전기 에너지가 짧은 시간 동안 방출되므로 화재 등 여러 가지 위험이 있다. 피뢰침은 건물이 직접 번개에 맞아 피해를 입지 않도록 건물의 높은 지점에 끝이 뾰족한 금속 막대를 설치하고 도선으로 지면에 연결한 것이다. 즉, 접지된 피뢰침을 이용하여 번개에 의한 건물의 피해를 예방하는 것이다.
- 정전기 방지용 패드: 금속으로 된 차체나 주유기 손잡이 가까이에 손을 가져가면 손에 있던 전자들이 차체나 주유기 손잡이로 순식간에 몰려 방전이 일어난다. 방전에 의해 화재가 발생하는 것을 막기 위해 주유하기 전에 정전기 방지용 패드에 손을 접촉한다.



구름의 정전기 유도



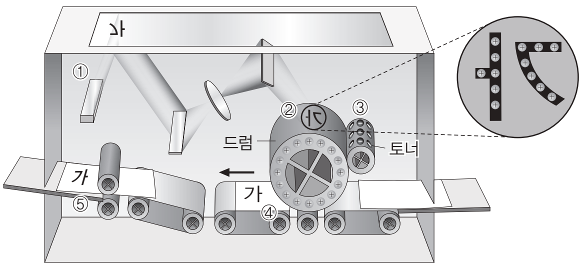
피뢰침



정전기 방지용 패드

과학 돋보기 **복사기의 원리**

① 종이에 빛을 비추면 종이의 검은 글자 부분에서는 빛을 흡수하고, 흰 여백 부분에서는 빛을 반사한다.
② 종이에서 반사된 빛이 양(+)전하로 대전된 드럼을 비추면 빛이 닿은 부분은 전하를 띠지 않고 빛이 닿지 않은 부분은 그대로 양(+)전하를 띤다.
③ 드럼이 회전하면 음(−)전하를 띠는 토너가 드럼의 양(+)전하로 대전된 부분에 달라붙는다.
④ 드럼이 접촉하여 지나가는 종이에 토너가 달라붙는다.
⑤ 종이에 묻은 토너가 뜨거운 롤러를 지나가면서 녹는다.



개념 체크

➔ **방전:** 대전된 물체나 어떤 계에서 전하를 잃고 전기적으로 중성화되거나, 기체 등의 절연체가 강한 전기장으로 인해 절연성을 상실하고 전류가 흐르는 현상이다.

➔ **접지:** 전기 기기나 대전체를 지면과 도선으로 연결하여 전자가 자유롭게 이동할 수 있도록 한 것이다.

1. 대전된 물체가 ( )를 잃고 전기적으로 중성화되거나, 기체 등의 절연체가 강한 전기장으로 인해 전류가 흐르는 현상을 ( )이라고 한다.

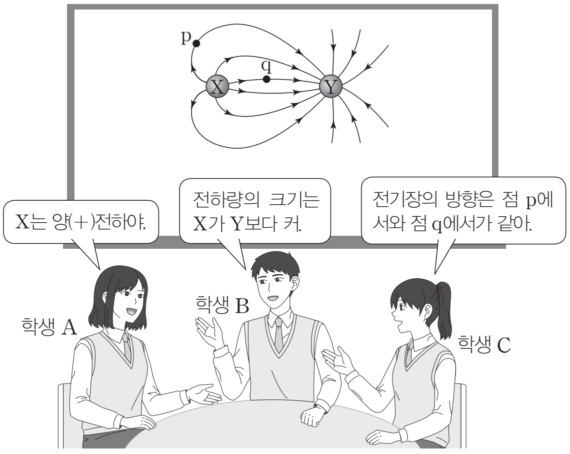
2. 피뢰침이나 정전기 방지용 패드는 ( )를 이용한 예이다.

정답

1. 전하, 방전
2. 접지

[26027-0115]

01 그림은 고정된 점전하 X, Y 주위의 전기력선에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.

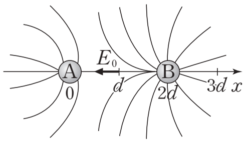


제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

① A ② B ③ A, C ④ B, C ⑤ A, B, C

[26027-0116]

02 그림은 $x=0$, $x=2d$에 각각 고정된 점전하 A, B 주위의 전기력선을 방향 표시 없이 나타낸 것이다. $x=d$에서 전기장의 방향은 $-x$방향이고, 전기장의 세기는 E_0이다.



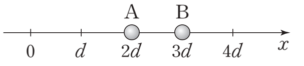
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기
ㄱ. 전하량의 크기는 A가 B보다 작다.
ㄴ. A는 양(+)전하이다.
ㄷ. $x=3d$에서 전기장의 세기는 E_0보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0117]

03 그림은 점전하 A, B가 각각 $x=2d$, $x=3d$에 고정되어 있는 것을 나타낸 것이다. 표는 $x=0$, $x=d$, $x=4d$에서 전기장의 방향을 나타낸 것이다.



위치	전기장의 방향
$x=0$	$+x$
$x=d$	$-x$
$x=4d$	㉠

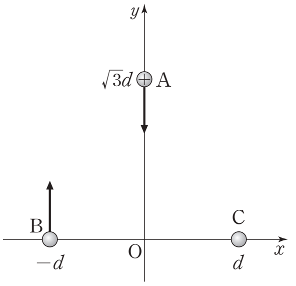
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기
ㄱ. $0<x<d$인 구간에서 전기장이 0인 지점이 있다.
ㄴ. 전하량의 크기는 A가 B보다 크다.
ㄷ. ㉠은 $-x$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0118]

04 그림과 같이 점전하 A, B, C가 xy 평면에 고정되어 있다. A는 양(+)전하이고, A, B에 작용하는 전기력의 방향은 각각 $-y$방향, $+y$방향이다.



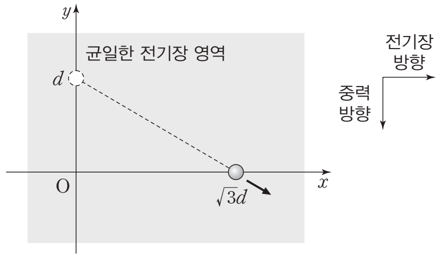
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기
ㄱ. C에 작용하는 전기력의 방향은 $+y$방향이다.
ㄴ. 전하량의 크기는 A가 B의 2배이다.
ㄷ. A에 작용하는 전기력의 크기는 C에 작용하는 전기력의 크기의 2배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0119]

05 그림과 같이 $+x$방향으로 균일한 전기장이 형성된 xy 평면에서 물체를 y축상의 $y=d$에 가만히 놓았더니 물체가 등가속도 직선 운동을 하여 x축상의 $x=\sqrt{3}d$를 지난다. 물체의 질량은 m이고, 물체의 전하량의 크기는 q_0이며, 물체에 작용하는 중력의 방향은 $-y$방향이다.



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

보기

ㄱ. 물체는 양(+)전하로 대전되어 있다.

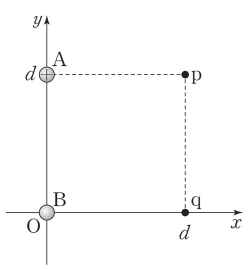
ㄴ. 전기장의 세기는 $\dfrac{mg}{q_0}$이다.

ㄷ. 물체의 가속도의 크기는 $2g$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0120]

06 그림과 같이 점전하 A, B가 xy 평면에 고정되어 있다. A는 양(+)전하이다. 표는 점 p, q에서 전기장의 x성분 E_x와 y성분 E_y의 크기를 나타낸 것이다.



위치	E_x	E_y
p	0	E_0
q	㉠	㉡

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. p에서 전기장의 방향은 $-y$방향이다.

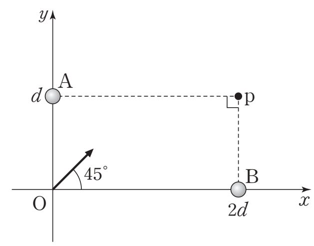
ㄴ. 전하량의 크기는 A가 B보다 크다.

ㄷ. ㉠>㉡이다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0121]

07 그림과 같이 점전하 A, B가 xy 평면에 고정되어 있을 때, 원점 O에서 전기장의 방향은 x축과 45°의 각을 이룬다. xy 평면의 점 p의 x, y 좌표는 각각 $2d$, d이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. B는 음(−)전하이다.

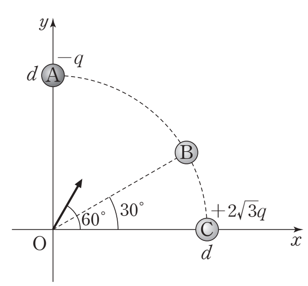
ㄴ. 전하량의 크기는 B가 A의 2배이다.

ㄷ. 전기장의 세기는 O에서가 p에서보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0122]

08 그림과 같이 점전하 A, B, C가 xy 평면에서 원점 O로부터 d만큼 떨어진 지점에 고정되어 있다. O에서 전기장의 방향은 x축과 60°의 각을 이룬다. A, C의 전하량은 각각 $-q$, $+2\sqrt{3}q$이다.

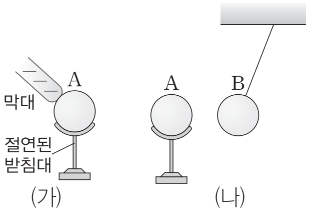


B의 전하량은?

① $-7q$ ② $-5q$ ③ $-3q$ ④ $+q$ ⑤ $+3q$

[26027–0123]

09 그림 (가)는 대전되지 않은 금속구 A에 음(−)전하로 대전된 막대를 접촉시킨 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 막대를 제거한 후 A를 절연된 실에 매달린 스티로폼구 B에 가까이 하였더니 B가 A쪽으로 끌려가 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

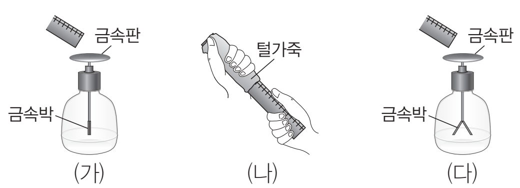
ㄱ. (가)에서 A는 음(−)전하로 대전된다.
ㄴ. (가)에서 전자는 A에서 막대로 이동한다.
ㄷ. (나)의 B에서는 유전 분극이 일어난다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027–0124]

10 다음은 정전기 유도에 대한 실험이다.

[실험 과정]
(가) 플라스틱 자를 검전기의 금속판에 가까이 하고 금속박을 관찰한다.
(나) (가)의 플라스틱 자를 털가죽으로 문지른다.
(다) (나)의 플라스틱 자를 금속판에 가까이 하고 금속박을 관찰한다.



[실험 결과]

(가)	금속박이 벌어지지 않는다.
(다)	금속박이 벌어진다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

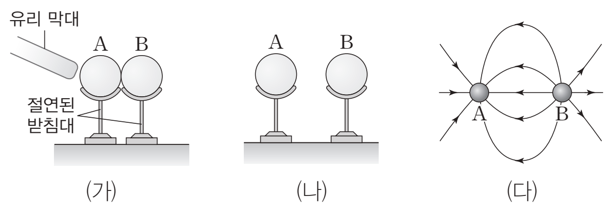
보기

ㄱ. (나)에서 플라스틱 자는 대전된다.
ㄴ. (다)에서 플리스틱 자와 금속판 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.
ㄷ. (다)에서 금속판과 금속박은 같은 종류의 전하로 대전된다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027–0125]

11 그림 (가)는 대전되지 않은 도체구 A, B를 붙여 놓은 후 대전된 유리 막대를 A에 가까이 가져간 것을, (나)는 (가)에서 A, B를 떼어 놓은 후 유리 막대를 치운 것을 나타낸 것이다. 그림 (다)는 (나)에서 A, B 주위의 전기력선을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

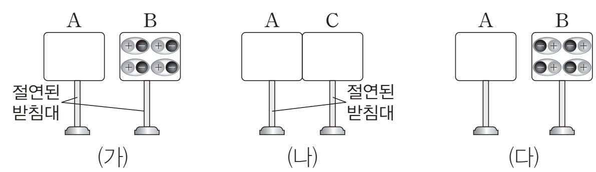
보기

ㄱ. (가)에서 유리 막대는 음(−)전하로 대전되어 있다.
ㄴ. (가)에서 전자는 B에서 A로 이동한다.
ㄷ. (나)에서 A와 B 사이에는 서로 미는 전기력이 작용한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

[26027–0126]

12 그림 (가)는 대전된 도체 A를 대전되지 않은 절연체 B에 가까이 놓았을 때 B의 전하 분포를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 A를 대전된 도체 C에 접촉시킨 모습을 나타낸 것이다. 그림 (다)는 (나)의 A를 B에 가까이 놓았을 때 B의 전하 분포를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

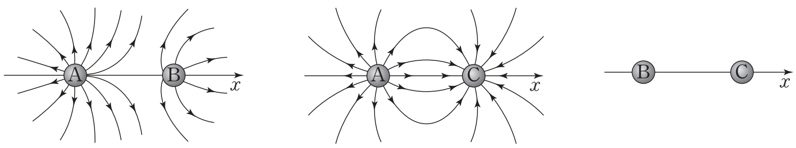
보기

ㄱ. (가)에서 A는 음(−)전하로 대전되어 있다.
ㄴ. (나)에서 전자는 A에서 C로 이동한다.
ㄷ. (다)에서 A와 B 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

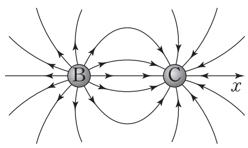
[26027-0127]

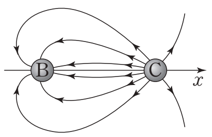
01 그림 (가)는 x축에 고정된 점전하 A, B 주위의 전기력선을, (나)는 (가)에서 B를 C로 바꿨을 때 A, C 주위의 전기력선을 나타낸 것이다. 그림 (다)는 A와 B를 접촉시키고 떼어낸 후 B와 C를 x축에 고정시킨 것을 나타낸 것이다.

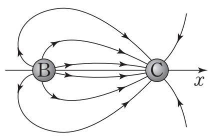


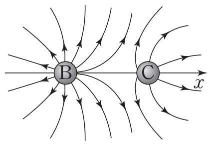
(가) (나) (다)

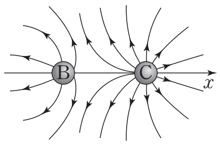
(다)에서 B와 C 주위의 전기력선으로 가장 적절한 것은?

① 

② 

③ 

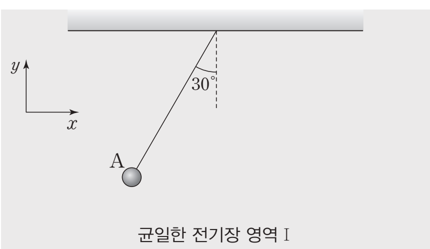
④ 

⑤ 

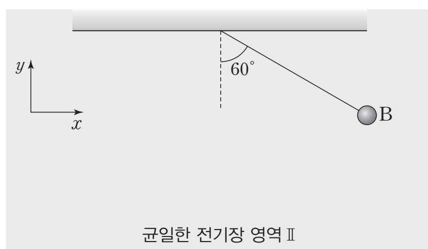
점전하에서 나오거나 들어가는 전기력선의 수는 전하의 전하량의 크기에 비례한다.

[26027-0128]

02 그림 (가), (나)와 같이 물체 A, B가 각각 균일한 전기장 영역 Ⅰ, Ⅱ에서 실에 매달려 정지해 있다. 전기장의 방향은 Ⅰ에서와 Ⅱ에서가 $+x$방향으로 같고, 전기장의 세기는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 2배이다. (가), (나)에서 실과 y축 방향이 이루는 각은 각각 30°, 60°이다. 질량은 A가 B의 $\sqrt{3}$배이고, A와 B에 작용하는 중력의 방향은 $-y$방향이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실의 질량은 무시한다.)

보기

ㄱ. 전하의 종류는 A와 B가 같다.
ㄴ. A에 작용하는 전기력의 크기는 B에 작용하는 전기력의 크기보다 작다.
ㄷ. 전하량의 크기는 A가 B의 $\frac{1}{6}$배이다.

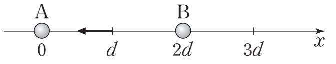
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

전하량의 크기가 q인 전하가 전기장의 세기가 E인 전기장에서 받는 전기력의 크기는 qE이다.

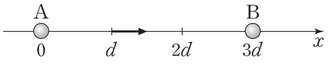
(가)의 $x=d$에서 A에 의한 전기장의 세기는 B에 의한 전기장의 세기보다 작다.

[26027-0129]

03 그림 (가)는 점전하 A, B를 각각 $x=0$, $x=2d$에 고정시킨 모습을, (나)는 (가)에서 B를 $x=3d$에 옮겨 고정시킨 모습을 나타낸 것이다. (가), (나)의 $x=d$에서 전기장의 방향은 각각 $-x$방향, $+x$방향이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

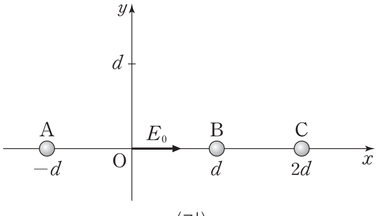
ㄱ. A와 B는 전하의 종류가 같다.
ㄴ. (가)에서 전기장의 세기는 $x=d$에서가 $x=3d$에서보다 작다.
ㄷ. (나)에서 $d<x<2d$인 구간에 전기장이 0인 지점이 있다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

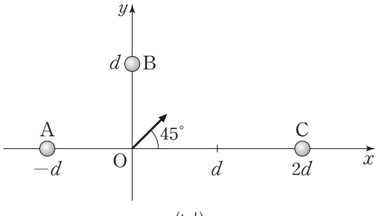
(나)의 O에서 전기장의 y성분의 방향이 $+y$방향이므로 B는 음(−)전하이다.

[26027-0130]

04 그림 (가)와 같이 점전하 A, B, C가 xy 평면에서 각각 x축상의 $x=-d$, $x=d$, $x=2d$에 고정되어 있다. 원점 O에서 전기장은 방향이 $+x$방향이고, 세기가 E_0이다. 전하량의 크기는 A와 B가 같다. 그림 (나)는 (가)에서 B를 y축상의 $y=d$에 옮겨 고정시킨 모습을 나타낸 것으로, O에서 전기장의 방향은 x축과 $45°$의 각을 이룬다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. A는 음(−)전하이다.
ㄴ. 전하량의 크기는 C가 B의 8배이다.
ㄷ. (나)의 O에서 전기장의 세기는 $\frac{\sqrt{2}}{2}E_0$이다.

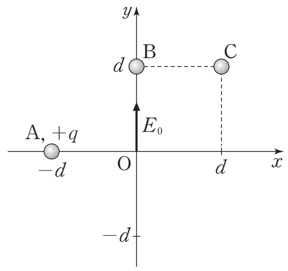
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답과 해설 27쪽

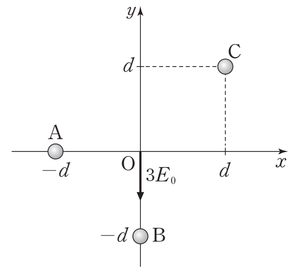
[26027-0131]

05 그림 (가)와 같이 점전하 A, B, C가 xy 평면에 고정되어 있다. 원점 O에서 전기장은 방향이 $+y$ 방향이고, 세기가 E_0이다. 그림 (나)는 (가)에서 B를 옮겨 고정시킨 모습을 나타낸 것이다. O에서 전기장은 방향이 $-y$방향이고, 세기가 $3E_0$이다. A의 전하량은 $+q$이다.

(가)의 O에서 A에 의한 전기장의 세기와 C에 의한 전기장의 x성분의 세기는 같다.



(가)



(나)

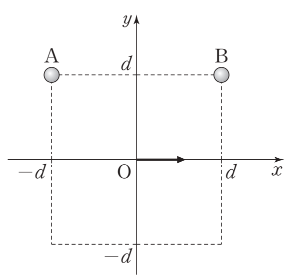
B의 전하량은?

① $-3q$ ② $-2q$ ③ $-q$ ④ $+q$ ⑤ $+2q$

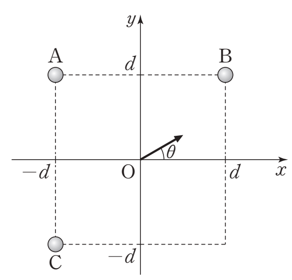
[26027-0132]

06 그림 (가)와 같이 점전하 A, B가 xy 평면에 고정되어 있다. 원점 O에서 전기장의 방향은 $+x$방향이다. 그림 (나)는 (가)에서 C를 고정시킨 모습을 나타낸 것이다. O에서 전기장의 방향은 x축과 θ의 각을 이루고, $\tan\theta=\frac{1}{2}$이다.

(가)의 O에서 전기장의 y성분은 0이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

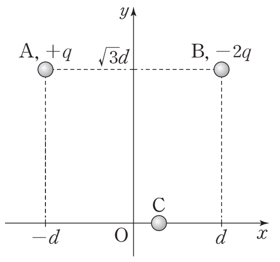
ㄱ. A는 양(+)전하이다.
ㄴ. 전하량의 크기는 C가 B의 4배이다.
ㄷ. O에서 전기장의 세기는 (나)에서가 (가)에서의 $\sqrt{5}$배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

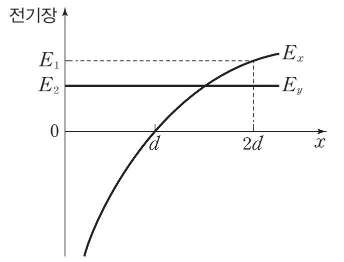
O에서 A, B에 의한 전기장의 x성분의 방향은 $+x$방향이다.

[26027-0133]

07 그림 (가)와 같이 xy 평면에 점전하 A, B를 고정하고 점전하 C를 x축상에서 옮기며 고정한다. A, B의 전하량은 각각 $+q$, $-2q$이다. 그림 (나)는 C의 위치 x에 따른 원점 O에서 전기장의 x성분 E_x, y성분 E_y를 나타낸 것이다.



(가)



(나)

$\dfrac{E_2}{E_1}$는?

① $\dfrac{\sqrt{3}}{3}$　② $\dfrac{4\sqrt{3}}{9}$　③ $\dfrac{5\sqrt{3}}{9}$　④ $\dfrac{2\sqrt{3}}{3}$　⑤ $\dfrac{7\sqrt{3}}{9}$

(나)에서 손가락을 C에서 떼어내면 B와 C는 같은 종류의 전하로 대전된다.

[26027-0134]

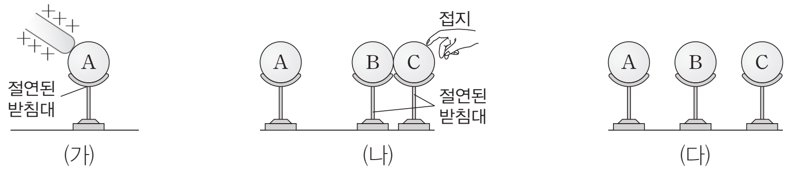
08 다음은 정전기 유도에 대한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 대전되지 않은 도체구 A에 양(+)전하로 대전된 막대를 접촉시킨 후 막대를 제거한다.

(나) 대전되지 않은 도체구 B와 C를 서로 접촉시키고 A를 B에 가까이 한 후, 손가락을 C에 접촉시켰다가 떼어낸다.

(다) B와 C를 떼어낸다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. (가)에서 A는 양(+)전하로 대전된다.

ㄴ. (나)에서 전자는 C에서 손가락으로 이동한다.

ㄷ. (다)에서 A와 C 사이에는 서로 미는 전기력이 작용한다.

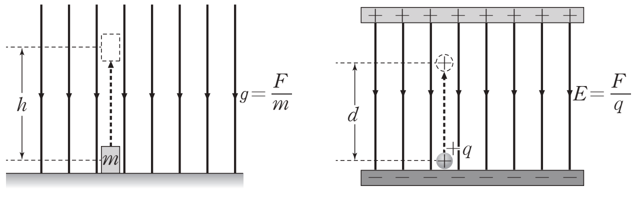
① ㄱ　② ㄴ　③ ㄱ, ㄷ　④ ㄴ, ㄷ　⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 저항의 연결과 전기 에너지

1 전압(전위차)과 전류

(1) 전위: 단위 양(+)전하가 가지는 전기력에 의한 퍼텐셜 에너지이다.

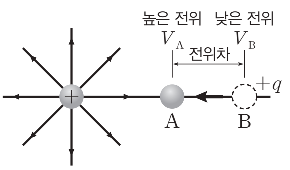
① **중력과 전기력에 의한 일의 비교**: 중력장 내에서 질량이 m인 물체를 높이 h만큼 들어 올리려면 일을 해 주어야 한다. 마찬가지로 균일한 전기장(E) 내에서 전하량이 $+q$인 전하를 전기장의 방향과 반대 방향으로 거리 d만큼 이동시킬 때도 일을 해 주어야 한다.



중력장　　　　전기장

② **전기력에 의한 퍼텐셜 에너지**: 전하를 전기장 내의 기준점으로부터 어떤 점까지 이동시키는 데 필요한 일과 같다.

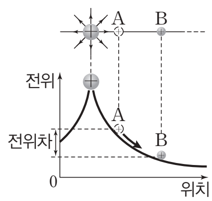
③ **전위차**: 두 지점 사이의 전위의 차를 전위차 또는 전압이라고 한다. 전하량이 $+q$인 전하를 전기장 내의 한 점 B에서 다른 점 A까지 이동시키는 데 필요한 일이 W라면, 두 지점 사이의 전위차 V는 다음과 같다.



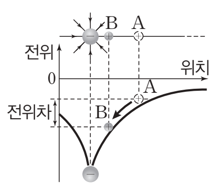
$$V=V_A-V_B=\frac{W}{q}\ [\text{단위: J/C 또는 V}]$$

과학 돋보기 전하 주위의 전위

양(+)전하 주위의 전위가 높고, 음(−)전하 주위의 전위가 낮다.



양(+)전하 주위의 전위



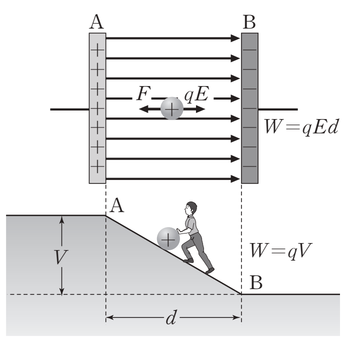
음(−)전하 주위의 전위

(2) 균일한 전기장에서의 일: 균일한 전기장(E) 내에서 전하량이 $+q$인 전하를 극판 B에서 거리 d만큼 떨어진 극판 A까지 옮기는 데 필요한 일 W는 다음과 같다.

$W=Fd=qEd$, $W=qV$ [단위: J]

$qV=qEd$ ➡ $E=\frac{V}{d}$ [단위: V/m]

그림에서 전기장의 세기는 각 지점에서 전위의 기울기의 절댓값과 같다.



개념 체크

➊ **전위**: 전기장 내의 기준점으로부터 측정한 단위 양(+)전하가 가지는 전기력에 의한 퍼텐셜 에너지

➋ **전위차**: 두 지점 사이의 전위의 차

1. 단위 양(+)전하가 가지는 전기력에 의한 퍼텐셜 에너지를 (　　)라 한다.

2. 전하량이 +2 C인 전하를 전기장 내의 점 p에서 점 q까지 이동시키는 데 필요한 일이 10 J일 때, p와 q 사이의 전위차는?

3. 균일한 전기장 내에서 전위차가 6 V인 두 지점 사이의 거리가 3 m일 때, 전기장의 세기는? (단, 두 지점을 연결한 직선은 전기장의 방향과 나란하다.)

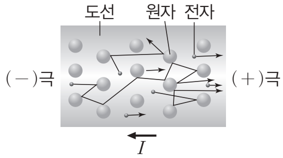
정답
1. 전위
2. 5 V
3. 2 V/m

(3) **전류**: 전자나 이온과 같이 전하를 띤 입자의 흐름을 전류라고 한다.

① **도체에서의 전류**: 도체는 전류가 잘 흐르는 물체로, 일반적으로 금속에서는 자유 전자의 이동으로 전류가 흐른다.

② **전류의 방향**: 양(+)전하가 이동하는 방향으로 정의한다. 따라서 음(−)전하가 이동하는 방향의 반대 방향이다.

③ **도선에서의 전류**: 도선에 전지를 연결하면 전지 양단의 전위차에 의해 전자는 (−)극에서 (+)극 방향으로 도선을 따라 이동한다. 따라서 전류는 전지의 (+)극에서 (−)극 방향으로 도선을 따라 흐른다.



전지를 연결한 도선의 내부

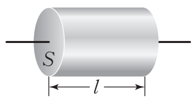
④ **전류의 세기(I)**: 단위 시간(1초) 동안 도선의 단면을 통과하는 전하량으로 정의한다. 도선의 단면을 시간 t 동안 통과한 전하량이 Q라면 전류의 세기 I는 다음과 같다.

$$I=\frac{Q}{t}\ [\text{단위: A(암페어) 또는 C/s}]$$

2 저항과 옴의 법칙

(1) **저항**: 물체가 전류의 흐름을 방해하는 정도이다.

① **전기 저항(R)**: 물체가 전류의 흐름을 방해하는 정도를 수치로 나타낸 값으로, 물체의 전기 저항은 물체의 길이 l에 비례하고, 물체의 단면적 S에 반비례한다.

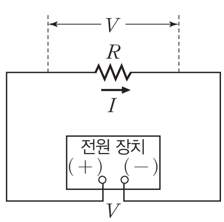


$$R=\rho\frac{l}{S}\ [\text{단위: }\Omega\text{(옴)}]$$

② **비저항(ρ)**: 비례 상수 ρ를 그 물체의 비저항이라고 한다. 비저항은 길이가 1 m, 단면적이 1 m^2인 물체의 저항으로, 물체마다 고유한 값을 갖는 물체의 특성이다.
- 단위: $\Omega\cdot m$
- 물질의 종류와 온도에 따라 다르므로 물체의 특성이 될 수 있다.
- 길이와 단면적이 같으면 비저항이 클수록 물체의 저항이 크다.
- 비저항에 따라 도체, 반도체, 절연체로 구분된다.

(2) **옴의 법칙**: 저항에 흐르는 전류의 세기 I는 저항 양단의 전위차 V에 비례하고, 전기 저항 R에 반비례한다.

$$I=\frac{V}{R}$$



① 전기 저항이 일정할 때, 저항 양단의 전위차가 커질수록 저항에 흐르는 전류의 세기가 증가한다.

② 저항 양단의 전위차가 일정할 때, 전기 저항이 커질수록 저항에 흐르는 전류의 세기는 감소한다.

개념 체크

➲ **전류**: 전하를 띤 입자의 흐름이다.

➲ **저항**: 전류의 흐름을 방해하는 정도이다.

➲ **옴의 법칙**: 저항의 전기 저항이 일정할 때, 저항에 흐르는 전류의 세기와 저항에 걸리는 전압은 비례한다.

1. 전류의 방향은 (양(+)전하 , 음(−)전하)가 이동하는 방향으로 정의한다.

2. 5초 동안 도선의 단면을 통과한 전하량이 20 C일 때, 전류의 세기는 (   ) A이다.

3. 표는 비저항이 같은 물질 A, B의 길이와 단면적을 나타낸 것이다.

물질	길이	단면적
A	$2l$	$3S$
B	l	$2S$

저항값은 A가 B의 (   ) 배이다.

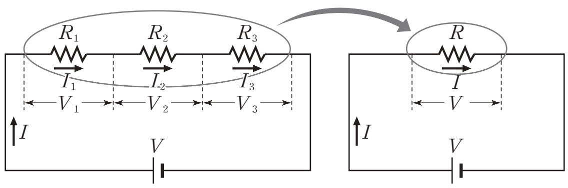
4. 저항값이 5 Ω인 저항 양단에 걸린 전압이 10 V일 때, 저항에 흐르는 전류의 세기는 (   ) A이다.

정답
1. 양(+)전하
2. 4
3. $\frac{4}{3}$
4. 2

3 저항의 연결

(1) 저항의 직렬연결: 여러 개의 저항을 한 줄로 이어서 연결하는 방법이다.

① 회로에 흐르는 전체 전류의 세기를 I, 각각의 저항에 흐르는 전류의 세기를 I_1, I_2, I_3, 전체 전압을 V, 각각의 저항에 걸리는 전압을 V_1, V_2, V_3, 회로 전체의 합성 저항값을 R, 각각의 저항값을 R_1, R_2, R_3이라고 하자.



• 전류가 한 개의 닫힌 도선을 따라 흐르므로, 전체 전류의 세기 I는 각각의 저항에 흐르는 전류의 세기 I_1, I_2, I_3과 같다. $I=I_1=I_2=I_3$ ⋯ ㉠

• 전체 전압 V는 각각의 저항에 걸리는 전압의 합과 같다. $V=V_1+V_2+V_3$ ⋯ ㉡

• 위의 식 ㉡에 옴의 법칙을 적용하고, 식 ㉠을 활용하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$V=V_1+V_2+V_3=I_1R_1+I_2R_2+I_3R_3=I(R_1+R_2+R_3)=IR \cdots ㉢$$

• 위의 식 ㉢에서 합성 저항값 R는 다음과 같다.

$$R=R_1+R_2+R_3$$

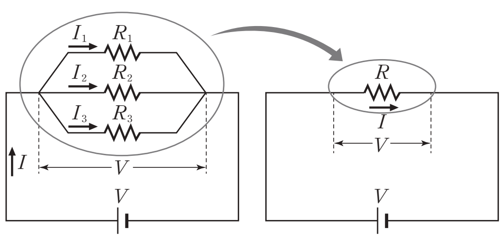
② 여러 개의 저항을 직렬로 연결할 때의 합성 저항값은 각각의 저항값을 모두 더한 값과 같다.

➡ $R=R_1+R_2+R_3+\cdots$

③ 여러 개의 저항을 직렬로 연결하면 합성 저항값은 가장 큰 저항의 저항값보다 크다.

(2) 저항의 병렬연결: 여러 개의 저항을 나란하게 놓고 양 끝을 연결하는 방법이다.

① 옴의 법칙을 이용하여 다음과 같은 전압, 전류, 저항의 관계를 얻을 수 있다.



• 각 저항의 양단이 모두 전원의 (+)극과 (−)극에 직접 연결되어 있으므로 전원의 전압 V는 각각의 저항에 걸리는 전압 V_1, V_2, V_3과 같다. $V=V_1=V_2=V_3$ ⋯ ㉠

• 전하량 보존 법칙에 따라 회로에 흐르는 전체 전류의 세기 I는 각 저항에 흐르는 전류의 세기의 합과 같다. $I=I_1+I_2+I_3$ ⋯ ㉡

• 위의 식 ㉡에 옴의 법칙을 적용하고, 식 ㉠을 활용하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$I=I_1+I_2+I_3 \Rightarrow \frac{V}{R}=\frac{V_1}{R_1}+\frac{V_2}{R_2}+\frac{V_3}{R_3}=V\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}\right) \cdots ㉢$$

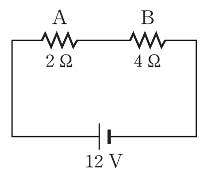
• 위의 식 ㉢에서 합성 저항값 R의 역수는 다음과 같다.

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}$$

개념 체크

➔ **저항의 직렬연결**: 여러 개의 저항을 한 줄로 이어서 연결하는 방법이다.

[1~3] 그림은 전압이 12 V인 전원에 저항 A, B가 직렬연결된 모습을 나타낸 것이다. A, B의 저항값은 각각 2 Ω, 4 Ω이다.

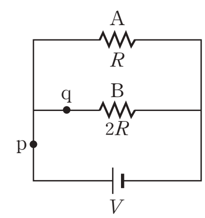


1. 회로의 합성 저항값은?

2. A에 흐르는 전류의 세기는?

3. A, B의 양단에 걸린 전압은 각각 (　　), (　　)이다.

[4~5] 그림은 전압이 V인 전원에 저항 A, B가 병렬연결된 모습을 나타낸 것이다. A, B의 저항값은 각각 R, $2R$이다.



4. A의 양단에 걸린 전압과 B의 양단에 걸린 전압은 같다. (○, ×)

5. 점 p에 흐르는 전류의 세기는 점 q에 흐르는 전류의 세기의 (　　)배이다.

정답
1. 6 Ω
2. 2 A
3. 4 V, 8 V
4. ○
5. 3

개념 체크

➜ **저항의 병렬연결**: 여러 개의 저항을 나란하게 놓고 양 끝을 연결하는 방법이다.

➜ **전력**: 단위 시간 동안 공급하거나 소비하는 전기 에너지이다.

1. 여러 개의 저항을 병렬로 연결하면 합성 저항값은 가장 작은 저항의 전기 저항값보다 (크다 , 작다).

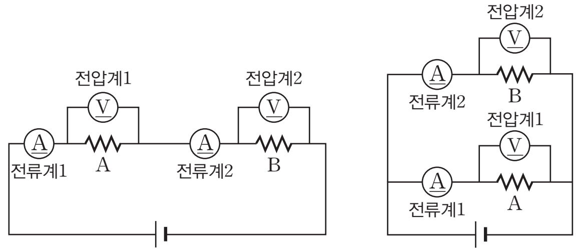
2. 저항값이 3 Ω인 저항 양단에 걸린 전압이 9 V일 때, 저항의 소비 전력은 (   ) W이다.

② 여러 개의 저항을 병렬로 연결할 때의 합성 저항값의 역수는 각각의 저항값의 역수를 모두 더한 값과 같다. ➡ $\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\cdots$

③ 여러 개의 저항을 병렬로 연결하면 합성 저항값은 가장 작은 저항의 저항값보다 작다.

탐구자료 살펴보기 **저항의 직렬연결과 병렬연결**

과정 (1) 전압이 V_0으로 일정한 전원 장치, 저항 A, B, 전류계, 전압계를 이용하여 회로를 구성한다.
(2) A와 B를 직렬로 연결하고 A, B 양단에 걸린 전압, 전류계에 흐르는 전류의 세기를 측정한다.
(3) A와 B를 병렬로 연결하고 A, B 양단에 걸린 전압, 전류계에 흐르는 전류의 세기를 측정한다.



결과

	저항 양단에 걸린 전압		전류계에 흐르는 전류의 세기	
	전압계1	전압계2	전류계1	전류계2
(2)의 결과	$\frac{1}{3}V_0$	$\frac{2}{3}V_0$	I_0	I_0
(3)의 결과	V_0	V_0	$3I_0$	$\frac{3}{2}I_0$

Point
• 저항이 직렬연결되어 있으면 각 저항에 흐르는 전류의 세기는 같다.
• 저항이 병렬연결되어 있으면 각 저항 양단에 걸린 전압은 같다.
• 저항값이 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이다.
• A, B의 저항값을 R, $2R$라 할 때, (2), (3)에서 합성 저항값은 각각 $3R$, $\frac{2}{3}R$이다.

4 저항에서 소모되는 전기 에너지

(1) 전류의 열작용: 저항에 전류가 흐르면 전자들이 원자와 충돌하면서 전자들이 갖고 있던 운동 에너지가 열에너지로 전환되어 저항에서 열이 발생한다.

• 저항값이 R인 저항에 전류 I가 시간 t 동안 흐를 때 전류가 한 일 W는 다음과 같다.

$$W=qV=VIt=I^2Rt \text{ [단위: J(줄)]}$$

(2) 소비 전력

① 전력(P): 단위 시간 동안 공급하거나 소모되는 전기 에너지의 양으로 공급 전력 또는 소비 전력이라고도 한다.

② 저항값이 R이고, 걸린 전압이 V인 저항에 시간 t초 동안 세기가 I인 전류가 흘렀다면 저항에서의 소비 전력은 다음과 같다.

$$P=\frac{W}{t}=VI=I^2R=\frac{V^2}{R} \text{ [단위: J/s=W(와트)]}$$

③ 전력량(W): 시간 t초 동안 저항에서 소모된 전기 에너지를 전력량이라고 한다.

$$W=Pt \text{ [단위: J(줄), Wh(와트시)]}$$

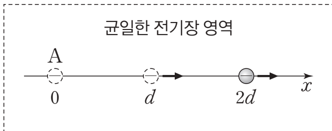
정답
1. 작다
2. 27

수능 2점 테스트

정답과 해설 28쪽 ▶

[26027-0135]

01 그림과 같이 균일한 전기장 영역의 $x=0$인 지점에 음(−) 전하 A를 가만히 놓았더니, A가 $+x$방향으로 등가속도 직선 운동을 하여 $x=d$, $x=2d$인 지점을 지난다.



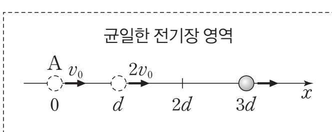
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 전자기파의 발생, 모든 마찰은 무시한다.)

보기
ㄱ. 전기장의 방향은 $-x$방향이다.
ㄴ. 전위는 $x=d$인 지점에서가 $x=2d$인 지점에서보다 높다.
ㄷ. 전기력이 A에 한 일은 $x=0$에서 $x=2d$까지가 $x=d$에서 $x=2d$까지의 2배이다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0136]

02 그림과 같이 전기장의 방향이 $+x$방향인 균일한 전기장 영역에서 $x=0$인 지점을 지난 점전하 A가 등가속도 직선 운동을 하여 $x=3d$인 지점을 지난다. A의 속력은 $x=0$, $x=d$인 지점에서 각각 v_0, $2v_0$이다. 표는 $x=0$, $x=d$, $x=3d$인 지점에서 전위를 나타낸 것이다.



위치	전위
$x=0$	$7V$
$x=d$	㉠
$x=3d$	V

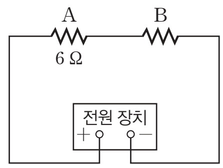
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 전자기파의 발생, 모든 마찰은 무시한다.)

보기
ㄱ. A는 양(+)전하이다.
ㄴ. ㉠은 $5V$이다.
ㄷ. $x=3d$인 지점에서 A의 속력은 $\sqrt{10}v_0$이다.

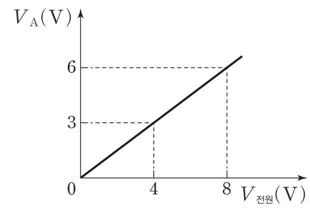
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0137]

03 그림 (가)와 같이 저항 A, B를 전원 장치에 연결하여 회로를 구성하였다. A의 저항값은 6 Ω이다. 그림 (나)는 전원 장치의 전압($V_{전원}$)에 따른 A에 걸린 전압(V_A)을 나타낸 것이다.



(가)



(나)

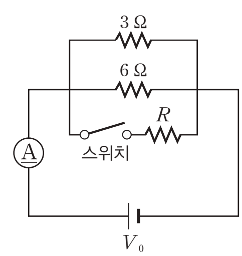
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기
ㄱ. $V_{전원}=4$ V일 때, A에 흐르는 전류의 세기는 0.5 A이다.
ㄴ. $V_{전원}=8$ V일 때, B 양단에 걸린 전압은 2 V이다.
ㄷ. B의 저항값은 2 Ω이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0138]

04 그림은 전압이 V_0인 전원, 저항값이 각각 3 Ω, 6 Ω, R인 저항, 전류계로 구성한 회로를 나타낸 것이다. 전류계에 흐르는 전류의 세기는 스위치를 열었을 때 6 A이고, 스위치를 닫았을 때 8 A이다.



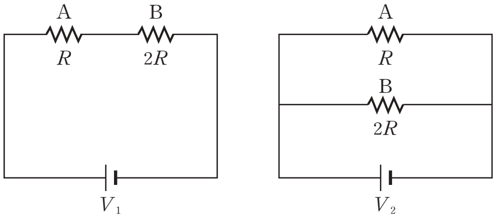
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기
ㄱ. $V_0=12$ V이다.
ㄴ. 스위치를 열었을 때 저항값이 3 Ω인 저항에 흐르는 전류의 세기는 4 A이다.
ㄷ. $R=2$ Ω이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0139]

05 그림 (가), (나)는 저항 A, B가 전압이 각각 V_1, V_2인 전원과 연결된 모습을 나타낸 것이다. A, B의 저항값은 각각 R, $2R$이고, A의 소비 전력은 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{4}{9}$배이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

〈보기〉

ㄱ. A에 흐르는 전류의 세기는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{2}{3}$배이다.

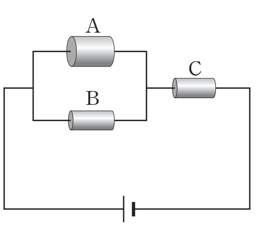
ㄴ. $V_1=4V_2$이다.

ㄷ. B의 소비 전력은 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{8}{9}$배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0140]

06 그림과 같이 길이가 같은 원통형 금속 막대 A, B, C를 전압이 일정한 전원에 연결하여 회로를 구성하였다. A, B, C에서 소비되는 전력은 서로 같다. 표는 A, B, C의 비저항, 단면적을 나타낸 것이다.



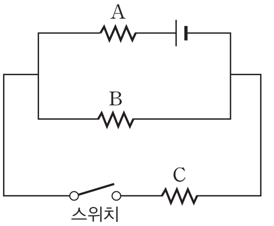
저항	비저항	단면적
A	ρ	$2S$
B	ρ_B	S
C	ρ_C	S

$\frac{\rho_B}{\rho_C}$는?

① 1 ② 2 ③ 4 ④ 8 ⑤ 16

[26027-0141]

07 그림은 전압이 일정한 전원, 저항 A, B, C, 스위치로 구성한 회로를 나타낸 것이다.



스위치를 닫았을 때가 열었을 때보다 큰 물리량만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

〈보기〉

ㄱ. 회로의 합성 저항값

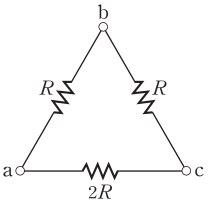
ㄴ. A에 흐르는 전류의 세기

ㄷ. B 양단에 걸린 전압

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

[26027-0142]

08 그림은 저항값이 각각 R, R, $2R$인 저항을 연결한 모습을 나타낸 것이다. 전압이 V_0인 전원 장치를 단자 a와 b, a와 c에 연결하였을 때, 회로 전체의 소비 전력은 각각 P_{ab}, P_{ac}이다.



P_{ab} : P_{ac}는?

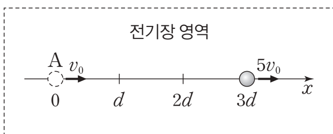
① 2 : 1 ② 3 : 2 ③ 3 : 4
④ 4 : 3 ⑤ 4 : 5

수능 3점 테스트

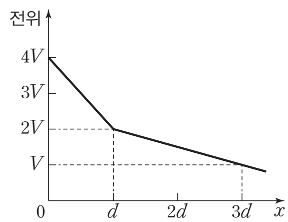
정답과 해설 30쪽 ▶

[26027-0143]

01 그림 (가)와 같이 전기장 영역에서 위치 $x=0$인 지점을 v_0의 속력으로 지난 점전하 A가 $x=3d$인 지점을 $5v_0$의 속력으로 지난다. A는 $x=0$에서 $x=d$까지, $x=d$에서 $x=3d$까지 각각 등가속도 직선 운동을 한다. 그림 (나)는 (가)의 전기장 영역에서의 전위를 x에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 전자기파의 발생, 전하의 크기와 모든 마찰은 무시한다.)

보기

ㄱ. 전기력이 A에 한 일은 $x=0$에서 $x=d$까지가 $x=d$에서 $x=3d$까지의 2배이다.

ㄴ. 전기장의 세기는 $x=0.5d$에서가 $x=2d$에서의 4배이다.

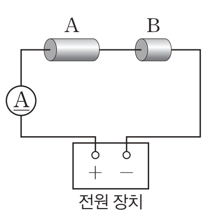
ㄷ. $x=2d$에서 A의 속력은 $4v_0$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

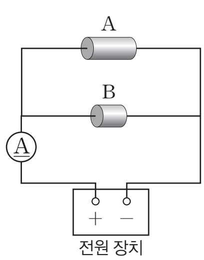
전기력이 A에 한 일은 A의 운동 에너지 변화량과 같다.

[26027-0144]

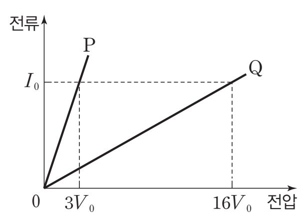
02 그림 (가), (나)와 같이 전원 장치, 동일한 재질의 원통형 금속 막대 A와 B, 전류계를 이용하여 회로를 구성하였다. 단면적은 A와 B가 같고, 길이는 A가 B보다 길다. 그림 (다)의 P와 Q는 (가), (나)에서 전원 장치의 전압에 따른 전류계에 흐르는 전류의 세기를 순서 없이 나타낸 것이다.



(가)



(나)



(다)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. (가)의 결과는 Q이다.

ㄴ. 저항값은 A가 B의 3배이다.

ㄷ. 전원 장치의 전압이 $3V_0$일 때, A 양단에 걸린 전압은 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{3}{4}$배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

전원 장치에 저항값이 각각 R_A, R_B인 저항 A, B가 직렬, 병렬연결되어 있을 때, 회로의 합성 저항값은 각각 R_A+R_B, $\frac{R_AR_B}{R_A+R_B}$이다.

회로의 합성 저항값은 실험 Ⅰ에서가 실험 Ⅱ에서의 2배이다.

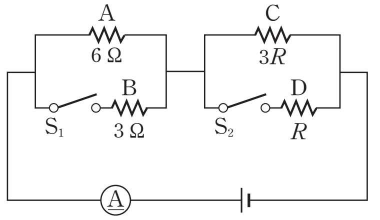
[26027-0145]

03 다음은 저항의 연결에 따른 전류의 세기를 알아보기 위한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 전압이 일정한 전원, 저항 A, B, C, D, 스위치 S_1과 S_2, 전류계를 이용하여 회로를 구성한다. A, B, C, D의 저항값은 각각 6 Ω, 3 Ω, $3R$, R이다.

(나) S_1, S_2를 열고 닫으며 전류계에 흐르는 전류의 세기를 측정한다.



[실험 결과]

실험	S_1	S_2	전류의 세기
Ⅰ	열기	열기	2 A
Ⅱ	열기	닫기	4 A
Ⅲ	닫기	닫기	㉠

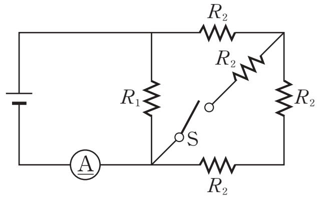
㉠은?

① $\frac{24}{5}$ A ② $\frac{28}{5}$ A ③ $\frac{32}{5}$ A ④ $\frac{36}{5}$ A ⑤ 8 A

회로의 합성 저항값은 스위치를 열었을 때가 닫았을 때의 $\frac{9}{7}$배이다.

[26027-0146]

04 그림과 같이 저항값이 R_1인 저항 1개, 저항값이 R_2인 저항 4개, 스위치 S, 전류계를 전압이 일정한 전원에 연결하여 회로를 구성하였다. 전류계에 흐르는 전류의 세기는 S를 열었을 때가 닫았을 때의 $\frac{7}{9}$배이다.



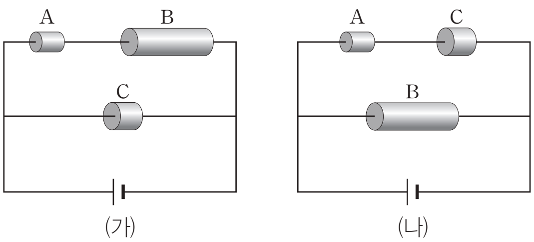
R_1 : R_2는?

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

[26027-0147]

05 그림 (가)와 같이 원통형 금속 막대 A, B, C를 전압이 일정한 전원에 연결하여 회로를 구성하였다. 그림 (나)는 (가)에서 B와 C의 위치를 바꾸어 연결한 모습을 나타낸 것이다. B에서 소비되는 전력은 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{4}{9}$배이고, (나)에서 소비되는 전력은 A에서가 C에서의 $\frac{1}{2}$배이다. 표는 A, B, C의 길이, 단면적을 나타낸 것이다.

물체의 전기 저항은 물체의 길이에 비례하고, 단면적에 반비례한다.



저항	길이	단면적
A	l	S
B	$3l$	$2S$
C	l	$2S$

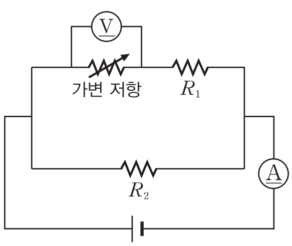
A, B, C의 비저항을 각각 ρ_A, ρ_B, ρ_C라 할 때, $\rho_A : \rho_B : \rho_C$는?

① 1 : 3 : 4 ② 2 : 3 : 10 ③ 2 : 5 : 12 ④ 3 : 4 : 12 ⑤ 3 : 4 : 15

[26027-0148]

06 그림과 같이 가변 저항, 저항값이 각각 R_1, R_2인 저항, 전압계, 전류계를 전압이 일정한 전원에 연결하여 회로를 구성하였다. 표는 가변 저항의 저항값에 따라 전압계 양단에 걸린 전압과 전류계에 흐르는 전류의 세기를 나타낸 것이다.

가변 저항과 저항값이 R_1인 저항 양단에 걸리는 전압의 합은 저항값이 R_2인 저항 양단에 걸리는 전압과 같다.



가변 저항의 저항값	전압	전류의 세기
1 Ω	4 V	6 A
3 Ω	9 V	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

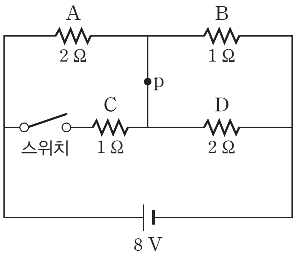
ㄱ. $R_1 : R_2 = 5 : 12$이다.
ㄴ. 가변 저항의 저항값이 1 Ω일 때, 저항값이 R_1인 저항 양단에 걸린 전압은 20 V이다.
ㄷ. ㉠은 5 A이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

스위치를 닫았을 때 A 양단에 걸린 전압과 C 양단에 걸린 전압은 같다.

[26027-0149]

07 그림과 같이 저항 A, B, C, D, 스위치를 전압이 8 V인 전원에 연결하여 회로를 구성하였다. A와 D의 저항값은 2 Ω, B와 C의 저항값은 1 Ω이다. p는 회로상의 점이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 스위치를 열었을 때, 회로 전체의 합성 저항값은 $\frac{8}{3}$ Ω이다.

ㄴ. 스위치를 열었을 때, A 양단에 걸린 전압은 2 V이다.

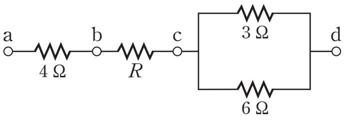
ㄷ. p에 흐르는 전류의 세기는 스위치를 열었을 때가 닫았을 때의 $\frac{1}{2}$배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

저항값이 R인 저항 양단에 걸린 전압이 V일 때, 저항의 소비 전력은 $\frac{V^2}{R}$이다.

[26027-0150]

08 그림은 저항값이 각각 4 Ω, R, 3 Ω, 6 Ω인 저항을 연결한 모습을 나타낸 것이다. 표는 전압이 V_0인 전원 장치를 단자 a, b, c, d 중 두 단자에 연결하여 회로를 구성하였을 때, 회로의 소비 전력을 나타낸 것이다.



전원 장치 연결 단자	회로의 소비 전력(W)
a, c	40
b, d	50
a, d	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. $R=6$ Ω이다.

ㄴ. $V_0=20$ V이다.

ㄷ. ㉠은 30이다.

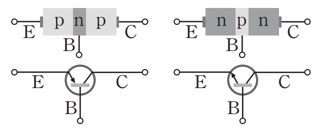
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 트랜지스터와 축전기

1 트랜지스터

(1) 트랜지스터

① 종류: p형과 n형 불순물 반도체를 p형, n형, p형 또는 n형, p형, n형 순으로 접합하여 만들며, p−n−p형과 n−p−n형이 있다.



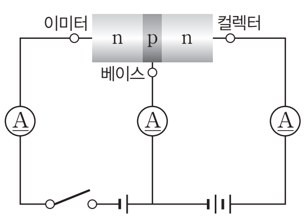
p−n−p형 n−p−n형

② 구조: 이미터(E), 베이스(B), 컬렉터(C)라고 부르는 3개의 단자가 있고, 이미터와 컬렉터 사이의 베이스는 두께가 수 μm 정도로 매우 얇게 제작된다.

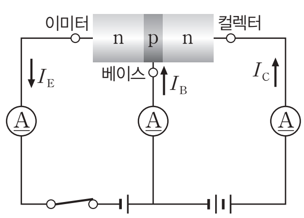
(2) 증폭 작용과 스위칭 작용

① 트랜지스터의 작동 원리

- 그림 (가)와 같이 스위치가 열려 있으면, 베이스의 p형 반도체와 컬렉터의 n형 반도체 사이에 역방향 전압이 걸린다. 따라서 컬렉터에 연결된 전류계에 전류가 흐르지 않는다.
- 그림 (나)와 같이 트랜지스터가 정상적으로 작동할 때, 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸린다.
- 그림 (나)와 같이 스위치를 닫아 이미터와 베이스 사이에 전류가 흐르면, 이미터에서 베이스로 이동하는 전자가 컬렉터와 베이스 사이에 걸린 전압에 의해 컬렉터로도 이동한다. 따라서 모든 전류계에 전류가 흐른다.
- 그림 (나)에서 베이스와 컬렉터로 전류가 들어가고 이미터에서 전류가 나오므로 다음 관계가 성립한다. ➡ $I_E = I_B + I_C$



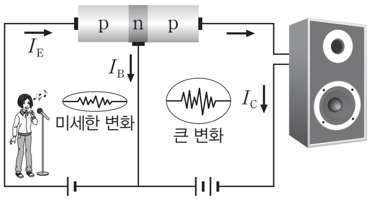
(가)



(나)

② 트랜지스터의 증폭 작용

- 이미터와 베이스 사이의 전압보다 베이스와 컬렉터 사이의 전압을 훨씬 크게 하면, 이미터에서 베이스로 흐르는 전류 대부분이 컬렉터로 흐르게 되어 베이스 전류 I_B에 비해 컬렉터 전류 I_C가 훨씬 크다.



- 그림과 같이 이미터와 베이스 단자 사이에 마이크와 같은 입력 장치를 연결하면, 베이스 전류의 미세한 변화가 컬렉터에서 큰 변화로 출력된다. 이와 같이 베이스 전류의 미세한 변화를 컬렉터에서 큰 변화로 출력하는 작용을 트랜지스터의 증폭 작용이라고 한다.
- 전류 증폭률: 베이스 전류 I_B에 대한 컬렉터 전류 I_C의 비를 전류 증폭률이라고 한다.

$$\text{전류 증폭률} = \frac{I_C}{I_B}$$

개념 체크

➲ **트랜지스터:** p형과 n형 불순물 반도체를 p형, n형, p형 또는 n형, p형, n형 순으로 접합하여 만들며, 이미터(E), 베이스(B), 컬렉터(C)라고 부르는 3개의 단자가 있다.

➲ **전류 증폭률:** 전류의 증폭 정도는 베이스 전류(I_B)와 컬렉터 전류(I_C)의 세기를 비교하여 결정한다.

1. 트랜지스터에는 이미터, (㉠), (㉡) 3개의 단자가 있고, 이미터와 컬렉터 사이의 (㉠)는 두께가 수 μm 정도로 매우 얇게 제작된다.

2. 트랜지스터가 증폭 작용을 할 때 이미터와 베이스 사이에는 (순방향 , 역방향) 전압이, 베이스와 컬렉터 사이에는 (순방향 , 역방향) 전압이 걸린다.

3. n−p−n형 트랜지스터가 증폭 작용을 할 때, (   )의 대부분의 전자는 베이스를 지나 (   )로 이동한다.

4. 트랜지스터가 증폭 작용을 할 때, 이미터에 흐르는 전류의 세기가 $100I_0$, 컬렉터에 흐르는 전류의 세기가 $99I_0$일 때, 전류 증폭률은 99이다. (○ , ×)

정답
1. ㉠ 베이스, ㉡ 컬렉터
2. 순방향, 역방향
3. 이미터, 컬렉터
4. ○

개념 체크

➔ **바이어스 전압**: 트랜지스터를 정상적으로 작동시키기 위해 이미터와 베이스 사이에 걸어 주는 전압이다.

1. 이미터와 베이스 사이에 전류가 흐르지 않으면 컬렉터에 전류가 (흐른다 , 흐르지 않는다).

2. 이미터와 베이스 사이에 전류를 흐르게 하거나 흐르지 않도록 하여 컬렉터에 전류가 흐르게 할 수도 있고, 흐르지 않도록 할 수도 있는데, 이와 같은 작용을 트랜지스터의 (　　) 작용이라고 한다.

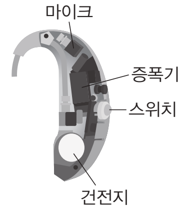
정답
1. 흐르지 않는다
2. 스위칭

③ 트랜지스터의 스위칭 작용

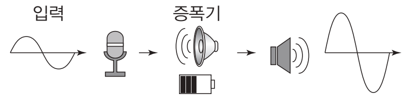
- 이미터와 베이스 사이에 전류가 흐르지 않으면 컬렉터에도 전류가 흐르지 않으므로, 이미터와 베이스 사이에 전류를 흐르게 하거나 흐르지 않도록 하여 컬렉터에 전류가 흐르게 할 수도 있고 흐르지 않도록 할 수도 있는데, 이와 같은 작용을 트랜지스터의 스위칭 작용이라고 한다.
- 트랜지스터의 스위칭 작용은 기계적으로 전류를 단속하지 않기 때문에 1초에 천 회 이상 전류를 단속할 수 있으며, 전류를 단속할 때 잡음이 거의 발생하지 않는 장점이 있다.

과학 돋보기 **트랜지스터의 활용**

보청기의 마이크에서 소리 신호가 전기 신호로 바뀌어 증폭기에 입력되면 증폭기는 건전지에서 전기 에너지를 공급받아 전기 신호가 더 크게 출력되도록 한다. 현재는 여러 개의 트랜지스터를 묶은 집적 회로가 사용되어 보청기의 기능이 다양하게 개선되었다.



보청기의 구조



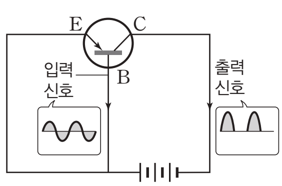
보청기의 작동 과정

(3) 바이어스 전압

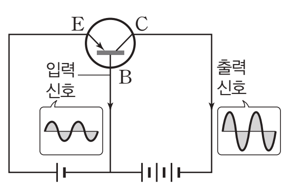
① 바이어스 전압: 트랜지스터를 정상적으로 작동시키기 위해서는 이미터와 베이스 사이에 적절한 전압을 걸어 주어야 하는데, 이 전압을 바이어스 전압이라고 한다.

② 증폭 회로에서 바이어스 전압의 역할

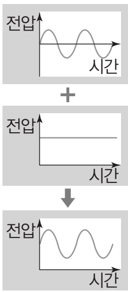
- 바이어스 전압을 걸지 않았을 때: p−n−p형 트랜지스터에서 베이스 단자에 전압이 걸려 있지 않은 상태에서는 입력된 교류 신호의 (+)쪽 신호에만 반응하여 (−)쪽 신호가 나오지 않는다. 그 까닭은 (+), (−)가 교대로 되어 있는 교류 형태의 신호에서 스위칭 작용 때문에 (−)부분에서는 컬렉터 쪽으로 전류가 흐르지 않아 신호가 출력되지 않기 때문이다.
- 바이어스 전압을 걸었을 때: 적절한 바이어스 전압을 걸어 주면 신호를 제대로 증폭할 수 있다. 예를 들어 베이스에 공급되는 신호 전압의 진폭이 0.1 V라고 할 때 이미터와 베이스 사이에 바이어스 전압을 1.0 V 걸어 주면 (+)쪽은 바이어스 전압과 신호 전압이 더한 값인 1.1 V가 되고, (−)쪽은 바이어스 전압에서 신호 전압을 뺀 값인 0.9 V가 되므로 모든 신호가 증폭되어 출력된다.



바이어스 전압을 걸지 않았을 때



바이어스 전압을 걸었을 때



③ 전압 분할로 바이어스 전압 결정하기

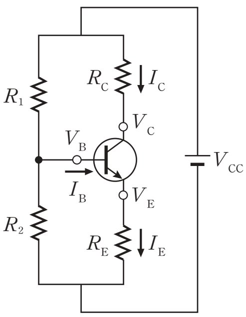
- n−p−n형 트랜지스터를 전원에 연결하여 일정한 전류 증폭률로 작동시킬 때 베이스와 이미터 사이의 전압을 일정한 값 V_{BE}로, 컬렉터와 이미터 사이의 전압을 일정한 값 V_{CE}로 정해 놓고, 이때 이미터 단자 전위를 V_E로 정하면 트랜지스터의 세 단자의 전위는 각각 다음과 같다.

  이미터 단자 전위: V_E

  베이스 단자 전위: $V_B = V_E + V_{BE}$

  컬렉터 단자 전위: $V_C = V_E + V_{CE}$

- 4개의 저항을 이용하여 그림과 같이 회로를 설계한다. 베이스 단자로 흐르는 전류 I_B가 매우 작다면, V_{CC}를 두 저항 $R_1 : R_2$로 분할하여 $V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$가 되도록 하는 R_1과 R_2를 선택한다. $R_E = \frac{V_E}{I_E} \fallingdotseq \frac{V_E}{I_C}$, $R_C = \frac{V_{CC} - V_C}{I_C}$가 되도록 R_E, R_C를 선택한다. 이와 같이 트랜지스터의 각 단자에 적절한 저항을 추가하는 방법으로 전압을 분할하여 바이어스 전압을 결정할 수 있다.

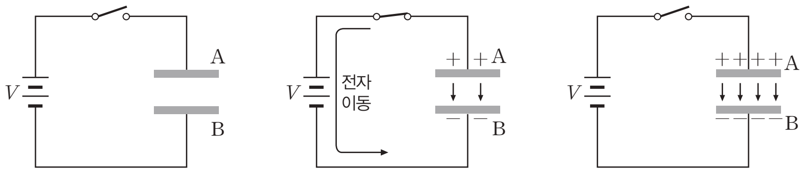


2 축전기

(1) 축전기: 전하를 저장할 수 있는 장치를 말하며, 축전기에 전하를 저장하는 과정을 충전이라고 한다.

(2) 축전기의 전기 용량: 축전기에 충전되는 전하량 Q는 두 극판 사이의 전위차 V에 비례한다. 이때 비례 상수 C를 전기 용량이라고 한다. ➡ $Q = CV$

축전기에 전하를 충전시키면 전하량에 비례해서 축전기에 걸리는 전압은 증가한다.



충전 전 / 충전 중 / 충전 후

① 전기 용량

- 축전기에 걸리는 전압이 1 V일 때, 충전되는 전하량을 전기 용량이라고 한다.
- 축전기 극판의 면적, 두 극판 사이의 간격, 극판 사이에 있는 물질의 종류에 따라 다르다.
- 축전기에 전압 V인 전지를 연결하면, 축전기에 걸리는 전압이 V가 될 때까지 전하가 충전된다.
- 같은 전하량을 충전시킬 때 전기 용량이 큰 축전기일수록 축전기에 걸리는 전압이 더 낮다.
- 전기 용량의 단위: F(패럿)

  ➡ 1 F은 1 V의 전압을 걸어 줄 때 1 C의 전하량이 충전되는 전기 용량이다.

  ➡ 1 F은 매우 큰 단위이므로 일상생활에서는 1 μF($=10^{-6}$F) 또는 1 pF($=10^{-12}$F)을 사용한다.

개념 체크

➲ **전하량:** 축전기에 충전되는 전하량은 두 극판 사이의 전위차에 비례한다.

$Q = CV$

➲ **전기 용량:** 축전기에 1 V의 전압을 걸었을 때 충전되는 전하량이다.

1. 축전기에 충전되는 전하량은 두 극판 사이의 전위차에 비례한다. (○, ×)

2. 같은 전하량을 충전시킬 때 전기 용량이 (큰 , 작은) 축전기일수록 축전기 양단의 전위차는 작다.

3. 전기 용량이 2 F인 축전기 양단의 전위차가 4 V일 때, 축전기에 충전된 전하량은 (   )이다.

정답

1. ○
2. 큰
3. 8 C

개념 체크

➔ **유전체와 유전 분극:** 유전체에서의 정전기 유도 현상을 유전 분극이라고 한다. 유전 분극은 외부 전기장에 의해 각 분자의 양(+)전하와 음(−)전하가 반대쪽으로 치우치기 때문에 나타나는 현상이다.

➔ **유전체와 전기 용량:** 유전체를 축전기의 두 극판 사이에 넣으면 유전 분극이 일어나 전기 용량이 증가한다.

➔ **축전기에 저장된 전기 에너지:** 대전된 축전기에 저장된 에너지는 그 축전기를 대전시키기 위해 필요한 일이다.

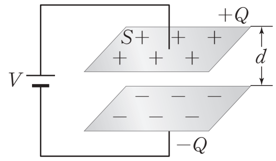
1. 평행판 축전기의 전기 용량은 극판의 면적에 비례한다. (○ , ×)

2. 평행판 축전기의 전기 용량은 극판 사이의 간격에 비례한다. (○ , ×)

3. 유전체를 축전기 속에 넣으면 축전기의 전기 용량은 진공 상태일 때보다 크다. (○ , ×)

정답
1. ○
2. ×
3. ○

② 평행판 축전기의 전기 용량 C는 극판의 면적 S에 비례하고, 극판 사이의 간격 d에 반비례한다.



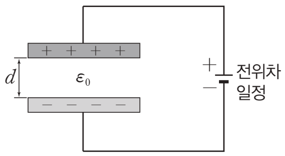
$$C=\varepsilon\frac{S}{d}\ (\varepsilon\text{: 유전율})$$

(3) 유전체의 역할

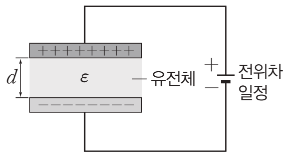
① 유전체: 유리, 종이, 나무, 플라스틱과 같은 절연체이다.

② 유전율: 전기장 내에서 유전 분극되는 정도와 관련 있는 물리량이다. 유전 분극이 잘될수록 유전율이 크며, 진공의 유전율은 일반적으로 ε_0으로 나타낸다.

③ 유전체와 전기 용량: 유전율이 ε인 유전체를 축전기 속에 넣으면 전기 용량은 진공 상태일 때의 $\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$배가 된다. 축전기 속에 유전체를 넣으면 유전체의 유전 분극에 의해 축전기에 전하를 더 많이 모을 수 있다.



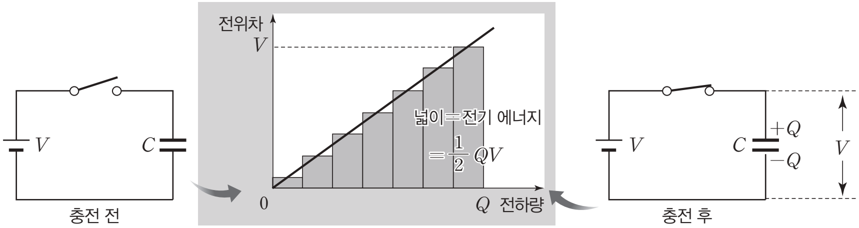
유전체를 넣지 않았을 때



유전체를 넣었을 때

3 축전기에 저장된 전기 에너지

(1) 전기 용량이 C인 축전기에 전압 V인 전지를 연결하여 충전을 시작하면 축전기 극판의 양단에 전하가 이동하여 대전이 된다.



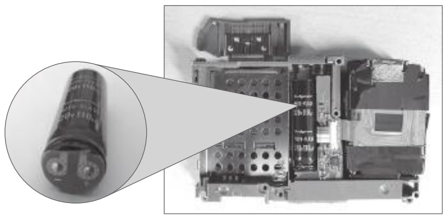
(2) 축전기에 저장된 전기 에너지는 전위차-전하량 그래프의 밑넓이와 같다.

$$E=\frac{1}{2}QV=\frac{1}{2}CV^2=\frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$$

4 축전기의 이용

(1) 에너지 저장 장치로서의 축전기 활용 사례

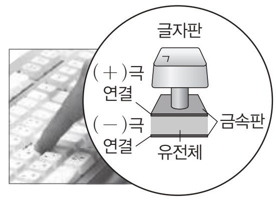
① 카메라 플래시: 사진을 찍을 때 주변이 어두우면 플래시를 터뜨리는데, 플래시에서 강한 빛을 발산하기 위해서는 순간적으로 많은 전기 에너지가 필요하다. 이때 축전기에 저장된 전기 에너지를 이용하여 짧은 시간 동안 강한 빛을 낼 수 있다.


카메라 내부의 축전기

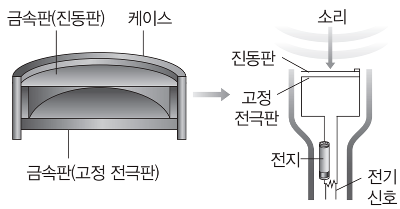
② **자동 심장 충격기**: 축전기에 저장된 전기 에너지를 한꺼번에 방전시키면서 순간적으로 강한 전류를 심장 부근에 가해 심장이 원래 기능을 하도록 돕는다. 자동 심장 충격기를 반복 사용할 때 축전기에 전하를 충전시키는 데 시간이 걸리므로 연속으로 사용하지는 못한다.

(2) 전기 용량의 차이로서의 축전기 활용 사례

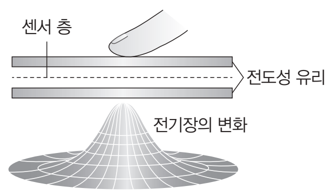
① **키보드**: 컴퓨터 키보드 중 축전기 원리를 활용하는 정전식 키보드의 글자판 아래에는 글자판과 함께 움직이는 금속판과 고정된 금속판이 연결되어 나란하게 배치되어 있어 글자판을 누르면 두 금속판 사이의 간격이 줄어들어 전기 용량이 증가하고 컴퓨터가 이 변화를 인식하여 글자를 입력한다.



② **콘덴서 마이크**: 전지에 연결된 두 금속판이 나란하게 배치되어 있어 소리에 의해 얇은 금속판이 진동할 때 두 금속판 사이의 간격이 달라지면 전기 용량이 변하게 된다.

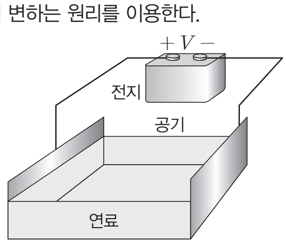


③ **터치스크린**: 유리 한쪽 표면의 전기 전도성을 높게 만든 후 작은 전위차를 걸어 주어 균일한 전기장을 만들어 준다. 손가락이 유리 표면에 닿으면 유리 표면의 전하량이 변하여 유리 사이에 형성된 균일한 전기장이 변한다. 이때 유리판의 네 모서리에 있는 센서가 전기장의 변화를 감지하여 손가락의 위치를 인식한다.

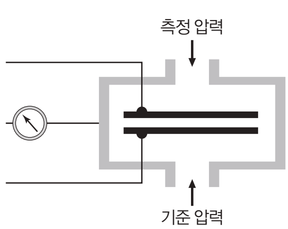


과학 돋보기 **연료 잔량 측정기와 축전기 압력계**

연료 잔량 측정기는 축전기의 두 극판 사이에 채워진 연료의 양에 따라 유전율이 변하면 축전기의 전기 용량이 변하는 원리를 이용한다. 축전기 압력계는 축전기의 두 극판에 가해지는 미세한 측정 압력의 변화에 의해 극판 사이의 간격이 변해 전기 용량이 변하는 원리를 이용한다.



연료 잔량 측정기의 원리



축전기 압력계의 원리

개념 체크

➔ **자동 심장 충격기**: 축전기에 저장된 전기 에너지를 한꺼번에 방전시켜 순간적으로 강한 전류를 심장 부근에 가하여 심장이 원래 기능을 하도록 돕는 장치이다.

➔ **키보드**: 키보드의 글자판을 누르면 두 금속판 사이의 간격이 줄어들어 전기 용량이 증가하고 컴퓨터가 이 변화를 인식하여 글자가 입력된다.

1. 전기 용량이 5 F인 축전기에 10 V의 전압이 걸렸을 때 축전기에 저장된 전기 에너지는 (　　) 이다.

2. 키보드의 글자판을 누르면 두 금속판 사이의 간격이 감소하면서 전기 용량이 (증가 , 감소)하고 컴퓨터가 이 변화를 인식하여 글자가 입력된다.

3. 카메라 플래시, 자동 심장 충격기는 축전기에 저장된 (　　)를 이용하는 장치이다.

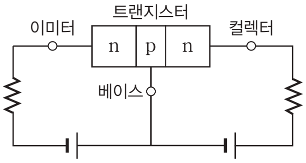
정답

1. 250 J
2. 증가
3. 전기 에너지

수능 2점 테스트

[26027-0151]

01 다음은 트랜지스터에 대한 설명이다.

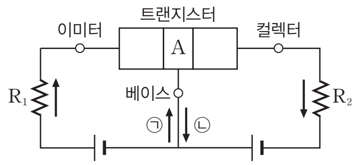
> 트랜지스터가 전류를 증폭하는 회로에서 이미터와 베이스 사이에는 $\boxed{\text{A}}$ 전압이 걸려 있고, 베이스와 컬렉터 사이에는 $\boxed{\text{B}}$ 전압이 걸려 있다. 베이스에 흐르는 전류의 미세한 변화로 $\boxed{\text{C}}$ 에 흐르는 전류의 큰 변화를 얻는 것을 트랜지스터의 증폭 작용이라 한다.
>
> 
>

A, B, C로 옳은 것은?

	A	B	C
①	순방향	순방향	컬렉터
②	순방향	역방향	컬렉터
③	순방향	역방향	이미터
④	역방향	순방향	이미터
⑤	역방향	순방향	컬렉터

[26027-0152]

02 그림과 같이 트랜지스터, 저항 R_1과 R_2, 전압이 일정한 전원으로 구성된 회로에서 전류가 증폭되고 있다. R_1과 R_2에는 화살표 방향으로 전류가 흐른다. A는 p형 반도체, n형 반도체 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

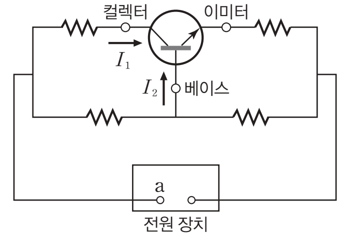
보기

ㄱ. A는 n형 반도체이다.
ㄴ. 베이스에 흐르는 전류의 방향은 ㉡이다.
ㄷ. 전류의 세기는 R_1에서가 R_2에서보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0153]

03 그림과 같이 트랜지스터, 저항, 전압이 일정한 전원 장치로 구성된 회로에서 전류가 증폭되고 있다. 컬렉터와 베이스에는 화살표 방향으로 세기가 각각 I_1, I_2인 전류가 흐른다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

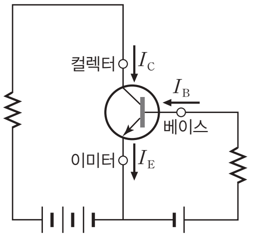
보기

ㄱ. 전원 장치의 단자 a는 (+)극이다.
ㄴ. 베이스 단자의 전위는 이미터 단자의 전위보다 높다.
ㄷ. 전류 증폭률은 $\frac{I_1}{I_2}$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0154]

04 그림과 같이 트랜지스터, 저항, 전압이 일정한 전원으로 구성된 회로에서 전류가 증폭되고 있다. 이미터, 베이스, 컬렉터에는 화살표 방향으로 세기가 각각 I_E, I_B, I_C인 전류가 흐른다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

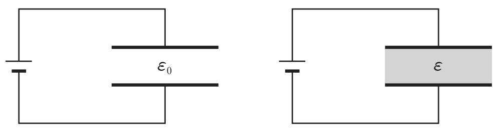
보기

ㄱ. 트랜지스터는 n−p−n형이다.
ㄴ. 이미터와 베이스 사이에는 역방향 전압이 걸려 있다.
ㄷ. $I_E > I_B + I_C$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0155]

05 그림 (가)는 평행판 축전기를 전압이 일정한 전원에 연결하여 완전히 충전시킨 모습을 나타낸 것으로, 축전기에 충전된 전하량은 Q_0이다. 그림 (나)는 (가)에서 축전기에 유전율이 ε인 유전체를 채워 축전기를 완전히 충전시킨 모습을 나타낸 것이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, ε_0은 진공의 유전율이다.)

〈보기〉

ㄱ. 축전기의 전기 용량은 (나)에서가 (가)에서의 $\left(\dfrac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)$배이다.

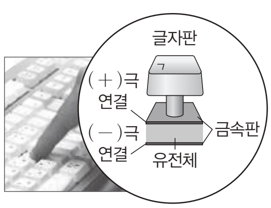
ㄴ. 축전기 양단의 전위차는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

ㄷ. (나)에서 축전기에 충전된 전하량은 $\left(\dfrac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)Q_0$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0156]

06 다음은 정전식 키보드의 작동 원리에 대한 설명이다.



정전식 키보드는 평행판 축전기를 이용한 장치이다. 키보드의 글자판을 누르면 ㉠글자판에 연결된 금속판과 고정된 금속판 사이의 간격이 감소하면서 ㉡축전기의 전기 용량이 $\boxed{\quad ㉢ \quad}$한다. 컴퓨터는 축전기의 전기 용량의 변화를 인식하여 글자를 입력한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

〈보기〉

ㄱ. ㉠이 일정할 때, 유전체의 유전율이 클수록 ㉡이 크다.

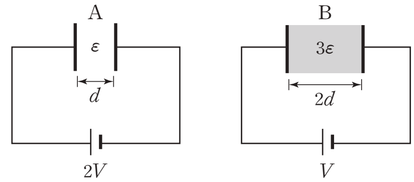
ㄴ. ㉡이 일정할 때, 축전기 양단의 전위차가 클수록 축전기에 충전된 전하량이 작다.

ㄷ. '감소'는 ㉢으로 적절하다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0157]

07 그림 (가), (나)는 극판의 면적이 같은 평행판 축전기 A, B가 전압이 각각 $2V$, V인 전원에 연결되어 완전히 충전된 모습을 나타낸 것이다. A, B의 극판 사이의 간격은 각각 d, $2d$이고, A, B의 극판 사이에 채워진 유전체의 유전율은 각각 ε, 3ε이다.



(가) (나)

A의 물리량이 B의 물리량보다 큰 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

〈보기〉

ㄱ. 전기 용량

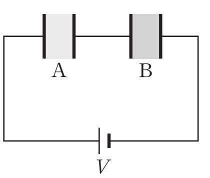
ㄴ. 충전된 전하량

ㄷ. 저장된 전기 에너지

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0158]

08 그림과 같이 극판의 면적, 극판 사이의 간격이 같은 평행판 축전기 A, B를 전압이 V로 일정한 전원에 연결하여 완전히 충전시켰다. 표는 A와 B에 채워진 유전체의 유전율, A와 B 양단의 전위차를 나타낸 것이다.



축전기	유전체의 유전율	양단의 전위차
A	ε	㉠
B	㉡	$\frac{3}{4}V$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

〈보기〉

ㄱ. ㉠은 $\frac{1}{4}V$이다.

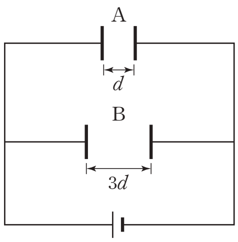
ㄴ. ㉡은 3ε이다.

ㄷ. 축전기에 저장된 전기 에너지는 A가 B의 $\frac{1}{3}$배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

[26027-0159]

09 그림은 극판의 면적이 같고 극판 사이의 간격이 각각 d, $3d$인 평행판 축전기 A, B를 전압이 일정한 전원에 연결하여 완전히 충전시킨 모습을 나타낸 것이다. A에 충전된 전하량은 Q_0이고, A 양단의 전위차는 V이다.



B에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 축전기 내부는 진공이다.)

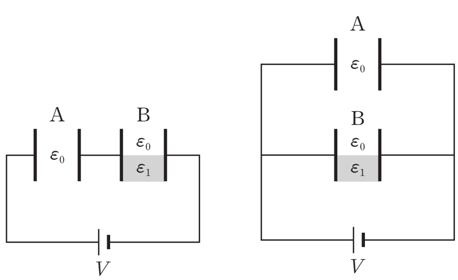
보기

ㄱ. 전기 용량은 $\frac{Q_0}{3V}$이다.
ㄴ. 충전된 전하량은 Q_0보다 작다.
ㄷ. 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{2}Q_0V$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0160]

10 그림 (가), (나)와 같이 극판의 면적, 극판 사이의 간격이 같은 평행판 축전기 A, B를 전압이 V로 일정한 전원에 연결하여 완전히 충전시켰다. B에는 유전율이 ε_1인 유전체가 절반만 채워져 있고, B에 충전된 전하량은 (나)에서가 (가)에서의 4배이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, ε_0은 진공의 유전율이다.)

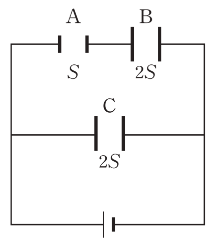
보기

ㄱ. (가)에서 A 양단의 전위차는 B 양단의 전위차의 3배이다.
ㄴ. $\varepsilon_1 = 5\varepsilon_0$이다.
ㄷ. (나)에서 충전된 전하량은 A에서가 B에서의 $\frac{1}{3}$배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0161]

11 그림은 극판 사이의 간격이 같은 평행판 축전기 A, B, C를 전압이 일정한 전원에 연결하여 완전히 충전시킨 모습을 나타낸 것이다. A, B, C의 극판의 면적은 각각 S, $2S$, $2S$이다.

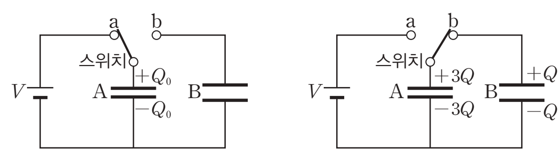


A, B, C에 저장된 전기 에너지를 각각 E_A, E_B, E_C라 할 때, $E_A : E_B : E_C$는? (단, 축전기 내부는 진공이다.)

① 1 : 2 : 4 ② 2 : 1 : 9 ③ 2 : 4 : 9
④ 9 : 2 : 4 ⑤ 9 : 4 : 2

[26027-0162]

12 그림 (가)는 전압이 V로 일정한 전원, 평행판 축전기 A와 B, 스위치로 구성된 회로에서 스위치를 a에 연결하여 A를 완전히 충전시킨 모습을 나타낸 것으로, A에 충전된 전하량은 Q_0이다. 그림 (나)는 (가)에서 스위치를 b에 연결하여 B를 완전히 충전시킨 모습을 나타낸 것으로, A, B에 충전된 전하량은 각각 $3Q$, Q이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. $Q_0 = 4Q$이다.
ㄴ. A 양단의 전위차는 (가)에서가 (나)에서의 3배이다.
ㄷ. (가)에서 A에 저장된 전기 에너지는 (나)에서 B에 저장된 전기 에너지보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

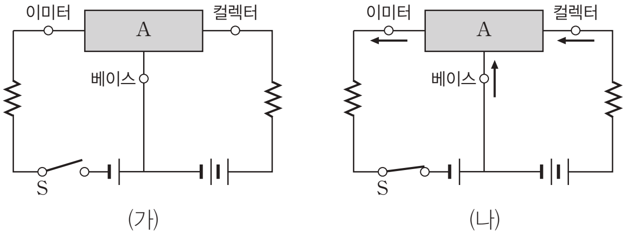
수능 3점 테스트

정답과 해설 33쪽 ▶

[26027-0163]

01 그림 (가)는 트랜지스터 A, 저항, 전압이 일정한 전원, 스위치 S로 구성된 회로에서 S가 열려 있는 것을 나타낸 것으로, 이미터, 베이스, 컬렉터에는 전류가 흐르지 않는다. 그림 (나)는 (가)에서 S를 닫았더니 이미터, 베이스, 컬렉터에 화살표 방향으로 전류가 흐르는 것을 나타낸 것으로, 전류가 증폭되고 있다.

(나)의 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸려 있다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

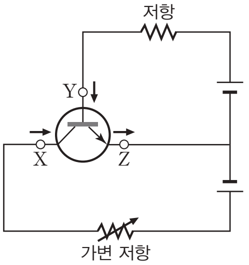
ㄱ. A는 n-p-n형 트랜지스터이다.
ㄴ. (가)의 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압이 걸려 있다.
ㄷ. (나)의 A에서 다수의 전자는 이미터에서 컬렉터로 이동한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0164]

02 그림과 같이 트랜지스터, 저항, 가변 저항, 전압이 일정한 전원을 연결하여 전류 증폭 회로를 구성하였다. 트랜지스터에 연결된 단자 X, Y, Z에는 화살표 방향으로 전류가 흐르고, 가변 저항의 저항값이 R_0일 때와 $2R_0$일 때 $\dfrac{\text{X에 흐르는 전류의 세기}}{\text{Y에 흐르는 전류의 세기}}$는 같다.

X에 흐르는 전류의 세기는 가변 저항의 저항값이 R_0일 때가 $2R_0$일 때보다 크다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

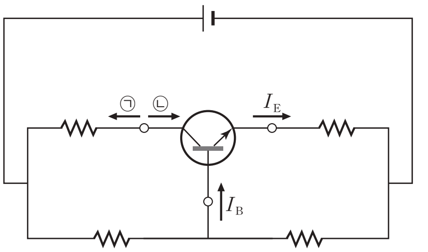
ㄱ. X는 컬렉터 단자이다.
ㄴ. Y의 전위는 Z의 전위보다 높다.
ㄷ. Z에 흐르는 전류의 세기는 가변 저항의 저항값이 R_0일 때가 $2R_0$일 때보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

컬렉터에 흐르는 전류의 세기는 $I_E - I_B$이다.

[26027-0165]

03 그림과 같이 트랜지스터, 저항, 전압이 일정한 전원으로 구성된 회로에서 전류가 증폭되고 있다. 이미터와 베이스에는 화살표 방향으로 세기가 각각 I_E, I_B인 전류가 흐른다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 컬렉터에 흐르는 전류의 방향은 ㉡이다.

ㄴ. 트랜지스터의 전류 증폭률은 $\dfrac{I_B}{I_E - I_B}$이다.

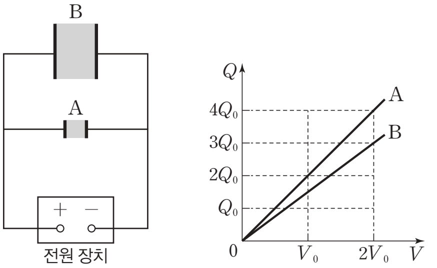
ㄷ. 컬렉터의 전위는 베이스의 전위보다 높다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

축전기의 전기 용량을 C, 축전기 양단의 전위차를 V라 할 때, 축전기에 충전된 전하량은 CV이고, 축전기에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{2}CV^2$이다.

[26027-0166]

04 그림 (가)는 축전기 A, B를 전원 장치에 연결한 것을, (나)는 A, B에 충전된 전하량 Q를 전원 장치의 전압 V에 따라 나타낸 것이다. 표는 A, B에 채워진 유전체의 유전율, 극판 사이의 간격, 극판의 면적을 나타낸 것이다.



(가) (나)

축전기	유전체의 유전율	극판 사이의 간격	극판의 면적
A	2ε	d	S
B	㉠	$2d$	$3S$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 전기 용량은 A가 B의 $\dfrac{4}{3}$배이다.

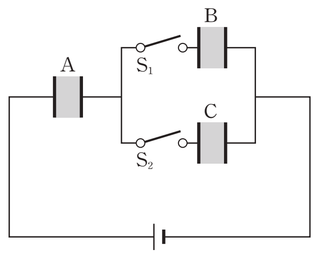
ㄴ. ㉠은 ε이다.

ㄷ. 전원 장치의 전압이 V_0일 때 A에 저장된 전기 에너지는 전원 장치의 전압이 $2V_0$일 때 B에 저장된 전기 에너지의 3배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0167]

05 그림과 같이 평행판 축전기 A, B, C, 스위치 S_1과 S_2를 전압이 일정한 전원에 연결하였다. 전기 용량은 A와 B가 같다. 표는 S_1 또는 S_2를 연결하고 축전기를 완전히 충전시켰을 때 A에 충전된 전하량, A에 저장된 전기 에너지를 나타낸 것이다.



스위치	A	
	충전된 전하량	저장된 전기 에너지
S_1만 연결	$3Q$	$9E_0$
S_2만 연결	㉠	$4E_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

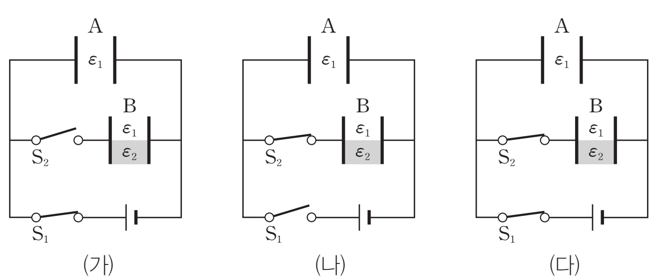
ㄱ. ㉠은 $2Q$이다.
ㄴ. S_2만 연결했을 때 A 양단의 전위차는 C 양단의 전위차의 2배이다.
ㄷ. 전기 용량은 B가 C의 $\frac{1}{2}$배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

축전기에 충전된 전하량을 Q, 축전기의 전기 용량을 C라 할 때, 축전기에 저장된 전기 에너지는 $\frac{Q^2}{2C}$이다.

[26027-0168]

06 그림 (가)는 전압이 일정한 전원, 극판 사이의 간격과 극판의 면적이 같은 축전기 A와 B, 스위치 S_1과 S_2로 구성된 회로에서 S_1만 닫은 모습을, (나)는 (가)에서 S_1은 열고 S_2를 닫은 후 B를 완전히 충전시킨 모습을, (다)는 (나)에서 S_1을 닫고 A와 B를 완전히 충전시킨 모습을 나타낸 것이다. A에는 유전율이 ε_1인 유전체가 완전히 채워져 있고, B에는 유전율이 각각 ε_1, ε_2인 유전체가 절반씩 채워져 있다. A에 충전된 전하량은 (가)에서가 (나)에서의 3배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. (나)에서 A와 B에 충전된 전하량은 같다.
ㄴ. $\varepsilon_2=3\varepsilon_1$이다.
ㄷ. A와 B에 저장된 전기 에너지의 합은 (나)에서가 (다)에서의 $\frac{2}{9}$배이다.

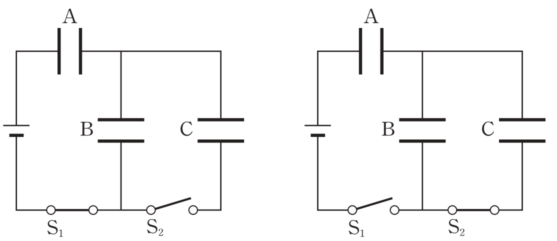
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

(가)에서 A에 충전된 전하량은 (나)에서 A에 충전된 전하량과 B에 충전된 전하량의 합과 같다.

(가)에서 B에 충전된 전하량은 (나)에서 B에 충전된 전하량과 C에 충전된 전하량의 합과 같다.

[26027-0169]

07 그림 (가)는 전압이 일정한 전원, 평행판 축전기 A, B, C, 스위치 S_1과 S_2로 구성된 회로에서 S_1만 닫아 A, B를 완전히 충전시킨 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 S_1을 열고 S_2만 닫아 C를 완전히 충전시킨 모습을 나타낸 것이다. A, B, C의 전기 용량은 각각 $2C_0$, C_0, $3C_0$이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. (가)에서 A 양단의 전위차는 B 양단의 전위차의 $\frac{1}{2}$배이다.

ㄴ. (나)에서 B에 충전된 전하량은 C에 충전된 전하량의 $\frac{1}{3}$배이다.

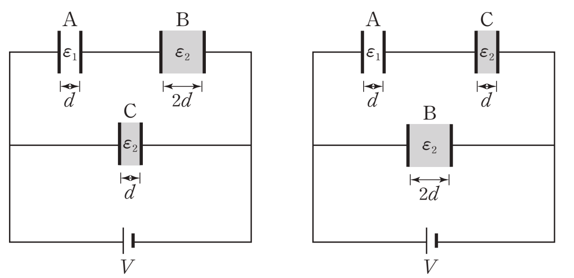
ㄷ. (가)에서 A에 저장된 전기 에너지는 (나)에서 C에 저장된 전기 에너지의 3배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

(가)에서 A 양단의 전위차 +B 양단의 전위차, (나)에서 A 양단의 전위차+C 양단의 전위차는 전원의 전압 V와 같다.

[26027-0170]

08 그림 (가), (나)와 같이 극판의 면적이 같은 평행판 축전기 A, B, C를 전압이 V인 전원에 연결하여 완전히 충전시켰다. A, B, C의 극판 사이의 간격은 각각 d, $2d$, d이고, 극판에 채워진 유전체의 유전율은 각각 ε_1, ε_2, ε_2이다. A 양단의 전위차는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{5}{8}$배이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. (가)에서 B 양단의 전위차는 $\frac{3}{4}V$이다.

ㄴ. $\varepsilon_1 : \varepsilon_2 = 3 : 4$이다.

ㄷ. (나)에서 축전기에 저장된 전기 에너지는 A에서가 C에서의 $\frac{2}{3}$배이다.

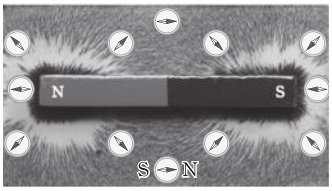
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

09 전류에 의한 자기장

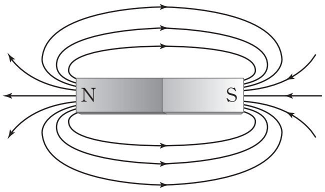
1 자기장과 자기력선

(1) 자기장: 자석 주위에 쇠붙이나 다른 자석을 가까이 하면 서로 당기거나 미는 힘이 작용하는데 이렇게 자석이 다른 물체와 상호 작용하는 힘을 자기력이라 하고, 자기력이 작용하는 공간을 자기장이라고 한다.

(2) 자기력선: 자기력선은 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향을 연속적으로 이은 선으로, 자기력선이 조밀한 곳일수록 자기장의 세기가 크다. 그림과 같이 막대자석 주위에 철가루를 뿌렸을 때, 자석 주위에 배열된 철가루의 모양으로 자기력선을 유추할 수 있다.



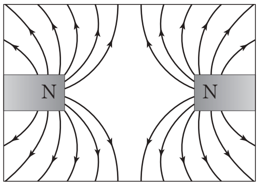
막대자석 주위의 자기장



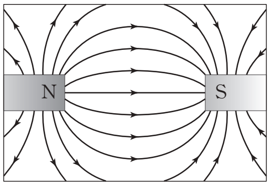
막대자석 주위의 자기력선

(3) 자기력선의 특징

① 자석의 N극에서 나와서 S극으로 들어가는 방향의 단일 닫힌 곡선이다.
② 서로 교차하거나 도중에 갈라지거나 끊어지지 않는다.
③ 자기력선 위의 한 점에서 그은 접선 방향이 그 점에서 자기장의 방향이다.
④ N극과 N극 사이, N극과 S극 사이에서 자기력선은 다음과 같다.



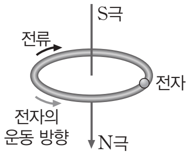
같은 극 사이에서의 자기력선



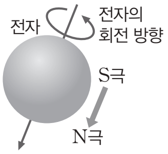
다른 극 사이에서의 자기력선

과학 돋보기 **전자의 궤도 운동과 스핀에 의한 자기장**

전하 주위에 전기장이 생기는 것처럼 그 전하가 운동하면 주위의 공간에는 자기장이 생긴다. 그림과 같이 전자가 원자핵 둘레를 시계 반대 방향으로 회전하면 전류는 시계 방향으로 흐르므로, 회전 중심에서 자기장의 방향은 전자 궤도면에 수직인 아래 방향이 된다. 전자가 스스로 축을 중심으로 자전하는 스핀 운동에 의해서도 자기장이 만들어지는데 보통은 스핀에 의한 자기장의 세기가 궤도 운동에 의한 자기장의 세기보다 크다.



전자의 궤도 운동



전자의 스핀 운동

개념 체크

➲ **자기장**: 자기력이 작용하는 공간이다.
➲ **자기력선**: 자기장 내에서 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향을 연속적으로 이은 선이다.

1. 자기력선은 자기장 내에서 나침반 자침의 (N극 , S극)이 가리키는 방향을 연속적으로 이은 선이다.

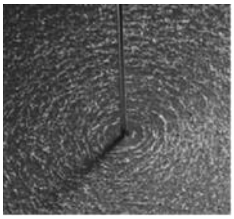
2. 자기력선이 조밀한 곳일수록 자기장의 세기가 (크다 , 작다).

3. 자석에 의한 자기력선은 자석의 (N극 , S극)에서 나와서 (N극 , S극)으로 들어가는 단일 닫힌 곡선이다.

정답
1. N극
2. 크다
3. N극, S극

2 직선 전류에 의한 자기장

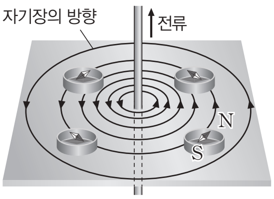
(1) 전류의 자기 작용의 발견: 외르스테드는 전류가 흐르는 도선 주위에 놓인 자침이 움직이는 것으로부터 전류에 의해 자기장이 발생한다는 결론을 도출하였다.



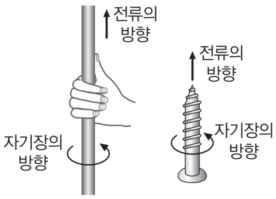
(2) 자기장의 세기: 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 주위에 만들어지는 자기장의 세기 B는 전류의 세기 I에 비례하고, 도선으로부터의 거리 r에 반비례한다.

$$B=k\frac{I}{r}\ [\text{단위: T, N/A}\cdot\text{m},\ k=2\times10^{-7}\ \text{N/A}^2]$$

(3) 자기장의 방향: 무한히 긴 직선 도선에 전류가 흐르면 도선을 중심으로 동심원 모양의 자기장이 만들어진다. 자기장의 방향은 오른손의 엄지손가락을 전류의 방향으로 향하게 할 때 나머지 네 손가락으로 감아쥐는 방향이다. 이를 앙페르 법칙이라고 하고, 앙페르 법칙은 오른나사의 진행 방향을 전류의 방향으로 할 때 자기장의 방향이 나사가 회전하는 방향과 같아 오른나사 법칙이라고도 한다.



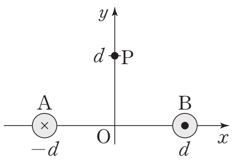
자기력선의 모양



자기장의 방향

탐구자료 살펴보기 무한히 긴 두 직선 전류에 의한 합성 자기장

자료 그림은 xy 평면에 수직으로 고정된 무한히 긴 직선 도선 A, B와 y축상의 점 P를 나타낸 것이다.

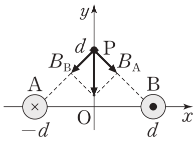


[조건]
- A, B에 흐르는 전류의 세기는 I로 같다.
  ⊗: xy 평면에 수직으로 들어가는 방향
  ⊙: xy 평면에서 수직으로 나오는 방향
- O에서 자기장의 세기는 $2B_0$이다.

분석
- O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 $2B_0$이므로 O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0으로 같다.
- P에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 서로 방향이 같지 않으므로 벡터 합을 통해 그 크기와 방향을 구할 수 있다.
- $B_0=k\frac{I}{d}$이므로 P에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_A=B_B=k\frac{I}{\sqrt{2}d}=\frac{1}{\sqrt{2}}B_0$이다.

  따라서 P에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0이고, 방향은 $-y$방향이다.

point
- 그림과 같이 B_A, B_B를 화살표로 표시하고, 그 합을 벡터 합을 통해 구할 수 있어야 한다.
- A, B에 흐르는 전류의 방향이 같을 때 P에서 자기장의 세기와 방향도 구해 보자.

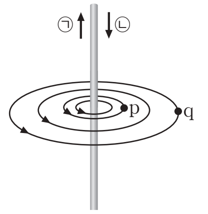


개념 체크

➔ **직선 전류에 의한 자기장의 세기**: 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터의 거리에 반비례한다.

1. 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 주위에 만들어진 자기장의 세기는 전류의 세기에 (비례 , 반비례) 하고, 도선으로부터의 거리에 (비례 , 반비례) 한다.

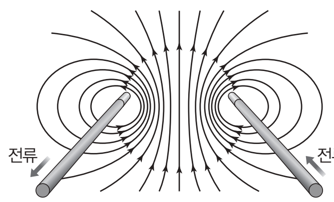
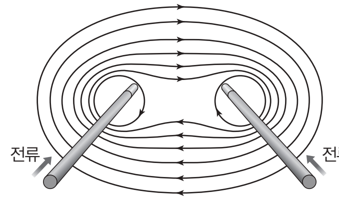
2. 그림은 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 주위의 자기장을 자기력선으로 나타낸 것이다.



(1) 직선 도선에 흐르는 전류의 방향은 (㉠ , ㉡) 방향이다.
(2) 자기장의 세기는 점 (p , q)에서가 점 (p , q)에서보다 크다.

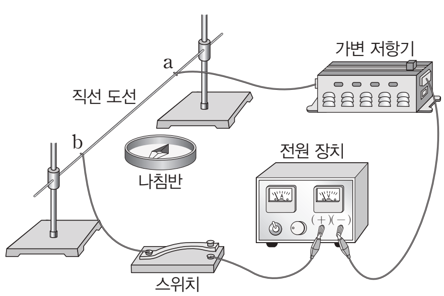
정답
1. 비례, 반비례
2. (1) ㉠ (2) p, q

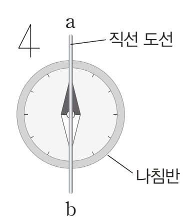
(4) 나란한 두 직선 도선에 전류가 흐를 때 자기력선의 모양: 세기가 같은 전류가 흐르는 두 직선 도선이 종이면에 수직으로 고정되어 있는 경우 각각의 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장이 서로 중첩된다. 이때 도선 주위에서 자기력선의 모양은 그림과 같다.

서로 반대 방향으로 전류가 흐를 때	서로 같은 방향으로 전류가 흐를 때
	
평행한 두 직선 전류가 반대 방향으로 흐를 때 두 도선 사이에는 두 전류가 형성하는 자기장의 방향이 같아 자기장의 세기가 크고 자기력선의 간격이 좁다.	평행한 두 직선 전류가 같은 방향으로 흐를 때 두 도선 사이에는 두 전류가 형성하는 자기장의 방향이 반대가 되어 자기장의 세기가 작고 자기력선의 간격이 넓다.

탐구자료 살펴보기 **직선 전류에 의한 자기장**

과정 (1) 그림과 같이 직선 도선을 수평면에 놓인 나침반의 자침과 나란하게 놓고 도선에 일정한 세기의 전류를 흐르게 한 후 자침을 관찰한다.

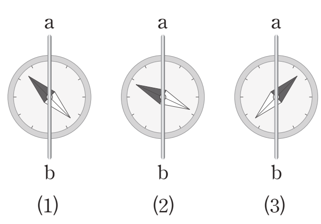




〈위에서 본 모습〉

(2) 가변 저항기의 저항값을 서서히 감소시킨 후 자침을 관찰한다.
(3) (1)에서 전원 장치의 극을 바꾸어 연결한 후 자침을 관찰한다.

결과
• (1), (2)에서는 자침의 N극이 시계 반대 방향으로 회전한다.
• 북쪽을 기준으로 자침의 N극의 회전각은 (2)에서가 (1)에서보다 크다.
• (3)에서는 자침의 N극이 시계 방향으로 회전한다.

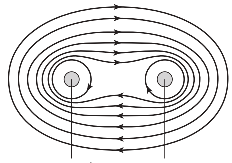


point
• 직선 도선에 일정한 세기의 전류가 흐를 때 자침의 N극이 가리키는 방향은 지구 자기장과 전류에 의한 자기장의 합성 자기장의 방향과 같다.
• 도선에 흐르는 전류의 세기가 클수록 전류에 의한 자기장의 세기가 커지므로 자침의 N극이 더 많이 회전한다.

개념 체크

➲ **두 직선 전류에 의한 자기장의 세기**: 나란한 두 직선 도선에 전류가 흐를 때 두 도선의 중앙에서 자기장의 세기는 두 자기장의 방향이 같으면 두 자기장의 세기의 합과 같고, 두 자기장의 방향이 반대이면 세기가 큰 자기장의 세기에서 세기가 작은 자기장의 세기를 뺀 값과 같다.

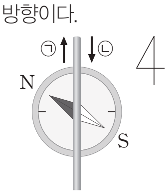
[1~2] 그림은 종이면에 수직으로 고정된 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 A, B에 의해 형성된 자기장을 자기력선으로 나타낸 것이다.



1. A, B에 흐르는 전류의 방향은 (같다 , 반대이다).

2. A와 B 사이에 자기장이 0인 지점이 있다. (○, ×)

3. 그림은 남북 방향으로 놓인 전류가 흐르는 직선 도선 아래에 놓은 나침반 자침의 모습을 나타낸 것이다. 직선 도선에 흐르는 전류의 방향은 (㉠ , ㉡) 방향이다.



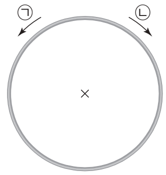
정답
1. 같다
2. ○
3. ㉠

개념 체크

➔ **원형 전류의 중심에서 자기장의 세기**: 전류의 세기에 비례하고, 도선이 만드는 원의 반지름에 반비례한다.

1. 전류가 흐르는 원형 도선의 중심에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 (비례 , 반비례)하고, 도선의 반지름에 (비례 , 반비례) 한다.

2. 그림과 같이 원형 도선의 중심에서 자기장의 방향이 종이면에 수직으로 들어가는 방향일 때, 원형 도선에 흐르는 전류의 방향은 (㉠ , ㉡) 방향이다.



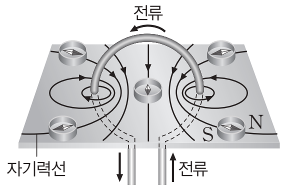
3 원형 전류에 의한 자기장

(1) 자기장의 모양: 원형 도선의 각 부분을 직선 도선으로 생각하면 도선 근처에서 원 모양이지만 도선에서 멀어지면 타원 모양이 되다가 도선의 중심에서는 직선 모양이 된다.

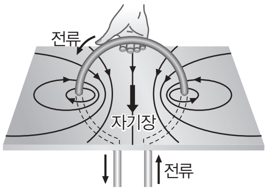
(2) 자기장의 세기: 원형 전류 중심에서 자기장의 세기는 전류의 세기 I에 비례하고, 원형 전류의 반지름 r에 반비례한다.

$$B=k'\frac{I}{r}\ [\text{단위: T, N/A}\cdot\text{m},\ k'=2\pi\times10^{-7}\ \text{N/A}^2]$$

(3) 자기장의 방향: 원형 도선에 전류가 흐르면 원형 도선 중심에 생성되는 자기장의 방향은 오른손의 엄지손가락을 전류의 방향으로 향하게 하고 나머지 네 손가락으로 도선을 감아쥘 때 네 손가락이 향하는 방향이다.



자기력선의 모양

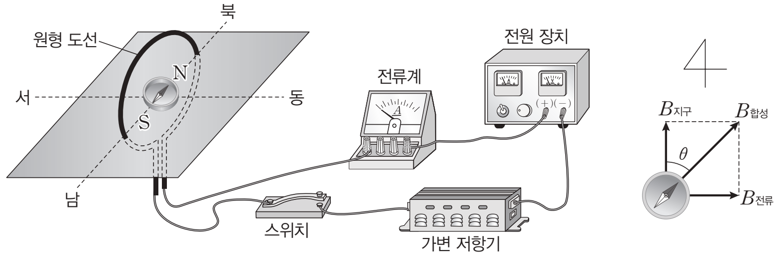


자기장의 방향

탐구자료 살펴보기 | 전류가 흐르는 원형 도선 주위의 자기장

과정

(1) 원형 도선의 중심축과 동서를 연결하는 선을 일치시켜 전기 회로를 구성하고, 원형 도선의 중심에 나침반을 놓는다.
(2) 스위치를 닫고 전원 장치에 연결된 가변 저항기의 저항값을 조절하여 전류의 세기를 변화시키면서 나침반 자침(N극)의 회전각을 측정한다.
(3) 원형 도선에 흐르는 전류의 방향을 반대로 하고, 나침반 자침(N극)의 회전 방향을 관찰한다.



결과

• 자침(N극)은 북쪽에서 동쪽(시계 방향)으로 회전하고, 전류의 방향을 반대로 하면 북쪽에서 서쪽(시계 반대 방향)으로 회전한다.

전류의 세기(A)	0.2	0.4	0.6	0.8
회전각(°)	11.6	22.3	31.6	39.4

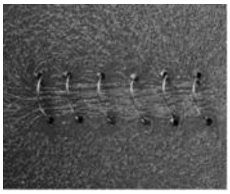
point

• 전류의 세기가 2배, 3배, 4배 증가함에 따라 나침반 자침의 회전각은 점점 증가한다. 하지만 회전각이 전류에 비례하여 2배, 3배, 4배로 증가하지는 않는다.
• 자침의 N극이 가리키는 방향은 지구에 의한 자기장 $B_{지구}$와 전류에 의한 자기장 $B_{전류}$를 합성한 $B_{합성}$ 방향이다.
• 원형 도선에 흐르는 전류의 방향만을 반대로 하면 나침반 자침의 회전 방향도 반대가 된다.

정답
1. 비례, 반비례
2. ㉡

4 솔레노이드에 의한 자기장

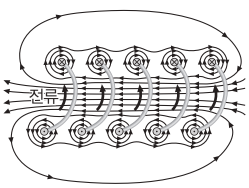
(1) 자기장의 모양: 긴 원통에 원형 도선을 촘촘하고 균일하게 감은 것을 솔레노이드라고 하며, 원형 도선을 여러 개 포개 놓은 것과 같다. 솔레노이드 중심에는 중심축에 나란하고 균일한 자기장이 형성되며, 솔레노이드 외부에는 막대자석이 만드는 자기장과 비슷한 모양의 자기장이 형성된다.



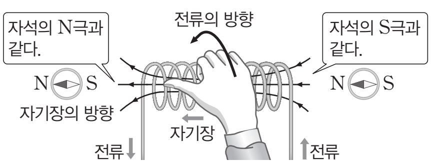
(2) 자기장의 세기: 솔레노이드 중심에는 균일한 자기장이 형성된다. 이때 솔레노이드 중심에서 자기장의 세기는 전류의 세기 I에 비례하고, 단위 길이당 도선의 감은 수 n에 비례한다.

$$B=k''nI \text{ [단위: T, N/A·m, } k''=4\pi\times10^{-7}\text{ N/A}^2\text{]}$$

(3) 자기장의 방향: 전류가 흐르는 방향으로 오른손 네 손가락을 감아쥐고 엄지손가락을 세울 때, 엄지손가락의 방향이 솔레노이드 중심에서의 자기장의 방향이다.



자기력선의 모양



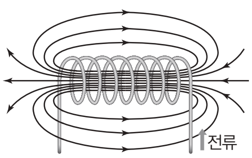
자기장의 방향

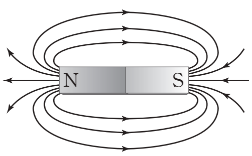
(4) 솔레노이드에 의한 자기장의 특징

① 막대자석에 의한 자기장과 모양이 비슷하다.

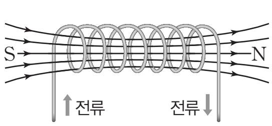
② N극과 S극을 이용해 자기장을 생각하면 편리하다.

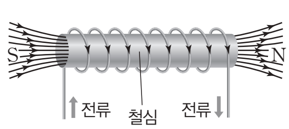
③ 중심에 균일한 자기장이 만들어진다.





(5) 전자석: 솔레노이드를 이용해 강한 자기장을 만들기 위해서는 전류의 세기를 크게 하거나 원통에 도선을 많이 감아야 하는데, 이러한 방법들은 도선의 저항 때문에 많은 열이 발생한다. 그러나 도선 안쪽에 철심을 넣으면 도선만 감았을 때보다 매우 강한 자기장을 얻을 수 있기 때문에, 전자석은 솔레노이드 도선 안쪽에 철심을 넣어 만든다.



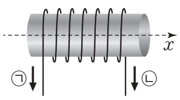


개념 체크

➲ **솔레노이드 중심에서의 자기장**: 솔레노이드 중심에서는 자기력선이 평행하고, 자기장은 균일하다.

1. 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 (비례 , 반비례)하고, 단위 길이당 도선의 감은 수에 (비례 , 반비례) 한다.

2. 그림은 전류가 흐르는 솔레노이드를 나타낸 것이다. 솔레노이드의 중심에서 자기장의 방향이 $+x$ 방향일 때, 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향은 (㉠ , ㉡) 방향이다.



정답

1. 비례, 비례
2. ㉠

개념 체크

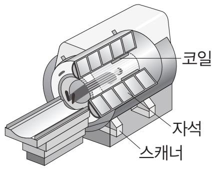
➔ **전자석의 이용**: 전류의 세기를 조절하여 자기장의 세기를 조절할 수 있으므로 전기 기구에 다양하게 쓰인다.

1. (　　)은 도선에 흐르는 전류의 세기를 조절하여 자기장의 세기를 조절할 수 있어 각종 전기 기구에 다양하게 쓰인다.

2. (　　)는 솔레노이드에서 강한 자기장을 발생시켜 인체 속 물 분자의 수소 원자핵을 공명시켜 얻은 신호를 이용하여 질병을 진단한다.

전자석은 도선에 흐르는 전류의 세기를 조절하여 자기장의 세기를 조절할 수 있으므로, 폐차장에서 무거운 쇠붙이를 들어 올릴 때나 각종 전기 기구에 다양하게 쓰인다.

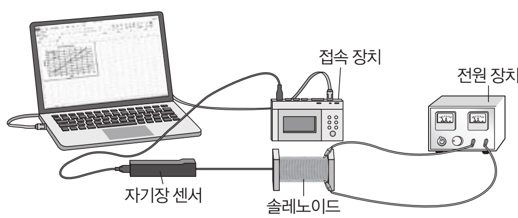
예 자기 공명 영상(MRI) 장치: 의료 장비 중 하나로, 솔레노이드에서 강한 자기장을 발생시키면 이 자기장이 인체 속 물 분자의 수소 원자핵을 공명시켜 얻은 신호를 영상으로 나타낸다.



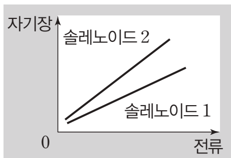
자기 공명 영상 장치

탐구자료 살펴보기 **솔레노이드에서 전류의 세기와 단위 길이당 감은 수에 따른 자기장의 세기 비교**

과정
(1) 그림과 같이 자기장 센서를 MBL 접속 장치에 연결하고 컴퓨터에 자료 수집 프로그램을 실행시킨다.
(2) 자기장 센서가 솔레노이드 1의 중앙에 위치하도록 조절하고 전원 장치의 전원을 켠다.
(3) 전원 장치의 전류의 세기를 증가시키면서 자기장의 세기를 확인한다.
(4) 단위 길이당 도선의 감은 수가 더 많은 솔레노이드 2로 교체하고 과정 (3)을 반복한다.
(5) 과정 (3), (4)의 결과를 그래프로 그린 후 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기와 단위 길이당 도선의 감은 수에 따라 자기장의 세기가 어떻게 달라지는지 정리한다.



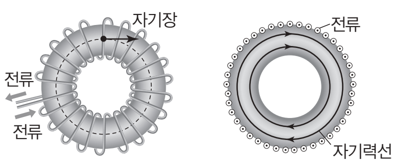
결과
• 솔레노이드 중심에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 솔레노이드의 단위 길이당 도선의 감은 수가 많을수록 크다.



point
• 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 위치에 관계없이 일정하다.
• 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기와 단위 길이당 도선의 감은 수에 각각 비례한다.
• 그래프가 원점을 지나지 않는 까닭은 지구 자기장이 작용하기 때문에 솔레노이드에 의한 자기장과 지구 자기장이 합성되어 영향을 받기 때문이다.

과학 돋보기 **솔레노이드를 둥글게 구부려 도넛 모양으로 만들었을 때 자기장**

솔레노이드를 구부려 양쪽 끝을 붙여 도넛 모양으로 만들었을 때, 도넛 내부에서 자기장은 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아쥘 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다. 따라서 자기력선은 원을 그리면서 도넛 내부를 도는 모양이다.



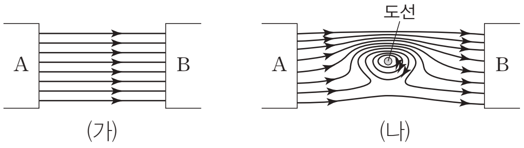
정답
1. 전자석
2. 자기 공명 영상 장치(MRI)

수능 2점 테스트

정답과 해설 35쪽 ▶

[26027-0171]

01 그림 (가)는 종이면에 나란하게 고정된 막대자석 A와 B가 만드는 자기장을 자기력선으로 나타낸 것을, (나)는 (가)에서 A와 B 사이에 전류가 흐르는 가늘고 무한히 긴 직선 도선을 종이면에 수직으로 고정하였을 때 종이면에 형성된 자기장을 자기력선으로 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

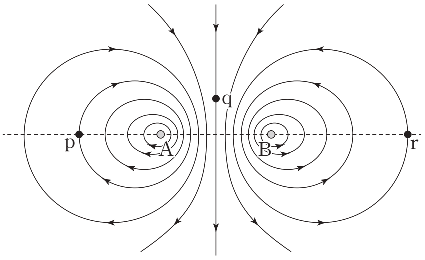
보기

ㄱ. (가)에서 A와 B 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.
ㄴ. (나)에서 도선에 흐르는 전류의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.
ㄷ. (나)에서 A와 B 사이에는 자기장이 0인 지점이 있다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0172]

02 그림은 종이면에 수직으로 고정된 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B에 전류가 흐를 때 도선 주위의 자기장을 자기력선으로 나타낸 것이다. 점 p, q, r는 자기력선상의 지점이고, p와 r는 A와 B를 잇는 직선상에 있다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

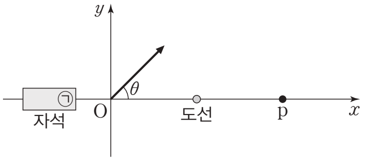
보기

ㄱ. A에 흐르는 전류의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.
ㄴ. 자기장의 세기는 p에서가 q에서보다 크다.
ㄷ. p와 r에서 자기장의 방향은 서로 같다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0173]

03 그림은 xy 평면의 x축상에 고정된 막대자석과 일정한 세기의 전류가 흐르는 가늘고 무한히 긴 직선 도선이 xy 평면의 x축상에 수직으로 고정된 모습을 나타낸 것이다. 원점 O에서 자석과 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 x축과 θ의 각을 이루며, ㉠은 자석의 N극과 S극 중 하나이다. O와 x축상의 점 p는 도선으로부터 떨어진 거리가 같다.



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

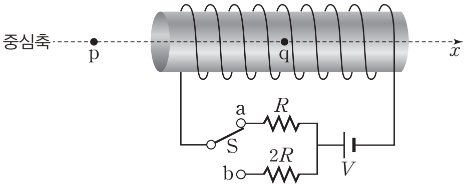
보기

ㄱ. ㉠은 S극이다.
ㄴ. 도선에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.
ㄷ. p에서 자석과 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 x축과 이루는 각은 θ보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0174]

04 그림은 솔레노이드가 전압이 V인 전원, 스위치 S, 저항값이 R, $2R$인 저항으로 구성된 회로에 연결된 모습을 나타낸 것이다. 점 p, q는 솔레노이드의 중심축상의 지점이고, S가 a에 연결되어 있을 때, p, q에서 전류에 의한 자기장의 세기는 각각 B_1, B_2이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

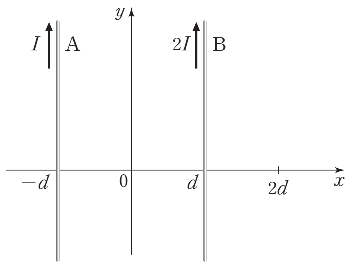
보기

ㄱ. q에서 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$방향이다.
ㄴ. $B_1 > B_2$이다.
ㄷ. S를 b에 연결하면, q에서 전류에 의한 자기장의 세기는 $2B_2$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0175]

05 그림과 같이 xy 평면에서 x축상의 $x=-d$, $x=d$를 지나는 일정한 세기의 전류가 흐르는 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B가 y축에 나란하게 고정되어 있다. A, B에 흐르는 전류의 세기는 각각 I, $2I$이고, 전류의 방향은 $+y$방향으로 서로 같다. x축상의 $x=0$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0이다.

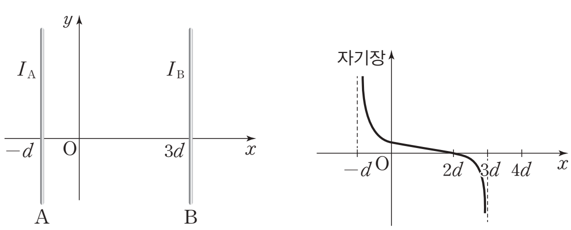


x축상의 $x=2d$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는?

① $\frac{5}{3}B_0$　② $2B_0$　③ $\frac{7}{3}B_0$　④ $\frac{8}{3}B_0$　⑤ $3B_0$

[26027-0176]

06 그림 (가)와 같이 xy 평면에 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B가 각각 $x=-d$, $x=3d$에 y축과 나란하게 고정되어 있다. A, B에 흐르는 전류의 세기는 각각 I_A, I_B로 일정하다. 그림 (나)는 x축상의 $-d<x<3d$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장을 x에 따라 나타낸 것이다. 자기장은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이 $(+)$이다.



(가)　(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

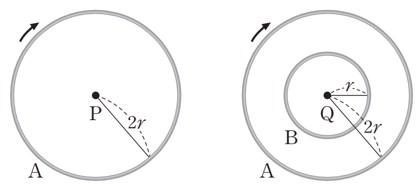
보기

ㄱ. A에 흐르는 전류의 방향은 $-y$방향이다.
ㄴ. $I_A=3I_B$이다.
ㄷ. A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 원점 O에서와 x축상의 $x=4d$에서가 같다.

① ㄱ　② ㄷ　③ ㄱ, ㄴ　④ ㄴ, ㄷ　⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0177]

07 그림 (가)는 시계 방향으로 일정한 세기의 전류가 흐르는 원형 도선 A가 종이면에 고정된 모습을, (나)는 (가)에서 일정한 세기의 전류가 흐르는 원형 도선 B를 종이면에 고정한 모습을 나타낸 것이다. (가)에서 점 P는 A의 중심이고, (나)에서 점 Q는 A와 B의 중심이다. A와 B의 반지름은 각각 $2r$, r이고, P와 Q에서 전류에 의한 자기장의 세기는 같다.



(가)　(나)

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

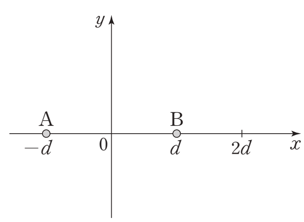
보기

ㄱ. P에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.
ㄴ. B에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.
ㄷ. 도선에 흐르는 전류의 세기는 A와 B가 서로 같다.

① ㄱ　② ㄷ　③ ㄱ, ㄴ　④ ㄴ, ㄷ　⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0178]

08 그림과 같이 xy 평면에 일정한 전류가 흐르는 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B가 각각 x축상의 $x=-d$, $x=d$에 수직으로 고정되어 있다. A에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 표는 x축상의 $x=0$과 $x=2d$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장을 나타낸 것이다.



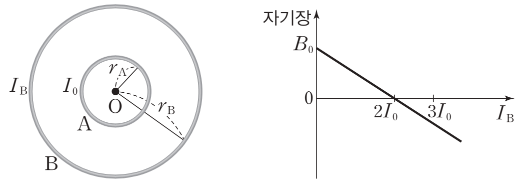
위치	자기장	
	세기	방향
$x=0$	B_0	$-y$방향
$x=2d$	$\frac{1}{4}B_0$	$-y$방향

A, B에 흐르는 전류의 세기를 각각 I_A, I_B라 할 때, $\frac{I_A}{I_B}$는?

① $\frac{1}{5}$　② $\frac{1}{3}$　③ 5　④ 10　⑤ 15

[26027-0179]

09 그림 (가)와 같이 일정한 방향으로 전류가 흐르는 원형 도선 A, B가 종이면에 고정되어 있다. A, B의 반지름은 각각 r_A, r_B이고, A에 흐르는 전류의 세기는 I_0으로 일정하다. 그림 (나)는 B에 흐르는 전류의 세기 I_B에 따라 A, B의 중심 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장을 나타낸 것이다.



(가) (나)

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

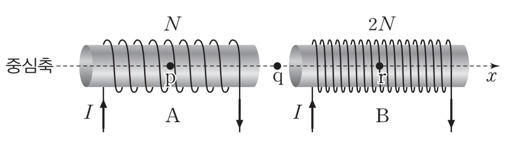
보기

ㄱ. A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 같다.
ㄴ. $r_B=2r_A$이다.
ㄷ. $I_B=3I_0$일 때, O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{1}{2}B_0$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0180]

10 그림과 같이 솔레노이드 A, B가 x축상에 나란하게 고정되어 있다. A, B의 단위 길이당 감은 수는 각각 N, $2N$이고, A, B에 흐르는 전류의 세기는 I로 같다. x축상의 점 p, q, r는 A, B의 중심축상의 지점이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

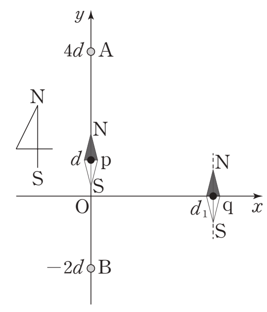
보기

ㄱ. A와 B 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.
ㄴ. q에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$방향이다.
ㄷ. 전류에 의한 자기장의 세기는 p에서와 r에서가 같다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0181]

11 그림은 xy 평면에 수직으로 고정된 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B 주위에 나침반을 놓은 모습을 나타낸 것이다. A, B는 각각 y축상의 $y=4d$, $y=-2d$에 고정되어 있다. y축상의 $y=d$인 점 p에 놓은 나침반 자침의 N극과 x축상의 $x=d_1$인 점 q에 놓은 나침반 자침의 N극은 $+y$방향을 향한다. xy 평면에서 지구 자기장의 방향은 $+y$방향이다.

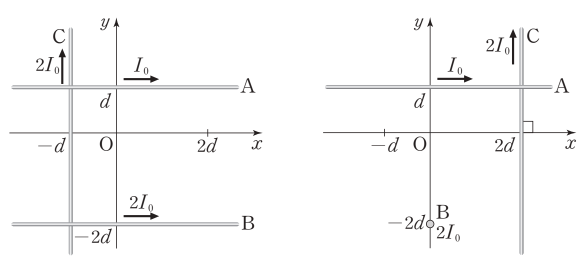


d_1은? (단, 나침반의 크기와 두 나침반 사이의 상호 작용은 무시한다.)

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

[26027-0182]

12 그림 (가)와 같이 xy 평면에 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가 고정되어 있다. A, B에 흐르는 전류의 방향은 $+x$방향이고, C에 흐르는 전류의 방향은 $+y$방향이다. A, B, C에 흐르는 전류의 세기는 각각 I_0, $2I_0$, $2I_0$이다. 그림 (나)는 (가)에서 B는 xy 평면에 수직으로 y축상의 $y=-2d$에 고정하고, C는 $x=2d$에 고정한 것을 나타낸 것이다. (가), (나)의 원점 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 각각 B_1, B_2이다.



(가) (나)

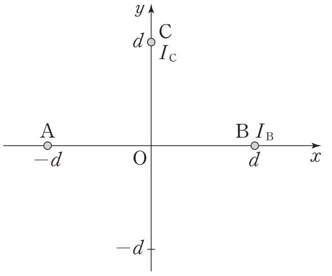
$\frac{B_2}{B_1}$는? (단, 도선의 굵기는 무시한다.)

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

[26027-0183]

y축상의 $y=-d$에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 x축과 나란하므로 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향도 x축과 나란하다.

01 그림과 같이 xy 평면에 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가 수직으로 고정되어 있다. B, C에 흐르는 전류의 세기는 각각 I_B, I_C이고, A에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. y축상의 $y=-d$에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄴ. 원점 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$방향이다.

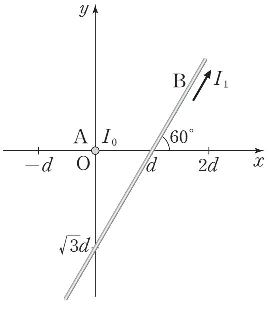
ㄷ. $I_C=2I_B$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0184]

직선 전류에 의한 자기장의 세기는 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다. B에서 x축상의 $x=-d$인 지점까지의 거리는 $x=2d$인 지점까지 거리의 2배이다.

02 그림과 같이 xy 평면에 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B가 고정되어 있다. A에는 세기가 I_0으로 일정한 전류가 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 흐르고, B는 x축과 $60°$의 각을 이루고 세기가 I_1인 일정한 전류가 흐른다. A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 x축상의 $x=-d$에서가 x축상의 $x=2d$에서의 $\sqrt{2}$배이다.

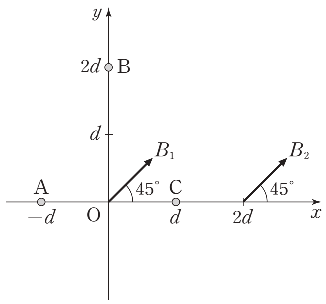


I_1은?

① $\sqrt{\frac{1}{7}}I_0$ ② $\sqrt{\frac{3}{14}}I_0$ ③ $\sqrt{\frac{2}{7}}I_0$ ④ $\sqrt{\frac{5}{14}}I_0$ ⑤ $\sqrt{\frac{3}{7}}I_0$

[26027-0185]

03 그림과 같이 일정한 전류가 흐르는 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가 xy 평면에 수직으로 고정되어 있다. 원점 O와 x축상의 $x=2d$에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 x축과 45°의 각을 이루고, 자기장의 세기는 각각 B_1, B_2이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

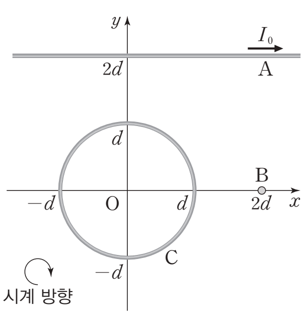
ㄱ. C에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.
ㄴ. A에 흐르는 전류의 세기는 C에 흐르는 전류의 세기의 3배이다.
ㄷ. $B_1=2B_2$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 x축과 나란하고, A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 y축과 나란하다.

[26027-0186]

04 그림과 같이 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A와 원형 도선 C는 xy 평면에 고정되어 있고 가늘고 무한히 긴 직선 도선 B는 xy 평면에 수직으로 고정되어 있다. $y=2d$에 x축과 나란하게 고정된 A에는 $+x$방향으로 세기가 I_0인 전류가 흐르고, $x=2d$에 고정된 B에는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 전류가 흐른다. C의 반지름은 d이다. 표는 B에 흐르는 전류의 세기에 따라 C의 중심 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 나타낸 것이다.



B에 흐르는 전류의 세기	O에서 자기장의 세기
I_0	B_0
$2I_0$	$\sqrt{3}B_0$
$5I_0$	㉠

C에 흐르는 전류의 방향과 ㉠으로 옳은 것은? (단, 도선의 굵기는 무시한다.)

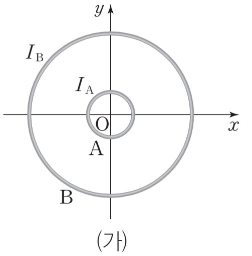
	C에 흐르는 전류의 방향	㉠
①	시계 방향	$\sqrt{17}B_0$
②	시계 방향	$\sqrt{21}B_0$
③	시계 방향	$2\sqrt{6}B_0$
④	시계 반대 방향	$\sqrt{17}B_0$
⑤	시계 반대 방향	$\sqrt{21}B_0$

O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$방향이다.

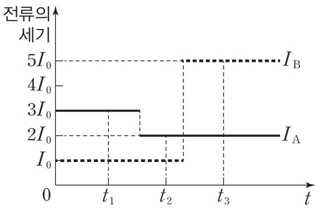
원형 도선의 중심에서 원형 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 반지름에 반비례한다.

[26027-0187]

05 그림 (가)와 같이 일정한 방향으로 전류가 흐르는 원형 도선 A, B가 xy 평면에 고정되어 있다. A와 B의 중심은 원점 O이다. 그림 (나)는 A, B에 각각 흐르는 전류의 세기 I_A, I_B를 시간 t에 따라 나타낸 것이다. t_1일 때와 t_3일 때 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 같고 자기장의 세기는 B_0으로 서로 같다.



(가)



(나)

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

보기

ㄱ. A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 같다.

ㄴ. 반지름은 B가 A의 4배이다.

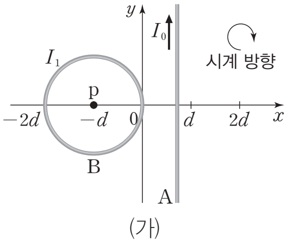
ㄷ. t_2일 때, O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{9}{13}B_0$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

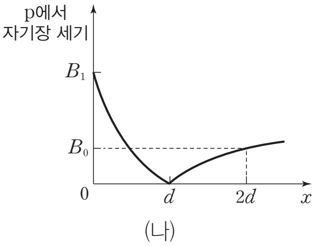
A의 위치가 $x=d$일 때, p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장과 B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 세기는 서로 같고 방향은 반대이다.

[26027-0188]

06 그림 (가)는 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A와 반지름이 d인 원형 도선 B가 xy 평면에 고정되어 있는 것을 나타낸 것이다. A에는 $+y$방향으로 세기가 I_0으로 일정한 전류가, B에는 세기가 I_1인 일정한 전류가 흐른다. x축상의 $x=-d$인 점 p는 B의 중심이다. 그림 (나)는 A를 $+x$방향으로 이동시켜 고정했을 때, p에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 A의 위치 x에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

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

보기

ㄱ. B에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이다.

ㄴ. $I_1=\frac{1}{2}I_0$이다.

ㄷ. $B_1=3B_0$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0189]

07 **다음은 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장에 대한 실험이다.**

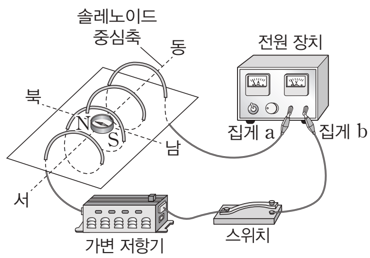
[실험 과정]

(가) 그림과 같이 솔레노이드 중심축을 동서로 연결하는 선과 일치시켜 전기 회로를 구성하고, 솔레노이드의 내부 중심에 나침반을 놓는다.

(나) 스위치를 닫고 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향을 관찰한다.

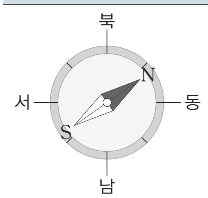
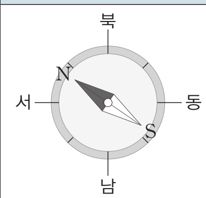
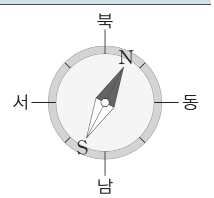
(다) (가)에서 가변 저항기의 저항값만을 바꾼 후, 스위치를 닫고 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향을 관찰한다.

(라) (다)에서 전원 장치의 전극에 연결된 집게 a와 b의 위치만을 서로 바꾼 후, 스위치를 닫고 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향을 관찰한다.



[실험 결과]

• P, Q, R는 (나), (다), (라)의 실험 결과를 순서 없이 나타낸 것이다.

P	Q	R
		

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 ⟨보기⟩에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. (나)에서 솔레노이드의 중심에서 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 서쪽이다.

ㄴ. (다)에서 가변 저항기의 저항값을 감소시켰다.

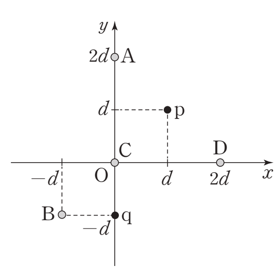
ㄷ. (라)에서 솔레노이드의 중심에서 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 지구 자기장 세기보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

솔레노이드의 중심에서 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 동서 방향이고, 지구 자기장의 방향은 북쪽이다.

[26027-0190]

08 **그림과 같이 일정한 전류가 흐르는 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B, C, D가 xy 평면에 수직으로 고정되어 있다. 점 p에서 네 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이고, 점 q에서 네 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 B_1이고 방향은 $-y$방향이다.**
p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 B_0일 때, B_1은?



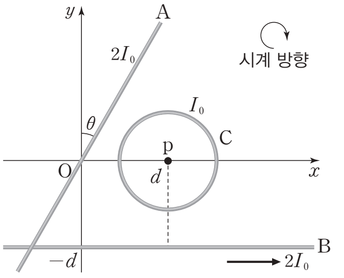
① $\frac{\sqrt{2}}{3}B_0$ ② $\frac{2\sqrt{2}}{3}B_0$ ③ $\sqrt{2}B_0$ ④ $\frac{4\sqrt{2}}{3}B_0$ ⑤ $\frac{5\sqrt{2}}{3}B_0$

점 p는 A와 D를 연결한 직선과 B와 C를 연결한 직선이 서로 교차하는 지점이다.

$\theta=0°$일 때와 $\theta=60°$일 때, p에서 자기장의 세기가 같으므로 $\theta=0°$일 때와 $\theta=60°$일 때, p에서 자기장의 방향은 서로 반대 방향이다.

[26027-0191]

09 그림과 같이 xy 평면에 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B와 원형 도선 C가 고정되어 있다. A, B, C에는 각각 세기가 $2I_0$, $2I_0$, I_0인 일정한 전류가 흐르고, B에 흐르는 전류의 방향은 $+x$방향이다. 표는 원점 O를 중심으로 xy 평면에서 A를 회전시켜 고정하였을 때, A가 y축과 이루는 각 θ에 따라 C의 중심 점 p에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 나타낸 것이다.



θ	p에서 자기장의 세기
$0°$	B_0
$45°$	㉠
$60°$	B_0

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 도선의 굵기는 무시한다.)

보기

ㄱ. C에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이다.

ㄴ. $\theta=30°$일 때, p에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

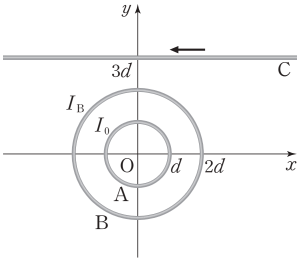
ㄷ. ㉠은 $(2-\sqrt{2})B_0$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

B에 흐르는 전류의 세기가 I_0에서 $2I_0$으로 증가하면 O에서 자기장의 방향이 반대 방향으로 바뀌게 되는 것을 이용하여 A와 B에 흐르는 전류의 방향을 찾는다.

[26027-0192]

10 그림과 같이 일정한 방향으로 전류가 흐르는 원형 도선 A, B와 가늘고 무한히 긴 직선 도선 C가 xy 평면에 고정되어 있다. A, B의 반지름은 각각 d, $2d$이고, A에는 흐르는 전류의 세기는 I_0으로 일정하다. $y=3d$에 고정된 C에는 $-x$방향으로 일정한 세기의 전류가 흐른다. 표는 B에 흐르는 전류의 세기 I_B에 따라 A, B의 중심인 원점 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기와 방향을 나타낸 것이다.



I_B	O에서 자기장	
	세기	방향
I_0	$2B_1$	×
$2I_0$	B_1	⊙
$3I_0$	B_2	⊙

×: xy 평면에 수직으로 들어가는 방향
⊙: xy 평면에서 수직으로 나오는 방향

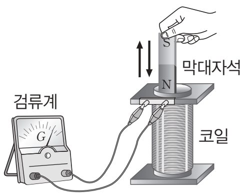
$\dfrac{B_1}{B_2}$은? (단, 도선의 굵기는 무시한다.)

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

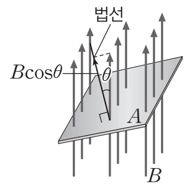
10 전자기 유도와 상호유도

1 전자기 유도

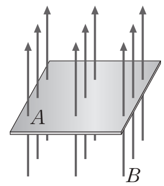
(1) 전자기 유도: 코일 주위에서 자석을 움직이면 코일에 전류가 흐른다. 이것은 자석의 운동에 의해 코일을 통과하는 자기 선속이 변하기 때문이다. 이와 같이 코일을 통과하는 자기 선속이 변할 때 코일에 전류가 흐르는 현상을 전자기 유도라 하고, 이때 흐르는 전류를 유도 전류라고 한다.



(2) 자기 선속(자속): 자기장의 세기와 자기장이 수직으로 통과하는 닫힌 면의 면적의 곱을 자기 선속이라고 한다. 자기 선속은 자기장의 세기가 클수록, 자기장이 통과하는 면적이 클수록 크다. 자기장의 세기, 자기장이 통과하는 닫힌 면의 면적, 또는 면의 법선과 자기장이 이루는 각이 변하면 자기 선속이 변한다. 면의 법선과 자기장의 방향이 이루는 각이 θ, 면의 면적이 A, 자기장의 세기가 B일 때 자기 선속(Φ)은 다음과 같다.



자기장과 면의 법선이 θ의 각을 이룰 때



자기장과 면이 수직일 때

$$\Phi = BA\cos\theta \text{이고, } \theta = 0° \text{일 때 } \Phi = BA \text{ [단위: Wb(웨버)]}$$

(3) 유도 전류와 유도 기전력

① **유도 전류**: 전자기 유도에 의해 코일에 흐르는 전류를 유도 전류라고 한다.

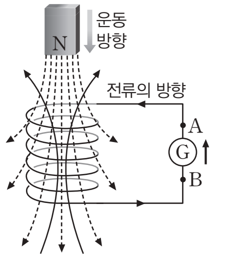
② **유도 기전력**: 전자기 유도에 의해 유도 전류를 흐르게 하는 기전력을 유도 기전력이라고 한다.

(4) 렌츠 법칙: 유도 전류는 코일을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐르며, 이를 렌츠 법칙이라고 한다.

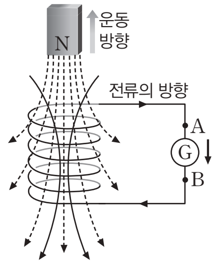
(5) 유도 전류의 방향

① 그림 (가)와 같이 자석의 N극을 솔레노이드에 가까이 접근시키면 솔레노이드 내부를 지나는 자기 선속이 증가한다. 렌츠 법칙을 적용하면 유도 전류는 자기 선속이 증가하는 것을 방해하기 위해 B → Ⓖ → A 방향으로 흐른다.

② 그림 (나)와 같이 자석의 N극이 솔레노이드에서 멀어지면 솔레노이드 내부를 지나는 자기 선속이 감소한다. 렌츠 법칙을 적용하면 유도 전류는 자기 선속이 감소하는 것을 방해하기 위해 A → Ⓖ → B 방향으로 흐른다.



(가) 자기 선속이 증가하는 경우



(나) 자기 선속이 감소하는 경우

개념 체크

➲ **전자기 유도**: 코일을 통과하는 자기 선속이 변할 때 코일에 전류가 흐르는 현상

1. 코일을 통과하는 자기 선속이 변할 때 코일에 전류가 흐르는 현상을 (　　)라고 한다.

2. 자기장의 세기가 B_0인 균일한 자기장이 면적이 S_0인 금속 고리를 수직으로 통과할 때, 이 금속 고리를 통과하는 자기 선속은 (　　)이다.

3. 유도 전류는 코일을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐르며, 이를 (　　)이라고 한다.

정답

1. 전자기 유도
2. B_0S_0
3. 렌츠 법칙

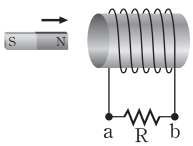
개념 체크

➔ **유도 기전력:** 유도 기전력은 코일의 감은 수 N과 자기 선속의 시간에 따른 변화율 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$에 비례하고, 유도 기전력의 방향은 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다.

1. 전자기 유도에 의해 코일에 발생하는 기전력을 (　　)이라고 한다.

2. 유도 기전력은 코일의 감은 수에 (　　)하고, 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 (　　)한다.

3. 그림과 같이 코일에 자석의 N극을 가까이 할 때, 코일을 통과하는 자석에 의한 자기 선속은 (　　)하고, 저항 R에 흐르는 유도 전류의 방향은 (　　) 방향이다.



정답
1. 유도 기전력
2. 비례, 비례
3. 증가, a → R → b

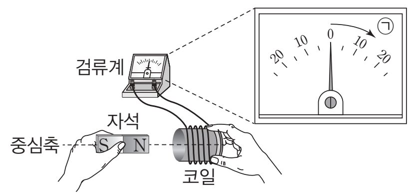
(6) 패러데이 법칙: 전자기 유도에 의해 유도 전류가 흐르는 것은 코일에 기전력이 발생하기 때문이다. 이처럼 전자기 유도에 의해 코일에 발생하는 기전력을 유도 기전력이라고 한다. 유도 기전력은 코일의 감은 수 N과 자기 선속의 시간에 따른 변화율 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$에 각각 비례하고, 유도 기전력의 방향은 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다. 유도 기전력 V는 다음과 같다.

$$V = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \text{ [단위: V(볼트)]}$$

여기서 (−)부호는 렌츠 법칙을 나타낸다.

탐구자료 살펴보기 전자기 유도 현상

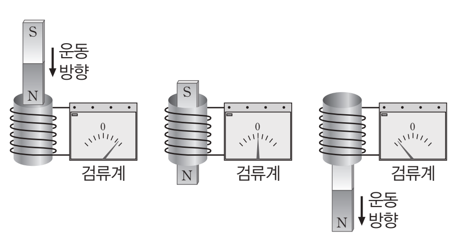
과정
(1) 그림과 같이 코일을 검류계와 도선으로 연결한다.
(2) 막대자석의 N극을 코일에 가까이 할 때 검류계의 눈금 변화를 관찰한다.
(3) 과정 (2)에서보다 막대자석을 더 빠르게 코일에 가까이 할 때 검류계의 눈금 변화를 관찰한다.
(4) 막대자석의 S극을 코일에 가까이 할 때 검류계의 눈금 변화를 관찰한다.



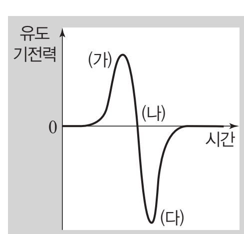
결과
• (2), (3)에서 검류계의 바늘은 ㉠ 방향으로 회전하고, (4)에서 검류계의 바늘은 ㉠ 반대 방향으로 회전한다.
• (2)에서보다 (3)에서 바늘이 더 많이 회전한다.

point
• 코일을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다.
• 자석이 빠르게 움직일수록 코일을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율이 커지므로 유도 전류의 세기가 증가한다.

(7) 자석이 솔레노이드 안을 통과할 때 유도되는 기전력: 그림과 같이 N극이 아래로 향하게 하여 자석을 떨어뜨리면 N극이 솔레노이드에 가까워지면서 솔레노이드에는 자석의 운동을 방해하는 위쪽 방향의 자기장을 만드는 기전력이 유도된다. 반대로 자석의 S극이 빠져나갈 때는 솔레노이드에 아래쪽 방향의 자기장을 유도하는 기전력이 발생한다.



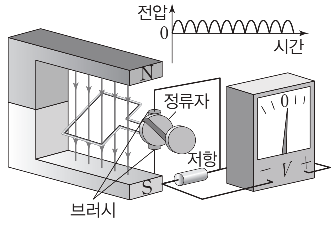
(가)　　(나)　　(다)



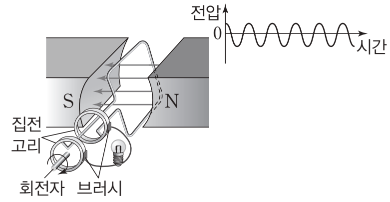
유도 기전력의 최댓값이 다른 까닭은 중력에 의해 가속된 자석의 속력이 달라 자기 선속의 시간에 따른 변화율이 다르기 때문이다.

과학 돋보기 **직류 발전기와 교류 발전기**

균일한 자기장 내에서 코일이 회전하면 코일을 통과하는 자기 선속이 변하면서 코일이 연결된 회로에 유도 전류가 흐른다. 정류자를 연결하여 한쪽 방향으로만 전류가 흐르는 발전기를 직류 발전기, 방향이 변하는 전류가 흐르는 발전기를 교류 발전기라고 한다.



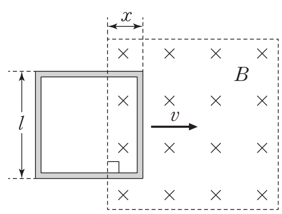
직류 발전기



교류 발전기

2 전자기 유도의 예

(1) 도선의 운동에 의한 전자기 유도: 한 변의 길이가 l이고 전기 저항이 R인 정사각형 금속 고리가 세기가 B이고 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 균일한 자기장 영역에 들어가고 있다.

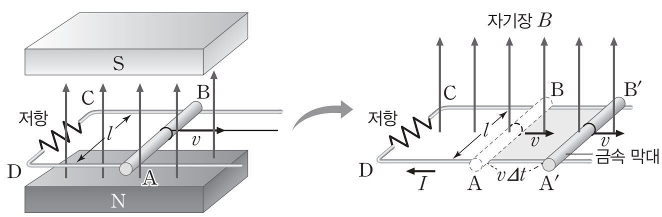


① **유도 전류의 방향**: 고리를 통과하는 자기 선속이 증가하므로 렌츠 법칙에 의해 고리에는 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.

② **유도 기전력과 유도 전류의 세기**: 자기장의 세기가 B이고, 자기장 영역에 포함된 면적이 $A=lx$이므로 자기 선속은 $\Phi=BA=Blx$이다. 자기장의 세기 B와 고리의 한 변의 길이 l은 일정하므로 자기 선속의 변화는 $\Delta\Phi=\Delta(Blx)=Bl\Delta x$이다.

- 유도 기전력의 크기는 $V=N\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$이므로 $V=Bl\dfrac{\Delta x}{\Delta t}=Blv$이다.
- 유도 전류의 세기는 $I=\dfrac{V}{R}$이므로 $I=\dfrac{Blv}{R}$이다.

(2) ㄷ자형 도선에서의 전자기 유도: 세기가 B인 균일한 자기장 영역에서 자기장 방향에 수직으로 놓인 전기 저항이 R인 저항이 연결된 ㄷ자형 도선 위에서 금속 막대를 일정한 속력 v로 운동시킨다.



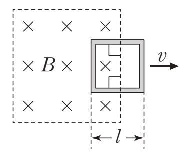
① **유도 전류의 방향**: ㄷ자형 도선 위에 금속 막대를 올려놓고 화살표 방향으로 운동시키면, 도선과 금속 막대로 둘러싸인 부분을 통과하는 자기 선속이 증가하므로 렌츠 법칙에 의해 저항에는 D → 저항 → C 방향으로 유도 전류가 흐른다.

② **유도 기전력과 유도 전류의 세기**: 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 $\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\dfrac{Blv\Delta t}{\Delta t}$이므로 유도 기전력의 크기는 $V=Blv$이고, 유도 전류의 세기는 $I=\dfrac{V}{R}$이므로 $I=\dfrac{Blv}{R}$이다.

개념 체크

➲ **유도 기전력의 크기**: 한 변의 길이가 l인 정사각형 도선이 일정한 속력 v로 세기가 B인 균일한 자기장 영역에 수직으로 들어갈 때, 도선에 유도되는 기전력의 크기는 $V=Bl\dfrac{\Delta x}{\Delta t}=Blv$이다.

[1~3] 그림과 같이 종이면에 수직으로 들어가는 자기장의 세기가 B인 균일한 자기장 영역에서 한 변의 길이가 l인 정사각형 금속 고리가 일정한 속력 v로 빠져나온다.



1. 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 크기는 (　　) 한다.

2. 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 (　　) 방향이다.

3. 금속 고리에 유도되는 기전력의 크기는 (　　) 이다.

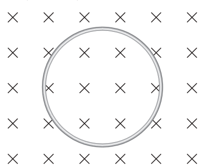
정답
1. 감소
2. 시계
3. Blv

개념 체크

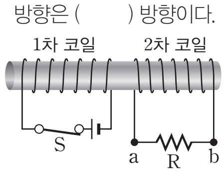
➲ **자기장의 변화에 의한 전자기 유도**: 금속 고리 내부의 자기장의 세기가 변할 때 금속 고리에는 유도 전류가 흐른다.

➲ **상호유도**: 한쪽 코일에 흐르는 전류의 변화에 의한 자기 선속의 변화로 근처에 있는 다른 코일에서 유도 기전력이 발생하는 현상이다.

1. 그림과 같이 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 균일한 자기장 영역에 원형 금속 고리가 고정되어 있다. 자기장의 세기가 증가하는 동안 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 (　　) 방향이다.



2. 그림과 같이 1차 코일과 2차 코일이 나란히 놓여 있다. 1차 코일의 닫혀 있는 스위치 S를 여는 순간 2차 코일에 연결된 저항 R에 흐르는 유도 전류의 방향은 (　　) 방향이다.

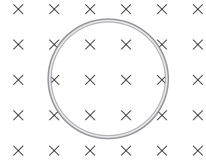


정답
1. 시계 반대
2. a → R → b

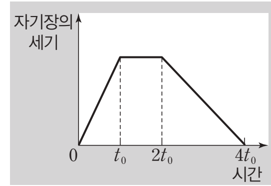
(3) 자기장의 변화에 의한 전자기 유도: 금속 고리 내부를 통과하는 자기장의 세기가 시간에 따라 변할 때 금속 고리에 유도 전류가 흐른다.

① 0부터 t_0까지: 자기장의 세기가 증가하므로 원형 금속 고리에는 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.

② t_0부터 $2t_0$까지: 자기장의 세기가 일정하므로 유도 전류가 흐르지 않는다.



×: 종이면에 수직으로 들어가는 방향



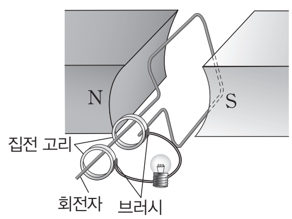
③ $2t_0$부터 $4t_0$까지: 자기장의 세기가 감소하므로 원형 금속 고리에는 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.

④ 원형 금속 고리에 발생하는 유도 기전력의 크기는 0부터 t_0까지가 $2t_0$부터 $4t_0$까지보다 크다.

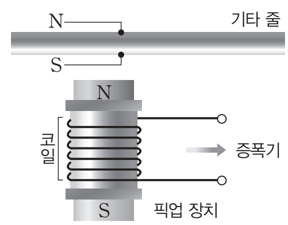
(4) 전자기 유도의 이용

① **발전기**: 외부 에너지를 이용하여 코일을 회전시키면 코일면을 통과하는 자기 선속이 시간에 따라 계속 변한다. 이때 브러시의 축에 접촉시킨 금속(집전 고리)을 통해 유도 전류가 흐른다.

② **전기 기타**: 픽업 장치의 자석에 의해 자기화된 기타 줄이 진동하면 코일 속을 통과하는 자기 선속이 변하기 때문에 코일에 전류가 유도되어 전기 신호가 발생한다. 이 전기 신호를 증폭하여 스피커를 진동시키면 소리가 발생한다.



발전기의 원리

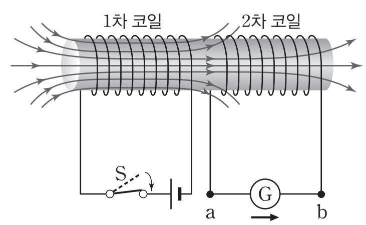


전기 기타의 원리

3 상호유도

(1) 상호유도: 한쪽 코일에 흐르는 전류의 변화에 의한 자기 선속의 변화로 근처에 있는 다른 코일에서 유도 기전력이 발생하는 현상이다.

(2) 상호 인덕턴스(M): 2차 코일의 감은 수가 N_2이고 $\varDelta t$ 동안 1차 코일에 흐르는 전류가 $\varDelta I_1$만큼 변할 때, 2차 코일에 생기는 유도 기전력 V는 다음과 같다.



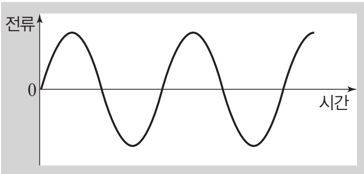
$$V=-N_2\frac{\varDelta \varPhi_2}{\varDelta t}=-N_2\frac{\varDelta \varPhi_2}{\varDelta I_1}\cdot\frac{\varDelta I_1}{\varDelta t}=-M\frac{\varDelta I_1}{\varDelta t}\quad (M\text{: 상호 인덕턴스, [단위: H(헨리)]})$$

① 1 H는 1초 동안 1 A의 비율로 전류가 변하여 1 V의 유도 기전력이 유도될 때의 상호 인덕턴스이다.

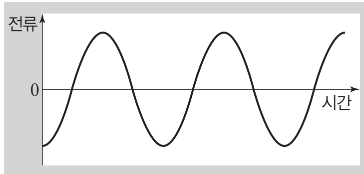
② 상호 인덕턴스는 코일의 모양, 감은 수, 위치, 코일 주위의 물질 등에 의해 결정된다.

③ 스위치를 닫으면 2차 코일에는 렌츠 법칙에 따라 1차 코일에 의해 생기는 자기장의 변화를 방해하는 방향(a → Ⓖ → b)으로 유도 전류가 흐른다.

(3) 교류에 의한 상호유도: 그림과 같이 1차 코일에 교류가 공급되면 2차 코일을 통과하는 자기 선속이 연속적으로 변하고, 이에 따라 2차 코일에는 상호유도에 의해 유도 전류가 흐른다.



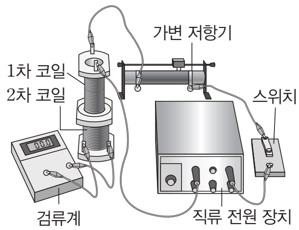
1차 코일에 흐르는 전류



2차 코일에 유도된 전류

탐구자료 살펴보기 **이중 코일을 이용한 상호유도**

과정
(1) 그림과 같이 장치를 연결하고 1차 코일에 연결된 스위치를 닫는 순간, 스위치를 닫은 상태에서, 스위치를 여는 순간 2차 코일에 연결된 검류계의 값의 변화를 관찰한다.
(2) 스위치를 닫은 상태에서 가변 저항기의 저항값을 변화시키면서, 2차 코일에 연결된 검류계의 값의 변화를 관찰한다.

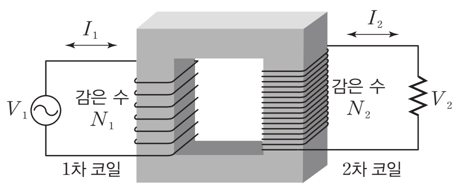


결과
- 스위치를 닫는 순간과 여는 순간 2차 코일에는 서로 반대 방향의 유도 전류가 흐르고, 스위치를 닫고 있을 때에는 2차 코일에 유도 전류가 흐르지 않는다.
- 가변 저항기의 저항값을 증가시킬 때와 감소시킬 때 2차 코일에는 서로 반대 방향의 유도 전류가 흐른다.

point
- 1차 코일에 의한 자기 선속의 변화에 의해 2차 코일에 유도 전류가 흐른다.
- 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 1차 코일에 의한 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다.
- 가변 저항기의 저항값이 변하면 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 변하므로 2차 코일에는 유도 전류가 흐른다.

4 변압기

(1) 변압기: 1차 코일과 2차 코일을 동일한 철심에 감아 두 코일 사이에 상호유도가 잘 일어나게 한 것으로, 1차 코일과 2차 코일의 감은 수의 비에 따라 전압을 변화시키는 장치이다.



(2) 자기장이 철심을 따라 형성되므로, 1차 코일과 2차 코일을 통과하는 자기 선속이 매 시간 같다. 따라서 시간 t일 때 자기 선속을 $\Phi(t)$, 1차 코일과 2차 코일의 감은 수를 각각 N_1, N_2, 1차 코일과 2차 코일에 걸리는 전압의 크기를 각각 V_1, V_2라고 하면

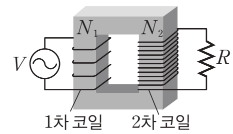
$V_1=N_1\frac{\Delta\Phi(t)}{\Delta t}$, $V_2=N_2\frac{\Delta\Phi(t)}{\Delta t}$에서 다음 관계가 성립한다.

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{N_1}{N_2}$$

개념 체크

➲ **변압기**: 1차 코일과 2차 코일을 동일한 철심에 감아 두 코일 사이에 상호유도가 잘 일어나게 한 것이다.

[1~2] 그림과 같이 변압기의 1차 코일에 전압이 V인 교류 전원이 연결되어 있고 2차 코일에 저항값이 R인 저항이 연결되어 있다. 1차 코일과 2차 코일의 감은 수는 각각 N_1, N_2이고, $N_1<N_2$이다. (단, 변압기에서 에너지 손실은 무시한다.)



1. 2차 코일에 연결된 저항의 양단에 걸리는 교류 전압은 V보다 (작다 , 크다).

2. 2차 코일에 흐르는 전류의 세기는 1차 코일에 흐르는 전류의 세기보다 (작다 , 크다).

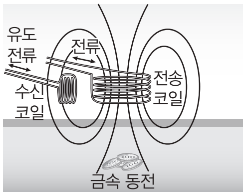
정답
1. 크다
2. 작다

5 상호유도의 이용

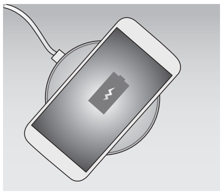
(1) 금속 탐지기: 금속 탐지기의 전송 코일에서 발생한 자기장에 의해 주변에 있는 금속에 전자기 유도 현상이 발생하여 유도 전류가 흐르고 자기장이 발생한다. 이 자기장의 변화를 금속 탐지기의 수신 코일에서 감지하여 금속을 찾을 수 있다.

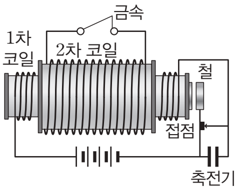
(2) 스마트폰 무선 충전기: 충전 패드에 있는 1차 코일에 교류 전원이 연결되면 스마트폰에 있는 2차 코일에서 유도 기전력이 발생하므로 스마트폰을 충전할 수 있다.

(3) 고압 방전 장치: 자동차에서 연료에 불을 붙이는 데 사용되는 고압 방전 장치는 두 금속 사이에 순간적으로 큰 전압을 걸어 방전이 일어나도록 하는 장치로, 1차 코일에 전류를 흐르게 하다가 갑자기 끊으면 상호유도에 의해 2차 코일에 유도 기전력이 발생한다. 이때 유도 기전력이 충분히 크면 2차 코일에 연결된 두 금속 사이에서 불꽃이 튀는 방전 현상이 나타난다.



금속 탐지기


스마트폰 무선 충전기



고압 방전 장치

과학 돋보기 상호유도의 활용

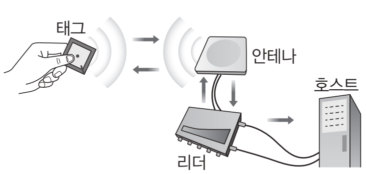
■ **RFID(Radio Frequency IDentification)**

RFID는 정보가 저장되어 있는 태그와 인식용 단말기로 구성되어 있으며, 비접촉식 식별 기술, 전자 태그 등으로 불린다. 태그의 작동 방식에 따라 수동형과 능동형으로 구분된다. 수동형 태그는 독립적인 전원을 갖고 있지 않다. 인식용 단말기에서 발생한 자기장에 의해 태그 속에 들어 있는 코일에는 전자기 유도로 유도 전류가 발생하고, 이것으로 IC칩에 들어 있는 정보를 처리한다. 이때 인식용 단말기가 보낸 전파로부터 얻은 전력으로 IC칩이 작동하여 식별 번호가 담긴 신호를 다시 무선으로 단말기에 돌려보낸다. 인식용 단말기는 되돌아온 물체 인식 코드를 바탕으로 통신망에 연결된 자료에서 필요한 정보를 찾아낸다. 능동형 태그는 IC칩이 담고 있는 정보량이 충분하고 독립된 전원을 가지고 있으므로 스스로 인식용 단말기와 정보를 교환할 수 있다.

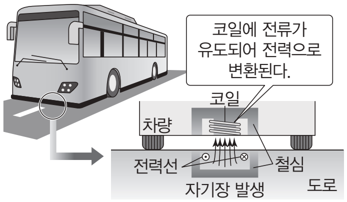
RFID의 이용 분야는 계속 넓어지고 있다. 대형 상점의 경우 각각의 물건에 태그를 부착하여 재고량을 관리하고 편리하게 물건값을 계산할 수 있으며, 공항이나 항구 등에서는 화물에 태그를 부착하여 물류 이동을 관리할 수 있다.

■ **전기 버스 충전**

무선 충전 기술은 스마트폰처럼 작은 전자 제품뿐만 아니라 전기 버스와 같은 대용량 전자 제품을 충전하는 기술로도 발전하고 있다. 전기 버스는 바닥에 설치된 송전 장치와 버스 내에 설치된 집전 장치의 상호유도에 의해 전기 에너지가 충전된다.



RFID의 원리



전기 버스 충전의 원리

개념 체크

➲ **금속 탐지기**: 전송 코일에 의해 생성된 자기 선속이 주변에 있는 금속에 의해 변하기 때문에 수신 코일에 유도 전류가 흐르는 상호유도를 이용한 것이다.

1. 금속 탐지기와 무선 충전기, 고압 방전 장치는 (상호유도 , 정전기 유도)를 이용한 것이다.

2. 그림은 1차 코일이 내장된 충전 패드 위에 2차 코일이 들어 있는 스마트폰을 올려 놓은 것을 나타낸 것이다.

충전 패드의 1차 코일에 흐르는 전류가 (변할 때 , 일정할 때) 스마트폰의 2차 코일에 유도 기전력이 발생하여 스마트폰이 충전된다.

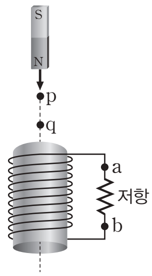
정답
1. 상호유도
2. 변할 때

수능 2점 테스트

정답과 해설 41쪽 ▶

[26027-0193]

01 그림과 같이 막대자석이 솔레노이드의 중심축을 따라 속력이 증가하는 운동을 한다. 솔레노이드는 고정되어 있고, 점 p, q는 중심축상의 지점이다.



자석이 p에서 q까지 운동하는 동안, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 막대자석의 크기는 무시한다.)

보기

ㄱ. 솔레노이드를 통과하는 자석에 의한 자기 선속의 크기는 증가한다.

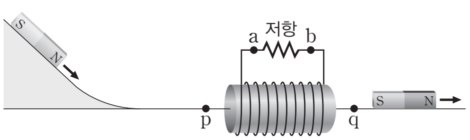
ㄴ. 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향은 b → 저항 → a이다.

ㄷ. 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 세기는 자석이 p를 지날 때와 q를 지날 때가 같다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0194]

02 그림과 같이 빗면을 따라 운동하던 자석이 수평면에 고정된 솔레노이드의 중심축을 지나는 레일을 따라 운동한다. 점 p, q는 수평한 레일 위의 지점이며, 솔레노이드로부터의 거리는 p와 q가 같다.



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

보기

ㄱ. 자석이 p를 지날 때 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향은 a → 저항 → b이다.

ㄴ. 자석에 작용하는 자기력의 방향은 자석이 p를 지날 때와 q를 지날 때가 같다.

ㄷ. 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 세기는 자석이 p를 지날 때가 q를 지날 때보다 크다.

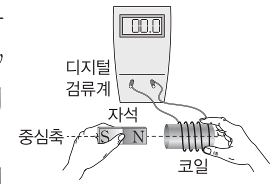
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0195]

03 다음은 전자기 유도에 대한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 장치하고 자석의 N극을 코일에 속력 v로 가까이 할 때 전류의 세기의 최댓값을 기록한다.



(나) 자석의 속력만을 (가)에서와 다르게 하여 (가)를 반복한다.

(다) (가)에서보다 자기장의 세기가 더 센 자석으로 바꾸어 (가)를 반복한다.

[실험 결과]

과정	(가)	(나)	(다)
전류의 세기의 최댓값	I_0	$1.5I_0$	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. (가)에서 코일을 통과하는 자석에 의한 자기 선속은 일정하다.

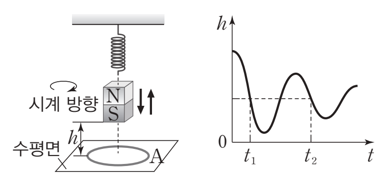
ㄴ. (나)에서 자석의 속력은 v보다 크다.

ㄷ. ㉠은 I_0보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

[26027-0196]

04 그림 (가)와 같이 수평면에 고정된 원형 금속 고리 A 위에서 자석이 연직 방향으로 진동한다. 그림 (나)는 수평면으로부터 자석의 높이 h를 시간 t에 따라 나타낸 것이다.



(가) (나)

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

보기

ㄱ. t_1일 때 A에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.

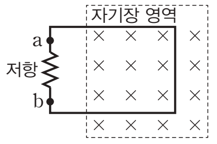
ㄴ. t_2일 때 자석과 A 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

ㄷ. A에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_1일 때와 t_2일 때가 같다.

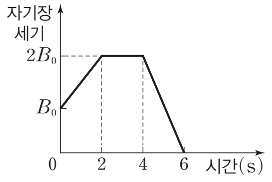
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0197]

05 그림 (가)와 같이 종이면에 수직으로 들어가는 균일한 자기장 영역의 일부에 저항이 연결된 사각형 도선이 고정되어 있다. 그림 (나)는 자기장 영역의 자기장 세기를 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 도선을 통과하는 자기 선속의 크기는 1초일 때가 3초일 때보다 작다.

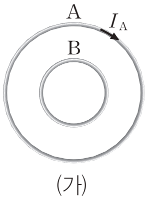
ㄴ. 5초일 때 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 b → 저항 → a이다.

ㄷ. 저항의 양단에 걸리는 전압은 5초일 때가 1초일 때의 2배이다.

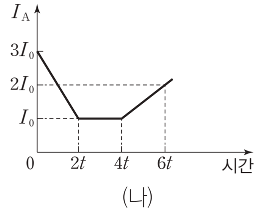
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0198]

06 그림 (가)와 같이 종이면에 원형 금속 고리 A, B가 고정되어 있다. A에는 시계 방향으로 전류가 흐르고, B는 전류가 흐르지 않는다. 그림 (나)는 (가)에서 A에 흐르는 전류의 세기 I_A를 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. t일 때, B에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.

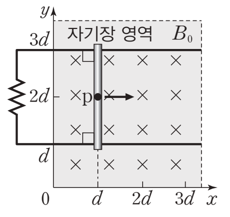
ㄴ. $2t$부터 $4t$까지 B를 통과하는 A에 흐르는 전류에 의한 자기 선속의 크기는 감소한다.

ㄷ. B에 흐르는 유도 전류의 세기는 t일 때가 $5t$일 때보다 크다.

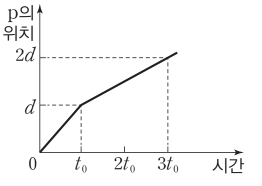
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0199]

07 그림 (가)와 같이 균일한 자기장 영역에서 xy 평면에 고정된 ㄷ자형 도선에 놓인 도체 막대가 $+x$방향으로 운동한다. 자기장 영역에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고 자기장의 세기는 B_0이다. 그림 (나)는 도체 막대의 점 p의 위치를 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

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

보기

ㄱ. $0.5t_0$일 때 p에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$방향이다.

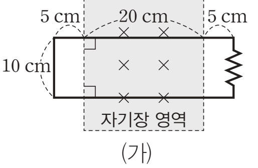
ㄴ. t_0부터 $3t_0$까지 p에 흐르는 유도 전류의 세기는 증가한다.

ㄷ. $2t_0$일 때 도체 막대에 유도되는 기전력의 크기는 $\dfrac{B_0d^2}{t_0}$이다.

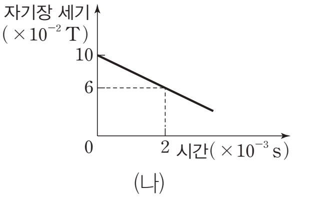
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

[26027-0200]

08 그림 (가)는 종이면에 수직으로 들어가는 균일한 자기장 영역의 일부에 직사각형 도선이 고정되어 있는 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 자기장 영역의 자기장 세기를 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가)



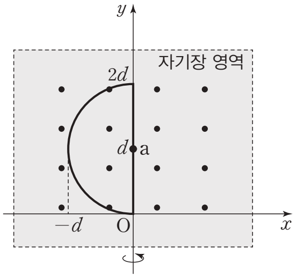
(나)

1×10^{-3}초일 때 도선에 유도되는 기전력의 크기는? (단, 도선의 굵기는 무시한다.)

① 0.2 V ② 0.4 V ③ 0.6 V ④ 0.8 V ⑤ 1 V

[26027-0201]

09 그림은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향의 균일한 자기장 영역에서 반지름이 d인 반원형 금속 고리가 y축을 회전축으로 일정한 각속도로 회전하는 시간 $t=0$인 순간의 모습을 나타낸 것이다. $t=0$일 때, 반원형 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 크기는 Φ_0으로 최대이고, 반원형 금속 고리의 회전 주기는 T이다. 점 a는 반원형 금속 고리의 점이다.



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

보기

ㄱ. 자기장 영역의 자기장 세기는 $\dfrac{2\Phi_0}{\pi d^2}$이다.

ㄴ. $t=\dfrac{1}{4}T$일 때, a에 흐르는 유도 전류의 방향은 $-y$ 방향이다.

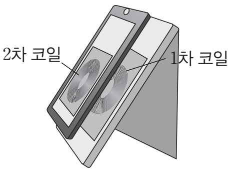
ㄷ. a에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t=\dfrac{3}{4}T$일 때가 $t=\dfrac{1}{2}T$일 때보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0202]

10 다음은 스마트폰의 무선 충전에 대한 설명이다.

무선 충전기의 충전패드의 1차 코일에 전원을 연결하면 스마트폰의 2차 코일에는 (㉠) 현상으로 유도 기전력이 발생한다. 2차 코일의 감은 수를 1차 코일의 감은 수보다 (㉡) 하면 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 1차 코일에 걸리는 전압보다 작다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. '상호유도'는 ㉠으로 적절하다.

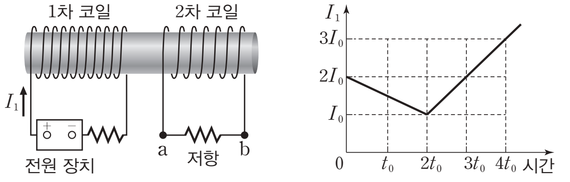
ㄴ. 1차 코일에는 일정한 세기의 전류가 흐른다.

ㄷ. '작게'는 ㉡으로 적절하다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

[26027-0203]

11 그림 (가)와 같이 직류 전원 장치에 연결된 1차 코일과 저항이 연결된 2차 코일이 있다. 1차 코일에는 화살표 방향으로 세기가 I_1인 전류가 흐른다. 그림 (나)는 I_1을 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. t_0일 때, 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 a → 저항 → b이다.

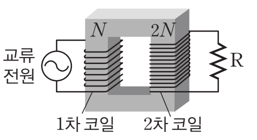
ㄴ. 상호유도에 의해 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 세기는 $3t_0$일 때가 t_0일 때보다 크다.

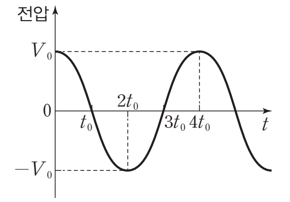
ㄷ. $4t_0$일 때, 1차 코일과 2차 코일 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

[26027-0204]

12 그림 (가)는 1차 코일과 2차 코일의 감은 수가 각각 N, $2N$인 변압기를 나타낸 것이다. 2차 코일에는 저항 R가 연결되어 있다. 그림 (나)는 1차 코일에 연결된 교류 전원의 전압을 시간 t에 따라 나타낸 것이다.





(가) (나)

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

보기

ㄱ. R의 양단에 걸리는 전압의 최댓값은 $2V_0$이다.

ㄴ. 전류의 최댓값은 1차 코일에서가 2차 코일에서의 2배이다.

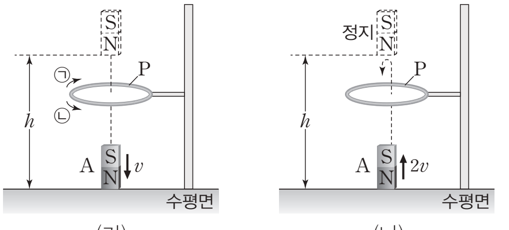
ㄷ. R에 흐르는 전류의 주기는 $2t_0$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0205]

금속 고리를 통과하는 자석에 의한 자기 선속의 변화로 금속 고리에는 유도 전류가 흐른다. (가)에서 A를 가만히 놓은 높이와 (나)에서 A가 올라가는 최고 높이는 같다.

01 그림 (가)는 수평면으로부터 높이 h인 곳에서 자석 A를 가만히 놓았을 때 A가 금속 고리 P를 통과하여 수평면에 속력 v로 도달한 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 A를 수평면에서 연직 위 방향으로 속력 $2v$로 던진 모습을 나타낸 것으로, A가 P를 통과하여 올라간 최고 높이는 h이다. A의 질량은 m이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 자석의 크기, 공기 저항, 마찰은 무시하고, 자석은 회전하지 않는다.)

보기

ㄱ. (가)에서 A가 P를 통과한 직후, P에 흐르는 유도 전류의 방향은 ㉠ 방향이다.

ㄴ. P에 흐르는 유도 전류 세기의 최댓값은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

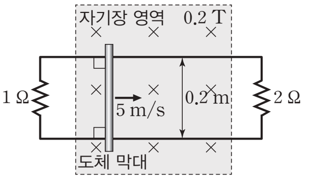
ㄷ. (나)에서 A가 던져진 순간부터 수평면에 다시 돌아올 때까지 P에서 소비하는 전기 에너지는 mv^2이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0206]

자기장의 세기가 B인 균일한 자기장 영역에서 길이가 l인 도체 막대가 속력 v로 운동할 때, 도체 막대에 유도되는 기전력의 크기는 $V=Blv$이다.

02 그림과 같이 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 균일한 자기장 영역에 저항값이 1 Ω, 2 Ω인 저항이 연결된 사각형 도선이 고정되어 있다. 균일한 자기장 영역의 자기장의 세기는 0.2 T이고 사각형 도선에 놓인 도체 막대는 5 m/s의 속력으로 등속도 운동을 한다. 사각형 도선의 세로 폭은 0.2 m이다.



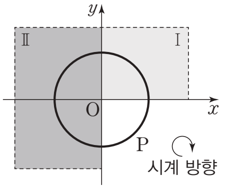
도체 막대가 자기장 영역에서 운동하는 동안, 도체 막대에 흐르는 유도 전류의 세기는? (단, 도체 막대의 저항과 굵기는 무시한다.)

① 0.1 A ② 0.2 A ③ 0.3 A ④ 0.4 A ⑤ 0.5 A

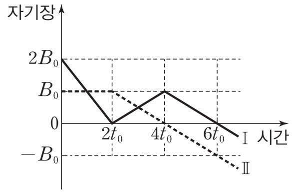
[26027-0207]

03 그림 (가)는 xy 평면의 균일한 자기장 영역 Ⅰ, Ⅱ에 원형 금속 고리 P가 xy 평면에 나란하게 고정되어 있는 것을 나타낸 것이다. 원점 O는 P의 중심이고, Ⅰ과 Ⅱ의 자기장의 방향은 xy 평면에 수직이다. 그림 (나)는 Ⅰ과 Ⅱ의 자기장을 시간에 따라 나타낸 것이다. 자기장은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이 양(+)이다.

금속 고리를 통과하는 자기 선속은 자기장의 세기와 자기장이 금속 고리를 수직으로 통과하는 면적의 곱이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 금속 고리의 굵기는 무시한다.)

보기

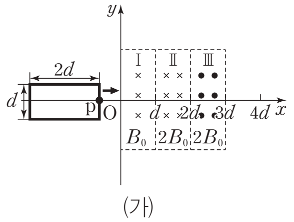
ㄱ. t_0일 때, P에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.
ㄴ. $2t_0$부터 $4t_0$까지 P에 유도되는 기전력은 0이다.
ㄷ. P에 흐르는 유도 전류의 세기는 $5t_0$일 때가 t_0일 때의 2배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

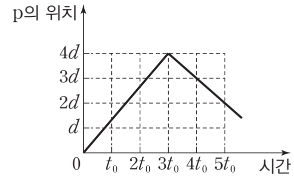
[26027-0208]

04 그림 (가)는 길이가 각각 d, $2d$인 두 변으로 이루어진 직사각형 모양의 금속 고리가 x축을 따라 나란하게 운동하는 모습을 나타낸 것이다. 균일한 자기장 영역 Ⅰ, Ⅱ에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, 균일한 자기장 영역 Ⅲ에서 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ에서 자기장의 세기는 각각 B_0, $2B_0$, $2B_0$이다. 그림 (나)는 금속 고리의 점 p가 원점 O를 지나는 순간부터 p의 위치를 시간에 따라 나타낸 것이다.

0부터 $3t_0$까지 금속 고리의 운동 방향은 $+x$방향이고 속력은 $\frac{4d}{3t_0}$이다. $3t_0$ 이후부터 금속 고리의 운동 방향은 $-x$ 방향이고 속력은 $\frac{d}{t_0}$이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 금속 고리의 굵기는 무시한다.)

보기

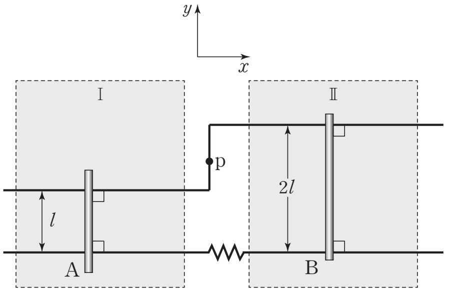
ㄱ. t_0일 때, p에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$방향이다.
ㄴ. $2t_0$일 때, 금속 고리에 유도되는 기전력의 크기는 $\frac{4B_0d^2}{t_0}$이다.
ㄷ. p에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_0일 때가 $3.5t_0$일 때의 $\frac{4}{3}$배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

A, B가 균일한 자기장 영역에서 운동할 때, A, B에는 기전력이 유도된다. 유도되는 기전력의 크기는 도체 막대의 길이, 자기장의 세기, 속력의 곱에 비례한다.

[26027-0209]

05 그림과 같이 xy 평면에 평행한 도선을 고정하고 y축과 나란하게 놓인 도체 막대 A, B를 각각 균일한 자기장 영역 Ⅰ, Ⅱ에서 x축과 나란하게 움직인다. Ⅰ과 Ⅱ의 자기장의 방향은 xy 평면에 수직이고, 자기장의 세기는 서로 같다. Ⅰ과 Ⅱ에 놓인 평행 도선의 폭은 각각 l, $2l$이다. 표는 A, B의 운동 방향과 속력에 따라 회로의 점 p에 흐르는 유도 전류의 방향과 세기를 나타낸 것이다.



	도체 막대	운동 방향	속력	p에 흐르는 전류	
				방향	세기
(가)	A	$+x$	$2v$	㉠	I_1
	B	$+x$	v		
(나)	A	$+x$	v	$+y$	I_2
	B	$-x$	$2v$		

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 도선과 도체 막대의 굵기는 무시한다.)

보기

ㄱ. Ⅰ의 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄴ. ㉠은 '$-y$'이다.

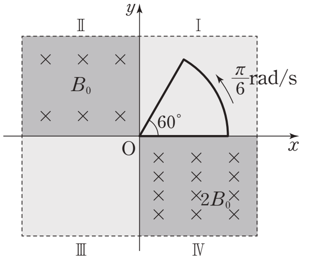
ㄷ. $I_1=\frac{3}{2}I_2$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

$t=2$초일 때 금속 고리는 영역 Ⅰ과 Ⅱ에서 운동하고, $t=8$초일 때 금속 고리는 영역 Ⅲ과 Ⅳ에서 운동한다.

[26027-0210]

06 그림은 xy 평면에서 중심각이 60°인 부채꼴 모양의 금속 고리가 원점 O를 중심으로 일정한 각속도 $\frac{\pi}{6}$ rad/s로 회전하는 시간 $t=0$인 순간의 모습을 나타낸 것이다. 균일한 자기장 영역 Ⅰ과 Ⅲ의 자기장의 세기는 서로 같고, 자기장의 방향은 xy 평면에 수직이며 서로 반대 방향이다. 균일한 자기장 영역 Ⅱ와 Ⅳ의 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, 자기장의 세기는 각각 B_0, $2B_0$이다. 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t=2$초일 때와 $t=8$초일 때가 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 고리의 굵기는 무시한다.)

보기

ㄱ. Ⅰ의 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄴ. Ⅲ의 자기장의 세기는 $\frac{1}{2}B_0$이다.

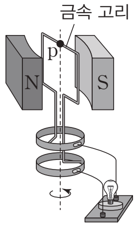
ㄷ. 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t=11$초일 때가 $t=5$초일 때의 3배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

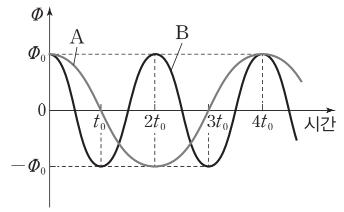
정답과 해설 44쪽

[26027-0211]

07 그림 (가)는 발전기의 구조를 나타낸 것으로, 금속 고리는 균일한 자기장 속에서 일정한 각속도로 회전한다. 점 p는 금속 고리상의 점이다. 그림 (나)의 A, B는 금속 고리의 회전 각속도가 각각 ω_A, ω_B일 때, 금속 고리를 통과하는 자기 선속 Φ를 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

금속 고리에 유도되는 기전력의 크기는 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

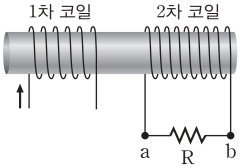
보기

ㄱ. A의 경우, p에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_0일 때가 $4t_0$일 때보다 크다.
ㄴ. p에 흐르는 유도 전류의 주기는 B의 경우가 A의 경우의 2배이다.
ㄷ. 전구에 걸리는 전압의 최댓값은 A의 경우와 B의 경우가 같다.

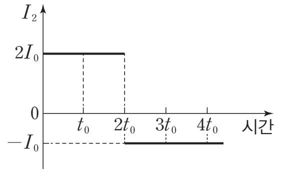
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

[26027-0212]

08 그림 (가)는 화살표 방향으로 전류가 흐르는 1차 코일과 저항 R가 연결된 2차 코일이 고정되어 있는 모습을 나타낸 것이다. 1차 코일에 흐르는 전류의 방향은 일정하다. 그림 (나)는 2차 코일의 저항 R에 흐르는 유도 전류 I_2를 시간에 따라 나타낸 것이다. I_2는 전류의 방향이 a → R → b 방향일 때 양(+)이다.



(가)



(나)

2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율에 비례한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

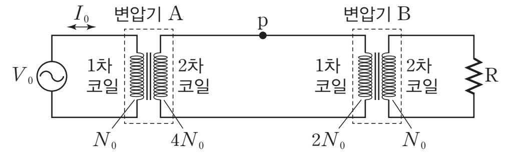
ㄱ. 0부터 $2t_0$까지 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 증가한다.
ㄴ. 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 t_0일 때가 $3t_0$일 때의 2배이다.
ㄷ. 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 t_0일 때와 $4t_0$일 때가 같다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

A의 2차 코일과 B의 1차 코일의 양단에 걸리는 전압은 같다. A의 1차 코일에 공급되는 전력은 B의 2차 코일에 연결된 저항에서 소비하는 전력과 같다.

[26027-0213]

09 그림은 변압기 A, B가 연결된 회로를 나타낸 것이다. A의 1차 코일은 전압이 V_0인 교류 전원에 연결되어 있고, A의 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 I_0이다. B의 2차 코일에는 저항 R가 연결되어 있다. A의 1차 코일과 2차 코일의 감은 수는 각각 N_0, $4N_0$이고, B의 1차 코일과 2차 코일의 감은 수는 각각 $2N_0$, N_0이다. 점 p는 회로의 점이다.



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

보기

ㄱ. p에 흐르는 전류의 세기는 $4I_0$이다.

ㄴ. B의 2차 코일에 걸리는 전압은 $2V_0$이다.

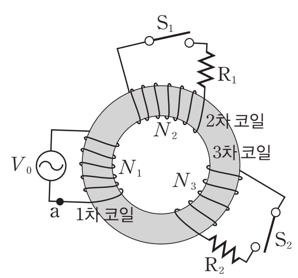
ㄷ. R의 저항값은 $\frac{4V_0}{I_0}$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

코일에 유도되는 기전력의 크기는 코일의 감은 수에 비례한다. R_2에서 소비하는 전력은 R_1에서 소비하는 전력의 2배이다.

[26027-0214]

10 그림은 철심에 1차 코일, 2차 코일, 3차 코일을 감은 변압기를 나타낸 것이다. 1차 코일에 연결된 교류 전원의 전압은 V_0으로 일정하고, 1차 코일, 2차 코일, 3차 코일의 감은 수는 각각 N_1, N_2, N_3이다. 표는 스위치의 연결 상태에 따라 1차 코일상의 점 a, 2차 코일에 연결된 저항 R_1, 3차 코일에 연결된 저항 R_2에 흐르는 전류의 세기를 나타낸 것이다.



스위치		전류의 세기		
S_1	S_2	a	R_1	R_2
닫힘	열림	I_0	$\frac{1}{2}I_0$	0
열림	닫힘	$2I_0$	0	$3I_0$

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

보기

ㄱ. S_1만 닫혀 있을 때 R_1의 양단에 걸리는 전압은 S_2만 닫혀 있을 때 R_2의 양단에 걸리는 전압보다 크다.

ㄴ. $\frac{N_3}{N_2}=\frac{3}{4}$이다.

ㄷ. R_1의 저항값은 R_2의 저항값의 18배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

11 전자기파의 간섭과 회절

1 전자기파의 간섭

(1) 파동의 간섭: 두 개 이상의 파동이 중첩될 때 진폭이 커지거나 작아지는 현상

① 보강 간섭: 두 파동이 같은 위상으로 중첩되어 합성파의 진폭이 커지는 현상

② 상쇄 간섭: 두 파동이 반대 위상으로 중첩되어 합성파의 진폭이 작아지는 현상

(2) 전자기파의 간섭: 전자기파는 파동이므로 간섭 현상이 일어난다.

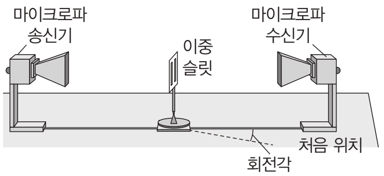
탐구자료 살펴보기 | 마이크로파를 이용한 간섭 현상

과정

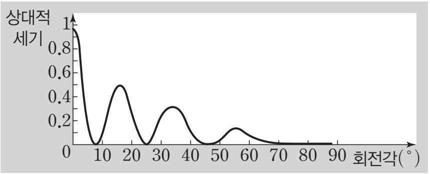
(1) 그림과 같이 마이크로파 송신기와 수신기, 이중 슬릿이 동일 직선상에 위치하도록 설치한다.

(2) 송신기에서 마이크로파를 발생시킨다.

(3) 수신기와 이중 슬릿을 연결한 막대를 회전시키며 처음 위치에서부터 회전각에 따른 수신기에 수신되는 마이크로파의 세기를 측정한다.



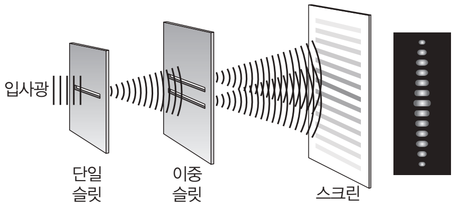
결과 및 point



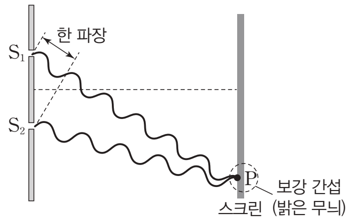
➡ 수신기의 회전각에 따라 마이크로파의 세기가 강해지는 보강 간섭과 마이크로파의 세기가 약해지는 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 교대로 나타나는 것을 확인할 수 있다.

(3) 이중 슬릿에 의한 빛의 간섭

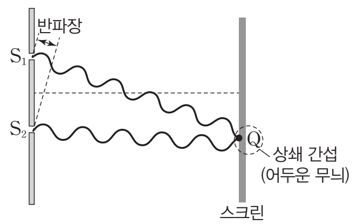
① 영의 실험: 19세기 초, 영은 그림과 같이 단일 슬릿에서 나온 빛을 다시 이중 슬릿에 통과시키면 스크린에 밝고 어두운 무늬가 생기는 것을 발견하였다. 이 실험은 빛이 파동이라는 것을 밝힌 실험이다.



② 그림 (가)와 같이 슬릿 S_1과 S_2로부터 스크린상의 P점까지는 경로차가 한 파장이므로 두 파동이 같은 위상으로 만나게 된다. 따라서 보강 간섭이 일어나 밝은 무늬가 만들어진다. 그런데 그림 (나)와 같이 S_1과 S_2로부터 스크린상의 Q점까지는 경로차가 반파장이므로 두 파동이 반대 위상으로 만나게 된다. 따라서 상쇄 간섭이 일어나 어두운 무늬가 만들어진다.



(가)



(나)

개념 체크

➲ **중첩**: 두 개 이상의 파동이 진행 중에 만나 파동들의 변위가 합성되는 현상

➲ **이중 슬릿 실험**: 이중 슬릿을 통과한 빛이 스크린에 만드는 간섭무늬를 통해 빛의 파동성을 확인할 수 있다.

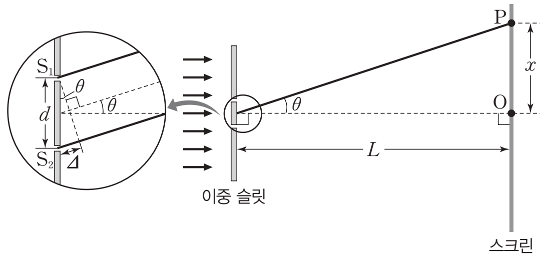
1. 두 파동이 중첩될 때, 위상이 같으면 진폭이 (　　)하고, 위상이 반대이면 진폭이 (　　)한다.

2. 이중 슬릿을 지난 두 파동이 중첩되면 보강 간섭과 상쇄 간섭이 연속적으로 나타나 밝고 어두운 간섭 무늬를 만든다. 이것은 빛의 (　　)으로 설명할 수 있다.

정답

1. 증가, 감소
2. 파동성

③ 이중 슬릿에 의한 빛의 간섭 조건: 밝은 무늬는 경로차 $\varDelta$가 $\varDelta=\frac{\lambda}{2}(2m)$일 때, 즉 반파장의 짝수 배가 되는 지점에서 나타난다. 또 어두운 무늬는 경로차 $\varDelta$가 $\varDelta=\frac{\lambda}{2}(2m+1)$일 때, 즉 반파장의 홀수 배가 되는 지점에서 나타난다.



그림에서 슬릿 사이의 간격 d에 비해 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리 L이 매우 크다고 가정하면 슬릿 S_1과 S_2로부터 스크린상의 임의의 점 P까지의 경로차 $\varDelta$는 $d\sin\theta$와 같다. 또한 각 θ가 매우 작을 때에는 $\sin\theta\approx\tan\theta$라고 할 수 있으므로 스크린 중앙의 밝은 무늬의 중심 O에서부터 P까지의 거리를 x라고 할 때, $\varDelta$는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\varDelta=d\sin\theta\approx d\tan\theta=d\frac{x}{L}$$

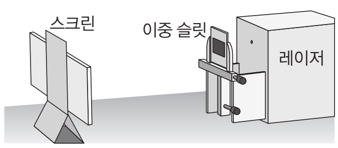
따라서 보강 간섭과 상쇄 간섭의 조건을 나타내면 다음과 같다.

$$\varDelta=d\frac{x}{L}=\begin{cases}\frac{\lambda}{2}(2m) & \text{보강 간섭 } (m=0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \cdots)\\ \frac{\lambda}{2}(2m+1) & \text{상쇄 간섭 } (m=0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \cdots)\end{cases}$$

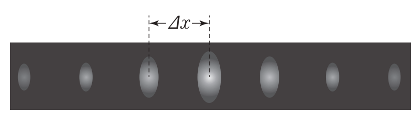
탐구자료 살펴보기 이중 슬릿을 이용한 빛의 간섭 실험

과정

(1) 그림과 같이 스크린과 이중 슬릿, 빨간색 레이저를 동일 직선상에 설치한다.
(2) 빨간색 레이저의 빛이 이중 슬릿을 통과하여 스크린에 도달할 때 선명한 간섭무늬가 나타나도록 한다.
(3) 슬릿의 간격, 슬릿과 스크린 사이의 거리, 중앙의 밝은 무늬와 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격을 측정하여 파장을 계산한다.
(4) 빨간색 레이저 대신 초록색 레이저를 사용하여 위 과정을 반복한다.



이중 슬릿 간섭 실험



간섭무늬의 확대

결과

레이저	슬릿의 간격(d)	슬릿과 스크린 사이의 거리(L)	간섭무늬 사이의 간격($\varDelta x$)	레이저의 파장 $\left(\lambda=\frac{d}{L}\varDelta x\right)$
빨간색	0.50 mm	1.0 m	1.3 mm	650 nm
초록색	0.50 mm	1.0 m	1.1 mm	550 nm

point • 레이저의 파장이 길수록 간섭무늬 사이의 간격이 넓다.

개념 체크

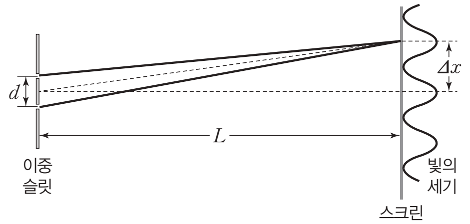
➲ $d\ll L$: 이중 슬릿의 간격 d에 비해 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리 L이 매우 크면 θ가 매우 작아진다. θ가 매우 작을 때 $\cos\theta$는 1에 가까워진다. $\tan\theta=\frac{\sin\theta}{\cos\theta}$이므로 θ가 매우 작을 때 $\sin\theta$를 $\tan\theta$로 근사할 수 있다.

1. 이중 슬릿을 지난 위상이 같은 두 파동의 경로차가 $\frac{\lambda}{2}$의 짝수 배일 때는 ( ) 간섭이, $\frac{\lambda}{2}$의 홀수 배일 때는 ( ) 간섭이 나타난다.

2. 단일 슬릿과 이중 슬릿을 이용한 빛의 간섭 실험에서 이중 슬릿의 두 슬릿 S_1, S_2로부터 같은 거리에 있는 스크린 위의 점은 경로차가 ( )이고, ( ) 간섭이 나타난다.

정답
1. 보강, 상쇄
2. 0, 보강

④ 이중 슬릿의 간섭을 이용한 빛의 파장 측정: 이중 슬릿으로 간섭 실험을 하면 빛의 파장을 구할 수 있다. 앞의 간섭 조건을 이용하면 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\varDelta x$는 다음과 같다.



$$\varDelta x=\frac{L}{d}\lambda$$

이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 슬릿 사이의 간격 d가 좁을수록, 파장 λ가 길수록, 슬릿과 스크린 사이의 거리 L이 클수록 크다.

- 슬릿의 간격에 따른 간섭무늬의 간격: 슬릿 사이의 간격이 좁으면 간섭무늬의 간격이 넓게 나타나고, 슬릿 사이의 간격이 넓으면 간섭무늬의 간격이 좁게 나타난다.
- 빛의 파장에 따른 간섭무늬의 간격: 빛의 파장이 길면 간섭무늬의 간격이 넓게 나타나고, 빛의 파장이 짧으면 간섭무늬의 간격이 좁게 나타난다.

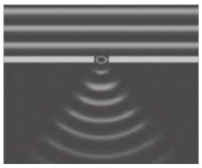
이를 이용하여 빛의 파장 λ를 나타내면 다음과 같다.

$$\lambda=\frac{d}{L}\varDelta x$$

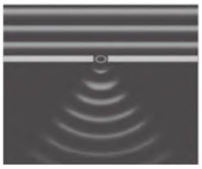
2 전자기파의 회절

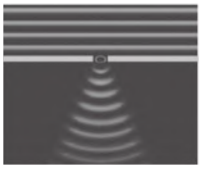
(1) 파동의 회절: 파동이 진행하다가 장애물을 만났을 때 장애물의 뒤쪽으로 돌아 들어가거나, 좁은 틈을 통과한 후에 퍼져 나가는 현상을 말한다.

① 파동의 회절은 슬릿의 폭이 좁을수록, 파동의 파장이 길수록 잘 나타난다.


슬릿의 폭이 좁을 때


슬릿의 폭이 넓을 때


파장이 길 때


파장이 짧을 때

② 전자기파는 파동이므로 회절 현상이 일어난다.

개념 체크

➲ $\varDelta x$: 파장이 λ인 단색광의 이중 슬릿에 의한 간섭무늬에서 중앙의 밝은 무늬가 나타나는 지점을 O, 첫 번째 밝은 무늬가 나타나는 지점을 P라 할 때, 이중 슬릿에 의한 O에서의 경로차는 0, P에서의 경로차는 λ이다. 따라서 O와 P 사이의 거리를 $\varDelta x$라 할 때, $d\sin\theta \approx d\tan\theta = d\frac{\overline{\mathrm{OP}}}{L} = d\frac{\varDelta x}{L} = \lambda$이므로 $\varDelta x=\frac{L}{d}\lambda$이다.

➲ **파동의 회절**: 파동이 진행하다가 좁은 틈을 통과한 후 퍼져나가는 현상으로, 슬릿의 폭이 좁을수록, 파동의 파장이 길수록 잘 나타난다.

1. 이중 슬릿에 의한 간섭무늬에서 파장이 (   ), 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리가 (   ), 이중 슬릿의 간격이 (   ) 밝은 무늬 사이의 간격이 넓어진다.

2. 이중 슬릿에 의한 간섭무늬에서 밝은 무늬 사이의 간격 $\varDelta x$, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리 L, 이중 슬릿의 간격 d를 측정하면 실험에 사용하는 빛의 (   )을 계산할 수 있다.

정답

1. 길수록, 클수록, 좁을수록
2. 파장

개념 체크

➲ **단일 슬릿을 이용한 빛의 회절:** 빛이 단일 슬릿을 통과하면 스크린에 회절에 의한 밝고 어두운 무늬가 나타나고, 회절 무늬의 간격은 슬릿의 폭이 좁을수록, 빛의 파장이 길수록 넓게 나타난다.

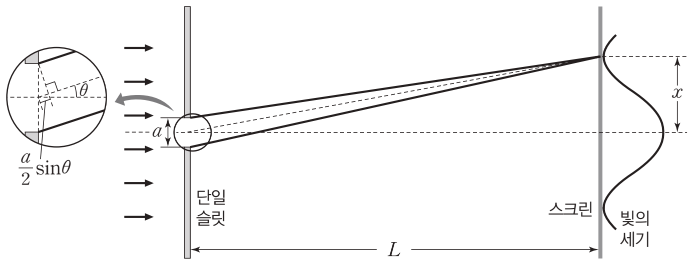
1. 파동의 회절은 슬릿의 폭이 (　　)수록, 파동의 파장이 (　　)수록 잘 일어난다.

2. 단색광의 단일 슬릿 실험에 의한 회절 무늬에서 가운데 밝은 무늬의 폭은 슬릿의 폭에 (비례 , 반비례)하고, 단색광의 파장에 (비례 , 반비례)하고, 슬릿과 스크린 사이의 거리에 (비례 , 반비례)한다.

(2) 전자기파의 회절

① 전자기파는 파동이므로 단일 슬릿을 이용하면 빛의 회절 무늬를 쉽게 관찰할 수 있다.

② **단일 슬릿을 이용한 빛의 회절:** 빛이 단일 슬릿을 통과하면 스크린에 중앙의 넓고 밝은 무늬를 중심으로 양쪽에 약한 밝은 무늬와 어두운 무늬가 교대로 나타나는 것을 볼 수 있다.



슬릿과 스크린 사이의 거리를 L, 슬릿의 폭을 a, 빛의 파장을 λ라고 할 때, 스크린 중앙에서 첫 번째 어두운 지점까지의 거리 x는 다음과 같다.

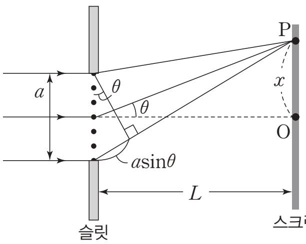
$$x=\frac{L}{a}\lambda$$

회절 무늬에서 가운데 밝은 무늬의 폭은 슬릿의 폭에 반비례하고, 슬릿과 스크린 사이의 거리에 비례하며 파장에 비례한다.

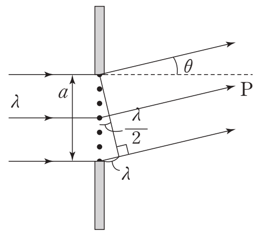
- 슬릿의 폭에 따른 가운데 밝은 무늬의 폭: 가운데 밝은 무늬의 폭은 슬릿의 폭이 좁을수록 넓게 나타나고, 슬릿의 폭이 넓을수록 좁게 나타난다.
- 빛의 파장에 따른 가운데 밝은 무늬의 폭: 가운데 밝은 무늬의 폭은 빛의 파장이 길수록 넓게 나타나고, 빛의 파장이 짧을수록 좁게 나타난다.

과학 돋보기 **빛의 간섭과 단일 슬릿에 의한 회절 무늬**

하위헌스 원리는 파동의 전파 과정에서 한 파면의 각 부분이 독립적인 점파원이 되어 새로운 파동을 발생하며 전파된다는 원리이다. 단일 슬릿에 의한 빛의 회절 무늬는 이러한 하위헌스 원리를 이용하여 설명할 수 있다.
그림과 같이 매우 좁은 슬릿을 통과하는 빛은 슬릿의 각 지점에서 새로운 광원이 되며, 중심축과 θ를 이루는 점 P에서 만나 중첩된다. 이때 스크린과 슬릿 사이의 거리가 매우 멀면 빛이 나란하다고 볼 수 있다. 슬릿을 $2m$ 등분하여 $\frac{a}{2m}$만큼 떨어진 두 빛이 각각 쌍을 이루어 P에서 중첩되어 상쇄 간섭이 일어난다면 두 빛의 경로차는 $\frac{a}{2m}\sin\theta$이다. 간섭 조건에 의하여 $\frac{a}{2m}\sin\theta=\frac{\lambda}{2}$일 때 상쇄 간섭이 일어나므로 어두운 회절 무늬가 나타날 때 $a\sin\theta \simeq a\frac{x}{L}=\frac{\lambda}{2}\cdot 2m$ $(m=1, 2, 3, \cdots)$이 된다. 이때 스크린의 중앙에 있는 점 O에서는 슬릿을 이등분했을 때, 슬릿의 윗부분에서 오는 빛과 슬릿의 아랫부분에서 오는 빛의 경로차가 0이므로 항상 밝은 무늬가 나타난다.



단일 슬릿에 의한 회절



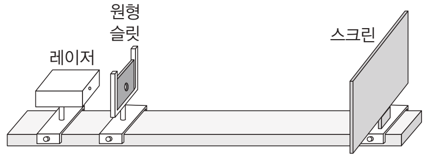
어두운 무늬를 만들 때

정답
1. 좁을, 길
2. 반비례, 비례, 비례

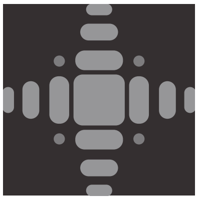
탐구자료 살펴보기 단일 슬릿을 이용한 회절 실험

과정

(1) 그림과 같이 빨간색 레이저, 원형 슬릿, 스크린을 동일 직선상에 설치한다.
(2) 빨간색 레이저의 빛이 원형 슬릿을 통과한 후 스크린에 도달하여 선명한 회절 무늬가 나타나도록 한다.
(3) 원형 슬릿 대신 사각형 슬릿으로 교체하여 회절 무늬를 관찰한다.
(4) 빨간색 레이저 대신 초록색 레이저를 사용하여 원형 슬릿, 사각형 슬릿의 회절 무늬를 관찰한다.



결과

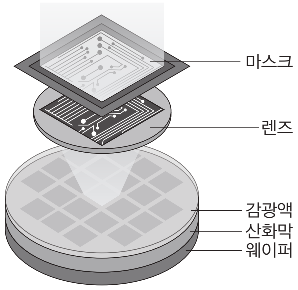
빨간색 레이저를 이용한 회절 무늬		초록색 레이저를 이용한 회절 무늬	
			
원형 슬릿의 회절 무늬	사각형 슬릿의 회절 무늬	원형 슬릿의 회절 무늬	사각형 슬릿의 회절 무늬

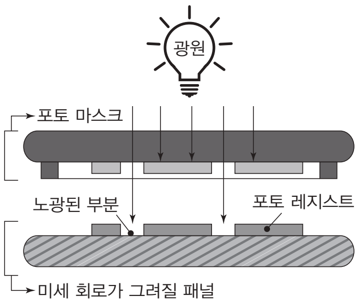
point

• 레이저의 파장이 길수록 회절 무늬에서 가운데 밝은 무늬의 폭이 넓어진다.
• 슬릿의 모양에 따라 다양한 형태의 회절 무늬가 나타난다.

과학 돋보기 반도체 공정과 빛의 회절

반도체 포토(Photo) 공정은 포토 리소그래피(Photo Lithography)를 줄여서 부르는 용어로 웨이퍼 위에 회로 패턴이 담긴 마스크 상을 빛을 비추어 반도체 회로를 그려 넣는 작업이다. 즉, 마스크의 패턴이 그려진 좁은 틈을 통과하는 빛으로 웨이퍼에 미세한 전자 회로 패턴을 만든다. 반도체 집적도가 증가할수록 칩을 구성하는 단위 소자(트랜지스터 등) 및 소자를 연결하는 도선 역시 미세 공정을 사용해 작게 만들어야 하고, 이에 따라 마스크의 패턴 틈도 좁아져야 하고 틈의 간격도 좁아지게 된다. 하지만 마스크 패턴 틈의 폭과 틈의 간격이 좁으면 회절과 간섭이 잘 일어나므로 얼마나 짧은 파장을 적용할 수 있느냐에 의하여 칩 내의 집적도가 결정된다. 극자외선(Extreme Ultra Violet, EUV)은 자외선(UV)과 X선의 중간 영역에 있는 전자기파로 파장이 짧은 극자외선(EUV)을 활용하면 10 nm 미만의 반도체 회로도 빛을 이용해서 만들어 낼 수 있다.





개념 체크

➲ **회절에 의한 현상**: CD의 뒷면이나 전복 껍데기의 안쪽 면에서는 미세하게 분포하는 줄무늬에 의한 빛의 회절 때문에 보는 각도에 따라 다양한 색이 관찰된다.

1. 단일 슬릿을 이용한 빛의 회절 실험에서 회절 무늬의 가운데 밝은 무늬의 폭은 빨간색 레이저를 이용할 때가 초록색 레이저를 이용할 때보다 (   )

2. 단일 슬릿을 이용한 회절 실험에서 원형 슬릿을 통과한 회절 무늬는 원형 모양으로 나타난다. (○, ×)

정답
1. 넓다.
2. ○

3 전자기파의 간섭과 회절의 이용

(1) 간섭의 이용

① 작은 전파 망원경을 여러 대 떨어뜨려 설치한 후 각 전파 망원경에서 측정한 전파의 간섭을 이용하면 큰 전파 망원경과 같은 효과를 얻을 수 있다.

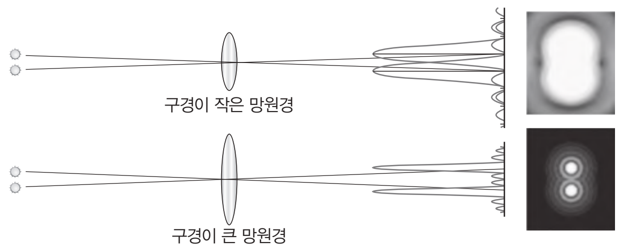
② 휴대 전화를 사용할 때 여러 경로로 온 전파가 서로 상쇄 간섭을 일으키면 신호의 세기가 약해지므로 여러 개의 안테나, 중계기를 설치하여 해결한다.

(2) 회절의 이용

① 산속에서는 짧은 파장의 전자기파를 이용하는 FM 방송보다 긴 파장의 전자기파를 이용하는 AM 방송이 더 잘 들린다.

② 비행기의 위치를 추적하는 레이더는 전파 중에서 회절이 잘 일어나지 않는 파장이 짧은 마이크로파를 사용하여 비행기의 위치와 거리를 정확하게 파악한다.

③ 두 별이 가까이 있을 때에는 빛의 회절 현상이 나타나 두 별의 상이 겹쳐서 마치 하나의 별처럼 보이므로, 회절의 영향을 줄여 분해능을 높이려면 구경이 큰 망원경을 사용해야 한다.



개념 체크

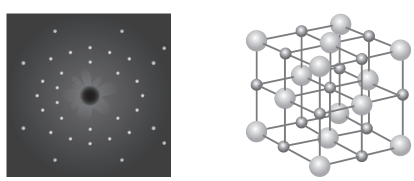
X선 회절 무늬: X선을 결정에 쏘면 결정의 규칙적인 구조로 인하여 회절 무늬가 나타난다. 이를 분석하여 결정의 구조를 알아낼 수 있다.

1. 파장이 (　　)수록 회절이 잘 일어나기 때문에, 산속에서는 짧은 파장을 이용하는 (　　) 방송보다 긴 파장을 이용하는 (　　) 방송이 더 잘 들린다.

2. 두 별이 가까이 있을 때에는 (　　) 현상이 나타나 두 별이 겹쳐서 하나의 별처럼 보이게 된다. 회절의 영향을 줄여 (　　)을 높이려면 구경이 (　　) 망원경을 사용해야 한다.

탐구자료 살펴보기 X선 회절 현상의 이용

자료 그림 (가), (나)는 물질에 X선을 비추어 나오는 회절 무늬를 이용하여 눈으로 볼 수 없는 미세 구조를 확인하는 모습을 나타낸 것이다.



염화 나트륨 결정의 X선 회절 무늬　　염화 나트륨의 결정 구조

(가)

DNA의 X선 회절 무늬　　DNA의 이중 나선 구조

(나)

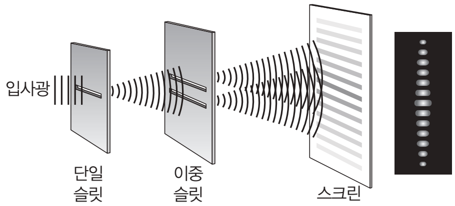
분석 (가) 염화 나트륨에 X선을 비췄을 때 나타나는 회절 무늬로부터 염화 나트륨의 결정 구조를 알아내었다.
(나) DNA가 삼중 나선 구조일 것으로 추측하고 있던 왓슨과 크릭은 DNA의 X선 회절 무늬 분석을 통해 DNA가 이중 나선 구조임을 알아내었다.

point • X선과 같이 매우 짧은 파장의 전자기파에 의한 회절 무늬는 원자 사이의 간격, 결정 구조 등 아주 작은 물체의 내부 구조에 대한 정보를 제공한다.

정답
1. 길, FM, AM
2. 회절, 분해능, 큰

[26027-0215]

01 다음은 영의 이중 슬릿 실험의 결과로 스크린에 나타난 간섭 무늬에 대한 설명이다.

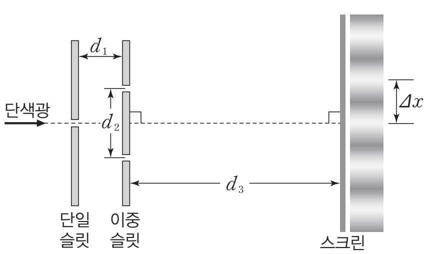
> 영의 이중 슬릿 실험에 의한 빛의 간섭 현상은 빛의 (㉠)을 나타내는 현상이다. 밝은 무늬의 중심은 (㉡) 간섭이 일어난 지점이고, 어두운 무늬의 중심은 두 빛이 서로 (㉢) 위상으로 중첩된 지점이다.
>
> 
>

㉠, ㉡, ㉢으로 가장 적절한 것은?

	㉠	㉡	㉢
①	입자성	보강	반대
②	입자성	상쇄	같은
③	파동성	보강	반대
④	파동성	보강	같은
⑤	파동성	상쇄	반대

[26027-0216]

02 그림과 같이 단색광을 슬릿에 비추었더니 슬릿으로부터 충분히 멀리 떨어진 스크린에 간섭무늬가 나타났다. 단일 슬릿과 이중 슬릿 사이의 거리, 이중 슬릿의 슬릿 간격, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리는 각각 d_1, d_2, d_3이고, 스크린의 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 Δx이다.



이웃한 밝은 무늬 사이의 간격이 $2\Delta x$가 되기 위한 조건으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. d_1만을 $2d_1$으로 증가시킨다.

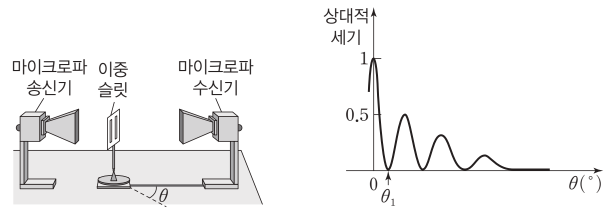
ㄴ. d_2만을 $\frac{1}{2}d_2$로 감소시킨다.

ㄷ. d_3만을 $2d_3$으로 증가시킨다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0217]

03 그림 (가)와 같이 진동수가 일정한 마이크로파 송신기와 수신기, 이중 슬릿을 동일 직선상에 위치하도록 설치한 후, 수신기를 회전시키며 마이크로파의 세기를 측정한다. 그림 (나)는 회전각 θ에 따른 수신기에 수신되는 마이크로파의 상대적 세기를 나타낸 것으로 $\theta=\theta_1$일 때, 첫 번째 상쇄 간섭이 일어난다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. $\theta=0$일 때, 수신기에서 수신되는 이중 슬릿을 통과한 두 마이크로파의 위상은 서로 같다.

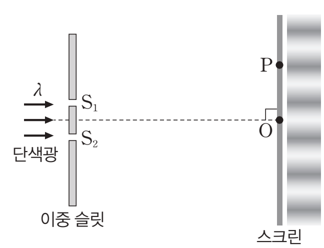
ㄴ. 송신기에서 발생하는 마이크로파의 파장만 짧게 바꾸면 첫 번째 상쇄 간섭이 일어나는 회전각은 θ_1보다 작다.

ㄷ. 슬릿 간격이 더 큰 이중 슬릿으로 바꾸면 첫 번째 상쇄 간섭이 일어나는 회전각은 θ_1보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0218]

04 그림과 같이 파장이 λ인 단색광이 이중 슬릿을 통과하여 스크린에 간섭무늬가 생겼다. 스크린상의 점 O는 슬릿 S_1과 S_2로부터 같은 거리에 있고 가장 밝은 무늬의 중심이며, 점 P는 O로부터 두 번째 어두운 무늬의 중심이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. O에서는 보강 간섭이 일어난다.

ㄴ. S_1, S_2로부터 P까지의 경로차는 $\frac{\lambda}{2}$이다.

ㄷ. 단색광의 파장만 3λ로 바꾸면 P에서 보강 간섭이 일어난다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

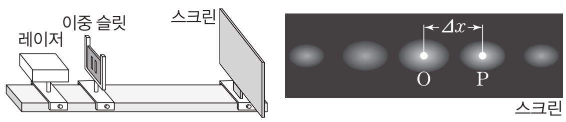
[26027-0219]

05 다음은 이중 슬릿을 이용한 빛의 간섭 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 스크린과 이중 슬릿, 파장이 650 nm인 빨간색 레이저를 동일 직선상에 설치한다.

(나) (가)의 레이저의 빛이 이중 슬릿을 통과하여 스크린에 도달할 때 선명한 간섭무늬가 나타나도록 한 후, 슬릿의 간격, 슬릿과 스크린 사이의 거리, 중앙의 밝은 무늬의 중심 O와 이웃한 밝은 무늬의 중심 P 사이의 간격 Δx를 측정한다.



(다) (가)의 레이저를 파장이 550 nm인 초록색 레이저로 바꾸어 (나)를 반복한다.

[실험 결과]

과정	슬릿의 간격	슬릿과 스크린 사이의 거리	Δx
(나)	0.50 mm	1.0 m	1.3 mm
(다)	0.50 mm	1.0 m	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 빛의 파동성을 보여주는 실험 결과이다.

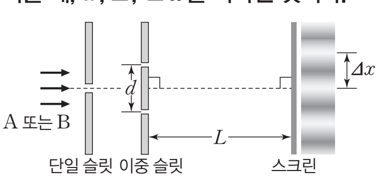
ㄴ. ㉠은 1.3 mm보다 크다.

ㄷ. 이중 슬릿의 두 슬릿으로부터 P까지의 경로차는 (나)에서가 (다)에서보다 작다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0220]

06 그림과 같이 간격이 d인 이중 슬릿에 단색광 A, B를 각각 비추었더니 슬릿으로부터 L만큼 떨어진 스크린에 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격이 Δx인 간섭무늬가 생겼다. 표는 A, B를 각각 비출 때, d, L, Δx를 나타낸 것이다.



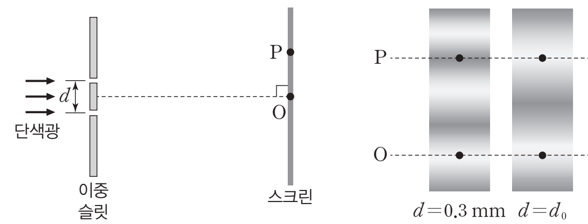
단색광	d (mm)	L (m)	Δx (mm)
A	0.2	1.0	3.0
B	0.1	2.0	9.0

A, B의 파장을 각각 λ_A, λ_B라고 할 때, $\frac{\lambda_A}{\lambda_B}$는?

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

[26027-0221]

07 그림 (가)는 스크린으로부터 슬릿 간격이 d인 이중 슬릿에 단색광을 비추는 모습을 나타낸 것으로, O와 P는 스크린상의 두 점이다. 그림 (나)는 (가)에서 d가 각각 0.3 mm, d_0일 때 스크린에 생기는 간섭무늬를 나타낸 것이다. O에서는 가장 밝은 무늬의 중심이 생기고, P에서는 $d=0.3$ mm일 때 O로부터 두 번째 어두운 무늬의 중심이, $d=d_0$일 때 O로부터 첫 번째 밝은 무늬의 중심이 생긴다.



(가) (나)

d_0으로 가장 적절한 것은?

① 0.05 mm ② 0.1 mm ③ 0.15 mm
④ 0.2 mm ⑤ 0.25 mm

[26027-0222]

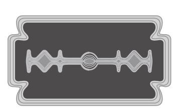
08 다음은 회절에 대한 설명이다.

파동이 진행하다가 장애물을 만났을 때 장애물의 뒤쪽까지 파동이 퍼져 나가는 현상이다.

회절로 설명할 수 있는 예만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ.

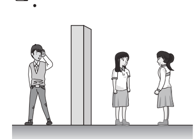


명확하지 않은 그림자의 경계

ㄴ.

다양한 색이 나타나는 비눗방울

ㄷ.



담을 넘어 전해지는 소리

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0223]

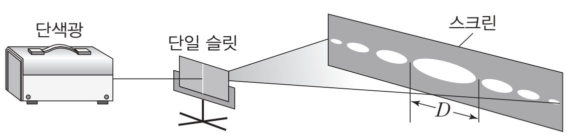
09 그림은 물결파 발생 장치로 만들어진 물결파의 회절이 잘 일어나는 경우에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.

제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

① A　② B　③ A, C　④ B, C　⑤ A, B, C

[26027-0224]

10 그림과 같이 단색광을 단일 슬릿에 비추었더니 슬릿으로부터 충분히 멀리 떨어진 스크린에 회절무늬가 나타났다. 가운데 밝은 무늬를 중심으로 양쪽 첫 번째 어두운 무늬 중심 사이의 거리는 D이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

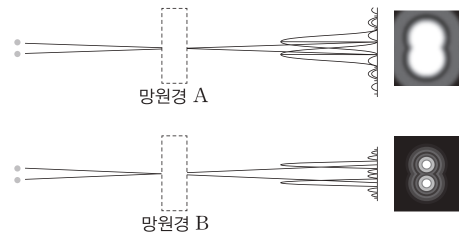
ㄱ. 슬릿의 폭만 감소시키면 D는 감소한다.
ㄴ. 단색광의 파장만 증가시키면 D는 증가한다.
ㄷ. 슬릿과 스크린 사이의 거리만 증가시키면 D는 감소한다.

① ㄱ　② ㄴ　③ ㄱ, ㄷ　④ ㄴ, ㄷ　⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0225]

11 다음은 망원경의 분해능에 대한 설명이다.

가까이 있는 두 별을 망원경으로 관측하면 ㉠ 현상이 나타나 두 별의 상이 겹쳐 보이므로 분해능이 좋은 구경이 큰 망원경을 사용하면 두 별을 구분할 수 있다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

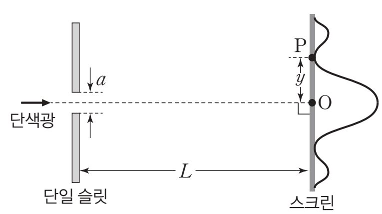
보기

ㄱ. '회절'은 ㉠으로 적절하다.
ㄴ. 회절은 A에서가 B에서보다 잘 일어난다.
ㄷ. 망원경의 구경은 B가 A보다 크다.

① ㄱ　② ㄷ　③ ㄱ, ㄴ　④ ㄴ, ㄷ　⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0226]

12 그림과 같이 단색광 A, B, C를 폭이 a인 단일 슬릿에 비추었더니 슬릿으로부터 L만큼 떨어진 스크린에 회절 무늬가 나타났다. 스크린상에서 중앙의 밝은 무늬의 중심 점 O와 첫 번째 어두운 무늬의 중심 점 P 사이의 거리는 y이다. 표는 A, B, C를 각각 비출 때 a, L, y를 나타낸 것이다.



단색광	a	L	y
A	a_0	L_0	y_0
B	a_0	$2L_0$	y_0
C	$2a_0$	L_0	$2y_0$

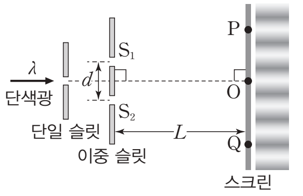
A, B, C의 파장을 각각 λ_A, λ_B, λ_C라 할 때, λ_A, λ_B, λ_C를 옳게 비교한 것은?

① $\lambda_A < \lambda_B < \lambda_C$
② $\lambda_A < \lambda_C < \lambda_B$
③ $\lambda_B < \lambda_A < \lambda_C$
④ $\lambda_B < \lambda_C < \lambda_A$
⑤ $\lambda_C < \lambda_A < \lambda_B$

O와 P 사이의 거리는 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\varDelta x$의 2배이다.

[26027-0227]

01 그림과 같이 슬릿에 파장이 λ인 단색광을 비추었더니 스크린에 간섭무늬가 생겼다. 이중 슬릿의 간격은 d, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리는 L이다. 스크린상의 점 O는 이중 슬릿의 두 슬릿 S_1, S_2로부터 같은 거리에 있는 점이다. 점 P는 O로부터 두 번째 밝은 무늬의 중심이고, 점 Q는 O로부터 세 번째 어두운 무늬의 중심이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. O에서는 보강 간섭이 일어난다.

ㄴ. $\overline{\mathrm{OQ}}-\overline{\mathrm{OP}}=\dfrac{L\lambda}{d}$이다.

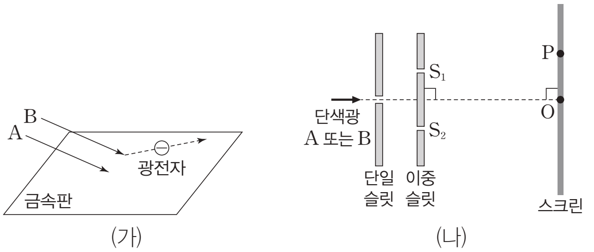
ㄷ. 단색광의 파장만 2λ로 바꾸면 P에서 어두운 무늬가 생긴다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

단색광이 같은 위상으로 중첩될 때 보강 간섭이, 반대 위상으로 중첩될 때 상쇄 간섭이 일어난다.

[26027-0228]

02 그림 (가)와 같이 금속판에 단색광 A를 비추었을 때는 광전자가 방출되지 않고, 금속판에 단색광 B를 비추었을 때 광전자가 방출된다. 그림 (나)는 A 또는 B를 슬릿에 비추어 스크린에 간섭무늬를 만드는 것을 나타낸 것이다. 점 O는 슬릿 S_1, S_2로부터 같은 거리에 있고, 점 P는 B를 비추었을 때 O로부터 첫 번째 어두운 무늬의 중심이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 진공에서 파장은 A가 B보다 짧다.

ㄴ. (나)에서 B를 슬릿에 비추면 P에서 중첩되는 B의 위상은 서로 반대이다.

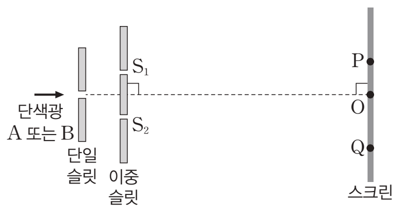
ㄷ. (나)에서 A를 슬릿에 비추면 P에서 첫 번째 밝은 무늬가 생긴다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0229]

03 다음은 빛의 간섭 실험에 대한 설명이다.

슬릿에 파장이 λ_A인 단색광 A를 비추었더니 스크린에 간섭무늬가 생겼다. 스크린상의 점 O는 슬릿 S_1, S_2로부터 같은 거리에 있는 점이고, 가장 밝은 무늬의 중심이다. 점 P는 O로부터 첫 번째 밝은 무늬의 중심이고, 점 Q는 O로부터 두 번째 어두운 무늬의 중심이다.



이때 파장이 λ_B인 단색광 B로 바꾸어 비추었더니 점 P는 O로부터 $\boxed{\quad ㉠ \quad}$의 중심이 되고, 점 Q는 O로부터 세 번째 밝은 무늬의 중심이 되었다.

$\overline{OQ}$는 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격($\overline{OP}$)의 $\frac{3}{2}$배이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

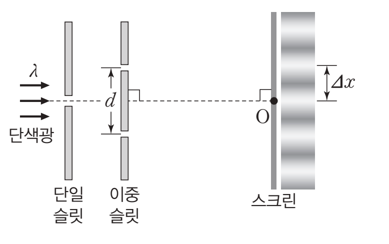
보기

ㄱ. $\overline{OP}=\frac{2}{3}\overline{OQ}$이다.
ㄴ. $\lambda_A=2\lambda_B$이다.
ㄷ. '두 번째 밝은 무늬'는 ㉠으로 적절하다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0230]

04 그림과 같이 간격이 d인 이중 슬릿에 파장이 λ인 단색광을 비추었더니 충분히 멀리 떨어진 스크린에 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격이 Δx인 간섭무늬가 생겼다. 스크린상의 점 O는 이중 슬릿의 두 슬릿으로부터 같은 거리에 있는 점이고, 가장 밝은 무늬의 중심이다. 표는 이중 슬릿과 스크린을 고정한 후, 실험 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ에서 λ, d, Δx를 나타낸 것이다.



실험	λ	d	Δx
Ⅰ	λ_0	d_0	x_0
Ⅱ	$\frac{1}{2}\lambda_0$	$2d_0$	㉠
Ⅲ	㉡	$\frac{1}{2}d_0$	$\frac{1}{2}x_0$

단색광의 파장을 λ, 슬릿 사이의 간격을 d, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라고 할 때 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 이중 슬릿의 두 슬릿에서 단색광의 위상은 같다.
ㄴ. ㉠은 x_0이다.
ㄷ. ㉡은 λ_0이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

경로차 $\varDelta$가 $\varDelta=\frac{\lambda}{2}(2m)(m=0, 1, 2, 3, \cdots)$일 때 보강 간섭이 일어나고, 경로차 $\varDelta$가 $\varDelta=\frac{\lambda}{2}(2m+1)(m=0, 1, 2, 3, \cdots)$일 때 상쇄 간섭이 일어난다.

[26027-0231]

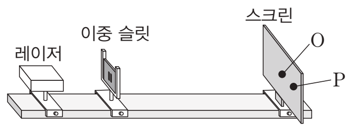
05 **다음은 빛의 간섭 실험이다.**

[실험 과정]

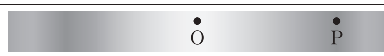
(가) 그림과 같이 슬릿 간격이 d_1인 이중 슬릿과 스크린을 레이저의 진행 방향에 수직으로 설치한다.

(나) 파장이 λ인 레이저를 이중 슬릿에 비추고 스크린 상의 지점 O, P에 나타난 간섭무늬를 관찰한다.

(다) (가)의 이중 슬릿을 슬릿 간격이 d_2인 이중 슬릿으로 바꾸어 (나)를 반복한다.



[실험 결과]

과정	실험 결과
(나)	
(다)	

- (나), (다)의 간섭무늬에서 O에는 가장 밝은 무늬가 생겼다.
- (나)의 간섭무늬에서 P는 O로부터 두 번째 밝은 무늬의 중심이다.
- (다)의 간섭무늬에서 P는 O로부터 첫 번째 어두운 무늬의 중심이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. (나)에서 O에서는 보강 간섭이 일어난다.

ㄴ. (다)에서 이중 슬릿의 두 슬릿으로부터 P까지의 경로차는 2λ이다.

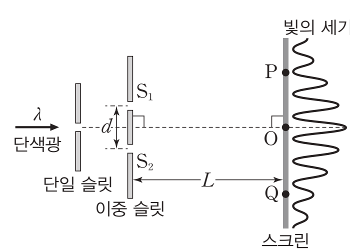
ㄷ. $d_1=4d_2$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

단색광의 파장을 λ'로 바꿨을 때 P, Q에서 모두 밝은 무늬가 나타나기 위해서는 $\overline{OP}$, $\overline{OQ}$가 모두 $\frac{L}{d}\lambda'$의 정수 배가 되어야 한다.

[26027-0232]

06 **그림과 같이 슬릿에 파장이 λ인 단색광을 비추었더니 스크린에 간섭무늬가 생겼다. 이중 슬릿 간격은 d, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리는 L이다. 스크린상의 점 O는 이중 슬릿의 두 슬릿 S_1, S_2로부터 같은 거리에 있는 점이고, 밝은 무늬의 중심이다. 점 P는 O로부터 세 번째 어두운 무늬의 중심이고, 점 Q는 O로부터 세 번째 밝은 무늬의 중심이다.**



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. S_1, S_2로부터 P까지의 경로차는 $\frac{3}{2}\lambda$이다.

ㄴ. Q에서 중첩되는 빛의 위상은 서로 같다.

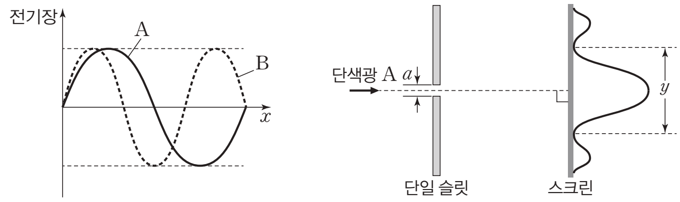
ㄷ. 단색광의 파장만을 감소시킬 때, P와 Q에서 모두 밝은 무늬가 나타나는 가장 긴 파장은 $\frac{1}{2}\lambda$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답과 해설 49쪽

[26027-0233]

07 그림 (가)는 $+x$방향으로 같은 속력으로 진행하는 두 단색광 A, B의 전기장을 위치 x에 따라 나타낸 것이다. 그림 (나)는 A를 폭이 a인 단일 슬릿에 비추었을 때 스크린에 나타난 회절 무늬를 나타낸 것으로 중앙의 가장 밝은 무늬의 폭은 y이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

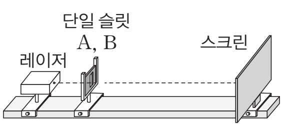
ㄱ. 단색광의 진동수는 A가 B보다 크다.
ㄴ. (나)에서 슬릿의 폭만을 $2a$로 바꾸면 중앙의 가장 밝은 무늬의 폭은 y보다 크다.
ㄷ. (나)에서 단색광만을 B로 바꾸면 중앙의 가장 밝은 무늬의 폭은 y보다 작다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

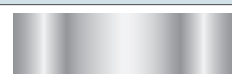
회절은 파동의 파장이 길수록, 파동이 통과하는 슬릿의 폭이 좁을수록 잘 일어난다.

[26027-0234]

08 그림 (가)는 단색광 레이저를 슬릿의 폭이 각각 a_1, a_2인 단일 슬릿 A, B에 각각 비추는 것을, (나)는 (가)에서 단색광을 A, B에 비추었을 때 스크린에 나타난 회절 무늬를 나타낸 것이다. 중앙의 가장 밝은 무늬의 폭은 A에 비추었을 때가 B에 비추었을 때보다 크다.



(가)

슬릿	회절 무늬
A	
B	

(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 단색광의 세기를 증가시키면 중앙의 가장 밝은 무늬의 폭은 넓어진다.
ㄴ. $a_1 < a_2$이다.
ㄷ. (가)에서 단색광 레이저의 파장을 증가시키면 (나)에서 중앙의 가장 밝은 무늬의 폭은 A, B에 비추었을 때 모두 넓어진다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

빛의 회절 실험에서 중앙의 가장 밝은 무늬로부터 첫 번째 어두운 무늬가 생긴 지점까지의 거리는 파장에 비례하고, 단일 슬릿의 폭에 반비례한다.

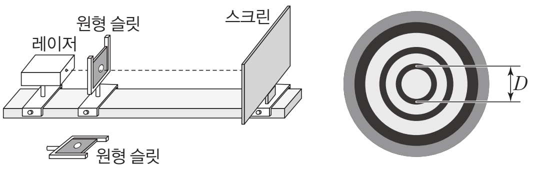
단일 슬릿에 의한 빛의 회절에서 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L, 슬릿의 폭을 a, 단색광의 파장을 λ라고 할 때, 가운데 가장 밝은 무늬의 중심에서 첫 번째 어두운 무늬까지의 거리는 $\frac{L}{a}\lambda$이다.

[26027-0235]

09 다음은 빛의 회절 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 파장이 λ_1인 단색광 레이저의 진행 방향과 수직이 되도록 스크린을 설치한 후, 폭이 a_1인 원형 슬릿을 스크린과 나란하게 고정한다.



(나) 레이저를 원형 슬릿에 비추고 스크린에 생긴 회절 무늬에서 중앙의 가장 밝은 무늬로부터 첫 번째 어두운 무늬의 지름 D를 측정한다.

(다) (가)에서 원형 슬릿만을 폭이 a_2인 슬릿으로 바꾸고 (나)를 반복한다.

(라) (가)에서 파장만을 λ_2인 단색광 레이저로 바꾸어 (나), (다)를 반복한다.

[실험 결과]

파장	원형 슬릿의 폭	
	a_1	a_2
λ_1	D_0	$\frac{D_0}{2}$
λ_2	$\frac{3}{2}D_0$	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. $a_1 > a_2$이다.
ㄴ. $\lambda_1 < \lambda_2$이다.
ㄷ. ㉠은 $\frac{1}{3}D_0$이다.

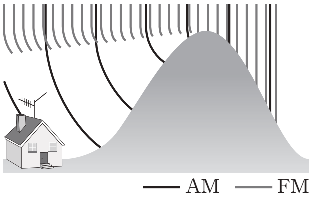
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

AM 방송의 전파가 FM 방송의 전파보다 파장이 길어서 회절이 잘 일어난다.

[26027-0236]

10 다음은 라디오 방송에 대한 설명이다.

라디오 방송에는 주파수가 약 500 kHz~1600 kHz인 전파를 이용하는 AM 방송과 약 90 MHz~110 MHz인 전파를 이용하는 FM 방송이 있다. 그림의 산과 같이 전파의 진행을 방해하는 장애물이 많은 지형에서는 ㉠AM 방송은 수신되지만 FM 방송은 수신되지 않는다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. ㉠은 전자기파의 파동성으로 설명할 수 있다.
ㄴ. 방송에서 이용하는 전자기파의 파장은 AM 방송의 전파가 FM 방송의 전파보다 길다.
ㄷ. 회절은 AM 방송의 전파가 FM 방송의 전파보다 잘 일어난다.

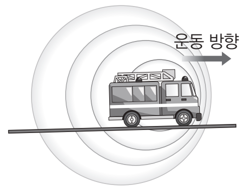
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

12 도플러 효과와 전자기파의 송수신

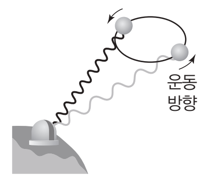
1 도플러 효과

(1) 도플러 효과: 파원이나 관찰자가 움직이게 되면 정지해 있을 때와는 다른 진동수의 파동을 측정하게 되는데, 이를 도플러 효과라고 한다. 파원과 관찰자가 서로 가까워지면 파동의 진동수가 커지고, 서로 멀어지면 파동의 진동수가 작아진다.

물결파의 도플러 효과



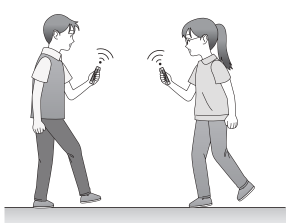
음파의 도플러 효과

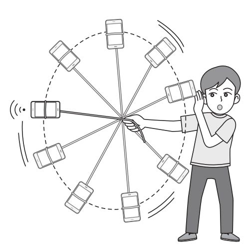


전자기파의 도플러 효과

탐구자료 살펴보기 스마트폰을 이용한 진동수 변화 측정

과정
(1) 스마트폰 두 개를 준비하고, 하나에는 진동수가 일정한 소리를 발생시키는 애플리케이션, 다른 하나에는 소리의 진동수를 측정하는 애플리케이션을 설치한다.
(2) 두 스마트폰이 정지해 있을 때 한 스마트폰에서 나오는 소리의 진동수를 측정한다.
(3) 그림 (가)와 같이 두 스마트폰을 서로 가까이 또는 멀리 하는 상대적인 운동을 하며 소리의 진동수를 측정한다.
(4) 그림 (나)와 같이 소리를 내는 스마트폰을 끈에 매달아 회전시키며 스마트폰에서 재생되는 소리의 진동수를 측정한다.
(5) 회전시키는 속력을 다르게 하여 과정 (4)를 반복한다.


(가)


(나)

결과
- 두 스마트폰이 가까워질 때 측정되는 진동수는 크고, 멀어질 때 측정되는 진동수는 작다.
- 회전하는 스마트폰의 속력이 빠를수록 다가올 때와 멀어질 때 측정되는 진동수의 차가 크다.

point
- 음원과 관찰자의 운동에 따라 관찰자가 측정하는 소리의 진동수가 달라지는 도플러 효과를 직접 경험해 볼 수 있다.

(2) 음원이 움직일 때: 소리의 속력, 파장, 진동수를 각각 v, λ, f, 음원의 속력을 v_S라 하고, 이때 관찰자가 듣게 되는 진동수를 f'라고 하면 관찰자가 듣는 소리는 다음과 같이 달라진다.

개념 체크

➔ 소방차의 사이렌 소리: 소방차에서 발생하는 사이렌 소리는 소방차의 움직임에 따라 다른 진동수로 측정된다. 소방차가 관찰자를 향해 다가올 때는 사이렌 소리가 높은 음으로 들리고, 소방차가 관찰자와 멀어질 때는 사이렌 소리가 낮은 음으로 들린다.

1. 음원이 정지한 관찰자를 향해 다가올 때, 관찰자가 측정하는 음파의 파장은 (　　)지고, 관찰자가 측정하는 음파의 진동수는 (　　)진다.

2. 음원이 정지한 관찰자로부터 멀어질 때, 관찰자가 측정하는 음파의 파장은 (　　)지고, 관찰자가 측정하는 음파의 진동수는 (　　)진다.

정답
1. 짧아, 커
2. 길어, 작아

① 음원이 정지해 있는 관찰자를 향해 다가올 때: 관찰자가 듣는 소리의 진동수 f'는 다음과 같다.

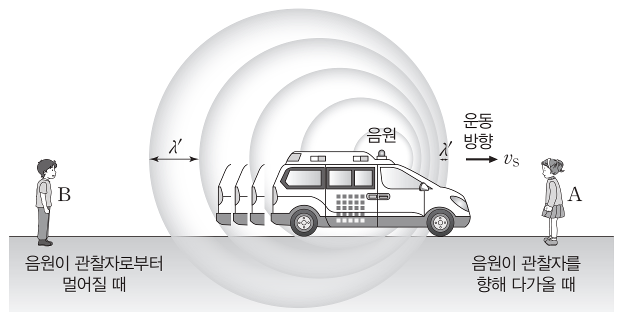
$$f'=\frac{v}{\lambda'}=\frac{v}{\lambda-\frac{v_S}{f}}=\frac{v}{\frac{v}{f}-\frac{v_S}{f}}=\left(\frac{v}{v-v_S}\right)f$$

음원이 관찰자 쪽으로 가까이 다가오면 소리의 파장이 λ'로 짧아진다. 소리의 속력은 음원이 정지해 있을 때와 동일하므로, 관찰자가 듣는 소리의 진동수가 커져서 진동수 f인 소리보다 더 높은 소리를 듣게 된다.

② 음원이 정지해 있는 관찰자로부터 멀어질 때: 관찰자가 듣는 소리의 진동수 f'는 다음과 같다.

$$f'=\frac{v}{\lambda'}=\frac{v}{\lambda+\frac{v_S}{f}}=\frac{v}{\frac{v}{f}+\frac{v_S}{f}}=\left(\frac{v}{v+v_S}\right)f$$

음원이 관찰자로부터 멀어지면 소리의 파장이 λ'로 길어진다. 소리의 속력은 음원이 정지해 있을 때와 동일하므로, 관찰자가 듣는 소리의 진동수가 작아져서 진동수 f인 소리보다 더 낮은 소리를 듣게 된다.



과학 돋보기 **관찰자가 운동하는 경우의 도플러 효과**

음원은 정지한 상태에서 관찰자가 운동할 때 관찰자가 듣는 소리의 파장은 변하지 않고 관찰자가 듣게 되는 소리의 상대적인 속력이 변하여 관찰자가 측정하는 소리의 진동수가 변한다.

(공기 중 소리의 속력: v, 음원의 파장: λ, 음원의 진동수: f, 관찰자가 측정하는 소리의 진동수: f', 관찰자의 속력 v_O)

- 관찰자가 정지해 있는 음원을 향해 다가올 때:
  $v=\lambda f$, $v'=\lambda f'$이고, 관찰자가 듣게 되는 소리의 상대 속도 v'는 $v'=v+v_O$이므로
  $f'=\frac{v'}{\lambda}=\frac{v+v_O}{\lambda}=\frac{v+v_O}{v}f$이다. 따라서 $f'>f$이다.
- 관찰자가 정지해 있는 음원으로부터 멀어질 때:
  $v=\lambda f$, $v'=\lambda f'$이고, 관찰자가 듣게 되는 소리의 상대 속도 v'는 $v'=v-v_O$이므로
  $f'=\frac{v'}{\lambda}=\frac{v-v_O}{\lambda}=\frac{v-v_O}{v}f$이다. 따라서 $f'<f$이다.

개념 체크

➲ 음원이 관찰자를 향해 다가올 때와 멀어질 때 측정되는 소리의 파장: 음원이 관찰자를 향해 다가올 때 관찰자가 측정하는 소리의 파장은 음원이 정지했을 때 소리의 파장보다 짧고, 음원이 관찰자로부터 멀어질 때 관찰자가 측정하는 소리의 파장은 음원이 정지했을 때 소리의 파장보다 길다. 음원의 속력이 클수록 음원에서 발생하는 소리와 관찰자가 측정하는 소리의 파장의 차이가 크다.

[1~2] 진동수가 f인 음파를 발생하는 음원이 v_s의 속력으로 관찰자를 향해 등속 직선 운동을 한다. (단, 음속은 v이다.)

1. 관찰자가 듣는 음파의 파장은 음원이 정지해 있을 때에 비해 (　　)만큼 짧아진다.

2. 관찰자가 듣는 음파의 진동수는 (　　)이다.

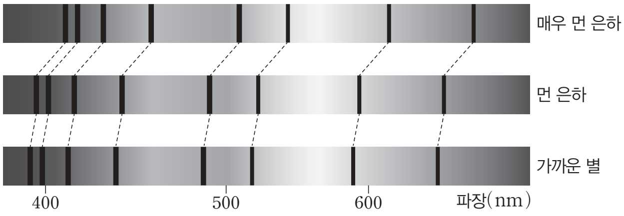
정답
1. $\frac{v_s}{f}$
2. $\left(\frac{v}{v-v_s}\right)f$

2 도플러 효과의 이용

(1) 속력 측정: 속력 측정 장치에서는 마이크로파나 적외선, 초음파를 내보내는데, 이 전자기파나 초음파가 다가오는 공이나 자동차에 부딪혀 되돌아오면서 진동수가 커진다. 이러한 진동수 변화를 측정하여 도플러 효과로 투수가 던진 공의 속력이나 자동차의 속력을 알아낸다.

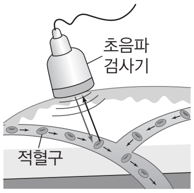
(2) 기상 관측: 도플러 레이더가 구름을 향해 전파를 방출하면 구름 안에 있는 물방울, 눈, 우박 등에서 반사되는데, 방출한 전파와 반사된 전파의 진동수를 비교하면 구름의 이동 방향과 속력에 대한 정보를 얻을 수 있다.

(3) 천체 관측: 대부분의 은하에서 나오는 빛의 흡수 스펙트럼에서 적색 이동(적색 편이)이 나타나는 것으로부터 우주가 팽창하고 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 은하가 멀리 있을수록 적색 이동이 더 많이 나타난다.



흡수 스펙트럼의 적색 이동

이외에도 박쥐가 초음파의 도플러 효과를 이용하여 물체나 먹이의 속력을 알아내고, 도플러 초음파 검사로 인체 내 혈액의 속력을 알아내는 등 도플러 효과는 일상생활에서 널리 활용되고 있다.



3 전자기파의 발생

(1) 전기장에 의한 자기장의 변화: 전원이 연결된 직선 도선 주위에 전기장이 생기고, 도선 내부의 전자가 전기력을 받아 이동하면 도선 주위에 자기장이 발생한다. 이때 직선 도선에 연결하는 전원이 교류 전원이면 전기장이 계속 변하게 되어 자기장도 계속 변하게 된다.

개념 체크

➲ **도플러 효과의 이용:** 도플러 효과를 이용하면 물체에 반사된 파동이나, 물체가 방출하는 파동의 진동수 변화를 측정하여 움직이는 물체의 속력을 측정할 수 있다.

1. 속력 측정 장치에서 다가오는 공을 향해 진동수가 f_0인 전자기파를 내보내면 공에서 반사되어 되돌아오는 전자기파의 진동수는 f_0보다 (크다 , 작다).

2. 지구로부터 멀어지고 있는 은하에서 방출되는 빛의 흡수 스펙트럼은 진동수가 감소하는 방향으로 (　　) 편이가 일어난다.

정답
1. 크다
2. 적색

개념 체크

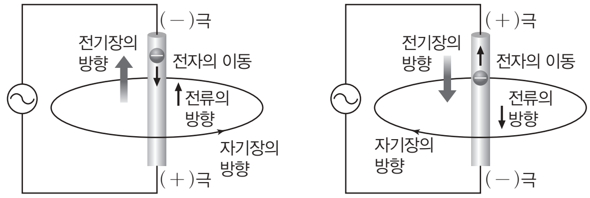
전자기파: 전기장과 자기장의 진동이 주변 공간으로 퍼져 나가는 것을 전자기파라고 한다. 이때 전기장 및 자기장의 진동 방향, 전자기파의 진행 방향은 서로 모두 수직을 이룬다.

전자기파의 발생: 전자가 진동하면 변하는 전기장을 만들고, 변하는 전기장은 변하는 자기장을 만들어내며 전자기파가 퍼져 나간다.

1. 전기장과 자기장의 진동 방향은 서로 (   )이고, 전기장의 진동 방향과 전자기파의 진행 방향은 서로 (   )이다.

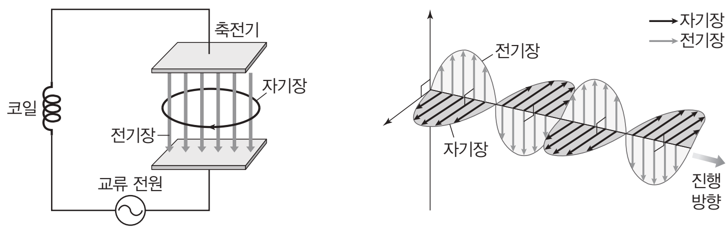
2. 교류 전원의 진동수가 클수록 축전기의 저항 역할은 (   )지고, 코일의 저항 역할은 (   )진다.

정답
1. 수직, 수직
2. 작아, 커



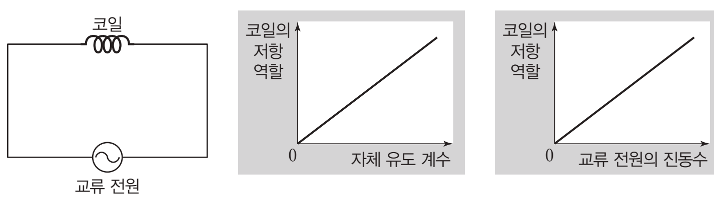
(2) 전자기파: 전기장과 자기장은 계속해서 서로를 유도하면서 주기적으로 진동하는 파동의 형태로 퍼져 나가는데, 이를 전자기파라고 한다.

(3) 전자기파의 발생: 그림과 같이 평행판 축전기를 교류 전원에 연결하면 평행판 사이에는 시간에 따라 변하는 전기장이 만들어진다. 전기장이 시간에 따라 변하면 진동하는 자기장이 유도되고, 다시 진동하는 자기장이 전기장을 유도하면서 공간으로 퍼져 나간다. 이렇게 발생한 전자기파는 공간으로 전파된다. 이때 전기장과 자기장은 진행 방향에 대하여 서로 수직으로 진동하며, 빛의 속력으로 전파된다.

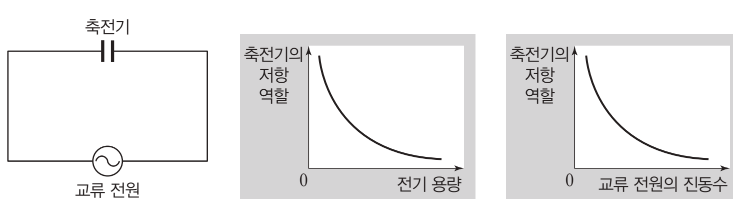


4 교류에서 코일과 축전기의 전기적 특성

(1) 코일의 저항 역할: 교류 회로에 코일을 연결하면 코일에 발생하는 유도 기전력이 전류의 흐름을 방해한다. 따라서 코일의 자체 유도 계수가 클수록, 교류 전원의 진동수가 커질수록 전류가 빠르게 변하기 때문에 코일의 저항 역할이 커진다.

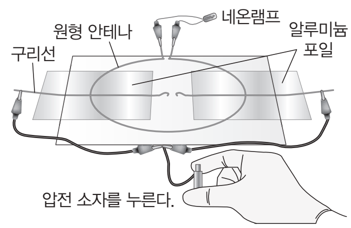


(2) 축전기의 저항 역할: 교류 회로에 축전기를 연결하면, 축전기의 전기 용량이 작거나 교류 전원의 진동수가 작은 경우 교류의 방향이 바뀌기 전에 축전기가 완전히 충전되어 전류가 흐르지 않게 된다. 따라서 축전기의 전기 용량이 클수록, 교류 전원의 진동수가 커질수록 축전기의 저항 역할이 작아진다.



탐구자료 살펴보기 **전자기파의 발생과 검출**

과정



(1) 그림과 같이 구리선으로 지름 20 cm 정도의 원형 안테나를 만들고 네온램프를 연결한 다음, OHP 필름 위에 셀로판테이프로 붙인다.

(2) 한 변이 15 cm인 정사각형 모양의 종이 판지 위에 두 장의 알루미늄 포일을 3 cm 간격으로 놓는다.

(3) 알루미늄 포일 위에 각각 구리선을 붙이고, 그 간격이 2 mm~ 3 mm가 되도록 셀로판테이프로 고정한다.

(4) 구리선의 양쪽에 압전 소자를 연결하고, 압전 소자를 눌러 전기 불꽃 방전이 일어나게 하면서 원형 안테나가 달린 OHP 필름을 알루미늄 포일 위로 가까이 가져간다.

결과

- 압전 소자를 누를 때 구리선 사이에서는 불꽃이 발생한다.
- 압전 소자를 누를 때 발생한 전자기파가 안테나에 수신되어 전류가 흐르게 되므로 네온램프에 불이 켜진다.
- 네온램프의 불빛 세기는 알루미늄 포일과 안테나 사이의 거리가 가까울수록 강하고, 거리가 멀수록 약하다.

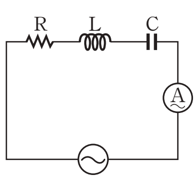
point

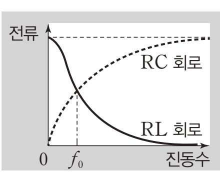
- 구리선 사이에서 고전압에 의해 불꽃 방전이 일어나면서 전자기파가 발생한다.
- 안테나에서 전파를 수신하면 유도 전류가 흘러 네온램프에 불이 켜진다.

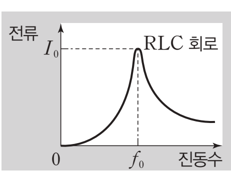
(3) 교류 회로와 공명 진동수(공진 주파수)

① 저항만 연결된 교류 회로의 경우 전류의 세기는 교류의 진동수에 영향을 받지 않지만, 교류 회로에 축전기와 코일이 연결되면 전류의 세기는 교류의 진동수에 영향을 받는다.

② 교류 전원에 저항, 코일, 축전기를 직렬로 연결하면 교류 전원의 진동수에 따라 전류의 세기가 변하는데, 특정 진동수에서 전류의 값이 최대가 된다. 이 특정 진동수를 공명 진동수(공진 주파수) f_0이라고 한다. ➡ $f_0=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ (L: 코일의 자체 유도 계수, C: 축전기의 전기 용량)







과학 돋보기 **RLC 회로의 공명 진동수**

교류 회로에서 코일이 전류의 흐름을 방해하는 정도를 유도 리액턴스(X_L)라 하고, 그 값은 $X_L=2\pi fL$ (f: 교류 전원의 진동수, L: 코일의 자체 유도 계수)이다. 즉, 코일의 유도 리액턴스는 교류 전원의 진동수에 비례하고, 코일의 자체 유도 계수에 비례한다. 교류 회로에서 축전기가 전류의 흐름을 방해하는 정도를 용량 리액턴스(X_C)라 하고, 그 값은 $X_C=\dfrac{1}{2\pi fC}$ (f: 교류 전원의 진동수, C: 축전기의 전기 용량)이다. 즉, 축전기의 용량 리액턴스는 교류 전원의 진동수에 반비례하고, 축전기의 전기 용량에 반비례한다.

RLC 회로의 공명 진동수에서 코일의 유도 리액턴스와 축전기의 용량 리액턴스는 크기가 같고 교류 회로에서 저항, 코일, 축전기가 전류의 흐름을 방해하는 정도의 합은 최솟값이 된다. $X_L=X_C$, 즉, $2\pi f_0L=\dfrac{1}{2\pi f_0C}$의 조건을 만족하는 교류 전원의 진동수 f_0이 공명 진동수가 된다. 따라서 공명 진동수는 $f_0=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이다.

개념 체크

➲ **교류 회로에서의 공명:** 교류 전원의 진동수가 공명 진동수일 때, 코일의 저항 역할과 축전기의 저항 역할이 같아진다. 이때 코일과 축전기가 함께 만들어내는 저항 역할이 최소가 되고, 회로에는 최대의 전류가 흐른다.

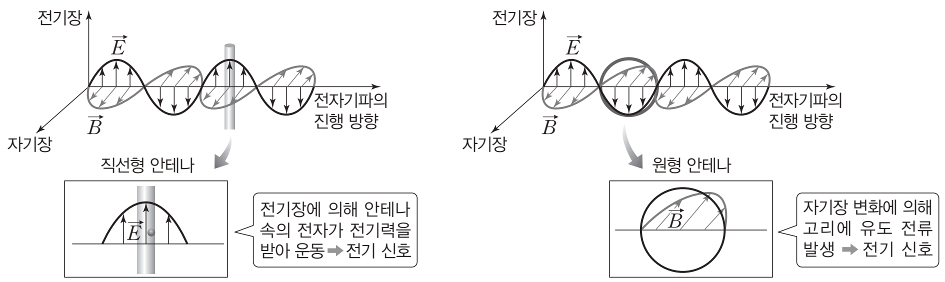
1. 교류 전원에 저항, 코일, 축전기를 직렬로 연결하고 교류 전원의 진동수를 (　　)로 조절하면 회로에 흐르는 전류의 세기는 최대가 된다.

2. 저항, 코일, 축전기가 직렬로 연결된 교류 회로에서 코일의 자체 유도 계수만을 (　　)시키면 공명 진동수는 감소한다.

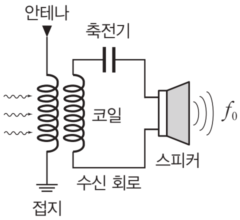
정답
1. 공명 진동수
2. 증가

5 전자기파의 수신

(1) 전자기파의 수신: 직선형 안테나의 전자는 전자기파의 전기장으로부터 전기력을 받는다. 안테나에 들어오는 전자기파의 전기장은 시간에 따라 진동하기 때문에 안테나 속의 전자도 진동하게 된다. 따라서 안테나 속에는 전자의 진동으로 인해 교류가 흐르게 된다. 원형 안테나는 자기장 변화에 의해 고리에 유도 전류가 발생하여 교류가 흐르게 된다.

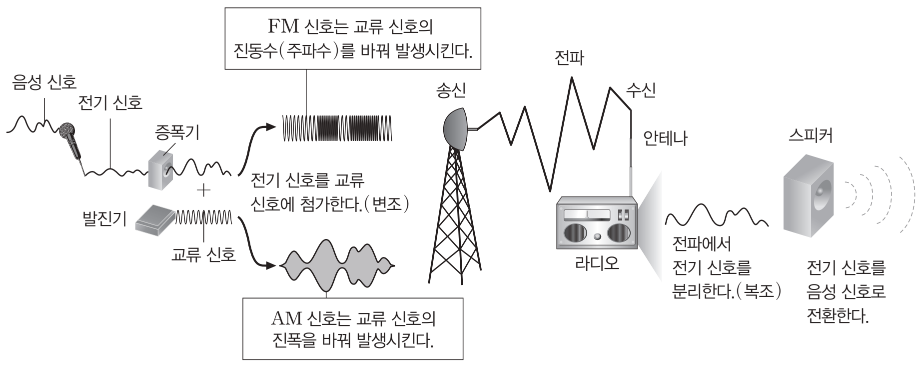


(2) 전자기파 공명: 우리 주위에는 여러 방송국에서 보낸 다양한 진동수를 가진 전자기파들이 섞여 있다. 이 전자기파들이 안테나에 있는 전자를 진동시켜 전자기파 수신 회로에 교류를 유도한다. 이때 안테나에 연결된 회로가 특정한 공명 진동수(고유 진동수)를 갖도록 하면 이 진동수와 같은 진동수의 전자기파만 수신하여 회로에 전류가 세게 흐를 수 있다. 이러한 현상을 전자기파 공명이라고 한다.



안테나에 여러 진동수의 전자기파가 도달함. ➡ 1차 회로의 코일에서 자기장이 발생함. ➡ 2차 회로의 코일에는 2차 회로의 공명 진동수와 일치하는 유도 전류 흐름. ➡ 원하는 진동수의 전자기파만 수신함.

(3) 라디오 방송 통신의 송수신: 송신하고자 하는 음성 신호를 전기 신호로 변환하여 변조시키고, 변조된 신호를 안테나를 통해 전파로 송신한다. 라디오에서는 다시 안테나를 통해 전파를 수신하고, 수신된 전파는 복조 과정을 거쳐 음성 신호로 전환된다.



음성 신호 → 전기 신호로 변환 → 변조 → 송신 → 수신 → 복조 → 재생

개념 체크

➡ **전자기파의 수신**: 전자기파가 전자 주위를 지나가면, 음(−) 전하를 띤 전자는 전기장과 반대 방향으로 전기력을 받는다. 따라서 진동하는 전자기파의 전기장에 의해 전자는 진동하게 되고, 전자의 진동으로 인해 교류 전류가 흐른다.

➡ **변조와 복조**: 마이크로부터 입력된 전기 신호에 교류 신호를 첨가하여 진동수(주파수)나 진폭을 변화시키는 과정을 변조라 하고, 변조된 전파로부터 원래의 전기 신호를 분리하는 과정을 복조라고 한다.

1. 직선형 안테나의 전자는 전자기파의 (　　) 방향과 반대 방향으로 전기력을 받아 진동한다.

2. 원형 안테나는 전자기파의 (전기장 , 자기장) 진동으로 발생하는 유도 전류에 의해 (교류 , 직류)가 흐른다.

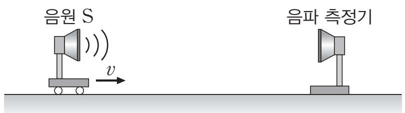
3. 전파를 송신하는 회로의 공명 진동수와 수신 회로의 (　　)가 같을 때 수신 회로에 전류가 세게 흐를 수 있다.

정답
1. 전기장
2. 자기장, 교류
3. 공명 진동수

[26027-0237]

01 다음은 도플러 효과에 대한 설명이다.

파장이 λ, 진동수가 f, 속력이 V인 음파를 발생시키는 음원 S가 정지해 있는 음파 측정기를 향해 v의 속력으로 등속 직선 운동할 때, 음파 측정기가 측정하는 음파의 파장은 $\boxed{\text{㉠}}$이다. 따라서 음파 측정기가 측정하는 음파의 진동수는 $\boxed{\text{㉡}}$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. '$\lambda-\dfrac{v}{f}$'는 ㉠으로 적절하다.

ㄴ. '$\dfrac{V}{V-v}f$'는 ㉡으로 적절하다.

ㄷ. 음원에서 발생시키는 음파의 진동수와 음파 측정기가 측정하는 음파의 진동수가 다른 현상은 도플러 효과로 설명할 수 있다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0238]

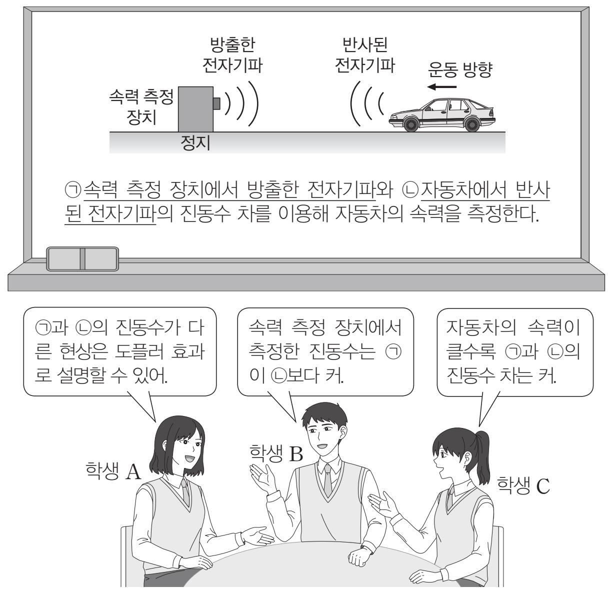
02 그림과 같이 x축상에서 음원 A, B가 각각 $\dfrac{V}{6}$, $\dfrac{V}{9}$의 속력으로 $+x$방향으로 등속도 운동하고, 음파 측정기는 x축상에 고정되어 있다. A, B가 발생시키는 진동수는 같고, 음파 측정기가 측정한 A, B의 진동수는 각각 f_A, f_B이다.

$\dfrac{f_A}{f_B}$는? (단, 음속은 V이다.)

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

[26027-0239]

03 그림은 정지한 속력 측정 장치에서 일정한 속력으로 운동하는 자동차의 속력을 측정하는 것에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

① A ② B ③ A, C ④ B, C ⑤ A, B, C

[26027-0240]

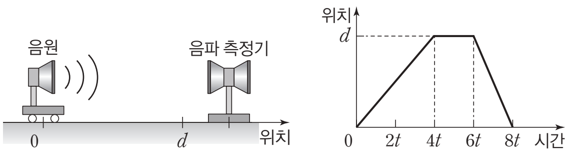
04 그림과 같이 정지해 있는 음파 측정기 A와 B 사이에서 일정한 진동수의 음파를 발생시키는 음원 S가 A로부터 B를 향해 속력 v_s로 등속 직선 운동을 한다. A, B에서 측정한 음파의 파장은 각각 λ_A, λ_B이다.

$\lambda_A : \lambda_B = 3 : 2$일 때, v_s는? (단, A, B, S는 동일 직선상에 있고, 음속은 V이다.)

① $\dfrac{1}{9}V$ ② $\dfrac{1}{7}V$ ③ $\dfrac{1}{5}V$ ④ $\dfrac{2}{9}V$ ⑤ $\dfrac{2}{7}V$

[26027-0241]

05 그림 (가)는 진동수가 f_0인 음파를 발생하며 직선 운동을 하는 음원과 정지한 음파 측정기를 나타낸 것이고, (나)는 음원의 위치를 시간에 따라 나타낸 것이다. 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 $2t$일 때가 $7t$일 때의 $\frac{3}{2}$배이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 음속은 일정하다.)

보기

ㄱ. 음파 측정기에서 측정한 음파의 파장은 $2t$일 때가 $5t$일 때보다 길다.

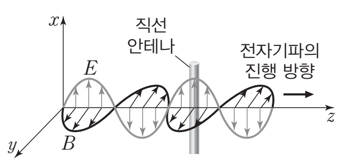
ㄴ. $7t$일 때, 음파 측정기에서 측정한 음파의 진동수는 f_0보다 작다.

ㄷ. 음파의 속력은 $\frac{5d}{4t}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0242]

06 그림은 $+z$방향으로 진행하는 전자기파가 시간 $t=0$일 때 x축과 나란한 직선 안테나를 지나가는 순간의 모습을 나타낸 것이다. $t=0$일 때 안테나를 통과하는 전기장의 방향은 $+x$방향이고, 안테나는 x축과 나란하게 놓여있다. 전기장의 진동 주기는 T이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 전자기파의 진동수는 $\frac{1}{T}$이다.

ㄴ. 전자기파의 진행 방향과 전기장의 진동 방향은 수직이다.

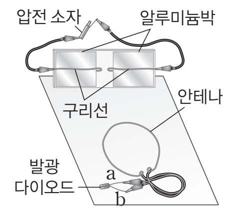
ㄷ. $t=0$일 때, 안테나 속 전자에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$방향이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0243]

07 다음은 전기 불꽃 방전 실험에 대한 설명이다.

압전 소자를 눌러 전기 불꽃 방전을 일으키면 ㉠ 가 발생한다. 이 ㉠ 는 원형 안테나에서 ㉡ 되어 안테나에는 세기와 방향이 변하는 전류가 흘러 LED에서는 빛이 방출된다. LED의 a, b를 반대로 연결하면 LED는 ㉢ .



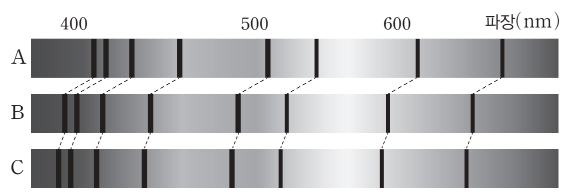
㉠~㉢으로 적절한 것은?

	㉠	㉡	㉢
①	전자기파	수신	켜진다
②	전자기파	수신	켜지지 않는다
③	전자기파	송신	켜진다
④	초음파	송신	켜지지 않는다
⑤	초음파	송신	켜진다

[26027-0244]

08 다음은 은하 A, B, C에서 나오는 빛의 흡수 스펙트럼에 대한 설명이다.

은하는 우리은하로부터의 거리가 클수록 멀어지는 속력이 빠르다. 은하가 멀어지는 속력이 ㉠ 은하에서 나오는 빛의 흡수 스펙트럼에서 적색 이동이 크게 나타난다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 멀어지는 은하에서 나오는 빛의 흡수 스펙트럼의 적색 편이 현상은 도플러 효과로 설명할 수 있다.

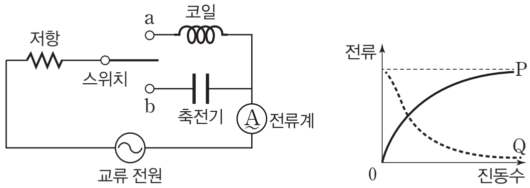
ㄴ. '빠를수록'은 ㉠으로 적절하다.

ㄷ. 우리 은하에서 가장 멀리 있는 은하는 C이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0245]

09 그림 (가)는 전압의 최댓값이 일정한 교류 전원에 저항, 코일, 축전기, 스위치, 전류계를 연결한 회로를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 스위치를 a 또는 b에 연결하였을 때, 교류 전원의 진동수에 따른 전류계에서 측정된 전류를 나타낸 것이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

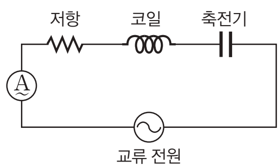
보기

ㄱ. 축전기는 교류 전원의 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 작다.
ㄴ. (나)에서 P는 (가)에서 스위치를 a에 연결하였을 때의 결과이다.
ㄷ. (나)에서 Q일 때, 교류 전원의 진동수가 작을수록 저항에 걸린 전압의 최댓값은 감소한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0246]

10 그림은 전압의 최댓값이 일정한 교류 전원에 저항, 코일, 축전기, 전류계를 연결하여 회로를 구성한 모습을 나타낸 것이다. 표는 교류 전원의 진동수에 따른 전류계에 측정된 전류의 세기를 나타낸 것으로 회로의 공명 진동수는 f_0이다.



교류 전원의 진동수	전류의 세기
f_0	I_1
$2f_0$	I_2

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

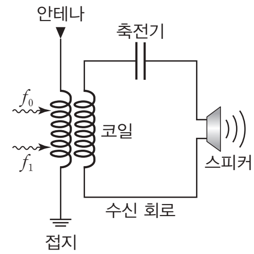
보기

ㄱ. $I_1 > I_2$이다.
ㄴ. 저항의 저항값을 증가시키면 회로의 공명 진동수는 감소한다.
ㄷ. 교류 전원의 진동수가 f_0일 때, 축전기의 전기 용량을 증가시키면 전류계에 측정된 전류의 세기는 I_1보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0247]

11 그림은 진동수가 f_0, f_1인 전파가 안테나에 도달할 때, 수신 회로를 조절하여 회로에 흐르는 전류가 최대인 순간 스피커에서 진동수가 f_0인 전파에 의한 방송이 나오는 모습을 나타낸 것이다. $f_0 < f_1$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

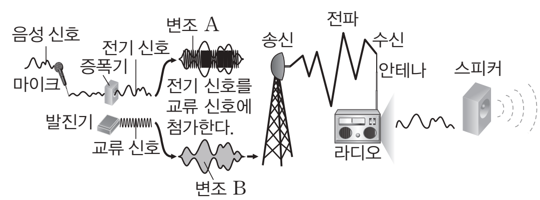
ㄱ. 수신 회로의 공명 진동수는 f_0이다.
ㄴ. 코일의 자체 유도 계수만을 증가시키면 수신 회로의 공명 진동수가 증가한다.
ㄷ. 축전기의 저항 역할은 f_0일 때가 f_1일 때보다 작다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0248]

12 다음은 라디오 방송 통신의 송수신에 대한 설명이다.

마이크에 입력된 음성 신호를 전기 신호로 변환하여 변조시키고, 변조된 신호를 안테나를 통해 ㉠전파로 송신한다. 라디오에서는 다시 안테나를 통해 전파를 수신하고, 수신된 전파는 ㉡복조 과정을 거쳐 ㉢음성 신호로 전환된다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. A는 주파수 변조이다.
ㄴ. ㉡은 변조된 전파로부터 원래의 전기 신호를 분리하는 과정이다.
ㄷ. ㉠과 ㉢의 진동수는 같다.

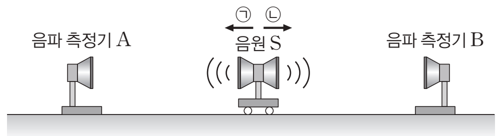
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답과 해설 53쪽 ▶

[26027-0249]

음원이 음파 측정기를 향해 운동할 때는 음파 측정기에서 측정한 파장이 음원의 파장보다 짧고, 음원이 음파 측정기에서 멀어지는 방향으로 운동할 때는 음파 측정기에서 측정한 파장이 음원의 파장보다 길다.

01 그림과 같이 정지해 있는 음파 측정기 A와 B를 잇는 동일 직선상에서 음원 S가 일정한 속력 v로 운동한다. S는 파장이 λ_0인 음파를 발생시키고, A에서 측정한 음파의 파장은 $\frac{6}{7}\lambda_0$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 음속은 일정하다.)

보기

ㄱ. S의 운동 방향은 ㉡이다.
ㄴ. 음파의 속력은 $7v$이다.
ㄷ. B에서 측정한 음파의 주기는 $\frac{8\lambda_0}{49v}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

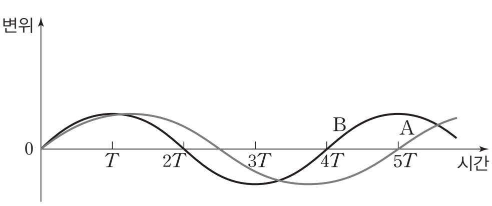
[26027-0250]

음파의 속력이 V, 진동수가 f_0일 때, A에서 측정한 음파의 파장 $\lambda_A = \frac{V}{f_0} + \frac{v}{f_0} = 5VT$이고, B에서 측정한 음파의 파장 $\lambda_B = \frac{V}{f_0} - \frac{v}{f_0} = 4VT$이다.

02 그림 (가)와 같이 정지해 있는 음파 측정기 A와 B 사이에서 진동수가 일정한 음파를 발생시키는 음원 S가 B를 향해 일정한 속력 v로 운동한다. 그림 (나)는 A, B에서 측정한 음파의 변위를 시간에 따라 나타낸 것이다.

(가)

(나)



A, B에서 측정한 음파의 파장이 각각 λ_A, λ_B일 때, $\lambda_A - \lambda_B$는? (단, 음파 측정기와 음원은 동일 직선상에 있고, 음속은 일정하다.)

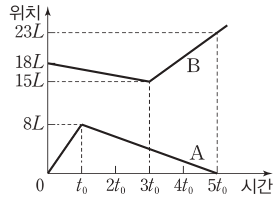
① vT ② $3vT$ ③ $5vT$ ④ $7vT$ ⑤ $9vT$

정답과 해설 53쪽

[26027-0251]

03 그림 (가)는 x축상에서 정지해 있는 음파 측정기와 진동수가 각각 $4f_0$, $3f_0$인 음파를 발생시키며 x축상에서 직선 운동을 하는 음원 A, B를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 A, B의 위치를 시간에 따라 나타낸 것으로, $2t_0$일 때 음파 측정기가 측정한 A와 B의 음파의 진동수는 같다.

(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 음속은 일정하다.)

보기

ㄱ. 음파의 속력은 $\dfrac{10L}{t_0}$이다.

ㄴ. $2t_0$일 때, 음파 측정기가 측정한 B의 음파의 진동수는 $\dfrac{10}{3}f_0$이다.

ㄷ. $4t_0$일 때, 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 A가 발생시킨 음파가 B가 발생시킨 음파의 2배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

$2t_0$일 때, A는 음파 측정기로부터 멀어지는 방향으로 $\dfrac{2L}{t_0}$의 속력으로 운동하고, B는 음파 측정기를 향해 가까워지는 방향으로 $\dfrac{L}{t_0}$의 속력으로 운동한다.

[26027-0252]

04 그림은 x축상에서 정지해 있는 음파 측정기와 음원 A, B가 각각 $+x$방향으로 등속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. A, B가 발생시키는 음파의 진동수는 같고, 음파 측정기에서 측정한 A와 B의 음파의 진동수는 각각 f_A, f_B이다. 표는 $f_A : f_B$를 A, B의 속력에 따라 나타낸 것이다.

A의 속력	B의 속력	$f_A : f_B$
v_0	v_0	8 : 3
$\frac{1}{3}v_0$	$2v_0$	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 음속은 V이다.)

보기

ㄱ. A, B의 속력이 v_0일 때 음파 측정기가 측정한 음파의 파장은 A가 발생시킨 음파가 B가 발생시킨 음파보다 길다.

ㄴ. $v_0=\dfrac{5}{11}V$이다.

ㄷ. ㉠은 9 : 4이다.

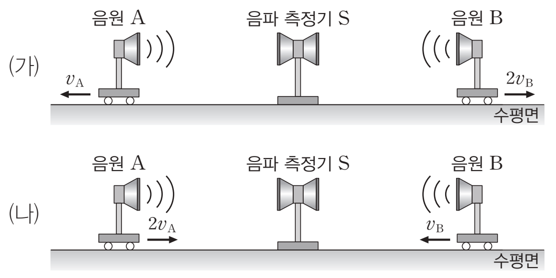
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

음파의 속력이 V, 음원의 속력이 v_s일 때, 진동수가 f_0인 음파를 발생시키는 음원이 정지한 음파 측정기에 가까워지면 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 $\dfrac{V}{V-v_s}f_0$이고, 음원이 정지한 음파 측정기로부터 멀어지면 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 $\dfrac{V}{V+v_s}f_0$이다.

(가)에서 음파의 속력이 V일 때, f_A는 $\frac{V}{V+v_A}f_0$이고, f_B는 $\frac{V}{V+2v_B}f_0$이다.

[26027-0253]

05 그림 (가)는 진동수가 f_0인 음파를 발생시키는 음원 A, B가 각각 일정한 속력 v_A, $2v_B$로 수평면에 정지해 있는 음파 측정기 S로부터 멀어지는 방향으로 운동하는 모습을, (나)는 (가)에서 A, B가 각각 일정한 속력 $2v_A$, v_B로 S를 향해 가까워지는 방향으로 운동하는 모습을 나타낸 것이다. 표는 (가)와 (나)에서 S가 측정한 A, B의 음파의 진동수를 나타낸 것이다.



	A	B
(가)	f_A	f_B
(나)	$\frac{8}{5}f_B$	$\frac{5}{4}f_A$

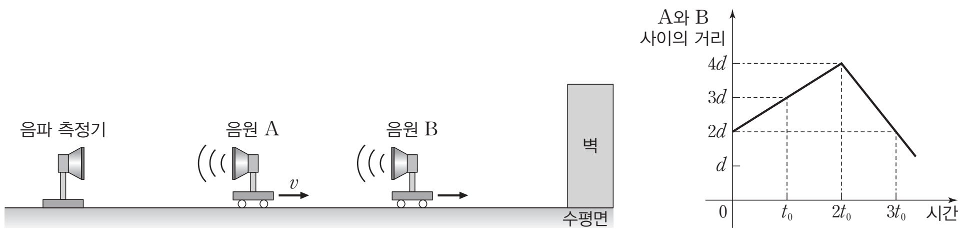
$\frac{v_B}{v_A}$는? (단, S, A, B는 동일 직선상에 있고, 음속은 일정하다.)

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

음파의 속력을 V, B의 속력을 t_0일 때 v_B, $3t_0$일 때 v_B'라 하면
$\frac{V}{V+v}f_0=\frac{10}{11}f_0$,
$\frac{V}{V+v_B}f_B=\frac{1}{2}f_0$,
$\frac{V}{V-v_B'}f_B=\frac{2}{3}f_0$이다.

[26027-0254]

06 그림 (가)와 같이 진동수가 f_0인 음파를 발생시키는 음원 A가 수평면에 정지해 있는 음파 측정기로부터 멀어지는 방향으로 v의 속력으로 등속도 운동을 한다. 진동수가 f_B인 음파를 발생시키며 등속도 운동을 하던 음원 B는 벽과 충돌한 후 벽에서 멀어지는 방향으로 등속도 운동을 한다. 그림 (나)는 A와 B 사이의 거리를 시간에 따라 나타낸 것이다. t_0일 때 음파 측정기가 측정한 A, B의 음파의 진동수는 각각 $\frac{10}{11}f_0$, $\frac{1}{2}f_0$이고, $3t_0$일 때 음파 측정기가 측정한 B의 음파의 진동수는 $\frac{2}{3}f_0$이다.



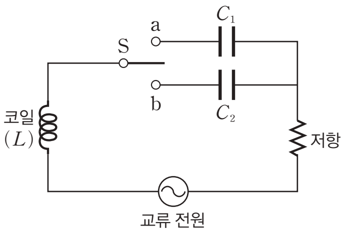
(가)　　(나)

f_B는? (단, 음파 측정기와 A, B는 동일 직선상에 있고, 음속은 일정하다.)

① $\frac{3}{5}f_0$　② $\frac{2}{3}f_0$　③ $\frac{5}{7}f_0$　④ $\frac{6}{5}f_0$　⑤ $\frac{5}{4}f_0$

[26027-0255]

07 그림과 같이 자체 유도 계수가 L인 코일, 전기 용량이 각각 C_1, C_2인 축전기, 저항을 전압의 최댓값이 일정한 교류 전원에 연결하였다. 표는 교류 전원의 진동수를 변화시키며 스위치 S를 a 또는 b에 연결할 때, 회로에 최대 전류가 흐를 때의 진동수를 나타낸 것이다.



S	진동수
a에 연결할 때	f_0
b에 연결할 때	$2f_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. S를 a에 연결할 때, 회로의 공명 진동수는 $f_0=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}}$이다.

ㄴ. $C_1=4C_2$이다.

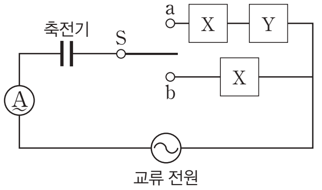
ㄷ. S를 b에 연결할 때, 저항 양단에 걸리는 전압의 최댓값은 교류 전원의 진동수가 f_0일 때와 $2f_0$일 때가 같다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

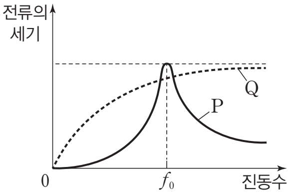
코일의 자체 유도 계수를 L, 축전기의 전기 용량을 C라고 할 때 회로의 공명 진동수는 $f=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이다.

[26027-0256]

08 그림 (가)와 같이 전압의 최댓값이 일정한 교류 전원, 전류계, 축전기, 스위치 S, 전기 소자 X, Y를 이용하여 회로를 구성하였다. X, Y는 각각 코일과 저항 중 하나이다. 그림 (나)는 S를 a, b에 각각 연결했을 때 회로에 흐르는 전류의 세기를 교류 전원의 진동수에 따라 나타낸 것이다. P, Q는 S를 단자 a, b에 연결했을 때의 결과를 순서 없이 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. S를 a에 연결했을 때의 결과는 P이다.

ㄴ. 축전기는 진동수가 큰 전류를 잘 흐르지 못하게 하는 성질이 있다.

ㄷ. X는 코일이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

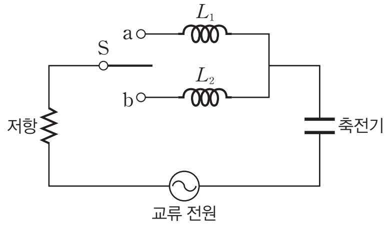
교류 전원에 저항, 코일, 축전기가 연결된 회로에서 교류 전원의 진동수와 공명 진동수가 같을 때 회로에 최대의 전류가 흐른다.

정답과 해설 53쪽

교류 전원에 저항, 코일, 축전기가 연결될 때, 자체 유도 계수가 클수록 회로의 공명 진동수는 감소한다.

[26027-0257]

09 그림과 같이 전압의 최댓값이 일정한 교류 전원, 저항, 자체 유도 계수가 각각 L_1, L_2인 코일, 축전기, 스위치 S를 연결하였다. $L_1 < L_2$이다. 표는 교류 전원의 진동수가 각각 f_1, f_2, f_3일 때, S를 각각 a 또는 b에 연결할 때 저항 양단에 걸리는 전압의 최댓값을 나타낸 것이다. f_1, f_3은 S를 a 또는 b에 연결했을 때의 회로의 공명 진동수이다.



S의 연결 위치	f_1	f_2	f_3
a	$\frac{1}{4}V_0$	$\frac{1}{2}V_0$	$\frac{3}{4}V_0$
b	V_1	$\frac{1}{2}V_0$	V_2

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

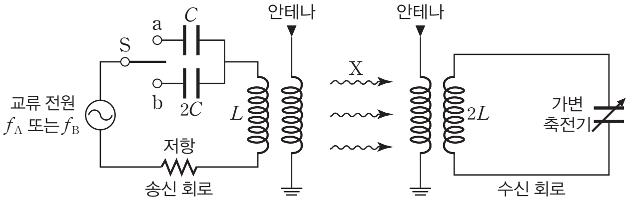
ㄱ. 회로의 공명 진동수는 S를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때보다 작다.
ㄴ. $f_1 > f_2 > f_3$이다.
ㄷ. $V_1 > V_2$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

저항에 흐르는 전류가 최대일 때는 교류 전원의 진동수와 회로의 공명(고유) 진동수가 같다.

[26027-0258]

10 그림과 같이 전압의 최댓값이 일정한 교류 전원, 스위치 S, 전기 용량이 각각 C, $2C$인 축전기, 코일, 저항에 연결된 송신 회로의 안테나에서 전자기파 X를 송신하면 수신 회로의 안테나에서 X를 수신하여 회로에 흐르는 전류가 최대가 된다. 송신 회로에서 S를 각각 a와 b에 연결할 때 저항에 흐르는 전류의 세기가 최대가 되는 교류 전원의 진동수는 각각 f_A, f_B이다. 코일의 자체 유도 계수는 송신 회로에서 L이고, 수신 회로에서 $2L$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. $f_A < f_B$이다.
ㄴ. 수신 회로에서 X를 수신할 때, 수신 회로에 교류 전류가 흐른다.
ㄷ. S를 b에 연결할 때, 수신 회로에서 가변 축전기의 전기 용량은 C이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

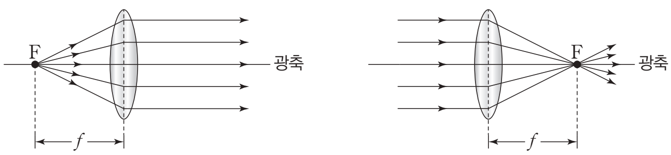
13 볼록 렌즈에 의한 상

1 볼록 렌즈에 의한 상

(1) 볼록 렌즈: 가장자리보다 가운데 부분이 더 두꺼워 입사 광선을 광축 방향으로 모으는 렌즈

① 볼록 렌즈의 초점(F)

- 초점에서 퍼져 나가는 광선은 렌즈에서 굴절된 후 광축에 나란하게 진행한다.
- 광축에 나란하게 입사한 광선은 렌즈에서 굴절된 후 초점에 모인다.



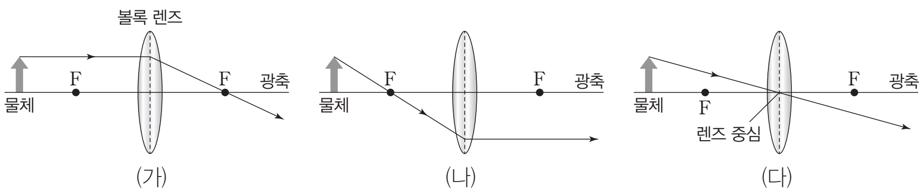
② 초점 거리(f): 렌즈의 중심에서 초점(F)까지의 거리로, 볼록 렌즈의 초점은 렌즈 양쪽에 같은 초점 거리로 하나씩 있다.

(2) 볼록 렌즈에 의한 광선의 경로(광선 추적)

① 그림 (가)와 같이 광축에 나란하게 입사한 광선은 볼록 렌즈에서 굴절한 후 초점(F)을 지난다.

② 그림 (나)와 같이 초점(F)을 지나 입사한 광선은 볼록 렌즈에서 굴절한 후 광축과 나란하게 진행한다.

③ 그림 (다)와 같이 볼록 렌즈의 중심을 지나는 광선은 볼록 렌즈에서 굴절하지 않고 그대로 직진한다.



(3) 볼록 렌즈에 의한 상의 작도법

① 실상과 허상

- 실상: 렌즈에서 굴절된 광선이 실제로 모여서 만들어진 상으로, 실상이 있는 지점에 스크린을 놓으면 상이 맺힌다.
- 허상: 렌즈에서 굴절된 광선의 연장선이 모여서 만들어진 상으로, 허상이 있는 지점에 스크린을 놓으면 아무것도 생기지 않는다.

② 정립상과 도립상

- 정립상: 상의 방향이 물체의 방향과 같은 상
- 도립상: 상의 방향이 물체의 방향과 반대인 상

③ 볼록 렌즈에 의한 상의 작도법: 볼록 렌즈에 의한 상의 위치는 렌즈에서 굴절된 광선의 경로를 추적하여 확인할 수 있다. 광선 추적에 의해 그려진 3개의 광선 중 최소 2개의 광선의 경로가 교차하는 곳에 상이 생기며, 만약 렌즈를 통과한 광선이 서로 만나지 않는 경우 굴절 광선의 뒤쪽 연장선이 교차하는 곳에 상이 생긴다.

개념 체크

➲ **실상과 허상**: 광선이 실제로 모여서 생기는 상은 실상, 광선의 연장선이 모여서 생기는 상은 허상이다.

➲ **볼록 렌즈에 의한 상의 작도**: 볼록 렌즈에서 굴절된 두 개의 광선이 만나거나 광선의 연장선이 만나는 곳에 상이 생긴다.

1. 초점을 지나 볼록 렌즈에 입사한 광선은 볼록 렌즈에서 굴절한 후 반대편 초점을 지난다. (○ , ×)

2. 렌즈에서 굴절된 광선이 실제로 모여서 만들어진 상은 (실상 , 허상)이고, 실상이 있는 지점에 스크린을 놓으면 상이 (맺힌다 , 맺히지 않는다).

3. 정립상은 상의 방향이 물체의 방향과 (같은 , 반대인) 상이다.

정답

1. ×
2. 실상, 맺힌다
3. 같은

개념 체크

➔ 볼록 렌즈에 의한 상
- 물체가 렌즈로부터 초점보다 멀리 있을 때: 거꾸로 선 실상이 생긴다.
- 물체가 렌즈로부터 초점보다 가까이 있을 때: 렌즈의 앞쪽에 물체보다 크고 바로 선 허상이 생긴다.

[1~4] 초점 거리가 f인 볼록 렌즈의 중심으로부터 거리 a만큼 떨어진 지점에 물체를 놓는다.

1. $a=f$일 때, 상이 생기지 않는다. (○ , ×)

2. $a=2f$일 때, 물체의 크기와 상의 크기는 같다. (○ , ×)

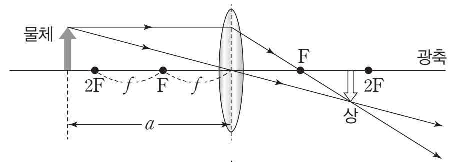
3. $a<f$일 때, 렌즈에 의한 상은 (실상, 허상)이고, 상의 크기는 물체의 크기보다 (크다, 작다).

4. 볼록 렌즈로 관찰한 물체의 상이 물체의 크기보다 큰 정립상일 때, $a<f$이다. (○ , ×)

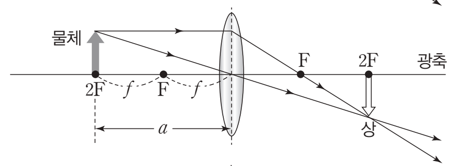
(4) 볼록 렌즈에 의한 물체의 상

① 물체와 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 클 때($a>f$): 물체의 한 점에서 퍼져 나간 광선이 렌즈를 통과한 후 다시 한 점으로 모이므로 도립 실상이 생긴다.

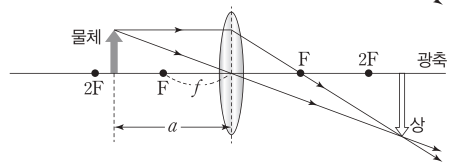
- 물체와 렌즈 사이의 거리(a)가 초점 거리(f)의 2배보다 클 때($a>2f$): 물체보다 작은 상이 생긴다.



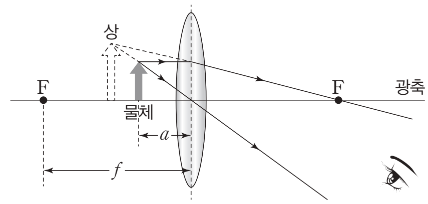
- 물체와 렌즈 사이의 거리(a)가 초점 거리(f)의 2배일 때($a=2f$): 물체와 같은 크기의 상이 생긴다.

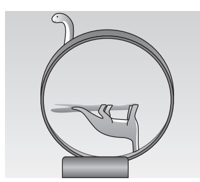


- 물체와 렌즈 사이의 거리(a)가 초점 거리(f)보다 크고, 초점 거리(f)의 2배보다 작을 때($f<a<2f$): 물체보다 큰 상이 생긴다.

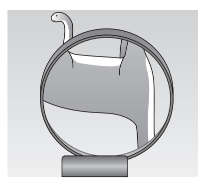


② 물체와 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 작을 때($a<f$): 렌즈를 통과한 광선이 서로 퍼져 나가므로 렌즈의 뒤쪽에는 상이 맺히지 않지만, 렌즈를 통해 눈으로 물체를 바라볼 때 굴절 광선의 뒤쪽 연장선의 교점, 즉 렌즈의 앞쪽에 물체보다 큰 정립 허상이 생긴다.

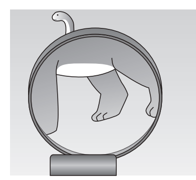




축소된 도립 실상
($a>2f$일 때)



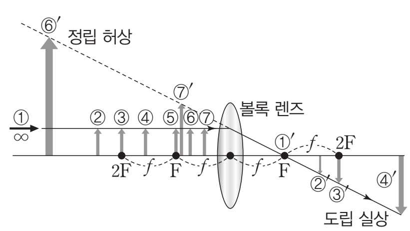
확대된 도립 실상
($f<a<2f$일 때)



확대된 정립 허상
($a<f$일 때)

과학 돋보기 **물체의 위치에 따른 볼록 렌즈에 의한 상의 위치와 모양 변화**

- 물체가 볼록 렌즈의 초점 바깥쪽에서 렌즈를 향하여 운동할 때 렌즈에 의한 상은 렌즈를 중심으로 물체 반대편 초점에서부터 점점 멀어지고 크기는 점점 커진다.
- 물체가 볼록 렌즈의 초점 안쪽에서 렌즈를 향하여 운동할 때 상은 렌즈를 중심으로 물체와 같은 방향에서 렌즈에 가까워지고 상의 크기는 점점 작아진다.



물체 위치	$a>2f$	$a=2f$	$f<a<2f$	$a=f$	$a<f$
상의 위치	$f<b<2f$	$b=2f$	$b>2f$	$b=\infty$	$b<0$
상의 모양	축소된 도립 실상	같은 크기의 도립 실상	확대된 도립 실상	상이 생기지 않음	확대된 정립 허상

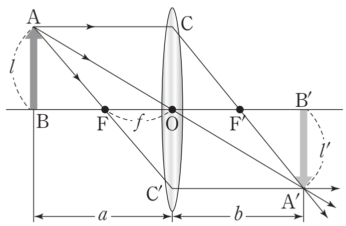
정답
1. ○
2. ○
3. 허상, 크다
4. ○

2 렌즈 방정식과 배율

(1) 렌즈 방정식: 렌즈와 물체 사이의 거리가 a, 렌즈와 상 사이의 거리가 b, 렌즈의 초점 거리가 f일 때, a, b, f 사이에는 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$$

위 방정식에서 물체가 렌즈 앞에 있을 때, a의 부호를 $(+)$으로 정하면 b의 부호는 상의 종류에 따라 정해진다. 상이 렌즈 뒤에 생기는 실상의 경우 b는 $(+)$값으로, 상이 렌즈 앞에 생기는 허상의 경우 b는 $(-)$값으로 나타난다.



(2) 배율(M): 물체의 크기와 상의 크기의 비율을 배율이라고 한다. 위 그림과 같이 상이 생길 때, $\triangle$ABO와 $\triangle$A′B′O는 닮음이므로 배율 M은 다음과 같다.

$$M=\frac{l'}{l}=\left|\frac{b}{a}\right| \quad (l: \text{물체의 크기}, \ l': \text{상의 크기})$$

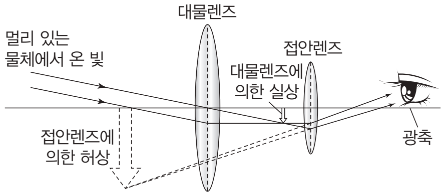
과학 돋보기 **렌즈 방정식의 유도**

위 그림에서 $\triangle$ABF와 $\triangle$C′OF는 닮음이므로, $\frac{\overline{AB}}{\overline{BF}}=\frac{\overline{C'O}}{\overline{OF}}$에서 $\frac{l}{a-f}=\frac{l'}{f}$이다. 배율의 정의 $M=\frac{l'}{l}=\left|\frac{b}{a}\right|$를 이용하여 정리하면 $af+bf=ab$이다. 따라서 양변을 abf로 나누면 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이다.

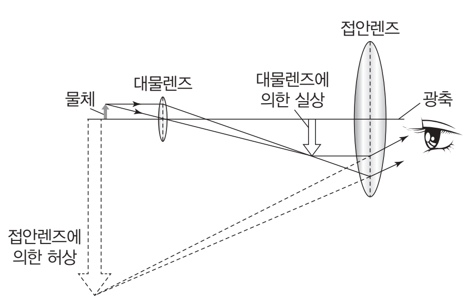
3 볼록 렌즈의 이용

(1) 굴절 망원경(케플러 망원경): 두 개의 볼록 렌즈를 사용하여 멀리 있는 물체를 관측하는 장치로, 초점 거리가 긴 대물렌즈는 물체에서 나오는 빛을 모아 실상을 만들고, 이 실상은 초점 거리가 짧은 접안렌즈에 의해 확대된 허상으로 보인다.

(2) 광학 현미경: 두 개의 볼록 렌즈를 사용하여 가까운 곳의 작은 물체를 관측하는 장치로, 대물렌즈에 의해 확대된 실상이 접안렌즈에 의해 더욱 확대된 허상으로 보인다.



굴절 망원경



광학 현미경

개념 체크

➔ **렌즈 방정식**: $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이고 볼록 렌즈에서 $f>0$이며, $b>0$일 때 실상, $b<0$일 때 허상이다.

➔ **배율**: $M=\left|\frac{b}{a}\right|$이다.

1. 초점 거리가 4 cm인 볼록 렌즈의 중심에서 2 cm만큼 떨어진 광축 위에 물체를 놓았을 때, 렌즈에 의한 상은 (실상 , 허상)이고, 렌즈의 중심에서 상까지의 거리는 (   )이다.

2. 크기가 10 cm인 물체를 볼록 렌즈의 중심에서 24 cm 떨어진 광축 위에 놓았을 때 렌즈 중심에서 상까지의 거리가 12 cm이다. 이때 상의 크기는 (   )이다.

3. 볼록 렌즈로 관찰한 상의 배율이 1일 때, 렌즈와 물체 사이의 거리는 초점 거리와 같다. (○ , ×)

정답

1. 허상, 4 cm
2. 5 cm
3. ×

13 볼록 렌즈에 의한 상

개념 체크

➔ **현미경:** 대물렌즈에 의해 접안렌즈의 초점 거리 안에 중간 상(실상)이 생기고, 접안렌즈에 의해 확대된 최종 상(허상)이 생긴다.

➔ **카메라:** 볼록 렌즈에서 굴절된 빛이 필름 또는 CCD에 도달하여 상이 맺힌다.

1. 망원경의 원리에서 물체와 대물렌즈 사이의 거리는 대물렌즈의 초점 거리보다 (크고 , 작고), 중간 상과 접안렌즈 사이의 거리는 접안렌즈의 초점 거리보다 (크다 , 작다).

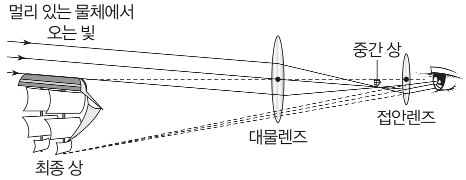
2. 카메라의 필름에는 볼록 렌즈에 의해 물체보다 축소된 상이 맺힌다. 필름에 맺힌 상은 (실상 , 허상)이고, 상의 배율은 1보다 (크다 , 작다).

정답

1. 크고, 작다
2. 실상, 작다

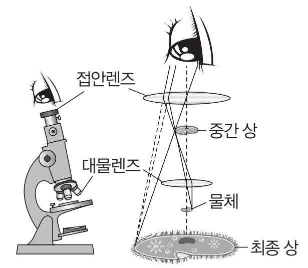
과학 돋보기 망원경과 현미경의 원리

●망원경의 원리



멀리 있는 물체로부터 온 빛은 망원경의 대물렌즈에 의하여 굴절되어 접안렌즈의 초점 안에 중간 상(도립 실상)으로 만들어지며, 이 상은 접안렌즈에 대하여 물체의 역할을 한다. 접안렌즈에 의해 확대된 최종 상이 만들어지고, 관찰자는 이 허상을 보게 되는 것이다.

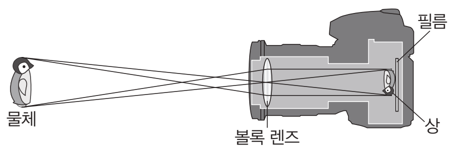
●현미경의 원리



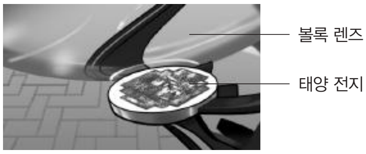
대물렌즈는 초점 바로 밖에 있는 물체의 확대된 실상을 접안렌즈의 초점 안에 형성시키는 역할을 하며, 접안렌즈는 그 상을 돋보기와 같은 원리로 확대하는 역할을 한다.

(3) 카메라: 렌즈를 통과하며 굴절된 빛이 필름(또는 CCD)에 도달하여 상이 맺힌다.

(4) 볼록 렌즈를 이용한 태양 전지: 볼록 렌즈 아래에 태양 전지를 설치하면, 렌즈가 빛을 모아 태양 전지에 보내게 되어 같은 면적의 태양 전지로 기존보다 더 많은 전기 에너지를 생산할 수 있다.



카메라



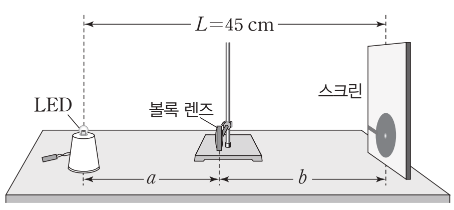
볼록 렌즈를 이용한 태양 전지

탐구자료 살펴보기 볼록 렌즈에 의한 상과 배율

과정

(1) 그림과 같이 LED, 볼록 렌즈, 스크린을 일직선상에 놓는다. LED와 스크린 사이의 거리는 L, 렌즈와 LED 사이의 거리는 a, 렌즈와 스크린 사이의 거리는 b이다.

(2) 렌즈를 LED와 스크린 사이에서 움직여 스크린에 선명한 상이 맺혔을 때 a, b를 측정하여 배율을 구한다.



결과

실험	L	a	b	배율
Ⅰ	45 cm	30 cm	15 cm	$\frac{1}{2}$
Ⅱ	45 cm	15 cm	30 cm	2

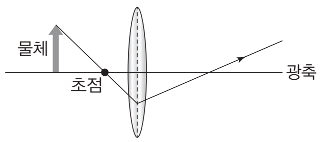
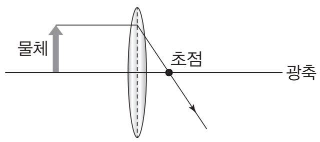
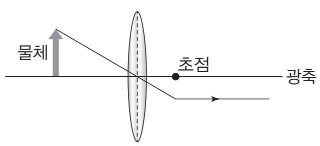
point

• 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$($f$: 볼록 렌즈의 초점 거리)이 성립하므로, 렌즈와 LED 사이의 거리를 a에서 b로 변화시키면 렌즈와 상 사이의 거리는 b에서 a로 변한다.

• Ⅰ, Ⅱ에서 배율을 각각 M_1, M_2라고 하면, $M_1M_2=1$이다.

[26027-0259]

01 (가)~(다)는 볼록 렌즈의 광축 위에 물체를 놓았을 때 물체에서 나온 빛이 진행하는 경로를 나타낸 것이다.

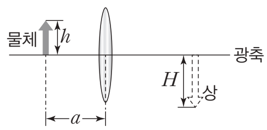
(가)	물체에서 나온 빛이 초점과 렌즈를 지나는 경우	
(나)	물체에서 나온 빛이 광축과 나란하게 진행하여 렌즈를 지나는 경우	
(다)	물체에서 나온 빛이 렌즈의 중심을 지나는 경우	

나타낸 빛의 진행 경로가 적절한 것만을 있는 대로 고른 것은?

① (가) ② (나) ③ (가), (다)
④ (나), (다) ⑤ (가), (나), (다)

[26027-0260]

02 그림과 같이 초점 거리가 f인 볼록 렌즈로부터 a만큼 떨어진 지점에 크기가 h인 물체를 놓았더니 크기가 H인 상이 생겼다. $h<H$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

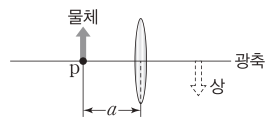
보기

ㄱ. 상은 실상이다.
ㄴ. $a<f$이다.
ㄷ. 상의 배율은 $\frac{H}{h}$이다.

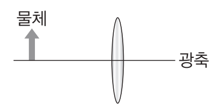
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0261]

03 그림 (가)는 볼록 렌즈로부터 a만큼 떨어진 지점 p에 물체를 놓았더니, 물체와 크기가 같은 상이 생긴 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 물체를 이동시켜 광축 위의 한 지점에 놓은 모습을 나타낸 것으로, (나)에서는 상의 배율이 $\frac{1}{3}$인 실상이 생긴다.



(가)



(나)

(나)에서 렌즈로부터 상까지의 거리는?

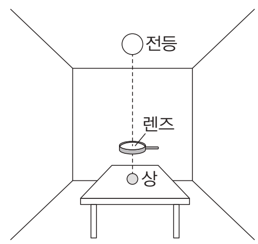
① $\frac{1}{3}a$ ② $\frac{1}{2}a$ ③ $\frac{2}{3}a$ ④ $\frac{3}{4}a$ ⑤ $\frac{4}{5}a$

[26027-0262]

04 다음은 볼록 렌즈의 초점 거리를 구하는 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 전등 아래에 책상을 놓고 전등과 책상 사이의 거리를 측정한다.



(나) 전등과 책상 사이에서 볼록 렌즈와 책상 사이의 거리를 조절하며 책상에 전등의 선명한 상이 생길 때 책상과 렌즈 사이의 거리를 측정한다.

(다) 볼록 렌즈의 초점 거리를 구한다.

[실험 결과]

(가)	전등과 책상 사이의 거리	144 cm
(나)	책상과 렌즈 사이의 거리	24 cm
(다)	볼록 렌즈의 초점 거리	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

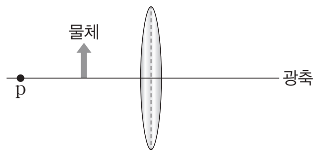
보기

ㄱ. (나)에서 상은 실상이다.
ㄴ. (나)에서 상의 배율은 $\frac{1}{6}$이다.
ㄷ. ㉠은 20 cm이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0263]

05 그림과 같이 볼록 렌즈 앞에 물체를 놓았더니 광축 위의 점 p에 상이 생겼다. 상의 크기는 물체의 크기의 2배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

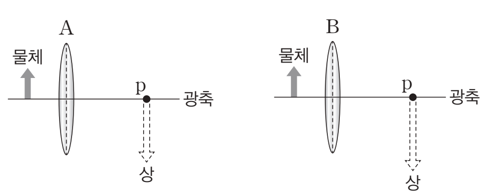
보기

ㄱ. p에 스크린을 설치하면 스크린에 물체의 상이 맺힌다.
ㄴ. 렌즈의 초점 거리는 렌즈와 p 사이의 거리보다 작다.
ㄷ. 물체를 렌즈 쪽으로 이동시키면 상의 크기가 작아진다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0264]

06 그림과 같이 초점 거리가 각각 f_1, f_2인 볼록 렌즈 A, B 앞에 같은 크기의 물체를 각각 놓았더니 점 p에 각각 상이 생겼다. A, B로부터 p까지의 거리는 같고, 상의 크기는 B에 의한 상이 A에 의한 상보다 크다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

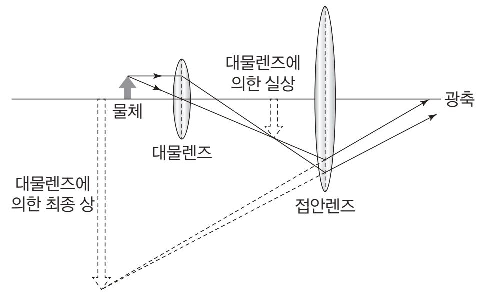
ㄱ. A로부터 물체까지의 거리는 f_1보다 크다.
ㄴ. A와 물체 사이의 거리는 B와 물체 사이의 거리보다 크다.
ㄷ. $f_1 < f_2$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0265]

07 다음은 광학 현미경의 원리에 대한 설명이다.

광학 현미경에서는 대물렌즈에 의해 확대된 물체의 실상이 접안렌즈에 의해 더 확대된 ㉠최종 상으로 보인다. ㉡대물렌즈에 의한 상의 배율과 ㉢접안렌즈에 의한 상의 배율을 통해 최종 상의 크기를 구할 수 있다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

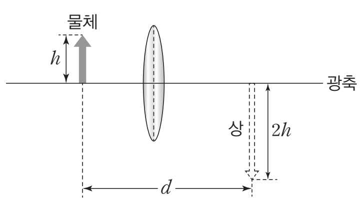
보기

ㄱ. 대물렌즈로부터 물체까지의 거리는 대물렌즈의 초점 거리보다 크다.
ㄴ. ㉠은 허상이다.
ㄷ. $\dfrac{\text{최종 상의 크기}}{\text{물체의 크기}}$=㉡×㉢이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0266]

08 그림과 같이 초점 거리가 f인 볼록 렌즈 앞에 크기가 h인 물체를 놓았더니 크기가 $2h$인 실상이 생겼다. 물체와 상 사이의 거리는 d이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

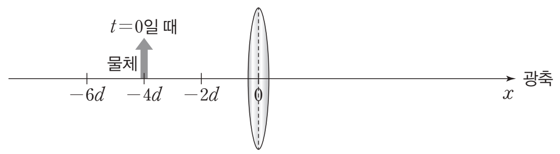
ㄱ. 상의 배율은 2이다.
ㄴ. 렌즈와 상 사이의 거리는 $\frac{2}{3}d$이다.
ㄷ. 물체와 렌즈 사이의 거리는 $\frac{3}{2}f$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답과 해설 57쪽 ▶

[26027-0267]

01 그림은 x축상의 $x=0$인 지점에 볼록 렌즈를 고정하고 광축인 x축을 따라 물체를 $\frac{d}{t_0}$의 속력으로 등속도 운동시켜 시간 $t=0$인 순간 물체가 $x=-4d$인 지점을 지나는 모습을 나타낸 것이다. 물체가 운동하는 동안 상의 크기는 작아지고 $t=2t_0$일 때 상의 크기는 물체의 크기와 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 물체의 운동 방향은 $+x$방향이다.

ㄴ. 렌즈의 초점 거리는 $3d$이다.

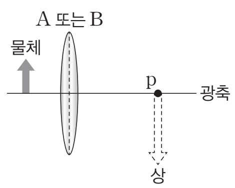
ㄷ. $t=0$부터 $t=2t_0$까지 상의 평균 속력은 $\frac{3d}{t_0}$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

렌즈와 물체 사이의 거리가 볼록 렌즈의 초점 거리의 2배일 때 물체와 상의 크기가 같다.

[26027-0268]

02 그림과 같이 초점 거리가 다른 볼록 렌즈 A, B 앞에 각각 동일한 물체를 서로 다른 위치에 놓았더니, 각각 점 p에 실상이 생겼다. A와 p 사이의 거리, B와 p 사이의 거리는 같다. 표는 A, B의 초점 거리, 상의 배율을 나타낸 것이다.



볼록 렌즈	초점 거리	상의 배율
A	f_0	4
B	$\frac{3}{4}f_0$	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. A와 물체 사이의 거리가 B와 물체 사이의 거리보다 작다.

ㄴ. A와 p 사이의 거리는 $5f_0$이다.

ㄷ. ㉠은 $\frac{17}{3}$이다.

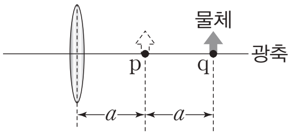
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

A, B와 상까지의 거리가 서로 같고, 초점 거리는 B가 A보다 작으므로 렌즈 방정식에 의해 물체와 렌즈 사이의 거리는 B가 A보다 작다.

물체의 상이 실상인 경우 볼록 렌즈와 물체 사이의 거리가 클수록 상의 크기가 작다.

[26027-0269]

03 그림과 같이 볼록 렌즈로부터 a만큼 떨어진 지점 p에 놓여 있던 물체를 광축을 따라 a만큼 이동시켜 지점 q에 놓았다. 상의 크기는 물체가 q에 있을 때가 p에 있을 때의 2배이고, 물체가 q에 있을 때 상은 실상이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 물체가 p에 있을 때 상은 실상이다.

ㄴ. 렌즈의 초점 거리는 $\frac{5}{3}a$이다.

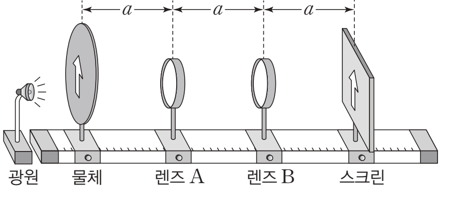
ㄷ. 물체가 p에 있을 때 p와 q 사이에 물체의 상이 생긴다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

A에 의해 생긴 물체의 상은 B에 의해 스크린에 실상으로 나타난다. A에 의해 생긴 물체의 상과 A 사이의 거리를 b라 할 때, $\frac{b}{a}\times\frac{a}{a-b}=\frac{2}{3}$이다.

[26027-0270]

04 그림과 같이 광원을 놓고 광학대 위에 화살표 모양의 구멍이 뚫린 물체, 초점 거리가 각각 f_A, f_B인 볼록 렌즈 A, B, 스크린을 각각 간격 a만큼 떨어뜨려 놓았더니 스크린에 선명한 정립상이 생겼다. 상의 크기는 물체의 크기의 $\frac{2}{3}$배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. A에 의한 상은 실상이다.

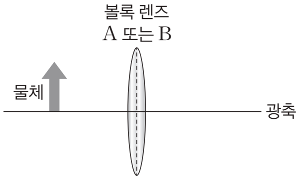
ㄴ. A에 의한 상의 배율은 $\frac{3}{5}$이다.

ㄷ. $\frac{f_A}{f_B}=\frac{16}{21}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0271]

05 그림과 같이 볼록 렌즈 A 또는 B로부터 같은 거리만큼 떨어진 지점에 물체를 놓았더니 각각 실상이 생겼다. 표는 A, B의 초점 거리, A, B와 상 사이의 거리, A, B에 의한 상의 크기를 나타낸 것이다.



렌즈	초점 거리	렌즈와 상 사이의 거리	상의 크기
A	f_0	b	h_0
B	$\frac{3}{2}f_0$	㉠	$2h_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

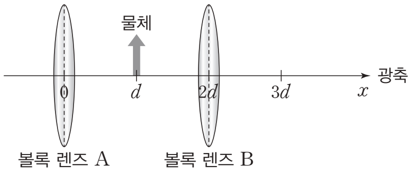
ㄱ. ㉠은 $2b$이다.
ㄴ. $f_0=\frac{2}{3}b$이다.
ㄷ. B와 물체 사이의 거리가 $2b$일 때, B에 의한 상의 크기는 물체의 크기와 같다.

① ㄱ　② ㄷ　③ ㄱ, ㄴ　④ ㄴ, ㄷ　⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

A, B와 물체 사이의 거리가 같으므로 렌즈와 상 사이의 거리의 비와 상의 크기의 비가 같다.

[26027-0272]

06 그림과 같이 초점 거리가 다른 볼록 렌즈 A, B의 중심을 각각 광축인 x축상의 $x=0$, $x=2d$인 지점에 고정시키고, A와 B 사이에 물체를 놓았다. 표는 광축을 따라 물체를 움직일 때, 물체의 위치에 따른 A, B에 의한 상의 종류를 나타낸 것이다.



물체의 위치	A에 의한 상의 종류	B에 의한 상의 종류
$x=d$	없음	실상
$x=\frac{3}{2}d$	㉠	허상

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 초점 거리는 A가 B보다 작다.
ㄴ. ㉠은 '실상'이다.
ㄷ. 물체의 위치가 $x=d$일 때, B에 의한 상은 $x>3d$인 지점에서만 생긴다.

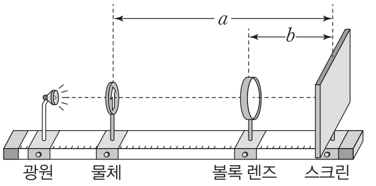
① ㄱ　② ㄴ　③ ㄱ, ㄷ　④ ㄴ, ㄷ　⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

물체가 볼록 렌즈의 초점에 있을 때 렌즈에 의한 물체의 상은 생기지 않는다. 따라서 A의 초점 거리는 d이다.

렌즈의 초점 거리를 f라 할 때, $\frac{1}{a-b}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이다.

[26027-0273]

07 그림은 광학대에 스크린을 고정하고 물체와 볼록 렌즈를 이동시키며 스크린에 선명한 상이 생길 때 물체와 스크린 사이의 거리 a, 렌즈와 스크린 사이의 거리 b를 측정하는 모습을 나타낸 것이다. $a=\frac{8}{3}d_0$일 때 스크린에 생긴 상의 크기와 물체의 크기는 같다. $a=3d_0$일 때, 스크린에 생긴 상의 크기는 $b=b_2$일 때가 $b=b_1$일 때보다 크다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 초점 거리는 $\frac{2}{3}d_0$이다.

ㄴ. $b_1=d_0$이다.

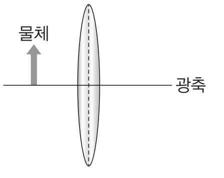
ㄷ. 상의 크기는 $b=b_2$일 때가 $b=b_1$일 때의 4배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

렌즈를 중심으로 물체와 상이 같은 편에 있으면 허상, 반대 편에 있으면 실상이다.

[26027-0274]

08 그림은 볼록 렌즈 앞에 물체를 놓은 모습을 나타낸 것이고, 표는 실험 Ⅰ, Ⅱ에서 물체와 렌즈 사이의 거리, 물체와 상 사이의 거리, 상의 종류를 나타낸 것이다.



실험	물체와 렌즈 사이의 거리	물체와 상 사이의 거리	상의 종류
Ⅰ	d	$3d$	실상
Ⅱ	㉠	$\frac{d}{3}$	허상

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 렌즈의 초점 거리는 $\frac{2}{3}d$이다.

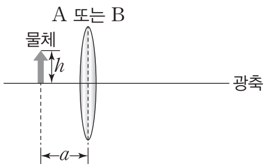
ㄴ. ㉠은 $\frac{2}{3}d$보다 크다.

ㄷ. 상의 크기는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0275]

09 그림과 같이 크기가 h인 물체로부터 거리 a만큼 떨어진 지점에 볼록 렌즈 A 또는 B를 놓았다. 표는 렌즈의 초점 거리, 물체와 상 사이의 거리, 상의 크기를 나타낸 것이다. A에 의한 상과 B에 의한 상의 종류는 서로 다르고, ㉡ > $3h$이다.



렌즈	초점 거리	물체와 상 사이의 거리	상의 크기
A	f_A	㉠	$3h$
B	f_B	$3a$	㉡

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

〈보기〉

ㄱ. ㉠은 $4a$이다.
ㄴ. ㉡은 $4h$이다.
ㄷ. $\frac{f_B}{f_A}=\frac{16}{9}$이다.

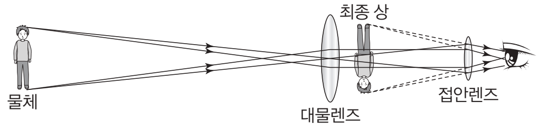
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

물체의 크기를 h, 물체와 렌즈 사이의 거리를 a, 렌즈와 상 사이의 거리를 b라 할 때 상의 크기는 $\frac{b}{a}h$이다.

[26027-0276]

10 다음은 2개의 볼록 렌즈로 만든 굴절 망원경에 대한 설명이다.

굴절 망원경은 대물렌즈에 의해 ㉠대물렌즈의 초점 부근에 생긴 물체의 상을 접안렌즈로 확대하여 보는 장치이다. 접안렌즈에 의해 생기는 최종 상은 도립상이며 상의 종류는 $\boxed{\text{A}}$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

〈보기〉

ㄱ. ㉠은 허상이다.
ㄴ. 접안렌즈의 초점 거리는 접안렌즈로부터 ㉠까지의 거리보다 크다.
ㄷ. A는 '실상'이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

굴절 망원경은 대물렌즈에 의해 맺힌 멀리 있는 물체의 실상을 접안렌즈로 확대하여 보는 장치이다.

14 빛과 물질의 이중성

개념 체크

➲ **광전 효과:** 금속 표면에 빛을 비추었을 때 전자가 방출되는 현상을 광전 효과라고 한다.

➲ **광전자와 광전류:** 광전관의 금속판에 빛을 비추면 금속판에서 전자가 튀어나와 회로에 전류가 흐른다. 금속판에서 튀어나온 전자를 광전자라 하고, 회로에 흐르는 전류를 광전류라고 한다.

1. 광전 효과란 금속 표면에 빛을 비추었을 때 (　　) 가 방출되는 현상이다.

2. 광전 효과 실험에서 정지 전압은 광전류가 (최대 , 0)가/이 되는 순간의 전압이다.

3. 광전 효과 실험에서 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 클수록 정지 전압이 (크다 , 작다).

정답
1. 전자
2. 0
3. 크다

1 광전 효과

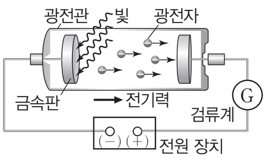
(1) 광전 효과

① 1887년 헤르츠는 전자기파 검출 실험에서 방전 전극에 자외선을 비추면 방전이 잘 일어나는 것을 발견하였고, 음극선의 본질이 전자의 흐름이라는 것을 밝힌 톰슨(J. J. Thomson)은 빛에 의하여 금속 표면에서 튀어나오는 입자가 전자라는 것을 입증하였다.

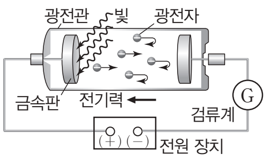
② 빛에 의해 금속 표면에서 전자가 방출되는 현상을 광전 효과라 하고, 방출된 전자를 광전자라고 한다.

(2) 광전 효과 실험

① 그림과 같이 광전관에서 빛을 비추는 금속판에 전원의 (−)극을 연결하여 순방향 전압을 걸어 주면 광전자는 오른쪽으로 전기력을 받고, 빛을 비추는 금속판에 전원의 (+)극을 연결하여 역방향 전압을 걸어 주면 광전자는 왼쪽으로 전기력을 받는다.



순방향 전압



역방향 전압

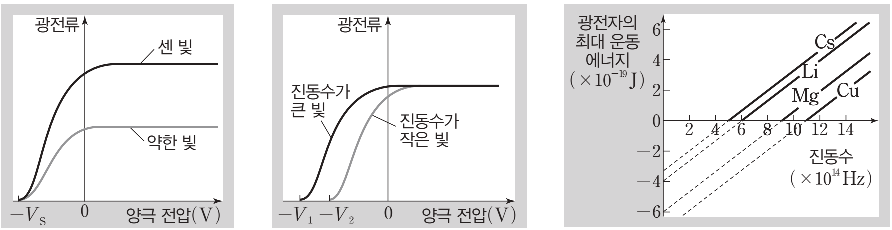
② 광전류와 광전자

- 광전관의 금속판에 빛을 비추면 금속판에서 전자가 튀어나와 회로에 전류가 흐르게 된다. 이 전류를 광전류라 하고, 빛에 의해 금속판에서 튀어나온 전자를 광전자라고 한다.
- 순방향 전압을 걸어 주고 금속판에 특정 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비추면 광전자가 튀어나와 회로에 전류가 흐른다. 이때 전압을 증가시켜도 전류의 세기는 거의 변하지 않는다. 그러나 역방향 전압을 걸어 주고 전압을 증가시키면 반대편 금속판에 도달하는 광전자의 수가 줄어들게 되어 광전류의 세기는 감소한다.

③ 광전자의 최대 운동 에너지(E_k)와 정지 전압(V_s): 광전관에 역방향 전압을 걸고 역방향 전압을 서서히 증가시킬 때 광전자가 반대편 금속판에 도달하지 못해 광전류가 0이 되는 순간의 전압을 정지 전압(V_s)이라고 하며, 정지 전압은 광전자의 최대 운동 에너지(E_k)에 비례한다.

➡ $E_k = eV_s$ (e: 기본 전하량)

(3) 광전 효과 실험 결과



① 광전자는 특정한 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비출 때 방출된다. 이 특정한 진동수를 문턱(한계) 진동수라고 하며, 문턱(한계) 진동수는 금속의 종류에 따라 다르다.

② 문턱(한계) 진동수보다 작은 진동수의 빛은 아무리 센 빛을 비춰도 광전류가 흐르지 않는다. 그러나 문턱(한계) 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비추는 즉시 광전자가 방출되고, 빛의 세기가 증가할수록 광전류의 세기는 증가한다.

③ 금속 표면에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지(E_k)는 비춰진 빛의 세기에는 관계없고, 비춰진 빛의 진동수에 따라 변한다.

④ 비춰진 빛의 진동수와 광전자의 최대 운동 에너지(E_k)의 관계 그래프의 기울기는 플랑크 상수 h로 금속의 종류에 관계없이 일정하다.

(4) 빛의 파동 이론의 한계

① 파동 이론에 의하면 빛의 진동수가 아무리 작아도 빛의 세기를 증가시키거나 오래 비추면 금속 내의 전자는 충분한 에너지를 얻기 때문에 금속 표면으로부터 방출되어야 한다. 그러나 문턱(한계) 진동수보다 작은 진동수의 빛을 아무리 세게, 오래 비추어도 광전자는 방출되지 않고, 문턱(한계) 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비추면 시간 지연 없이 광전자는 즉시 방출된다.

② 파동 이론에 의하면 광전자의 최대 운동 에너지(E_k)는 빛의 세기와 관계가 있어야 한다. 그러나 광전자의 최대 운동 에너지(E_k)는 빛의 진동수에만 관계가 있다.

2 아인슈타인의 광양자설

(1) 광양자설

① 1905년 아인슈타인은 플랑크가 제안한 양자설을 이용하여 '빛은 연속적인 파동 에너지의 흐름이 아니라 광자(광양자)라고 부르는 불연속적인 에너지를 가진 입자의 흐름이다.'라는 광양자설로 광전 효과를 설명하였다.

② 광양자설에 의하면 진동수 f(파장 λ)인 광자 1개의 에너지 E는 다음과 같다.

$$E=hf=\frac{hc}{\lambda} \text{ (플랑크 상수 } h=6.63\times10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s, 빛의 속력 } c\fallingdotseq3\times10^{8}\ \text{m/s)}$$

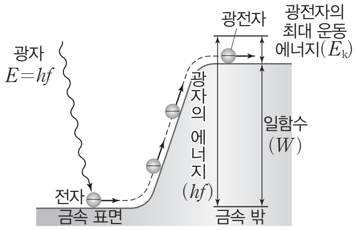
(2) 광양자설에 의한 광전 효과 해석

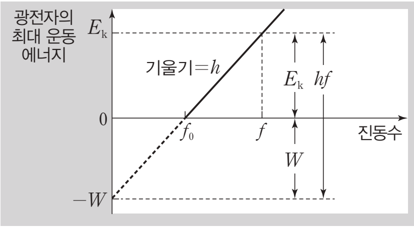
① **문턱(한계) 진동수와 일함수:** 진동수가 f인 빛을 금속 표면에 비추면 광자가 금속 표면의 전자와 충돌하여 광자의 에너지 전부를 전자에 주어 금속 표면의 전자를 외부로 떼어낸다. 이때 금속 표면의 전자를 외부로 떼어내는 데 필요한 최소한의 에너지를 일함수(W)라 하고, 일함수와 같은 에너지를 가진 광자의 진동수를 문턱(한계) 진동수(f_0)라고 한다.

② **광전자의 최대 운동 에너지와 빛의 진동수:** 문턱(한계) 진동수가 f_0인 금속 표면에 진동수가 f인 빛을 비출 때 방출되는 광전자가 가지는 최대 운동 에너지(E_k)는 다음과 같다.

$$E_k=hf-W=h(f-f_0)=h\left(\frac{c}{\lambda}-\frac{c}{\lambda_0}\right)$$

(λ: 진동수가 f인 빛의 파장, λ_0: 진동수가 f_0인 빛의 파장)





개념 체크

➲ **광자(광양자):** 빛을 연속적인 파동의 흐름이 아니라 불연속적인 에너지 입자의 흐름으로 해석할 수 있는데, 이때 이 입자를 광자라고 한다.

➲ **일함수:** 금속 표면에서 전자를 방출시키는 데 필요한 최소한의 에너지이다.

1. 금속의 (　　)보다 큰 진동수의 빛을 비출 때 광전자가 방출된다.

2. 광전 효과가 일어날 때, 방출되는 광전자의 수는 빛의 세기와 관계 없다. (○, ×)

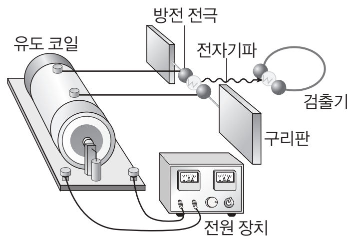
3. 금속판에 진동수가 $2f_0$인 단색광을 비추었을 때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지가 hf_0이라면, 금속판의 문턱 진동수는 (　　)이다.

4. 진동수가 같은 단색광을 금속판 A, B에 각각 비추었더니 광전 효과가 일어났다. A의 일함수가 B의 일함수보다 클 때, A에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 B에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지보다 (크다 , 작다).

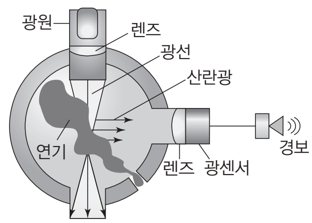
정답

1. 문턱(한계) 진동수
2. ×
3. f_0
4. 작다

과학 돋보기 **광전 효과의 발견과 이용**



헤르츠는 전자기파 검출 실험을 하는 중에 우연히 유도 코일에 연결된 방전 전극에 자외선을 쪼이면 방전 현상이 훨씬 잘 일어난다는 것을 발견하였다. 후에 이 현상이 광전 효과에 의해 나타난다는 것을 알았다.



광전 효과를 이용한 화재 경보기를 나타낸 것으로, 평소에는 광원에서 방출된 빛이 직진하여 광센서에 도달하지 못하지만, 화재가 발생하면 광원에서 방출된 빛이 연기에 의해 산란되어 광센서에 도달하여 경보가 울린다.

3 물질파

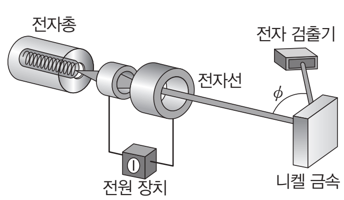
(1) 드브로이 물질파

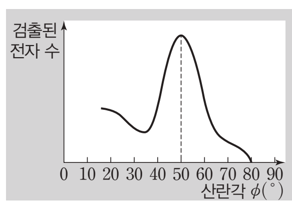
① 1924년 드브로이는 파장 λ인 광자의 운동량이 $p=\frac{h}{\lambda}$인 것처럼, 속력 v로 움직이는 질량 m인 입자의 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{mv}$($h$: 플랑크 상수)를 만족한다고 제안하였다.

② 물질인 입자가 파동성을 가질 때 이 파동을 물질파 또는 드브로이파라 하고, 이때 파장을 드브로이 파장이라고 한다.

(2) 물질파의 확인

① 데이비슨 · 거머 실험: 데이비슨과 거머는 니켈 결정에 느리게 움직이는 전자를 입사시킨 후 입사한 전자선과 튀어나온 전자가 이루는 각에 따른 회절된 전자 수의 분포를 알아보기 위해 검출기의 각 ϕ를 변화시키면서 각에 따라 검출되는 전자의 수를 측정하였다.

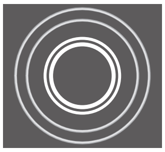


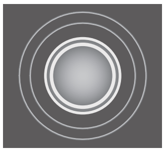


실험 결과: 54 V의 전위차로 전자를 가속한 경우 입사한 전자선과 50°의 각을 이루는 곳에서 튀어나오는 전자의 수가 가장 많았다. 이는 파동인 X선을 사용할 때와 동일한 결과이다.

- 실험 결과에 대한 해석: 실험 결과와 같은 각도에서 보강 간섭이 일어나는 X선의 파장과 드브로이 물질파 이론을 적용하여 구한 전자의 파장이 일치한다는 사실로 드브로이의 물질파 이론을 입증하였다.

② 톰슨의 전자 회절 실험: 톰슨(George Paget Thomson)은 X선과 동일한 드브로이 파장을 갖는 전자선을 얇은 금속박에 입사시킬 때 X선에 의한 회절 모양과 전자선에 의한 회절 모양이 같다는 것을 보여주어 전자의 물질파 이론을 입증하였다. 이때 전자의 속력을 빠르게 조절하면 물질파 파장이 짧아져 전자선에 의한 회절 무늬의 간격이 좁아진다.


X선의 회절 무늬


전자선의 회절 무늬

개념 체크

➲ **물질파(드브로이파)**: 물질 입자가 파동의 성질을 나타낼 때, 이 파동을 물질파 또는 드브로이파라고 한다.

➲ **데이비슨·거머 실험**: 니켈 결정면에 전자선을 입사시켜 전자선의 회절을 발견하여 전자의 파동성을 입증하였다.

➲ **톰슨의 전자 회절 실험**: X선의 회절 무늬와 전자선의 회절 무늬를 비교하여 전자의 파동성을 입증하였다.

1. 입자의 물질파 파장은 입자의 질량에 (비례 , 반비례)한다.

2. 입자 A, B의 질량이 같고 운동량의 크기는 A가 B보다 클 때, 운동 에너지는 A가 B보다 (크고 , 작고), 입자의 물질파 파장은 A가 B보다 (길다 , 짧다).

3. 데이비슨과 거머의 실험을 통해 드브로이의 물질파 이론이 입증되었다. (○ , ×)

4. 톰슨의 전자 회절 실험에서 전자의 속력이 클수록 전자의 물질파 파장이 (길어 , 짧아) 전자선에 의한 회절 무늬의 간격이 (크다 , 작다).

정답

1. 반비례
2. 크고, 짧다
3. ○
4. 짧아, 작다

4 보어 원자 모형과 물질파

(1) 보어 원자 모형: 러더퍼드 원자 모형에서 원자의 안정성 문제, 선 스펙트럼 문제 등의 한계점을 해결하기 위해 두 가지 가설을 적용하여 새로운 원자 모형을 제시하였다.

① 제1가설(양자 조건): 원자 속의 전자는 특정한 조건을 만족하는 원 궤도를 회전할 때 전자기파를 방출하지 않고 안정된 궤도 운동을 계속한다. 전자의 질량을 m, 전자의 속력을 v, 전자가 회전하는 원 궤도의 반지름을 r라고 하면 양자 조건은 다음과 같다.

$$2\pi rmv = nh\ (n=1,\ 2,\ 3,\ \cdots\text{: 양자수, } h\text{: 플랑크 상수})$$

② 제2가설(진동수 조건): 전자가 양자 조건을 만족하는 원 궤도 사이에서 전이할 때는 두 궤도의 에너지 차에 해당하는 에너지($E_n - E_m = hf$)를 갖는 전자기파를 방출하거나 흡수한다.

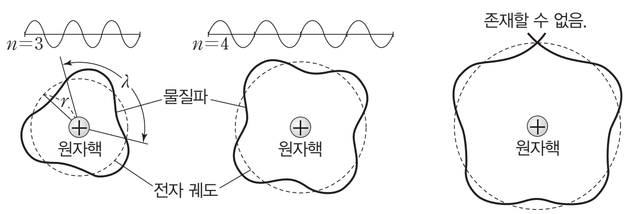
(2) 보어 원자 모형에 드브로이 물질파 이론의 적용

① 보어의 제1가설을 드브로이 파장으로 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$2\pi r = n\frac{h}{mv} = n\lambda\ (n=1,\ 2,\ 3,\ \cdots)$$

② 전자가 운동하는 원 궤도의 둘레가 드브로이 파장의 정수배가 되는 파동을 이룰 때만 안정한 궤도를 이루며, 이때 전자는 에너지를 방출하지 않고 정상 상태를 유지한다.

③ 전자가 운동하는 원 궤도의 둘레가 전자의 물질파 파장의 정수배와 일치하지 않는 경우에는 전자가 정상 상태를 유지하지 못하므로 전자의 궤도는 존재할 수 없다.



$2\pi r_3 = 3\lambda$일 때 $\quad 2\pi r_4 = 4\lambda$일 때 $\quad 2\pi r = 4.5\lambda$일 때

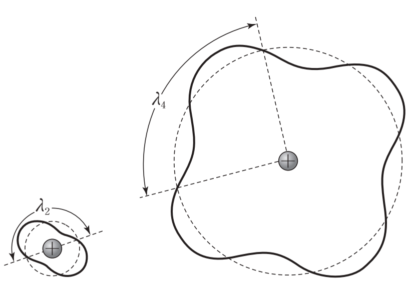
④ 보어는 양자 가설을 수소 원자에 적용하여 양자수 n인 전자의 원운동 궤도의 반지름을 이론적으로 유도하여 다음과 같은 관계를 얻었다.

$$r_n = a_0 n^2\ (a_0\text{: 보어 반지름, } a_0 = 0.53\times10^{-10}\ \text{m} = 0.53\ \text{Å})$$

과학 돋보기 **보어 원자 모형과 전자의 물질파 파장**

양자수가 n일 때 전자의 원운동 궤도의 반지름을 r_n, 물질파 파장을 λ_n이라고 하면 $2\pi r_n = n\lambda_n$이고, $r_n = a_0 n^2$을 대입하면 $\lambda_n = 2\pi a_0 n$이다. 그림은 $n=2$, $n=4$일 때 전자의 원 궤도(점선)와 물질파(실선)를 나타낸 것이다.

- $n=2$일 때 원 궤도의 둘레는 물질파 파장의 2배이고, $n=4$일 때 원 궤도의 둘레는 물질파 파장의 4배이다.
- 원 궤도의 둘레는 $n=4$일 때가 $n=2$일 때의 4배이고, 물질파 파장은 $n=4$일 때가 $n=2$일 때의 2배이다.



$n=2 \qquad n=4$

개념 체크

➲ **양자 조건:** 원자 속의 전자는 특정한 조건을 만족하는 원 궤도를 회전할 때, 전자기파를 방출하지 않고 안정된 운동을 한다.

$2\pi rmv = nh$

➲ **보어 원자 모형과 물질파 이론:** 전자의 원 궤도의 둘레는 전자의 물질파 파장의 정수배이다.

$2\pi r = n\lambda$

1. 보어의 원자 모형에서 전자가 양자 조건을 만족하는 특정한 원 궤도를 회전할 때 전자기파를 방출하지 않는다. (○ , ×)

2. 보어의 원자 모형에서 양자수가 3인 상태에서 전자의 물질파 파장이 λ일 때, 전자의 원 궤도의 둘레는 (　　)이다.

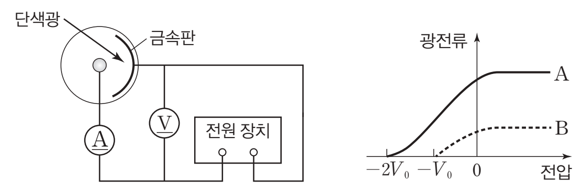
3. 보어는 양자 가설을 수소 원자에 적용하여 전자의 원운동 궤도의 반지름이 양자수의 제곱에 (비례 , 반비례)하는 관계식을 얻었다.

정답

1. ○
2. 3λ
3. 비례

[26027-0277]

01 그림 (가)는 광전 효과 실험 장치를 나타낸 것이고, (나)는 (가)의 금속판에 단색광 A, B를 각각 비추어 금속판에서 광전자가 방출될 때 광전류를 전압에 따라 나타낸 것이다. A, B를 비추었을 때 정지 전압은 각각 $-2V_0$, $-V_0$이다.

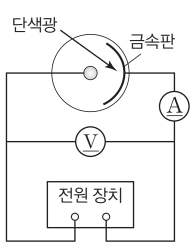


A, B의 진동수를 각각 f_A, f_B라 할 때, f_A-f_B는? (단, 기본 전하량은 e이고, 플랑크 상수는 h이다.)

① $\dfrac{eV_0}{2h}$　② $\dfrac{2eV_0}{3h}$　③ $\dfrac{eV_0}{h}$　④ $\dfrac{3eV_0}{2h}$　⑤ $\dfrac{2eV_0}{h}$

[26027-0278]

02 그림은 금속판에 단색광을 비추고 전원 장치의 전압을 조절하여 정지 전압과 광전류의 최댓값을 측정하는 광전 효과 실험 장치를 나타낸 것이다. 표는 금속판에 단색광 A, B, C를 각각 비추었을 때, 정지 전압과 광전류의 최댓값을 나타낸 것이다.



단색광	정지 전압	광전류의 최댓값
A	$2V_0$	I_0
B	V_0	$2I_0$
C	V_0	$1.5I_0$

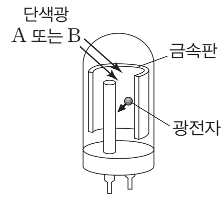
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

〈보기〉
ㄱ. 광자 1개의 에너지는 A와 B가 같다.
ㄴ. 단색광의 세기는 C가 B보다 크다.
ㄷ. 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 A를 비출 때가 C를 비출 때의 2배이다.

① ㄴ　② ㄷ　③ ㄱ, ㄴ　④ ㄱ, ㄷ　⑤ ㄴ, ㄷ

[26027-0279]

03 그림은 광전관의 금속판에 단색광 A 또는 B를 비추었더니 광전자가 방출되는 모습을 나타낸 것이다. A, B의 진동수는 각각 $5f$, $6f$이고, 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 B를 비출 때가 A를 비출 때의 $\dfrac{3}{2}$배이다.



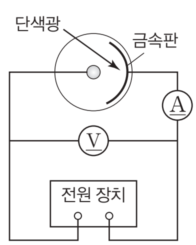
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 플랑크 상수는 h이다.)

〈보기〉
ㄱ. 광자 1개의 에너지는 B가 A보다 크다.
ㄴ. 금속판의 일함수는 $2hf$이다.
ㄷ. 금속판에 B를 비출 때, 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $3hf$이다.

① ㄱ　② ㄴ　③ ㄱ, ㄷ　④ ㄴ, ㄷ　⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0280]

04 그림은 금속판에 단색광을 비추고 전원 장치의 전압을 조절하여 정지 전압을 측정하는 광전 효과 실험 장치를 나타낸 것이다. 표는 금속판에 비춘 단색광의 진동수에 따른 정지 전압을 나타낸 것이다.



진동수	정지 전압
f_0	V_0
f_1	$2V_0$
$2f_0$	$2.5V_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

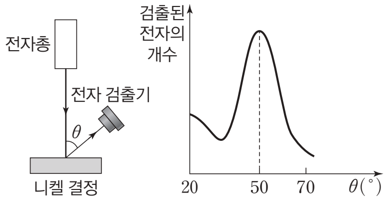
〈보기〉
ㄱ. 금속판의 문턱 진동수는 $\dfrac{1}{3}f_0$이다.
ㄴ. f_1은 $\dfrac{5}{3}f_0$이다.
ㄷ. 진동수가 f_0인 단색광을 금속판에 비추었을 때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 금속판의 일함수의 2배이다.

① ㄱ　② ㄷ　③ ㄱ, ㄴ　④ ㄴ, ㄷ　⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0281]

05 다음은 데이비슨 · 거머 실험에 대한 설명이다.

• 그림 (가)와 같이 니켈 결정에 54 V로 가속된 전자를 입사시키고 전자의 산란각 θ에 따라 검출기를 이동시키며 산란된 전자의 수를 측정하였다. 실험 결과 그림 (나)와 같이 ㉠ θ가 50°인 곳으로 산란된 전자의 수가 가장 많았다.



(가) (나)

• θ가 50°인 곳에서 [A] 간섭이 일어나는 X선의 파장과 ㉡ 54 V로 가속된 전자의 물질파 파장을 비교하였더니 일치하였다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

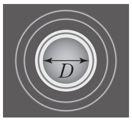
보기

ㄱ. '보강'은 A로 적절하다.
ㄴ. ㉠은 전자의 파동성으로 설명할 수 있다.
ㄷ. ㉡은 $\theta=50°$인 곳에서 보강 간섭이 일어난다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0282]

06 그림은 가속된 전자를 금속박 A에 입사시켰을 때 스크린에 생긴 회절 무늬를 나타낸 것으로, D는 회절 무늬 중앙의 밝은 무늬 지름이다. 표는 A에 입사하는 전자의 운동량의 크기, 스크린에 생긴 회절 무늬 중앙의 밝은 무늬 지름을 나타낸 것이다.



실험	전자의 운동량 크기	밝은 무늬 지름
Ⅰ	p_1	d_0
Ⅱ	p_2	$1.2d_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

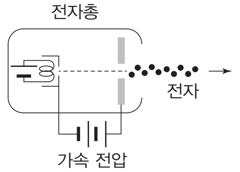
보기

ㄱ. 전자의 물질파 파장은 Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 길다.
ㄴ. $p_1 < p_2$이다.
ㄷ. Ⅰ, Ⅱ에서 스크린에 회절 무늬가 나타나는 것으로부터 전자의 파동성을 확인할 수 있다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0283]

07 그림은 정지해 있던 전자를 일정한 가속 전압으로 가속시켰을 때 전자총에서 전자가 방출되는 것을 나타낸 것이다. 표는 가속 전압과 전자총에서 방출된 전자의 물질파 파장을 나타낸 것이다.



실험	가속 전압	전자의 물질파 파장
Ⅰ	V_0	λ_0
Ⅱ	㉠	$\sqrt{2}\lambda_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 기본 전하량은 e이다.)

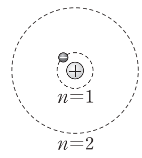
보기

ㄱ. 전자총에서 방출된 전자의 운동량의 크기는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 $\sqrt{2}$배이다.
ㄴ. Ⅰ에서 가속 전압에 의한 전자 1개의 운동 에너지 증가량은 eV_0이다.
ㄷ. ㉠은 $2V_0$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0284]

08 다음은 보어의 수소 원자 모형에 대한 설명이다.



• 원자 속 전자는 특정한 조건을 만족하는 원 궤도를 회전할 때 전자기파를 방출하지 않고 안정된 궤도 운동을 계속한다.
• 전자의 운동량의 크기를 p, 원 궤도의 반지름을 r, 양자수를 n, 플랑크 상수를 h라 할 때, 전자는 다음의 양자 조건을 만족한다. ➡ $rp=\frac{nh}{2\pi}$
• 전자가 운동하는 원 궤도의 반지름과 양자수 n은 다음의 관계를 만족한다. ➡ $r \propto n^2$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 전자가 $n=1$인 상태를 유지할 때, 전자의 운동량의 크기는 변한다.
ㄴ. 전자의 운동량의 크기는 $n=2$인 상태에서가 $n=1$인 상태에서보다 작다.
ㄷ. 전자의 물질파 파장은 $n=2$인 상태에서가 $n=1$인 상태에서의 2배이다.

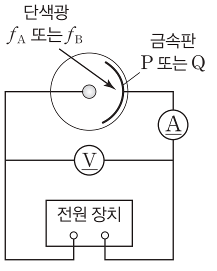
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답과 해설 61쪽 ▶

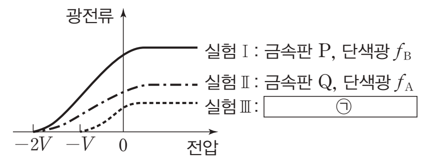
[26027-0285]

동일한 단색광을 금속판에 비추어 광전자가 방출될 때, 금속판의 일함수가 클수록 정지 전압이 작다.

01 그림 (가)는 금속판 P, Q에 진동수가 f_A 또는 f_B인 단색광을 각각 비추어 정지 전압, 광전류를 측정하는 광전 효과 실험 장치를 나타낸 것이다. $f_A > f_B$이다. 그림 (나)는 (가)의 금속판에서 광전자가 방출될 때 광전류를 전압에 따라 나타낸 것으로, 정지 전압은 실험 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ에서 각각 $2V$, $2V$, V이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 기본 전하량은 e이고, 플랑크 상수는 h이다.)

보기

ㄱ. 금속판의 일함수는 Q가 P보다 크다.

ㄴ. '금속판 P, 단색광 f_A'는 ㉠으로 적절하다.

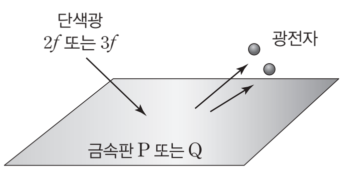
ㄷ. $f_A - f_B = \dfrac{eV}{h}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0286]

금속판에서 방출된 광전자의 물질파 파장의 최솟값이 λ, 전자의 질량이 m_e일 때 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k = \dfrac{h^2}{2m_e\lambda^2}$이다.

02 그림은 금속판 P, Q에 진동수가 $2f$ 또는 $3f$인 단색광을 각각 비추었더니 광전자가 방출되는 모습을 나타낸 것이다. 표는 방출된 광전자의 물질파 파장의 최솟값을 나타낸 것이다.



실험	금속판	단색광의 진동수	광전자의 물질파 파장의 최솟값
Ⅰ	P	$2f$	$\sqrt{2}\lambda_0$
Ⅱ	P	$3f$	λ_0
Ⅲ	Q	$3f$	$\sqrt{2}\lambda_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 전자의 질량은 m_e이고, 플랑크 상수는 h이다.)

보기

ㄱ. 광전자의 최대 운동 에너지는 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 2배이다.

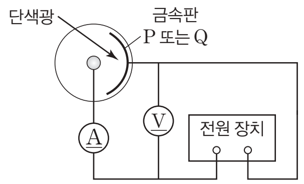
ㄴ. P의 일함수는 $\dfrac{h^2}{2m_e{\lambda_0}^2}$이다.

ㄷ. 문턱 진동수는 Q가 P의 2배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0287]

03 그림은 금속판 P 또는 Q에 단색광을 비추어 정지 전압을 측정하는 광전 효과 실험 장치를 나타낸 것이다. 표는 단색광의 진동수에 따른 정지 전압을 나타낸 것이다.



금속판	단색광의 진동수	정지 전압
P	f_0	V_0
P	$3f_0$	$4V_0$
Q	$2f_0$	㉠
Q	$3f_0$	$3V_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 플랑크 상수는 h이다.)

보기

ㄱ. P의 일함수는 $\frac{1}{3}hf_0$이다.

ㄴ. 일함수는 Q가 P의 3배이다.

ㄷ. ㉠은 $\frac{3}{2}V_0$이다.

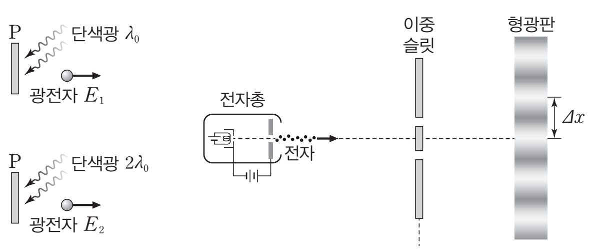
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

플랑크 상수를 h, 금속판에 비춘 단색광의 진동수를 f, 금속판의 일함수를 W, 기본 전하량을 e, 정지 전압을 V_s라 할 때, 다음과 같다.

$$hf=W+eV_s$$

[26027-0288]

04 그림 (가)와 같이 금속판 P에 파장이 각각 λ_0, $2\lambda_0$인 단색광을 비추었더니 P에서 최대 운동 에너지가 각각 E_1, E_2인 광전자가 방출되었다. 그림 (나)는 전자총에서 방출된 전자가 이중 슬릿을 통과한 후 형광판에 간섭무늬를 나타낸 것으로 간섭무늬의 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 Δx이다. 표는 전자총에서 방출된 전자의 운동 에너지에 따른 Δx를 나타낸 것이다.



(가) (나)

전자의 운동 에너지	Δx
E_1	$\frac{1}{2}x_0$
E_2	x_0

P의 일함수는? (단, 빛의 속력은 c이고, 플랑크 상수는 h이다.)

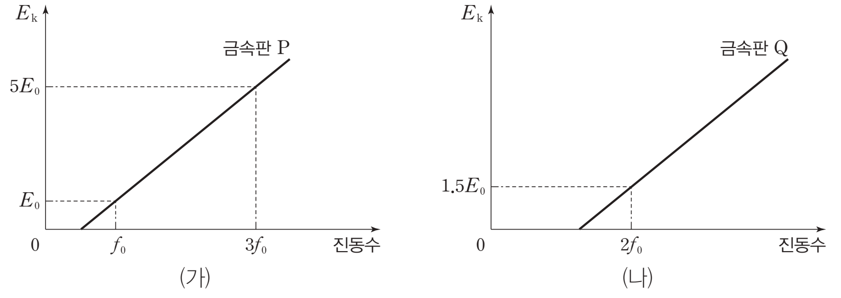
① $\frac{hc}{3\lambda_0}$ ② $\frac{hc}{2\lambda_0}$ ③ $\frac{hc}{\lambda_0}$ ④ $\frac{2hc}{\lambda_0}$ ⑤ $\frac{3hc}{\lambda_0}$

(나)에서 Δx는 전자의 물질파 파장에 비례한다.

광전자의 최대 운동 에너지를 단색광의 진동수에 따라 나타낸 그래프의 기울기는 플랑크 상수와 같다.

[26027-0289]

05 그림 (가), (나)는 각각 금속판 P, Q에 진동수를 변화시키면서 단색광을 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지 E_k를 단색광의 진동수에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. P의 문턱 진동수는 $\frac{1}{2}f_0$이다.

ㄴ. Q의 일함수는 $2.5E_0$이다.

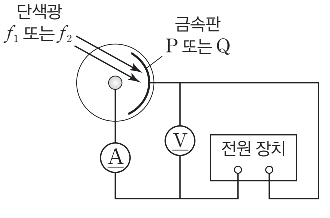
ㄷ. 진동수가 $3f_0$인 단색광을 P, Q에 각각 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지 차는 $1.5E_0$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

광전자의 물질파 파장의 최솟값을 λ, 광전자의 최대 운동 에너지를 E_k라 할 때, $\lambda \propto \frac{1}{\sqrt{E_k}}$이다.

[26027-0290]

06 그림은 금속판 P, Q에 진동수가 f_1, f_2인 단색광을 각각 비추는 모습을 나타낸 것이고, 표는 금속판에 비춘 단색광의 진동수에 따른 금속판에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지, 광전자의 물질파 파장의 최솟값을 나타낸 것이다. 금속판의 일함수는 P가 Q의 $\frac{3}{2}$배이다.



금속판	단색광의 진동수	광전자의 최대 운동 에너지	광전자의 물질파 파장의 최솟값
P	f_1	$4E_0$	λ_1
Q	f_1	$9E_0$	λ_2
Q	f_2	E_0	?

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. $\frac{f_1}{f_2}=\frac{3}{2}$이다.

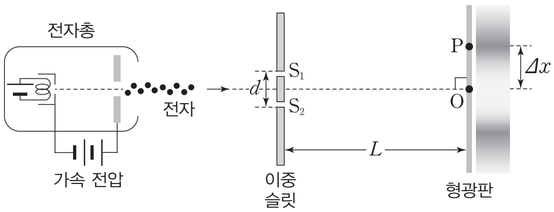
ㄴ. P의 문턱 진동수는 $\frac{15}{11}f_2$이다.

ㄷ. $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}=\frac{3}{2}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0291]

07 그림은 정지해 있던 전자를 일정한 가속 전압으로 가속시켰더니 전자총에서 방출된 전자가 이중 슬릿 S_1, S_2를 통과하여 형광판에 밝고 어두운 간섭 무늬가 만들어진 모습을 나타낸 것이다. 형광판의 점 O는 가장 밝은 무늬의 중심이고, 점 P에는 O로부터 첫 번째 어두운 무늬가 생겼다. 슬릿과 형광판 사이의 거리는 L, 슬릿 간격은 d이다. 표는 가속 전압에 따른 O와 P 사이의 간격 Δx를 나타낸 것이다.



가속 전압	Δx
V_0	x_0
$2V_0$	x_1

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 기본 전하량은 e, 전자의 질량은 m, 플랑크 상수는 h이다.)

보기

ㄱ. 가속 전압이 V_0일 때 전자총에서 방출된 전자의 운동량의 크기는 $\frac{Lh}{dx_0}$이다.

ㄴ. $V_0=\frac{L^2h^2}{8med^2{x_0}^2}$이다.

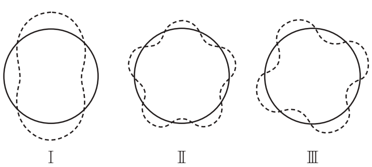
ㄷ. $x_1=\frac{1}{2}x_0$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

가속 전압이 V일 때, 전자총에서 방출된 전자의 운동 에너지는 eV이다.

[26027-0292]

08 그림은 보어의 수소 원자 모형에서 양자수 n에 따른 전자의 원운동 궤도, 물질파를 각각 실선과 점선으로 나타낸 것으로 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ은 양자수 n이 2, 4, 5인 상태를 순서 없이 나타낸 것이다. 표는 양자수 n에 따른 전자의 원운동 궤도 반지름 r_n, 전자의 에너지 E_n을 나타낸 것이다.



n	1	2	3	…	k	…
r_n	a_0	$4a_0$	$9a_0$	…	k^2a_0	…
E_n	$-E_0$	$-\frac{E_0}{4}$	$-\frac{E_0}{9}$	…	$-\frac{E_0}{k^2}$	…

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 전자의 원운동 궤도 반지름은 Ⅲ에서가 Ⅰ에서의 4배이다.

ㄴ. 방출하는 빛의 파장은 전자가 Ⅱ에서 Ⅰ로 전이할 때가 Ⅲ에서 Ⅰ로 전이할 때의 $\frac{25}{28}$배이다.

ㄷ. 전자에 작용하는 전기력의 크기는 Ⅲ에서가 Ⅱ에서의 $\left(\frac{5}{4}\right)^4$배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

양자수가 n일 때 전자의 물질파 파장을 λ_n이라고 하면, $2\pi r_n=n\lambda_n$이 성립하고, $r_n=a_0n^2$이므로 $\lambda_n=2\pi a_0 n$이다.

15 불확정성 원리

1 불확정성 원리

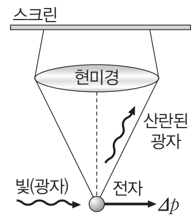
(1) 측정의 정밀성에 대한 문제

① 고전 역학: 측정 과정에서 측정 도구가 측정 대상에 미치는 영향을 얼마든지 줄일 수 있다고 생각하여 물리량을 무한히 정밀하게 측정하고 예측할 수 있다고 가정한다.

② 양자 역학: 측정 과정에서 측정 도구와 측정 대상의 상호 작용은 측정하려는 대상의 상태를 변화시킨다. 따라서 대상의 물리량을 무한히 정밀하게 측정하는 것은 불가능하다.

(2) 하이젠베르크의 불확정성 원리

① 위치의 불확정도(Δx): 전자의 위치를 측정하기 위해 빛을 전자에 비춰 빛이 산란되는 위치를 현미경을 통하여 보아야 하는데, 회절에 의해 상이 흐려지므로 위치를 정확하게 측정하기 어렵다. 빛의 파장이 짧을수록 전자의 위치의 불확정도 Δx는 감소한다.



하이젠베르크
양자 현미경

② 운동량의 불확정도(Δp): 전자에 비춰준 빛은 운동량을 지닌 광자로 생각할 수 있으므로 광자는 전자와 충돌하여 전자의 운동량을 변화시키게 되어 운동량을 정확하게 알기 어렵다. 이때 파장이 λ인 광자의 운동량이 $p=\dfrac{h}{\lambda}$이므로 광자의 파장이 짧을수록 전자의 운동량의 불확정도 Δp는 증가한다.

③ 하이젠베르크의 불확정성 원리

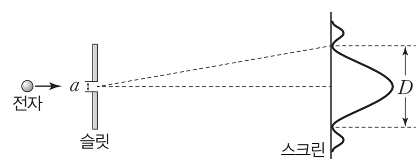
- 짧은 파장의 빛을 이용하면 입자의 위치는 정확하게 측정할 수 있지만 운동량의 불확정도는 증가한다. 반대로 긴 파장의 빛을 이용하면 입자의 운동량의 정확성을 높일 수 있지만 입자의 위치의 불확정도는 증가한다.
- 불확정성 원리: 입자성과 파동성을 모두 띠고 있는 물체의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다. 위치와 운동량의 측정에 대한 불확정성 원리를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2} \left(\text{단, } \hbar = \frac{h}{2\pi},\ h = 6.63 \times 10^{-34}\ \mathrm{J \cdot s} \right)$$

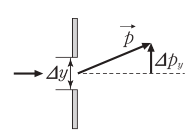
탐구자료 살펴보기 **전자의 회절과 불확정성 원리**

자료 그림과 같이 전자가 폭이 a인 단일 슬릿을 통과할 때, 슬릿을 통과한 전자는 형광 스크린에 밝고 어두운 무늬를 만든다.

- 슬릿의 폭 a가 작아지면 회절 무늬의 폭 D가 커진다.
- 슬릿의 폭 a가 커지면 회절 무늬의 폭 D가 작아진다.



분석 전자의 위치의 불확정도 Δy는 슬릿의 폭 a에 비례한다고 할 수 있고, 회절 무늬의 폭 D가 크다는 것은 운동량의 y성분 불확정도(Δp_y)가 크다는 것을 의미한다. 즉, 슬릿의 폭이 작아지면 전자의 위치에 대한 정보는 정확해지지만, 전자의 운동량에 대한 정보는 더 부정확해지므로 불확정성 원리가 성립한다.



개념 체크

➲ **양자 역학에서의 측정:** 측정 대상과 측정 장비의 상호 작용은 측정하려는 대상의 상태를 변화시키므로 무한히 정밀하게 측정하는 것은 불가능하다.

➲ **불확정성 원리:** 어떤 물체의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다.

1. 하이젠베르크의 양자 현미경 사고 실험에서 광자의 파장이 길수록 전자의 위치 불확정도가 감소한다. (○, ×)

2. 하이젠베르크의 불확정성 원리에 따르면 입자의 위치의 불확정도가 증가하면 운동량의 불확정도는 감소한다. (○, ×)

3. 전자의 회절 실험에서 슬릿의 폭이 클수록 슬릿을 통과하는 전자의 운동량의 불확정도는 (크다 , 작다).

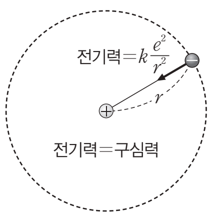
정답
1. ×
2. ○
3. 작다

과학 돋보기 **불확정성 원리와 베타 붕괴**

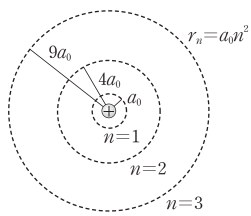
'${}^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{3}_{2}\mathrm{He} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$'와 같이 핵이 변환하면서 전자가 방출되는 반응을 베타 붕괴라고 한다. 베타 붕괴에서 방출된 전자는 어디로부터 왔을까?
이 현상이 관찰되었을 때 핵 속에 있던 전자가 방출되었다고 여겨졌으나 이 생각은 불확정성 원리에 의해 부정되었다. 불확정성 원리에 의하면 핵의 크기가 매우 작으므로 핵 속에 전자가 있었다면 운동량의 불확정성이 매우 커야 하는데 실제로 방출된 전자의 운동량의 크기는 매우 작았다. 이후 이 전자는 중성자가 양성자로 변환되는 과정에서 방출된 것임을 알게 되었다.

(3) 불확정성 원리와 보어 원자 모형의 한계

① 보어는 수소 원자 모형에 양자 가설을 적용하여 전자는 원자핵으로부터 반지름이 r인 원 궤도를 속력 v로 운동한다고 유도하였다. 이때 r는 약 0.5×10^{-10} m, v는 약 10^6 m/s 정도이다. 또한 보어의 원자 모형에서는 양자수 n에 따른 전자의 궤도 반지름이 $r_n=a_0n^2$으로 n에 따라 정확히 주어진다.

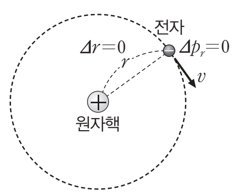


전자의 운동에 대한 보어의 가정



보어 모형에 따른 전자의 궤도

② 보어의 원자 모형에 따른 전자가 원자핵으로부터 떨어진 거리의 불확정도 $\Delta r=0$이고, 전자의 원운동 궤도 중심 방향의 운동량의 불확정도 $\Delta p_r=0$이다. 따라서 $\Delta r\Delta p_r=0$이 되어 $\Delta r\Delta p_r\geq\frac{\hbar}{2}$라는 하이젠베르크의 불확정성 원리에 위배된다.



불확정성 원리와 보어 원자 모형

2 현대적 원자 모형

(1) 파동 함수와 확률 밀도 함수

① 파동 함수(ψ): 1926년 슈뢰딩거는 드브로이의 물질파 이론을 받아들여 전자와 같은 매우 작은 입자의 운동을 설명할 수 있는 슈뢰딩거 파동 방정식을 제안하였고, 이 방정식의 해를 보통 ψ로 나타내며 이를 파동 함수라고 한다. 파동 함수 ψ는 직접 측정하거나 관찰할 수 없는 양이다.

② 확률 밀도 함수($|\psi|^2$): 전자가 어떤 시간에 특정 위치에서 발견될 확률 정보로 파동 함수 ψ의 절댓값의 제곱으로 나타낸다. 즉, 이 값에 그 주변의 부피를 곱하면 그 공간에서 전자를 발견할 확률이 된다. 실험적으로 어떤 시간에 특정한 영역에서 전자를 발견할 확률은 유한하고, 그 값은 0과 1 사이이다. 또한 전자를 발견할 수 있는 전 영역에 대한 확률 밀도 함수의 합은 1이다.

개념 체크

➔ **파동 함수(ψ)**: 전자와 같은 매우 작은 입자의 운동을 설명할 수 있는 슈뢰딩거 파동 방정식의 해로서 직접 관측하거나 측정할 수 없다.

➔ **확률 밀도 함수($|\psi|^2$)**: 전자가 어떤 시간에 특정 위치에서 발견될 확률이다.

1. 보어의 수소 원자 모형에서는 전자의 궤도 반지름과 전자의 속력이 양자수에 따라 정확히 주어지므로 불확정성 원리를 만족한다. (○ , ×)

2. (보어의 원자 모형 , 현대적 원자 모형)에서는 전자의 위치를 확률로 설명한다.

정답
1. ×
2. 현대적 원자 모형

개념 체크

➲ 현대적 원자 모형: 전자의 위치를 전자구름 형태로 나타낸다. 수소 원자의 에너지 준위는 보어 원자 모형에서와 같다.

➲ 불확정성 원리와 원자 모형: 보어 원자 모형은 불확정성 원리에 위배되고, 현대적 원자 모형은 불확정성 원리를 포함한다.

1. 현대적 원자 모형은 불확정성 원리를 (만족하고 , 만족하지 않고), 전자의 위치는 (   ) 형태로 나타낸다.

2. 현대적 원자 모형에서 수소 원자의 에너지 준위는 보어 원자 모형에서 구한 값과 같다. (○ , ×)

3. 현대적 원자 모형에서 주 양자수가 3인 상태에서 2인 상태로 전자가 전이할 때 두 에너지 준위의 차에 해당하는 빛을 (흡수 , 방출)한다.

정답
1. 만족하고, 전자구름
2. ○
3. 방출

(2) 원자의 양자수: 슈뢰딩거 방정식으로 전자의 파동 함수를 결정하는 값으로, 3개의 양자수 n, l, m으로 나타낸다.

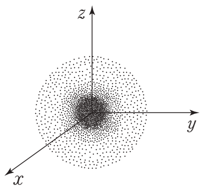
양자수	명칭	허용된 값
n	주 양자수(→ 전자의 에너지를 결정)	$1, 2, 3, \cdots, \infty$
l	궤도 양자수(→ 전자의 각운동량의 크기를 결정)	$0, 1, 2, \cdots, n-1$
m	자기 양자수(→ 각운동량의 한 성분을 결정)	$-l, -l+1, \cdots, 0, \cdots, l-1, l$

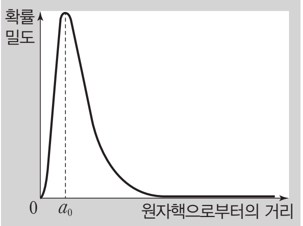
• 주 양자수가 2인 경우 양자수(n, l, m): $(2, 0, 0)$, $(2, 1, -1)$, $(2, 1, 0)$, $(2, 1, 1)$

(3) 현대적 원자 모형

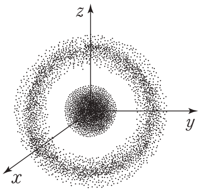
① 파동 함수는 전자를 발견할 확률을 알려주는데, 수소 원자에서 전자를 발견할 확률은 보어 모형에서 기술한 것과 다르게 3차원으로 분포된 전자구름의 형태를 보인다.

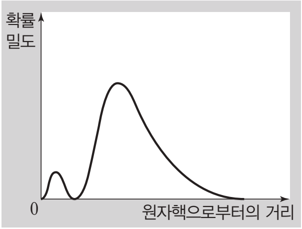
• 주 양자수가 $n=1$일 때 $(1, 0, 0)$인 상태





• 주 양자수가 $n=2$일 때 $(2, 0, 0)$인 상태





② 전자는 공간에 반드시 존재해야 하므로 전 공간에서 전자를 발견할 확률을 더하면 그 값은 1이어야 한다. 따라서 확률 밀도 그래프 아래의 전체 넓이는 1이다.

③ 보어 원자 모형과 현대적 원자 모형의 공통점

• 현대적 원자 모형에서 수소 원자의 에너지 준위 E_n은 보어 원자 모형에서 구한 값과 같으며 그 값은 다음과 같다.

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2}\ \mathrm{eV}$$

• 전자가 다른 에너지 준위로 전이할 때 두 에너지 준위의 차에 해당하는 빛을 흡수하거나 방출한다. 따라서 다음 식은 양자 역학에서도 그대로 성립한다.

$$E_n - E_m = hf \quad (n > m)$$

④ 보어 원자 모형은 불확정성 원리를 반영하고 있지 않지만 현대적 원자 모형은 불확정성 원리를 포함한다. 현대적 원자 모형에서는 스핀 양자수를 포함하여 양자수 4개가 필요하다. 또한 보어 원자 모형은 전자의 개수가 1개인 수소 원자에만 적용될 수 있는 반면, 현대적 원자 모형은 전자의 개수가 많은 다전자 원자에도 적용될 수 있다.

[26027-0293]

01 다음은 하이젠베르크의 불확정성 원리에 대한 설명이다.

> 입자성과 파동성을 모두 띠고 있는 ㉠물체의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다. 물체의 위치 불확정도 Δx와 물체의 운동량 불확정도 Δp의 관계는 다음과 같다.
>
> $$\boxed{\text{(가)}} \geq \frac{\hbar}{2}$$
>
> (단, $\hbar = \frac{h}{2\pi}$, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J · s)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

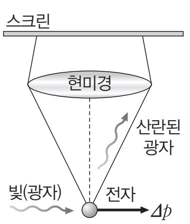
보기

ㄱ. ㉠의 까닭은 측정 장비의 한계 때문이다.
ㄴ. (가)는 '$\Delta x + \Delta p$'이다.
ㄷ. 측정에 사용하는 빛의 파장이 짧을수록 Δp가 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0294]

02 그림은 전자에 광자를 비춰 전자의 위치를 측정하는 사고 실험을 나타낸 것이고, 표는 빛(광자)의 파장에 따른 전자의 위치 불확정도 Δx, 운동량 불확정도 Δp를 나타낸 것이다.



빛의 파장	Δx	Δp
λ_0	Δx_0	㉠
$1.5\lambda_0$	㉡	Δp_0

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

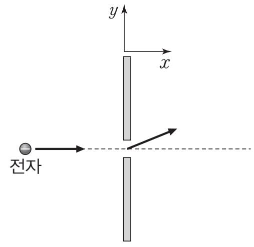
보기

ㄱ. 광자가 전자와 충돌하면 전자의 운동량이 변한다.
ㄴ. ㉠은 Δp_0보다 크다.
ㄷ. ㉡은 Δx_0보다 작다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0295]

03 그림은 $+x$방향으로 등속도 운동을 하던 전자가 y축과 나란하게 설치된 단일 슬릿을 통과하는 것을 나타낸 것이다. 표는 실험 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ에서 슬릿을 통과하기 전 전자의 운동량의 크기, 슬릿의 폭을 나타낸 것이다.



실험	전자의 운동량의 크기	슬릿의 폭
Ⅰ	p	a
Ⅱ	p	$2a$
Ⅲ	$2p$	$2a$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

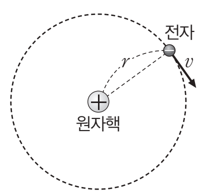
ㄱ. 전자의 위치 불확정도는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 작다.
ㄴ. 전자의 회절은 Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 더 많이 일어난다.
ㄷ. 전자의 운동량의 y성분 불확정도는 Ⅲ에서가 Ⅱ에서보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0296]

04 다음은 보어의 수소 원자 모형에 대한 설명이다.

> 보어의 수소 원자 모형에서는 양자 가설에 의해 양자수 n에 따라 전자의 원운동 궤도 반지름 r, 등속 원운동하는 전자의 속력 v가 정확히 결정된다.



이 모형에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

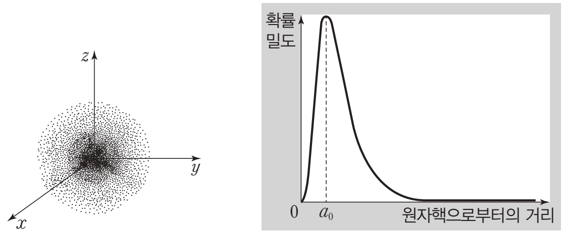
보기

ㄱ. 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확히 알 수 있다.
ㄴ. 양자수 $n=1$일 때, 전자가 원자핵으로부터 떨어진 거리의 불확정도는 0이다.
ㄷ. 하이젠베르크의 불확정성 원리를 만족한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0297]

05 그림 (가)는 수소 원자에서 양자수 $n=1$인 상태의 전자의 위치를 전자구름의 형태로 나타낸 것이고, (나)는 (가)의 전자를 발견할 확률 밀도를 원자핵으로부터의 거리에 따라 나타낸 것이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. (가)는 보어의 수소 원자 모형을 나타낸 것이다.
ㄴ. 전자의 위치를 정확히 알 수 없다.
ㄷ. (나)에서 원자핵으로부터 $\frac{a_0}{2}$만큼 떨어진 지점에서는 전자가 발견될 수 없다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0298]

06 다음은 원자 모형 A, B의 특징을 나타낸 것이다. A, B는 보어의 원자 모형, 현대적 원자 모형을 순서 없이 나타낸 것이다.

특징	A	B
전자는 양자 조건을 만족하는 안정된 원 궤도를 따라 운동한다.	×	○
전자의 위치와 운동량을 동시에 정확히 측정할 수 있다.	㉡	?
(가)	○	×

○: 예, ×: 아니요

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

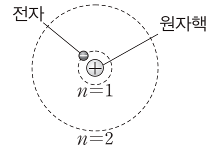
보기

ㄱ. A는 현대적 원자 모형이다.
ㄴ. ㉡은 '×'이다.
ㄷ. '전자의 위치는 확률적으로만 알 수 있다.'는 (가)로 적절하다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0299]

07 그림은 보어의 수소 원자 모형에서 양자수 n이 1, 2인 상태의 전자의 궤도와 양자수 $n=1$인 상태의 전자를 나타낸 것이다. 표는 양자수에 따른 전자의 궤도 반지름을 나타낸 것이다.



양자수	궤도 반지름
$n=1$	a_0
$n=2$	$4a_0$

보어의 수소 원자 모형에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. $n=1$인 상태에 있는 전자의 운동량의 크기는 정확히 알 수 있다.
ㄴ. 전자가 원자핵으로부터 $2a_0$인 위치에서 발견될 수 있다.
ㄷ. 전자의 상태는 불확정성 원리를 만족한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0300]

08 다음은 원자 모형 (가)에 대한 설명이다. (가)는 보어의 원자 모형, 현대적 원자 모형 중 하나이다.

불확정성 원리에 따르면 전자의 위치와 $\boxed{\text{A}}$을/를 동시에 정확히 측정할 수 없다. 이를 만족시키는 $\boxed{\text{(가)}}$에서는 전자의 위치를 전자구름의 형태로 나타내는데 이는 전자가 ㉠원자핵으로부터 일정한 거리만큼 떨어진 원 궤도에서 운동하는 것이 아니라 확률적으로 분포하고 있음을 나타내는 것이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. '운동량'은 A로 적절하다.
ㄴ. (가)는 '현대적 원자 모형'이다.
ㄷ. ㉠과 같은 상태의 전자가 원자핵으로부터 떨어진 거리의 불확정도는 0이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

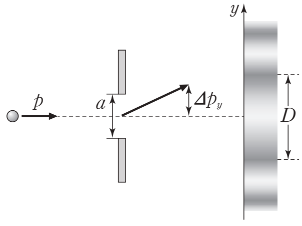
수능 3점 테스트

정답과 해설 64쪽 ▶

[26027-0301]

01 그림과 같이 운동량의 크기가 p인 전자가 슬릿의 폭이 a인 단일 슬릿에 입사한 후 회절하여 y축상의 스크린에 무작위로 도달하여 회절 무늬를 만든다. 슬릿을 통과한 전자의 운동량의 y성분 불확정도는 Δp_y이다. 표는 실험 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ에서 p, a, Δp_y를 나타낸 것이다. 스크린의 가장 밝은 무늬의 폭 D는 실험 Ⅰ과 Ⅲ에서 서로 같다.

슬릿에 수직으로 입사하는 전자의 위치는 슬릿의 폭으로 한정되므로 슬릿의 폭이 작을수록 전자의 위치 불확정도가 작다.



실험	p	a	Δp_y
Ⅰ	p_0	㉠	Δp_1
Ⅱ	$2p_0$	$2a_0$	$1.2\Delta p_1$
Ⅲ	㉡	a_0	?

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

〈보기〉

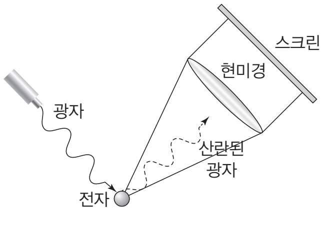
ㄱ. 슬릿에 입사하는 전자의 물질파 파장은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 길다.
ㄴ. ㉠은 $2a_0$보다 작다.
ㄷ. ㉡은 p_0보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26027-0302]

02 그림은 전자에 광자를 충돌시켜 산란된 광자를 통해 전자의 위치를 측정하는 사고 실험을 나타낸 것이다. 표는 실험 Ⅰ, Ⅱ에서 전자와 충돌하는 광자의 진동수, 전자의 위치 불확정도를 나타낸 것이다.

전자의 위치 불확정도가 클수록 운동량 불확정도는 작다.



실험	전자와 충돌하는 광자의 진동수	전자의 위치 불확정도
Ⅰ	f_0	Δx_0
Ⅱ	f_1	$1.2\Delta x_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

〈보기〉

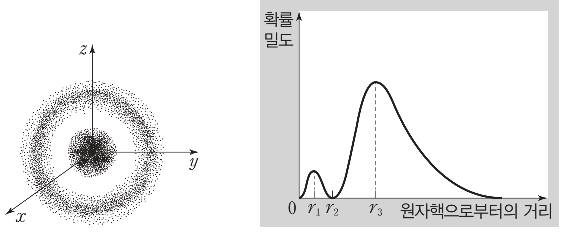
ㄱ. $f_0>f_1$이다.
ㄴ. 전자의 운동량 불확정도는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크다.
ㄷ. 산란된 광자의 파장은 전자와 충돌하기 전 광자의 파장보다 길다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

전자의 확률 밀도를 통해 전자를 발견할 확률을 구할 수 있다.

[26027-0303]

03 그림은 수소 원자에서 양자수 $n=2$인 상태의 전자의 위치를 전자구름의 형태로 나타낸 것과 전자를 발견할 확률 밀도를 원자핵으로부터의 거리에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 전자의 위치를 정확히 알 수 있다.
ㄴ. 전자는 궤도 반지름이 r_3인 안정된 원 궤도를 돌고 있다.
ㄷ. 원자핵으로부터의 거리가 r_2인 곳에서는 전자가 발견되지 않는다.

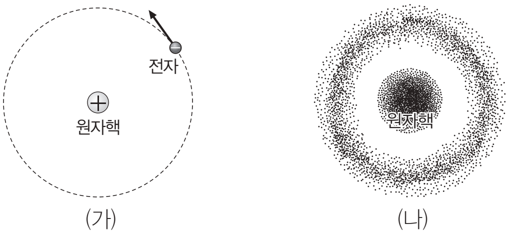
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

보어의 수소 원자 모형에서는 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확히 측정할 수 있다.

[26027-0304]

04 다음은 2가지 수소 원자 모형에 대한 설명이다.

그림은 양자수 $n=2$일 때 전자의 위치를 나타낸 것으로 (가), (나)는 보어의 수소 원자 모형, 현대적 수소 원자 모형을 순서 없이 나타낸 것이다. 보어의 수소 원자 모형에서 원자핵과 전자 사이의 거리는 r_0이고, 전자는 원 궤도를 따라 운동한다. 현대적 수소 원자 모형에서는 전자의 위치를 전자구름의 형태로 나타낸다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. (가)는 보어의 수소 원자 모형이다.
ㄴ. (가)에서 전자의 원 궤도 중심 방향 운동량의 불확정도는 0이다.
ㄷ. (나)에서 원자핵으로부터의 거리가 r_0보다 작은 곳에서는 전자를 발견할 확률이 항상 0이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

수능특강

과학탐구영역

물리학 Ⅱ

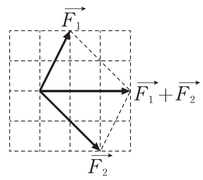
정답과 해설

01 힘과 평형

수능 2점 테스트 본문 8~9쪽

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

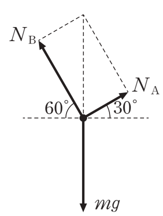
01 힘의 합성



$\vec{F_1}$, $\vec{F_2}$를 평행사변형법을 이용하여 합성하면 그림과 같다.

~~ㄱ~~. $\vec{F_1}$의 y성분의 크기는 2 N이다.
ㄴ. $\vec{F_1}+\vec{F_2}$의 방향은 $+x$방향이다.
ㄷ. $\vec{F_1}+\vec{F_2}$의 크기는 3 N이다.

02 힘의 평형



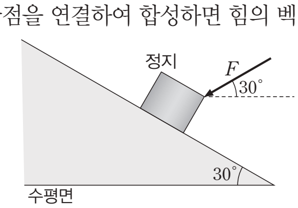
경사각이 60°, 30°인 빗면이 원판에 작용하는 힘의 크기를 각각 N_A, N_B라고 할 때, 원판에 작용하는 세 힘을 나타내면 그림과 같다.

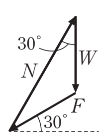
③ $mg\cos60° = N_A$이므로 $N_A = \frac{1}{2}mg$이다.

[별해] $N_A\cos30° = N_B\cos60°$ … ①이고,
$mg = N_A\sin30° + N_B\sin60°$ … ②이므로
①, ②에서 $N_A = \frac{1}{2}mg$, $N_B = \frac{\sqrt{3}}{2}mg$이다.

03 힘의 평형

물체에 작용하는 알짜힘이 0일 때 물체에 작용하는 힘들의 시작점과 끝점을 연결하여 합성하면 힘의 벡터 합이 0이 된다.

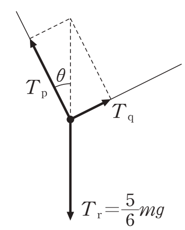


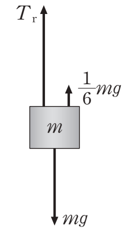


ㄱ. 물체가 정지해 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.
ㄴ. 빗면이 물체에 작용하는 힘의 크기를 N이라 하면, $N = 2F\cos30°$에서 $N = \sqrt{3}F$이다.
ㄷ. 물체에 작용하는 중력의 크기를 W라고 하면, $W = F$이다.

04 힘의 평형

p, q가 천장을 당기는 힘의 크기를 각각 T_p, T_q, r가 물체를 당기는 힘의 크기를 T_r라고 하고 세 힘을 나타내면 다음과 같다.

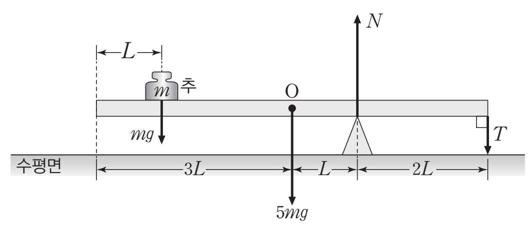




④ 수평면이 물체를 떠받치는 힘의 크기가 $\frac{1}{6}mg$이므로 $\frac{1}{6}mg + T_r = mg$에서 $T_r = \frac{5}{6}mg$이다. p가 연직 방향과 이루는 각을 θ라고 하면, $T_p = T_r\cos\theta$이다. $\cos\theta = \frac{2}{\sqrt{5}}$이므로 $T_p = \frac{\sqrt{5}}{3}mg$이다.

05 돌림힘과 평형

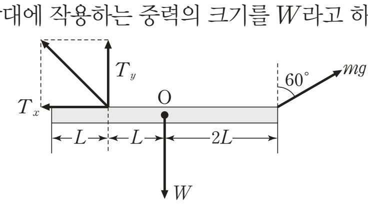
받침대가 막대를 떠받치는 힘의 크기를 N, 실이 막대를 당기는 힘의 크기를 T라고 하자.



ㄱ. 막대가 회전하지 않고 정지해 있으므로 막대에 작용하는 돌림힘의 합은 0이다.
ㄴ. 받침대와 막대가 접촉한 지점을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면 $3L(mg) + L(5mg) = 2LT$에서 $T = 4mg$이다.
~~ㄷ~~. 막대에 작용하는 알짜힘이 0이므로 $N = mg + 5mg + T$에서 $N = 10mg$이다.

06 돌림힘과 평형

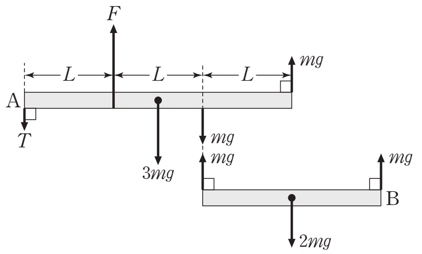
p가 막대를 당기는 힘의 수평 성분의 크기를 T_x, 연직 성분의 크기를 T_y, 막대에 작용하는 중력의 크기를 W라고 하자.



⑤ 막대는 수평 방향으로 힘의 평형을 이루므로 $T_x = mg\cos30°$에서 $T_x = \frac{\sqrt{3}}{2}mg$이다. 막대의 무게중심 O를 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면 $LT_y = (2L)mg\cos60°$에서 $T_y = mg$이다. 따라서 p가 막대를 당기는 힘의 크기는 $\sqrt{(T_x)^2 + (T_y)^2} = \frac{\sqrt{7}}{2}mg$이다.

07 돌림힘과 평형

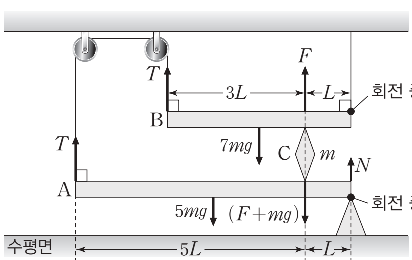
A, B에 작용하는 힘들을 나타내면 다음과 같다. B의 무게중심으로부터 양쪽 끝에 연결된 실까지 떨어진 거리가 같으므로 B의 양쪽 실이 B를 당기는 힘의 크기는 mg로 같다.



① A에 작용하는 알짜힘이 0이므로 $F-T=3mg$ … ①이다. A의 왼쪽 끝을 회전축으로 A에 돌림힘의 평형을 적용하면 $LF+(3L)mg=\left(\frac{3}{2}L\right)(3mg)+(2L)mg$이므로 $F=\frac{7}{2}mg$이다. ①에서 $T=\frac{1}{2}mg$이므로 $\frac{F}{T}=7$이다.

08 돌림힘과 평형

실이 A, B를 당기는 힘의 크기를 T, C가 B에 작용하는 힘의 크기를 F, 받침대가 A를 떠받치는 힘의 크기를 N이라 하자.



② B의 오른쪽 끝점을 회전축으로 B에 돌림힘의 평형을 적용하면 $(4L)T+LF=(2L)(7mg)$에서 $4T+F=14mg$ … ①이다. A의 오른쪽 끝점을 회전축으로 A에 돌림힘의 평형을 적용하면 $(6L)T=(3L)(5mg)+L(F+mg)$에서 $6T-F=16mg$ … ②이다. ①, ②에서 $T=3mg$, $F=2mg$이다. A는 힘의 평형 상태에 있으므로 $T+N=5mg+(F+mg)$에서 $N=5mg$이다.

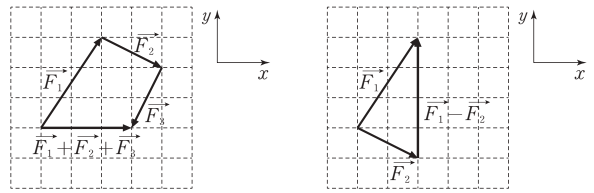
수능 3점 테스트

본문 10~14쪽

01 ⑤	02 ⑤	03 ③	04 ④	05 ④	06 ②
07 ①	08 ③	09 ⑤	10 ②		

01 벡터의 합성

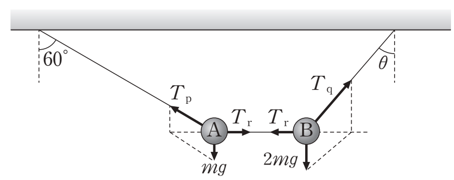
세 개 이상의 벡터를 합성하는 경우에는 두 벡터를 합성하는 방법을 반복하여 벡터의 합을 구한다. $\vec{F_1}+\vec{F_2}+\vec{F_3}$과 $\vec{F_1}-\vec{F_2}$를 나타내면 그림과 같다.



㉠. $\vec{F_1}$의 x성분의 크기는 2 N이다.
㉡. $\vec{F_1}+\vec{F_2}+\vec{F_3}$의 크기는 3 N이다.
㉢. $\vec{F_1}-\vec{F_2}$의 방향은 $+y$방향이고, $\vec{F_1}+\vec{F_2}+\vec{F_3}$의 방향은 $+x$방향이므로 서로 수직이다.

02 힘의 평형

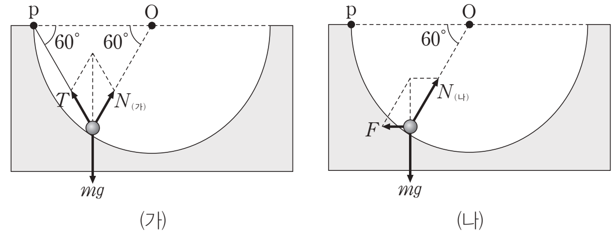
p, r가 A를 당기는 힘의 크기를 각각 T_p, T_r라 하고, q가 B를 당기는 힘의 크기를 T_q라고 하자.



㉠. $T_r=mg\tan60^\circ$에서 $T_r=\sqrt{3}mg$이다.
㉡. r가 A, B를 당기는 힘의 크기는 T_r로 같다. B에 작용하는 중력의 크기가 $2mg$이고, $2mg\tan\theta=T_r$이므로 $\tan\theta=\frac{\sqrt{3}}{2}$이다.
㉢. $T_q\cos\theta=2mg$이고, $\cos\theta=\frac{2}{\sqrt{7}}$이므로 $T_q=\sqrt{7}mg$이다. $T_p\cos60^\circ=mg$에서 $T_p=2mg$이다. 따라서 q가 B를 당기는 힘의 크기는 p가 A를 당기는 힘의 크기의 $\frac{\sqrt{7}}{2}$배이다.

03 힘의 평형

(가), (나)에서 반구형 그릇의 안쪽 면이 물체에 작용하는 힘의 크기를 각각 $N_{(가)}$, $N_{(나)}$, (가)에서 실이 물체를 당기는 힘의 크기를 T라 하자.

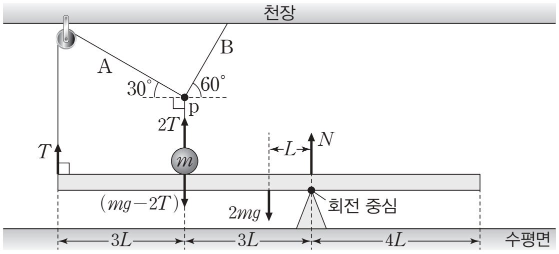


(가) (나)

㉠. (가)에서 $2T\cos30^\circ=mg$이므로 $T=\frac{\sqrt{3}}{3}mg$이다.
~~㉡~~. (나)에서 $F=mg\tan30^\circ$이므로 $F=\frac{\sqrt{3}}{3}mg$이다.
㉢. (가)에서 $2N_{(가)}\cos30^\circ=mg$이고, (나)에서 $N_{(나)}\cos30^\circ=mg$이므로 $N_{(나)}=2N_{(가)}$이다. 따라서 반구형 그릇의 안쪽 면이 물체에 작용하는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

04 힘의 평형과 돌림힘의 평형

실 A가 막대의 왼쪽 끝을 당기는 힘의 크기를 T라고 하면 세 힘의 평형 관계에 따라 물체와 연결된 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 $2T$이고, 물체가 막대에 작용하는 힘의 크기는 $mg-2T$이다.

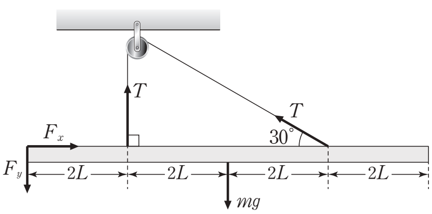


④ 받침대가 막대를 받치는 점을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면 $(6L)T=(3L)(mg-2T)+L(2mg)$이므로 $T=\frac{5}{12}mg$이다. 받침대가 막대를 떠받치는 힘의 크기를 N이라 하면, 막대는 힘의 평형 상태에 있으므로

$T+N=(mg-2T)+2mg$에서 $N=\frac{7}{4}mg$이다.

05 돌림힘의 평형

F의 수평 방향 성분, 연직 방향 성분의 크기를 각각 F_x, F_y라고 하고, 실이 물체를 당기는 힘의 크기를 T라고 하자.



ㄱ. 막대가 정지해 있으므로 막대에 작용하는 알짜힘은 0이다.

~~ㄴ~~. 막대의 왼쪽 끝을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면 $(2L)T+(6L)T\sin30°=(4L)mg$이므로 $T=\frac{4}{5}mg$이다. 막대는 연직 방향으로 힘의 평형 상태에 있으므로

$F_y+mg=T+T\sin30°$이다. 따라서 $F_y=\frac{1}{5}mg$이다.

ㄷ. 막대는 수평 방향으로 힘의 평형 상태에 있으므로

$F_x=T\cos30°$에서 $F_x=\frac{2\sqrt{3}}{5}mg$이다. 따라서 $\tan\theta=\frac{F_y}{F_x}=\frac{\sqrt{3}}{6}$이다.

06 돌림힘의 평형

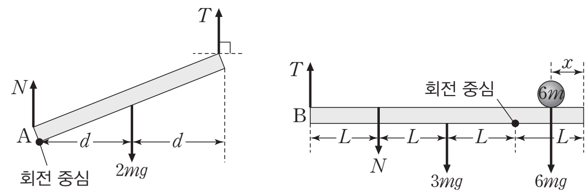
A의 질량을 M, 중력 가속도를 g라고 하고, p, q가 막대를 당기는 힘의 크기를 각각 T_p, T_q라고 하면, T_p가 (가), (나)에서 같으므로 T_q 또한 (가), (나)에서 같다. 즉, (가), (나)에서 $T_p+T_q=mg+Mg$이다.

② (가)에서 p와 막대가 연결된 지점을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면 $(2L)mg+(3L)Mg=(3L)T_q$ … ①이고, (나)에서 p와 막대가 연결된 지점을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면 $(2L)mg+(5L)Mg=(4L)T_q$ … ②이다.

①, ②를 연립하면 $M=\frac{2}{3}m$이다.

07 돌림힘의 평형

x가 최댓값일 때 수평면이 B의 오른쪽 끝에 작용하는 힘은 0이다. 실이 A와 B를 당기는 힘의 크기를 T, B가 A에 작용하는 힘의 크기를 N, 중력 가속도를 g라 하자.

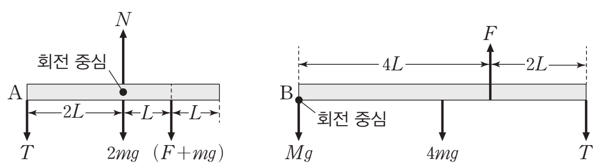


① A는 연직 방향으로 힘의 평형 상태에 있으므로 $N+T=2mg$ … ①이다. A의 왼쪽 끝으로부터 A의 무게중심까지 수평 방향으로 떨어진 거리를 d라 하고, A와 B가 만나는 지점을 회전축으로 A에 돌림힘의 평형을 적용하면 $d(2mg)=(2d)T$ … ②이다.

B의 오른쪽 끝으로부터 L만큼 떨어진 지점을 회전축으로 B에 돌림힘의 평형을 적용하면 $(3L)T+(L-x)6mg=(2L)N+L(3mg)$ … ③이다. ①, ②, ③에서 $T=mg$, $N=mg$, $x=\frac{2}{3}L$이다.

08 돌림힘의 평형

p, q가 각각 A, B를 당기는 힘의 크기를 T, 받침대가 A를 떠받치는 힘의 크기를 N, C가 B에 작용하는 힘의 크기를 F, 추의 질량을 M이라 하자.



ㄱ. A의 무게중심을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면 $(2L)T=L(F+mg)$이므로 $-F+2T=mg$ … ①이다.

B의 왼쪽 끝을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면 $(3L)4mg+(6L)T=(4L)F$이므로 $2F-3T=6mg$ … ②이다.

①, ②에서 $F=15mg$, $T=8mg$이다.

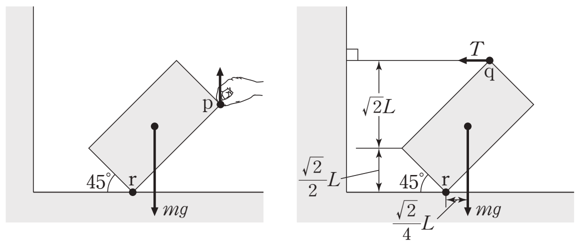
~~ㄴ~~. B는 힘의 평형 상태에 있으므로 $F=T+4mg+Mg$에서 $Mg=3mg$이다. 따라서 추의 질량은 $3m$이다.

ㄷ. A는 힘의 평형 상태에 있으므로 $N=T+2mg+(F+mg)$이다. 따라서 $N=26mg$이다.

09 돌림힘의 평형

회전 팔의 길이를 r, 회전 팔에 수직으로 작용하는 힘의 크기를 F라고 하면, 돌림힘의 크기는 $r\times F$이다. (가), (나)에서 수평면과

물체가 만나는 점을 r, 실이 물체를 당기는 힘의 크기를 T라 하자.



(가) (나)

㉠. (가)에서 r를 회전축으로 할 때, 중력에 의한 돌림힘과 p에 작용하는 힘에 의한 돌림힘이 평형을 이루어야 하므로 p에 작용하는 힘의 방향은 연직 위 방향이다.

㉡. (나)에서 r를 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면
$\left(\frac{\sqrt{2}}{4}L\right)mg=\left(\frac{\sqrt{2}}{2}L+\sqrt{2}L\right)T$에서 $T=\frac{1}{6}mg$이다.

㉢. p에 연직 위 방향으로 힘이 작용하므로 (가)에서 수평면이 물체를 수직으로 떠받치는 힘의 크기는 mg보다 작다. (나)에서 수평면이 물체를 떠받치는 힘의 크기는 mg이다. 따라서 수평면이 물체를 수직으로 떠받치는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

10 돌림힘의 평형

x의 최솟값, 최댓값을 각각 $x_{\min}$, $x_{\max}$라면, $x=x_{\min}$일 때 받침대의 왼쪽 끝점이 A에 작용하는 힘이 0이고, $x=x_{\max}$일 때 받침대의 오른쪽 끝점이 A에 작용하는 힘이 0이다.

② $x=x_{\min}$일 때, B에 연결된 실이 A를 당기는 힘의 크기를 T_1, 중력 가속도를 g라 하고 A의 오른쪽 끝을 회전축으로 A에 돌림힘의 평형을 적용하면, $(8L)mg+(5L)(2mg)=(10L)T_1$이므로 $T_1=\frac{9}{5}mg$이다. 즉, 실이 A를 당기는 힘의 크기가 $\frac{9}{5}mg$보다 커지면 A는 평형을 유지할 수 없다.

천장에 매달린 실과 B가 연결된 지점을 회전축으로 B에 돌림힘의 평형을 적용하면, $(4L)T_1=L(2mg)+(6L-x_{\min})mg$에서 $T_1=\frac{9}{5}mg$이므로 $x_{\min}=\frac{4}{5}L$이다.

$x=x_{\max}$일 때, 실이 A를 당기는 힘의 크기를 T_2라 하고 받침대의 왼쪽 끝을 회전축으로 A에 돌림힘의 평형을 적용하면, $(4L)mg+L(2mg)=(6L)T_2$에서 $T_2=mg$이다. 즉, 실이 A를 당기는 힘의 크기가 mg보다 작아지면 A는 평형을 유지할 수 없다. 천장에 매달린 실과 B에 연결된 지점을 회전축으로 B에 돌림힘의 평형을 적용하면, $(4L)T_2=L(2mg)+(6L-x_{\max})mg$에서 $x_{\max}=4L$이다. 따라서 $x_{\max}-x_{\min}=\frac{16}{5}L$이다.

02 물체의 운동(1)

수능 2점 테스트 본문 23~25쪽

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

01 변위와 이동 거리

자동차가 곡선 경로를 따라 운동하므로 자동차의 속도는 변한다.

~~㉠~~. 자동차는 곡선 경로를 따라 운동하므로 자동차의 운동 방향이 변한다. 따라서 자동차는 등속도 운동을 하지 않는다.

㉡. 이동 거리는 P에서 Q까지의 곡선 경로의 길이이고, 변위의 크기는 P와 Q를 이은 직선 거리이다. 따라서 이동 거리는 변위의 크기보다 크다.

㉢. 이동 거리가 변위의 크기보다 크므로 평균 속도의 크기는 평균 속력보다 작다.

02 등가속도 운동

속도-시간 그래프에서 그래프의 기울기는 가속도이고, 그래프가 시간 축과 이루는 면적은 변위이다.

㉠. $t=0$일 때 $v_x=1\ \mathrm{m/s}$이고, $v_y=2\ \mathrm{m/s}$이므로 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}=2$이다.

㉡. 물체의 가속도의 x성분의 크기는 $1\ \mathrm{m/s^2}$이고, y성분의 크기는 $\frac{1}{2}\ \mathrm{m/s^2}$이다. 따라서 가속도의 크기는
$\sqrt{(1\ \mathrm{m/s^2})^2+\left(\frac{1}{2}\ \mathrm{m/s^2}\right)^2}=\frac{\sqrt{5}}{2}\ \mathrm{m/s^2}$이다. 물체의 질량이 2 kg이므로 1초일 때, 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\sqrt{5}$ N이다.

㉢. 0초부터 2초까지 변위의 x성분의 크기는 4 m이고, y성분의 크기는 3 m이므로 0초부터 2초까지 물체의 변위의 크기는 $\sqrt{(4\ \mathrm{m})^2+(3\ \mathrm{m})^2}=5\ \mathrm{m}$이다.

03 등가속도 운동

물체의 가속도의 x성분, y성분의 크기를 각각 a_x, a_y라 하면 $S_x=100-4t^2$이므로 물체는 $t=5$초일 때 p에 도달하고, $\frac{1}{2}a_xt^2=-4t^2$에서 $a_x=-8\ \mathrm{m/s^2}$이다. $v_y=50-16t$이므로 $t=0$일 때 $v_y=50\ \mathrm{m/s}$이고, $a_yt=-16t$에서 $a_y=-16\ \mathrm{m/s^2}$이다.

㉠. p에서 물체의 속도의 x성분을 v_x라 하면,
$2(-8\ \mathrm{m/s^2})(-100\ \mathrm{m})=v_x^{\ 2}$에서 $v_x=-40\ \mathrm{m/s}$이다.
$v_y=50-16t$에서 $t=5$초일 때 $v_y=-30\ \mathrm{m/s}$이다. 따라서 p에 도달하는 순간 물체의 속력은 $\sqrt{(-40\ \mathrm{m/s})^2+(-30\ \mathrm{m/s})^2}=50\ \mathrm{m/s}$이다.

ㄴ. $t=0$일 때, 물체의 속도의 y성분의 크기는 50 m/s이다. 원점과 p 사이의 거리를 S_y라고 하면,
$2(-16\text{ m/s}^2)S_y=(-30\text{ m/s})^2-(50\text{ m/s})^2$이므로 $S_y=50\text{ m}$이다.

ㄷ. 가속도의 x성분의 크기는 y성분의 크기의 $\frac{1}{2}$배이다.

04 등가속도 운동

A, B가 P에서 Q까지 운동하는 데 걸리는 시간은 $\frac{d}{v_0}$이다.

ㄱ. 같은 시간$\left(\frac{d}{v_0}\right)$ 동안 A, B는 각각 d, $2d$만큼 이동하므로 평균 속력은 B가 A의 2배이다.

ㄴ. Q에서 B의 속도의 x성분의 크기와 y성분의 크기를 각각 v_x, v_y라고 하면 P에서 Q까지 B의 평균 속도의 y성분의 크기는 A의 속도의 크기와 같으므로 $\frac{(0+v_y)}{2}=v_0$에서 $v_y=2v_0$이다. 따라서 Q에서 B의 $v_x=2\sqrt{3}v_0$이다.

ㄷ. B의 가속도의 크기를 a라고 하면 Q에서 B의 속도의 크기는 $4v_0$이므로 $2a(2d)=(4v_0)^2-0$에서 $a=\frac{4v_0^{\,2}}{d}$이다.

05 포물선 운동

A, B는 수평 방향으로 각각 v_0, v_{B}의 속력으로 등속도 운동을 한다.

ㄱ. 수평 이동 거리가 B가 A의 3배이므로 $v_{\mathrm{B}}=3v_0$이다.

ㄴ. 포물선 운동을 하는 동안 이동 거리는 B가 A보다 크므로 평균 속력은 B가 A보다 크다.

ㄷ. B가 포물선 운동을 하는 동안 평균 속도의 연직 성분의 크기는 v_0이다. 수평면에 도달하는 순간 B의 속도의 연직 성분의 크기를 v_y라고 하면 $\frac{(0+v_y)}{2}=v_0$이므로 $v_y=2v_0$이다. 수평면에 도달하는 순간 B의 속도의 수평 성분의 크기는 $3v_0$이므로 수평면에 도달하는 순간, B의 속력은 $\sqrt{(3v_0)^2+(2v_0)^2}=\sqrt{13}v_0$이다.

06 포물선 운동

물체가 포물선 운동을 할 때, 최고점 H에서 수평면에 도달할 때까지 걸리는 시간을 t라 하면, $H=\frac{1}{2}gt^2$에서 $t=\sqrt{\frac{2H}{g}}$이다.

ㄱ. 모눈 한 칸의 간격을 d라 하면, A, B의 최고점 높이가 각각 $4d$, d이므로 최고점에서 수평면에 도달할 때까지 걸리는 시간은 A가 B의 2배이다. 따라서 포물선 운동을 하는 시간은 A가 B의 2배이다.

ㄴ. p에서 A의 속도의 수평 성분의 크기를 v_0, A, B가 포물선 운동을 하는 시간을 각각 $2t_0$, t_0이라 하면, A의 수평 방향 운동에서 $4d=v_0(2t_0)$이다. B의 속도의 수평 성분의 크기를 $v_{\mathrm{B}x}$라고 하면 $8d=v_{\mathrm{B}x}t_0$이므로 $v_{\mathrm{B}x}=4v_0$이다. 따라서 최고점에서 물체의 속력은 B가 A의 4배이다.

ㄷ. A, B가 최고점에서 수평면에 도달하는 시간은 각각 t_0, $\frac{1}{2}t_0$이다. r에서 A, B의 속도의 연직 성분의 크기를 각각 $v_{\mathrm{A}y}$, $v_{\mathrm{B}y}$라 하면, $\left(\frac{0+v_{\mathrm{A}y}}{2}\right)t_0=4d$이고, $\left(\frac{0+v_{\mathrm{B}y}}{2}\right)\left(\frac{1}{2}t_0\right)=d$이므로 $v_{\mathrm{A}y}=4v_0$이고, $v_{\mathrm{B}y}=2v_0$이다.
$v_{\mathrm{A}}=\sqrt{v_0^{\,2}+(4v_0)^2}=\sqrt{17}v_0$, $v_{\mathrm{B}}=\sqrt{(4v_0)^2+(2v_0)^2}=2\sqrt{5}v_0$이다.
따라서 $v_{\mathrm{A}}<v_{\mathrm{B}}$이다.

07 포물선 운동

물체가 p에서 q까지 운동하는 데 걸리는 시간은 2초이므로 물체의 수평 방향 속력은 20 m/s이고, 물체가 p에서 최고점까지 운동하는 데 걸린 시간은 1초이다.

ㄱ. p에서 물체의 속도의 연직 성분의 크기는 10 m/s이고, p로부터 최고점까지 연직 방향으로 운동한 거리는 $\frac{v_{0y}^{\,2}}{2g}=5\text{ m}$이므로 최고점의 높이는 25 m이다.

ㄴ. $v_0=\sqrt{(20\text{ m/s})^2+(10\text{ m/s})^2}=10\sqrt{5}\text{ m/s}$이다.

ㄷ. r에서 속도의 수평 성분과 연직 성분의 크기를 각각 v_x, v_y라고 하면, $v_x=20\text{ m/s}$이고, 최고점에서부터 물체가 운동할 때 변위의 연직 성분의 크기는 속도의 연직 성분의 크기의 제곱에 비례하므로 $5\text{ m}:25\text{ m}=(10\text{ m/s})^2:v_y^{\,2}$에서
$v_y=10\sqrt{5}\text{ m/s}$이다. 따라서 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}=\frac{\sqrt{5}}{2}$이다.

08 포물선 운동

물체가 포물선 운동을 하는 동안 물체의 속도의 수평 성분의 크기는 $\frac{3}{\sqrt{10}}v_0$으로 일정하다.

① 물체가 포물선 운동을 하는 시간을 t라고 하면, $d=\frac{3}{\sqrt{10}}v_0t$에서 $t=\frac{\sqrt{10}d}{3v_0}$이다. 던져지는 순간 물체의 속도의 연직 성분의 크기가 $\frac{1}{\sqrt{10}}v_0$이고, t 동안 연직 방향으로 d만큼 이동하므로
$d=\left(\frac{v_0t}{\sqrt{10}}\right)+\frac{1}{2}gt^2=\left(\frac{v_0}{\sqrt{10}}\right)\left(\frac{\sqrt{10}d}{3v_0}\right)+\frac{1}{2}g\left(\frac{\sqrt{10}d}{3v_0}\right)^2$에서
$v_0=\sqrt{\frac{5}{6}gd}$이다.

09 포물선 운동

p, q에서 속도의 연직 성분의 크기를 각각 v_y, $(v_y-10\text{ m/s})$라 고 하자.

ㄱ. p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간이 1초이므로 속도 변화량의 크기는 $gt=10\text{ m/s}$이다.

ㄴ. $\frac{v_y+(v_y-10\text{ m/s})}{2}\times 1\text{ s}=15\text{ m}$에서 $v_y=20\text{ m/s}$이므로 q에서 물체의 속도의 연직 성분의 크기는 10 m/s이다. 따라서 물

체가 q에서 최고점까지 운동하는 데 걸린 시간은 1초이고, q에서 r까지 운동하는 데 걸리는 시간은 2초이다.

ㄷ. r에서 물체의 속도의 수평 성분의 크기는 $\frac{15}{2}$ m/s이고, 속도의 연직 성분의 크기는 10 m/s이므로 r에서 물체의 속력은 $\sqrt{\left(\frac{15}{2}\text{ m/s}\right)^2+(10\text{ m/s})^2}=\frac{25}{2}$ m/s이다.

10 포물선 운동

p에서 물체의 속도의 수평 성분의 크기는 $\frac{1}{2}v$이고, 속도의 연직 성분의 크기는 $\frac{\sqrt{3}}{2}v$이다.

ㄱ. q에서 물체의 속도의 연직 성분의 크기를 v_y라고 하면 $2(-g)\left(\frac{v^2}{3g}\right)=v_y{}^2-\left(\frac{\sqrt{3}}{2}v\right)^2$에서 $v_y=\frac{1}{2\sqrt{3}}v$이다. q에서 물체의 속도의 수평 성분의 크기를 v_x라 하면 $v_x=\frac{1}{2}v$이므로 q에서 물체의 속력은 $\sqrt{v_x{}^2+v_y{}^2}=\frac{\sqrt{3}}{3}v$이다.

ㄴ. $\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}=\frac{1}{\sqrt{3}}$이다.

ㄷ. 최고점에서 물체가 포물선 운동을 하며 운동할 때, 변위의 연직 성분의 크기는 속도의 연직 성분의 크기의 제곱에 비례한다. 최고점의 높이를 H라고 하면,

$H:\left(H-\frac{v^2}{3g}\right)=\left(\frac{\sqrt{3}}{2}v\right)^2:\left(\frac{1}{2\sqrt{3}}v\right)^2$에서 $H=\frac{3v^2}{8g}$이다.

11 포물선 운동

A가 던져진 순간부터 B와 만나는 순간까지 걸린 시간을 t라 하면 $2h=\frac{1}{2}gt^2$에서 $t=2\sqrt{\frac{h}{g}}$이다.

② t 동안 A의 변위의 연직 성분의 크기는 $\frac{1}{2}vt-\frac{1}{2}gt^2$이고, B의 변위의 크기는 $\frac{1}{2}gt^2$이므로

$\left(\frac{1}{2}vt-\frac{1}{2}gt^2\right)+\frac{1}{2}gt^2=\frac{1}{2}vt=3h$이다. 따라서

$\left(\frac{1}{2}v\right)\left(2\sqrt{\frac{h}{g}}\right)=3h$에서 $v=3\sqrt{gh}$이다.

12 포물선 운동

중력 가속도를 g, A를 던진 순간부터 p에 도달할 때까지 걸린 시간을 t라고 하면, p에서 A의 속력은 v_0+gt, p에서 B의 속도의 연직 성분의 크기는 gt이다.

ㄱ. 평균 속도의 연직 성분의 크기는 A가 B의 2배이므로 $\frac{v_0+(v_0+gt)}{2}:\frac{(0+gt)}{2}=2:1$에서 $gt=2v_0$이다. 따라서 p에서 B의 속도의 연직 성분의 크기는 $2v_0$이고, B가 포물선 운동을 하는 동안 평균 속도의 수평 성분과 연직 성분의 크기가 v_0으로 같으므로 변위의 수평 성분과 연직 성분의 크기도 같다. 따라서 $\tan\theta=1$이다.

ㄴ. p에서 A의 속도의 크기는 $3v_0$이므로 $2g(2h)=(3v_0)^2-v_0{}^2$에서 $g=\frac{2v_0{}^2}{h}$이다.

ㄷ. p에 도달하는 순간 B의 속력은 $\sqrt{v_0{}^2+(2v_0)^2}=\sqrt{5}v_0$이다.

수능 3점 테스트

본문 26~31쪽

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

01 등가속도 운동

물체는 x방향으로는 등속도 운동을 하고, y방향으로는 등가속도 운동을 한다.

ㄱ. $+x$방향으로 1초 간격으로 3 m만큼 운동하므로 물체는 $+x$방향으로 3 m/s의 속력으로 등속도 운동을 하고, $+y$방향으로 1초 간격으로 1 m, 2 m, 3 m만큼 운동하므로 가속도의 방향은 $+y$방향이다.

ㄴ. $+y$방향의 평균 속도의 크기는 0초부터 1초까지는 1 m/s이고, 1초부터 2초까지는 2 m/s이므로 0.5초, 1.5초일 때 물체의 속도의 y성분의 크기는 각각 1 m/s, 2 m/s이다. 따라서 가속도의 크기는 $\frac{(2\text{ m/s}-1\text{ m/s})}{1\text{ s}}=1\text{ m/s}^2$이다.

ㄷ. 1초일 때, 속도의 x성분의 크기는 3 m/s이고, y성분의 크기는 $\frac{3}{2}$ m/s이므로 1초일 때 물체의 속력은 $\sqrt{(3\text{ m/s})^2+\left(\frac{3}{2}\text{ m/s}\right)^2}=\frac{3\sqrt{5}}{2}$ m/s이다.

02 등가속도 운동

등가속도 관계식 $2as=v^2-v_0{}^2$에서 변위 s가 0이면 $v^2=v_0{}^2$이다. 점 p, O, q에서 속도의 x성분 v_x와 y성분 v_y를 나타내면 다음과 같다.

속도 성분	물체 위치		
	p	O	q
v_x	$-\frac{1}{\sqrt{5}}v_0$	$\frac{1}{\sqrt{5}}v_0$	$\frac{3}{\sqrt{5}}v_0$
v_y	$-\frac{2}{\sqrt{5}}v_0$	0	$\frac{2}{\sqrt{5}}v_0$

ㄱ. 물체가 p에서 O까지 운동하는 동안과 O에서 q까지 운동하는 동안 변위의 y성분의 크기가 같으므로 물체의 속도 변화량의 y성분의 크기는 같다. 따라서 물체가 p에서 O까지 운동하는 데 걸린 시간을 t라 하면, O에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간도 t로 같다.

p에서 O까지 속도 변화량의 x성분의 크기가 $\frac{2}{\sqrt{5}}v_0$이므로 q에서 $v_x=\frac{3}{\sqrt{5}}v_0$이다. q에서 $v_y=\frac{2}{\sqrt{5}}v_0$이므로 $v=\sqrt{v_x{}^2+v_y{}^2}=\sqrt{\frac{13}{5}}v_0$이다.

ㄴ. 물체가 p에서 O까지 운동할 때, 변위의 y성분의 크기는 $2d=\frac{1}{2}\left(\frac{2}{\sqrt{5}}v_0+0\right)t$ … ①이고, 물체가 O에서 q까지 운동할 때, 변위의 x성분의 크기는 $x_{\mathrm{q}}=\frac{1}{2}\left(\frac{1}{\sqrt{5}}v_0+\frac{3}{\sqrt{5}}v_0\right)t$ … ②이므로 ①, ②에 의해 $x_{\mathrm{q}}=4d$이다.

ㄷ. 가속도의 x성분과 y성분의 크기를 각각 a_x, a_y라고 하면 $2a_x(4d)=\left(\frac{3}{\sqrt{5}}v_0\right)^2-\left(\frac{1}{\sqrt{5}}v_0\right)^2$에서 $a_x=\frac{v_0{}^2}{5d}$이고, $2a_y(2d)=\left(\frac{2}{\sqrt{5}}v_0\right)^2-0$에서 $a_y=\frac{v_0{}^2}{5d}$이다. 따라서 물체의 가속도의 크기는 $\sqrt{a_x{}^2+a_y{}^2}=\frac{\sqrt{2}v_0{}^2}{5d}$이다.

03 등가속도 운동

물체가 (0, $3d$)를 지날 때 속도의 x성분, y성분의 크기를 각각 $4v$, $3v$라고 하자.

④ (0, $3d$)에서 ($6d$, 0)까지 운동하는 동안 변위의 x성분, y성분 크기의 비는 평균 속도의 x성분, y성분 크기의 비와 같으므로 $6d : 3d=\frac{(4v+0)}{2} : \frac{(5v_0-3v)}{2}$에서 $v=v_0$이다. 따라서 물체가 (0, $3d$)를 지날 때 속력은 $\sqrt{(4v_0)^2+(3v_0)^2}=5v_0$이다. Ⅰ에서 변위의 크기는 $5d$이므로 $2a_1(5d)=(5v_0)^2-v_0{}^2$에서 $a_1=\frac{12v_0{}^2}{5d}$이다. Ⅱ에서 a_2의 가속도의 x성분, y성분을 각각 a_x, a_y라고 하면 $2a_x(6d)=0-(4v_0)^2$에서 $a_x=-\frac{4v_0{}^2}{3d}$이고, $2a_y(-3d)=(-5v_0)^2-(3v_0)^2$에서 $a_y=-\frac{8v_0{}^2}{3d}$이므로 $a_2=\sqrt{a_x{}^2+a_y{}^2}=\frac{4\sqrt{5}v_0{}^2}{3d}$이다. 따라서 $\frac{a_2}{a_1}=\frac{5\sqrt{5}}{9}$이다.

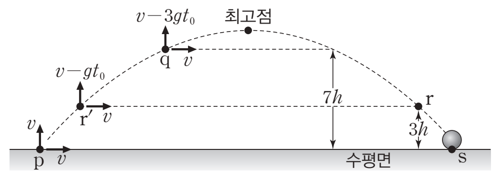
04 등가속도 운동

발사되는 순간, A의 속도의 x성분, y성분은 각각 $\frac{3}{5}v_0$, $\frac{4}{5}v_0$이고, B의 속도의 x성분, y성분은 각각 $-\frac{3}{5}v_0$, $-\frac{4}{5}v_0$이다. p에서 A, B의 속도의 y성분은 각각 0, $-\frac{8}{5}v_0$이다.

② p의 좌표를 (0, y_0)이라고 하면 A, B의 변위의 y성분의 크기 비는 평균 속도의 y성분의 크기 비와 같으므로 $y_0 : (8d-y_0)=\frac{\left(\frac{4}{5}v_0+0\right)}{2} : \frac{\left(\frac{4}{5}v_0+\frac{8}{5}v_0\right)}{2}$에서 $y_0=2d$이다. A가 운동하는 동안 변위의 x성분, y성분의 크기의 비는 $d : 2d=\frac{\left(v_{\mathrm{A}}-\frac{3}{5}v_0\right)}{2} : \frac{\left(\frac{4}{5}v_0+0\right)}{2}$이므로 $v_{\mathrm{A}}=v_0$이다. p에서 B의 속도의 x성분, y성분은 각각 $-\frac{11}{5}v_0$, $-\frac{8}{5}v_0$이므로 $v_{\mathrm{B}}=\sqrt{\frac{37}{5}}v_0$이다. 따라서 $\frac{v_{\mathrm{B}}}{v_{\mathrm{A}}}=\sqrt{\frac{37}{5}}$이다.

05 포물선 운동

p에서 물체의 속도의 수평 성분, 연직 성분의 크기를 각각 v, v라고 하고, r의 대칭점을 r′라고 하면, r′, q에서 속도의 연직 성분은 각각 $v-gt_0$, $v-3gt_0$이다.



ㄱ. 물체가 p에서 r′까지 운동하는 동안과 p에서 q까지 운동하는 동안 평균 속도의 연직 성분의 비는 $\frac{v+(v-gt_0)}{2} : \frac{v+(v-3gt_0)}{2}=\frac{3h}{t_0} : \frac{7h}{3t_0}$에서 $gt_0=\frac{1}{5}v$이다. 따라서 r′, q에서 물체의 속도의 연직 성분의 크기는 각각 $\frac{4}{5}v$, $\frac{2}{5}v$이다. 물체가 r′에서 q까지 운동하는 동안과 q에서 최고점까지 운동하는 동안, 물체의 속도의 연직 성분의 변화량의 크기가 $\frac{2}{5}v$로 같으므로, 물체가 q에서 최고점까지 운동하는 데 걸린 시간은 $2t_0$으로 같다. 따라서 총 운동 시간은 $10t_0$이므로 ㉠은 $6t_0$이다.

ㄴ. q에서 물체의 속력은 $\sqrt{v^2+\left(\frac{2}{5}v\right)^2}=\frac{\sqrt{29}}{5}v$이고, r에서 물체의 속력은 $\sqrt{v^2+\left(\frac{4}{5}v\right)^2}=\frac{\sqrt{41}}{5}v$이다. 따라서 물체의 속력은 r에서가 q에서의 $\sqrt{\frac{41}{29}}$배이다.

ㄷ. 최고점의 높이를 H라고 하면, 물체가 최고점에서 s까지와 r에서 s까지 운동하는 동안 낙하 거리는 연직 성분 속력의 제곱 차에 비례하므로 $[v^2-0] : \left[\left(v^2-\left(\frac{4}{5}v\right)^2\right]=H : 3h$에서 $H=\frac{25}{3}h$이다.

06 포물선 운동

q에서 물체의 운동 방향은 빗면과 나란하므로 빗면에 대해 수직 방향 속도는 0이다.

ㄱ. 물체가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간을 t라고 하면 $\left(\frac{v_0+0}{2}\right)t=5d$이므로 $t=\frac{10d}{v_0}$이다.

ㄴ. 물체는 p에서 r까지 수평 방향으로 $2t$ 동안 $8d\cos\theta$만큼 운동하므로 $(v_0\sin\theta)(2t)=8d\cos\theta$에서 $\tan\theta=\frac{2}{5}$이다.

ㄷ. 물체가 포물선 운동을 하는 동안 속도의 수평 성분의 크기는 $\frac{2}{\sqrt{29}}v_0$으로 일정하다. r에서 물체의 속도의 연직 성분의 크기를 v_y라고 하면, p에서 물체의 속도의 연직 성분의 크기는 $\frac{5}{\sqrt{29}}v_0$이고, 물체는 p에서 r까지 연직 방향으로 $2t$ 동안 $8d\sin\theta$만큼 운동하므로 $\frac{1}{2}\left(v_y-\frac{5}{\sqrt{29}}v_0\right)(2t)=8d\sin\theta$이다. $2t=\frac{20d}{v_0}$이고, $\sin\theta=\frac{2}{\sqrt{29}}$이므로 $v_y=\frac{33}{5\sqrt{29}}v_0$이다. 따라서 r에서 물체의 속도의 연직 성분의 크기는 수평 성분의 크기의 $\frac{33}{10}$배이다.

07 포물선 운동

q에서 B의 속도의 연직 성분의 크기를 v_y, r에서 B의 속도의 수평 성분, 연직 성분의 크기를 각각 v, v라고 하자.

③ B가 포물선 운동을 하는 동안 평균 속도의 수평 성분의 크기와 연직 성분의 크기는 서로 같으므로 $v=\frac{v_y+(-v)}{2}$에서 $v_y=3v$이다. 따라서 $v_\mathrm{B}=\sqrt{(3v)^2+v^2}=\sqrt{10}v$이다. 포물선 운동을 하는 같은 시간 동안 속도 변화량의 연직 성분의 크기는 A, B가 $4v$로 같아야 하므로 r에서 A의 속도의 연직 성분의 크기는 $4v$이다. A가 p에서 r까지 포물선 운동을 하는 동안 평균 속도의 연직 성분의 크기는 $\frac{(0+4v)}{2}=2v$이다. A, B가 포물선 운동을 하는 시간을 t라 하면 p와 r의 높이 차는 $2vt$, p의 높이는 $3vt$, p와 r의 수평 방향으로 떨어진 거리는 $4vt$이므로 p에서 A의 속도의 수평 성분의 크기는 $v_\mathrm{A}=4v$이다. 따라서 $\frac{v_\mathrm{B}}{v_\mathrm{A}}=\frac{\sqrt{10}}{4}$이다.

08 포물선 운동

물체가 포물선 운동을 하는 동안 속도의 수평 성분의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

ㄱ. (가), (나)에서 물체가 포물선 운동을 한 시간을 각각 $2t$, t라고 하면, $(v_0\cos45^\circ)(2t)=(v\cos45^\circ)t=d$에서 $v=2v_0$이다.

~~ㄴ~~. p의 높이를 h라고 하면, (가)에서 연직 방향으로 $\frac{\sqrt{2}}{2}v_0(2t)-\frac{1}{2}g(2t)^2=-h$ … ①이고, (나)에서 연직 방향으로 $\frac{\sqrt{2}}{2}vt-\frac{1}{2}gt^2=h$ … ②이다. ①, ②에서 $h=\frac{3}{5}\sqrt{2}v_0t$ … ③이고, (가)에서 수평 방향으로 $d=\frac{\sqrt{2}}{2}v_0(2t)$이므로 $h=\frac{3}{5}d$이다.

~~ㄷ~~. ①, ③에서 $gt=\frac{4}{5}\sqrt{2}v_0$이므로, (나)의 p에서 물체의 속도의 연직 성분의 크기를 v_y라고 하면, $v_y=2v_0\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)-gt=\frac{\sqrt{2}}{5}v_0$이다. (나)의 p에서 속도의 수평 성분의 크기는 $\sqrt{2}v_0$이므로 (나)에서 물체가 p에 도달하는 순간 속도의 수평 성분의 크기는 속도의 연직 성분 크기의 5배이다.

09 포물선 운동

빗면의 길이와 높이가 d로 같으므로 p, q에서 물체의 운동 방향은 수평 방향에 대해 45°의 각을 이룬다. p, q에서 물체의 속력을 v라 하자.

ㄱ. p에서 q까지 포물선 운동을 하는 데 걸린 시간을 t_1, p에서 최고점까지의 높이 차를 h라고 하면 수평 방향으로 $3d=\left(\frac{v}{\sqrt{2}}\right)t_1$이고, 연직 방향으로 $h=\frac{1}{2}\left(0+\frac{v}{\sqrt{2}}\right)\left(\frac{1}{2}t_1\right)$이므로 $h=\frac{3}{4}d$이다. 따라서 최고점의 높이는 $d+\frac{3}{4}d=\frac{7}{4}d$이다.

ㄴ. 최고점에서 q까지 운동하는 동안 속도의 연직 성분의 크기가 $\frac{v}{\sqrt{2}}$만큼 증가하므로 $2g\left(\frac{3}{4}d\right)=\left(\frac{v}{\sqrt{2}}\right)^2$에서 $v=\sqrt{3gd}$이다. r에서 물체의 속력을 v'라고 하면 경사면에서 물체의 가속도의 크기는 $g\sin45^\circ=\frac{1}{\sqrt{2}}g$이므로 q에서 r까지 등가속도 직선 운동을 하는 동안 $2\left(\frac{1}{\sqrt{2}}g\right)(\sqrt{2}d)=(v')^2-v^2$에서 $v'=\sqrt{5gd}$이다. 따라서 물체의 속력은 r에서가 p에서의 $\sqrt{\frac{5}{3}}$배이다.

ㄷ. 물체가 던져진 위치에서 물체의 속력은 r에서의 속력과 같으므로 $\sqrt{5gd}$이다. 물체가 던져진 위치에서 물체의 속도의 수평 성분, 연직 성분의 크기를 각각 v_x, v_y라고 하면 $\sqrt{5gd}=\sqrt{{v_x}^2+{v_y}^2}$이고, q에서 물체의 속력이 $\sqrt{3gd}$이므로 $v_x=\sqrt{\frac{3}{2}gd}$, $v_y=\sqrt{\frac{7}{2}gd}$이다. 따라서 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}=\sqrt{\frac{7}{3}}$이다.

10 포물선 운동

수평면으로부터 A, B의 최고점 높이가 각각 $\frac{16}{7}h$, $\frac{9}{7}h$이므로 던져진 순간의 A, B의 속도의 연직 성분의 크기는 각각 $\frac{4}{5}v_0$, $\frac{3}{5}v_0$이고, 수평 성분의 크기는 각각 $\frac{3}{5}v_0$, $\frac{4}{5}v_0$이다.

ㄱ. 던져진 순간 속도의 연직 성분의 크기가 A가 B보다 크므로 최고점까지 운동하는 데 걸리는 시간은 A가 B보다 크다.

ㄴ. s에 도달하는 순간 B의 속도의 수평 성분의 크기와 연직 성분의 크기는 $\frac{4}{5}v_0$으로 같으므로 s에 도달하는 순간 B의 속력은 $\frac{4\sqrt{2}}{5}v_0$이다.

~~ㄷ~~. A가 p에서 최고점까지 운동하는 데 걸린 시간을 $4t$라 하면, B가 q에서 최고점까지 운동하는 데 걸린 시간은 $3t$이므로 A, B가 포물선 운동을 하는 데 걸린 시간은 각각 $8t$, $7t$이다. A가 최고점에서 r까지 운동하는 동안

$\frac{1}{2}\left(0+\frac{4}{5}v_0\right)(4t)=\frac{16}{7}h$ … ①이다. A, B의 수평 이동 거리를 각각 s_A, s_B라고 하면 $s_A=\left(\frac{3}{5}v_0\right)(8t)=\frac{24}{5}v_0t$이고, $s_B=\left(\frac{4}{5}v_0\right)(7t)=\frac{28}{5}v_0t$이다. ①에서 $v_0t=\frac{10}{7}h$이므로 r와 s 사이의 거리는 $s_B-s_A=\frac{4}{5}v_0t=\frac{8}{7}h$이다.

11 포물선 운동

A가 빗면에서 $2h$만큼 운동하는 데 걸린 시간을 t_1이라고 하면 빗면에서 가속도의 크기는 $\frac{1}{2}g$이므로 $2h=\frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}g\right)t_1^2$에서 $t_1=2\sqrt{\frac{2h}{g}}$이다.

④ 빗면의 끝점에서 A의 속력을 v라고 하면 $2\left(\frac{1}{2}g\right)(2h)=v^2$에서 $v=\sqrt{2gh}$이고, 빗면의 경사각이 30°이므로 빗면의 끝점에서 A의 속도의 연직 성분의 크기는 $\sqrt{\frac{gh}{2}}$이다. q에 도달하는 순간 A의 속도의 연직 성분의 크기를 v_{Ay}라고 하면

$2g(2h)=(v_{Ay})^2-\left(\sqrt{\frac{gh}{2}}\right)^2$에서 $v_{Ay}=\sqrt{\frac{9gh}{2}}$이다. A가 빗면 끝에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간을 t_2라고 하면

$\sqrt{\frac{gh}{2}}+gt_2=\sqrt{\frac{9gh}{2}}$이므로 $t_2=\sqrt{\frac{2h}{g}}$이다. 따라서 A가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간은 $t_1+t_2=3\sqrt{\frac{2h}{g}}$이다.

p, r에서 B의 속도의 연직 성분의 크기를 각각 v_{By}, v_{By}'라고 하면 $\left(\frac{v_{By}'-v_{By}}{2}\right)(t_1+t_2)=3h$ … ①이고, B가 p에서 r까지 운동하는 동안 속도 변화량의 크기는 $v_{By}+v_{By}'=g(t_1+t_2)$ … ②이다. 따라서 ①, ②에서 $v_{By}=\sqrt{2gh}$, $v_{By}'=\sqrt{8gh}$이다.

p에서 $v_{By}=\sqrt{2gh}$이므로 p에서 B의 속도의 수평 성분의 크기는 $\sqrt{6gh}$이다. 따라서 B가 p에서 r까지 수평 방향으로 이동한 거리를 s_B라고 하면, $s_B=\sqrt{6gh}\times\left(3\sqrt{\frac{2h}{g}}\right)=6\sqrt{3}h$이다.

p와 빗면의 끝점 사이의 수평 거리는 $\sqrt{3}h$이고, 빗면의 끝점에서 A의 속도의 수평 성분의 크기는 $\sqrt{\frac{3gh}{2}}$, A가 빗면의 끝점에서부터 q까지 운동하는 데 걸린 시간은 $t_2=\sqrt{\frac{2h}{g}}$이므로 A가 빗면의 끝점에서부터 q까지 수평 방향으로 이동한 거리는 $\sqrt{3}h$이다. p에서 q까지 A가 수평 방향으로 이동한 거리를 s_A라고 하면 $s_A=2\sqrt{3}h$이다. 따라서 q와 r 사이의 거리는 $s_B-s_A=4\sqrt{3}h$이다.

12 포물선 운동

p에서 속도의 수평 성분의 크기는 B가 A의 2배이므로 A, B가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간은 A가 B의 2배이다.

① p에서 A, B의 속력을 v라고 하고 A, B가 p에서 q까지 운동하는 데 걸리는 시간을 각각 $2t_0$, t_0이라고 하면, q에서 A, B의 속도의 연직 성분의 크기는 각각

$\left(2gt_0-\frac{\sqrt{3}}{2}v\right)$, gt_0이다. p에서 q까지 A, B의 변위의 연직 방향의 크기가 h로 같으므로

$$h=\left[\frac{\left(-\frac{\sqrt{3}}{2}v\right)+\left(2gt_0-\frac{\sqrt{3}}{2}v\right)}{2}\right]\times 2t_0=\left[\frac{0+gt_0}{2}\right]\times t_0$$에서

$gt_0=\frac{2\sqrt{3}}{3}v$이다. 따라서 q에서 A, B의 속도의 연직 성분의 크기는 각각 $\frac{5\sqrt{3}}{6}v$, $\frac{2\sqrt{3}}{3}v$이다. A, B가 각각 던져진 순간부터 q에 도달하는 데까지 걸리는 시간을 각각 t_A, t_B라고 하면, 이때 속도 변화량의 연직 성분의 크기의 비는

$\frac{gt_A}{gt_B}=\frac{\left(\frac{5\sqrt{3}}{6}v\right)\times 2}{\left(\frac{2\sqrt{3}}{3}v\right)\times 2}=\frac{5}{4}$이고, $t_B=2t_0$이므로 $t_A=\frac{5}{2}t_0$이다.

$\Delta t=t_A-t_B=\frac{1}{2}t_0$이고, B가 p에서 q까지 운동할 때,

$2gh=(gt_0)^2$이므로 $\Delta t=\sqrt{\frac{h}{2g}}$이다.

03 물체의 운동(2)

수능 2점 테스트

본문 40~42쪽

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

01 등속 원운동

원운동의 반지름이 r이고, 각속도의 크기가 ω일 때 물체의 속력은 $v=r\omega$이다. 물체의 구심 가속도의 크기는 $a=r\omega^2$이고, 구심력의 크기는 $F=mr\omega^2$이다.

㉠. $v=r\omega$이므로 v는 r에 비례한다. 따라서 속력은 B가 A의 2배이다.

~~ㄴ~~. $a=r\omega^2$이므로 a는 r에 비례한다. 따라서 가속도의 크기는 B가 A의 2배이다.

㉢. $F=mr\omega^2$이므로 물체에 작용하는 구심력의 크기는 A와 B가 같다.

02 등속 원운동

위치의 x성분을 시간 t에 따라 나타낸 그래프에서 진폭은 원 궤도의 반지름(r)과 같고, 주기는 원운동의 주기(T)와 같다.

④ 구심 가속도의 크기는 $a=r\omega^2=r\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$이므로, $a\propto\frac{r}{T^2}$이다. A, B의 반지름은 각각 x_0, $2x_0$이고, 원운동의 주기는 각각 $3t_0$, t_0이므로 $a_A : a_B=\frac{x_0}{(3t_0)^2} : \frac{2x_0}{t_0^2}$이다. 따라서 $\frac{a_B}{a_A}=18$이다.

03 등속 원운동

등속 원운동을 하는 물체의 가속도의 방향은 항상 원의 중심을 향하고, 운동 방향에 수직이다.

㉠. 자동차의 가속도 크기는 a_y의 최댓값인 $4\ \mathrm{m/s^2}$이고, 원운동 주기는 5π초이므로, $a=r\omega^2=r\left(\frac{2\pi}{5\pi\text{초}}\right)^2=4\ \mathrm{m/s^2}$에서 $r=25\ \mathrm{m}$이다.

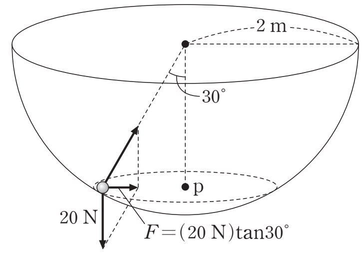
㉡. 자동차의 속력을 v라 하면,

$v=r\omega=25\ \mathrm{m}\times\left(\frac{2\pi}{5\pi\text{초}}\right)=10\ \mathrm{m/s}$이다.

~~ㄷ~~. 자동차는 시계 반대 방향으로 운동한다. $t=\frac{5}{4}\pi$초일 때, $a_y=-4\ \mathrm{m/s^2}$으로 가속도의 방향은 $-y$방향이다. 따라서 이때 자동차의 운동 방향은 $-x$방향이다.

04 구심력과 등속 원운동

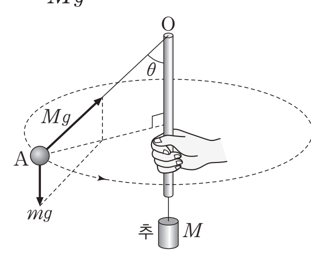
물체에 작용하는 구심력은 물체에 작용하는 중력과 반구의 안쪽면이 물체에 작용하는 힘의 합력과 같고, 그 방향은 원운동의 중심 방향이다.



⑤ 물체에 작용하는 중력의 크기는 20 N이고, 반구의 중심과 물체를 연결한 선분이 연직 아래 방향과 이루는 각이 30°이므로 구심력의 크기는 $F=(20\ \mathrm{N})\tan30°=\frac{20\sqrt{3}}{3}$ N이다.

05 등속 원운동

추의 질량을 M, A에 작용하는 구심력의 크기를 F라 하면, 실이 A를 당기는 힘의 크기는 추에 작용하는 중력의 크기(Mg)와 같다. 따라서 $\cos\theta=\frac{mg}{Mg}$이고, $F=mg\tan\theta=Mg\sin\theta$이다.



㉠. $\cos\theta=\frac{m}{M}=\frac{3}{5}$이므로 $M=\frac{5}{3}m$이다.

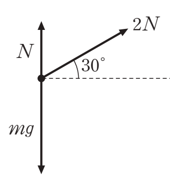
~~ㄴ~~. $F=mg\tan\theta=\frac{4}{3}mg$이다.

㉢. A의 주기를 T라 하면 $\sin\theta=\frac{4}{5}$이므로,

$F=\frac{4}{3}mg=m(l\sin\theta)\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$에서 $T=2\pi\sqrt{\frac{3l}{5g}}$이다.

06 등속 원운동

물체에 작용하는 구심력은 물체에 작용하는 중력, 실이 물체를 당기는 힘, 수평면이 물체를 떠받치는 힘의 합력과 같다.



② 물체의 질량을 m, 수평면이 물체를 떠받치는 힘의 크기를 N, 구심력의 크기를 F라고 하면,

• 연직 방향: $N+2N\sin30°=mg$ … ①

• 수평 방향: $F=2N\cos30°=\frac{mv^2}{(l\cos30°)}$ … ②

①, ②에서 $N=\frac{1}{2}mg$이고, $v=\frac{\sqrt{3gl}}{2}$이다.

07 중력에 의한 등속 원운동

위성에 작용하는 중력이 위성을 원운동시키는 구심력으로 작용하므로 $G\dfrac{Mm}{r^2}=\dfrac{mv^2}{r}$에서 위성의 속력은 $v=\sqrt{\dfrac{GM}{r}}$이다. (G: 중력 상수, M: 행성의 질량, m: 위성의 질량, r: 행성과 위성 사이의 거리)

ㄱ. 가속도의 크기는 $a=G\dfrac{M}{r^2}$이고 행성으로부터 떨어진 거리는 A가 B보다 작으므로 가속도의 크기는 A가 B보다 크다.

~~ㄴ~~. 위성의 속력이 A가 B의 $\sqrt{2}$배이므로 원운동의 반지름은 B가 A의 2배이다. 질량은 B가 A의 2배이므로 위성에 작용하는 중력의 크기는 A가 B의 2배이다.

ㄷ. 위성의 공전 주기는 $T=\dfrac{2\pi r}{v}=2\pi\sqrt{\dfrac{r^3}{GM}}$이므로 $T^2\propto r^3$이다. 반지름은 B가 A의 2배이므로 공전 주기는 B가 A의 $2\sqrt{2}$배이다.

08 케플러 법칙

위성에는 행성에 의한 중력만 작용하므로 위성의 가속도의 크기는 행성으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다.

$$G\frac{Mm}{r^2}=ma,\ a=G\frac{M}{r^2}$$

ㄱ. 위성의 공전 주기는 $6t_0$이므로, 위성이 a에서 c까지, c에서 a까지 운동하는 데 걸린 시간은 $3t_0$으로 같다. 따라서 ㉠은 $2t_0$이다.

ㄴ. 위성의 면적 속도가 일정하므로, 행성 중심에서 위성까지 떨어진 거리가 짧을수록 위성의 속력이 크다. 따라서 위성의 속력은 a에서가 b에서보다 크다.

ㄷ. 위성이 행성과 위성 사이의 거리가 최소인 a를 지날 때가 행성의 가속도의 크기는 최대이다.

09 케플러 법칙

행성의 질량이 M, 위성의 질량이 m, 행성과 위성 사이의 거리가 r일 때, 행성이 위성에 작용하는 중력의 크기는 $G\dfrac{Mm}{r^2}$이다.

ㄱ. p에서 A, B가 행성으로부터 떨어진 거리가 같다. 따라서 p에서 A와 B의 가속도의 크기는 같다.

ㄴ. 위성에 작용하는 중력의 크기는 행성으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다. 행성과 A 사이의 거리의 최댓값이 최솟값의 7배이므로 A에 작용하는 중력의 최댓값은 최솟값의 49배이다.

~~ㄷ~~. 공전 궤도 긴반지름이 A가 B의 4배이므로 공전 주기는 A가 B의 8배이다. B의 공전 주기는 $\dfrac{2\pi d}{v}$이므로 A의 공전 주기는 $\dfrac{16\pi d}{v}$이다.

10 케플러 법칙

위성의 공전 주기의 제곱은 타원 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례한다. ($T^2=ka^3$)

② A가 p에서 q까지 운동하는 동안 걸린 시간을 t_0이라고 하면, A, B의 공전 주기는 각각 $8t_0$, $27t_0$이다.

$\left(\dfrac{27t_0}{8t_0}\right)^2=\left(\dfrac{a_B}{a_A}\right)^3$이므로 $a_A : a_B=4:9$이다.

11 케플러 법칙

위성의 공전 주기의 제곱은 타원 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례한다.

④ A, B의 긴반지름을 각각 r_A, r_B라고 하면,

$\left(\dfrac{r_B}{r_A}\right)^3=\left(\dfrac{8\sqrt{3}}{9}\right)^2=\dfrac{64}{27}=\left(\dfrac{4}{3}\right)^3$이므로 $\dfrac{r_B}{r_A}=\dfrac{4}{3}=\dfrac{2d+x}{d+x}$이다.

따라서 $x=2d$이다. 위성의 가속도의 크기는 행성으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례하므로 $\dfrac{㉠}{a_0}=\dfrac{(2d)^2}{(3d)^2}$에서 ㉠은 $\dfrac{4}{9}a_0$이다.

12 케플러 법칙

행성의 질량이 M, 위성의 질량이 m, 행성과 위성 사이의 거리가 r일 때, 행성이 위성에 작용하는 중력의 크기는 $G\dfrac{Mm}{r^2}$이다.

ㄱ. t_2일 때 행성으로부터 떨어진 거리는 A와 B가 같고, 중력의 크기는 B가 A의 2배이므로 질량은 B가 A의 2배이다.

~~ㄴ~~. t_1부터 t_2까지 A에 작용하는 중력의 크기가 감소하므로 행성과 A의 거리가 증가한다. 따라서 A의 속력은 감소한다.

ㄷ. A에 작용하는 중력의 크기가 t_1일 때가 t_2일 때의 4배이므로, t_1과 t_2일 때 행성과 A 사이의 거리를 각각 r_0, $2r_0$이라 하면, A의 긴반지름과 B의 반지름은 각각 $\dfrac{3}{2}r_0$, $2r_0$이다. A의 공전 주기는 (t_3-t_1)이고, 공전 주기는 B가 A의 $\dfrac{4}{3}\sqrt{\dfrac{4}{3}}$배이므로 B의 공전 주기는 $\dfrac{8\sqrt{3}}{9}(t_3-t_1)$이다.

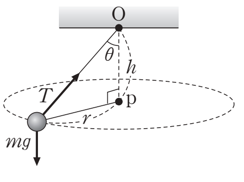
수능 3점 테스트

본문 43~47쪽

01 ②	02 ⑤	03 ③	04 ④	05 ①	06 ②
07 ③	08 ③	09 ①	10 ⑤		

01 등속 원운동

물체에 작용하는 구심력의 크기는 $F=mg\tan\theta=mg\left(\dfrac{r}{h}\right)=mr\omega^2$이다.



$\omega^2=\dfrac{g}{h}$이므로 $\omega\propto\dfrac{1}{\sqrt{h}}$이다.

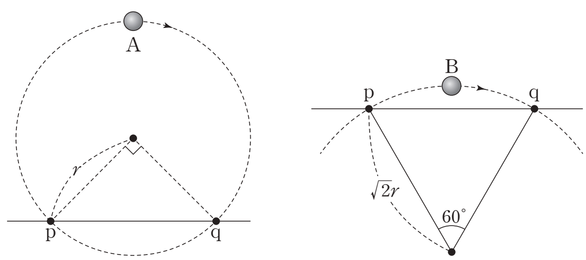
② O로부터 떨어진 거리는 p가 q의 2배이므로 각속도의 크기는 B가 A의 $\sqrt{2}$배이고, 반지름은 B가 A의 2배이므로 $v=r\omega$에서 속력은 B가 A의 $2\sqrt{2}$배이다. A, B의 반지름, 각속도의 크기, 속력, 질량을 나타내면 다음과 같다.

	반지름	각속도의 크기	속력	질량
A	r	ω_0	v_0	$8m$
B	$2r$	$\sqrt{2}\omega_0$	$2\sqrt{2}v_0$	m

따라서 $\dfrac{F_{\rm B}}{F_{\rm A}}=\dfrac{m(2r)(\sqrt{2}\omega_0)^2}{(8m)r(\omega_0)^2}=\dfrac{1}{2}$이다.

02 등속 원운동

A, B의 원운동의 반지름을 각각 r, $\sqrt{2}r$이라 하고, 원운동 궤적을 나타내면 그림과 같다.



ㄱ. A, B의 각속도의 크기를 각각 $\omega_{\rm A}$, $\omega_{\rm B}$라고 하면,

$\omega_{\rm A}=\dfrac{270^\circ}{3t_0}$이고, $\omega_{\rm B}=\dfrac{60^\circ}{2t_0}$이다. 따라서 $\omega_{\rm A}=3\omega_{\rm B}$이다.

ㄴ. 원운동을 하는 물체의 속력은 $v=r\omega$이다. 반지름은 A가 B의 $\dfrac{1}{\sqrt{2}}$배이므로 속력은 A가 B의 $\dfrac{3\sqrt{2}}{2}$배이다.

ㄷ. A, B에 작용하는 구심력의 크기를 각각 $F_{\rm A}$, $F_{\rm B}$라고 하고, A, B의 각속도의 크기를 각각 $3\omega_0$, ω_0이라고 하면

$\dfrac{F_{\rm A}}{F_{\rm B}}=\dfrac{m_0r(3\omega_0)^2}{(9m_0)(\sqrt{2}r)(\omega_0)^2}=\dfrac{\sqrt{2}}{2}$이다.

03 등속 원운동

p, q가 물체를 당기는 힘의 크기를 각각 $T_{\rm p}$, $T_{\rm q}$, 물체에 작용하는 구심력의 크기를 F라고 할 때 물체에 작용하는 힘을 나타내면 다음과 같다.

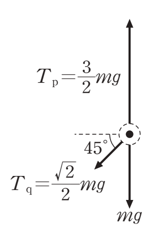
• 연직 방향: $T_{\rm p}=T_{\rm q}\sin45^\circ+mg=3F$ … ①

• 수평 방향: $F=T_{\rm q}\cos45^\circ$ … ②

ㄱ. ①, ②에서 $T_{\rm p}=\dfrac{3}{2}mg$이다.

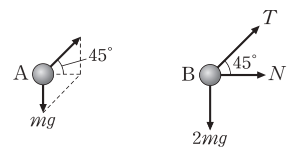
ㄴ. $F=\dfrac{1}{2}mg=\dfrac{mv^2}{r}$에서 $v=\sqrt{\dfrac{gr}{2}}$이다.

~~ㄷ~~. 원운동의 주기는 $T=\dfrac{2\pi r}{v}=\pi\sqrt{\dfrac{8r}{g}}$이다.



04 등속 원운동

원운동의 주기는 A가 B의 $\sqrt{2}$배이고, 원운동의 주기는 $\dfrac{2\pi}{\omega}$이므로 각속도의 크기는 B가 A의 $\sqrt{2}$배이다. A의 구심력의 크기는 $mg\tan45^\circ=mg$이다. (나)에서 실이 B를 당기는 힘의 크기를 T, 원기둥의 안쪽 면이 B에 작용하는 힘의 크기를 N이라 하자.



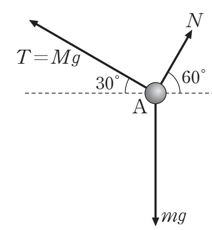
④ (가), (나)에서 원운동의 반지름이 같으므로 A, B의 속력을 각각 v_0, $\sqrt{2}v_0$이라 하고, B의 질량을 $m_{\rm B}$라 하면 운동 에너지는 B가 A의 4배이므로, $4\left(\dfrac{1}{2}mv_0^{\ 2}\right)=\dfrac{1}{2}m_{\rm B}(\sqrt{2}v_0)^2$에서 $m_{\rm B}=2m$이다. 구심력의 크기$\left(\dfrac{mv^2}{r}\right)$는 B가 A의 4배이므로 A, B에 작용하는 구심력의 크기는 각각 mg, $4mg$이다. B에 작용하는 힘에서

• 연직 방향: $T\sin45^\circ=2mg$ … ①

• 수평 방향: $T\cos45^\circ+N=4mg$ … ②

①, ②에서 $T=2\sqrt{2}mg$, $N=2mg$이다.

05 등속 원운동



추의 질량을 M이라 하면, 실이 A를 당기는 힘의 크기는 Mg이다. 원뿔의 바깥면이 A를 떠받치는 힘의 크기를 N이라 하자.

① A에 작용하는 구심력의 크기는 원뿔의 바깥면이 물체에 작용하는 힘의 크기의 2배이므로 $2N$이다.

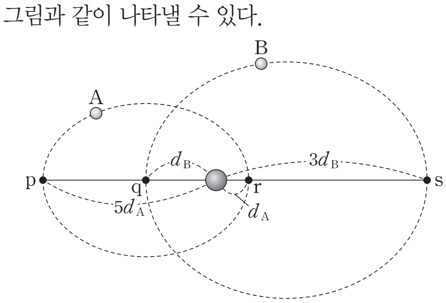
• 연직 방향: $Mg\sin30^\circ+N\sin60^\circ=mg$ … ①

• 수평 방향: $Mg\cos30^\circ-N\cos60^\circ=2N$ … ②

①, ②에서 $Mg=\dfrac{5}{4}mg$이다. 따라서 추의 질량은 $\dfrac{5}{4}m$이다.

06 케플러 법칙

주어진 중력 조건으로부터 행성으로부터 p, q, r, s까지 떨어진 거리를 그림과 같이 나타낼 수 있다.



~~ㄱ~~. 행성으로부터 떨어진 거리는 r에서가 p에서보다 작으므로 A의 속력은 r에서가 p에서보다 크다. 따라서 A의 운동 에너지는 r에서가 p에서보다 크다.

ㄴ. q가 A의 타원 궤도의 중심이므로 $3d_{\mathrm{A}}=d_{\mathrm{A}}+d_{\mathrm{B}}$에서 $d_{\mathrm{B}}=2d_{\mathrm{A}}$이다. A, B의 질량을 각각 m_{A}, m_{B}라고 하면, r에서 A에 작용하는 중력의 크기가 최대이므로 $2F_0=\dfrac{GMm_{\mathrm{A}}}{(d_{\mathrm{A}})^2}$이고, q에서 B에 작용하는 중력의 크기가 최대이므로 $F_0=\dfrac{GMm_{\mathrm{B}}}{(2d_{\mathrm{A}})^2}$이다. 따라서 $m_{\mathrm{B}}=2m_{\mathrm{A}}$이다.

~~ㄷ~~. A, B의 긴반지름이 각각 $3d_{\mathrm{A}}$, $4d_{\mathrm{A}}$로 B가 A의 $\dfrac{4}{3}$배이므로 공전 주기는 B가 A의 $\dfrac{4}{3}\sqrt{\dfrac{4}{3}}=\dfrac{8\sqrt{3}}{9}$배이다.

07 케플러 법칙

중력의 크기는 거리의 제곱에 반비례하므로 $r_2=3r_1$이고, $r_4=2r_3$이다. 따라서 $r_1=\dfrac{2}{3}d$, $r_2=2d$, $r_3=\sqrt{2}d$, $r_4=2\sqrt{2}d$이다.

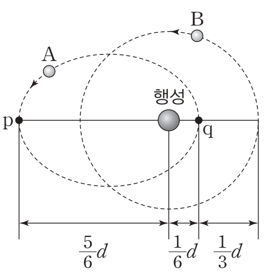
ㄱ. $r_2=2d$이고, $r_4=2\sqrt{2}d$이므로 $r_4=\sqrt{2}r_2$이다.

ㄴ. 위성의 공전 주기의 제곱은 타원 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례한다. A의 긴반지름은 $\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{2}{3}d+2d\right)=\dfrac{4}{3}d$이고, B의 긴반지름은 $\dfrac{1}{2}(\sqrt{2}d+2\sqrt{2}d)=\dfrac{3\sqrt{2}}{2}d$이다. 공전 궤도의 긴반지름이 B가 A보다 길므로 공전 주기는 B가 A보다 크다.

~~ㄷ~~. A, B가 행성으로부터 떨어진 거리가 각각 r_2, r_4일 때, A, B에 작용하는 중력의 크기는 F로 같으므로 A, B의 질량을 각각 m_{A}, m_{B}라고 하면, $F=\dfrac{GMm_{\mathrm{A}}}{(2d)^2}=\dfrac{GMm_{\mathrm{B}}}{(2\sqrt{2}d)^2}$에서 $m_{\mathrm{B}}=2m_{\mathrm{A}}$이다.

08 케플러 법칙

위성에는 행성에 의한 중력만 작용하므로 위성의 가속도의 크기는 행성으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다.



ㄱ. 위성이 행성과 가까울수록 위성의 속력은 크다. 따라서 A가 p에서 q로 운동하는 동안 A의 속력은 증가한다.

~~ㄴ~~. 가속도 조건에 의해 행성과 p 사이의 거리, 행성과 q 사이의 거리는 각각 $\dfrac{5}{6}d$, $\dfrac{1}{6}d$이고, 원 궤도의 반지름은 $\dfrac{1}{2}d$이다. A, B의 공전 궤도의 긴반지름이 같으므로 두 위성의 공전 주기는 같다. A의 타원 궤도와 B의 원 궤도의 전체 면적을 각각 S_{A}, S_{B}라 하고 A, B의 공전 주기를 T라 하면, $S_{\mathrm{A}}<S_{\mathrm{B}}$이므로 $\dfrac{S_{\mathrm{A}}}{T}<\dfrac{S_{\mathrm{B}}}{T}$이다. 따라서 A, B가 각각 1회 공전하는 동안 면적 속도의 크기는 A가 B보다 작다.

ㄷ. A, B의 공전 주기는 T로 같다. 등속 원운동을 하는 B의 가속도의 크기는 $a_0=r\omega^2=\left(\dfrac{1}{2}d\right)\left(\dfrac{2\pi}{T}\right)^2$이다. 따라서 $T=\pi\sqrt{\dfrac{2d}{a_0}}$이다.

09 케플러 법칙

B에 작용하는 중력의 크기의 최댓값은 최솟값의 9배이므로 행성과 p 사이의 거리는 행성과 r 사이의 거리의 3배이다.

① 행성의 공전 주기의 제곱은 긴반지름의 세제곱에 비례한다. 공전 궤도의 긴반지름이 B가 A의 $\dfrac{2}{3}$배이므로, B의 공전 주기는 $\dfrac{2}{3}\sqrt{\dfrac{2}{3}}T_0=\dfrac{2\sqrt{6}}{9}T_0$이다. 타원 궤도의 전체 면적이 $10S$이고, 면적 속도가 일정하므로 B가 p에서 q까지 운동하는 데 걸리는 시간은 $\dfrac{2\sqrt{6}}{9}T_0\times\left(\dfrac{3}{10}\right)=\dfrac{\sqrt{6}}{15}T_0$이다.

10 탈출 속력

천체의 질량을 M, 반지름을 R, 중력 상수를 G라 할 때, 천체 표면에서 물체의 탈출 속력은 $v=\sqrt{\dfrac{2GM}{R}}$이다.

ㄱ. 등속 원운동을 하는 위성에는 행성의 중력이 구심력으로 작용한다. 따라서 A에 작용하는 구심력의 크기는 P가 A에 작용하는 중력의 크기와 같다.

ㄴ. 행성의 반지름이 일정할 때, 탈출 속력은 $v\propto\sqrt{M}$이다. 행성 표면에서 탈출 속력은 Q에서가 P에서의 2배이므로 ㉠은 $4M_0$이다.

ㄷ. 위성이 행성 주위에서 등속 원운동을 할 때, $G\dfrac{Mm}{r^2}=\dfrac{mv^2}{r}$이므로 위성의 속력은 $v=\sqrt{\dfrac{GM}{r}}$이다.

따라서 $v_{\mathrm{A}}=\sqrt{\dfrac{GM_0}{2R_0}}$, $v_{\mathrm{B}}=\sqrt{\dfrac{G(4M_0)}{2R_0}}$이다. Q의 표면에서 B의 탈출 속력은 $2v_0=\sqrt{\dfrac{2G(4M_0)}{R_0}}$이므로, $2v_0>v_{\mathrm{B}}>v_{\mathrm{A}}$이다.

04 일반 상대성 이론

수능 2점 테스트 본문 54~55쪽

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

01 가속 좌표계와 관성력

버스가 가속도 운동을 하면, 버스 안의 물체에 작용하는 관성력은 버스의 가속도 방향의 반대 방향으로 작용한다.

ㄱ. A가 관측할 때, 버스 안에서 물체를 가만히 놓았을 때 물체가 $+x$방향으로 운동하였으므로 물체에 작용하는 관성력의 방향은 $+x$방향이다. 따라서 버스의 가속도 방향은 관성력 방향의 반대 방향인 $-x$방향이다.

ㄴ. A가 관측할 때, 정지 상태인 물체가 등가속도 직선 운동을 하여 $+x$방향으로 d, $-y$방향으로 $2d$를 운동하였으므로 가속도의 x축 성분과 y축 성분의 비는 1 : 2이다. $-y$방향으로 가속도는 중력 가속도 g이므로 x축 방향으로 가속도의 크기는 $\frac{1}{2}g$이고, 물체의 가속도의 크기는 $\sqrt{g^2+\left(\frac{1}{2}g\right)^2}=\frac{\sqrt{5}}{2}g$이다.

ㄷ. B가 관측할 때, A가 물체를 가만히 놓는 순간 물체는 $+x$방향으로 속도 성분이 있고, 물체의 가속도는 $-y$방향으로 중력 가속도 g이므로 수평으로 던져진 물체의 운동을 한다. 따라서 물체의 운동은 포물선 운동으로 관측된다.

02 원운동을 하는 물체의 관성력

등속 원운동을 하는 물체에는 원의 중심 방향으로 구심력이 작용한다. 물체와 함께 등속 원운동을 하는 가속 좌표계에서는 원의 중심을 향하는 방향과 반대 방향으로 원심력이 작용하는 것으로 관측한다.

ㄱ. A는 물체와 함께 등속 원운동을 하므로 A의 좌표계에서 물체는 원 바깥쪽 방향으로 원심력이 작용하여 물체에 작용하는 힘의 합이 0이고, 물체가 정지한 것으로 관측한다. 따라서 A의 좌표계에서 물체는 힘의 평형 상태이다.

ㄴ. 원심력은 관성력으로 가속 좌표계인 A의 좌표계에서 관측되는 힘이다. B의 좌표계에서 물체는 구심력에 의해 등속 원운동을 한다.

ㄷ. 물체의 질량을 m, 실이 연직선과 이루는 각을 θ, 중력 가속도를 g라 할 때, 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 $T=\frac{mg}{\cos\theta}$이다. 따라서 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 A가 관측할 때와 B가 관측할 때가 같다.

03 가속 좌표계와 관성력

우주선의 가속도 방향의 반대 방향으로 우주선 내부의 물체에는 관성력이 작용한다. Q가 관측할 때, 물체가 $-y$방향으로 운동하면서 속력이 증가하므로 물체의 가속도 방향은 $-y$방향이다.

ㄱ. P가 관측할 때, 물체가 이동하는 동안 물체에 작용하는 알짜힘이 0이므로 물체는 속력 v_0으로 등속 직선 운동을 한다.

ㄴ. Q가 관측할 때, 물체는 $-y$방향으로 등가속도 직선 운동을 하므로 거리 d만큼 운동하는 동안 평균 속도의 크기는 $\frac{3v_0}{2}$이다. 낙하 시간을 t라 할 때 $\frac{3v_0}{2}\times t=d$이므로 $t=\frac{2d}{3v_0}$이다.

ㄷ. Q가 관측할 때, 물체의 가속도의 크기는 $a=\frac{\Delta v}{t}=\frac{2v_0-v_0}{\frac{2d}{3v_0}}=\frac{3{v_0}^2}{2d}$이다. Q가 관측하는 물체의 가속도와 P가 관측하는 우주선의 가속도는 크기가 같으므로 우주선의 가속도 크기는 $\frac{3{v_0}^2}{2d}$이다.

04 관성력과 빛의 휘어짐

우주선 내부의 물체에는 우주선의 가속도 방향의 반대 방향으로 관성력이 작용한다. 우주선 내부에서 관측할 때, 관성력이 작용하는 방향으로 빛이 휘어지며 진행한다.

ㄱ. Q를 향해 방출된 빛이 P에 도달한다는 것은 우주선 내부에서 관성력의 방향이 $+y$방향이고, 관성력의 방향과 반대 방향으로 우주선이 가속도 운동을 하므로 우주선의 가속도 방향은 $-y$방향이다.

ㄴ. Q를 향해 방출된 빛이 Q에 도달한다는 것은 빛이 직선 운동을 한 것이므로 관성력이 작용하지 않는 경우이다. 따라서 우주선의 가속도는 0이므로 우주선은 등속도 운동을 한다.

ㄷ. 우주선 내부에서 관성력이 크게 작용할수록 빛의 휘어짐은 커진다. 빛이 P에 도달할 때가 R에 도달할 때보다 빛의 휘어짐이 작으므로 관성력이 작게 작용한다. 따라서 우주선의 가속도의 크기는 빛이 P에 도달할 때가 R에 도달할 때보다 작다.

05 중력 렌즈 현상

일반 상대성 이론은 중력의 발생 원인을 질량이 큰 천체에 의한 시공간의 휘어짐으로 설명한다.

ㄱ. 중력파와 중력 렌즈 현상은 일반 상대성 이론의 증거이다.

ㄴ. 중력 렌즈 현상은 뉴턴의 중력 법칙으로는 설명되지 않고 일반 상대성 이론으로 설명된다.

ㄷ. 중력 렌즈 현상은 질량이 큰 천체에 의해 시공간이 휘어지고, 휘어진 시공간을 따라 빛이 진행하면 빛도 휘어지는 현상 때문에 발생한다.

06 탈출 속력

질량이 M이고 반지름이 R인 천체의 표면에서 탈출 속력은 $\sqrt{\frac{2GM}{R}}$이다.

ㄱ. 천체에서 발사되는 물체의 속력이 천체의 탈출 속력 이상이면 물체는 천체의 중력에서 벗어나 무한히 먼 곳까지 간다.

ㄴ. 탈출 속력은 $\sqrt{\frac{2GM}{R}}$이므로 천체의 질량 M이 클수록 탈출 속력은 커진다.

ㄷ. 탈출 속력이 매우 커서 빛조차 빠져나올 수 없는 천체를 블랙홀이라고 한다.

07 중력 렌즈 현상

천체의 질량에 의해 시공간이 휘어지고, 휘어진 시공간을 따라 빛이 진행하면 빛의 진행 방향이 휘어진다.

ㄱ. 중력 렌즈 효과는 천체에 의해 휘어진 시공간을 빛이 휘어지며 진행하여 나타나는 현상이다.

ㄴ. 밤에는 태양에 의한 중력 렌즈 효과가 나타나지 않으므로 p는 밤에 관측되는 A의 위치이다.

ㄷ. q는 (가)의 중력 렌즈 효과가 (나)에서 발생한 모습으로 태양의 중력에 의해 시공간이 휘어지고, 빛이 휘어진 시공간을 따라 진행하여 q의 위치에서 관측된다.

08 블랙홀

블랙홀은 중력이 매우 커서 빛조차도 탈출할 수 없는 천체이며, 블랙홀의 사건의 지평선 안쪽에서는 시간 팽창이 매우 많이 일어나 시간이 멈춘 상태가 된다.

ㄱ. 탈출 속력은 $\sqrt{\frac{2GM}{r}}$이다. 블랙홀 중심으로부터 거리(r)는 p에서가 q에서보다 크므로 탈출 속력은 p에서가 q에서보다 작다.

[별해] 사건의 지평선 바깥쪽은 탈출 속력이 빛의 속력보다 작고, 사건의 지평선 안쪽은 탈출 속력이 빛의 속력보다 크다.

ㄴ. 중력이 클수록 시간 팽창이 많이 일어나므로 p에서가 q에서보다 시간이 빠르게 간다. q는 사건의 지평선 안쪽에 위치하므로 시간이 멈춘 상태가 된다.

ㄷ. q에서의 탈출 속력은 빛의 속력보다 크므로 q에서 발생한 빛은 블랙홀에서 빠져나올 수 없다.

수능 3점 테스트

본문 56~60쪽

01 ③	**02** ⑤	**03** ⑤	**04** ②	**05** ①	**06** ③
07 ①	**08** ①	**09** ③	**10** ②		

01 가속 좌표계와 관성력

버스의 가속도 방향과 버스 내부의 관성력 방향은 반대이고, 버스의 가속도 크기를 a라 할 때 관성력의 크기는 ma이다.

ㄱ. $0 \sim t$ 동안 버스의 가속도 방향은 $-x$방향이고 크기는 $\frac{2v}{t}$이다. 따라서 A의 좌표계에서 q에 접촉되어 정지한 물체의 관성력은 $+x$방향이고 크기는 $\frac{2mv}{t}$이다. 물체가 q를 관성력 $\frac{2mv}{t}$로 누르므로 q가 물체에 작용하는 힘의 크기는 $\frac{2mv}{t}$이다.

ㄴ. B의 좌표계에서 $t \sim 2t$ 동안 물체에 수평 방향으로 작용하는 힘이 존재하지 않는다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄷ. A의 좌표계에서 $0 \sim t$ 동안 정지 상태의 물체는 $t \sim 2t$ 동안 가속도의 크기가 $\frac{v}{t}$로 q에서 p로 등가속도 운동을 한다. 따라서 p와 q 사이의 거리는 $\frac{vt}{2}$이다.

02 등가 원리와 포물선 운동

우주선 내부에서 관측되는 관성력의 방향은 우주선의 가속도 방향과 반대 방향이다.

ㄱ. P가 관측할 때, 물체가 던져진 이후 물체에 작용하는 알짜힘은 0이므로 물체는 등속 직선 운동을 한다.

ㄴ. Q가 관측할 때, 물체는 $-y$방향으로 떨어지면서 포물선 운동을 하므로 물체에 작용하는 관성력의 방향은 $-y$방향이다. 따라서 P가 관측할 때, 우주선의 가속도 방향은 $+y$방향이다.

ㄷ. 관성력 F의 크기는 질량(m)과 가속도(a)의 곱으로 표현된다 ($F=ma$). Q가 관측할 때, 물체가 포물선 운동하는 시간을 t라 하면, x축 방향으로 $d=vt$이고, y축 방향으로 $d=\frac{1}{2}at^2$이다. 두 식을 연립하면 $a=\frac{2v^2}{d}$이므로 $F=\frac{2mv^2}{d}$이다.

03 원운동을 하는 물체의 관성력

B의 좌표계에서 B와 P는 원의 중심에서 멀어지는 방향으로 원심력이 작용하고, 원심력의 크기는 각속도 ω^2에 비례한다.

ㄱ. B가 관측할 때, P는 원심력에 의해 낙하한다. 따라서 원심력의 크기가 크면 거리 h를 이동하는 시간이 짧고, 원심력의 크기가 작으면 거리 h를 이동하는 시간이 길다. 걸린 시간 t가 ω_1일 때가 ω_2일 때보다 작으므로 원심력의 크기는 ω_1일 때가 ω_2일 때보다 크다. 원심력의 크기와 ω^2은 비례하므로 $\omega_1 > \omega_2$이다.

ㄴ. B의 좌표계에서, B에는 원 바깥쪽 방향으로 원심력이 작용하고, 원의 중심 방향으로 우주선 벽면이 떠받치는 힘이 작용하여 우주선에 대해 정지해 있다. 따라서 B에 작용하는 원심력의 크기와 벽면이 B를 떠받치는 힘의 크기는 같다. B에 작용하는 원심력의 크기는 ω_1일 때가 ω_2일 때보다 크므로, 벽면이 B를 떠받치는 힘의 크기도 ω_1일 때가 ω_2일 때보다 크다.

ㄷ. A가 관측할 때, P에 작용하는 알짜힘은 0이므로 P는 원운동을 하던 속력으로 등속 직선 운동을 한다.

04 가속 좌표계와 관성력

상자의 가속도 방향과 반대 방향으로 A, B에 관성력이 작용하고, 관성력의 크기는 물체의 질량 m과 상자의 가속도 크기 a의 곱이다($F=ma$).

ㄱ. 0초부터 1초까지 상자의 가속도는 아래 방향으로 1 m/s^{2}이다. 상자의 좌표계에서 A에는 아래 방향으로 중력 10 N, 위 방향으로 관성력 1 N, 위 방향으로 B가 A를 받치는 힘 9 N이 작용한다. 따라서 0.5초일 때 A가 B를 누르는 힘은 9 N이다.

[별해] 0초부터 1초까지 A는 아래 방향으로 가속도 1 m/s^{2}으로 운동하므로 A에 작용하는 알짜힘은 아래 방향으로 1 N이다. 따라서 A에는 아래 방향으로 중력 10 N, 위 방향으로 B가 A를 받치는 힘 9 N이 작용하므로 A가 B를 누르는 힘은 9 N이다.

ㄴ. 1초부터 2초까지 상자는 등속도 운동을 하므로 가속도가 0이다. 따라서 상자의 좌표계에서 A와 B에 작용하는 관성력은 0이다.

ㄷ. 2초부터 3초까지 상자의 가속도는 위 방향으로 2 m/s^{2}이다. 상자의 좌표계에서 A에는 아래 방향으로 중력 10 N, 아래 방향으로 관성력(F_1) 2 N이 작용하므로 B가 A를 받치는 힘은 12 N이다. B에는 아래 방향으로 중력 20 N, 아래 방향으로 A가 B를 누르는 힘 12 N, 아래 방향으로 관성력 4 N이 작용하므로 상자가 B를 받치는 힘(F_2)은 20 N+12 N+4 N=36 N이다. 따라서 $F_1 : F_2 = 1 : 18$이다.

[별해] A와 B를 한 덩어리로 보면 A와 B의 중력은 30 N이고, 알짜힘은 위로 6 N이므로 상자가 B를 받치는 힘은 36 N이다.

05 가속 좌표계와 관성력

우주선의 가속도 방향과 우주선 내부에서 물체에 작용하는 관성력의 방향은 반대 방향이다. 우주선의 가속도 방향은 y축과 나란하므로 물체에 작용하는 관성력의 방향도 y축과 나란하다.

ㄱ. B가 관찰할 때, (가)에서 물체가 $+y$방향으로 가속도 운동을 하였으므로 물체에 작용하는 관성력의 방향은 $+y$방향이다. 따라서 우주선의 가속도 방향은 $-y$방향이다.

ㄴ. B가 관찰할 때, 물체는 $+x$방향으로는 등속도, y축 방향으로는 등가속도 운동을 한다. x축 방향으로 이동한 거리는 (나)에서와 (다)에서가 같으므로 물체가 운동하는 시간도 같다.

ㄷ. (가)와 (다)에서 물체가 운동하는 시간은 같고, y축 방향으로 물체가 이동한 거리는 (다)에서가 (가)에서의 2배이므로 $y=\frac{1}{2}at^2$에 의해 가속도는 (다)에서가 (가)에서의 2배이다.

06 등가 원리

일반 상대성 이론의 등가 원리는 중력과 관성력을 구분할 수 없다는 원리이다. (나)에서 우주선은 가속도 운동을 하므로 우주선 내부의 물체에는 가속도 방향의 반대 방향으로 관성력이 작용한다.

ㄱ. (나)에서 우주선의 가속도가 $+y$방향으로 크기가 g이므로 우주선 내부에서 관성력에 의한 가속도는 $-y$방향으로 크기가 g이다. 관성력의 크기는 물체의 질량과 우주선의 가속도의 곱으로 표현되므로 관성력의 크기는 $2mg$이다.

ㄴ. (나)에서 우주선 내부에서는 $-y$방향으로 관성력이 작용하고, 우주선 내부에서 $-y$방향으로 작용하는 힘이 중력 때문인지 관성력 때문인지 구분할 수 없다.

ㄷ. 실의 길이를 l이라 할 때, 단진자의 주기는 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$이다. (가)와 (나)에서 $-y$방향으로 가속도 g가 나타나고, 물체의 질량은 단진자의 주기에 영향을 주지 않으므로 (가)와 (나)에서 단진자의 주기는 같다.

07 관성력과 빛의 휘어짐

가속도 운동하는 우주선 내부에서 진행하는 빛은 우주선의 가속도 방향의 반대 방향으로 관성력이 작용하여 휘어지며 진행한다.

ㄱ. 우주선이 등속도 운동하면 우주선 내부에서 관성력이 작용하지 않으므로 빛은 직진한다. P의 관찰 결과 빛이 틈에서 r까지 직진하므로 (가)에서 우주선은 등속도 운동을 한다.

ㄴ. 빛이 $-y$방향으로 휘어지므로 우주선 내부에서 관성력의 방향은 $-y$방향이다. 따라서 Q에게도 $-y$방향으로 관성력이 작용하므로 Q가 우주선 바닥을 누르는 힘이 작용한다.

ㄷ. 일반 상대성 이론에서는 중력이 큰 위치일수록 시간이 느리게 간다. 등가 원리에 의해 중력과 관성력은 구분되지 않으므로 관성력이 큰 위치에서는 시간이 느리게 간다. A는 등속도 운동하므로 관성력이 작용하지 않아서 P에게는 시간 팽창 효과가 나타나지 않는다. B는 가속도 운동하므로 Q에게는 관성력이 작용하여 시간 팽창 효과가 나타나 시간이 느리게 간다.

08 관성력과 빛의 휘어짐

우주선의 가속도 방향과 우주선 내부에서 작용하는 관성력의 방향은 반대이고, 우주선 내부에서 빛은 관성력 방향으로 휘어짐이 발생하고, 관성력이 클수록 빛의 휘어짐은 커진다.

① 0부터 t_0까지 우주선이 등속도 운동을 하므로 관성력이 작용하지 않는다. 따라서 빛은 진행 방향으로 직진하므로 r에 도달한다.

t_0부터 $2t_0$까지 우주선의 가속도의 방향이 $+y$방향이므로 관성력의 방향은 $-y$방향이다. 따라서 빛은 $-y$방향으로 휘어지고, $2t_0$부터 $3t_0$까지 가속도 크기는 t_0부터 $2t_0$까지 가속도 크기보다 크므로 빛은 $2t_0$부터 $3t_0$일 때 더 많이 휘어져야 하므로 t_0부터 $2t_0$일 때는 s에 도달한다.

$2t_0$부터 $3t_0$, $3t_0$부터 $4t_0$까지 가속도가 $-y$방향이므로 관성력의 방향은 $+y$방향이다. 따라서 빛은 $+y$방향으로 휘어지고 휘어지는 정도는 t_0부터 $2t_0$까지보다 커야 하므로 도달하는 검출기는 p이다.

09 탈출 속력

질량이 M이고 행성의 중심으로부터 거리가 r인 지점에서의 탈출 속력은 $\sqrt{\frac{2GM}{r}}$이다.(G: 중력 상수)

③ 물체가 행성의 중력을 벗어나 무한히 먼 곳까지 가기 위한 최소 속력은 탈출 속력이다. 탈출 속력은 $\sqrt{\frac{2GM}{r}}$이므로 물체의 질량은 관계없다. (가)에서 $v=\sqrt{\frac{2GM_1}{4R}}$이고, (나)에서 $v=\sqrt{\frac{2GM_2}{4R}}$이다. 탈출 속력은 (가)와 (나)에서 같으므로 $\frac{M_1}{M_2}=1$이다.

10 일반 상대성 이론과 중력 렌즈 현상

일반 상대성 이론에서 매우 큰 질량을 가진 물체는 시공간을 휘게 하고, 빛이 휘어진 시공간을 진행하면 빛도 휘어진 시공간을 따라 휘어지며 진행한다.

~~ㄱ~~. 광원에서 퍼지는 빛이 렌즈를 통과하며 모여야 카메라에 광원의 빛이 도달할 수 있다. 퍼지는 빛을 모아주는 렌즈는 볼록 렌즈이다. 따라서 (다)에서 사용하는 렌즈는 볼록 렌즈이다.

~~ㄴ~~. 렌즈를 통과하며 휘어진 빛이 카메라에 들어오면 휘어진 빛의 연장선상에 광원이 위치하는 것으로 관측된다. 따라서 카메라에서 관측되는 광원의 위치는 실제 광원의 위치와 다르다.

ㄷ. 중력 렌즈 효과는 질량이 큰 천체가 볼록 렌즈처럼 진행하는 빛의 진행 경로를 바꿔서 발생하는 현상이다. 실험 결과는 중력 렌즈 효과의 빛의 진행 경로와 유사하다.

05 일과 에너지

수능 2점 테스트 본문 70~73쪽

01 ③	02 ②	03 ③	04 ⑤	05 ②	06 ⑤
07 ①	08 ③	09 ②	10 ①	11 ④	12 ④
13 ②	14 ④	15 ①	16 ④		

01 일과 에너지

마찰이 없는 빗면을 따라 올라가는 물체는 역학적 에너지 보존 법칙에 의해 운동 에너지의 감소량이 중력 퍼텐셜 에너지의 증가량과 같다.

ㄱ. 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같다. 물체가 p에서 q까지 이동하는 동안 알짜힘이 한 일은 $-mgd\sin\theta$이므로 운동 에너지의 감소량은 $mgd\sin\theta$이다. q에서 물체가 정지하므로 p에서 운동 에너지는 $mgd\sin\theta$이다.

ㄴ. 운동 에너지의 감소량은 $\frac{1}{2}mv^2$이므로 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 $\frac{1}{2}mv^2$이다.

~~ㄷ~~. 빗면이 물체를 떠받치는 힘은 물체의 이동 방향과 수직 방향이다. 따라서 빗면이 물체를 떠받치는 힘이 물체에 한 일은 0이다.

02 힘과 거리 그래프

물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

② p에서 q까지 물체의 운동 에너지 변화량은 $\frac{1}{2}m(49v^2-v^2)=24mv^2$이고, p에서 q까지 알짜힘이 한 일은 $F_0\times 2d+2F_0\times 3d=8F_0d$이다. 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같으므로 $24mv^2=8F_0d$이고, $v=\sqrt{\frac{F_0d}{3m}}$이다.

03 일 · 운동 에너지 정리

물체가 xy 평면에서 등가속도 운동을 하므로 물체의 가속도는 일정하다. 또한, 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

ㄱ. p에서 발사한 후 q를 통과할 때까지 물체는 x축 방향으로 등가속도 운동을 하므로 x축 방향의 평균 속도의 크기는 $\frac{v_0}{2}$이다. 운동 시간을 t라 할 때 $d=\frac{v_0}{2}t$이므로 $t=\frac{2d}{v_0}$이다.

ㄴ. $x=d$를 통과할 때의 속력을 v라 하면, y축 방향으로 등가속도 운동을 하므로 $d=\frac{v}{2}t$이다. $t=\frac{2d}{v_0}$이므로 $v=v_0$이다. p

에서 q까지 속도 변화량의 크기는 $\sqrt{2}v_0$이므로 가속도의 크기는 $\frac{\sqrt{2}v_0^2}{2d}$이다.

ㄴ. 알짜힘이 한 일은 운동 에너지 변화량과 같다. p에서 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv_0^2$이고, q에서 운동 에너지도 $\frac{1}{2}mv_0^2$이므로 운동 에너지의 변화량은 0이다. 따라서 알짜힘이 한 일도 0이다.

04 타원 궤도 운동의 역학적 에너지

A와 B는 지구 중력에 의해 운동하므로 역학적 에너지는 보존된다.

ㄱ. A는 지구를 중심으로 등속 원운동을 하므로 중력이 구심력으로 작용한다. 중력은 원 궤도의 중심 방향이고, A의 이동 방향은 원 궤도의 접선 방향이므로 힘의 방향과 이동 방향은 수직이다. 따라서 중력이 A에 하는 일은 0이고, A의 역학적 에너지는 변하지 않는다.

ㄴ. 중력에 의해 타원 궤도 운동을 하는 물체는 행성에서 가장 가까운 지점을 통과할 때 속력이 최대이고, 가장 먼 지점을 통과할 때 속력이 최소이다. 따라서 B는 p에 가까울수록 속력이 작고, 운동 에너지는 감소한다.

ㄷ. 대포에서 발사될 때 A와 B의 중력 퍼텐셜 에너지는 같고, 속력은 B가 A보다 크므로 운동 에너지는 B가 A보다 크다. 따라서 역학적 에너지는 B가 A보다 크다.

05 일과 에너지

Ⅰ에서 역학적 에너지 감소량은 중력 퍼텐셜 에너지 변화량과 운동 에너지 변화량의 합이다.

② Ⅰ에서 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 mgh이므로 운동 에너지 증가량은 $\frac{1}{3}mgh$이고, 역학적 에너지 감소량은 $\frac{2}{3}mgh$이다. Ⅱ에서 가속도의 크기를 a라 할 때 역학적 에너지 감소량은 mah이다. p에서 가만히 놓은 물체가 높이 h인 지점에서 정지할 때까지 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $2mgh$이므로 역학적 에너지 감소량은 $\frac{2}{3}mgh+mah=2mgh$이다. 따라서 $a=\frac{4}{3}g$이다.

06 포물선 운동과 역학적 에너지

수평으로 던져진 물체가 포물선 운동을 할 때, 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 운동 에너지 증가량이 같다.

ㄱ. p에서 r까지 운동 에너지의 증가량은 $4E_0$이고, 역학적 에너지가 보존되므로 중력 퍼텐셜 에너지 감소량도 $4E_0$이다.

ㄴ. p에서 q까지 운동 에너지 증가량이 E_0이므로 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 E_0이다. p와 r의 높이 차는 h이고 중력 퍼텐셜 에너지의 차이는 $4E_0$이므로 중력 퍼텐셜 에너지 차이가 E_0인 p와 q는 높이 차가 $\frac{h}{4}$이다.

ㄷ. r에서 수평 성분의 운동 에너지는 E_0이므로 연직 성분의 운동 에너지는 $4E_0$이다. 속도의 수평 성분의 크기를 v라 하면, 연직 성분의 크기는 $2v$이다. 물체의 낙하 시간을 t라 할 때, 수평 이동 거리 $d=vt$이고, p에서 r까지 연직 방향으로는 등가속도 직선 운동을 하므로 평균 속도의 크기는 $\frac{0+2v}{2}=v$이고 $h=vt$이다. 따라서 $d=h$이다.

07 연결된 물체의 운동과 역학적 에너지

B가 p에서 q까지 운동하는 동안 A, B, C의 전체 역학적 에너지는 보존된다.

ㄱ. B가 p에서 q까지 운동하는 동안 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 mgd이므로 C의 역학적 에너지 감소량은 $\frac{9}{5}mgd$이다. C의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량이 $3mgd$이므로 C의 운동 에너지 증가량은 $\frac{6}{5}mgd$이고, A의 운동 에너지 증가량은 $\frac{2}{5}mgd$이다. A와 C의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $2mgd$이므로 A, B, C의 운동 에너지 증가량은 $2mgd$이고, B의 운동 에너지 증가량은 A와 같은 $\frac{2}{5}mgd$이다. 따라서 A와 B의 질량은 같다.

ㄴ. p−q와 q−r의 거리는 d로 같고, p와 r에서 B의 속력이 각각 0이므로 p−q에서 A, B, C의 운동 에너지 증가량과 q−r에서 운동 에너지 감소량은 같다. 따라서 A, B, C를 한 덩어리로 생각할 때 알짜힘의 크기는 $2mg$로 같고 방향은 반대이다. 따라서 마찰력의 크기는 $4mg$이다.

ㄷ. A에 연결된 실이 A를 당기는 힘이 한 일은 A의 역학적 에너지 증가량과 같다. B가 q에서 r까지 이동하는 동안 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량과 운동 에너지 감소량은 각각 mgd, $\frac{2}{5}mgd$이므로 A의 역학적 에너지 증가량은 $\frac{3}{5}mgd$이다.

08 단진자 운동과 역학적 에너지

추가 단진자 운동을 할 때 역학적 에너지는 보존된다.

ㄱ. 역학적 에너지가 보존되므로 A에서 B로 운동할 때 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 운동 에너지 증가량과 같고, B에서 C로 운동할 때 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 운동 에너지 감소량과 같다. 따라서 A와 C는 같은 높이이므로 $\theta_1=\theta_2$이다.

ㄴ. 실이 연직선과 이루는 각도를 θ라 할 때, 추가 받는 알짜힘의 크기는 $mg\sin\theta$이고 방향은 곡선 운동 경로에서 접선 방향이다. 따라서 각도의 변화에 따라 알짜힘이 변하므로 등가속도 운동이 아니다.

ㄷ. B가 최저점이므로 중력 퍼텐셜 에너지는 최소이고 운동 에너지는 최대이다.

09 포물선 운동과 역학적 에너지

평면상에서 운동하는 물체의 운동 에너지는 수평 성분의 운동 에너지와 수직 성분의 운동 에너지의 합과 같다.

X. A와 B는 r에서 만날 때까지 수평 이동 거리가 같고 걸린 시간이 같으므로 속도의 수평 성분의 크기는 같다. 따라서 수평 성분의 운동 에너지가 같다. p에서 A의 운동 에너지가 E_0이므로 q에서 B의 수평 성분 운동 에너지도 E_0이다. q에서 B의 운동 에너지가 $4E_0$이므로 B의 연직 성분 운동 에너지는 $3E_0$이다. B의 수평 성분, 연직 성분 운동 에너지 비가 1 : 3이므로 속력의 비는 $1:\sqrt{3}$이다. 따라서 $\tan\theta=\sqrt{3}$이다.
ㄴ. q와 r에서 B의 수직 성분 운동 에너지는 각각 $3E_0$, 0이므로 운동 에너지 감소량은 $3E_0$이고, 역학적 에너지 보존 법칙에 의해 중력 퍼텐셜 에너지 증가량도 $3E_0$이다. 따라서 r의 높이를 h라 할 때, $3E_0=mgh$이므로 $h=\dfrac{3E_0}{mg}$이다.
X. r에서 B의 중력 퍼텐셜 에너지가 $3E_0$이므로 A의 중력 퍼텐셜 에너지도 $3E_0$이다. A의 역학적 에너지는 $7E_0$이므로 r에서 A의 운동 에너지는 $4E_0$이다. r에서 B의 운동 에너지는 E_0이므로 운동 에너지는 A가 B의 4배이다.

10 단진자 운동과 역학적 에너지

추에 작용하는 알짜힘의 크기는 $mg\sin\theta$이다.
ㄱ. 실의 길이는 Ⅰ과 Ⅲ에서가 같고, Ⅱ와 Ⅳ에서가 같다. 또한, 주기는 실의 길이가 길수록 크므로 $T_1=T_3<T_2=T_4$이다.
X. 추의 최대 속력은 최고점과 최저점의 높이 차(h)가 클수록 크다. $h=l(1-\cos\theta)$이므로 Ⅰ에서 높이 차 $h_1=l_0(1-\cos\theta_0)$이고, Ⅱ에서 높이 차 $h_2=2l_0(1-\cos\theta_0)$이다. 높이 차가 Ⅱ에서 Ⅰ에서보다 크므로 최대 속력은 Ⅱ에서 Ⅰ에서보다 크다.
X. 추에 작용하는 알짜힘의 크기는 $mg\sin\theta$이다. Ⅲ과 Ⅳ에서 m이 같고 θ가 같으므로 알짜힘의 최대 크기도 같다.

11 단진자 운동과 역학적 에너지

실의 길이를 l, 중력 가속도를 g라 할 때, 단진자의 주기는 $2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$이다.
X. A와 B가 연결된 실의 길이의 비는 1 : 2이므로 주기의 비는 $1:\sqrt{2}$이다.
ㄴ. 최고점에서 실이 연직선과 이루는 각을 θ라 할 때, 최고점과 최저점의 높이 차는 $h=l(1-\cos\theta)$이다. A와 B의 질량비는 2 : 1이고, 높이 차는 1 : 2이므로 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 같다.
ㄷ. 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 운동 에너지 증가량과 같으므로 최저점에서 A와 B의 운동 에너지$\left(\dfrac{1}{2}mv^2\right)$는 같다. A와 B의 질량비가 2 : 1이므로 속력의 비는 $1:\sqrt{2}$이다.

12 단진자 운동과 역학적 에너지

A와 B는 정지 상태이므로 A와 B에 작용하는 힘의 합력은 0이다.
X. q와 s가 물체를 당기는 힘의 크기를 각각 $2T$, $3T$라 할 때, p와 r가 물체를 당기는 힘의 수평 성분의 크기는 각각 $2T$, $3T$이다. 또한, p와 r에 걸리는 힘의 연직 성분의 크기는 각각 $2mg$, $3mg$이다. 따라서 $\tan\theta_1=\dfrac{2T}{2mg}$이고, $\tan\theta_2=\dfrac{3T}{3mg}$이므로 $\theta_1=\theta_2$이다.
ㄴ. p가 A를 당기는 힘의 크기와 r가 B를 당기는 힘의 크기를 각각 T_{p}, T_{r}라 할 때, $T_{\mathrm{p}}=\dfrac{2mg}{\cos\theta_1}$, $T_{\mathrm{r}}=\dfrac{3mg}{\cos\theta_2}$이다. $\theta_1=\theta_2$이므로 $T_{\mathrm{p}}:T_{\mathrm{r}}=2:3$이다.
ㄷ. $\theta=\theta_1=\theta_2$라 할 때, 단진동하는 A, B의 최고점과 최저점의 높이 차(h)는 각각 $2l(1-\cos\theta)$, $3l(1-\cos\theta)$이다. h에 의한 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 운동 에너지 증가량과 같으므로 A, B의 최대 속력은 각각 $\sqrt{4gl(1-\cos\theta)}$, $\sqrt{6gl(1-\cos\theta)}$이다. 따라서 최대 속력은 B가 A보다 크다.

13 단진자 운동의 주기

단진자에서 추의 최대 운동 에너지는 최고점, 최저점에서의 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량(ΔE_{p})과 같다.
X. 주기는 운동 상태가 반복되는 시간 간격이다. $t=0$일 때 추가 한쪽 최고점에 위치한 상태이고, $t=2t_0$일 때 추는 반대편 최고점에 위치한 상태이다. 따라서 $2t_0$은 주기의 절반의 시간이므로 주기는 $4t_0$이다.
ㄴ. $\Delta E_{\mathrm{p}}=1.5E_0-0.5E_0=E_0$이다. 따라서 추의 최대 운동 에너지는 E_0이다.
X. $t=2t_0$일 때 추는 최고점에 위치하므로 $mg\sin\theta$의 알짜힘이 작용한다. (θ: 최고점에서 실이 연직선과 이루는 각도)

14 포물선 운동과 역학적 에너지

진자 운동과 포물선 운동에서 물체의 역학적 에너지는 보존된다. 포물선 운동에서 물체의 수평 성분 속도는 일정하다.
X. p와 q의 높이 차는 $R\cos60^\circ=\dfrac{R}{2}$이고, p와 q에서 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 운동 에너지 증가량과 같으므로 q에서 운동 에너지는 $\dfrac{1}{2}mgR$이고, q에서의 속력은 $\sqrt{gR}$이다(m: 물체의 질량, g: 중력 가속도). q에서 속도의 수평 성분의 크기는 $\dfrac{\sqrt{gR}}{2}$이므로, r에서 속력은 $\dfrac{\sqrt{gR}}{2}$이고 운동 에너지는 $\dfrac{1}{8}mgR$이다. 따라서 물체의 운동 에너지는 q에서가 r에서의 4배이다.
ㄴ. p에서 r까지 운동 에너지 변화량은 $\dfrac{1}{8}mgR$이므로 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $\dfrac{1}{8}mgR$이다. 따라서 p와 r의 높이 차는 $\dfrac{1}{8}R$이므로 r의 높이는 $R-\dfrac{1}{8}R=\dfrac{7}{8}R$이다.
ㄷ. p에서 s까지 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 mgR이므로 s에서 운동 에너지는 mgR이다. s에서 수평 성분의 운동 에너지는 $\dfrac{1}{8}mgR$이므로 연직 성분의 운동 에너지는 $\dfrac{7}{8}mgR$이고, 연직

성분 속도는 $\frac{\sqrt{7gR}}{2}$이다. s에서 수평 성분의 속도는 $\frac{\sqrt{gR}}{2}$이므로

$$\tan\theta=\frac{\frac{\sqrt{7gR}}{2}}{\frac{\sqrt{gR}}{2}}=\sqrt{7}\text{이다.}$$

15 열의 일당량

액체의 비열(c)은 액체가 흡수하는 열량(Q)에 비례하고 액체의 질량(m)과 액체의 온도 변화량(ΔT)에 반비례한다.

① 추가 액체에 한 일과 액체가 얻은 열량은 $W=JQ$의 관계가 성립한다. (J: 열의 일당량)

$W=2mgh=2\times21\times10\times1=420(\mathrm{J})$이므로

$Q=\frac{W}{J}=\frac{420\ \mathrm{J}}{4.2\ \mathrm{J/cal}}=100\ \mathrm{cal}$이다. 따라서 액체의 비열은

$c=\frac{Q}{m\Delta T}=\frac{100\ \mathrm{cal}}{1\ \mathrm{kg}\times0.1\ ℃}=1000\ \mathrm{cal/kg\cdot℃}$이다.

16 열역학 제1법칙

기체가 흡수한 열에너지(Q)는 기체의 내부 에너지 변화량(ΔU)과 기체가 한 일(W)의 합과 같다. ➡ $Q=\Delta U+W$

~~ㄱ~~. (가)와 (나)에서 피스톤은 정지하므로 피스톤에 작용하는 알짜힘은 0이다. 피스톤의 중력에 의한 압력은 (가)와 (나)에서 같으므로 A의 압력은 (가)와 (나)에서 같다.

ㄴ. (가)와 (나)에서 피스톤은 정지해 있으므로 피스톤의 역학적 에너지 변화량(ΔE)은 피스톤의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량과 같다. $\Delta E=mgh=10\times10\times0.5=50(\mathrm{J})$이다.

ㄷ. 피스톤의 역학적 에너지 변화량은 A가 피스톤에 한 일과 같다. $W=50\ \mathrm{J}$이고, $Q=\Delta U+W$에서 $\Delta U=120\ \mathrm{J}-50\ \mathrm{J}=70\ \mathrm{J}$이다.

수능 3점 테스트

본문 74~81쪽

01 ④	02 ⑤	03 ②	04 ⑤	05 ②	06 ③
07 ②	08 ⑤	09 ⑤	10 ①	11 ③	12 ②
13 ①	14 ⑤	15 ③	16 ⑤		

01 일과 에너지

질량이 m인 물체가 경사각이 θ인 빗면에 놓여 있을 때 물체에 작용하는 중력의 빗면과 나란한 성분의 힘은 $mg\sin\theta$이다. 또한, 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

~~ㄱ~~. (가)에서 A와 B에 작용하는 중력의 빗면과 나란한 성분의 힘은 빗면 아래 방향으로 $2mg\sin\theta$이고, F의 빗면 위 방향으로 작용하는 힘의 크기는 $F\cos\theta$이다. A와 B의 알짜힘은 0이므로 $2mg\sin\theta=F\cos\theta$에서 $F=2mg\tan\theta$이다.

ㄴ. (나)에서 A는 빗면 아래 방향으로 알짜힘의 크기가 $mg\sin\theta$의 힘이 작용하므로 가속도의 크기는 $g\sin\theta$이다. (나)에서 B에는 빗면 아래 방향으로 $mg\sin\theta$의 힘이 작용하고, 빗면 위 방향으로 $F\cos\theta$의 힘이 작용하므로 B의 알짜힘의 크기는 $mg\sin\theta$이고, 가속도의 크기는 $g\sin\theta$이다.

ㄷ. p와 q 사이의 거리를 d라 할 때, p에서 q까지 운동하는 동안 B의 운동 에너지 증가량(ΔE_{k})은 B에 작용하는 알짜힘이 한 일과 같으므로 $\Delta E_{\mathrm{k}}=mg\sin\theta\times d$이다. p와 q의 높이 차($h$)는 $h=d\sin\theta$이므로 p에서 q까지 운동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지 증가량(ΔE_{p})은 $\Delta E_{\mathrm{p}}=mgd\sin\theta$이다.

02 일 · 운동 에너지 정리

Ⅰ과 Ⅱ에서 물체는 각각 포물선 운동하므로 Ⅰ과 Ⅱ에서 물체는 각각 등가속도 운동을 한다.

ㄱ. $y=2d$인 점을 통과하는 속력을 v_1, Ⅰ에서 운동 시간을 t_1이라 할 때, Ⅰ에서 x축 방향과 y축 방향으로 각각 등가속도 직선 운동을 하므로 $\frac{v_0}{2}t_1=2d$, $\frac{v_1}{2}t_1=d$이다. 따라서 $v_1=\frac{v_0}{2}$이다.

ㄴ. $x=4d$인 점을 통과하는 속력을 v_2, Ⅱ에서 운동 시간을 t_2라 할 때, Ⅱ에서 x축 방향과 y축 방향으로 각각 등가속도 직선 운동을 하므로 $\frac{v_0}{4}t_2=4d$, $\frac{v_2}{2}t_2=2d$이다. 따라서 $v_2=\frac{v_0}{4}$이다. Ⅰ에서 속도 변화량의 크기는 $\frac{\sqrt{5}}{2}v_0$이고, Ⅱ에서 속도 변화량의 크기는 $\frac{\sqrt{5}}{4}v_0$이다. $t_1:t_2=1:4$이므로 가속도의 크기는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 8배이다.

ㄷ. 알짜힘이 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같고, Ⅰ에서 운동 에너지의 감소량은 $\frac{1}{2}m\left(v_0^2-\frac{v_0^2}{4}\right)=\frac{1}{2}\times m\times\frac{3v_0^2}{4}$이고, Ⅱ에서 운동 에너지의 감소량은 $\frac{1}{2}m\left(\frac{v_0^2}{4}-\frac{v_0^2}{16}\right)=\frac{1}{2}\times m\times\frac{3v_0^2}{16}$이므로 $\left|\frac{W_{\mathrm{I}}}{W_{\mathrm{II}}}\right|=4$이다.

03 힘과 거리 그래프

전동기가 B에 한 일은 A와 B의 역학적 에너지 증가량과 같다. 또한, 빗면의 경사각이 30°이므로 A가 빗면을 따라 거리 d만큼 이동하면 A의 높이는 $\frac{d}{2}$만큼 변한다.

~~ㄱ~~. $0\sim d$를 이동하는 동안 전동기가 B에 한 일은 $2mgd$이므로 A와 B의 역학적 에너지 증가량은 $2mgd$이다. A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 $\frac{1}{2}mgd$이므로 A와 B의 운동 에너지 증가량의

합은 $\frac{3}{2}mgd$이다. A와 B의 질량비가 1 : 2이므로 A와 B의 운동 에너지 증가량은 각각 $\frac{1}{2}mgd$, mgd이고, A와 B의 역학적 에너지 증가량은 각각 mgd로 같다.

~~ㄴ~~. d~$2d$를 이동하는 동안 전동기가 B에 한 일은 mgd이므로 A와 B의 역학적 에너지 증가량의 합은 mgd이다. A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 $\frac{1}{2}mgd$이므로 A와 B의 운동 에너지 증가량의 합은 $\frac{1}{2}mgd$이고, A와 B의 운동 에너지 증가량은 각각 $\frac{1}{6}mgd$, $\frac{1}{3}mgd$이다. 따라서 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 운동 에너지 증가량보다 크다.

ㄷ. B의 운동 에너지 증가량은 0~d를 이동하는 동안 mgd이고, d~$2d$를 이동하는 동안 $\frac{1}{3}mgd$이므로 $2d$일 때 B의 운동 에너지는 $\frac{4}{3}mgd$이다.

04 일과 에너지

빗면에서 물체의 가속도의 크기는 $g\sin\theta$이고, 마찰 구간 Ⅰ과 Ⅲ에서 구간 거리가 같으므로 Ⅰ과 Ⅲ의 높이 비는 3 : 2이다. 따라서 Ⅲ의 높이 차는 $\frac{2}{3}h$이다.

ㄱ. 물체의 질량을 m이라 할 때, Ⅰ을 통과하는 동안 물체는 등속도 운동을 하므로 각 구간에서 역학적 에너지 감소량은 mgh이다. p를 통과한 물체가 r에 정지할 때까지 역학적 에너지 감소량은 $5mgh$이고, 운동 에너지 감소량과 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 각각 $\frac{1}{2}mv^2$, $3mgh$이므로 $\frac{1}{2}mv^2+3mgh=5mgh$이다. 따라서 $v=2\sqrt{gh}$이다.

ㄴ. p에서의 운동 에너지를 E_0, q의 높이를 H라 할 때, p에서 q까지 역학적 에너지 감소량은 $E_0+mg(3h-H)=mgh\times3$이다. p에서 출발하여 r에 정지할 때까지 역학적 에너지 감소량은 $E_0+3mgh=mgh\times5$이다. 따라서 $E_0=2mgh$이고, $H=2h$이다.

ㄷ. 물체가 q를 향해 올라갈 때와 q에서 내려올 때, Ⅲ을 통과하는 동안 역학적 에너지 감소량은 mgh이다. Ⅲ을 통과하는 동안 q를 향해 올라갈 때는 중력 퍼텐셜 에너지 증가량이 $\frac{2}{3}mgh$이고, q에서 내려올 때는 중력 퍼텐셜 에너지 감소량이 $\frac{2}{3}mgh$이므로 운동 에너지 감소량은 각각 $\frac{5}{3}mgh$, $\frac{1}{3}mgh$이다.

05 마찰력이 한 일

마찰이 없는 구간에서는 역학적 에너지가 보존되고, 마찰 구간에서는 역학적 에너지가 감소한다.

② p와 s에서 A의 중력 퍼텐셜 에너지 차를 E_1, 마찰 구간에서 손실되는 역학적 에너지를 E_2라 하자.

(가)에서 p에서 s까지 A의 운동 에너지 증가량은 $28E_0$이다.

$28E_0=E_1-E_2$ ⋯ (1)

(나)의 s에서 q와 p의 중간 지점에 정지할 때까지 A의 중력 퍼텐셜 에너지 차는 $\frac{5}{6}E_1$이고, 운동 에너지 감소량은 $27E_0$이다.

$27E_0=\frac{5}{6}E_1+E_2$ ⋯ (2)

(1)과 (2)를 연립하면 $E_1=30E_0$, $E_2=2E_0$이다.

(다)에서 정지 지점에서 r까지 A의 중력 퍼텐셜 에너지 차는 $15E_0$이고, 마찰 구간에서 손실되는 역학적 에너지가 $2E_0$이므로, r에서의 운동 에너지 $E_r=15E_0-2E_0=13E_0$이다.

06 일과 에너지

역학적 에너지 감소량은 마찰력이 한 일과 같다.

③ 물체의 질량을 m이라 하자. Ⅱ에서 물체는 등속도 운동을 하므로 중력의 빗면 성분의 힘과 마찰력은 크기가 같다. Ⅱ에서 중력의 빗면 성분의 힘의 크기는 $mg\sin\theta=\frac{3}{5}mg$이므로 마찰력의 크기는 $\frac{3}{5}mg$이다. Ⅰ의 빗면 길이는 $2L$이고 마찰력의 크기는 $\frac{3}{5}mg$이므로 Ⅰ에서 손실되는 역학적 에너지는 $\frac{3}{5}mg\times2L=\frac{6}{5}mgL$이다. Ⅱ에서 물체는 등속도 운동을 하므로 Ⅱ에서 손실되는 역학적 에너지는 mgL이다.

수평면에서 v_0으로 출발하여 높이 $\frac{11}{5}L$인 지점에 정지한 물체의 역학적 에너지 감소량은 $\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{11}{5}mgL$이다.

따라서 $\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{11}{5}mgL=\frac{6}{5}mgL+mgL$이므로

$v_0=\sqrt{\frac{44}{5}gL}$이다.

07 연결된 물체의 운동과 역학적 에너지

물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

② p~q, q~r, r~s 구간에서 A의 운동 에너지 변화량은 각각 $2E_0$, E_0, $5E_0$이고, 각 구간의 거리는 같으므로 각 구간에서 가속도(또는 알짜힘) 크기의 비는 2 : 1 : 5 이다. 실이 끊어진 이후에 A가 운동하는 r~s 구간에서 A의 가속도 크기는 $g\sin30°=\frac{1}{2}g$이므로 p~q, q~r에서의 가속도의 크기는 각각 $\frac{1}{5}g$, $\frac{1}{10}g$이다.

A와 B의 질량을 각각 M, m이라 할 때, p~q에서의 운동 방정식은 $\frac{1}{2}Mg-mg=(M+m)\frac{1}{5}g$이므로 $M=4m$이다.

각 구간의 거리를 d라 할 때,

$E_1=\Delta E_k+\Delta E_p=4m\times\frac{1}{5}g\times d-4mg\times\frac{1}{2}d=-\frac{6}{5}mgd$,

$E_2=\Delta E_k+\Delta E_p=4m\times\frac{1}{10}g\times d-4mg\times\frac{1}{2}d=-\frac{8}{5}mgd$

이므로 $\frac{E_1}{E_2}=\frac{3}{4}$이다.

08 연결된 물체의 운동과 역학적 에너지

a를 끊기 전 A, B, C는 정지한 상태이므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이고, 알짜힘이 한 일은 운동 에너지 변화량과 같다.

㉠. A와 B가 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기 $2mg\sin30^\circ$와 C에 작용하는 중력의 크기가 같아야 알짜힘이 0이므로 $M=m$이다.

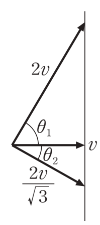
㉡. a를 끊은 후 B와 C의 운동 방정식은 $mg-\frac{1}{2}mg=2ma$이다. 따라서 A와 C의 가속도는 각각 $\frac{1}{2}g$, $\frac{1}{4}g$이고 p와 q, r와 s 사이의 거리 비는 2 : 1이다. A와 C에 작용하는 알짜힘이 한 일의 비는 4 : 1이므로 운동 에너지 변화량의 비도 4 : 1이다.

㉢. C에 작용하는 알짜힘은 아래 방향으로 $\frac{1}{4}mg$이고, C에 작용하는 중력은 mg이므로 실이 C를 당기는 힘은 $\frac{3}{4}mg$이다. 따라서 r에서 s까지 거리를 d라 할 때 C의 역학적 에너지 감소량은 $\frac{3}{4}mgd$이다. B에 작용하는 알짜힘은 $\frac{1}{4}mg$이고 이동 거리는 d이므로 알짜힘이 한 일은 $\frac{1}{4}mgd$이고 운동 에너지의 증가량이 $\frac{1}{4}mgd$이다.

[별해] C의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 운동 에너지 증가량은 각각 mgd, $\frac{1}{4}mgd$이므로 C의 역학적 에너지 감소량은 $\frac{3}{4}mgd$이다.

09 포물선 운동과 역학적 에너지

포물선 운동을 하는 동안 물체의 속도의 수평 성분의 크기는 일정하고, p와 r에서 운동 에너지의 비가 3 : 1이므로 속력의 비는 $\sqrt{3}$: 1이다. 속도의 수평 성분의 크기를 v라 할 때, $\theta_1+\theta_2=90^\circ$이므로 p와 r에서의 속력은 각각 $2v$, $\frac{2v}{\sqrt{3}}$이다.



㉠. $\theta_1=60^\circ$, $\theta_2=30^\circ$이므로 p에서 속도의 연직 성분의 크기는 $\sqrt{3}v$이고, r에서 속도의 연직 성분의 크기는 $\frac{v}{\sqrt{3}}$이므로 속도의 연직 성분의 크기는 p에서가 r에서의 3배이다.

㉡. 물체의 질량을 m이라 할 때, p에서의 운동 에너지는 $3E_0=\frac{1}{2}m(2v)^2$이므로 q에서의 운동 에너지 $\frac{1}{2}mv^2$은 $\frac{3}{4}E_0$이다. 따라서 p에서 q까지 운동 에너지 변화량은 $\frac{9}{4}E_0$이므로 중력 퍼텐셜 에너지의 차 $mgh=\frac{9}{4}E_0$이다. q에서의 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지는 각각 $\frac{3}{4}E_0$, $\frac{9}{4}E_0$이다.

㉢. r에서 물체의 운동 에너지는 E_0이므로 q에서 r까지 운동 에너지의 증가량은 $\frac{1}{4}E_0$이다. 따라서 중력 퍼텐셜 에너지의 차 $mgh'=\frac{1}{4}E_0$이다. q와 r의 높이 차 h'는 $\frac{h}{9}$이다.

10 포물선 운동과 역학적 에너지

물체가 포물선 운동을 하는 동안 물체의 운동 에너지의 증가량은 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같다.

㉠. 물체의 운동 에너지는 수평 성분의 운동 에너지와 연직 성분의 운동 에너지의 합이다. 최고점에서 물체의 운동 에너지가 E_0이므로 물체의 수평 성분 운동 에너지는 E_0이다. 시간이 0일 때 운동 에너지가 $2E_0$이므로 연직 성분 운동 에너지도 E_0이다. 따라서 연직 성분 속도와 수평 성분 속도가 같으므로 $\tan\theta=1$이다.

~~ㄴ~~. 시간이 0일 때 물체의 운동 에너지 $2E_0=\frac{1}{2}mv_0^2$이고, 수평면에 도달할 때까지 운동 에너지 증가량이 $3E_0$이므로 중력 퍼텐셜 에너지 감소량(mgh)도 $3E_0$이다. 따라서

$mgh=3E_0=\frac{1}{2}mv_0^2\times\frac{3}{2}$이므로 $h=\frac{3v_0^2}{4g}$이다.

~~ㄷ~~. 시간 0일 때 물체의 연직 성분 속력은 $\frac{\sqrt{2}}{2}v_0$이므로 최고점 도달 시간은 $\frac{\sqrt{2}v_0}{2g}$이다. 시간 0부터 최고점 도달까지 운동 에너지의 변화량이 E_0이므로 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량도 E_0이다. 최고점에서 수평면까지 운동 에너지 변화량이 $4E_0$이므로 중력 퍼텐셜 에너지 변화량도 $4E_0$이다. 따라서 시간 0일 때의 지점에서 최고점 도달 높이와 수평면에서 최고점까지의 높이비는 1 : 4이고, 걸린 시간의 비는 1 : 2이다. 최고점 도달 시간은 $\frac{\sqrt{2}v_0}{2g}$이고, 최고점에서 수평면 도달 시간은 $\frac{2\sqrt{2}v_0}{2g}$이므로 $t=\frac{3\sqrt{2}v_0}{2g}$이다.

11 포물선 운동과 역학적 에너지

물체가 빗면을 따라 운동하는 동안 수평 성분의 속도는 일정하고, 역학적 에너지는 보존된다.

③ 경계면에서 발사되는 물체의 수평 성분의 속력은 $\frac{v}{2}$이므로 p의 높이(h)는 역학적 에너지 보존 법칙에 의해

$\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}m\left(\frac{v}{2}\right)^2=mgh$이고, $h=\frac{3v^2}{8g}$이다. p에서 q까지 물체는 속력 $\frac{v}{2}$로 수평으로 던져진 물체의 운동을 하므로 낙하 시간(t)은 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}=\frac{\sqrt{3}v}{2g}$이다. 따라서 $d=\frac{v}{2}\times t=\frac{\sqrt{3}v^2}{4g}$이다.

12 단진자 운동과 역학적 에너지

추의 최대 운동 에너지는 최고점과 최저점의 높이 차에 의한 중력 퍼텐셜 에너지 변화량(ΔE_{p})과 같다. ➡ $\frac{1}{2}mv^2=mgl(1-\cos\theta)$

~~ㄱ~~. Ⅰ에서 추의 최대 운동 에너지는 E_0이므로 $\Delta E_{\mathrm{p}}=E_0$이고, Ⅱ에서 $\Delta E_{\mathrm{p}}=2E_0-0.5E_0=1.5E_0$이다. Ⅰ과 Ⅱ에서 실의 길이가 같으므로 최고점과 최저점의 높이 차는 $l_0(1-\cos\theta_0)$으로 같다. 따라서 Ⅰ과 Ⅱ에서 질량비는 ΔE_{p}의 비와 같은 2 : 3 이므로 ㉠은 $1.5m_0$이다.

~~ㄱ~~. 단진자의 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$이다. Ⅰ과 Ⅱ에서 실의 길이가 같으므로 주기는 같다. Ⅰ에서 주기는 $2t_1$이고, Ⅱ에서 주기는 $2t_2$이다. 따라서 $t_1=t_2$이다.
ㄷ. Ⅰ에서 $E_0=m_0gl_0(1-\cos\theta_0)$이다.
Ⅲ에서 $\Delta E_\text{p}=2m_0g\frac{l_0}{2}(1-\cos\theta_0)=m_0gl_0(1-\cos\theta_0)$이므로 최대 운동 에너지는 Ⅰ에서와 같은 $E_0=m_0gl_0(1-\cos\theta_0)$이다.

13 포물선 운동과 역학적 에너지

원 궤도의 최저점에서 물체에 작용하는 알짜힘은 원의 중심 방향으로 향하는 구심력과 같고, 물체의 질량을 m, 최저점에서의 속력을 v라 할 때, 구심력의 크기는 $F=\frac{mv^2}{R}$이다.

~~ㄱ~~. p에서 q까지 운동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 운동 에너지의 증가량과 같으므로 $2mgR=\frac{1}{2}mv^2$이고, q에서 구심력의 크기는 $F=\frac{mv^2}{R}=4mg$이며, 물체에 작용하는 알짜힘은 위 방향으로 $4mg$이다. q에서 물체는 아래 방향으로 중력 mg가 작용하므로 수평면이 물체를 떠받치는 힘(N)의 크기는 $5mg$이다.

$$F=N-mg=4mg$$
$$N=F+mg=5mg$$

ㄴ. p에서 r까지 운동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 운동 에너지의 증가량과 같으므로 $\frac{3}{2}mgR=\frac{1}{2}mv_\text{r}{}^2$이고, $v_\text{r}=\sqrt{3gR}$이다(v_r: r에서 물체의 속력). r에서 수평 성분의 속력은 $\frac{\sqrt{3gR}}{2}$이므로 최고점 s에서 물체의 운동 에너지는 $\frac{3}{8}mgR$이다. r에서 s까지 운동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 운동 에너지 감소량과 같으므로 $mgh'=\frac{3}{2}mgR-\frac{3}{8}mgR$이고, $h'=\frac{9}{8}R$이다(h': r와 s의 높이 차). r의 높이는 $\frac{R}{2}$이므로 $h=h'+\frac{R}{2}=\frac{13}{8}R$이다.

~~ㄷ~~. t에서 속도의 수평 성분의 크기는 r에서와 같은 $\frac{\sqrt{3gR}}{2}$이고, 속도의 연직 성분의 크기는 s에서 자유 낙하 한 속력과 같으므로 $\frac{\sqrt{13gR}}{2}$이다. 따라서 $\tan\theta=\sqrt{\frac{13}{3}}$이다.

14 단진자 운동과 역학적 에너지

추의 최고점과 최저점의 높이 차 $h=l(1-\cos\theta)$이다.
ㄱ. 최고점인 양쪽 끝에서 추의 속력은 0이 되므로 (나)에서 주기는 $2t_1$이고, 추의 높이는 최고점 양쪽 끝에서 최대 높이가 되므로 (다)에서 주기는 $2t_2$이다. 따라서 $t_1=t_2$이다.
ㄴ. 최고점과 최저점의 높이 차는 $\frac{3}{2}h_0$이므로 $\frac{3}{2}h_0=l(1-\cos\theta)$이고, $h_0=\frac{2}{3}l(1-\cos\theta)$이다.
ㄷ. 최고점과 최저점의 높이 차에 의한 중력 퍼텐셜 에너지 변화량은 최대 운동 에너지와 같다. 따라서 추의 질량을 m이라 할 때, $\frac{1}{2}mv_0{}^2=mg\left(\frac{3}{2}h_0\right)$이므로 $v_0=\sqrt{3gh_0}$이다.

15 열의 일당량

일은 모두 열로 전환될 수 있지만 열은 모두 일로 전환될 수 없다.
ㄱ. 액체가 흡수한 열에너지
$Q=cm\Delta T=1600\times0.2\times0.5=160(\text{J})$이다.
ㄴ. 추는 일정한 속력으로 낙하하므로 역학적 에너지 감소량은 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같다. 중력 퍼텐셜 에너지 감소량 $\Delta E_\text{p}=mgh=20\times10\times0.8=160(\text{J})$이다. 따라서 액체가 흡수한 열에너지와 추의 역학적 에너지 감소량은 160 J로 같다.
~~ㄷ~~. 추에 작용하는 중력이 한 일은 모두 액체의 열에너지로 공급될 수 있지만, 액체의 열에너지는 모두 추의 역학적 에너지를 증가시키는 데 사용될 수 없다.

16 줄의 실험

액체의 비열(c)은 액체가 흡수하는 열량(Q)에 비례하고 액체의 질량(m)과 액체의 온도 변화량(ΔT)에 반비례한다.
ㄱ. 실을 당기는 힘이 한 일과 액체가 얻은 열량은 $W=JQ$의 관계가 성립하고, $Q=cm\Delta T$이므로 W와 ΔT는 비례한다. (J: 열의 일당량)
Ⅰ에서 힘이 한 일은 840 J이고, Ⅱ에서 힘이 한 일은 420 J이므로 액체의 온도 변화량 비는 2 : 1이다. 따라서 ㉠은 0.25이다.
ㄴ. Ⅰ과 Ⅲ에서 ΔT가 같으므로 $W=Fd$도 같다. 따라서 $420\times2=$㉡$\times4$의 관계가 성립하므로 ㉡은 210이다.
ㄷ. Ⅰ에서 $W=Fd=840$ J이고, $W=JQ$에서
$Q=\frac{W}{J}=\frac{840\text{ J}}{4.2\text{ J/cal}}=200\text{ cal}$이다.
따라서 $c=\frac{200\text{ cal}}{m\Delta T}=\frac{200\text{ cal}}{0.2\text{ kg}\times0.5\text{ °C}}=2000\text{ cal/kg}\cdot\text{°C}$이다.

06 전기장과 정전기 유도

수능 2점 테스트

본문 88~90쪽

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

01 전기력선

전기장 내에서 양(+)전하에 작용하는 전기력의 방향을 공간에 따라 연속적으로 연결한 선을 전기력선이라고 한다.

ㄱ. 전기력선은 양(+)전하에서 나오는 방향이고, 음(−)전하로 들어가는 방향이므로 X는 양(+)전하, Y는 음(−)전하이다.

~~ㄴ~~. 점전하에서 나오거나 들어가는 전기력선의 수는 전하의 전하량의 크기에 비례하므로 전하량의 크기는 X가 Y보다 작다.

~~ㄷ~~. 전기력선 위의 한 점에서 그은 접선의 방향이 그 점에서의 전기장의 방향이므로 전기장의 방향은 p에서와 q에서가 같지 않다.

02 전기장과 전기력선

두 점전하가 서로 같은 종류일 때 전기력선은 서로 밀어내는 모양이다.

ㄱ. 전기력선의 수는 전하의 전하량의 크기에 비례하므로 전하량의 크기는 A가 B보다 작다.

ㄴ. A와 B가 전기력선으로 연결되어 있지 않으므로 A와 B의 전하의 종류는 같다. $x=d$에서 B에 의한 전기장의 세기는 A에 의한 전기장의 세기보다 크므로 A와 B는 양(+)전하이다.

ㄷ. $x=d$에서 A, B에 의한 전기장의 세기를 각각 E_A, E_B라 할 때, $x=d$, $x=3d$에서 전기장의 세기는 각각 E_B-E_A, $\frac{1}{9}E_A+E_B$이다.

$E_0=E_B-E_A<\frac{1}{9}E_A+E_B$이므로 $x=3d$에서 전기장의 세기는 E_0보다 크다.

03 전기장

두 전하의 종류가 같으면 전기장이 0인 지점은 두 전하 사이에 있다.

ㄱ. $x=0$에서와 $x=d$에서 전기장의 방향이 서로 반대이므로 $0<x<d$인 구간에서 전기장이 0인 지점이 있다.

~~ㄴ~~. $0<x<d$인 구간에서 전기장이 0인 지점을 $x=d_0$이라 할 때, $x=d_0$에서 A에 의한 전기장의 세기와 B에 의한 전기장의 세기는 같고, 전기장의 방향은 서로 반대이다. A와 $x=d_0$ 사이의 거리는 B와 $x=d_0$ 사이의 거리보다 작으므로 전하량의 크기는 A가 B보다 작다.

ㄷ. $x=d$에서 A에 의한 전기장의 세기는 B에 의한 전기장의 세기보다 크다. 따라서 A는 양(+)전하, B는 음(−)전하이다. $x=4d$에서 A, B에 의한 전기장의 방향은 각각 $+x$방향, $-x$방향이고, A에 의한 전기장의 세기는 B에 의한 전기장의 세기보다 작다. 따라서 $x=4d$에서 전기장의 방향은 $-x$방향이므로 ㉠은 $-x$이다.

04 전기장과 전기력

두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다.

ㄱ. A에 작용하는 전기력의 방향이 $-y$방향이므로 B와 C는 음(−)전하이다. A, B, C의 전하량의 크기를 각각 Q_A, Q_B, Q_C라 할 때, A에 작용하는 전기력의 x성분은 0이므로 $k\frac{Q_AQ_B}{4d^2}\times\frac{1}{2}=k\frac{Q_AQ_C}{4d^2}\times\frac{1}{2}$이고, $Q_B=Q_C$이다. 따라서 A가 B에 작용하는 전기력의 크기와 A가 C에 작용하는 전기력의 크기는 같다. B에 작용하는 전기력의 x성분은 0이므로, C에 작용하는 전기력의 x성분은 0이다. 따라서 C에 작용하는 전기력의 방향은 $+y$방향이다.

ㄴ. B, C의 전하량의 크기를 각각 Q라 할 때, B에 작용하는 전기력의 x성분은 0이므로

$k\frac{Q_AQ}{4d^2}\times\frac{1}{2}=k\frac{Q^2}{4d^2}$이고, $Q_A=2Q$이다.

ㄷ. A에 작용하는 전기력의 크기는

$k\frac{2Q^2}{4d^2}\times\frac{\sqrt{3}}{2}+k\frac{2Q^2}{4d^2}\times\frac{\sqrt{3}}{2}=k\frac{\sqrt{3}Q^2}{2d^2}$이고,

C에 작용하는 전기력의 크기는 $k\frac{\sqrt{3}Q^2}{4d^2}$이다. 따라서 A에 작용하는 전기력의 크기는 C에 작용하는 전기력의 크기의 2배이다.

05 전기장과 전기력

균일한 전기장 영역에서 전하가 받는 전기력의 크기는 전하량의 크기와 전기장의 세기에 비례한다($F=qE$).

ㄱ. 전기장 내에서 양(+)전하는 전기장의 방향으로 전기력을 받으므로 물체는 양(+)전하로 대전되어 있다.

~~ㄴ~~. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기를 F라 할 때, 물체에 작용하는 전기력의 크기는 $\frac{\sqrt{3}}{2}F$이고, 물체에 작용하는 중력의 크기는 $\frac{1}{2}F$이다. 따라서 전기장의 세기를 E라 할 때, $q_0E=\sqrt{3}mg$이므로 $E=\frac{\sqrt{3}mg}{q_0}$이다.

ㄷ. 물체의 가속도의 크기를 a라 할 때, $ma=2mg$이므로 $a=2g$이다.

06 전기장

전하량의 크기가 q인 점전하로부터 거리가 r인 지점에서 전기장의 세기는 $k\frac{q}{r^2}$이고, 전기장의 방향은 양(+)전하가 받는 전기력의 방향과 같다.

ㄱ. p에서 A에 의한 전기장의 방향은 $+x$방향이므로 B에 의한 전기장의 x성분의 방향은 $-x$방향이다. 따라서 B는 음(−)전하이므로 p에서 전기장의 방향은 $-y$방향이다.

~~ㄴ~~. A, B의 전하량의 크기를 각각 Q_A, Q_B라 할 때, p에서 $E_x=0$이므로 $k\frac{Q_A}{d^2}=k\frac{Q_B}{2d^2}\times\frac{1}{\sqrt{2}}$이고, $Q_B=2\sqrt{2}Q_A$이다. 따라서 전하량의 크기는 B가 A보다 크다.

ㄷ. A, B의 전하량의 크기를 각각 Q, $2\sqrt{2}Q$라 할 때, q에서 전기장의 크기 $E_x=\left|k\frac{Q}{2d^2}\times\frac{1}{\sqrt{2}}-k\frac{2\sqrt{2}Q}{d^2}\right|=k\frac{7\sqrt{2}Q}{4d^2}$,

$E_y=\left|k\frac{Q}{2d^2}\times\frac{1}{\sqrt{2}}\right|=k\frac{\sqrt{2}Q}{4d^2}$이므로 ㉠>㉡이다.

07 전기장

전기장 내에서 양(+)전하가 받는 전기력의 방향이 전기장의 방향이다.

ㄱ. O에서 A, B에 의한 전기장의 방향은 각각 $+y$방향, $+x$방향이다. 따라서 A와 B는 음(−)전하이다.

~~ㄴ~~. O에서 전기장의 x성분의 크기와 y성분의 크기는 같으므로 A, B의 전하량의 크기를 각각 Q_A, Q_B라 할 때, $k\frac{Q_A}{d^2}=k\frac{Q_B}{4d^2}$이므로 $Q_B=4Q_A$이다.

~~ㄷ~~. O에서 A, B에 의한 전기장의 세기를 각각 E_0이라 할 때, p에서 A, B에 의한 전기장의 세기는 각각 $\frac{1}{4}E_0$, $4E_0$이다. 따라서 전기장의 세기는 O에서가 p에서보다 작다.

08 전기장

xy 평면의 원점 O에서 전기장의 세기가 E_0이고, 전기장의 방향이 x축과 θ의 각을 이룰 때, 전기장의 x, y성분의 크기는 각각 $E_0\cos\theta$, $E_0\sin\theta$이다.

① O에서 A, C에 의한 전기장의 방향은 각각 $+y$방향, $-x$방향이다. O에서 전기장의 x성분의 방향은 $+x$방향이므로 O에서 B에 의한 전기장의 x성분의 방향은 $+x$방향이다. 따라서 B는 음(−)전하이다. O에서 A, B, C에 의한 전기장의 세기를 각각 E_0, E_B, $2\sqrt{3}E_0$이라 할 때,

$$\frac{\frac{1}{2}E_B+E_0}{\frac{\sqrt{3}}{2}E_B-2\sqrt{3}E_0}=\sqrt{3}\text{이므로}$$

$\frac{1}{2}E_B+E_0=\frac{3}{2}E_B-6E_0$이고 $E_B=7E_0$이다. 따라서 B의 전하량은 $-7q$이다.

09 정전기 유도와 유전 분극

대전되지 않은 도체에 대전체를 접촉시키면 도체는 대전체와 같은 종류의 전하로 대전된다.

ㄱ. (가)에서 음(−)전하로 대전된 막대를 대전되지 않은 A에 접촉시켰으므로 A는 음(−)전하로 대전된다.

~~ㄴ~~. (가)에서 A는 음(−)전하로 대전되었으므로 전자는 막대에서 A로 이동한다.

ㄷ. (나)에서 A는 음(−)전하로 대전되어 있으므로 B에서는 유전 분극이 일어나 A와 가까운 쪽은 양(+)전하를, 먼 쪽은 음(−)전하를 띤다. 따라서 A와 B 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

10 정전기 유도와 유전 분극

플라스틱 자를 털가죽으로 문지르면 마찰 전기가 발생한다.

ㄱ. (다)에서 금속박이 벌어지므로 플라스틱 자는 대전되어 있다. 따라서 (나)에서 플라스틱 자는 대전된다.

ㄴ. (다)에서 검전기에서는 정전기 유도 현상이 일어나므로 플라스틱 자와 금속판 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

~~ㄷ~~. (다)에서 금속판은 플라스틱 자와 다른 종류의 전하로 대전되고 금속박은 플라스틱 자와 같은 종류의 전하로 대전된다.

11 정전기 유도와 유전 분극

전기력선은 양(+)전하에서 나오는 방향이고, 음(−)전하로 들어가는 방향이다.

~~ㄱ~~. (다)에서 전기력선은 B에서 나와 A로 들어가므로 A는 음(−)전하, B는 양(+)전하이다. (가)에서 A는 유리 막대와 다른 종류의 전하로 대전되고, B는 유리 막대와 같은 종류의 전하로 대전되므로 (가)에서 유리 막대는 양(+)전하로 대전되어 있다.

ㄴ. (가)에서 A는 음(−)전하, B는 양(+)전하로 대전되므로 전자는 B에서 A로 이동한다.

~~ㄷ~~. (나)에서 A와 B는 서로 다른 종류의 전하로 대전되어 있으므로 서로 당기는 전기력이 작용한다.

12 정전기 유도와 유전 분극

절연체에 대전체를 가까이 하면 분자나 원자 내부에서 전기력에 의해 절연체의 대전체와 가까운 쪽에는 대전체와 다른 종류의 전하로 배열되는 유전 분극이 일어난다.

ㄱ. (가)의 B에서 A와 가까운 쪽이 양(+)전하로 대전되었으므로 A는 음(−)전하로 대전되어 있다.

ㄴ. (다)의 B에서 A와 가까운 쪽이 음(−)전하로 대전되었으므로 (다)에서 A는 양(+)전하로 대전되어 있다. (나)에서 음(−)전하로 대전된 A를 C와 접촉시킨 후 A가 양(+)전하로 대전되므로 C는 양(+)전하로 대전되어 있다. 따라서 전자는 A에서 C로 이동한다.

ㄷ. (다)에서 A는 양(+)전하로, B에서 A와 가까운 쪽은 음(−)전하로 대전되어 있으므로 A와 B 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

수능 **3점** 테스트 본문 91~94쪽

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

01 전기력선

전기력선은 양(+)전하에서 나오는 방향이고, 음(−)전하로 들어가는 방향이다. 나오거나 들어가는 전기력선의 수는 전하의 전하량의 크기에 비례한다.

③ (가)에서 전기력선은 A와 B에서 나가므로 A와 B는 양(+)전하이다. A에서 나가는 전기력선의 수가 B에서 나가는 전기력선의 수보다 많으므로 전하량의 크기는 A가 B보다 크다.

(나)에서 전기력선은 A에서 나와 C로 들어가므로 C는 음(−)전하이고, A에서 나가는 전기력선의 수와 C로 들어가는 전기력선의 수가 같으므로 전하량의 크기는 A와 C가 같다.

A와 B를 접촉시키면 A와 B는 양(+)전하를 띠고, 전하량의 크기는 A와 B가 같다. 또한, B의 전하량의 크기는 A와 B를 접촉시키기 전 A의 전하량의 크기보다 작다. 따라서 전하량의 크기는 B가 C보다 작으므로 전기력선은 B에서 나와 C로 들어가고 전기력선의 수는 B가 C보다 적다.

02 전기장과 전기력

전기장 내에서 양(+)전하는 전기장과 같은 방향으로 전기력을 받는다.

~~ㄱ~~. (가)에서 A가 받는 전기력의 방향은 $-x$방향이고, (나)에서 B가 받는 전기력의 방향은 $+x$방향이므로 A는 음(−)전하, B는 양(+)전하이다.

ㄴ. A, B의 질량을 각각 $\sqrt{3}m$, m이라 할 때, (가)에서 A에 작용하는 전기력의 크기는 $\sqrt{3}mg\tan30^\circ=mg$이고, (나)에서 B에 작용하는 전기력의 크기는 $mg\tan60^\circ=\sqrt{3}mg$이다.

~~ㄷ~~. A, B의 전하량의 크기를 각각 Q_A, Q_B라 하고, Ⅰ, Ⅱ에서 전기장의 세기를 각각 $2E$, E라 할 때, $Q_A\times2E=mg$이므로 $Q_A=\frac{mg}{2E}$이고, $Q_B\times E=\sqrt{3}mg$이므로 $Q_B=\frac{\sqrt{3}mg}{E}$이다. 따라서 $Q_A=\frac{\sqrt{3}}{6}Q_B$이다.

03 전기장

두 전하의 종류가 같으면 전기장이 0인 지점은 두 전하 사이에 있다.

ㄱ. $x=d$에서 B에 의한 전기장의 세기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다. B를 $x=2d$에서 $x=3d$로 옮겼을 때, $x=d$에서 $-x$방향의 전기장의 세기가 감소하였으므로 B는 양(+)전하이다. (나)의 $x=d$에서 B에 의한 전기장의 방향은 $-x$방향이므로 A에 의한 전기장의 방향은 $+x$방향이고, A는 양(+)전하이다. 따라서 A와 B는 전하의 종류가 같다.

ㄴ. (가)의 $x=d$에서 A, B에 의한 전기장의 세기를 각각 E_A, E_B라 할 때, $x=d$, $x=3d$에서 전기장의 세기는 각각 E_B-E_A, $\frac{1}{9}E_A+E_B$이므로 $E_B-E_A<\frac{1}{9}E_A+E_B$이다. 따라서 (가)에서 전기장의 세기는 $x=d$에서가 $x=3d$에서보다 작다.

ㄷ. (나)의 $x=2d$에서 A에 의한 전기장의 세기는 B에 의한 전기장의 세기보다 작으므로 $x=2d$에서 전기장의 방향은 $-x$방향이다. (나)의 $x=d$에서와 $x=2d$에서 전기장의 방향이 서로 반대 방향이므로 $d<x<2d$인 구간에 전기장이 0인 지점이 있다.

04 전기장

평면에서 점전하에 의한 전기장의 세기와 방향은 벡터의 합성과 분해로 구할 수 있다.

ㄱ. (나)의 O에서 전기장의 y성분의 방향이 $+y$방향이므로 B는 음(−)전하이다. 전하량의 크기는 A와 B가 같으므로 O에서 A, B에 의한 전기장의 세기는 같다. A가 양(+)전하이면 C의 전하량은 0이 되어야 하므로 A는 음(−)전하이다.

ㄴ. (나)의 O에서 전기장의 x성분의 방향이 $+x$방향이므로 C는 음(−)전하이다. O에서 전기장의 x성분의 세기와 y성분의 세기는 같으므로 A, B, C의 전하량의 크기를 각각 Q, Q, Q_C라 할 때, $k\frac{Q_C}{4d^2}-k\frac{Q}{d^2}=k\frac{Q}{d^2}$이고, $Q_C=8Q$이다.

ㄷ. (가)의 O에서 A에 의한 전기장의 세기를 E라 할 때, $E_0=-E+E+2E=2E$이다. (나)의 O에서 전기장의 x성분 $E_x=-E+2E=E$이고, 전기장의 y성분 $E_y=E$이므로 전기장의 세기는 $\sqrt{E_x^2+E_y^2}=\sqrt{2}E=\frac{\sqrt{2}}{2}E_0$이다.

05 전기장

전하량의 크기가 q인 점전하로부터 거리가 r인 지점에서 전기장의 세기는 $k\frac{q}{r^2}$이고, 전기장의 방향은 양(+)전하가 받는 전기력의 방향과 같다.

② (가)의 O에서 전기장의 x성분은 0이고, A에 의한 전기장의 방향은 $+x$방향이므로 C에 의한 전기장의 x성분의 방향은 $-x$방향이다. 따라서 C는 양(+)전하이다. C의 전하량의 크기를 q_C라 할 때, $k\frac{q}{d^2}=k\frac{q_C}{2d^2}\times\frac{1}{\sqrt{2}}$이므로 $q_C=2\sqrt{2}q$이다. (가)의 O에서 전기장의 방향은 $+y$방향이고, C에 의한 전기장의 y성분의 방향은 $-y$방향이므로 B에 의한 전기장의 방향은 $+y$방향이다. 따라서 B는 음(−)전하이다. B의 전하량의 크기를 q_B라 할 때, O에서 전기장의 세기는 (나)에서가 (가)에서의 3배이므로

$3\times\left(k\frac{q_B}{d^2}-k\frac{2\sqrt{2}q}{2d^2}\times\frac{1}{\sqrt{2}}\right)=\left(k\frac{q_B}{d^2}+k\frac{2\sqrt{2}q}{2d^2}\times\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$이고,

$q_B=2q$이다. 따라서 B의 전하량은 $-2q$이다.

06 전기장

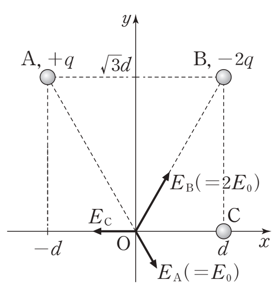
(가)의 O에서 A, B에 의한 전기장의 세기를 각각 E_A, E_B라 할 때, O에서 전기장의 y성분이 0이므로 $E_A=E_B$이다.

ㄱ. O에서 A, B에 의한 전기장의 x성분의 방향이 $+x$방향이므

로 O에서 A에 의한 전기장의 x성분의 방향과 B에 의한 전기장의 x성분의 방향은 $+x$방향으로 같다. 따라서 A는 양(+)전하이고, B는 음(−)전하이다.
~~ㄴ~~. (나)의 O에서 전기장의 y성분의 방향이 $+y$방향이므로 C는 양(+)전하이다. (나)의 O에서 A, B에 의한 전기장의 세기를 각각 E_0, C에 의한 전기장의 세기를 E_C라 할 때, $\tan\theta=\frac{1}{2}$이므로
$2\left(E_0\times\frac{1}{\sqrt{2}}\right)+E_C\times\frac{1}{\sqrt{2}}=2\left(E_C\times\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$이고,
$E_C=2E_0$이다. 따라서 전하량의 크기는 C가 B의 2배이다.
ㄷ. (가), (나)의 O에서 전기장의 세기는 각각
$\sqrt{2}E_0$, $\sqrt{(2\sqrt{2}E_0)^2+(\sqrt{2}E_0)^2}=\sqrt{10}E_0$이다. 따라서 O에서 전기장의 세기는 (나)에서가 (가)에서의 $\sqrt{5}$배이다.

07 전기장

평면에서 점전하에 의한 전기장의 세기와 방향은 벡터의 합성과 분해로 구할 수 있고, 전기장의 세기는 단위 양(+)전하가 받는 전기력의 크기이다.



② O에서 A, B에 의한 전기장의 x성분의 방향은 각각 $+x$방향이고 C의 위치가 $x=d$일 때 O에서 전기장의 x성분은 0이므로 C는 양(+)전하이다. O에서 A에 의한 전기장의 세기를 E_0이라 하면, C의 위치가 $x=d$일 때 O에서 C에 의한 전기장의 x성분의 세기는 $E_0\times\frac{1}{2}+2E_0\times\frac{1}{2}=\frac{3}{2}E_0$이다.
따라서 C의 위치가 $x=2d$일 때, O에서 전기장의 x성분은
$E_0\times\frac{1}{2}+2E_0\times\frac{1}{2}-\frac{3}{8}E_0=\frac{9}{8}E_0$이므로 $E_1=\frac{9}{8}E_0$이다. O에서 전기장의 y성분의 세기는 $-E_0\times\frac{\sqrt{3}}{2}+2E_0\times\frac{\sqrt{3}}{2}=\frac{\sqrt{3}}{2}E_0$이므로 $E_2=\frac{\sqrt{3}}{2}E_0$이다. 따라서 $\frac{E_2}{E_1}=\frac{4\sqrt{3}}{9}$이다.

08 정전기 유도

대전된 도체구에 손가락을 접촉시키면 전자가 손가락을 통해 빠져나가거나 들어온다.
ㄱ. 양(+)전하로 대전된 막대를 대전되지 않은 A에 접촉시키면 전자는 A에서 막대로 이동하므로 A는 양(+)전하로 대전된다.
~~ㄴ~~. (나)에서 A는 양(+)전하로 대전되어 있으므로 손가락을 C에 접촉시키기 전에는 정전기 유도 현상에 의해 B는 음(−)전하, C는 양(+)전하로 대전된다. 손가락을 C에 접촉시키면 C는 접지되어 전자가 손가락에서 C로 이동한다.
~~ㄷ~~. (나)에서 손가락을 C에서 떼어내면 B와 C는 음(−)전하로 대전된다. 따라서 A와 C 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

07 저항의 연결과 전기 에너지

수능 2점 테스트

본문 99~100쪽

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

01 전기장과 전위

음(−)전하는 전기장의 반대 방향으로 전기력을 받는다.
ㄱ. A가 $+x$방향으로 전기력을 받아 등가속도 직선 운동을 하므로 전기장의 방향은 $-x$방향이다.
~~ㄴ~~. 음(−)전하는 전위가 낮은 곳에서 높은 곳으로 전기력을 받으므로 전위는 $x=d$인 지점이 $x=2d$인 지점보다 낮다.
ㄷ. A에 작용하는 전기력의 크기는 일정하고, 전기력이 A에 한 일은 A의 이동 거리에 비례하므로 전기력이 A에 한 일은 $x=0$에서 $x=2d$까지가 $x=d$에서 $x=2d$까지의 2배이다.

02 전위차와 전기력이 한 일

전기력이 A에 한 일은 A의 운동 에너지 증가량과 같다.
ㄱ. 양(+)전하는 전기장의 방향으로 전기력을 받는다. A가 $+x$방향으로 전기력을 받으므로 A는 양(+)전하이다.
ㄴ. 전기장이 균일하므로 $x=0$과 $x=d$ 사이의 전위차는 $x=0$과 $x=3d$ 사이의 전위차의 $\frac{1}{3}$배이다. 따라서
$3\times(7V-㉠)=7V-V$이므로 $㉠=5V$이다.
ㄷ. $x=3d$인 지점에서 A의 속력을 v라 할 때,
$3(4v_0^2-v_0^2)=v^2-v_0^2$이므로 $v=\sqrt{10}v_0$이다.

03 저항의 직렬연결

A와 B가 직렬연결되어 있으므로 전원 장치의 전압=A 양단에 걸린 전압+B 양단에 걸린 전압이다.
ㄱ. 저항에 흐르는 전류의 세기 $I=\frac{V}{R}$(V:저항 양단에 걸린 전압, R:저항의 저항값)이므로 $V_{전원}=4$ V일 때, A에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{3\text{ V}}{6\ \Omega}=0.5$ A이다.
ㄴ. $V_{전원}=8$ V일 때, A 양단에 걸린 전압이 6 V이므로 B 양단에 걸린 전압은 2 V이다.
ㄷ. 저항이 직렬로 연결되었을 때 각 저항 양단에 걸린 전압은 저항의 저항값에 비례하므로 B의 저항값은 2 Ω이다.

04 저항의 병렬연결

저항이 병렬연결되었을 때 각 저항 양단에 걸린 전압은 전원의 전압과 같다. 저항이 병렬연결되었을 때 합성 저항값의 역수는 각 저항값의 역수를 모두 더한 값과 같다.

ㄱ. 스위치를 열었을 때 저항값이 3 Ω, 6 Ω인 저항이 병렬연결되어 있으므로 합성 저항값은 2 Ω이다. 스위치를 열었을 때 전류계에 흐르는 전류의 세기는 6 A이므로 $V_0=6\text{ A}\times2\ \Omega=12\text{ V}$이다.

ㄴ. 스위치를 열었을 때 저항값이 3 Ω인 저항에 걸린 전압은 12 V이므로, 저항값이 3 Ω인 저항에 흐르는 전류의 세기는 4 A이다.

~~ㄷ~~. 스위치를 닫았을 때 전류계에 흐르는 전류의 세기는 8 A이므로 저항값이 R인 저항에 흐르는 전류의 세기는 2 A이다. 스위치를 닫았을 때 저항값이 R인 저항 양단에 걸린 전압은 12 V이므로 $R=6\ \Omega$이다.

05 저항의 연결과 소비 전력

저항의 소비 전력 $P=VI=I^2R=\frac{V^2}{R}$ (V: 저항 양단에 걸린 전압, I: 저항에 흐르는 전류의 세기, R: 저항의 저항값)이다. 저항이 직렬연결되었을 때 각 저항 양단에 걸린 전압은 저항의 저항값에 비례하고, 저항이 병렬연결되었을 때 각 저항 양단에 걸린 전압은 전원의 전압과 같다.

ㄱ. A의 소비 전력은 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{4}{9}$배이므로 A에 흐르는 전류의 세기는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{2}{3}$배이다.

~~ㄴ~~. (가), (나)에서 A 양단에 걸린 전압은 각각 $\frac{1}{3}V_1$, V_2이다. A에 흐르는 전류의 세기는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{2}{3}$배이므로 $\frac{1}{3}V_1=\frac{2}{3}\times V_2$이고, $V_1=2V_2$이다.

~~ㄷ~~. (가), (나)에서 B 양단에 걸린 전압은 각각 $\frac{2}{3}V_1$, $V_2=\frac{1}{2}V_1$이므로 B의 소비 전력은 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{16}{9}$배이다.

06 저항의 직렬연결과 병렬연결

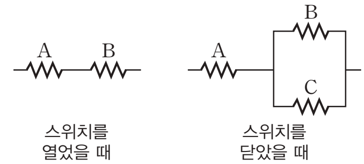
저항값은 비저항과 도선의 길이에 비례하고, 단면적에 반비례한다 $\left(R=\rho\frac{l}{S}\right)$. 저항이 병렬연결되었을 때 각 저항 양단에 걸린 전압은 같고, 저항이 직렬연결되었을 때 각 저항 양단에 걸린 전압은 각 저항의 저항값에 비례한다.

③ A와 B는 병렬연결되어 있으므로 A, B 양단에 걸린 전압은 같고 A, B에서 소비되는 전력이 같으므로 A와 B의 저항값은 같다. 따라서 A, B에 흐르는 전류의 세기가 I일 때 C에 흐르는 전류의 세기는 $2I$이다. A, C에서 소비되는 전력이 같으므로 A, C의 저항값을 각각 R, R_C라 할 때, $I^2R=4I^2R_C$이고 $R_C=\frac{R}{4}$이다.

A, B, C의 길이를 각각 l이라 할 때, $\rho\frac{l}{2S}=\rho_B\frac{l}{S}=4\times\rho_C\frac{l}{S}$이므로 $\rho_B=\frac{1}{2}\rho$이고, $\rho_C=\frac{1}{8}\rho$이다. 따라서 $\frac{\rho_B}{\rho_C}=4$이다.

07 저항의 직렬연결과 병렬연결

스위치를 열었을 때와 닫았을 때 전원에 연결된 저항은 다음과 같다.



저항을 병렬연결하면 합성 저항값은 가장 작은 저항값보다 작다. 따라서 B의 저항값을 R_B, B와 C의 합성 저항값을 R_{BC}라 할 때, $R_B>R_{BC}$이다.

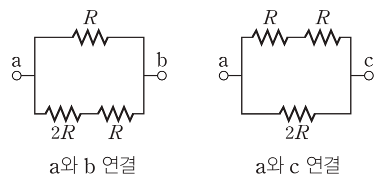
~~ㄱ~~. A의 저항값을 R_A라 할 때, 스위치를 열었을 때와 닫았을 때 회로의 합성 저항값은 각각 R_A+R_B, R_A+R_{BC}이다. $R_B>R_{BC}$이므로 $R_A+R_B>R_A+R_{BC}$이다.

ㄴ. 회로의 합성 저항값은 스위치를 닫았을 때가 열었을 때보다 작으므로 A에 흐르는 전류의 세기는 스위치를 닫았을 때가 열었을 때보다 크다.

~~ㄷ~~. 전원의 전압=A 양단에 걸린 전압+B 양단에 걸린 전압이다. A 양단에 걸린 전압은 스위치를 닫았을 때가 스위치를 열었을 때보다 크므로 B 양단에 걸린 전압은 스위치를 닫았을 때가 스위치를 열었을 때보다 작다.

08 저항의 소비 전력

전원 장치의 단자를 a와 b, a와 c에 연결하였을 때 저항의 연결은 다음과 같다.



④ 전원 장치를 a와 b, a와 c에 연결했을 때, 합성 저항값을 각각 R_{ab}, R_{ac}라 하면,

$\frac{1}{R_{ab}}=\frac{1}{R}+\frac{1}{3R}$이므로 $R_{ab}=\frac{3}{4}R$

$\frac{1}{R_{ac}}=\frac{1}{2R}+\frac{1}{2R}$이므로 $R_{ac}=R$

따라서 $P_{ab}:P_{ac}=\frac{{V_0}^2}{R_{ab}}:\frac{{V_0}^2}{R_{ac}}=4:3$이다.

수능 3점 테스트

본문 101~104쪽

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

01 전기장과 전위

전기력이 전하량이 q인 점전하에 한 일 $W=qV$(V: 전위차)이다.

㉠. $x=0$에서 $x=d$까지, $x=d$에서 $x=3d$까지 전위차는 각각 $2V$, V이므로 전기력이 A에 한 일은 $x=0$에서 $x=d$까지가 $x=d$에서 $x=3d$까지의 2배이다.

㉡. 균일한 전기장 영역에서 전기장의 세기 $E=\dfrac{V}{s}$(s: 두 지점 사이의 거리)이다. $x=0.5d$, $x=2d$에서 전기장의 세기는 각각 $\dfrac{2V}{d}$, $\dfrac{V}{2d}$이므로 전기장의 세기는 $x=0.5d$에서가 $x=2d$에서의 4배이다.

~~㉢~~. $x=0$에서 $x=3d$까지 전기력이 A에 한 일을 W라 하면, $x=0$에서 $x=2d$까지 전기력이 A에 한 일은 $\dfrac{5}{6}W$이다. A의 질량을 m이라 할 때, $W=\dfrac{25}{2}mv_0^2-\dfrac{1}{2}mv_0^2=12mv_0^2$이다. $x=2d$에서 A의 속력을 v라 할 때, $\dfrac{5}{6}W=\dfrac{1}{2}mv^2-\dfrac{1}{2}mv_0^2=10mv_0^2$이므로 $v=\sqrt{21}v_0$이다.

02 저항의 직렬연결과 병렬연결

두 저항을 직렬연결할 때가 병렬연결할 때보다 합성 저항값이 크다. 비저항과 단면적은 A와 B가 같고, 길이는 A가 B보다 크므로 저항값은 A가 B보다 크다.

㉠. P, Q에 해당하는 저항값은 각각 $\dfrac{3V_0}{I_0}$, $\dfrac{16V_0}{I_0}$이고, 합성 저항값은 (가)에서가 (나)에서보다 크므로 P는 (나), Q는 (가)의 결과이다.

㉡. A, B의 저항값을 각각 R_A, R_B라 하고, $\dfrac{V_0}{I_0}=R$라 할 때, (가)에서 $R_A+R_B=16R$ ⋯ (1), (나)에서 $\dfrac{R_AR_B}{R_A+R_B}=3R$ ⋯ (2)이다. $R_AR_B=48R^2$ ⋯ (3)이므로 $R_B=16R-R_A$를 (3)에 대입하면 $(R_A-4R)(R_A-12R)=0$이다. $R_A>R_B$이므로 $R_A=12R$, $R_B=4R$이다. 따라서 저항값은 A가 B의 3배이다.

㉢. 전원 장치의 전압이 $3V_0$일 때, (가), (나)에서 A 양단에 걸린 전압은 각각 $\dfrac{9}{4}V_0$, $3V_0$이다. 따라서 A 양단에 걸린 전압은 (가)에서가 (나)에서의 $\dfrac{3}{4}$배이다.

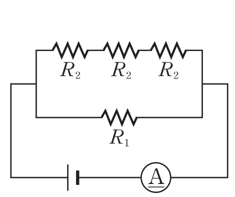
03 저항의 연결

저항에 흐르는 전류의 세기는 저항 양단에 걸린 전압에 비례하고 저항의 저항값에 반비례한다.

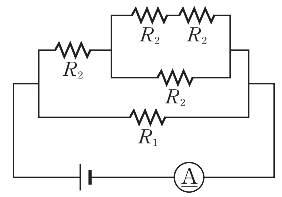
④ 실험 Ⅰ에서 합성 저항값은 $6+3R$이고, 실험 Ⅱ에서 합성 저항값은 $6+\dfrac{3}{4}R$이다. 회로의 합성 저항값은 실험 Ⅰ에서가 실험 Ⅱ에서의 2배이므로 $6+3R=2\times\left(6+\dfrac{3}{4}R\right)$이고, $R=4\ \Omega$이다. 실험 Ⅰ에서 전류계에 흐르는 전류의 세기는 2 A이고, 합성 저항값은 18 Ω이므로 전원의 전압은 36 V이다. 실험 Ⅲ에서 A와 B의 합성 저항값은 2 Ω이고, C와 D의 합성 저항값은 3 Ω이므로 회로 전체의 합성 저항값은 5 Ω이다. 따라서 ㉠$=\dfrac{36}{5}$ A이다.

04 저항의 연결과 옴의 법칙

스위치를 열었을 때와 닫았을 때 회로는 그림과 같다.



스위치를 열었을 때



스위치를 닫았을 때

② 스위치를 열었을 때 회로의 합성 저항값을 R_{off}라 하면, $\dfrac{1}{R_{\text{off}}}=\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{3R_2}$이므로 $R_{\text{off}}=\dfrac{3R_1R_2}{R_1+3R_2}$이다.

스위치를 닫았을 때 회로의 합성 저항값을 R_{on}이라 하면, $\dfrac{1}{R_{\text{on}}}=\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{3}{5R_2}$이므로 $R_{\text{on}}=\dfrac{5R_1R_2}{3R_1+5R_2}$이다.

$R_{\text{off}}=\dfrac{9}{7}R_{\text{on}}$이므로 $\dfrac{3R_1R_2}{R_1+3R_2}=\left(\dfrac{9}{7}\right)\left(\dfrac{5R_1R_2}{3R_1+5R_2}\right)$이고, $R_1=\dfrac{5}{3}R_2$이다. 따라서 $R_1:R_2=5:3$이다.

05 저항의 연결과 소비 전력

저항에서 소비되는 전력 $P=\dfrac{V^2}{R}=I^2R$ (V: 저항 양단에 걸린 전압, R: 저항의 저항값, I: 저항에 흐르는 전류의 세기)이다.

④ 전원의 전압을 V라 할 때, (나)에서 B 양단에 걸린 전압은 V이다. B에서 소비되는 전력은 (가)에서가 (나)에서의 $\dfrac{4}{9}$배이므로 (가)에서 B 양단에 걸린 전압은 $\dfrac{2}{3}V$이다. (가)에서 A 양단에 걸린 전압+B 양단에 걸린 전압$=V$이므로 A 양단에 걸린 전압은 $\dfrac{1}{3}V$이다. (가)에서 A, B는 직렬연결되어 있으므로 각각의 저항에 걸린 전압은 저항의 저항값에 비례한다. 따라서 A의 저항값을

R라 할 때, B의 저항값은 $2R$이다. (나)에서 A와 C는 직렬연결되어 있으므로 A에 흐르는 전류의 세기와 C에 흐르는 전류의 세기는 같다. (나)에서 A에서 소비되는 전력은 C에서 소비되는 전력의 $\frac{1}{2}$배이므로 C의 저항값은 $2R$이다.

따라서 $\rho_A\frac{l}{S}$: $\rho_B\frac{3l}{2S}$: $\rho_C\frac{l}{2S}$$=R$: $2R$: $2R$이므로 ρ_A : ρ_B : $\rho_C$$=3:4:12$이다.

06 저항의 연결과 옴의 법칙

저항값이 R_1, R_2인 저항에 흐르는 전류의 세기를 각각 I_1, I_2라 할 때, 전류계에 흐르는 전류의 세기$=I_1+I_2$이다.

㉠. 가변 저항의 저항값이 1 Ω일 때, 가변 저항에 걸린 전압이 4 V이므로 $I_1=4$ A이고, $I_2=2$ A이다. 전원의 전압을 V_0이라 할 때, $V_0=4+4R_1=2R_2$이다. 가변 저항의 저항값이 3 Ω일 때, 가변 저항에 걸린 전압이 9 V이므로 $I_1=3$ A이고, $V_0=9+3R_1$이다.

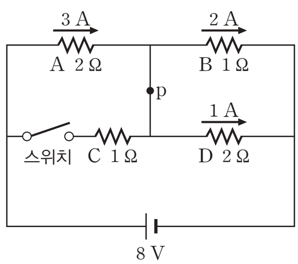
$4+4R_1=9+3R_1$이므로 $R_1=5$ Ω이고, $R_2=12$ Ω이다. 따라서 R_1 : $R_2=5:12$이다.

㉡. $R_1=5$ Ω이므로 $V_0=24$ V이다. 가변 저항 양단에 걸린 전압+저항값이 R_1인 저항 양단에 걸린 전압=24 V이므로 가변 저항의 저항값이 1 Ω일 때, 저항값이 R_1인 저항 양단에 걸린 전압은 20 V이다.

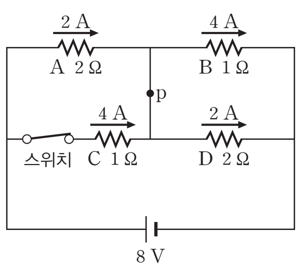
㉢. 가변 저항의 저항값이 3 Ω일 때, $I_1=3$ A이고, $I_2=2$ A이므로 ㉠은 5 A이다.

07 저항의 연결과 옴의 법칙

저항이 직렬로 연결되어 있을 때 저항값에 비례하여 전원의 전압이 각 저항 양단에 나뉘어 걸린다.



스위치를 열었을 때



스위치를 닫았을 때

㉠. 스위치를 열었을 때 B와 D는 병렬연결되어 있으므로 합성 저항값을 R_{BD}라 할 때, $\frac{1}{R_{BD}}=\frac{1}{1\,\Omega}+\frac{1}{2\,\Omega}$이고 $R_{BD}=\frac{2}{3}$ Ω이다. 따라서 회로 전체의 합성 저항값은 $2\,\Omega+\frac{2}{3}\,\Omega=\frac{8}{3}$ Ω이다.

ㄴ. 스위치를 열었을 때 A의 저항값 : B와 C의 합성 저항값$=3:1$이므로 A 양단에 걸린 전압은 6 V이다.

㉢. 스위치를 열었을 때 B와 D 양단에 걸린 전압은 2 V이므로 D에 흐르는 전류의 세기는 1 A이다. 따라서 p에 흐르는 전류의 세기는 1 A이다. 스위치를 닫았을 때 A와 C의 합성 저항값과 B와 D의 합성 저항값은 $\frac{2}{3}$ Ω으로 같다. A, B, C, D 양단에 걸린 전압은 4 V로 같으므로 A와 D에 흐르는 전류의 세기는 2 A이고, B와 C에 흐르는 전류의 세기는 4 A이며, p에 흐르는 전류의 세기는 2 A이다. 따라서 p에 흐르는 전류의 세기는 스위치를 열었을 때가 닫았을 때의 $\frac{1}{2}$배이다.

08 저항의 연결과 소비 전력

저항에서 소비되는 전력은 저항 양단에 걸린 전압의 제곱에 비례하고, 저항값에 반비례한다.

㉠. 전원 장치를 a, c에 연결했을 때 회로의 합성 저항값은 $R+4$ Ω이고, 전원 장치를 b, d에 연결했을 때 회로의 합성 저항값은 $R+2$ Ω이다. $R+4\,\Omega=\left(\frac{5}{4}\right)(R+2\,\Omega)$이므로 $R=6$ Ω이다.

㉡. 전원 장치를 a, c에 연결했을 때 회로의 합성 저항값은 10 Ω이다. $40\text{ W}=\frac{V_0^{\ 2}}{10\,\Omega}$이므로 $V_0=20$ V이다.

ㄷ. 전원 장치를 a, d에 연결했을 때 회로의 합성 저항값은 12 Ω이므로 회로의 소비 전력은 $\frac{100}{3}$ W이다. 따라서 ㉠$=\frac{100}{3}$이다.

08 트랜지스터와 축전기

수능 2점 테스트 본문 110~112쪽

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

01 n-p-n형 트랜지스터

베이스에 흐르는 전류의 미세한 변화로 컬렉터에 흐르는 전류의 큰 변화를 얻는 것을 증폭 작용이라 한다.

② 트랜지스터가 전류를 증폭하는 회로에서 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸려 있고, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압이 걸려 있다.

02 p-n-p형 트랜지스터

p-n-p형 트랜지스터에서 이미터에 흐르는 전류의 세기는 베이스에 흐르는 전류의 세기와 컬렉터에 흐르는 전류의 세기의 합과 같다.

㉠. 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸려 있으므로 트랜지스터는 p-n-p형이다. 따라서 A는 n형 반도체이다.

㉡. 트랜지스터는 p-n-p형이므로 베이스에 흐르는 전류의 방향은 ㉡이다.

㉢. 이미터에 흐르는 전류의 세기는 컬렉터에 흐르는 전류의 세기보다 크므로 전류의 세기는 R_1에서가 R_2에서보다 크다.

03 n-p-n형 트랜지스터

베이스에서 이미터로 전류가 흐르므로 트랜지스터는 n-p-n형이다.

㉠. 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압이 걸려 있으므로 전원 장치의 단자 a는 (+)극이다.

㉡. 트랜지스터는 n-p-n형이므로 베이스 단자의 전위는 이미터 단자의 전위보다 높다.

㉢. 전류 증폭률은 $\dfrac{\text{컬렉터 단자에 흐르는 전류의 세기}}{\text{베이스 단자에 흐르는 전류의 세기}}$이므로 $\dfrac{I_1}{I_2}$이다.

04 n-p-n형 트랜지스터

n-p-n형 트랜지스터에서는 이미터에서 베이스로 이동한 전자 대부분이 베이스를 통과하여 컬렉터에 도달한다.

㉠. 베이스와 컬렉터로 전류가 들어가고, 이미터로 전류가 나오므로 트랜지스터는 n-p-n형이다.

~~ㄴ~~. 이미터와 베이스 사이에 순방향 전압이 걸려야 증폭 작용이 일어난다.

~~ㄷ~~. 이미터에 흐르는 전류의 세기는 베이스에 흐르는 전류의 세기와 컬렉터에 흐르는 전류의 세기의 합과 같으므로 $I_E = I_B + I_C$이다.

05 축전기의 전기 용량과 축전기에 충전된 전하량

축전기의 전기 용량은 두 극판 사이에 채워진 유전체의 유전율에 비례하고, 극판의 면적에 비례하며, 극판 사이의 간격에 반비례한다.

㉠. 극판의 면적을 S, 극판 사이의 간격을 d라 할 때, (가), (나)에서 축전기의 전기 용량은 각각 $\varepsilon_0\dfrac{S}{d}$, $\varepsilon\dfrac{S}{d}$이므로 (나)에서가 (가)에서의 $\left(\dfrac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)$배이다.

~~ㄴ~~. 축전기 양단의 전위차는 전원의 전압과 같으므로 (가)에서와 (나)에서가 같다.

㉢. 축전기에 충전된 전하량 $Q=CV$(C: 축전기의 전기 용량, V: 축전기 양단의 전위차)이다. 축전기 양단의 전위차는 (가)에서와 (나)에서가 같고, 축전기의 전기 용량은 (나)에서가 (가)에서의 $\left(\dfrac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)$배이므로 (나)에서 축전기에 충전된 전하량은 $\left(\dfrac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)Q_0$이다.

06 축전기의 활용

축전기의 전기 용량 $C=\varepsilon\dfrac{S}{d}$($\varepsilon$: 극판 사이에 채워진 유전체의 유전율, S: 극판의 면적, d: 극판 사이의 간격)이다.

㉠. 극판 사이에 채워진 유전체의 유전율이 클수록 축전기의 전기 용량은 크다.

~~ㄴ~~. 축전기의 전기 용량이 일정할 때, 축전기 양단의 전위차가 클수록 축전기에 충전된 전하량은 크다.

~~ㄷ~~. 극판 사이의 간격이 감소하면 축전기의 전기 용량은 증가한다.

07 축전기의 전기 용량과 전기 에너지

축전기에 충전된 전하량은 축전기의 전기 용량에 비례하고 축전기 양단의 전위차에 비례한다($Q=CV$). 축전기에 저장된 전기 에너지는 축전기의 전기 용량에 비례하고, 축전기 양단의 전위차의 제곱에 비례한다$\left(E=\dfrac{1}{2}CV^2\right)$.

~~ㄱ~~. A, B의 극판의 면적을 S라 할 때, A, B의 전기 용량은 각각 $\varepsilon\dfrac{S}{d}$, $\varepsilon\dfrac{3S}{2d}$이므로 A가 B보다 작다.

㉡. A의 전기 용량을 C라 할 때, B의 전기 용량은 $\dfrac{3}{2}C$이다. A, B에 충전된 전하량은 각각 $2CV$, $\dfrac{3}{2}CV$이므로 A가 B보다 크다.

㉢. A, B에 저장된 전기 에너지는 각각 $2CV^2$, $\dfrac{3}{4}CV^2$이므로 A가 B보다 크다.

08 축전기의 직렬연결

A와 B는 직렬연결되어 있으므로 A, B에 충전된 전하량은 같다.

㉠. A 양단의 전위차+B 양단의 전위차$=V$이므로 ㉠은 $\dfrac{1}{4}V$이다.

~~ㄴ~~. 축전기에 충전된 전하량은 축전기의 전기 용량에 비례하고 축전기 양단의 전위차에 비례한다($Q=CV$). A, B에 충전된 전하량은 같고, 축전기 양단의 전위차는 A가 B의 $\frac{1}{3}$배이므로 전기 용량은 A가 B의 3배이다. A, B의 극판의 면적, 극판 사이의 간격이 같으므로 ㉡은 $\frac{1}{3}\varepsilon$이다.

ㄷ. A의 전기 용량을 C라 할 때, B의 전기 용량은 $\frac{1}{3}C$이다. A, B에 저장된 전기 에너지는 각각 $\frac{1}{32}CV^2$, $\frac{3}{32}CV^2$이므로 A가 B의 $\frac{1}{3}$배이다.

09 축전기의 병렬연결

축전기가 전원과 병렬연결되어 있으면 축전기 양단의 전위차는 전원의 전압과 같다. 축전기의 전기 용량 $C=\frac{Q}{V}$(Q: 축전기에 충전된 전하량, V: 축전기 양단의 전위차)이다.

ㄱ. 극판의 면적, 극판에 채워진 유전체의 유전율이 일정할 때, 축전기의 전기 용량은 극판 사이의 간격에 반비례한다. 따라서 A, B의 전기 용량은 각각 $\frac{Q_0}{V}$, $\frac{Q_0}{3V}$이다.

ㄴ. A, B 양단의 전위차는 V로 같으므로 B에 충전된 전하량은 $\frac{1}{3}Q_0$이다.

~~ㄷ~~. 축전기에 저장된 전기 에너지 $E=\frac{1}{2}QV$이므로 B에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{6}Q_0V$이다.

10 축전기의 직렬연결과 병렬연결

축전기에 충전된 전하량은 축전기의 전기 용량에 비례하고, 축전기 양단의 전위차에 비례한다($Q=CV$). 따라서 B에 충전된 전하량은 (나)에서가 (가)에서의 4배이므로 B 양단의 전위차는 (나)에서가 (가)에서의 4배이다.

ㄱ. (나)에서 A, B는 전원과 병렬연결되어 있으므로 A, B 양단의 전위차는 V이고, (가)에서 B 양단의 전위차는 $\frac{1}{4}V$이다. (가)에서 A와 B 양단의 전위차의 합은 V이므로 A 양단의 전위차는 $\frac{3}{4}V$이다.

ㄴ. (가)에서 A와 B에 충전된 전하량은 같으므로 A, B의 극판의 면적을 S, 극판 사이의 간격을 d라 하면

$\left(\varepsilon_0\frac{S}{d}\right)\times\frac{3}{4}V=\left(\varepsilon_0\frac{S}{2d}\right)\times\frac{1}{4}V+\left(\varepsilon_1\frac{S}{2d}\right)\times\frac{1}{4}V$이다. 따라서 $\varepsilon_1=5\varepsilon_0$이다.

ㄷ. 전기 용량은 A가 B의 $\frac{1}{3}$배이므로 (나)에서 A에 충전된 전하량은 B에 충전된 전하량의 $\frac{1}{3}$배이다.

11 축전기의 전기 용량과 전기 에너지

축전기의 극판 사이의 간격이 일정하고, 극판에 채워진 유전체가 같을 때, 축전기의 전기 용량은 극판의 면적에 비례한다.

② A의 전기 용량을 C라 할 때, B와 C의 전기 용량은 $2C$로 같다. A와 B는 직렬연결되어 있으므로 A와 B에 충전된 전하량은 같다. 따라서 전원의 전압을 V라 할 때, A, B 양단의 전위차는 각각 $\frac{2}{3}V$, $\frac{1}{3}V$이고, C 양단의 전위차는 V이다. 축전기에 저장된 전기 에너지 $E=\frac{1}{2}CV^2$이므로 $E_A : E_B : E_C=\frac{2}{9}CV^2 : \frac{1}{9}CV^2 : CV^2=2 : 1 : 9$이다.

12 축전기의 전기 용량과 전기 에너지

(나)에서 A, B는 병렬연결되어 있으므로 A, B 양단의 전위차는 같다.

ㄱ. (가), (나)에서 A와 B에 충전된 전하량의 합은 같으므로 $Q_0=3Q+Q=4Q$이다.

~~ㄴ~~. (가)에서 A 양단의 전위차는 V이다. (나)에서 A에 충전된 전하량은 $\frac{3}{4}Q_0$이므로 A 양단의 전위차는 $\frac{3}{4}V$이다. 따라서 A 양단의 전위차는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{4}{3}$배이다.

ㄷ. 축전기에 저장된 전기 에너지 $E=\frac{1}{2}QV$(Q: 축전기에 충전된 전하량, V: 축전기 양단의 전위차)이다. (가)에서 A에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{2}Q_0V$이고, (나)에서 B에 저장된 전기 에너지는 $\frac{3}{32}Q_0V$이다. 따라서 (가)에서 A에 저장된 전기 에너지는 (나)에서 B에 저장된 전기 에너지보다 크다.

수능 3점 테스트

본문 113~116쪽

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

01 n-p-n형 트랜지스터

n-p-n형 트랜지스터의 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압을, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압을 걸어 주면 증폭 작용이 일어난다.

ㄱ. 베이스와 컬렉터로 전류가 들어가고, 이미터로 전류가 나오므로 A는 n-p-n형 트랜지스터이다.

ㄴ. (가)에서 회로에 전류가 흐르지 않으므로 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압이 걸려 있다.

ㄷ. n-p-n형 트랜지스터에서는 이미터에서 베이스로 이동한 다수의 전자가 베이스를 통과하여 컬렉터에 도달한다.

02 n-p-n형 트랜지스터

n-p-n형 트랜지스터에서 이미터에 흐르는 전류의 세기는 베이스에 흐르는 전류의 세기와 컬렉터에 흐르는 전류의 세기의 합과 같다.

ㄱ. X, Y에 들어간 전류가 Z에서 나오므로 X는 컬렉터 단자, Y는 베이스 단자, Z는 이미터 단자이다.

ㄴ. n-p-n형 트랜지스터에서 베이스 단자(Y)의 전위는 이미터 단자(Z)의 전위보다 높다.

ㄷ. Y에 흐르는 전류의 세기는 가변 저항의 저항값이 R_0일 때가 $2R_0$일 때보다 크다. 전류 증폭률 $\frac{\text{X에 흐르는 전류의 세기}}{\text{Y에 흐르는 전류의 세기}}$이 일정하므로 Y에 흐르는 전류의 세기가 증가하면 X에 흐르는 전류의 세기도 증가한다. 따라서 Z에 흐르는 전류의 세기=X에 흐르는 전류의 세기+Y에 흐르는 전류의 세기이므로 Z에 흐르는 전류의 세기는 가변 저항의 저항값이 R_0일 때가 $2R_0$일 때보다 크다.

03 n-p-n형 트랜지스터

트랜지스터의 전류 증폭률$=\frac{I_C}{I_B}$(I_B: 베이스에 흐르는 전류의 세기, I_C: 컬렉터에 흐르는 전류의 세기)이다.

ㄱ. n-p-n형 트랜지스터에서 베이스와 컬렉터에 들어간 전류가 이미터로 나온다. 따라서 컬렉터에 흐르는 전류의 방향은 ㉡이다.

~~ㄴ~~. 컬렉터에 흐르는 전류의 세기는 I_E-I_B이므로 트랜지스터의 전류 증폭률은 $\frac{I_E-I_B}{I_B}$이다.

ㄷ. n-p-n형 트랜지스터에서 컬렉터의 전위는 베이스의 전위보다 높다.

04 축전기의 전기 용량과 전기 에너지

축전기에 충전된 전하량은 축전기의 전기 용량에 비례하고, 축전기 양단의 전위차에 비례한다($Q=CV$). 축전기에 저장된 전기 에너지는 축전기에 저장된 전하량에 비례하고, 축전기 양단의 전위차에 비례한다$\left(E=\frac{1}{2}QV\right)$.

ㄱ. A, B는 전원 장치와 병렬연결되어 있으므로 A, B 양단의 전위차는 같다. 충전된 전하량은 A가 B의 $\frac{4}{3}$배이므로 전기 용량은 A가 B의 $\frac{4}{3}$배이다.

ㄴ. 축전기의 전기 용량 $C=\varepsilon\frac{S}{d}$(ε: 극판 사이의 유전체의 유전율, S: 극판의 면적, d: 극판 사이의 간격)이다.

$2\varepsilon\frac{S}{d}=\frac{4}{3}\times㉠\frac{3S}{2d}$이므로 ㉠은 ε이다.

~~ㄷ~~. 전원 장치의 전압이 V_0일 때 A에 저장된 전기 에너지는 Q_0V_0이고, 전원 장치의 전압이 $2V_0$일 때 B에 저장된 전기 에너지는 $3Q_0V_0$이다. 따라서 전원 장치의 전압이 V_0일 때 A에 저장된 전기 에너지는 전원 장치의 전압이 $2V_0$일 때 B에 저장된 전기 에너지의 $\frac{1}{3}$배이다.

05 축전기의 전기 용량과 전기 에너지

축전기에 충전된 전하량 $Q=CV$(C: 축전기의 전기 용량, V: 축전기 양단의 전위차)이고, 축전기에 저장된 전기 에너지 $E=\frac{Q^2}{2C}$이다.

ㄱ. 축전기의 전기 용량이 일정할 때, 축전기에 저장된 전기 에너지는 축전기에 충전된 전하량의 제곱에 비례하므로 ㉠은 $2Q$이다.

~~ㄴ~~. S_1만 연결했을 때 A, B는 직렬연결되어 있으므로 A, B에 충전된 전하량은 같다. 전기 용량은 A와 B가 같으므로 S_1만 연결했을 때 A, B 양단의 전위차는 같다. 따라서 전원의 전압을 V라 할 때, A, B 양단의 전위차는 각각 $\frac{1}{2}V$이다. A에 충전된 전하량은 S_1만 연결했을 때가 S_2만 연결했을 때의 $\frac{3}{2}$배이므로 S_2만 연결했을 때 A 양단의 전위차는 $\frac{1}{3}V$이고, C 양단의 전위차는 $\frac{2}{3}V$이다. 따라서 S_2만 연결했을 때 A 양단의 전위차는 C 양단의 전위차의 $\frac{1}{2}$배이다.

~~ㄷ~~. S_2만 연결했을 때 A, C에 충전된 전하량은 같으므로 전기 용량은 A가 C의 2배이다. A와 B의 전기 용량은 같으므로 전기 용량은 B가 C의 2배이다.

06 축전기의 전기 용량과 전기 에너지

(나)에서 A와 B는 병렬연결되어 있으므로 A, B 양단의 전위차는 같다.

~~ㄱ~~. (가)에서 A에 충전된 전하량=(나)에서 A에 충전된 전하량+(나)에서 B에 충전된 전하량이다. A에 충전된 전하량은 (가)에서가 (나)에서의 3배이므로 (가)에서 A에 충전된 전하량을 Q_0이라 하면 (나)에서 A, B에 충전된 전하량은 각각 $\frac{1}{3}Q_0$, $\frac{2}{3}Q_0$이다.

ㄴ. (나)에서 A, B의 극판의 면적을 S, 극판 사이의 간격을 d라 하면, $2\left(\varepsilon_1\frac{S}{d}\right)=\left(\varepsilon_1\frac{S}{2d}+\varepsilon_2\frac{S}{2d}\right)$이므로 $\varepsilon_2=3\varepsilon_1$이다.

~~ㄷ~~. 전기 용량은 B가 A의 2배이므로 (다)에서 B에 충전된 전하량은 $2Q_0$이다. A, B의 전기 용량을 각각 C, $2C$라 할 때, (나), (다)에서 A와 B에 저장된 전기 에너지의 합은 각각 $\frac{3Q_0^2}{18C}$, $\frac{3Q_0^2}{2C}$이다. 따라서 A와 B에 저장된 전기 에너지의 합은 (나)에서가 (다)에서의 $\frac{1}{9}$배이다.

07 축전기의 전기 용량과 전기 에너지

축전기에 충전된 전하량 $Q=CV$(C: 축전기의 전기 용량, V: 축전기 양단의 전위차)이다.

ㄱ. (가)에서 A와 B는 직렬연결되어 있으므로 축전기에 충전된 전하량은 같다. 전기 용량은 A가 B의 2배이므로 A 양단의 전위차는 B 양단의 전위차의 $\frac{1}{2}$배이다.

ㄴ. (가)에서 A, B에 충전된 전하량을 각각 Q_0이라 할 때, (나)에서 Q_0=B에 충전된 전하량+C에 충전된 전하량이다. (나)에서 B와 C는 병렬연결되어 있으므로 B, C 양단의 전위차는 같다. 전기 용량은 B가 C의 $\frac{1}{3}$배이므로 (나)에서 B에 충전된 전하량은 C에 충전된 전하량의 $\frac{1}{3}$배이다.

~~ㄷ~~. (나)에서 C에 충전된 전하량은 $\frac{3}{4}Q_0$이다. 축전기에 저장된 전기 에너지 $E=\frac{Q^2}{2C}$(Q:축전기에 충전된 전하량, C: 축전기의 전기 용량)이다. 따라서 (가)에서 A에 저장된 전기 에너지는 (나)에서 C에 저장된 전기 에너지의 $\frac{8}{3}$배이다.

08 축전기의 전기 용량과 전기 에너지

축전기의 전기 용량 $C=\varepsilon\frac{S}{d}$(ε: 극판 사이의 유전체의 유전율, S: 극판의 면적, d: 극판 사이의 간격)이므로 B의 전기 용량을 C_2라 할 때, C의 전기 용량은 $2C_2$이다.
또한, A 양단의 전위차는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{5}{8}$배이므로 (가)에서 A 양단의 전위차를 $5V_A$라 하면, (나)에서 A 양단의 전위차는 $8V_A$이다.

ㄱ. (가)에서 A와 B는 직렬연결되어 있으므로 A와 B에 충전된 전하량은 같고, 전원의 전압 V=A 양단의 전위차+B 양단의 전위차이다. 따라서 A의 전기 용량을 C_1, B 양단의 전위차를 V_B라 하면 $5C_1V_A=C_2V_B$ ⋯ ①, $V=5V_A+V_B$ ⋯ ②이다. (나)에서 A와 C는 직렬연결되어 있으므로 C 양단의 전위차를 V_C라 하면, $8C_1V_A=2C_2V_C$ ⋯ ③, $V=8V_A+V_C$ ⋯ ④이다.
①, ③에서 $V_C=\frac{4}{5}V_B$이므로 $V=5V_A+V_B=8V_A+\frac{4}{5}V_B$이고 $V_A=\frac{1}{20}V$, $V_B=\frac{3}{4}V$이다.

~~ㄴ~~. ①에서 $5C_1\times\frac{1}{20}V=C_2\times\frac{3}{4}V$이므로 $C_1=3C_2$이다. A, B의 극판의 면적을 S라 하면, $\varepsilon_1\frac{S}{d}=3\times\varepsilon_2\frac{S}{2d}$이므로 $\varepsilon_1=\frac{3}{2}\varepsilon_2$이다. 따라서 $\varepsilon_1 : \varepsilon_2=3 : 2$이다.

ㄷ. 축전기에 저장된 전기 에너지 $E=\frac{1}{2}CV^2$이다. (나)에서 A 양단의 전위차는 C 양단의 전위차의 $\frac{2}{3}$배이고, 전기 용량은 A가 C의 $\frac{3}{2}$배이므로 축전기에 저장된 전기 에너지는 A가 C의 $\frac{2}{3}$배이다.

09 전류에 의한 자기장

수능 2점 테스트

본문 123~125쪽

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

01 자석과 전류에 의한 자기장과 자기력선

자석에 의한 자기장의 자기력선은 자석의 N극에서 나오는 방향이고 S극으로 들어가는 방향이다.

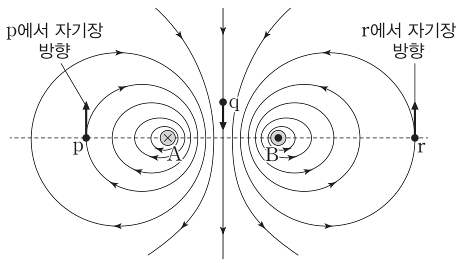
ㄱ. (가)에서 자기력선은 A에서 나와 B로 들어가는 방향이므로 A의 오른쪽 끝은 N극에 해당하고 B의 왼쪽 끝은 S극에 해당한다. 따라서 A와 B 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

ㄴ. (나)에서 A와 B 사이에 형성된 자기력선의 밀도가 도선의 윗부분에서는 더 조밀하고 아랫부분에서는 덜 조밀하다. 이는 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 시계 방향으로 형성되어 도선의 윗부분은 자기장 세기가 증가하고 도선의 아랫부분은 자기장의 세기가 감소한 것이다. 따라서 도선에 흐르는 전류의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄷ. (나)에서 도선의 아랫부분에서는 A와 B가 만드는 자기장의 방향은 오른쪽 방향이고, 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 왼쪽 방향이므로 자기장이 0인 지점이 있다.

02 자기력선

자기력선의 밀도가 클수록 자기장의 세기가 크고, 자기력선에 접하는 방향이 그 지점에서 자기장의 방향이다. 직선 전류에 의한 자기장의 방향은 오른나사 법칙을 적용하여 찾을 수 있다.



ㄱ. A 주위의 자기력선은 시계 방향이므로 A에는 종이면에 수직으로 들어가는 방향으로 전류가 흐른다. B 주위의 자기력선은 시계 반대 방향이므로 B에는 종이면에서 수직으로 나오는 방향으로 전류가 흐른다.

~~ㄴ~~. 자기력선은 q에서가 p에서보다 더 조밀하므로 자기장의 세기는 q에서가 p에서보다 크다.

ㄷ. p와 r에서 자기장의 방향은 윗방향으로 서로 같다.

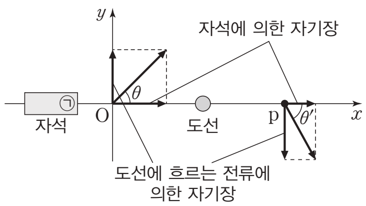
03 자석과 직선 전류에 의한 자기장

자기력선은 자석의 N극에서 나와 S극으로 들어간다. 직선 전류에 의한 자기장의 방향은 오른나사 법칙을 이용하여 찾는다.

~~ㄱ~~. O에서 자기장의 방향이 x축과 θ의 각을 이루므로 자기장의 x축 성분은 $+x$방향이고, 자기장의 y축 성분은 $+y$방향이다. O에서 자석에 의한 자기장의 방향이 $+x$방향이므로 자석의 ㉠은 N극이다.

ㄴ. O에서 자기장의 y축 성분이 $+y$방향이므로 O에서 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 $+y$방향이다. 따라서 도선에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

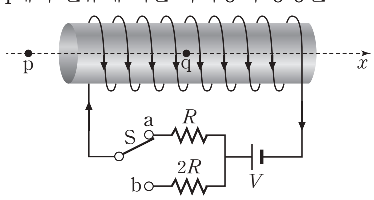
ㄷ. O와 p가 도선으로부터 떨어진 거리는 같으므로 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 같다. 자석으로부터 떨어진 거리는 p가 O보다 크므로 자석에 의한 자기장의 세기는 p에서가 O에서보다 작다. 따라서 p에서 자석과 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 x축과 이루는 각은 θ보다 크다.



04 솔레노이드에 의한 자기장

솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아쥘 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다. 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기에 비례한다.

ㄱ. 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향은 그림과 같다. 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아쥐면 엄지손가락은 $+x$방향을 가리키므로 q에서 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$방향이다.



~~ㄴ~~. 솔레노이드에 전류가 흐를 때, 전류에 의한 자기장의 세기는 솔레노이드 내부에서가 외부에서보다 크다. 따라서 자기장의 세기는 q에서가 p에서보다 크므로 $B_1 < B_2$이다.

~~ㄷ~~. 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기는 스위치 S를 b에 연결했을 때가 a에 연결했을 때의 $\frac{1}{2}$배이다. 따라서 S를 b에 연결하면 q에서 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{1}{2}B_2$이다.

05 직선 전류에 의한 자기장

직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다.

③ $x=0$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 자기장은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향을 양(+)으로 하자. $x=0$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장을 $-B$라고 하면, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $+2B$이므로 $-B+2B=B_0$이고 $B=B_0$이다. $x=2d$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $-\frac{1}{3}B$이고, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $-2B$이다. 따라서 $x=2d$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $-\frac{1}{3}B-2B=-\frac{7}{3}B=-\frac{7}{3}B_0$이므로 $x=2d$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{7}{3}B_0$이다.

06 직선 전류에 의한 자기장

x축상의 $-d<x<3d$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 반대이고, $x=2d$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이다.

ㄱ. x축상의 $-d<x<2d$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 (+)이므로 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 $-y$방향이다.

ㄴ. $x=2d$에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이므로 $x=2d$에서 A와 B 각각에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 같다. 따라서 $k\frac{I_A}{3d}=k\frac{I_B}{d}$이므로 $I_A=3I_B$이다.

~~ㄷ~~. 원점 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 반대이므로 자기장의 세기는 $k\frac{3I_B}{d}-k\frac{I_B}{3d}=k\frac{8I_B}{3d}$이다. x축상의 $x=4d$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 같으므로 자기장의 세기는 $k\frac{3I_B}{5d}+k\frac{I_B}{d}=k\frac{8I_B}{5d}$이다. 따라서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 원점 O에서가 x축상의 $x=4d$에서의 $\frac{5}{3}$배이다.

07 원형 전류에 의한 자기장

원형 도선의 중심에서 전류에 의한 자기장의 방향은 오른손의 엄지손가락을 전류의 방향으로 향하게 하고 나머지 네 손가락으로 도선을 감아쥘 때 네 손가락이 가리키는 방향이다. 원형 도선의 중심에서 자기장 세기는 전류의 세기에 비례하고 반지름에 반비례한다.

ㄱ. A에 흐르는 전류의 방향이 시계 방향이므로 P에서 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄴ. (가)의 P에서와 (나)의 Q에서 자기장의 세기가 같기 위해서는 B에 흐르는 전류의 방향이 A에 흐르는 전류의 방향과 반대 방향이어야 한다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

ㄷ. A에 흐르는 전류의 세기를 I_0, P에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_0이라 하면, $B_0=k'\frac{I_0}{2r}$이다. B에 흐르는 전류의 세기를 I라 하면, (나)의 Q에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_0=k'\frac{I}{r}-k'\frac{I_0}{2r}$이다. 따라서 $k'\frac{I}{r}=k'\frac{I_0}{r}$이므로 $I=I_0$이다.

08 직선 전류에 의한 자기장

직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다. x축상에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 y축과 나란하다.

⑤ $x=0$과 $x=2d$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$방향으로 같고, 자기장의 세기는 $x=2d$에서가 $x=0$에서의 $\frac{1}{3}$배이다. $x=0$과 $x=2d$에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 같고, 방향은 반대 방향이다. $x=0$에서와 $x=2d$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 $-y$방향으로 같고, 세기는 $x=0$에서가 $x=2d$에서의 4배이므로 B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이어야 한다. $x=0$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_B라 하면, $x=0$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_0=B_A+B_B$ … ①이다. $x=2d$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{1}{4}B_0=\frac{1}{3}B_A-B_B$ … ②이다. 따라서 $B_A=\frac{15}{16}B_0$이고, $B_B=\frac{1}{16}B_0$이다. A, B로부터 떨어진 거리가 d로 같은 $x=0$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기의 15배이므로 A에 흐르는 전류의 세기는 B에 흐르는 전류의 세기의 15배이다. 그러므로 $\frac{I_A}{I_B}=15$이다.

09 원형 전류에 의한 자기장

B에 흐르는 전류의 세기가 $2I_0$일 때, O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 반대이고, 자기장의 세기는 서로 같다.

~~ㄱ~~. B에 흐르는 전류의 세기가 0에서 $2I_0$으로 증가할 때, O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 감소하므로 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대 방향이다.

ㄴ. O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기 $B_0=k'\frac{I_0}{r_A}$이고, $I_B=2I_0$일 때, O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_B=k'\frac{2I_0}{r_B}$이다. $I_B=2I_0$일 때, O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이므로 $k'\frac{I_0}{r_A}=k'\frac{2I_0}{r_B}$이다. 따라서 $r_B=2r_A$이다.

ㄷ. $I_B=3I_0$일 때, O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $k'\frac{3I_0}{r_B}=\frac{3}{2}B_0$이다. 따라서 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\left|B_0-\frac{3}{2}B_0\right|=\frac{1}{2}B_0$이다.

10 솔레노이드에 의한 자기장

솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 오른손의 네 손가락을 전류가 흐르는 방향으로 감아쥘 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다. 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기와 단위 길이당 감은 수에 각각 비례한다.

ㄱ. A의 내부에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 $+x$방향이고, B의 내부에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향도 $+x$방향이다. 따라서 A와 B 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

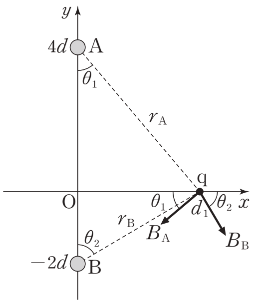
ㄴ. q에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$방향으로 같다.

~~ㄷ~~. A, B에 흐르는 전류의 세기는 같고, 단위 길이당 감은 수는 B가 A의 2배이므로 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 r에서가 p에서보다 크다.

11 전류에 의한 자기장과 지구 자기장

y축상에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 x축과 나란하고, 지구 자기장의 방향은 $+y$방향이다.

② y축상의 $y=d$인 점 p에 놓은 나침반 자침의 N극이 $+y$방향을 향하므로 p에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이다. 따라서 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 같다. A에서 p까지의 거리와 B에서 p까지의 거리가 같으므로 A와 B에 흐르는 전류의 세기는 서로 같다. q에서 자기장의 방향이 $+y$방향이므로 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 x성분의 크기와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 x성분의 크기가 서로 같다.



A, B에 흐르는 전류의 세기를 각각 I, A, B에 흐르는 전류의 방향을 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 하고, A에서 q까지의 거리와 B에서 q까지의 거리를 각각 r_A, r_B라 하자. q에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 B_A, B_B라 하면, $B_A\cos\theta_1=B_B\cos\theta_2$이다. $B_A=k\frac{I}{r_A}$, $B_B=k\frac{I}{r_B}$이

고, $\cos\theta_1=\frac{4d}{r_{\mathrm{A}}}$, $\cos\theta_2=\frac{2d}{r_{\mathrm{B}}}$이다. 따라서 $r_{\mathrm{A}}=\sqrt{2}r_{\mathrm{B}}$이므로 $16d^2+d_1{}^2=2(4d^2+d_1{}^2)$에서 $d_1=2\sqrt{2}d$이다.

12 직선 전류에 의한 자기장

직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다.

① O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_0이라고 하자. (가)의 O에서 A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 같고, 자기장의 세기는 각각 B_0, $2B_0$이다. O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고 자기장의 세기는 B_0이다. 따라서 (가)의 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_1=2B_0$이다. (나)의 O에서 A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 반대 방향이고, 자기장의 세기는 각각 B_0, B_0이다. (나)의 O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0이고 자기장의 방향은 x축과 나란하다. 따라서 (나)의 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_2=B_0$이다. 그러므로 $\frac{B_2}{B_1}=\frac{1}{2}$이다.

수능 3점 테스트

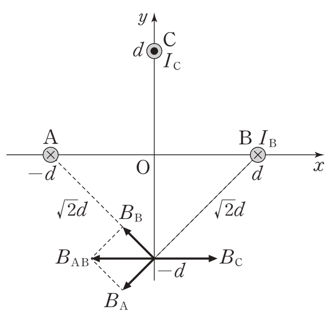
본문 126~130쪽

01 ④	02 ②	03 ④	04 ④	05 ⑤	06 ③
07 ④	08 ②	09 ③	10 ①		

01 직선 전류에 의한 자기장

직선 전류에 의한 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다. 직선 전류에 의한 자기장의 방향은 오른손의 엄지손가락을 전류의 방향으로 폈을 때 나머지 네 손가락으로 도선을 감아쥐는 방향이다.

~~ㄱ~~. y축상에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 x축과 나란하다. y축상의 $y=-d$에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이므로 y축상의 $y=-d$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향도 x축과 나란해야 한다.



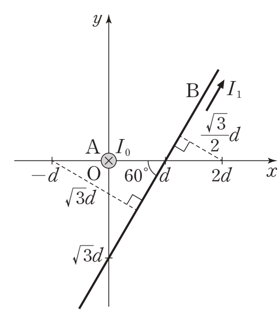
그림과 같이 $y=-d$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장(B_{A})의 방향이 y축과 45°를 이루므로 B에 흐르는 전류에 의한 자기장(B_{B})의 방향도 y축과 45°를 이루어야 한다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄴ. y축상의 $y=-d$에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장(B_{AB})의 방향이 $-x$방향이므로 A와 B에 흐르는 전류의 세기는 같고, C에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. A에 흐르는 전류의 세기를 I_{A}라 하면, $I_{\mathrm{A}}=I_{\mathrm{B}}$이고 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 같다. 따라서 원점 O에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이므로 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$방향이다.

ㄷ. y축상의 $y=-d$에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장(B_{AB})의 세기와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장(B_{C})의 세기는 같다. $B_{\mathrm{AB}}=\sqrt{2}B_{\mathrm{B}}=\sqrt{2}\left(k\frac{I_{\mathrm{B}}}{\sqrt{2}d}\right)=k\frac{I_{\mathrm{B}}}{d}$이고, $B_{\mathrm{C}}=k\frac{I_{\mathrm{C}}}{2d}$이다. 따라서 $k\frac{I_{\mathrm{B}}}{d}=k\frac{I_{\mathrm{C}}}{2d}$에서 $I_{\mathrm{C}}=2I_{\mathrm{B}}$이다.

02 직선 전류에 의한 자기장

직선 전류에 의한 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다. x축상에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 y축과 나란하고, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직이다.



② x축상의 $x=-d$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$방향이고 자기장의 세기는 $k\frac{I_0}{d}$이다. x축상의 $x=2d$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$방향이고 자기장의 세기는 $k\frac{I_0}{2d}$이다. B는 x축과 60°의 각을 이루므로 x축상의 $x=-d$와 B 사이의 거리는 $\sqrt{3}d$이고, x축상의 $x=2d$와 B 사이의 거리는 $\frac{\sqrt{3}}{2}d$이다. x축상의 $x=-d$와 $x=2d$에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 각각 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향, xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, 자기장의 세기는 각각 $k\frac{I_1}{\sqrt{3}d}$, $k\frac{2I_1}{\sqrt{3}d}$이다. 따라서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 x축상의 $x=-d$에서는

$\sqrt{\left(k\frac{I_0}{d}\right)^2+\left(k\frac{I_1}{\sqrt{3}d}\right)^2}$이고, $x=2d$에서는 $\sqrt{\left(k\frac{I_0}{2d}\right)^2+\left(2k\frac{I_1}{\sqrt{3}d}\right)^2}$이다. $\sqrt{\left(k\frac{I_0}{d}\right)^2+\left(k\frac{I_1}{\sqrt{3}d}\right)^2}=\sqrt{2}\left[\sqrt{\left(k\frac{I_0}{2d}\right)^2+\left(2k\frac{I_1}{\sqrt{3}d}\right)^2}\right]$이므로 $I_1=\sqrt{\frac{3}{14}}I_0$이다.

03 직선 전류에 의한 자기장

x축상에서 A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 y축과 나란한 방향이고, O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$방향이다.

~~ㄱ~~. O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$방향이므로 A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$방향이다. x축상의 $x=2d$에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 x축과 45°의 각을 이루므로 A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이다. 따라서 A와 C에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대 방향이고, O에서 A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 $+y$방향이므로 C에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄴ. x축상의 $x=2d$에서 A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이고, $x=2d$로부터 떨어진 거리는 A가 C의 3배이므로 A에 흐르는 전류의 세기는 C에 흐르는 전류의 세기의 3배이다.

ㄷ. B에 흐르는 전류의 세기를 I_B라 하자. x축상의 $x=2d$에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 B_2이고, $B_2=k\frac{I_B}{2\sqrt{2}d}$이다. O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_1\cos45°=k\frac{I_B}{2d}$이다. 따라서 $B_1=k\frac{I_B}{\sqrt{2}d}$이고, $B_2=k\frac{I_B}{2\sqrt{2}d}$이므로 $B_1=2B_2$이다.

04 전류에 의한 자기장

O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$방향이다. B에 흐르는 전류의 세기가 I_0일 때, O에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 같다.

④ O에서 A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직이고, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$ 방향이다. O에서 A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_{AC}, B에 흐르는 전류의 세기가 I_0일 때 O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_B라 하자. B에 흐르는 전류의 세기가 I_0일 때 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_0=\sqrt{(B_{AC})^2+B_B{}^2}$ … ①이다. B에 흐르는 전류의 세기가 $2I_0$일 때 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\sqrt{3}B_0=\sqrt{(B_{AC})^2+(2B_B)^2}$ … ②이다. ①과 ②를 정리하면 $B_B=\sqrt{2}B_{AC}$이다. B에 흐르는 전류의 세기가 I_0일 때 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 같으므로 O에서 A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 반대 방향이어야 한다. 따라서 O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 그러므로 C에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이다. B에 흐르는 전류의 세기가 $5I_0$일 때 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 ㉠$=\sqrt{(B_{AC})^2+(5B_B)^2}$ … ③이고, $B_B=\sqrt{2}B_{AC}$, $B_{AC}=\frac{1}{\sqrt{3}}B_0$이다. 따라서 ㉠$=\sqrt{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}B_0\right)^2+\left(\frac{5\sqrt{2}}{\sqrt{3}}B_0\right)^2}=\sqrt{17}B_0$이다.

05 원형 전류에 의한 자기장

원형 도선의 중심에서 전류에 의한 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고, 도선의 반지름에 반비례한다.

ㄱ. A, B에 흐르는 전류의 세기가 I_0으로 같을 때, O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 B_A, B_B라 하고, A와 B에 흐르는 전류의 방향이 서로 반대 방향이라고 가정하자. 시간 t_1일 때 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $3B_A-B_B$ … ①이고, 방향은 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 같다. 시간 t_3일 때 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $2B_A-5B_B$ … ②이고, 방향은 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 같아야 한다. ①과 ②가 같을 수가 없으므로 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 같다.

ㄴ. A와 B에 흐르는 전류의 방향은 같으므로 t_1일 때 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_0=3B_A+B_B$ … ③이고, t_3일 때, O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_0=2B_A+5B_B$ … ④이다. 따라서 $B_A=4B_B$이므로 반지름은 B가 A의 4배이다.

ㄷ. t_2일 때, O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $2B_A+B_B$이고, $B_A=4B_B$, $B_B=\frac{1}{13}B_0$이다. 따라서 $2B_A+B_B=\frac{9}{13}B_0$이다.

06 전류에 의한 자기장

직선 전류에 의한 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다. A를 $+x$방향으로 이동시켜 고정하면 p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 감소한다.

ㄱ. A를 $x=d$에 고정했을 때 p에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이다. p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이다.

~~ㄴ~~. p에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $k'\frac{I_1}{d}$이다. A가 $x=d$에 고정되어 있을 때, p에서 A에 흐르는 전류에 의한

자기장의 세기는 $k\frac{I_0}{2d}$이다. 따라서 $k'\frac{I_1}{d}=k\frac{I_0}{2d}$이고, $k'\neq k$이므로 $I_1\neq\frac{1}{2}I_0$이다.

ㄷ. p에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_B, A가 $x=0$에 고정되어 있을 때 p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_A라 하자. A가 $x=0$에 고정되어 있을 때, p에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_1=B_A-B_B$ ⋯ ① 이다. A가 $x=d$에 고정되어 있을 때, p에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이므로 $\frac{1}{2}B_A=B_B$ ⋯ ②이고 $x=2d$에 고정되어 있을 때, p에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_0=B_B-\frac{1}{3}B_A$ ⋯ ③이다. ①과 ②를 정리하면, $B_1=\frac{1}{2}B_A$이고 ②와 ③을 정리하면 $B_0=\frac{1}{6}B_A$이다. 따라서 $B_1=3B_0$이다.

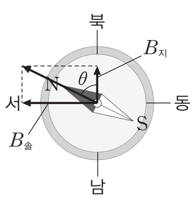
07 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장

(라)는 (다)에서 전원 장치의 집게 a와 b만을 서로 바꾸어 연결하였으므로 (다)와 (라)에서 나침반 자침의 N극이 북쪽과 이루는 각은 같고, 나침반 자침의 N극이 회전하는 방향은 반대이다. (나), (다), (라)의 실험 결과는 각각 R, P, Q이다.

~~ㄱ~~. R는 (나)의 실험 결과를 나타낸 것이다. 솔레노이드의 중심에서 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 동서를 잇는 직선과 나란한 방향이다. (나)의 실험 결과에서 나침반 자침의 N극이 북동쪽을 가리키므로 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 동쪽이다.

ㄴ. P는 (다)의 실험 결과를 나타낸 것이다. 나침반 자침의 N극이 북쪽과 이루는 각이 (다)에서가 (나)에서보다 크므로 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 (다)에서가 (나)에서보다 크다. 따라서 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기는 (다)에서가 (나)에서보다 크므로 (다)에서 가변 저항기의 저항값을 감소시킨 것이다.

ㄷ. Q는 (라)의 실험 결과를 나타낸 것이다. (라)에서 솔레노이드 중심에서 지구 자기장($B_{지}$)의 방향은 북쪽이고, 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장($B_{솔}$)의 방향은 서쪽이다. 나침반 자침의 N극이 북쪽과 이루는 각이 θ일 때, $\tan\theta=\frac{B_{솔}}{B_{지}}$이다. (라)의 실험 결과에서 나침반 자침의 N극이 북쪽과 이루는 각이 45°보다 크므로 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 지구 자기장의 세기보다 크다.

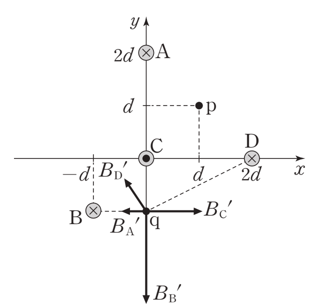


08 전류에 의한 자기장

p에서 A와 D에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이고, B와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장도 0이다. A와 D가 p로부터 떨어진 거리는 서로 같고, B가 p로부터 떨어진 거리는 C가 p로부터 떨어진 거리의 2배이다.

② A, C에 흐르는 전류의 세기를 각각 I, I_0이라고 하면, p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기 $B_0=k\frac{I}{\sqrt{2}d}$이고, p에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_C=k\frac{I_0}{\sqrt{2}d}$이다.

p에서 A와 D에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이므로 D에 흐르는 전류의 세기는 I이고, 전류의 방향은 A와 같다. p에서 B와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이므로 B에 흐르는 전류의 세기는 $2I_0$이고, B와 C에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다. A, B, D에 흐르는 전류의 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고 C에 흐르는 전류의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향인 경우 q에서 네 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$방향이 될 수 없다. A, B, D에 흐르는 전류의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, C에 흐르는 전류의 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향일 때, q에서 네 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$방향이 된다. q에서 A, B, C, D에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 B_A', B_B', B_C', B_D'라 하면, $B_A'=\frac{\sqrt{2}}{3}B_0$, $B_B'=2B_C'=2\sqrt{2}B_C$, $B_D'=\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{5}}B_0$이다.



q에서 자기장이 방향이 $-y$방향이므로 $B_A'+\frac{1}{\sqrt{5}}B_D'=B_C'$이다. $\frac{\sqrt{2}}{3}B_0+\frac{\sqrt{2}}{5}B_0=\sqrt{2}B_C$이므로 $B_C=\frac{8}{15}B_0$이다. 따라서 q에서 자기장의 세기 $B_1=B_B'-\frac{2}{\sqrt{5}}B_D'=\frac{2\sqrt{2}}{3}B_0$이다.

09 전류에 의한 자기장

A가 y축과 이루는 각이 θ일 때, p에서 A까지의 거리는 $r=d\cos\theta$이다. p에서 B와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 일정하고, A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 θ가 클수록 크다. $\theta=0°$일 때 p에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 서로 같다.

ㄱ. p에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 반대 방향이라고 가정하자. $\theta=0°$일 때 C에 흐르는 전류에 의

한 자기장의 세기는 B_0이고 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이어야 한다. $\theta=0°$일 때, p에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 B, B, B_C라 하면, $-B+B+B_C=B_0$이므로 $B_C=B_0$이다. $\theta=60°$일 때 p에서 A까지의 거리는 $\frac{1}{2}d$이므로 $-2B+B+B_C=-B_0$에서 $B=2B_0$이다. B에 흐르는 전류의 세기가 C에 흐르는 전류의 세기의 2배이지만 C의 반지름은 d보다 작으므로 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $2B_0$일 수가 없다. 따라서 p에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 같은 방향이다. p에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이어야 한다. 그러므로 C에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이다.
ㄴ. $\theta=30°$일 때, p에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기보다 크므로 p에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.
~~ㄷ~~. $\theta=0°$일 때 p에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $B+B-B_C=-B_0$ ··· ①이고, $\theta=60°$일 때 p에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $2B+B-B_C=B_0$ ··· ②이다. ①과 ②를 정리하면, $B=2B_0$, $B_C=5B_0$이다. $\theta=45°$일 때 p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\sqrt{2}B$이다. 따라서 $|\sqrt{2}B+B-5B_0|=(3-2\sqrt{2})B_0$이다.

10 전류에 의한 자기장

O에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. B에 흐르는 전류의 세기가 I_0에서 $2I_0$으로 증가하면 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 반대 방향으로 바뀌므로 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대 방향이다.
① O에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 $I_B=I_0$일 때, O에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이고 B에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이다. 자기장이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향을 (+)이라 하고, $I_B=I_0$일 때 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 B_A, B_B, B_C라 하면 $B_A=2B_B$이다. $I_B=I_0$일 때, $-B_A+B_B+B_C=-2B_1$ ··· ①이고, $I_B=2I_0$일 때, $-B_A+2B_B+B_C=B_1$ ··· ②이므로 $B_C=B_1$이고, $B_1=\frac{1}{6}B_A$이다. $I_B=3I_0$일 때, $-B_A+3B_B+B_C=B_2$ ··· ③이다. $B_B=\frac{1}{2}B_A$이고 $B_C=\frac{1}{6}B_A$이므로 $B_2=\frac{2}{3}B_A$이다. 따라서 $\frac{B_1}{B_2}=\frac{1}{4}$이다.

10 전자기 유도와 상호유도

수능 2점 테스트

본문 137~139쪽

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

01 전자기 유도

솔레노이드를 통과하는 자석에 의한 자기 선속이 변할 때 솔레노이드에는 유도 전류가 흐른다. 유도 전류의 방향은 솔레노이드를 통과하는 자석에 의한 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다.
ㄱ. 자석이 p에서 q로 이동하는 동안 자석이 솔레노이드에 가까워지므로 솔레노이드를 통과하는 자석에 의한 자기장의 세기가 증가한다. 따라서 솔레노이드를 통과하는 자석에 의한 자기 선속의 크기는 증가한다.
~~ㄴ~~. 자석이 p에서 q까지 운동하는 동안 솔레노이드를 통과하는 자석에 의한 자기 선속의 크기가 증가하므로 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향은 a → 저항 → b이다.
~~ㄷ~~. 자석이 p를 지날 때보다 q를 지날 때가 솔레노이드를 통과하는 자기장의 세기의 변화가 크므로 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 세기는 자석이 q를 지날 때가 p를 지날 때보다 크다.

02 전자기 유도

자석이 p를 지날 때는 솔레노이드를 통과하는 자기 선속의 크기는 증가하고, 자석이 q를 지날 때는 솔레노이드를 통과하는 자기 선속의 크기는 감소한다. 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향은 솔레노이드를 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다.
ㄱ. 자석이 p를 지날 때 자석의 N극이 솔레노이드에 접근하므로 솔레노이드를 통과하는 자석에 의한 자기 선속의 크기는 증가한다. 솔레노이드에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 왼쪽이어야 하므로 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향은 a → 저항 → b이다.
ㄴ. 자석이 p를 지날 때 자석과 솔레노이드 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용하고, 자석이 q를 지날 때 자석과 솔레노이드 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다. 따라서 자석에 작용하는 자기력의 방향은 자석이 p를 지날 때와 q를 지날 때가 같다.
ㄷ. 자석이 p를 지날 때와 q를 지날 때 자석이 솔레노이드로부터 받는 자기력에 의해 자석의 속력이 감소하게 된다. 따라서 자석의 속력은 p를 지날 때가 q를 지날 때보다 크므로 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 세기는 자석이 p를 지날 때가 q를 지날 때보다 크다.

03 전자기 유도

코일을 통과하는 자석에 의한 자기 선속의 변화로 코일에는 유도 전류가 흐르게 된다.

ㄱ. 자석의 N극을 코일에 가까이 할 때, 자석과 코일 사이의 거리가 작아지므로 코일을 통과하는 자석에 의한 자기 선속은 증가한다.

ㄴ. (나)의 전류의 세기의 최댓값이 (가)의 전류의 세기의 최댓값보다 크므로 (나)에서 자석의 속력은 v보다 크다.

ㄷ. (다)에서 사용한 자석의 세기가 (가)에서보다 더 세므로 코일에 흐르는 유도 전류의 세기는 (다)에서가 (가)에서보다 크다. 따라서 ㉠은 I_0보다 크다.

04 전자기 유도

연직 방향으로 진동하는 자석에 의해 원형 금속 고리를 통과하는 자기 선속이 시간에 따라 변하게 되므로 원형 금속 고리에는 전자기 유도 현상에 의해 유도 전류가 흐른다. 유도 전류는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다.

ㄱ. t_1일 때 자석의 S극이 A에 가까워지고 A를 통과하는 자기 선속의 크기는 증가한다. 따라서 A에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 아래 방향이어야 하므로 A에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.

ㄴ. t_2일 때 자석의 S극이 A에 가까워지므로 A와 자석 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

ㄷ. t_1일 때와 t_2일 때 A로부터 자석의 높이는 같지만 자석의 속력은 t_1일 때가 t_2일 때보다 크다. 따라서 A에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_1일 때가 t_2일 때보다 크다.

05 전자기 유도

도선을 통과하는 자기 선속은 $\Phi=BA$(B: 자기장 영역의 자기장 세기, A: 자기장 영역에 놓인 사각형 도선의 넓이)이다. 도선에 유도되는 기전력의 크기는 도선을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다.

ㄱ. 자기장 세기가 1초일 때가 3초일 때보다 작으므로 도선을 통과하는 자기 선속의 크기는 1초일 때가 3초일 때보다 작다.

ㄴ. 4초부터 6초까지 종이면에 수직으로 들어가는 자기장의 세기가 감소하므로 도선을 통과하는 자기 선속의 크기는 감소한다. 따라서 도선에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이어야 하므로 5초일 때 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 b → 저항 → a이다.

ㄷ. 유도 기전력의 크기는 도선을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다. 도선을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율의 크기는 4초부터 6초까지가 0부터 2초까지의 2배이다. 따라서 저항의 양단에 걸리는 전압은 5초일 때가 1초일 때의 2배이다.

06 상호유도

A에 흐르는 전류에 의한 자기장은 B를 통과한다. A에 흐르는 전류의 세기가 변하면 B를 통과하는 자기 선속의 크기도 변한다. B를 통과하는 자기 선속의 변화로 B에는 유도 전류가 흐르게 된다.

ㄱ. A에 흐르는 전류의 방향이 시계 방향이므로 B가 놓인 곳에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다. 0부터 $2t$까지 A에 흐르는 전류의 세기가 감소하므로 B를 통과하는 자기 선속의 크기는 감소하게 된다. 따라서 B에는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 감소하므로 B에 흐르는 유도 전류의 방향은 A에 흐르는 전류의 방향과 같이 시계 방향이다.

ㄴ. $2t$부터 $4t$까지 A에 흐르는 전류의 세기가 일정하므로 B를 통과하는 자기 선속은 일정하다.

ㄷ. 시간에 따른 전류의 세기의 변화율이 클수록 B에 유도되는 전류의 세기가 크다. 0부터 $2t$까지 전류의 시간에 따른 변화율은 $\frac{I_0}{t}$이고, $4t$부터 $6t$까지 전류의 시간에 따른 변화율은 $\frac{I_0}{2t}$이다. 따라서 B에 흐르는 유도 전류의 세기는 t일 때가 $5t$일 때보다 크다.

07 유도 기전력

자기장 영역에서 운동하는 도체 막대에 의해 ㄷ자형 도선을 통과하는 자기 선속이 변하게 되어 도선에는 유도 전류가 흐른다. 자기장의 세기가 B, 자기장 영역에서 운동하는 도체 막대의 길이가 l, 도체 막대의 속력이 v일 때, 도체 막대에 유도되는 기전력의 크기는 $V=Blv$이다.

ㄱ. 0부터 t_0까지 도체 막대가 운동하는 동안 ㄷ자형 도선을 통과하는 자기 선속의 크기는 증가한다. 따라서 유도 전류에 의한 자기장은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이어야 하므로 p에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$방향이다.

ㄴ. t_0부터 $3t_0$까지 도체 막대는 일정한 속도로 운동하므로 ㄷ자형 도선을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율이 일정하다. 따라서 도체 막대에 유도되는 기전력의 크기가 일정하므로 p에 흐르는 유도 전류의 세기는 일정하다.

ㄷ. 유도 기전력의 크기는 ㄷ자형 도선을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다. 도체 막대가 운동하는 자기장 영역의 자기장 세기는 B_0, ㄷ자형 도선의 폭은 $2d$이고, $2t_0$일 때 도체 막대의 속력은 $\frac{d}{2t_0}$이다. 따라서 도체 막대에 유도되는 기전력의 크기는 $V=\frac{\varDelta\Phi}{\varDelta t}=\frac{\varDelta(B_0A)}{\varDelta t}=B_0\frac{\varDelta A}{\varDelta t}=B_0(2d)\left(\frac{\varDelta s}{\varDelta t}\right)$ $=B_0(2d)\left(\frac{d}{2t_0}\right)=\frac{B_0d^2}{t_0}$이다.

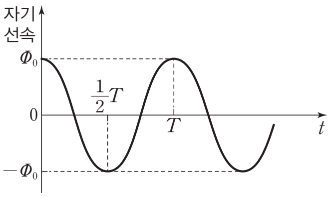
08 유도 기전력

도선에 유도되는 기전력의 크기는 도선을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다.

② 도선을 통과하는 자기장 영역의 넓이는 $A=0.1\ \mathrm{m}\times0.2\ \mathrm{m}=0.02\ \mathrm{m}^2$이고, 자기장 영역의 자기장 세기의 시간에 따른 변화율은 $\dfrac{\Delta B}{\Delta t}=\dfrac{0.04\ \mathrm{T}}{0.002\ \mathrm{s}}=20\ \mathrm{T/s}$이다. 도선을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 $\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\dfrac{\Delta(BA)}{\Delta t}$이므로 도선에 유도되는 기전력의 크기는 $V=A\dfrac{\Delta B}{\Delta t}=0.02\ \mathrm{m}^2\times20\ \mathrm{T/s}=0.4\ \mathrm{V}$이다.

09 전자기 유도

반원형 금속 고리에 유도되는 기전력은 반원형 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다. 반원형 금속 고리가 y축을 회전축으로 회전할 때, 반원형 금속 고리를 통과하는 자기 선속을 시간 t에 따라 나타내면 그림과 같다.



ㄱ. $t=0$일 때, 반원형 금속 고리를 통과하는 자기장의 넓이는 $\dfrac{1}{2}\pi d^2$으로 최대이다. 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 최댓값은 Φ_0이므로 자기장 영역의 자기장 세기는 $B=\dfrac{2\Phi_0}{\pi d^2}$이다.

~~ㄴ~~. $t=0$부터 $t=\dfrac{1}{4}T$까지 반원형 금속 고리를 통과하는 자기 선속은 감소하고 자기장 영역의 자기장 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 $t=\dfrac{1}{4}T$일 때, a에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$방향이다.

ㄷ. 반원형 금속 고리에 유도되는 기전력의 크기는 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다. $t=\dfrac{1}{2}T$일 때, 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 0이다. 즉, $t=\dfrac{1}{2}T$일 때는 금속 고리에 유도 전류가 흐르지 않는다. $t=\dfrac{3}{4}T$일 때 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 최대이다. 따라서 a에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t=\dfrac{3}{4}T$일 때가 $t=\dfrac{1}{2}T$일 때보다 크다.

10 상호유도 현상의 이용

스마트폰의 무선 충전기는 상호유도 현상을 이용한다. 충전패드의 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장이 변하면 스마트폰의 2차 코일을 통과하는 자기 선속의 변화로 2차 코일에는 유도 기전력이 발생한다.

ㄱ. 무선 충전기는 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장이 변하면 2차 코일을 통과하는 자기 선속이 변하게 되어 2차 코일에 유도 기전력이 발생하는 상호유도 현상을 이용한다. 따라서 '상호유도'는 ㉠으로 적절하다.

~~ㄴ~~. 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장이 변해야 2차 코일을 통과하는 자기 선속이 변하게 되어 2차 코일에 유도 기전력이 발생한다. 따라서 1차 코일에는 세기가 변하는 전류가 흐른다.

ㄷ. 유도되는 기전력의 크기는 코일의 감은 수에 비례한다. 2차 코일의 감은 수를 1차 코일의 감은 수보다 작게 하면 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 1차 코일에 걸리는 전압보다 작다. 따라서 '작게'는 ㉡으로 적절하다.

11 상호유도

1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 변하면 2차 코일을 통과하는 자기 선속이 변하게 되어 2차 코일에는 상호유도에 의해 유도 기전력이 생긴다. 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 $V=M\left|\dfrac{\Delta I_1}{\Delta t}\right|$($M$: 상호유도 인덕턴스)이고, 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 2차 코일을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다.

~~ㄱ~~. 0부터 $2t_0$까지 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 감소하고, 2차 코일을 왼쪽 방향으로 통과하는 자기장은 감소하므로 2차 코일에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 왼쪽 방향이다. 따라서 t_0일 때 2차 코일에 흐르는 전류의 방향은 b → 저항 → a이다.

ㄴ. 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율에 비례한다. 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율의 크기는 $3t_0$일 때가 t_0일 때보다 크므로 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 세기는 $3t_0$일 때가 t_0일 때보다 크다.

~~ㄷ~~. $2t_0$부터 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 증가하므로 2차 코일을 왼쪽 방향으로 통과하는 자기장의 세기는 증가한다. 따라서 2차 코일에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 오른쪽 방향이어야 한다. 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 2차 코일에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 반대이므로 $4t_0$일 때 1차 코일과 2차 코일 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

12 변압기

변압기는 상호유도 현상을 이용하여 전압을 낮추거나 높이는 역할을 한다. 1차 코일과 2차 코일의 감은 수가 각각 N_1, N_2일 때, 1차 코일과 2차 코일에 걸리는 전압을 각각 V_1, V_2라 하면, $\dfrac{V_1}{V_2}=\dfrac{N_1}{N_2}$이다. 1차 코일과 2차 코일에 흐르는 전류의 세기를 각각 I_1, I_2라 하면, $\dfrac{I_1}{I_2}=\dfrac{V_2}{V_1}$이다.

ㄱ. 1차 코일과 2차 코일의 감은 수의 비는 1 : 2이므로 1차 코일과 2차 코일에 걸리는 전압의 최댓값의 비도 1 : 2이다. 따라서 R의 양단에 걸리는 전압의 최댓값은 $2V_0$이다.

ㄴ. 변압기에서의 에너지 손실은 없으므로 1차 코일에서 공급하는 전력($P_1=V_1I_1$)과 2차 코일에서 소비하는 전력($P_2=V_2I_2$)은 같다. 따라서 전류의 최댓값은 1차 코일에서가 2차 코일에서의 2배이다.
~~ㄷ~~. 1차 코일에 흐르는 전류의 주기와 상호유도에 의해 2차 코일에 흐르는 전류의 주기는 같다. 1차 코일에 걸리는 전압의 주기가 $4t_0$이므로 1차 코일에 흐르는 전류의 주기는 $4t_0$이고, 2차 코일에 흐르는 전류의 주기도 $4t_0$이다.

수능 3점 테스트

본문 140~144쪽

01 ③	02 ③	03 ①	04 ⑤	05 ②	06 ②
07 ①	08 ⑤	09 ④	10 ③		

01 전자기 유도 현상

자석이 운동할 때, 금속 고리를 통과하는 자석에 의한 자기 선속이 변하므로 금속 고리에는 유도 전류가 흐르게 된다. 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 금속 고리를 통과하는 자석에 의한 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이고, 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 자석이 금속 고리를 통과하는 속력이 클수록 크다.
ㄱ. A가 P를 통과한 직후 P를 통과하는 자석에 의한 자기 선속의 크기는 감소하고, A의 S극이 P에서 멀어지므로 P에 흐르는 유도 전류의 방향은 ㉠ 방향이다.
ㄴ. P를 통과하는 A의 속력이 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 P에 흐르는 유도 전류 세기의 최댓값은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.
~~ㄷ~~. P를 통과하는 자기 선속의 변화로 P에는 유도 전류가 흐른다. P에 흐르는 유도 전류에 의해 A와 P 사이에는 자기력이 작용한다. (나)에서 A가 연직 위로 올라가는 동안 A에 작용하는 자기력의 방향은 연직 아래 방향이므로 자석의 역학적 에너지가 감소한다. A가 최고 높이에서 연직 아래로 운동하는 동안 A에 작용하는 자기력은 연직 위 방향이므로 A의 역학적 에너지는 감소한다. A의 역학적 에너지 감소량은 P에서 소비되는 전기 에너지와 같다. (나)에서 A가 수평면에 다시 돌아올 때 속력이 v이므로 A의 역학적 에너지 감소량은 $\frac{3}{2}mv^2$이다. 따라서 P에서 소비하는 전기 에너지는 $\frac{3}{2}mv^2$이다.

02 유도 기전력과 유도 전류

자기장 영역에서 운동하는 도선에 의해 도선의 양단에 유도 기전력이 발생한다.
③ 도체 막대가 운동하는 자기장 영역의 자기장 세기는 $B=0.2\ \mathrm{T}$이고, 도체 막대가 운동하는 속력은 $v=5\ \mathrm{m/s}$, 사각형 도선의 세로 폭은 $l=0.2\ \mathrm{m}$이다. 따라서 도체 막대에 유도되는 기전력의 크기는 $V=Blv=0.2\ \mathrm{T}\times0.2\ \mathrm{m}\times5\ \mathrm{m/s}=0.2\ \mathrm{V}$이다. 사각형 도선의 양쪽에 저항값이 $1\ \Omega$, $2\ \Omega$인 저항이 연결되어 있으므로 각 저항에 걸리는 전압은 $0.2\ \mathrm{V}$이다. $1\ \Omega$의 저항에 흐르는 전류의 세기는 $0.2\ \mathrm{A}$이고, $2\ \Omega$의 저항에 흐르는 전류의 세기는 $0.1\ \mathrm{A}$이다. 따라서 도체 막대에 흐르는 유도 전류의 세기는 $0.1\ \mathrm{A}+0.2\ \mathrm{A}=0.3\ \mathrm{A}$이다.

03 전자기 유도

금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다. 유도 전류의 방향은 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다.
ㄱ. 0부터 $2t_0$까지 Ⅱ의 자기장은 일정하고, Ⅰ의 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이며, 자기장의 세기는 감소하므로 P를 통과하는 xy 평면에서 수직으로 나오는 자기 선속은 감소한다. 따라서 P에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.
~~ㄴ~~. $2t_0$부터 $4t_0$까지 시간에 따른 자기장의 변화율의 크기는 Ⅰ에서와 Ⅱ에서가 같지만, 자기장이 P를 통과하는 면적은 Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 크므로 P를 통과하는 자기 선속은 변한다. 따라서 $2t_0$부터 $4t_0$까지 P에는 기전력이 유도된다.
~~ㄷ~~. Ⅰ에 놓인 P의 면적을 S라고 하면, 0부터 $2t_0$까지 P를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율의 크기는 $S\left(\frac{2B_0}{2t_0}\right)$이다. Ⅱ에 놓인 P의 면적은 $2S$이다. $4t_0$부터 $6t_0$까지 Ⅰ과 Ⅱ의 자기장의 시간에 따른 변화율은 같으므로 P를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율의 크기는 $S\left(\frac{B_0}{2t_0}\right)+2S\left(\frac{B_0}{2t_0}\right)$이다. 따라서 P에 유도되는 기전력의 크기는 $5t_0$일 때가 t_0일 때의 $\frac{3}{2}$배이므로 P에 흐르는 유도 전류의 세기는 $5t_0$일 때가 t_0일 때의 $\frac{3}{2}$배이다.

04 전자기 유도

금속 고리에 유도되는 기전력의 크기는 금속 고리가 자기장 영역에서 운동하는 속력에 비례하고 자기장 영역의 자기장 세기에 비례한다. 0부터 $3t_0$까지 금속 고리의 속력은 $\frac{4d}{3t_0}$이고, $3t_0$부터 금속 고리의 속력은 $\frac{d}{t_0}$이다.
ㄱ. t_0일 때, 금속 고리의 p는 Ⅱ에서 $+x$방향으로 운동하고 있으며, Ⅱ에서 자기장 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 p에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$방향이다.
ㄴ. $2t_0$일 때, 금속 고리의 p는 Ⅲ에서 $+x$방향으로 속력 $\frac{4d}{3t_0}$로 운동하고, 금속 고리의 왼쪽 변은 Ⅰ에서 운동한다. Ⅰ과 Ⅲ에서 자기장의 방향은 서로 반대 방향이고 세기는 각각 B_0, $2B_0$이다. 따라서 금속 고리에 유도되는 기전력의 크기는
$B_0d\left(\frac{4d}{3t_0}\right)+2B_0d\left(\frac{4d}{3t_0}\right)=\left(\frac{4B_0d^2}{t_0}\right)$이다.

ㄷ. t_0일 때, 금속 고리의 p는 Ⅱ에서 $+x$방향으로 속력 $\frac{4d}{3t_0}$로 운동하므로 유도되는 기전력의 크기는 $2B_0d\left(\frac{4d}{3t_0}\right)$이다. $3.5t_0$일 때, 금속 고리의 왼쪽 변은 Ⅱ에서 $-x$방향으로 속력 $\frac{d}{t_0}$로 운동하므로 유도되는 기전력의 크기는 $2B_0d\left(\frac{d}{t_0}\right)$이다. 따라서 p에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_0일 때가 $3.5t_0$일 때의 $\frac{4}{3}$배이다.

05 유도 기전력

도체 막대가 자기장 영역에서 운동할 때 도체 막대에 기전력이 유도된다. 도체 막대에 유도되는 기전력의 크기는 $V=Blv$(B: 자기장 세기, l: 도체 막대의 길이, v: 도체 막대의 속력)이다.

ㄱ. Ⅰ, Ⅱ의 자기장 세기를 B_0이라 하자. (가)의 경우 A, B는 같은 방향으로 운동하고, A, B에 유도되는 기전력의 크기는 각각 $V_1=B_0l(2v)$, $V_2=B_0(2l)v$로 같은데, p에 유도 전류가 흐르므로 Ⅰ과 Ⅱ의 자기장의 방향은 반대 방향이다. (나)의 경우 A, B가 각각 $+x$방향, $-x$방향으로 속력 v, $2v$로 운동할 때, A에 유도되는 기전력의 크기는 $V_1'=B_0lv$이고, B에 유도되는 기전력의 크기는 $V_2'=B_0(2l)(2v)$이다. $V_2'>V_1'$이고 p에 흐르는 유도 전류의 방향이 $+y$방향이므로 B에 흐르는 유도 전류의 방향은 $-y$방향이다. 따라서 Ⅱ의 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, Ⅰ의 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄴ. (나)의 경우 B에 흐르는 유도 전류의 방향이 $-y$방향이므로 (가)의 경우 B에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$방향이다. 따라서 (가)의 경우 p에 흐르는 유도 전류의 방향은 $-y$방향이므로 ㉠은 '$-y$'이다.

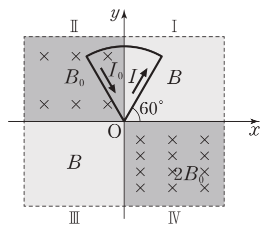
ㄷ. (가)의 경우 회로에 유도되는 기전력의 크기는 $V_1+V_2=4B_0lv$이고, (나)의 경우 회로에 유도되는 기전력의 크기는 $V_2'-V_1'=3B_0lv$이다. 회로의 저항값을 R라 하면, $I_1=\frac{4B_0lv}{R}$이고, $I_2=\frac{3B_0lv}{R}$이다. 따라서 $I_1=\frac{4}{3}I_2$이다.

06 전자기 유도

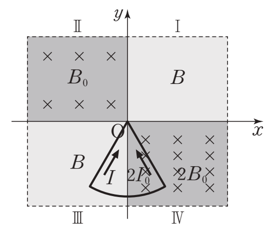
금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다. $t=2$초일 때 금속 고리는 Ⅰ과 Ⅱ에서 운동하며, $t=8$초일 때 금속 고리는 Ⅲ과 Ⅳ에서 운동한다.

ㄱ. Ⅰ의 자기장의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이면 Ⅲ의 자기장 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이 되므로 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t=2$초일 때와 $t=8$초일 때가 같을 수가 없다. 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t=2$초일 때와 $t=8$초일 때가 같으므로 Ⅰ의 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고 Ⅲ의 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄴ. Ⅰ과 Ⅲ에서 자기장의 세기를 B라 하고, 금속 고리의 일부가 Ⅰ과 Ⅲ에서 운동할 때 유도되는 전류의 세기를 I라 하자. 금속 고리의 한 변이 Ⅱ에서 운동할 때 유도되는 전류의 세기를 I_0이라 하면 금속 고리의 한 변이 Ⅳ에서 운동할 때 유도되는 전류의 세기는 $2I_0$이다. 그림과 같이 $t=2$초일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 I_0+I이고, $t=8$초일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $2I_0-I$이다. 따라서 $I_0+I=2I_0-I$에서 $I=\frac{1}{2}I_0$이므로 Ⅰ과 Ⅲ에서 자기장의 세기는 $\frac{1}{2}B_0$이다.



$t=2$초일 때



$t=8$초일 때

ㄷ. $t=5$초일 때 금속 고리의 일부는 Ⅱ와 Ⅲ에서 운동하므로 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $I_0-\frac{1}{2}I_0=\frac{1}{2}I_0$이다. $t=11$초일 때 금속 고리의 일부는 Ⅰ과 Ⅳ에서 운동하므로 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $2I_0+\frac{1}{2}I_0=\frac{5}{2}I_0$이다. 따라서 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t=11$초일 때가 $t=5$초일 때의 5배이다.

07 발전기의 원리

금속 고리가 자기장 속에서 회전할 때 금속 고리를 통과하는 자기 선속이 주기적으로 변한다. 금속 고리에 유도되는 기전력의 크기는 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다.

ㄱ. A의 경우, 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 t_0일 때가 $4t_0$일 때보다 크다. 따라서 A의 경우 p에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_0일 때가 $4t_0$일 때보다 크다.

ㄴ. 금속 고리를 통과하는 자기 선속이 주기적으로 변하므로 금속 고리에 흐르는 유도 전류도 주기적으로 변한다. 자기 선속의 주기와 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 주기는 같다. 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 주기는 금속 고리의 각속도에 반비례한다. A의 경우 자기 선속의 주기는 $4t_0$이고, B의 경우 자기 선속의 주기는 $2t_0$이므로 $\omega_A=\frac{\pi}{2t_0}$이고, $\omega_B=\frac{\pi}{t_0}$이다. 따라서 p에 흐르는 유도 전류의 주기는 A의 경우가 B의 경우의 2배이다.

ㄷ. 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 금속 고리가 회전하는 각속도가 클수록 크다. 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율이 클수록 금속 고리에 유도되는 기전력이 크다. 따라서 전구에 걸리는 전압의 최댓값은 B의 경우가 A의 경우보다 크다.

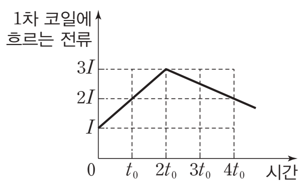
08 상호유도

1차 코일에 흐르는 전류의 변화로 2차 코일을 통과하는 자기 선속이 변하게 되어 2차 코일에 유도 기전력이 발생한다. 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율에 비례한다.

ㄱ. 1차 코일에 화살표 방향으로 전류가 흐를 때, 2차 코일을 통과하는 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 오른쪽 방향이다. 0부터 $2t_0$까지 2차 코일에 흐르는 전류의 방향은 a → R → b 방향이므로 2차 코일에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 왼쪽 방향이다. 따라서 0부터 $2t_0$까지 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 증가한다.

ㄴ. 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 세기가 t_0일 때가 $3t_0$일 때의 2배이므로 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 t_0일 때가 $3t_0$일 때의 2배이다.

ㄷ. 0부터 $2t_0$까지 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 일정하게 증가하고, $2t_0$부터 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 일정하게 감소한다. 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 세기는 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율에 비례하므로 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율은 0부터 $2t_0$까지가 $2t_0$부터 $4t_0$까지의 2배이다. 1차 코일에 흐르는 전류를 시간에 따라 나타내면 그림과 같다.



따라서 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 t_0일 때와 $4t_0$일 때가 같다.

09 변압기

변압기는 상호유도 현상을 이용하여 전압을 변화시킨다. 코일에 걸리는 전압은 1차 코일과 2차 코일의 감은 수에 비례한다. A의 2차 코일과 B의 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 같다.

ㄱ. A의 1차 코일과 2차 코일의 감은 수의 비가 1 : 4이므로 A의 2차 코일에 걸리는 전압은 $4V_0$이다. A의 1차 코일에 공급되는 전력이 V_0I_0이므로 A의 2차 코일에 흐르는 전류의 세기는 $V_0I_0=4V_0I$에서 $I=\frac{1}{4}I_0$이다. 따라서 p에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{1}{4}I_0$이다.

ㄴ. B의 1차 코일에 걸리는 전압은 A의 2차 코일에 걸리는 전압과 같고, B의 1차 코일과 2차 코일의 감은 수의 비가 2 : 1이므로 B의 2차 코일에 걸리는 전압은 $2V_0$이다.

ㄷ. R에서 소비하는 전력은 A의 1차 코일에 공급되는 전력과 같고, R에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{1}{2}I_0$이다. R의 저항값을 R라 하면, $V_0I_0=\left(\frac{1}{2}I_0\right)^2R$에서 $R=\frac{4V_0}{I_0}$이다.

10 변압기

상호유도 현상을 이용하는 변압기는 코일의 감은 수를 조절하여 전압을 변화시킨다. 코일의 양단에 걸리는 전압은 코일의 감은 수에 비례하고, 변압기에서 에너지 손실은 없으므로 전압과 전류의 곱은 일정하다.

ㄱ. S_1만 닫혀 있을 때, 1차 코일과 2차 코일에 흐르는 전류의 비는 2 : 1이므로 R_1의 양단에 걸리는 전압은 $2V_0$이다. S_2만 닫혀 있을 때, 1차 코일과 3차 코일에 흐르는 전류의 비는 2 : 3이므로 R_2의 양단에 걸리는 전압은 $\frac{2}{3}V_0$이다. 따라서 S_1만 닫혀 있을 때 R_1의 양단에 걸리는 전압은 S_2만 닫혀 있을 때 R_2의 양단에 걸리는 전압보다 크다.

ㄴ. S_1만 닫혀 있을 때, 1차 코일과 2차 코일의 양단에 걸리는 전압의 비는 1 : 2이므로 $N_1 : N_2=1 : 2$이다. S_2만 닫혀 있을 때, 1차 코일과 3차 코일의 양단에 걸리는 전압의 비는 3 : 2이므로 $N_1 : N_3=3 : 2$이다. 따라서 $\frac{N_3}{N_2}=\frac{1}{3}$이다.

ㄷ. R_1과 R_2의 저항값을 각각 R_1, R_2라고 하자. S_1만 닫혀 있을 때, R_1에서 소비하는 전력은 $\frac{(2V_0)^2}{R_1}=V_0I_0$이므로 $R_1=\frac{4V_0}{I_0}$이다. S_2만 닫혀 있을 때, R_2에서 소비하는 전력은 $\frac{\left(\frac{2}{3}V_0\right)^2}{R_2}=2V_0I_0$이므로 $R_2=\frac{2V_0}{9I_0}$이다. 따라서 $R_1=18R_2$이다.

11 전자기파의 간섭과 회절

수능 2점 테스트 본문 151~153쪽

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

01 영의 이중 슬릿 실험

영의 이중 슬릿 실험에서 보강 간섭이 일어나는 지점은 빛이 같은 위상으로 중첩되어 합성파의 진폭이 커져 밝은 무늬가 생기고, 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 빛이 반대 위상으로 중첩되어 합성파의 진폭이 작아져 어두운 무늬가 나타난다.

③ 영의 이중 슬릿 실험에 의한 빛의 간섭 현상은 빛의 파동성을 나타내는 현상이다. 밝은 무늬가 생기는 지점은 보강 간섭이 일어난 지점이고, 어두운 무늬가 생기는 지점은 두 빛이 서로 반대 위상으로 중첩되어 상쇄 간섭이 일어나는 지점이다.

02 이중 슬릿 실험에서 간섭무늬 사이의 간격

이중 슬릿을 통과한 단색광이 스크린에 만드는 간섭무늬에서 슬릿 사이의 간격을 d, 단색광의 파장을 λ, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라고 할 때, 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\varDelta x=\frac{L\lambda}{d}$이다.

~~ㄱ~~. 밝은 무늬 사이의 간격은 단일 슬릿과 이중 슬릿 사이의 거리 d_1과는 무관하다.

ㄴ. 밝은 무늬 사이의 간격은 슬릿 사이의 간격 d_2에 반비례하므로 d_2를 $\frac{1}{2}d_2$로 감소시키면 밝은 무늬 사이의 간격은 $2\varDelta x$가 된다.

ㄷ. 밝은 무늬 사이의 간격은 슬릿과 스크린 사이의 거리 d_3에 비례하므로 d_3을 $2d_3$으로 증가시키면 밝은 무늬 사이의 간격은 $2\varDelta x$가 된다.

03 마이크로파의 간섭

수신기의 회전 각도에 따라 마이크로파의 세기가 강해지는 보강 간섭이 일어나는 지점과 마이크로파의 세기가 약해지는 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 교대로 나타난다.

ㄱ. 회전각 $\theta=0$일 때, 마이크로파 수신기와 송신기가 동일 직선상에서 서로 마주 보고 있다. 이때 수신기로부터 각 슬릿 사이의 거리가 같아 각 슬릿을 지난 마이크로파가 수신기까지 도달하는 동안, 마이크로파의 경로차가 0이고, 수신기에서 측정한 마이크로파의 상대적 세기가 최대이다. 따라서 $\theta=0$일 때, 수신기에서 이중 슬릿을 통과한 두 마이크로파의 위상은 서로 같다.

ㄴ. 송신기에서 발생하는 마이크로파의 파장을 짧게 할수록 마이크로파의 상대적 세기가 극댓값을 가지는 보강 간섭이 일어나는 지점 사이의 회전각 차가 작아진다. 보강 간섭과 상쇄 간섭이 교대로 나타나므로 송신기에서 발생하는 마이크로파의 파장만 짧게 바꾸면 첫 번째 상쇄 간섭이 일어나는 회전각은 θ_1보다 작다.

~~ㄷ~~. 두 슬릿 사이의 간격만 늘리면 마이크로파의 상대적 세기가 극댓값을 가지는 보강 간섭이 일어나는 지점 사이의 회전각 차가 작아지므로 첫 번째 상쇄 간섭이 일어나는 회전각은 θ_1보다 작다.

04 영의 이중 슬릿 실험

이중 슬릿의 S_1, S_2를 통과한 단색광은 O, P에서 각각 보강 간섭과 상쇄 간섭을 한다. 경로차 $\varDelta=\frac{\lambda}{2}(2m)$ ($m=0, 1, 2, 3, \cdots$)일 때 보강 간섭이 일어나고, $\varDelta=\frac{\lambda}{2}(2m+1)$ ($m=0, 1, 2, 3, \cdots$)일 때 상쇄 간섭이 일어난다.

ㄱ. O에서 밝은 무늬가 생겼으므로 O에서는 보강 간섭이 일어난다.

~~ㄴ~~. S_1, S_2로부터 스크린상의 한 지점까지의 경로차를 $\varDelta$라 하면, 가장 밝은 무늬의 중심으로부터 첫 번째 어두운 무늬의 중심에서 $\varDelta=\frac{\lambda}{2}$이고, 두 번째 어두운 무늬의 중심인 P에서 $\varDelta=\frac{3}{2}\lambda$이다. 이중 슬릿의 S_1, S_2에서 P까지 경로차 $\varDelta=\frac{3}{2}\lambda$이다.

~~ㄷ~~. 단색광의 파장만 3λ로 바꾸면, S_1, S_2에서 P까지 경로차는 반파장의 홀수 배$\left(\frac{3}{2}\lambda\times 1\right)$이므로 P에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

05 빛의 간섭 실험

레이저를 이중 슬릿에 비추면 스크린에 간섭무늬가 나타난다. 이때 슬릿 사이의 간격(d)이 좁을수록, 단색광의 파장(λ)이 길수록, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리(L)가 클수록 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 크다.

ㄱ. 간섭은 파동의 성질이므로 빛의 간섭 실험은 빛의 파동성을 보여주는 실험이다.

~~ㄴ~~. 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 $\varDelta x=\frac{L\lambda}{d}$이므로

㉠$=\frac{1\text{ m}\times 550\text{ nm}}{0.5\text{ mm}}=1.1\text{ mm}$이다.

~~ㄷ~~. 가장 밝은 무늬의 중심으로부터 첫 번째 밝은 무늬의 경로차 $\varDelta=\lambda$이므로 (나)에서 이중 슬릿의 두 슬릿으로부터 P까지의 경로차는 650 nm이고, (다)에서 이중 슬릿의 두 슬릿으로부터 P까지의 경로차는 550 nm이다.

06 파장에 따른 빛의 간섭

이중 슬릿을 통과한 단색광이 스크린에 만드는 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격을 $\varDelta x$, 슬릿 사이의 간격을 d, 단색광의 파장을 λ, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라고 할 때 $\varDelta x=\frac{L}{d}\lambda$이다.

② 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x=\frac{L\lambda}{d}$이므로 $\lambda_{\rm A}=\frac{0.2\ {\rm mm}\times 3\ {\rm mm}}{1.0\ {\rm m}}$, $\lambda_{\rm B}=\frac{0.1\ {\rm mm}\times 9\ {\rm mm}}{2.0\ {\rm m}}$이다. 따라서 $\frac{\lambda_{\rm A}}{\lambda_{\rm B}}=\frac{4}{3}$이다.

07 빛의 간섭

이중 슬릿을 통과한 단색광이 스크린에 만드는 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격을 Δx, 슬릿 사이의 간격을 d, 단색광의 파장을 λ, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라고 할 때 $\Delta x=\frac{L\lambda}{d}$이다.

④ O, P 사이의 거리를 x라고 하면 $d=0.3$ mm, $d=d_0$일 때 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 각각 $\frac{2}{3}x$, x이다. 단색광의 파장, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리가 같을 때 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 슬릿 사이의 간격에 반비례하므로 $d_0=\frac{2}{3}\times 0.3\ {\rm mm}=0.2\ {\rm mm}$이다.

08 회절

회절은 파동이 진행하다가 장애물을 만났을 때 장애물 뒤쪽까지 퍼져 나가는 현상이다.

㉠. 빛이 면도날의 가장자리를 지날 때도 회절 현상이 일어나기 때문에 그림자의 경계가 명확하게 나타나지 않는다.

~~ㄴ~~. 비눗방울에 다양한 색이 나타나는 현상은 특정 색의 보강 간섭으로 설명할 수 있다.

㉢. 담 너머로 소리가 들리는 현상은 소리가 담 뒤쪽까지 퍼져나가는 회절 현상으로 설명할 수 있다.

09 물결파의 회절

파동의 회절은 파동이 진행하다가 장애물을 만났을 때 장애물의 뒤쪽으로 돌아 들어가거나, 좁은 틈을 통과한 후에 퍼져 나가는 현상으로, 틈 간격이 좁을수록, 파동의 파장이 길수록 잘 일어난다.

~~A~~. 물결파 발생 장치의 진동수만 증가시키면 물결파의 파장이 짧아져 회절이 잘 일어나지 않는다.

Ⓑ. 물결파의 파장이 길수록 회절이 더 잘 일어난다.

~~C~~. 장애물의 틈을 넓게 하면 물결파의 회절이 잘 일어나지 않는다.

10 빛의 회절

빛이 단일 슬릿을 통과하면 회절 현상에 의해 스크린에 중앙의 넓고 밝은 무늬를 중심으로 양쪽에 약한 밝은 무늬와 어두운 무늬가 교대로 나타난다. 회절 무늬가 퍼지는 정도는 슬릿의 폭에 반비례하고, 슬릿과 스크린 사이의 거리와 빛의 파장에 각각 비례한다.

~~ㄱ~~. 회절 무늬에서 가운데 밝은 무늬의 폭은 슬릿의 폭에 반비례하므로 슬릿의 폭만 감소시키면 D는 증가한다.

㉡. 단색광의 파장이 길수록 회절이 잘 일어나므로 단색광의 파장만 증가시키면 D는 증가한다.

~~ㄷ~~. 가운데 밝은 무늬의 폭은 슬릿과 스크린 사이의 거리에 비례하므로 슬릿과 스크린 사이의 거리만 증가시키면 D는 증가한다.

11 회절의 이용

망원경을 통과한 별의 상이 겹쳐 보이는 현상은 빛의 회절에 의한 결과이다. 구경이 큰 망원경을 사용하면 회절의 영향을 줄여 분해능이 좋아진다.

㉠. 가까이 있는 두 별을 망원경으로 관측할 때 회절 현상이 나타나 두 별의 상이 겹치는 현상이 나타난다.

㉡. 별의 상이 겹쳐 보이는 정도가 A를 통과할 때가 B를 통과할 때보다 크므로 회절은 A에서가 B에서보다 잘 일어난다.

㉢. 망원경의 구경이 클수록 분해능이 좋다. 분해능은 B에서가 A에서보다 좋으므로 망원경의 구경은 B가 A보다 크다.

12 단일 슬릿에 의한 회절 무늬

단색광을 단일 슬릿에 비추면 스크린에 회절 무늬가 나타난다. 단색광의 파장을 λ, 슬릿의 폭을 a, 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라 할 때, 스크린 중앙의 밝은 무늬 중심에서 첫 번째 어두운 무늬의 중심까지의 거리 $y=\frac{\lambda L}{a}$이다.

③ 단색광의 파장 $\lambda=\frac{ay}{L}$이다. $\lambda_{\rm A} : \lambda_{\rm B} : \lambda_{\rm C}=1 : \frac{1}{2} : 4$이므로 $\lambda_{\rm B}<\lambda_{\rm A}<\lambda_{\rm C}$이다.

수능 3점 테스트

본문 154~158쪽

01 ①	02 ②	03 ⑤	04 ①	05 ③	06 ④
07 ②	08 ④	09 ②	10 ⑤		

01 영의 이중 슬릿 실험

이중 슬릿의 S_1, S_2를 통과한 단색광은 P, Q에서 각각 보강 간섭과 상쇄 간섭을 한다. 단색광의 파장을 λ, 슬릿 사이의 간격을 d, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라고 할 때 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\varDelta x=\dfrac{L\lambda}{d}$이다.

ㄱ. 점 O는 이중 슬릿의 두 슬릿 S_1, S_2로부터 같은 거리에 있는 점이므로 O에서는 보강 간섭이 일어난다.

ㄴ. 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격이 $\dfrac{L\lambda}{d}$이므로, $\overline{OP}=2\dfrac{L\lambda}{d}$, $\overline{OQ}=\dfrac{5}{2}\times\dfrac{L\lambda}{d}$이다. 따라서 $\overline{OQ}-\overline{OP}=\dfrac{1}{2}\times\dfrac{L\lambda}{d}$이다.

ㄷ. 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\varDelta x=\dfrac{L\lambda}{d}$에 의해 단색광의 파장만 2λ로 증가시키면 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격이 2배가 되어 P에서 첫 번째 밝은 무늬가 생긴다.

02 파장에 따른 빛의 간섭

단색광의 파장을 λ, 슬릿 사이의 간격을 d, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라고 할 때 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\varDelta x=\dfrac{L}{d}\lambda$이다.

ㄱ. A의 진동수는 금속판의 문턱 진동수보다 작고, B의 진동수는 금속판의 문턱 진동수보다 크다. 빛의 파장은 진동수에 반비례하므로 파장은 A가 B보다 길다.

ㄴ. B를 비추었을 때 P에서 O로부터 첫 번째 어두운 무늬가 생기므로 S_1, S_2로부터 P까지 경로차는 $\dfrac{\lambda}{2}$이고, S_1, S_2를 통과한 B가 P에서 중첩될 때 B의 위상은 서로 반대이다.

ㄷ. 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 파장에 비례하고, 파장은 A가 B보다 길므로 (나)에서 A를 슬릿에 비추면 O와 첫 번째 밝은 무늬가 생기는 지점 사이의 거리는 $\overline{OP}$보다 크다.

03 영의 이중 슬릿 실험

단색광의 파장을 λ, 슬릿 사이의 간격을 d, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라고 할 때 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\varDelta x=\dfrac{L}{d}\lambda$이다.

ㄱ. A를 슬릿에 비출 때 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격이 $\dfrac{L}{d}\lambda_A$이므로, $|\overline{OP}|=\dfrac{L}{d}\lambda_A$, $|\overline{OQ}|=\dfrac{3}{2}\times\dfrac{L}{d}\lambda_A$이다. 따라서 $\overline{OP}=\dfrac{2}{3}\overline{OQ}$이다.

ㄴ. A를 슬릿에 비출 때는 Q에서 두 번째 어두운 무늬가 나타나고, B를 슬릿에 비출 때는 Q에서 세 번째 밝은 무늬가 나타나므로 $\overline{OQ}=\dfrac{3}{2}\dfrac{L}{d}\lambda_A=3\dfrac{L}{d}\lambda_B$이고, $\lambda_A=2\lambda_B$이다.

ㄷ. $|\overline{OP}|=\dfrac{L}{d}\lambda_A$, $\lambda_A=2\lambda_B$이므로 B를 슬릿에 비출 때 $|\overline{OP}|=2\dfrac{L}{d}\lambda_B$이다. 따라서 P는 O로부터 두 번째 밝은 무늬의 중심이다.

04 영의 이중 슬릿 실험

단색광의 파장을 λ, 슬릿 사이의 간격을 d, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라고 할 때 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\varDelta x=\dfrac{L}{d}\lambda$이다.

ㄱ. 이중 슬릿의 두 슬릿으로부터 거리가 같은 점 O에서 보강 간섭이 일어나므로 이중 슬릿의 두 슬릿에서 단색광의 위상은 같다.

ㄴ. 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라고 할 때 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\varDelta x=\dfrac{L}{d}\lambda$이다.
$x_0=\dfrac{L}{d_0}\lambda_0$이므로 ㉠$=\dfrac{L}{2d_0}\times\dfrac{1}{2}\lambda_0=\dfrac{1}{4}x_0$이다.

ㄷ. $\lambda=\dfrac{d}{L}\varDelta x$이고, $\lambda_0=\dfrac{d_0}{L}x_0$이다.
㉡$=\dfrac{d_0}{2L}\times\dfrac{1}{2}x_0=\dfrac{1}{4}\lambda_0$이다.

05 영의 이중 슬릿 실험

경로차 $\varDelta$가 $\varDelta=\dfrac{\lambda}{2}(2m)$ $(m=0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \cdots)$일 때 보강 간섭이 일어나고, 경로차 $\varDelta$가 $\varDelta=\dfrac{\lambda}{2}(2m+1)$ $(m=0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \cdots)$일 때 상쇄 간섭이 일어난다.

ㄱ. 이중 슬릿 실험에서 스크린에 나타난 밝은 무늬는 보강 간섭에 의해 생긴다.

ㄴ. (다)에서 P에는 첫 번째 어두운 무늬가 생기므로 이중 슬릿의 두 슬릿으로부터 P까지의 경로차는 $\dfrac{1}{2}\lambda$이다.

ㄷ. 슬릿 사이의 간격을 d, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라고 할 때 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\varDelta x=\dfrac{L}{d}\lambda$이다. (나)에서 $\overline{OP}=\dfrac{2L\lambda}{d_1}$이고, (다)에서 $\overline{OP}=\dfrac{L\lambda}{2d_2}$이므로 $d_1=4d_2$이다.

06 이중 슬릿에 의한 간섭무늬

이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\varDelta x=\frac{L}{d}\lambda$이고, $\overline{\mathrm{OP}}=\frac{5}{2}\frac{L}{d}\lambda$, $\overline{\mathrm{OQ}}=3\frac{L}{d}\lambda$이다.

~~ㄱ~~. 경로차 $\varDelta$가 $\varDelta=\frac{\lambda}{2}(2m+1)(m=0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \cdots)$일 때, 상쇄 간섭이 일어난다. P에는 세 번째 어두운 무늬가 생기므로 이중 슬릿의 두 슬릿으로부터 P까지의 경로차는 $\frac{5}{2}\lambda$이다.

ㄴ. Q에서 O로부터 세 번째 밝은 무늬가 생기므로 보강 간섭이 일어나고, S_1, S_2를 통과한 빛이 Q에서 중첩될 때 빛의 위상은 서로 같다.

ㄷ. 단색광의 파장을 λ'로 바꿨을 때 P, Q에서 모두 밝은 무늬가 나타나기 위해서는 $\overline{\mathrm{OP}}$, $\overline{\mathrm{OQ}}$가 모두 $\frac{L}{d}\lambda'$의 정수 배가 되어야 한다. $\lambda'=\frac{1}{2}\lambda$이면, $\overline{\mathrm{OP}}=5\times\frac{L}{d}\lambda'$, $\overline{\mathrm{OQ}}=6\times\frac{L}{d}\lambda'$이 되므로 P, Q에서 각각 다섯 번째, 여섯 번째 밝은 무늬가 나타난다. 파장이 짧을수록 무늬 사이의 간격이 좁아지므로 $\frac{1}{2}\lambda$보다 짧은 파장에서도 P, Q에서 모두 밝은 무늬가 나타날 수 있지만, 가장 긴 단색광의 파장은 $\frac{1}{2}\lambda$이다.

07 빛의 회절

단일 슬릿에 의한 빛의 회절에서 가운데 가장 밝은 무늬의 중심에서 첫 번째 어두운 무늬까지의 거리는 파장이 길수록 크고, 슬릿의 폭이 좁을수록 크다.

~~ㄱ~~. 단색광의 진동수는 파장에 반비례한다. 단색광의 파장은 A가 B보다 크므로 단색광의 진동수는 B가 A보다 크다.

~~ㄴ~~. 단색광을 단일 슬릿에 비출 때 단일 슬릿의 폭이 좁을수록 회절이 잘 일어난다. 따라서 (나)에서 단일 슬릿의 폭만을 $2a$로 바꾸면 y는 $\frac{1}{2}$배로 감소한다.

ㄷ. 단색광을 단일 슬릿에 비출 때 단색광의 파장이 길수록 회절이 잘 일어나고, 파장이 짧을수록 회절이 잘 일어나지 않는다. A, B의 파장을 각각 λ_{A}, λ_{B}라고 할 때, $\lambda_{\mathrm{A}}=\frac{3}{2}\lambda_{\mathrm{B}}$이므로 (나)에서 단색광만을 B로 바꾸면 y는 $\frac{2}{3}$배로 감소한다.

08 단일 슬릿에 의한 빛의 회절 실험

단일 슬릿에 의한 빛의 회절 실험에서 빛의 파장이 길수록, 슬릿의 폭이 좁을수록, 슬릿에서 스크린까지 거리가 증가할수록 스크린 중앙의 밝은 무늬의 폭이 넓어진다.

~~ㄱ~~. 단색광의 세기를 증가시켜도 중앙의 가장 밝은 무늬의 폭은 변함이 없다.

ㄴ. 단일 슬릿의 폭을 넓히면 스크린 중앙의 가장 밝은 무늬의 폭이 좁아지므로 $a_1<a_2$이다.

ㄷ. 빛의 파장이 길수록 스크린 중앙의 밝은 무늬의 폭이 넓어지므로 (가)에서 단색광 레이저의 파장을 증가시키면 (나)에서 스크린 중앙의 가장 밝은 무늬의 폭은 A, B에 비추었을 때 모두 넓어진다.

09 빛의 회절 실험

회절 무늬에서 중앙의 가장 밝은 무늬로부터 첫 번째 어두운 무늬의 지름은 슬릿을 통과하는 단색광의 파장과 슬릿과 스크린 사이의 거리에 각각 비례하고, 슬릿의 폭에는 반비례한다.

~~ㄱ~~. 단색광 레이저의 파장이 λ_1일 때, 중앙의 가장 밝은 무늬로부터 첫 번째 어두운 무늬의 지름은 a_1일 때가 a_2일때의 2배이므로 $a_2=2a_1$이다. 따라서 슬릿의 폭은 $a_1<a_2$이다.

ㄴ. 슬릿의 폭이 a_1일 때, 중앙의 가장 밝은 무늬로부터 첫 번째 어두운 무늬의 지름은 단색광의 파장이 λ_2일 때가 λ_1일 때의 $\frac{3}{2}$배이므로 $\lambda_2=\frac{3}{2}\lambda_1$이다. 따라서 $\lambda_1<\lambda_2$이다.

~~ㄷ~~. 슬릿의 폭은 $a_2=2a_1$이고, 단색광의 파장은 $\lambda_2=\frac{3}{2}\lambda_1$이다. 회절 무늬에서 가운데 밝은 무늬의 폭은 슬릿의 폭에 반비례하고, 파장에 비례하므로 ㉠$=\frac{1}{2}\times\frac{3}{2}D_0=\frac{3}{4}D_0$이다.

10 회절의 이용

파동의 회절은 파동이 진행하다가 장애물을 만났을 때 장애물의 뒤쪽으로 돌아 들어가거나, 좁은 틈을 통과한 후에 퍼져 나가는 현상으로, 틈 간격이 좁을수록, 파동의 파장이 길수록 잘 일어난다.

ㄱ. AM 방송은 수신되지만 FM 방송은 수신되지 않는 현상은 회절 현상이고, 회절은 파동성으로 설명되는 현상이다.

ㄴ. 방송에서 이용하는 주파수는 FM 방송에서가 AM 방송에서보다 크고, 주파수는 파장에 반비례한다. 따라서 방송에서 이용하는 전자기파의 파장은 AM 방송에서가 FM 방송에서보다 길다.

ㄷ. 전자기파의 파장이 길수록 회절이 잘 일어나므로 회절은 AM 방송에서가 FM 방송에서보다 크게 일어난다.

12 도플러 효과와 전자기파의 송수신

수능 2점 테스트

본문 165~167쪽

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

01 도플러 효과

음원이 정지한 음파 측정기에 가까워지면 음파 측정기가 측정한 음파의 파장은 감소하고, 진동수는 증가한다.

ㄱ. 정지한 음파 측정기를 향해 다가가는 음원의 파장은 한 주기 T 동안 음파 측정기를 향해 이동한 거리만큼 파장이 짧아진다. 음파 측정기가 측정하는 음파의 파장은 $\lambda-vT=\lambda-\frac{v}{f}$이다.

ㄴ. 음파 측정기가 측정하는 음파의 진동수는

$\dfrac{V}{\lambda-\frac{v}{f}}=\dfrac{V}{\frac{V}{f}-\frac{v}{f}}=\dfrac{V}{V-v}f$이다.

ㄷ. 파원이나 관찰자가 움직일 때 측정한 파동의 진동수가 정지해 있을 때 측정한 진동수와 다르게 측정되는 현상을 도플러 효과라고 한다. 음원에서 발생시키는 음파의 진동수와 음파 측정기가 측정하는 음파의 진동수가 다른 현상은 도플러 효과로 설명할 수 있는 현상이다.

02 도플러 효과

진동수가 f_0인 음파를 발생시키는 음원이 정지한 음파 측정기에 대해 운동할 때, 정지한 음파 측정기가 측정하는 음파의 진동수 f는 다음과 같다.

$f=\dfrac{V}{V\mp v_s}f_0$ (V: 음파의 속력, v_s: 음원의 속력, $-$: 음원이 음파 측정기를 향해 다가감, $+$: 음원이 음파 측정기으로부터 멀어짐)

④ 음원이 발생하는 음파의 진동수를 f_0이라고 할 때, 음파 측정기가 측정한 f_A는 $f_A=\dfrac{V}{V-\frac{V}{6}}f_0=\frac{6}{5}f_0$이고, 음파 측정기가 측정한 f_B는 $f_B=\dfrac{V}{V+\frac{V}{9}}f_0=\frac{9}{10}f_0$이다. 따라서 $\frac{f_A}{f_B}=\frac{4}{3}$이다.

03 도플러 효과

속력 측정 장치에서 방출한 전자기파가 자동차에 부딪혀 되돌아오면서 진동수가 커진다. 속력 측정 장치는 장치에서 내보낸 전자기파가 다가오는 자동차에 부딪혀 되돌아올 때, 장치에서 방출한 전자기파 ㉠과 반사된 전자기파 ㉡의 진동수 차를 이용해 자동차의 속력을 측정한다.

Ⓐ. 파원이나 관찰자가 움직일 때 측정한 파동의 진동수가 정지해 있을 때 측정한 진동수와 다르게 측정되는 현상을 도플러 효과라고 한다. 속력 측정 장치에서 측정한 ㉠과 ㉡의 진동수가 다른 현상은 도플러 효과로 설명할 수 있는 현상이다.

~~B~~. ㉡은 속력 측정 장치를 향해 운동하는 자동차에서 반사된 전자기파이므로 속력 측정 장치에서 측정한 ㉠의 파장이 ㉡의 파장보다 길다. 또한 동일한 매질을 이동하는 ㉠과 ㉡의 속력이 같으므로 속력 측정 장치에서 측정한 진동수는 ㉠이 ㉡보다 작다.

Ⓒ. 자동차의 속력이 빠를수록 측정 장치에서 측정한 ㉡의 전자기파 파장이 짧아지는 정도가 커지므로 측정 장치에서 측정한 ㉠과 ㉡의 진동수 차는 크다.

04 도플러 효과

음원 S는 A로부터 멀어지고, B에 가까워진다. 따라서 A에서 측정한 음파의 파장은 B가 측정한 음파의 파장보다 길고, A에서 측정한 음파의 진동수는 B가 측정한 음파의 진동수보다 작다.

③ 음파의 진동수를 f_0이라고 할 때 S가 A로부터 v_s로 멀어지므로 A에서 측정한 음파의 파장 $\lambda_A=\frac{V}{f_0}+\frac{v_s}{f_0}$이고, S가 B에 v_s로 가까워지므로 B에서 측정한 음파의 파장 $\lambda_B=\frac{V}{f_0}-\frac{v_s}{f_0}$이다.

$\lambda_A : \lambda_B=3:2$이므로 $v_s=\frac{1}{5}V$이다.

05 도플러 효과

음파의 속력이 V, 음원의 속력이 v_s일 때, 진동수가 f_0인 음파를 발생시키는 음원이 정지한 음파 측정기에 가까워지면 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 $\dfrac{V}{V-v_s}f_0$이고, 음원이 정지한 음파 측정기로부터 멀어지면 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 $\dfrac{V}{V+v_s}f_0$이다.

~~ㄱ~~. 음파 측정기에서 측정한 음파의 파장은 음원이 측정기에 가까워지는 $2t$일 때가 정지해 있을 때인 $5t$일 때보다 짧다.

ⓛ. $7t$일 때, 음원은 음파 측정기로부터 멀어지므로 음파 측정기에서 측정한 음파의 진동수는 f_0보다 작다.

~~ㄷ~~. 음파의 속력을 V라고 할 때, $2t$일 때 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수 $f_1=\dfrac{V}{V-\frac{d}{4t}}f_0$이고, $7t$일 때, 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수 $f_2=\dfrac{V}{V+\frac{d}{2t}}f_0$이다. $f_1=\frac{3}{2}f_2$이므로 $V=\frac{7d}{4t}$이다.

06 전자기파의 진행과 안테나

전자기파가 금속으로 된 안테나를 통과할 때, 전자기파의 진동하는 전기장에 의해 안테나 내부의 전자가 전기력을 받아 운동한다.

안테나 내부의 전자가 진동하면 안테나와 연결된 회로에 교류 전류가 흐른다.
ㄱ. 전기장의 진동 주기가 T이므로 전기장의 진동수는 $\frac{1}{T}$이다. 전자기파에서 전기장의 진동수와 자기장의 진동수는 모두 전자기파의 진동수와 같으므로 전자기파의 진동수는 $\frac{1}{T}$이다.
ㄴ. 전자기파는 전기장과 자기장의 진동이 주위 공간으로 퍼져 나가는 것으로, 전기장의 진동 방향, 자기장의 진동 방향, 전자기파의 진행 방향은 모두 서로 수직이다. 따라서 전자기파의 진행 방향과 전기장의 진동 방향은 수직이다.
ㄷ. $t=0$일 때, 안테나를 지나가는 전자기파의 전기장 방향은 $+x$방향이다. 따라서 $t=0$일 때 음$(-)$전하를 띤 전자에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$방향이다.

07 전자기파의 송수신

구리선과 연결된 압전 소자를 누르면 구리선 사이에서 고전압에 의해 방전이 일어나며 전자기파가 발생한다.
① 압전 소자를 눌러 전기 불꽃 방전을 일으키면 방전된 전자가 가속 운동을 하여 전자기파가 발생한다. 원형 안테나에는 이 전자기파의 자기장의 변화에 의해 세기와 방향이 변하는 유도 전류가 흐르고, 이 유도 전류에 의해 LED에서는 빛이 방출된다. 안테나를 통해 LED에 흐르는 전류는 전류의 세기와 방향이 변하므로 LED의 a, b 부분을 반대로 연결하여도 LED는 켜진다.

08 도플러 효과

우리은하로부터 멀어지는 은하에서 나오는 빛의 흡수 스펙트럼은 적색 이동을 한다. 우리은하로부터 거리가 멀수록 은하가 멀어지는 속력이 크고, 은하의 멀어지는 속력이 클수록 적색 이동 정도가 크다.
ㄱ. 은하에서 나오는 빛의 흡수 스펙트럼에서 나타나는 적색 이동은 도플러 효과로 설명할 수 있다.
ㄴ. 은하가 우리은하로부터 멀어지는 속력이 빠를수록 멀어지는 은하에서 나오는 빛의 흡수 스펙트럼에서 적색 이동이 크게 나타난다.
ㄷ. 대부분의 은하에서 나오는 빛의 흡수 스펙트럼은 적색 이동하는데, 은하가 멀리 있을수록 적색 이동을 더 많이 한다. A, B, C에서 나오는 스펙트럼 중 A에서가 적색 이동이 가장 많이 일어났으므로 우리은하에서 가장 멀리 있는 은하는 A이다.

09 교류 회로에서 코일, 축전기의 특성

(나)에서 P는 교류 전원의 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 작은 축전기가 연결되었을 때의 결과이고, Q는 교류 전원의 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 큰 코일이 연결되었을 때의 결과이다.
ㄱ. 축전기는 교류 전원의 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 작다.
ㄴ. (나)에서 P는 교류 전원의 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 작은 축전기가 연결되었을 때의 결과이므로 (가)에서 스위치를 b에 연결하였을 때의 결과이다.
ㄷ. (나)에서 Q는 교류 전원의 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 큰 코일이 연결되었을 때의 결과이므로 (가)에서 스위치를 a에 연결하였을 때의 결과이다. 교류 전원의 진동수가 감소할수록 회로에 흐르는 전류가 증가하므로 저항에 걸리는 전압의 최댓값은 증가한다.

10 교류 회로와 공명 진동수

코일과 축전기가 함께 연결되어 있는 경우, 코일과 축전기가 전류의 흐름을 방해하는 정도가 같을 때의 진동수를 공명 진동수라고 하고, 이때 전류의 세기가 가장 크다.
ㄱ. 교류 전원의 진동수가 회로의 공명 진동수와 같을 때 회로에 흐르는 전류의 세기는 최대가 되므로 $I_1>I_2$이다.
ㄴ. 저항의 저항값은 회로의 공명 진동수와 무관하므로 저항값을 증가시켜도 회로의 공명 진동수는 변화 없다.
ㄷ. 축전기의 전기 용량을 증가시키면 회로의 공명 진동수는 감소한다. 따라서 교류 전원의 진동수가 f_0일 때 회로에 흐르는 전류의 세기는 회로의 공명 진동수일 때 전류의 세기보다 작으므로 전류계에 측정된 전류의 세기는 I_1보다 작다.

11 전자기파의 수신

수신 회로의 안테나에서 전자기파가 수신될 때, 회로에 흐르는 전류가 최대인 순간의 진동수는 수신 회로의 공명 진동수이다.
ㄱ. 수신 회로에 흐르는 전류가 최대인 순간 스피커에서 진동수가 f_0인 전자기파에 의한 방송이 나오고 있으므로 수신 회로의 공명 진동수는 f_0이다.
ㄴ. 수신 회로의 공명 진동수 $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ (L: 코일의 자체 유도 계수, C: 축전기의 전기 용량)이므로, 코일의 자체 유도 계수만을 증가시키면 수신 회로의 공명 진동수는 감소한다.
ㄷ. 수신 회로에 흐르는 전류의 세기는 f_0일 때가 f_1일 때보다 크고, 축전기가 전류의 흐름을 방해하는 정도도 f_0일 때가 f_1일 때보다 크다.

12 라디오 방송의 송수신

소리가 입력된 마이크에서 나오는 전기 신호를 라디오파 발진기에서 일정한 진동수로 만든 교류 신호에 첨가하는 과정을 변조라고 한다. 송신 안테나에서 보낸 전파를 라디오의 수신 안테나에서 수신하고, 전파로부터 전기 신호를 분리하는 복조 과정을 거쳐 전기 신호는 스피커에서 음성 신호로 변환된다.

ㄱ. 전기 신호를 교류 신호에 첨가하는 변조에는 주파수를 변조시키는 주파수 변조(FM), 진폭을 변조시키는 진폭 변조(AM)가 있다. A는 주파수 변조를 나타낸 것이다.
ㄴ. 수신된 전파에서 전기 신호를 분리하는 과정을 복조라고 한다.
~~ㄷ~~. ㉠은 음성 신호가 변조된 후의 전파이므로 ㉠과 ㉢의 진동수는 다르다. 마이크에 입력된 음성 신호의 진동수는 변환된 전기 신호의 진동수와 같다.

수능 3점 테스트

본문 168~172쪽

01 ④	02 ⑤	03 ③	04 ④	05 ②	06 ①
07 ③	08 ①	09 ②	10 ④		

01 도플러 효과

음원이 음파 측정기를 향해 운동할 때는 음파 측정기에서 측정한 음파의 파장이 음원의 파장보다 짧고, 음원이 음파 측정기에서 멀어지는 방향으로 운동할 때는 음파 측정기에서 측정한 음파의 파장이 음원의 파장보다 길다.
~~ㄱ~~. A에서 측정한 음파의 파장이 S에서 발생시키는 음파의 파장보다 짧으므로 S의 운동 방향은 ㉠이다.
ㄴ. 음파의 속력을 V라 할 때, 음파의 진동수는 $\frac{V}{\lambda_0}$이므로 A에서 측정한 음파의 파장 $\frac{6}{7}\lambda_0=\lambda_0-\frac{v}{V}\lambda_0$이다. 따라서 $V=7v$이다.
ㄷ. B에서 측정한 음파의 주기를 T_B라 할 때, 음파의 진동수는 $\frac{V}{\lambda_0}=\frac{7v}{\lambda_0}$이므로 $\frac{1}{T_B}=\frac{V}{V+v}\frac{V}{\lambda_0}=\frac{49}{8}\frac{v}{\lambda_0}$에서 $T_B=\frac{8\lambda_0}{49v}$이다.

02 도플러 효과

음원이 음파 측정기를 향해 운동할 때는 음파 측정기에서 측정한 음파의 파장이 음원의 파장보다 짧고, 음원이 음파 측정기에서 멀어지는 방향으로 운동할 때는 음파 측정기에서 측정한 음파의 파장이 음원의 파장보다 길다.
⑤ 음파의 속력이 V, 진동수가 f_0일 때, A, B에서 측정한 음파의 진동수는 각각 $\frac{V}{V+v}f_0=\frac{1}{5T}$, $\frac{V}{V-v}f_0=\frac{1}{4T}$이고, $v=\frac{1}{9}V$이다. A, B에서 측정한 음파의 파장은 각각 $\lambda_A=5VT$, $\lambda_B=4VT$이므로 $\lambda_A-\lambda_B=VT=9vT$이다.

03 도플러 효과

$2t_0$일 때 A는 음파 측정기로부터 멀어지는 방향으로 $\frac{2L}{t_0}$의 속력으로 운동하고, B는 음파 측정기를 향해 가까워지는 방향으로 $\frac{L}{t_0}$의 속력으로 운동한다.
ㄱ. 음파의 속력을 V라 하면 $2t_0$일 때, 음파 측정기가 측정한 A의 음파의 진동수와 B의 음파의 진동수가 같으므로
$\frac{V}{V+\frac{2L}{t_0}}4f_0=\frac{V}{V-\frac{L}{t_0}}3f_0$에서 $V=\frac{10L}{t_0}$이다.
ㄴ. $2t_0$일 때, 음파 측정기가 측정한 B의 음파의 진동수는
$\frac{V}{V-\frac{L}{t_0}}3f_0=\frac{V}{\frac{9}{10}V}3f_0=\frac{10}{3}f_0$이다.
~~ㄷ~~. $4t_0$일 때, 음파 측정기가 측정한 A의 음파의 진동수는 $2t_0$일 때 음파 측정기가 측정한 B의 음파의 진동수인 $\frac{10}{3}f_0$으로 같고, 음파 측정기가 측정한 B의 음파의 진동수는 $\frac{V}{V+\frac{4L}{t_0}}3f_0=\frac{V}{\frac{7}{5}V}3f_0$ $=\frac{15}{7}f_0$이다. 따라서 $4t_0$일 때, 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 A에서가 B에서의 $\frac{14}{9}$배이다.

04 도플러 효과

진동수가 f_0인 음파를 발생시키는 음원이 정지한 음파 측정기에 대해 운동할 때, 정지한 음파 측정기가 측정하는 음파의 진동수 f는 다음과 같다.
$f=\frac{V}{V\mp v_s}f_0$ (V: 음파의 속력, v_s: 음원의 속력, $-$: 음원이 음파 측정기를 향해 다가감, $+$: 음원이 음파 측정기으로부터 멀어짐)
~~ㄱ~~. A, B 음파의 진동수를 f_0이라고 할 때 음파 측정기가 측정한 A, B 음파의 파장 λ_A, λ_B는 각각 $\lambda_A=\frac{V}{f_0}-\frac{v_0}{f_0}$, $\lambda_B=\frac{V}{f_0}+\frac{v_0}{f_0}$이다. 따라서 A, B의 속력이 v_0일 때 음파 측정기가 측정한 음파의 파장은 A가 B보다 짧다.
ㄴ. A, B의 속력이 v_0일 때 음파 측정기가 측정한 A, B 음파의 진동수 f_{0A1}, f_{0B1}가 각각 $f_{0A1}=\frac{V}{V-v_0}f_0$, $f_{0B1}=\frac{V}{V+v_0}f_0$이고 $f_{0A1}:f_{0B1}=8:3$이므로 $v_0=\frac{5}{11}V$이다.
ㄷ. A, B의 속력이 각각 $\frac{1}{3}v_0$, $2v_0$일 때 음파 측정기가 측정한 A, B 음파의 진동수 $f_A=\frac{V}{V-\frac{1}{3}v_0}f_0$, $f_B=\frac{V}{V+2v_0}f_0$이므로 $f_A:f_B=9:4$이다. 따라서 ㉠은 $9:4$이다.

05 도플러 효과

진동수가 f_0인 음파를 발생시키는 음원이 정지한 음파 측정기에 대해 운동할 때, 정지한 음파 측정기가 측정하는 음파의 진동수 f는 다음과 같다.

$f=\frac{V}{V\mp v_s}f_0$ (V: 음파의 속력, v_s: 음원의 속력, $-$: 음원이 음파 측정기를 향해 다가감, $+$: 음원이 음파 측정기으로부터 멀어짐)

② 음파의 속력을 V라 할 때, (가)에서 $f_A=\frac{V}{V+v_A}f_0$, $f_B=\frac{V}{V+2v_B}f_0$이고, (나)에서 $\frac{V}{V-2v_A}f_0=\frac{8}{5}f_B$, $\frac{V}{V-v_B}f_0=\frac{5}{4}f_A$이다. 따라서 $v_A=\frac{V}{8}$, $v_B=\frac{V}{10}$이므로 $\frac{v_B}{v_A}=\frac{4}{5}$이다.

06 도플러 효과

진동수가 f_0인 음파를 발생시키는 음원이 정지한 음파 측정기에 대해 운동할 때, 정지한 음파 측정기가 측정하는 음파의 진동수 f는 다음과 같다.

$f=\frac{V}{V\mp v_s}f_0$ (V: 음파의 속력, v_s: 음원의 속력, $-$: 음원이 음파 측정기를 향해 다가감, $+$: 음원이 음파 측정기으로부터 멀어짐)

① 음파의 속력을 V, B의 속력을 t_0일 때 v_B, $3t_0$일 때 $v_B{}'$라 하면 $\frac{V}{V+v}f_0=\frac{10}{11}f_0$ … (ⅰ), $\frac{V}{V+v_B}f_B=\frac{1}{2}f_0$ … (ⅱ), $\frac{V}{V-v_B{}'}f_B=\frac{2}{3}f_0$ … (ⅲ)이다. (나)에서 $v_B-v=\frac{d}{t_0}$, $v_B{}'+v=\frac{2d}{t_0}$이므로 $2v_B-v_B{}'=3v$ … (ⅳ)이다. (ⅰ)에서 $v=\frac{1}{10}V$이고, (ⅱ)와 (ⅲ)에서 $3v_B+4v_B{}'=V$ … (ⅴ)이다. (ⅳ)와 (ⅴ)에서 $v_B=2v_B{}'$이고, (ⅴ)에 대입하면 $v_B{}'=\frac{1}{10}V$, $v_B=\frac{1}{5}V$이므로 (ⅱ)에 대입하면 $f_B=\frac{3}{5}f_0$이다.

07 축전기의 전기 용량에 따른 공명 진동수의 변화

교류 전원의 진동수를 변화시켜 회로에 최대 전류가 흐를 때의 진동수를 공명 진동수라고 하고, 코일의 자체 유도 계수를 L, 축전기의 전기 용량을 C라고 할 때 회로의 공명 진동수는 $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이다.

ㄱ. S를 a에 연결했을 때 회로에 최대 전류가 흐를 때의 진동수는 f_0이므로 회로의 공명 진동수는 $f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}}$이다.

ㄴ. 공명 진동수는 $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이고, 스위치 S를 a에 연결할 때는 f_0, b에 연결할 때는 $2f_0$이므로 $C_1=4C_2$이다.

~~ㄷ~~. S를 b에 연결할 때, 회로에 흐르는 전류의 세기는 교류 전원의 진동수가 f_0일 때가 $2f_0$일 때보다 작다. 따라서 저항 양단에 걸리는 전압의 최댓값은 교류 전원의 진동수가 f_0일 때가 $2f_0$일 때보다 작다.

08 축전기의 전기 용량에 따른 공명 진동수의 변화

(나)에서 P는 진동수가 f_0일 때 전류의 세기가 가장 크므로 코일과 축전기가 연결된 회로에서 전류의 세기를, Q는 진동수가 클수록 전류의 세기가 커지므로 축전기가 연결된 회로에서 전류의 세기를 나타낸다. 따라서 P, Q는 각각 S를 a, b에 연결했을 때의 결과이다.

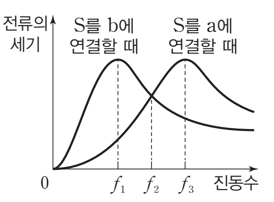
ㄱ. 코일과 축전기가 함께 연결되어 있을 때, 코일과 축전기의 전류의 흐름을 방해하는 정도가 같을 때의 진동수를 공명 진동수라고 하고, 이때 전류의 세기가 가장 크다. P는 교류 전원의 진동수가 f_0일 때 전류의 세기가 가장 크므로 P는 S를 a에 연결하여 코일과 축전기가 함께 연결된 회로에서 나타나는 그래프이다.

~~ㄴ~~. Q는 S를 b에 연결했을 때의 그래프이고, 진동수가 커질 때 전류의 세기가 증가하므로 진동수가 작을수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 큰 축전기가 연결된 회로이다.

~~ㄷ~~. 코일은 진동수가 클수록, 축전기는 진동수가 작을수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 커진다. Q는 S를 b에 연결하여 축전기와 저항이 함께 연결된 회로에서 나타나는 그래프이므로 X는 저항이고, Y는 코일이다.

09 축전기의 전기 용량에 따른 공명 진동수의 변화

코일의 자체 유도 계수를 L, 축전기의 전기 용량을 C라고 할 때 회로의 공명 진동수는 $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이다. 회로의 공명 진동수는 S를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때보다 크므로 회로에 흐르는 전류의 최댓값을 교류 전원의 진동수에 따라 나타내면 그림과 같다.



~~ㄱ~~. $L_1<L_2$이고, 코일의 자체 유도 계수가 클수록 회로의 공명 진동수는 감소하므로 회로의 공명 진동수는 S를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때보다 크다.

~~ㄱ~~. 교류 전원의 진동수가 f_2일 때 저항 양단에 걸리는 전압의 최댓값이 S를 a에 연결했을 때와 S를 b에 연결했을 때가 같고, 회로의 공명 진동수는 S를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때보다 크다. S를 a에 연결할 때, 저항 양단에 걸리는 전압의 최댓값이 교류 전원의 진동수가 f_1일 때가 f_3일 때보다 작으므로 회로의 공명 진동수는 S를 a에 연결할 때가 f_3이고, S를 b에 연결할 때가 f_1이다. 따라서 $f_1<f_2<f_3$이다.
ㄷ. 회로의 공명 진동수는 S를 b에 연결할 때가 f_1이고, $f_1<f_2<f_3$이므로 저항에 흐르는 전류의 최댓값은 f_1일 때가 f_3일 때보다 크다. 따라서 저항 양단에 걸리는 전압의 최댓값은 $V_1>V_2$이다.

10 전자기파의 송수신

송신 회로의 공명 진동수와 동일한 진동수의 전자기파가 안테나에서 송신되면, 동일한 공명 진동수를 갖는 수신 회로에서 전자기파를 수신할 수 있다.
~~ㄱ~~. 코일의 자체 유도 계수가 L이고, 축전기의 전기 용량이 C이면 공명 진동수는 $f=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이므로 전기 용량이 클수록 공명 진동수는 작다. 따라서 $f_A>f_B$이다.
ㄴ. 수신 회로에서 X를 수신하므로 전자기파 X의 진동수와 동일한 진동수의 교류 전류가 수신 회로에 흐르게 된다.
ㄷ. S를 b에 연결했을 때 송신 회로의 공명 진동수는 f_B이고, X를 수신하기 위해서는 수신 회로의 공명 진동수가 송신 회로의 공명 진동수 f_B와 같아야 한다. 수신 회로의 공명 진동수가 f_B가 되는 가변 축전기의 전기 용량을 C'라 할 때
$f_B=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{2LC}}=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{2LC'}}$이다. 따라서 $C'=C$이다.

13 볼록 렌즈에 의한 상

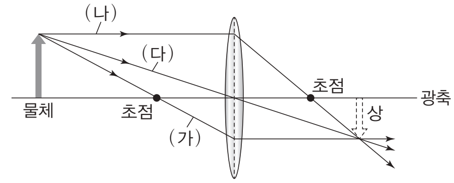
수능 2점 테스트

본문 177~178쪽

01 ② 02 ③ 03 ③ 04 ③ 05 ② 06 ③
07 ⑤ 08 ⑤

01 볼록 렌즈를 지나는 광선의 경로

물체로부터 렌즈를 향해 진행하는 3가지 광선의 경로는 그림과 같다.



(~~가~~) 초점을 지나서 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 광축에 나란하게 진행한다.
(나) 광축에 나란하게 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 초점을 지나간다.
(~~다~~) 렌즈의 중심을 향해 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 그대로 직진한다.

02 볼록 렌즈에 의한 상

렌즈와 물체 사이의 거리가 렌즈와 초점 사이의 거리보다 클 때 물체의 상은 도립 실상이다.
ㄱ. 상이 뒤집혀 있으므로 렌즈에 의한 물체의 상은 실상이다.
~~ㄴ~~. 렌즈와 물체 사이의 거리(a)가 초점 거리(f)보다 클 때 렌즈에 의한 물체의 상은 실상이고, $h<H$이다. 따라서 $f<a<2f$이다.
ㄷ. 물체의 크기를 h, 상의 크기를 H라 할 때, 상의 배율은 $M=\dfrac{H}{h}$이다.

03 렌즈 방정식과 배율

렌즈와 물체 사이의 거리를 a, 렌즈와 상 사이의 거리를 b, 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때, 렌즈 방정식은 $\dfrac{1}{a}+\dfrac{1}{b}=\dfrac{1}{f}$이고, 물체의 크기를 h, 상의 크기를 h'라 할 때 상의 배율 $M=\left|\dfrac{b}{a}\right|=\dfrac{h'}{h}$이다.
③ (가)에서 물체의 크기와 상의 크기가 같으므로 $|a|=|b|$이고, $\dfrac{1}{a}+\dfrac{1}{a}=\dfrac{1}{f}$에서 $|a|=|b|=2f$, $f=\dfrac{a}{2}$이다. (나)에서 렌즈와 상 사이의 거리를 x라 할 때 렌즈와 물체 사이의 거리는 $3x$이

므로 $\frac{1}{3x}+\frac{1}{x}=\frac{1}{\frac{a}{2}}$이다. 따라서 렌즈의 중심으로부터 상까지의 거리 $x=\frac{2}{3}a$이다.

04 볼록 렌즈에 의한 상

볼록 렌즈에 의한 전등의 상은 렌즈를 중심으로 전등의 반대편에 생기며, 책상에 상이 맺힌다.

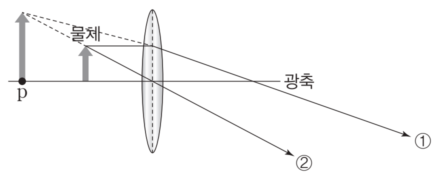
ㄱ. 렌즈를 중심으로 전등의 반대편에 상이 생기고, 책상에 실제로 상이 맺히므로 (나)에서 상은 실상이다.

~~ㄴ~~. 전등과 렌즈 사이의 거리가 120 cm, 책상과 렌즈 사이의 거리가 24 cm이므로 상의 배율은 $\frac{24\text{ cm}}{120\text{ cm}}=\frac{1}{5}$이다.

ㄷ. $\frac{1}{120\text{ cm}}+\frac{1}{24\text{ cm}}=\frac{1}{㉠}$이므로 ㉠은 20 cm이다.

05 볼록 렌즈에 의한 상

렌즈를 중심으로 물체와 같은 같은편에 생긴 상은 허상이다. 그림과 같이 허상은 렌즈를 통과한 빛이 모인 지점에서 만들어지는 것이 아니라 서로 벌어지는 빛의 경로의 연장선이 만나는 곳에서 생긴다.



~~ㄱ~~. 허상이 생기는 p에서는 실제로 빛이 모이지 않으므로 스크린을 설치해도 스크린에 물체의 상이 맺히지 않는다.

~~ㄴ~~. 렌즈와 물체 사이의 거리를 a라 할 때, 상의 크기가 물체의 크기의 2배이므로 렌즈와 p 사이의 거리는 $2a$이다. 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때, p에서 허상이 생기므로 $\frac{1}{a}-\frac{1}{2a}=\frac{1}{f}$이다. 따라서 $f=2a$이므로 렌즈의 초점 거리는 렌즈와 p 사이의 거리와 같다.

ㄷ. 위 그림에서 물체를 렌즈 쪽으로 이동시키면 렌즈의 중심으로 진행하는 빛 경로 ②의 기울기가 더 커지므로 광축과 평행하게 진행하는 빛 경로 ①의 연장선과 만나는 지점이 렌즈와 가까워지고, 광축과 가까워진다. 따라서 상의 위치는 렌즈와 가까워지고, 상의 크기가 작아진다.

[별해] ㄷ. 렌즈와 물체 사이의 거리를 a, 렌즈와 상 사이의 거리를 b, 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때, 허상이 생기는 경우 $\frac{1}{a}-\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이고 $\frac{1}{b}=\frac{1}{a}-\frac{1}{f}$이므로 a가 작아지면 b도 작아진다. 물체의 크기, 상의 크기를 각각 h, h'라 할 때, $\frac{h'}{h}=\frac{b}{a}=1+\frac{b}{f}$이므로 $h'=\left(1+\frac{b}{f}\right)h$이다. 따라서 a가 작아지면 b가 작아져 상의 크기 h'도 작아진다.

06 볼록 렌즈에 의한 상

렌즈와 물체 사이의 거리가 초점 거리보다 클 때 렌즈를 중심으로 물체의 반대편에 거꾸로 된 실상이 생긴다.

ㄱ. A에 의한 상은 실상이므로 A의 중심으로부터 물체까지의 거리는 A의 초점 거리 f_1보다 크다.

ㄴ. 렌즈와 물체 사이의 거리를 a, 렌즈와 상 사이의 거리를 b, 물체의 크기를 h, 상의 크기를 h'라 할 때, $h'=\frac{b}{a}h$이다. 따라서 A와 상 사이의 거리, B와 상 사이의 거리가 같고, B에 의한 상이 A에 의한 상보다 크므로 렌즈 중심으로부터 물체까지의 거리는 A가 B보다 크다.

~~ㄷ~~. A, B와 물체 사이의 거리를 각각 a_A, a_B, 렌즈와 p 사이의 거리를 b라 할 때, $\frac{1}{a_A}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f_1}$, $\frac{1}{a_B}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f_2}$이고, $a_A>a_B$이므로 $f_1>f_2$이다.

07 광학 현미경의 원리

광학 현미경에서는 대물렌즈에 의해 확대된 물체의 실상이 접안렌즈에 대해 물체의 역할을 하게 되고, 상이 맺힌 위치가 접안렌즈의 초점 거리 안쪽이므로 접안렌즈에 의해 확대된 허상이 생긴다.

ㄱ. 대물렌즈에 의해 실상이 생기므로 대물렌즈의 중심으로부터 물체까지의 거리는 대물렌즈의 초점 거리보다 크다.

ㄴ. 대물렌즈에 의해 만들어진 실상이 접안렌즈에 대해 물체의 역할을 하여 접안렌즈에 의한 최종 상이 만들어진다. 따라서 접안렌즈를 중심으로 대물렌즈에 의한 실상과 최종 상이 같은 편에 위치하므로 최종 상은 허상이다.

ㄷ. 대물렌즈, 접안렌즈에 의한 상의 배율은 각각 다음과 같다.

㉡ 대물렌즈에 의한 상의 배율$=\frac{\text{대물렌즈에 의한 상의 크기}}{\text{물체의 크기}}$

㉢ 접안렌즈에 의한 상의 배율$=\frac{\text{최종 상의 크기}}{\text{대물렌즈에 의한 상의 크기}}$

따라서 ㉡×㉢$=\frac{\text{최종 상의 크기}}{\text{물체의 크기}}$이다.

08 볼록 렌즈에 의한 상

물체와 렌즈 사이의 거리를 a, 렌즈와 상 사이의 거리를 b, 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때, 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이 성립한다.

ㄱ. 상의 배율은 $\frac{2h}{h}=2$이다.

ㄴ. 물체와 렌즈 사이의 거리를 a, 렌즈와 상 사이의 거리를 b라 할 때, $\frac{b}{a}=2$이므로 $b=2a$이고, $a+b=d$이므로 렌즈와 상 사이의 거리(b)는 $b=\frac{2}{3}d$이다.

ㄷ. $b=2a$이므로 $\frac{1}{a}+\frac{1}{2a}=\frac{1}{f}$에서 $a=\frac{3}{2}f$이다.

수능 3점 테스트 본문 179~183쪽

01 ④	02 ④	03 ②	04 ③	05 ⑤	06 ④
07 ⑤	08 ①	09 ⑤	10 ②		

01 볼록 렌즈에 의한 상

물체와 렌즈 사이의 거리를 a, 볼록 렌즈의 초점 거리를 f라 하면 $a=2f$일 때 물체와 상의 크기가 같다. $f<a<2f$일 때 렌즈에 의한 상(실상)의 크기는 물체의 크기보다 크고, $a>2f$일 때 상(실상)의 크기는 물체의 크기보다 작다.

ㄱ. 물체의 운동 방향이 $+x$방향일 경우 물체가 운동하는 동안 상의 크기가 작아지려면 물체가 $x=-4d$에 있을 때 물체의 상이 허상이어야 하는데, 물체가 운동하여 렌즈와 가까워지더라도 항상 허상의 크기는 물체의 크기보다 크므로 $t=2t_0$일 때 상의 크기와 물체의 크기가 같아지지 않는다. 따라서 물체의 운동 방향은 $-x$방향이고, 물체가 $x=-4d$에 있을 때 물체의 상은 실상이다.

ㄴ. $t=2t_0$일 때 물체의 위치는 $x=-6d$이고, 상의 크기와 물체의 크기가 같으므로 렌즈와 물체 사이의 거리는 렌즈의 초점 거리의 2배이다. 따라서 렌즈의 초점 거리는 $3d$이다.

ㄷ. $t=0$, $t=2t_0$일 때의 상의 위치를 각각 b_1, b_2라 할 때, 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{4d}+\frac{1}{b_1}=\frac{1}{3d}$, $\frac{1}{6d}+\frac{1}{b_2}=\frac{1}{3d}$이므로 $b_1=12d$, $b_2=6d$이다. 따라서 $t=0$부터 $t=2t_0$까지 상의 평균 속력은 $\frac{12d-6d}{2t_0}=\frac{3d}{t_0}$이다.

02 렌즈 방정식과 상의 배율

물체와 렌즈 사이의 거리를 a, 렌즈와 상 사이의 거리를 b, 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때, 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이 성립한다. 상의 배율은 $M=\left|\frac{b}{a}\right|$이다.

ㄱ. A와 물체 사이의 거리를 a_1, B와 물체 사이의 거리를 a_2, A, B와 p(물체의 상) 사이의 거리를 b라 할 때, 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{a_1}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f_0}$, $\frac{1}{a_2}+\frac{1}{b}=\frac{4}{3f_0}$이므로 $a_1>a_2$이다. 따라서 A와 물체 사이의 거리(a_1)가 B와 물체 사이의 거리(a_2)보다 크다.

ㄴ. A에 의한 상의 배율이 4이므로 $b=4a_1$이다. 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{4}{b}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f_0}$이므로 A와 p 사이의 거리 $b=5f_0$이다.

ㄷ. $\frac{1}{a_2}+\frac{1}{5f_0}=\frac{4}{3f_0}$이므로 $a_2=\frac{15}{17}f_0$이다. 따라서 ㉠은 $\frac{b}{a_2}=\frac{5f_0}{\frac{15}{17}f_0}=\frac{17}{3}$이다.

03 볼록 렌즈에 의한 상

물체의 상이 실상인 경우 볼록 렌즈와 물체 사이의 거리가 클수록 상의 크기가 작다.

ㄱ. 렌즈와의 거리는 q가 p보다 큰데 상의 크기는 물체가 q에 있을 때가 p에 있을 때의 2배이므로 물체가 p에 있을 때 상은 허상이다.

ㄴ. 물체의 크기를 h, 물체가 p에 있을 때 렌즈와 상 사이의 거리를 b_1, 물체가 q에 있을 때 렌즈와 상 사이의 거리를 b_2라 할 때, $\frac{b_2}{2a}h=2\times\frac{b_1}{a}h$이므로 $b_2=4b_1$이다. 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{a}-\frac{1}{b_1}=\frac{1}{f}$, $\frac{1}{2a}+\frac{1}{4b_1}=\frac{1}{f}$이므로 렌즈의 초점 거리 $f=\frac{5}{3}a$이다.

ㄷ. 물체가 p에 있을 때 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{a}-\frac{1}{b_1}=\frac{3}{5a}$이므로 $b_1=\frac{5}{2}a$이다. 따라서 물체의 상은 q의 오른쪽에 생긴다.

04 볼록 렌즈에 의한 상

두 개의 렌즈에 의해 생긴 상이 스크린에 생기므로 최종 만들어진 상은 실상이다. 첫 번째 렌즈에 의해 생긴 물체의 도립 실상이 두 번째 렌즈에서는 물체의 역할을 하게 되어 정립 실상을 만든다.

ㄱ. B에 의해 최종 정립상이 스크린에 맺히므로 B가 물체로 인식하는 A에 의한 상은 빛이 실제로 모여서 생긴 도립 실상이다.

ㄴ. A에 의해 생긴 물체의 상은 B에 의해 스크린에 실상으로 나타나므로 A에 의해 생긴 물체의 상은 A와 B 사이에 생긴다. A에 의해 생긴 물체의 상과 A 사이의 거리를 b라 할 때, A에 의한 상과 B 사이의 거리는 $a-b$이다. 물체의 크기를 h, A에 의해 생긴 상의 크기를 h_A, B에 의해 스크린에 생긴 최종 상의 크기를 h_B라 할 때, $h_A=\frac{b}{a}h$, $h_B=\frac{a}{a-b}h_A=\frac{2}{3}h$이므로 $\frac{a}{a-b}\times\frac{b}{a}=\frac{2}{3}$이고, $b=\frac{2}{5}a$이다. 따라서 A에 의한 물체의 상의 배율은 $\frac{2}{5}$이다.

ㄷ. 렌즈 방정식을 적용하면, $\frac{1}{a}+\frac{5}{2a}=\frac{1}{f_A}$, $\frac{5}{3a}+\frac{1}{a}=\frac{1}{f_B}$이므로 $\frac{f_A}{f_B}=\frac{16}{21}$이다.

05 볼록 렌즈에 의한 상

물체의 크기를 h_1, 상의 크기를 h_2, 물체와 렌즈 사이의 거리를 a, 렌즈와 상 사이의 거리를 b, 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때, 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이 성립한다. 상의 배율은 $M=\frac{h_2}{h_1}=\left|\frac{b}{a}\right|$이다.

ㄱ. A, B와 물체 사이의 거리를 a, 물체의 크기를 h라 할 때, $h_0=\frac{b}{a}h$, $2h_0=\frac{㉠}{a}h$이므로 ㉠은 $2b$이다.

ㄴ. 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f_0}$, $\frac{1}{a}+\frac{1}{2b}=\frac{2}{3f_0}$이고, $f_0=\frac{2}{3}b$이다. 따라서 A의 초점 거리는 $\frac{2}{3}b$이다.

ㄷ. B의 초점 거리는 $\frac{3}{2}f_0=\frac{3}{2}\times\frac{2}{3}b=b$이므로 B와 물체 사이의 거리가 $2b$(B와 물체 사이의 거리가 초점 거리의 2배)일 때, 상의 크기는 물체의 크기와 같다.

[별해] B와 상 사이의 거리를 x라 할 때, 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{2b}+\frac{1}{x}=\frac{1}{b}$이므로 $x=2b$이다. B와 물체 사이의 거리와 B와 상 사이의 거리가 같으므로 상의 배율은 1이다. 따라서 상의 크기는 물체의 크기와 같다.

06 볼록 렌즈에 의한 상

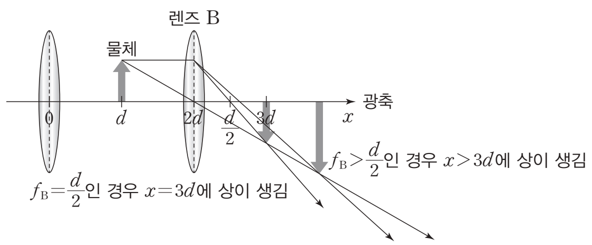
렌즈와 물체 사이의 거리를 a, 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때 다음과 같이 상이 만들어진다.

① $a=f$: 상이 생기지 않음 ② $a<f$: 정립 허상 ③ $a>f$: 도립 실상

~~ㄱ~~. 물체가 $x=d$에 있을 때 A에 의해 상이 생기지 않고, B에 의해 실상이 생기므로 A의 초점 거리는 d이고 B의 초점 거리는 d보다 작다. 따라서 초점 거리는 A가 B보다 크다.

ㄴ. 물체가 $x=\frac{3}{2}d$에 있을 때 A와 물체 사이의 거리는 초점 거리보다 크므로 A에 의해 도립 실상이 생긴다. 따라서 ㉠은 '실상'이다.

ㄷ. 물체가 $x=\frac{3}{2}d$에 있을 때 B에 의한 상의 종류가 허상이므로 B의 초점 거리(f_B)는 $f_B>\frac{1}{2}d$이고, 그림과 같이 물체가 $x=d$에 있을 때 B에 의한 물체의 상은 $x>3d$인 지점에서만 생긴다.



07 볼록 렌즈에 의한 상

상이 생긴 스크린과 볼록 렌즈 사이의 거리가 b일 때, 물체와 렌즈 사이의 거리는 $a-b$이므로 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때, 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{a-b}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이다.

ㄱ. $a=\frac{8}{3}d_0$일 때, 스크린에 생긴 상의 크기가 물체의 크기와 같으므로 렌즈와 물체 사이의 거리, 렌즈와 스크린 사이의 거리는 초점 거리의 2배이다. 따라서 물체와 스크린 사이의 거리는 초점 거리의 4배이므로 렌즈의 초점 거리(f)는 $f=\frac{2}{3}d_0$이다.

ㄴ. $a=3d_0$일 때 렌즈 방정식을 적용하면, $\frac{1}{3d_0-b}+\frac{1}{b}=\frac{3}{2d_0}$이므로 $b=d_0$, $b=2d_0$이고, 이때 렌즈와 물체 사이의 거리는 각각 $2d_0$, d_0이다. 상의 크기는 $b=b_2$일 때가 $b=b_1$일 때보다 크므로 $b_1=d_0$, $b_2=2d_0$이다.

ㄷ. 물체의 크기를 h라 할 때, 상의 크기는 $b=b_2=2d_0$일 때가 $\frac{2d_0}{d_0}h$이고, $b=b_1=d_0$일 때가 $\frac{d_0}{2d_0}h$이므로, 상의 크기는 $b=b_2$일 때가 $b=b_1$일 때의 4배이다.

08 볼록 렌즈에 의한 상

렌즈를 중심으로 물체와 상이 같은 편에 있으면 허상, 반대편에 있으면 실상이다. 물체와 렌즈 사이의 거리를 a, 렌즈와 상 사이의 거리를 b, 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때, 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이 성립한다.

ㄱ. 실험 Ⅰ에서 렌즈에 의해 실상이 생기므로 렌즈와 상 사이의 거리는 $2d$이다. 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{d}+\frac{1}{2d}=\frac{1}{f}$이므로 렌즈의 초점 거리 $f=\frac{2}{3}d$이다.

~~ㄴ~~. 실험 Ⅱ에서 렌즈에 의해 허상이 생기므로 렌즈와 상 사이의 거리는 ㉠$+\frac{d}{3}$이고, 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{㉠}-\frac{1}{㉠+\frac{d}{3}}=\frac{1}{\frac{2d}{3}}$이다. 따라서 ㉠은 $\frac{d}{3}$이므로 $\frac{2}{3}d$보다 작다.

[별해] ~~ㄴ~~. 실험 Ⅱ에서 렌즈에 의해 허상이 생기므로 물체와 렌즈 사이의 거리 ㉠은 초점 거리 $\frac{2}{3}d$보다 작다.

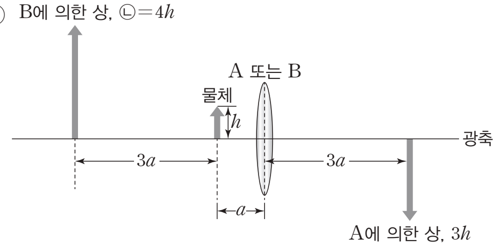
~~ㄷ~~. 렌즈와 물체 사이의 거리를 a, 렌즈와 상 사이의 거리를 b라 할 때, 상의 배율은 $\left|\frac{b}{a}\right|$이므로 Ⅰ, Ⅱ에서 상의 크기는 각각 $\frac{2d}{d}\times$물체의 크기, $\frac{\frac{2d}{3}}{\frac{d}{3}}\times$물체의 크기이므로 서로 같다.

09 볼록 렌즈에 의한 상

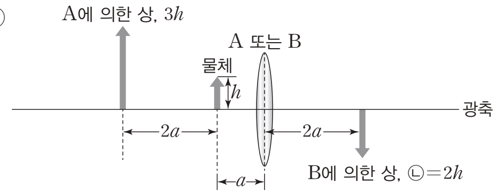
물체의 크기를 h, 물체와 렌즈 사이의 거리를 a, 렌즈와 상 사이의 거리를 b라 할 때 상의 크기는 $\frac{b}{a}h$이다.

렌즈 A에 의한 상의 크기가 $3h$가 되는 경우는 다음 두 경우가 있는데, A에 의한 상과 B에 의한 상의 종류가 다르다는 조건과 B에 의한 상과 물체 사이의 거리가 $3a$라는 조건에 맞게 A, B에 의한 상을 표시해 보면 다음 ①, ②와 같다. B에 의한 상의 크기(ㄴ)가 $3h$보다 큰 조건을 만족하는 것은 ①이다.

① B에 의한 상, ㉡$=4h$



②



㉠. 물체와 A에 의한 상 사이의 거리 ㉠은 $a+3a=4a$이다.

㉡. B에 의한 상의 크기 ㉡은 $\frac{a+3a}{a}h=4h$이다.

㉢. 렌즈 방정식을 적용하면, $\frac{1}{a}+\frac{1}{3a}=\frac{1}{f_A}$, $\frac{1}{a}-\frac{1}{4a}=\frac{1}{f_B}$이므로 $\frac{f_B}{f_A}=\frac{16}{9}$이다.

10 볼록 렌즈의 이용

굴절 망원경은 볼록 렌즈 2개를 사용하여 멀리 있는 물체를 확대하여 보는 장치이다. 대물렌즈는 물체에서 나오는 빛을 모아 도립 실상을 만드는 역할을 하고, 이 실상은 접안렌즈에 의해 확대된 도립 허상으로 보인다.

~~㉠~~. 멀리 있는 물체의 상(㉠)은 대물렌즈를 중심으로 물체의 반대 편에 있으므로 실상이다.

㉡. 대물렌즈에 의한 실상은 접안렌즈에 의해 확대된 허상으로 보이므로 접안렌즈의 초점 거리는 접안렌즈로부터 대물렌즈에 의해 만들어진 물체의 실상 ㉠까지의 거리보다 크다.

~~㉢~~. 접안렌즈에 의해 생기는 최종 상은 대물렌즈에 의해 생긴 실상과 같은 편에 있으므로 상의 종류는 허상이다.

14 빛과 물질의 이중성

수능 2점 테스트

본문 188~189쪽

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

01 광전 효과와 광양자설

광전 효과 실험에서 회로에 흐르는 전류의 세기가 0이 되는 순간의 전압을 정지 전압이라고 한다.

③ 정지 전압을 V_s라 할 때, 광전류가 0이 되는 순간 광전자의 최대 운동 에너지와 정지 전압에 의해 감소한 광전자의 운동 에너지가 같으므로 광전자의 최대 운동 에너지는 eV_s이다. 플랑크 상수를 h, 금속판의 일함수를 W라 할 때, A, B를 금속판에 각각 비추었을 때 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 각각 $2eV_0=hf_A-W$, $eV_0=hf_B-W$이므로 $f_A-f_B=\frac{eV_0}{h}$이다.

02 광전 효과

광전 효과 실험에서 회로에 흐르는 전류의 세기가 0이 되는 순간의 전압을 정지 전압(V_s)이라고 하며, 금속판에서 방출되는 전자의 최대 운동 에너지 $E_k=eV_s$ (e: 기본 전하량)이다.

~~㉠~~. 광자 1개의 에너지를 E, 금속판의 일함수를 W라 할 때, 광자 1개의 에너지 $E=eV_s+W$이므로, 광자 1개의 에너지는 A가 B보다 크다.

~~㉡~~. B, C를 금속판에 각각 비추었을 때 정지 전압이 같으므로 B와 C의 진동수는 같다. 금속판에 비춘 단색광의 진동수가 같을 때, 광전류의 최댓값은 단색광의 세기에 비례하므로 단색광의 세기는 B가 C보다 크다.

㉢. 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 eV_s이므로 A를 비출 때가 C를 비출 때의 2배이다.

03 광전 효과

금속판에 비추는 단색광의 진동수를 f, 금속판의 일함수를 W, 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지를 E_k라 할 때, 광자 1개의 에너지 $E=hf$ (h: 플랑크 상수)이고, $E_k=hf-W$이다.

㉠. A, B의 광자 1개의 에너지는 각각 $5hf$, $6hf$이므로 광자 1개의 에너지는 B가 A보다 크다.

~~㉡~~. 금속판에 A를 비출 때 $E_k=5hf-W$이고, 금속판에 B를 비출 때 $\frac{3}{2}E_k=6hf-W$이므로 금속판의 일함수 $W=3hf$이다.

ㄷ. 금속판에 B를 비출 때 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $6hf-W=3hf$이다.

04 광전 효과

단색광의 진동수를 f, 정지 전압을 V_s, 금속판의 일함수를 W, 기본 전하량을 e, 플랑크 상수를 h라 할 때, $hf=eV_s+W$이다.
ㄱ. $hf_0=eV_0+W$, $2hf_0=2.5eV_0+W$이므로 금속판의 일함수 $W=0.5eV_0=\frac{1}{3}hf_0$이다. 따라서 금속판의 문턱 진동수는 $\frac{1}{3}f_0$이다.
ㄴ. $hf_1=2eV_0+0.5eV_0=2.5eV_0$이고 $hf_0=eV_0+W$, $2hf_0=2.5eV_0+W$에서 $hf_0=1.5eV_0$이므로 $f_1=\frac{5}{3}f_0$이다.
ㄷ. 진동수가 f_0인 단색광을 금속판에 비추었을 때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 eV_0이므로 금속판의 일함수의 2배이다.

05 데이비슨 · 거머 실험

데이비슨과 거머는 니켈 결정에 가속된 전자를 입사시킨 후 검출기의 각을 변화시키며 각에 따라 검출되는 전자의 수를 측정하여 전자의 수가 가장 많은 검출기의 각을 측정하였다. 또한 이와 같은 각도에서 보강 간섭이 일어나는 X선의 파장과 입사시킨 전자의 물질파 파장이 일치하는 것을 확인하여 드브로이의 물질파 이론을 증명하였다.
ㄱ. 데이비슨과 거머는 54 V로 가속된 전자의 물질파 파장이 θ가 50°인 곳에서 보강 간섭이 일어나는 X선의 파장과 일치하는 것을 확인하여 드브로이의 물질파 이론을 입증하였다. 따라서 '보강'은 A로 적절하다.
ㄴ. $\theta=50°$로 산란된 전자의 수가 가장 많은 것은 전자의 물질파가 파동의 보강 간섭 조건을 만족하기 때문이다. 따라서 전자의 파동성으로 설명할 수 있다.
ㄷ. 54 V로 가속된 전자의 물질파 파장과 $\theta=50°$에서 보강 간섭이 일어나는 X선의 파장이 일치하는 것으로 보아 54 V로 가속된 전자의 물질파 파장도 $\theta=50°$에서 보강 간섭이 일어난다.

06 물질파

전자의 운동량의 크기가 p인 전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}$ (h: 플랑크 상수)이다.
ㄱ. 전자의 물질파 파장이 길수록 회절 무늬 중앙의 밝은 무늬의 지름이 크다. 따라서 전자의 물질파 파장은 Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 길다.
~~ㄴ~~. 전자의 물질파 파장은 Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 길므로 전자의 운동량의 크기는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크다. 따라서 $p_1>p_2$이다.
ㄷ. 전자를 금속박에 입사시켰을 때 스크린에 회절 무늬가 나타나는 것으로부터 전자의 파동성을 확인할 수 있다.

07 물질파

운동량의 크기가 p, 질량이 m, 운동 에너지가 E인 입자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{\sqrt{2mE}}$이다.
ㄱ. 전자의 운동량은 $p=\frac{h}{\lambda}$이므로 전자총에서 방출된 전자의 운동량의 크기는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 $\sqrt{2}$배이다.
ㄴ. 정지해 있던 전자를 가속 전압 V로 가속시켰을 때 방출된 전자의 운동 에너지는 $E=eV$ (e: 기본 전하량)이다. 따라서 Ⅰ에서의 가속 전압이 V_0이므로 전자 1개의 운동 에너지 증가량은 eV_0이다.
~~ㄷ~~. 전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{\sqrt{2mE}}=\frac{h}{\sqrt{2meV}}$이므로 ㉠은 $\frac{1}{2}V_0$이다.

08 보어의 수소 원자 모형

보어의 수소 원자 모형에서 전자가 특정한 조건을 만족하는 원 궤도를 회전할 때 전자기파가 방출되지 않아 전자의 속력이 변하지 않는다. 전자의 운동량을 p라 할 때, 원 궤도를 회전하는 전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}$ (h: 플랑크 상수)이다.
~~ㄱ~~. 보어의 수소 원자 모형에서 전자가 $n=1$인 상태를 유지할 때, 전자가 원운동하는 궤도의 반지름은 일정하고, 전자의 속력도 일정하다. 따라서 전자의 운동량의 크기는 변하지 않는다.
ㄴ. 보어의 수소 원자 모형에서 $rp=\frac{nh}{2\pi}$, $r\propto n^2$이므로 전자의 운동량은 $p\propto\frac{1}{n}$이다. 따라서 전자의 운동량의 크기는 $n=2$인 상태에서가 $n=1$인 상태에서보다 작다.
ㄷ. 전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}$이므로 $\lambda\propto n$이다. 따라서 전자의 물질파 파장은 $n=2$인 상태에서가 $n=1$인 상태에서의 2배이다.

수능 3점 테스트

본문 190~193쪽

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

01 광전 효과

광전 효과 실험에서 회로에 흐르는 전류의 세기가 0이 되는 순간의 전압을 정지 전압(V_s)이라고 한다. 금속판에서 방출되는 전자의 최대 운동 에너지를 E_k라 할 때, $E_k=eV_s$ (e: 기본 전하량)이다. 금속판에 비춘 단색광의 진동수를 f, 금속판의 일함수를 W, 플랑크 상수를 h라 할 때, $eV_s=hf-W$이다.

ㄱ. P, Q의 일함수를 각각 W_P, W_Q라 할 때, 실험 Ⅰ, Ⅱ에서 $2eV=hf_B-W_P=hf_A-W_Q$이고, $f_A>f_B$이므로 $W_Q>W_P$이다. 따라서 금속판의 일함수는 Q가 P보다 크다.

~~ㄴ~~. 금속판 P에 진동수가 f_A인 단색광을 비출 때의 정지 전압을 V'라 할 때, $eV'=hf_A-W_P>hf_B-W_P$이므로 $V'>2V$이다. 따라서 '금속판 P, 단색광 f_A'는 ㉠으로 적절하지 않다. 광자 1개의 에너지가 작은 단색광을 일함수가 큰 금속판에 비춘 '금속판 Q, 단색광 f_B'가 ㉠으로 적절하다.

ㄷ. 실험 Ⅱ, Ⅲ에서 $2eV=hf_A-W_Q$, $eV=hf_B-W_Q$이므로 $f_A-f_B=\frac{eV}{h}$이다.

02 광전 효과와 물질파

진동수가 f인 단색광을 문턱 진동수가 f_0인 금속판에 비추었을 때 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지(E_k)는 $E_k=hf-W=hf-hf_0$ (h: 플랑크 상수, W: 금속판의 일함수)이다. 광전자의 물질파 파장의 최솟값을 λ_m이라고 하면 $E_k=\frac{h^2}{2m_e\lambda_m{}^2}$ (m_e: 전자의 질량)이다.

ㄱ. 광전자의 최대 운동 에너지를 E_k, 광전자의 물질파 파장의 최솟값을 λ_m이라 할 때, $E_k\propto\frac{1}{\lambda_m{}^2}$이다. 따라서 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 $\sqrt{2}$배이므로 광전자의 최대 운동 에너지는 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 2배이다.

~~ㄴ~~. P의 일함수를 W_P라 할 때, Ⅰ에서 $\frac{h^2}{2m_e(\sqrt{2}\lambda_0)^2}=2hf-W_P$, Ⅱ에서 $\frac{h^2}{2m_e\lambda_0{}^2}=3hf-W_P$이므로 P의 일함수는

$W_P=hf=\frac{h^2}{4m_e\lambda_0{}^2}$이다.

ㄷ. Q의 일함수를 W_Q라 할 때, Ⅲ에서 $\frac{h^2}{2m_e(\sqrt{2}\lambda_0)^2}=3hf-W_Q$이고, $hf=\frac{h^2}{4m_e\lambda_0{}^2}$이다. 따라서 $hf=3hf-W_Q$이고 Q의 일함수 $W_Q=2hf$이다. 일함수는 문턱 진동수에 비례하고 P의 일함수 $W_P=hf$이므로 문턱 진동수는 Q가 P의 2배이다.

03 광전 효과

금속판에 비춘 단색광의 진동수를 f, 금속판의 일함수를 W, 기본 전하량을 e, 정지 전압을 V_s라 할 때, $hf=W+eV_s$이다.

ㄱ. $hf_0=W_P+eV_0$, $3hf_0=W_P+4eV_0$이므로 P의 일함수(W_P)는 $\frac{1}{3}hf_0$이다.

ㄴ. $hf_0=W_P+eV_0$, $3hf_0=W_P+4eV_0$이므로 $2hf_0=3eV_0$이다. $3hf_0=W_Q+3eV_0=W_Q+2hf_0$이므로 Q의 일함수($W_Q$)는 hf_0이다. 따라서 일함수는 Q가 P의 3배이다.

ㄷ. Q에 진동수가 $2f_0$인 단색광을 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $2hf_0-W_Q=2hf_0-hf_0=hf_0=\frac{3}{2}eV_0$이다. 따라서 ㉠은 $\frac{3}{2}V_0$이다.

04 광전 효과와 물질파의 이중 슬릿에 의한 간섭

파장이 λ인 단색광을 일함수가 W인 금속판에 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_k=\frac{hc}{\lambda}-W$ (h: 플랑크 상수, c: 빛의 속력)이다. 운동 에너지가 E_k인 전자의 물질파 파장(λ_e)은 $\lambda_e=\frac{h}{\sqrt{2m_eE_k}}$ (m_e: 전자의 질량)이고 이중 슬릿의 슬릿 간격을 d, 이중 슬릿과 형광판 사이의 거리를 L이라고 할 때, 간섭무늬의 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 $\Delta x=\frac{L\lambda_e}{d}$이다.

① (나)에서 간섭무늬의 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격

$\Delta x=\frac{L\lambda_e}{d}=\frac{Lh}{d\sqrt{2m_eE_k}}$이므로 $\frac{\frac{1}{2}x_0}{x_0}=\frac{\frac{1}{\sqrt{E_1}}}{\frac{1}{\sqrt{E_2}}}$이다. 따라서 $E_1=4E_2$이다. (가)에서 P에 비춘 단색광의 파장이 λ_0, $2\lambda_0$일 때 광전자의 최대 운동 에너지는 각각 $4E_2$, E_2이므로, P의 일함수를 W라 할 때 $4E_2=\frac{hc}{\lambda_0}-W$, $E_2=\frac{hc}{2\lambda_0}-W$이다. 따라서 P의 일함수 $W=\frac{hc}{3\lambda_0}$이다.

05 광양자설

광전자의 최대 운동 에너지(E_k)를 단색광의 진동수(f)에 따라 나타낸 그래프는 $E_k=hf-W$ (h: 플랑크 상수)를 만족하며, 그래프의 기울기는 플랑크 상수(h)와 같다.

~~ㄱ~~. (가)에서 P의 문턱 진동수는 그래프에서 광전자의 최대 운동 에너지(E_{k})가 0일 때의 단색광의 진동수와 같다. P의 문턱 진동수를 f_{P}라 할 때, $\frac{E_0}{f_0-f_{\mathrm{P}}}=\frac{5E_0-E_0}{3f_0-f_0}=h$이므로 P의 문턱 진동수 $f_{\mathrm{P}}=\frac{1}{2}f_0$이다.

ㄴ. (가)에서 $h=\frac{5E_0-E_0}{3f_0-f_0}=\frac{2E_0}{f_0}$이므로 (나)에서 $1.5E_0=2hf_0-W_{\mathrm{Q}}=2\times\frac{2E_0}{f_0}\times f_0-W_{\mathrm{Q}}$이다. 따라서 Q의 일함수($W_{\mathrm{Q}}$)는 $2.5E_0$이다.

ㄷ. 진동수가 $3f_0$인 단색광을 Q에 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지를 E라 할 때, $\frac{E-1.5E_0}{3f_0-2f_0}=h=\frac{2E_0}{f_0}$이므로, $E=3.5E_0$이다. 따라서 진동수가 $3f_0$인 단색광을 P, Q에 각각 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지 차는 $5E_0-3.5E_0=1.5E_0$이다.

06 광전 효과와 물질파

진동수가 f인 단색광을 문턱 진동수가 f_0인 금속판에 비추었을 때 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지(E_{k})는 $E_{\mathrm{k}}=hf-W=hf-hf_0$ (h: 플랑크 상수, W: 금속판의 일함수)이다. 광전자의 물질파 파장의 최솟값을 λ_{m}이라고 하면 $E_{\mathrm{k}}=\frac{h^2}{2m_e\lambda_{\mathrm{m}}{}^2}$ (m_e: 전자의 질량)이다.

~~ㄱ~~. 진동수가 각각 f_1, f_2인 단색광을 일함수가 W_{Q}인 금속판 Q에 비추었을 때 $9E_0=hf_1-W_{\mathrm{Q}}$ … ①, $E_0=hf_2-W_{\mathrm{Q}}$ … ②이고, 진동수가 f_1인 단색광을 P에 비추었을 때 P의 일함수는 $\frac{3}{2}W_{\mathrm{Q}}$이므로 $4E_0=hf_1-\frac{3}{2}W_{\mathrm{Q}}$ … ③이다. ①과 ③에서 $W_{\mathrm{Q}}=10E_0$이므로 이를 ①과 ②에 대입하여 정리하면, $\frac{f_1}{f_2}=\frac{19}{11}$이다.

ㄴ. ②에서 $hf_2=11E_0=\frac{11}{10}W_{\mathrm{Q}}=\frac{11}{10}\times\frac{2}{3}W_{\mathrm{P}}$이므로 $W_{\mathrm{P}}=\frac{15}{11}hf_2$이다. 따라서 P의 문턱 진동수는 $\frac{15}{11}f_2$이다.

ㄷ. $4E_0=\frac{h^2}{2m_e\lambda_1{}^2}$, $9E_0=\frac{h^2}{2m_e\lambda_2{}^2}$이므로 $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}=\frac{3}{2}$이다.

07 물질파와 이중 슬릿에 의한 간섭

정지 상태의 전자를 가속 전압 V로 가속시켰을 때 전자의 운동 에너지는 $E=eV$ (e: 기본 전하량)이고, 전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{\sqrt{2mE}}$ (m: 전자의 질량)이다. 이중 슬릿의 슬릿 간격을 d, 이중 슬릿과 형광판 사이의 거리를 L이라고 할 때, 간섭무늬의 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 $\frac{L\lambda}{d}$이다.

~~ㄱ~~. 밝은 무늬 사이의 간격은 O와 P 사이의 간격 Δx의 2배이다. 가속 전압이 V_0일 때 전자총에서 방출된 전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{d}{L}\times 2x_0$이므로 전자총에서 방출된 전자의 운동량은 $p=\frac{h}{\lambda}=\frac{Lh}{2dx_0}$이다.

ㄴ. $eV_0=\frac{p^2}{2m}=\frac{1}{2m}\times\left(\frac{Lh}{2dx_0}\right)^2$이므로 $V_0=\frac{L^2h^2}{8med^2x_0{}^2}$이다.

~~ㄷ~~. 전자의 물질파 파장(λ), 가속 전압(V), O와 P 사이의 간격(Δx)는 $\Delta x\propto\lambda\propto\frac{1}{\sqrt{V}}$이므로 $\frac{x_1}{x_0}=\frac{\frac{1}{\sqrt{2V_0}}}{\frac{1}{\sqrt{V_0}}}=\frac{1}{\sqrt{2}}$이다. 따라서 $x_1=\frac{1}{\sqrt{2}}x_0$이다.

08 보어의 수소 원자 모형과 물질파

양자수가 n일 때 전자의 원운동 궤도의 반지름을 r_n이라고 하면 표에서 $r_n=a_0n^2$임을 알 수 있으므로 전자에 작용하는 전기력의 크기 $F_n=k\frac{e^2}{r_n{}^2}=k\frac{e^2}{a_0{}^2n^4}$ (e: 기본 전하량, k: 쿨롱 상수)이다.

ㄱ. $2\pi r_n=n\lambda_n$이므로 양자수가 n인 상태일 때 원운동 궤도의 둘레는 물질파 파장의 n배이다. 따라서 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ은 각각 $n=2$, $n=5$, $n=4$인 상태이다. 따라서 Ⅰ, Ⅲ에서 원운동 궤도 반지름은 각각 $4a_0$, $16a_0$이므로 Ⅲ에서가 Ⅰ에서의 4배이다.

ㄴ. 전자가 Ⅱ($n=5$)에서 Ⅰ($n=2$)로 전이할 때 … ①, Ⅲ($n=4$)에서 Ⅰ($n=2$)로 전이할 때 … ② 방출하는 빛의 에너지는 각각 $-\frac{E_0}{5^2}-\left(-\frac{E_0}{2^2}\right)$, $-\frac{E_0}{4^2}-\left(-\frac{E_0}{2^2}\right)$이고, 방출하는 빛의 파장은 에너지에 반비례하므로 방출하는 빛의 파장은 ①일 때가 ②일 때의 $\frac{25}{28}$배이다.

ㄷ. 전자에 작용하는 전기력의 크기(F_n)는 $F_n\propto\frac{1}{n^4}$이므로 Ⅲ($n=4$)에서가 Ⅱ($n=5$)에서의 $\left(\frac{5}{4}\right)^4$배이다.

15 불확정성 원리

수능 2점 테스트 본문 197~198쪽

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

01 하이젠베르크의 불확정성 원리

하이젠베르크는 불확정성 원리에 따르면 입자성과 파동성을 모두 띠고 있는 물체의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것이 불가능하다.

~~ㄱ~~. 하이젠베르크의 불확정성 원리에 따르면 입자성과 파동성을 모두 띠고 있는 물체의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것이 불가능한 까닭은 측정 장비의 한계 때문이 아니라 어떤 방법으로 측정하든 측정하는 과정에서 물체의 운동 상태에 영향을 주게 되기 때문이다.

~~ㄴ~~. 물체의 위치 불확정도 Δx와 물체의 운동량 불확정도 Δp는 측정 과정에서 발생하는 것으로 $\Delta x \times \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$ ($\hbar = \frac{h}{2\pi}$, h: 플랑크 상수)이다.

ㄷ. 측정에 사용하는 빛의 파장이 짧을수록 광자의 에너지가 커 물체와 충돌했을 때 물체의 운동량을 더 크게 변화시키므로 측정하는 물체의 운동량 불확정도 Δp가 크다.

02 불확정성 원리

하이젠베르크의 불확정성 원리에 따르면 입자의 위치와 운동량을 동시에 정확히 측정할 수 없다.

ㄱ. 측정 과정에서 광자의 에너지 중 일부가 전자에 전달되어 전자의 운동량이 변한다.

ㄴ. 광자의 파장이 짧을수록 광자의 에너지가 크므로 전자의 운동량 불확정도가 크다. 따라서 ㉠은 Δp_0보다 크다.

~~ㄷ~~. 광자의 파장이 길수록 전자의 위치 불확정도가 크다. 따라서 ㉡은 Δx_0보다 크다.

03 불확정성 원리

슬릿을 통과하는 전자의 y축 방향 위치의 불확정도(슬릿의 폭)가 클수록 운동량의 y성분 불확정도는 작다.

ㄱ. 전자의 위치 불확정도는 슬릿의 폭에 비례하므로 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 작다.

~~ㄴ~~. 파장이 같을 때 슬릿의 폭이 작을수록 회절이 많이 일어난다. Ⅰ, Ⅱ에서 전자의 운동량의 크기가 같으므로 전자의 물질파 파장이 같다. 따라서 전자의 회절은 슬릿의 폭이 더 큰 Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 작게 일어난다.

~~ㄷ~~. Ⅱ, Ⅲ에서의 슬릿의 폭은 $2a$로 같으므로 전자의 위치 불확정도가 같다. 따라서 전자의 운동량의 y성분 불확정도도 같다.

04 보어의 수소 원자 모형과 불확정성 원리

보어의 수소 원자 모형에서 전자는 양자 조건을 만족하는 안정된 원 궤도를 따라 운동한다.

ㄱ. 보어의 수소 원자 모형에서 전자의 원운동 궤도의 반지름과 전자의 속력은 양자수에 따라 정확히 주어진다. 따라서 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확히 알 수 있다.

ㄴ. 보어의 수소 원자 모형에서 양자수 $n=1$인 상태일 때 전자의 원운동 궤도 반지름은 정확히 주어지므로 전자가 원자핵으로부터 떨어진 거리의 불확정도는 0이다.

~~ㄷ~~. 보어의 수소 원자 모형에서 안정된 원 궤도를 따라 운동하는 전자의 궤도 반지름과 운동량은 정확히 주어지므로 전자의 상태는 불확정성 원리를 만족하지 않는다.

05 현대적 원자 모형

현대적 원자 모형에서는 전자의 위치를 정확히 알 수 없어 전자구름의 형태로 나타내고 전자의 위치를 확률로 설명한다.

~~ㄱ~~. 보어의 수소 원자 모형에서는 원자의 위치를 원 궤도로 표현한다. (가)는 전자의 위치를 전자구름의 형태로 나타낸 현대적 원자 모형이다.

ㄴ. 현대적 원자 모형에서 전자의 위치를 확률로 설명하므로 전자의 위치를 정확히 알 수 없다.

~~ㄷ~~. (나)에서 원자핵으로부터 $\frac{a_0}{2}$만큼 떨어진 지점에서 전자가 발견될 확률 밀도가 0이 아니므로 전자가 발견될 수 있다.

06 보어의 수소 원자 모형과 현대적 원자 모형

보어의 수소 원자 모형에서 전자는 양자 조건을 만족하는 안정된 원 궤도를 따라 운동하는 반면, 현대적 원자 모형에서는 전자의 위치를 정확히 알 수 없어 전자구름의 형태로 나타내고, 전자의 위치를 확률로 설명한다.

ㄱ. ‘전자는 양자 조건을 만족하는 안정된 원 궤도를 따라 운동한다.’라고 설명하는 원자 모형은 보어의 원자 모형이므로 A는 현대적 원자 모형이다.

ㄴ. 현대적 원자 모형에서는 ‘전자의 위치와 운동량을 동시에 정확히 측정할 수 없다’는 불확정성 원리를 만족한다. 따라서 ㉡은 ‘×’이다.

ㄷ. 불확정성 원리는 현대적 원자 모형에서는 만족하지만 보어의 원자 모형에서는 만족하지 않는다. 따라서 ‘전자의 위치는 확률적으로만 알 수 있다.’는 (가)로 적절하다.

07 보어의 수소 원자 모형과 불확정성 원리

보어의 원자 모형에서는 양자수에 따라 전자의 궤도 반지름과 전자의 속력이 정확하게 주어진다.

ㄱ. 보어의 수소 원자 모형에서는 $n=1$인 상태에 있는 전자의 속력은 양자수에 따라 정확하게 주어지므로 전자의 운동량의 크기를 정확히 알 수 있다.

~~ㄴ~~. 보어의 원자 모형에서 전자는 양자 조건을 만족하는 원 궤도에서만 존재할 수 있다. 따라서 보어의 수소 원자 모형에서는 원자핵으로부터 $2a_0$인 위치에서 전자가 발견될 수 없다.

~~ㄷ~~. 보어의 원자 모형은 전자의 위치와 운동량을 정확히 알 수 있으므로 불확정성 원리를 만족하지 않는다.

08 현대적 원자 모형

현대적 원자 모형에서는 전자의 위치를 정확히 알 수 없어 전자구름의 형태로 나타내고, 전자의 위치를 확률로 설명한다.

ㄱ. 불확정성 원리에 따르면 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확히 측정할 수 없다.

ㄴ. 현대적 원자 모형은 불확정성 원리를 만족시킨다. 따라서 (가)는 '현대적 원자 모형'이다.

ㄷ. 전자가 원자핵으로부터 일정한 거리만큼 떨어진 원 궤도에서 운동하는 것은 보어의 원자 모형에서 설명하는 것으로 전자가 원자핵으로부터 떨어진 거리의 불확정도는 0이다.

수능 3점 테스트

본문 199~200쪽

01 ③ **02** ⑤ **03** ② **04** ③

01 불확정성 원리

슬릿을 통과하는 전자의 위치 불확정도는 슬릿의 폭에 비례하고 전자의 운동량의 y성분 불확정도는 전자의 위치 불확정도가 클수록 작다. 회절 무늬 중앙의 밝은 무늬의 폭(D)은 전자의 물질파 파장이 길수록 크고, 슬릿의 폭이 클수록 작다.

ㄱ. 슬릿에 입사하는 전자의 물질파 파장은 전자의 운동량에 반비례하므로 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 길다.

~~ㄴ~~. 전자의 운동량의 y성분 불확정도는 Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 크므로 전자의 위치 불확정도(슬릿의 폭)는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크다. 따라서 ㉠은 $2a_0$보다 크다.

ㄷ. 슬릿의 폭은 Ⅰ에서가 Ⅲ에서보다 크고, 회절 무늬 중앙의 밝은 무늬의 폭은 Ⅰ에서와 Ⅲ에서가 같으므로 전자의 물질파 파장은 Ⅰ에서가 Ⅲ에서보다 길다. 따라서 슬릿에 입사하는 전자의 운동량은 Ⅰ에서가 Ⅲ에서보다 작으므로 ㉡은 p_0보다 크다.

02 불확정성 원리

불확정성 원리에 따르면 입자의 위치 불확정도와 운동량 불확정도의 곱은 항상 특정한 값$\left(\frac{\hbar}{2}\right)$보다 크거나 같다. 전자와 충돌하는 광자의 진동수가 클수록 광자의 에너지가 크므로 전자의 운동량 불확정도가 크다.

ㄱ. 전자와 충돌하는 광자의 진동수가 클수록 파장이 짧아 전자의 위치 불확정도가 작다. 따라서 $f_0>f_1$이다.

ㄴ. 전자의 위치 불확정도는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 작으므로 운동량 불확정도는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크다.

ㄷ. 광자의 에너지 중 일부가 전자에 전달되므로 산란된 광자의 진동수는 충돌 전보다 작다. 따라서 산란된 광자의 파장은 전자와 충돌하기 전 광자의 파장보다 길다.

03 현대적 수소 원자 모형

현대적 수소 원자 모형에서는 전자의 위치를 정확히 알 수 없어 전자구름의 형태로 나타내고 전자의 위치를 확률로 설명한다.

~~ㄱ~~. 현대적 원자 모형에서 전자의 위치는 확률로 설명하므로 전자의 위치를 정확히 알 수 없다.

~~ㄴ~~. 전자가 발견될 수 있는 위치를 확률적으로 표현하고 있으므로 궤도 반지름이 r_3인 안정된 원 궤도를 돌고 있다고 할 수 없다.

ㄷ. 원자핵으로부터의 거리에 따른 전자를 발견할 확률 밀도 그래프에서 원자핵으로부터의 거리가 r_2인 곳에서는 확률 밀도가 0이므로 전자가 발견되지 않는다.

04 보어의 수소 원자 모형과 현대적 수소 원자 모형

보어의 수소 원자 모형에서 전자는 양자 조건을 만족하는 안정된 원 궤도를 따라 운동하는 반면, 현대적 수소 원자 모형에서는 전자의 위치를 정확히 알 수 없어 전자가 발견될 위치를 점으로 찍은 전자 구름의 형태로 나타내고, 전자의 위치를 확률로 설명한다.

ㄱ. (가)는 전자가 원 궤도를 따라 운동하는 것으로 나타나 있으므로 보어의 수소 원자 모형이다.

ㄴ. 보어의 수소 원자 모형에서는 양자수 n에 따라 전자의 원 궤도 반지름, 전자의 속력이 확정되므로 전자가 원자핵으로부터 떨어진 거리의 불확정도, 전자의 원 궤도 중심 방향 운동량의 불확정도는 0이다.

~~ㄷ~~. 보어의 수소 원자 모형 (가)에서 $n=2$일 때 전자의 원 궤도 반지름은 r_0이므로 현대적 수소 원자 모형 (나)에서 원자핵으로부터 거리가 더 먼 전자구름까지의 평균 거리가 r_0이다. 따라서 (나)에서 원자핵으로부터의 거리가 r_0보다 작은 곳, 특히 원자핵 주변에 전자구름이 있으므로 전자를 발견할 확률이 있다.

01 힘과 평형

수능 2점 테스트 본문 8~9쪽

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

수능 3점 테스트 본문 10~14쪽

01 ⑤ 02 ⑤ 03 ③ 04 ④ 05 ④ 06 ②
07 ① 08 ③ 09 ⑤ 10 ②

02 물체의 운동(1)

수능 2점 테스트 본문 23~25쪽

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

수능 3점 테스트 본문 26~31쪽

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

03 물체의 운동(2)

수능 2점 테스트 본문 40~42쪽

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

수능 3점 테스트 본문 43~47쪽

01 ② 02 ⑤ 03 ③ 04 ④ 05 ① 06 ②
07 ③ 08 ③ 09 ① 10 ⑤

04 일반 상대성 이론

수능 2점 테스트 본문 54~55쪽

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

수능 3점 테스트 본문 56~60쪽

01 ③ 02 ⑤ 03 ⑤ 04 ② 05 ① 06 ③
07 ① 08 ① 09 ③ 10 ②

05 일과 에너지

수능 2점 테스트 본문 70~73쪽

01 ③ 02 ② 03 ③ 04 ⑤ 05 ② 06 ⑤
07 ① 08 ③ 09 ② 10 ① 11 ④ 12 ④
13 ② 14 ④ 15 ① 16 ④

수능 3점 테스트 본문 74~81쪽

01 ④ 02 ⑤ 03 ② 04 ⑤ 05 ② 06 ③
07 ② 08 ⑤ 09 ⑤ 10 ① 11 ③ 12 ②
13 ① 14 ⑤ 15 ③ 16 ⑤

06 전기장과 정전기 유도

수능 2점 테스트 본문 88~90쪽

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

수능 3점 테스트 본문 91~94쪽

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

07 저항의 연결과 전기 에너지

수능 2점 테스트 본문 99~100쪽

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

수능 3점 테스트 본문 101~104쪽

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

08 트랜지스터와 축전기

수능 2점 테스트 본문 110~112쪽

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

수능 3점 테스트 본문 113~116쪽

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

09 전류에 의한 자기장

수능 2점 테스트 본문 123~125쪽

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

수능 3점 테스트 본문 126~130쪽

01 ④ 02 ② 03 ④ 04 ④ 05 ⑤ 06 ③
07 ④ 08 ② 09 ③ 10 ①

10 전자기 유도와 상호유도

수능 2점 테스트 본문 137~139쪽

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

수능 3점 테스트 본문 140~144쪽

01 ③ 02 ③ 03 ① 04 ⑤ 05 ② 06 ②
07 ① 08 ⑤ 09 ④ 10 ③

11 전자기파의 간섭과 회절

수능 2점 테스트 본문 151~153쪽

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

수능 3점 테스트 본문 154~158쪽

01 ① 02 ② 03 ⑤ 04 ① 05 ③ 06 ④
07 ② 08 ④ 09 ② 10 ⑤

12 도플러 효과와 전자기파의 송수신

수능 2점 테스트
본문 165~167쪽

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

수능 3점 테스트
본문 168~172쪽

01 ④ 02 ⑤ 03 ③ 04 ④ 05 ② 06 ①
07 ③ 08 ① 09 ② 10 ④

13 볼록 렌즈에 의한 상

수능 2점 테스트
본문 177~178쪽

01 ② 02 ③ 03 ③ 04 ③ 05 ② 06 ③
07 ⑤ 08 ⑤

수능 3점 테스트
본문 179~183쪽

01 ④ 02 ④ 03 ② 04 ③ 05 ⑤ 06 ④
07 ⑤ 08 ① 09 ⑤ 10 ②

14 빛과 물질의 이중성

수능 2점 테스트
본문 188~189쪽

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

수능 3점 테스트
본문 190~193쪽

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

15 불확정성 원리

수능 2점 테스트
본문 197~198쪽

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

수능 3점 테스트
본문 199~200쪽

01 ③ 02 ⑤ 03 ② 04 ③