

수능특강

과학탐구영역 | 물리학II

I 역학적 상호 작용

01	힘과 평형	6
02	물체의 운동(1)	17
03	물체의 운동(2)	34
04	일반 상대성 이론	50
05	일과 에너지	63

II 전자기장

06	전기장과 정전기 유도	86
07	저항의 연결과 전기 에너지	99
08	트랜지스터와 축전기	109
09	전류에 의한 자기장	122
10	전자기 유도와 상호유도	136

III 파동과 물질의 성질

11	전자기파의 간섭과 회절	152
12	도플러 효과와 전자기파의 송수신	166
13	볼록 렌즈에 의한 상	180
14	빛과 물질의 이중성	191
15	불확정성 원리	201



학생 EBS 교재 문제 검색

EBS 단추에서 문항코드나 사진으로 문제를 검색하면 푸러봇이 해설 영상을 제공합니다.

[23027-0001] 23027-0001

1. 아래 그래프를 이해한 내용으로 가장 적절한 것은?

1. 아래 그래프를 이해한 내용으로 가장 적절한 것은?
2. 푸러봇이 해설 영상을 제공합니다.
3. 푸러봇이 해설 영상을 제공합니다.

※ EBS 사이트 및 모바일에서 이용이 가능합니다.
※ 사진 검색은 EBSi 고교강의 앱에서만 이용하실 수 있습니다.



교사 교사지원센터 교재 자료실

교재 문항 한글 문서(HWP)와 교재의 이미지 파일을 무료로 제공합니다.

교재 자료실

- 한글다운로드
- 교재이미지 활용
- 강의활용자료

※ 교사지원센터(<http://teacher.ebsi.co.kr>) 접속 후 '교사인증'을 통해 이용 가능

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.



총실한 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.

탐구자료 살펴보기

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



과학 돋보기

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

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 **2점 수능 테스트**와 **3점 수능 테스트**로 구분하여 제시하였습니다.

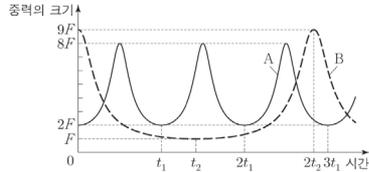
2점 수능 테스트는 필수적인 개념을 간략한 문제 상황으로 다루고 있으며, 3점 수능 테스트는 다양한 개념을 복잡한 문제 상황이나 탐구 활동에 적용하였습니다.

I

역학적 상호 작용

2023학년도 대학수학능력시험 16번

16. 그림은 위성 A와 B가 동일한 행성을 한 초점으로 하는 각각의 타원 궤도를 따라 운동할 때, A와 B에 작용하는 중력의 크기를 시간에 따라 나타낸 것이고, $t_2 = \sqrt{2}t_1$ 이다. 행성 중심으로부터 A, B의 궤도상의 점까지의 거리는 각각 r_A, r_B 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B에는 행성에 의한 중력만 작용한다.) [3점]

<보 기>

- ㄱ. 타원 궤도의 긴반지름은 B가 A의 2배이다.
- ㄴ. r_B 의 최솟값은 r_A 의 최댓값보다 크다.
- ㄷ. 질량은 B가 A의 $\frac{81}{32}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2023학년도 EBS 수능특강 49쪽 9번

09 [2027-0063] 표는 동일한 행성을 한 초점으로 공전하는 위성 A, B의 질량, 중력의 크기를 나타낸 것이다. A의 공전 주기는 T 이다.

	A	B
질량	m	$3m$
중력의 크기	최댓값	$\frac{4}{3}F$
	최솟값	$\frac{1}{4}F$

B의 공전 주기는? (단, A, B에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

- ① $\sqrt{\frac{3}{2}}T$ ② $\frac{3}{2}T$ ③ $\frac{8}{5}T$ ④ $\sqrt{\frac{27}{8}}T$ ⑤ $\frac{9}{4}T$

연계 분석

수능 16번 문항은 수능특강 49쪽 9번 문항과 연계하여 출제되었다. 두 문항 모두 동일한 행성을 한 초점으로 각각의 타원 궤도를 따라 운동하는 위성 A, B를 제시하였고, 중력의 크기, 두 위성의 공전 주기, 행성으로부터 가장 가까운 지점과 가장 먼 지점 등을 비교할 수 있어야 한다는 점에서 높은 유사성을 보인다. 수능 특강 문항에서는 제시된 중력의 최댓값과 최솟값을 통해 행성으로부터 A, B의 가장 가까운 지점과 가장 먼 지점의 거리를 찾아 공전 주기를 비교해야 하고, 수능 문항에서는 A, B에 작용하는 중력의 크기를 시간에 따라 나타낸 그림을 통해 문제를 해결해야 한다는 점에서 차이가 있다.

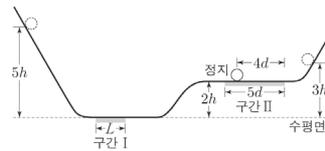
학습 대책

수능 16번 문항과 같이 최근 케플러 법칙 단원에서는 주어진 조건과 자료를 분석하여 두 위성의 타원 궤도의 긴반지름, 행성으로부터 가장 가까운 지점과 가장 먼 지점까지의 거리, 질량 등을 정량적으로 계산하여 비교하는 문제가 출제되고 있다. 따라서 수능특강을 학습할 때 단순히 답만 찾기보다는 제시된 자료를 면밀하게 분석하고, 타원 궤도 법칙, 면적 속도 일정 법칙, 조화 법칙을 적용할 수 있도록 학습해야 한다.



2023학년도 대학수학능력시험 13번

13. 그림과 같이 높이 $5h$ 인 집에서 가만히 놓은 물체가 계도를 따라 운동하여 수평 구간 I, II를 지나 높이 $3h$ 인 지점에서 속력이 0이 된 후, 다시 내려와 II에서 $4d$ 만큼 이동하여 정지하였다. I과 II의 길이는 각각 L , $5d$ 이고, 높이차는 $2h$ 이다. I, II에서 물체가 운동하는 동안 물체에 크기가 F_0 인 일정한 힘이 운동 방향과 반대 방향으로 작용한다.

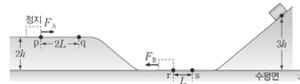


L 은? (단, 물체는 동일 연직면에서 운동하고, 물체의 크기, 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

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

2023학년도 EBS 수능특강 77쪽 1번

01 [22027-0101]
그림과 같이 높이 $2h$ 인 수평면상에 정지해 있던 물체가 연직면상에 있는 계도를 따라 운동하여 높이가 $3h$ 인 최고점에 도달한다. 물체는 거리가 $2L$ 인 구간 pq에서 $+x$ 방향으로 크기가 F_A 인 힘을 받고, 거리가 L 인 구간 rs에서 $-x$ 방향으로 크기가 F_B 인 힘을 받는다. 물체의 운동 에너지는 r에서 q에서의 $\frac{3}{4}$ 배이다.



$\frac{F_A}{F_B}$ 는? (단, 물체의 크기, 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

- ① $\frac{4}{7}$ ② $\frac{6}{7}$ ③ $\frac{8}{7}$ ④ $\frac{10}{7}$ ⑤ $\frac{12}{7}$

연계 분석

수능 13번 문항은 수능특강 77쪽 1번 문항과 연계하여 출제되었다. 두 문항은 역학적 에너지 보존 법칙과 일·운동 에너지 정리를 이용한다는 점에서 높은 유사성을 보인다. 수능특강 문항에서는 물체가 운동 방향과 같은 방향으로 일정한 크기의 힘이 작용하는 구간과 운동 방향과 반대 방향으로 일정한 크기의 힘이 작용하는 구간을 지나는 상황이 제시되었고, 수능 문항에서는 물체가 운동 방향과 반대 방향으로 일정한 크기의 힘이 작용하는 두 구간을 지나는 상황이 제시되었다는 점에서 차이가 있다.

학습 대책

수능 13번 문항과 같이 역학적 에너지 보존 법칙과 일·운동 에너지 정리를 이용하는 문제를 빠른 시간에 보다 효율적으로 해결하기 위해서는 역학적 에너지 보존 법칙의 개념을 확실하게 이해해야 한다. 또 물체가 운동 방향과 같은 방향으로 일정한 크기의 힘이 작용하는 구간을 지날 때는 운동 에너지가 증가하고, 운동 방향과 반대 방향으로 일정한 크기의 힘이 작용하는 구간을 지날 때는 운동 에너지가 감소한다는 것을 다양한 상황에 정량적으로 적용할 수 있어야 한다.

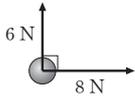
개념 체크

- **스칼라량**: 크기만으로 나타낼 수 있는 물리량
- **벡터량**: 크기와 방향을 함께 나타내는 물리량

1. 시간, 길이, 질량 등과 같이 크기만으로 표시할 수 있는 물리량을 () 이라고 하고, 변위, 속도, 힘 등과 같이 크기와 방향을 함께 표시해야 하는 물리량을 () 이라고 한다.

2. $-3\vec{A}$ 의 크기는 \vec{A} 의 크기의 () 배이고, $-3\vec{A}$ 와 \vec{A} 의 방향은 (같다, 반대이다).

3. 그림과 같이 물체에 크기가 6 N인 힘과 크기가 8 N인 힘이 90° 의 각으로 작용할 때, 물체에 작용하는 합력의 크기는 () N이다.



1 힘의 합성과 분해

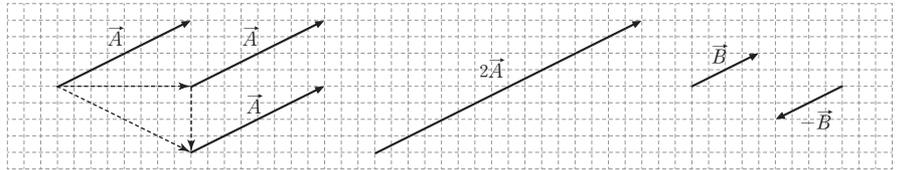
(1) 스칼라량과 벡터량

- ① 스칼라량: 길이, 질량, 시간, 이동 거리, 속도, 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 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 A 와 같이 화살표를 쓰지 않고 나타낸다.



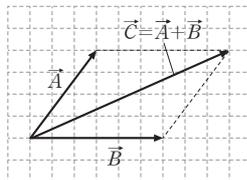
과학 돋보기 | 벡터의 여러 가지 특징

- 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.

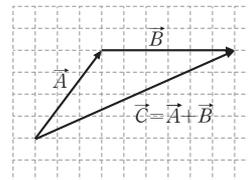


(2) **벡터의 합성**: 둘 이상의 벡터를 같은 효과를 갖는 하나의 벡터로 나타내는 것을 벡터의 합성이라고 한다.

- 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

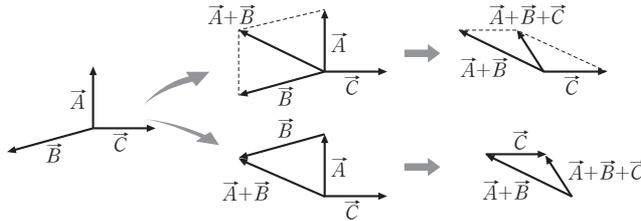


삼각형법

정답

1. 스칼라량, 벡터량
2. 3, 반대이다
3. 10

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.

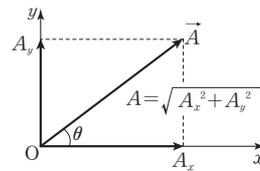
$$\vec{A} - \vec{B} = \vec{A} + (-\vec{B}) = \vec{A} - \vec{B}$$

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

① 벡터의 합성을 만족하는 임의의 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_y 를 각각 \vec{A} 의 x 성분, y 성분이라고 한다. 따라서 \vec{A} 가 x 축과 이루는 각이 θ 일 때, 다음 관계가 성립한다.

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

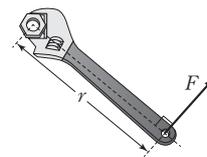


2 돌림힘

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

① 돌림힘의 크기: 회전 팔의 길이를 r , 회전 팔에 수직으로 작용한 힘의 크기를 F 라고 하면, 돌림힘의 크기 τ 는 다음과 같다.

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



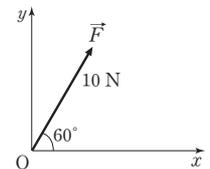
② 지레와 축바퀴: 지레나 축바퀴를 이용하면 작은 힘으로 무거운 물체를 들 수 있다.

지레	축바퀴
<p>물체를 올려놓은 막대가 수평을 유지하고 있는 동안 돌림힘의 합이 0이다.</p> $l_1 mg = l_2 F + l_3 m_0 g \Rightarrow F = \frac{l_1 m - l_3 m_0}{l_2} g$	<p>추를 일정한 속도로 끌어올리는 동안 돌림힘의 합이 0이다.</p> $aF = bmg \Rightarrow F = \frac{b}{a} mg$

개념 체크

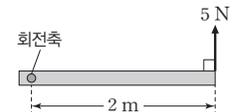
- 벡터의 분해: 한 개의 벡터를 두 개 이상의 벡터로 나누는 것
- 돌림힘: 물체의 회전 운동을 변화시키는 원인
- 돌림힘의 크기: 회전 팔의 길이와 회전 팔에 수직 방향으로 작용하는 힘의 크기에 비례한다.
 $\tau = r \times F$

1. 그림은 xy 평면에 크기가 10 N인 힘 \vec{F} 를 나타낸 것이다. \vec{F} 가 x 축과 이루는 각은 60° 이다.



\vec{F} 의 x 성분의 크기는 () N이고, y 성분의 크기는 () N이다.

2. 그림과 같이 막대의 회전축으로부터 2 m 떨어진 지점에 5 N의 힘이 작용한다.



회전축을 회전 중심으로 하여 막대에 작용하는 5 N의 힘에 의한 돌림힘의 크기는 () N·m이다.

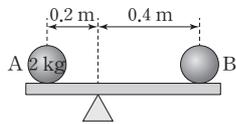
정답

1. $5, 5\sqrt{3}$
2. 10

개념 체크

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

[1~2] 그림과 같이 질량을 무시할 수 있는 막대가 수평을 이루며 정지해 있다. 막대에는 물체 A와 물체 B가 받침대로부터 각각 0.2 m, 0.4 m만큼 떨어져 정지해 있다. A의 질량은 2 kg이다. (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이다.)



1. 받침대가 막대를 받치는 점을 회전 중심으로 A의 무게에 의한 돌림힘의 크기는 () $\text{N}\cdot\text{m}$ 이고, B의 질량은 () kg이다.
2. 받침대가 막대를 받치는 힘의 크기는 () N이다.



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 크기 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

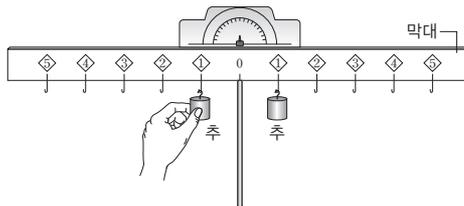
(1) 평형 상태: 물체에 작용하는 힘들이 평형 조건을 만족하면, 물체가 평형 상태에 있다고 한다.

- ① 평형 조건
 - 힘의 평형: 물체에 작용하는 알짜힘이 0이다.
 - 돌림힘의 평형: 물체에 작용하는 돌림힘의 합이 0이다.
- 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.



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

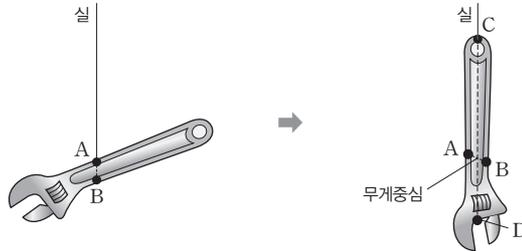
• 막대가 수평을 유지할 때 막대에 작용하는 돌림힘의 합은 0이다.

정답

1. 4, 1
2. 30

(2) 무게중심: 물체를 구성하는 입자들의 평균 위치

- 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.

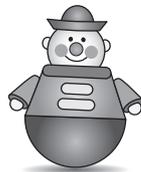


(3) 구조물의 안정성

- ① 구조물이 안정적으로 정지해 있기 위한 조건: 구조물이 안정한 평형 상태에 있어야 한다.
- ② 구조물의 안정성: 바닥이 넓고 무게중심이 낮을수록 구조물의 안정성이 높다.
- ③ 실생활에서 구조물의 안정성
 - 모빌이나 오흑이는 안정한 평형 상태에 있다. 따라서 한쪽으로 기울었다 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

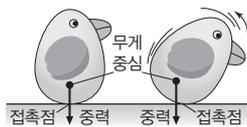


오흑이

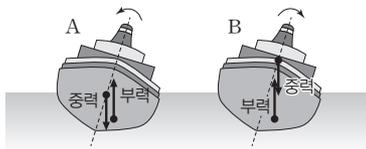


아치형 다리

과학 돋보기 | 안정한 평형과 불안정한 평형



오흑이의 무게중심 위치는 낮기 때문에 오흑이가 기울어지면 무게중심이 위로 올라간다. 따라서 오흑이를 밀었다 놓으면 접촉점을 축으로 하는 중력에 의한 돌림힘이 오흑이를 원래 상태로 돌아가게 한다.

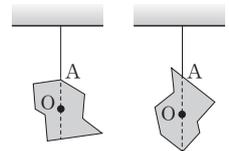


A와 같이 무게중심이 낮은 배는 조금 기울어지면 무게중심을 회전 중심으로 하는 부력에 의한 돌림힘이 배를 원래 상태로 돌아가게 한다. B와 같이 무게중심이 높은 배는 조금 기울어져도 무게중심을 회전 중심으로 하는 부력에 의한 돌림힘이 배를 더 기울어지게 한다. 따라서 A는 안정한 평형 상태에 있고, B는 불안정한 평형 상태에 있다.

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.

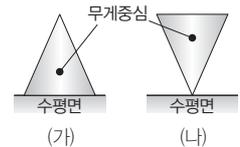
1. 그림 (가), (나)와 같이 물체 A를 실에 매달았더니 실의 연장선이 모두 점 O를 지난다.



(가) (나)
O는 A의()이다.

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

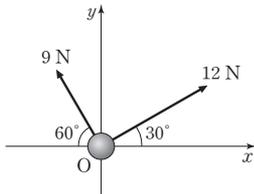
3. 그림 (가), (나)와 같이 물체가 수평면에 정지해 있다.



(가) (나)
(가)에서 물체는 (안정한, 불안정한) 평형 상태에 있고, (나)에서 물체는 (안정한, 불안정한) 평형 상태에 있다.

- 정답**
- 1. 무게중심
 - 2. 넓을수록, 낮을수록
 - 3. 안정한, 불안정한

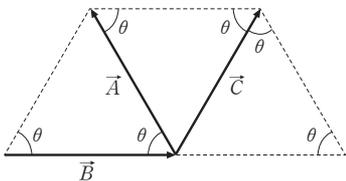
01 [23027-0001] 그림과 같이 xy 평면에 놓인 물체에 평면과 나란한 방향으로 크기가 9 N과 12 N의 힘이 각각 x 축과 $60^\circ, 30^\circ$ 의 각을 이루며 작용한다.



물체에 작용하는 알짜힘의 크기는?

- ① 12 N ② 15 N ③ 18 N ④ 21 N ⑤ 24 N

02 [23027-0002] 그림은 평면상의 세 벡터 $\vec{A}, \vec{B}, \vec{C}$ 를 나타낸 것이다. \vec{A} 의 크기는 1이다.

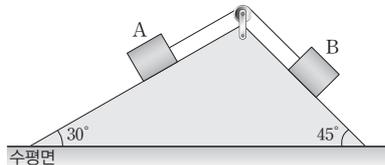


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. $|\vec{B}| = |\vec{C}|$ 이다.
 - ㄴ. \vec{B} 의 방향과 $\vec{A} - \vec{C}$ 의 방향은 같다.
 - ㄷ. $\vec{A} + \vec{B} + \vec{C}$ 의 크기는 $\sqrt{3}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 [23027-0003] 그림과 같이 경사각이 각각 $30^\circ, 45^\circ$ 인 빗면에 물체 A, B가 실로 연결되어 정지해 있고, 실은 빗면과 나란하다.

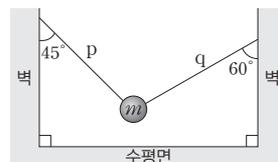


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. 질량은 A가 B의 $\sqrt{2}$ 배이다.
 - ㄴ. 빗면이 A에 작용하는 힘의 크기와 빗면이 B에 작용하는 힘의 크기는 같다.
 - ㄷ. 실을 끊은 직후 가속도의 크기는 B가 A의 $\sqrt{2}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 [23027-0004] 그림과 같이 질량이 m 인 물체가 실 p, q에 연결되어 정지해 있다. p, q가 벽과 이루는 각은 각각 $45^\circ, 60^\circ$ 이다.

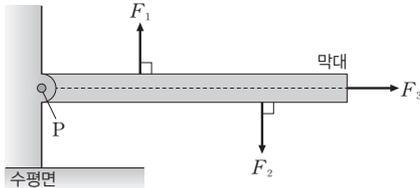


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g 이고, 실의 질량은 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.
 - ㄴ. p가 벽에 작용하는 힘의 크기는 q가 벽에 작용하는 힘의 크기의 $\frac{\sqrt{6}}{2}$ 배이다.
 - ㄷ. q가 물체에 작용하는 힘의 크기는 $\frac{\sqrt{3}}{2}mg$ 이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 [23027-0005] 그림과 같이 회전축 P에 연결된 막대가 수평을 이루며 정지해 있다. 막대에는 크기가 F_1, F_2, F_3 인 힘이 각각 연직 위 방향, 연직 아래 방향, 수평 방향으로 작용한다.



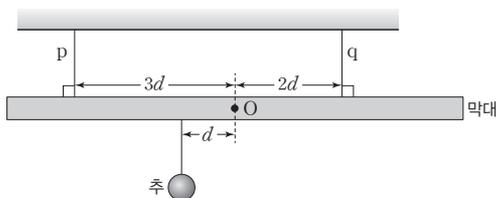
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, 막대의 질량, 막대의 두께와 폭, 모든 마찰은 무시한다.)

보기

- ㄱ. P를 회전 중심으로 F_3 에 의한 돌림힘은 0이다.
- ㄴ. P를 회전 중심으로 F_1 에 의한 돌림힘의 방향과 F_2 에 의한 돌림힘의 방향은 반대 방향이다.
- ㄷ. $F_1 > F_2$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

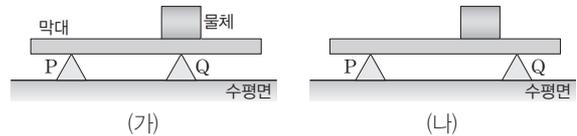
06 [23027-0006] 그림과 같이 막대가 수평을 이루며 정지해 있다. 점 O는 막대의 무게중심이고, O에서 실 p, q, 추까지의 수평 거리는 각각 $3d, 2d, d$ 이다. 질량은 추가 막대의 2배이다.



p, q가 막대에 작용하는 힘의 크기를 각각 T_p, T_q 라고 할 때, $\frac{T_p}{T_q}$ 는?
(단, 막대의 두께와 폭, 실의 질량은 무시한다.)

- ① $\frac{6}{7}$ ② 1 ③ $\frac{8}{7}$ ④ $\frac{9}{7}$ ⑤ $\frac{10}{7}$

07 [23027-0007] 그림 (가)와 같이 막대가 받침대 P, Q에 올려져 수평을 이루며 정지해 있다. 막대 위에는 물체가 정지해 있다. 그림 (나)는 (가)에서 Q의 위치만 오른쪽으로 이동시켰을 때, 막대가 수평을 이루며 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다.



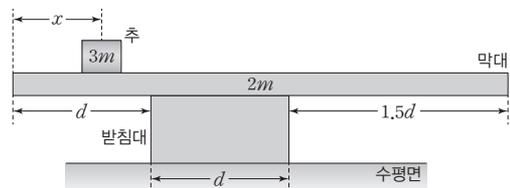
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, 막대의 밀도는 균일하고, 막대의 두께와 폭, 물체의 크기는 무시한다.)

보기

- ㄱ. (가)에서 막대에 작용하는 돌림힘의 합은 0이다.
- ㄴ. P와 Q가 막대에 작용하는 힘의 합력의 크기는 (가)에서 (나)에서보다 크다.
- ㄷ. P가 막대에 작용하는 힘의 크기는 (나)에서 (가)에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

08 [23027-0008] 그림과 같이 수평면에 고정된 받침대 위에 놓인 막대가 수평을 이루며 정지해 있다. 막대의 길이는 $3.5d$, 받침대의 길이는 d 이고, 막대의 왼쪽 끝에서 추가 놓인 지점까지의 거리는 x 이다. 막대와 추의 질량은 각각 $2m, 3m$ 이다.



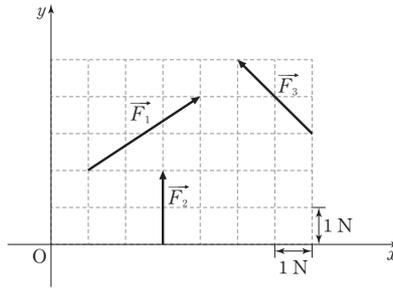
막대가 수평을 이루며 정지해 있을 수 있는 x 의 최솟값과 최댓값을 각각 x_1, x_2 라고 할 때, $x_2 - x_1$ 은?
(단, 막대의 밀도는 균일하고, 막대의 두께와 폭, 추의 크기는 무시한다.)

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

\vec{F}_1 과 \vec{F}_2 를 합성할 때, \vec{F}_2 의 시작점을 \vec{F}_1 의 끝점으로 평행 이동시키고 \vec{F}_1 의 시작점과 \vec{F}_2 의 끝점을 연결한다.

01 그림은 xy 평면에 힘 벡터 $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$ 을 나타낸 것이다. 모든 1칸은 1 N이다.

[23027-0009]



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

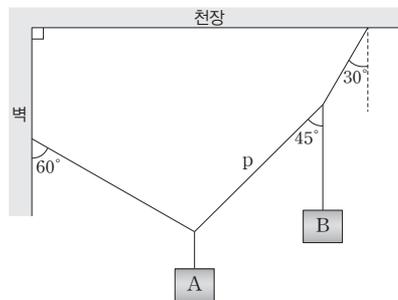
- ㄱ. \vec{F}_1 의 x 성분의 크기는 2 N이다.
- ㄴ. $\vec{F}_2 - \vec{F}_3$ 의 방향은 $+x$ 방향이다.
- ㄷ. $\vec{F}_1 - \vec{F}_2 + \vec{F}_3$ 의 크기는 $\sqrt{5}$ N이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

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

02 그림과 같이 물체 A, B가 벽과 천장에 연결된 실에 연결되어 정지해 있다. 벽과 천장에 연결된 실이 연직선과 이루는 각은 각각 $60^\circ, 30^\circ$ 이고, 실 p가 연직선과 이루는 각은 45° 이다.

[23027-0010]

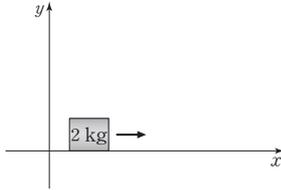


A, B의 질량을 각각 m_A, m_B 라고 할 때, $\frac{m_A}{m_B}$ 는? (단, 실의 질량은 무시한다.)

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

03 그림과 같이 xy 평면에서 질량이 2 kg 인 물체가 $+x$ 방향으로 등가속도 직선 운동을 하고 있다. 물체에는 두 힘 \vec{F}_1 과 \vec{F}_2 가 작용하고 있으며, 표는 \vec{F}_1 과 \vec{F}_2 의 x 성분과 y 성분을 나타낸 것이다.

[23027-0011]



힘	x 성분	y 성분
\vec{F}_1	1 N	-2 N
\vec{F}_2	-3 N	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

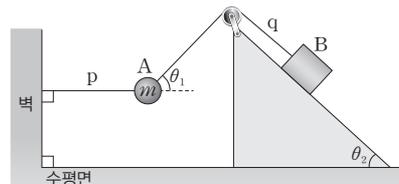
- ㄱ. ㉠은 2 N 이다.
- ㄴ. \vec{F}_1 의 크기는 \vec{F}_2 의 크기보다 크다.
- ㄷ. 물체의 가속도의 크기는 1 m/s^2 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

물체가 x 축을 따라 직선 운동을 하기 위해서는 물체에 작용하는 알짜힘의 방향이 x 축과 나란해야 한다.

04 그림과 같이 질량이 m 인 물체 A와 물체 B가 실 p, q로 연결되어 정지해 있다. p는 수평면과 나란하고, p가 벽에 작용하는 힘의 크기는 $\frac{2}{3}mg$ 이다. B에 연결된 q는 빗면과 나란하고, A에 연결된 q는 수평면과 θ_1 의 각을 이루며, B가 놓인 빗면의 경사각은 θ_2 이며, $\theta_1 + \theta_2 = 90^\circ$ 이다.

[23027-0012]



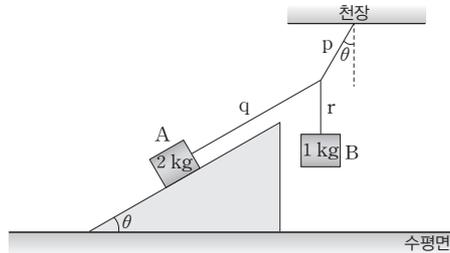
B의 질량은? (단, 중력 가속도는 g 이고, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

- ① $2m$ ② $\frac{13}{6}m$ ③ $\frac{7}{3}m$ ④ $\frac{5}{2}m$ ⑤ $\frac{8}{3}m$

A, B에 작용하는 알짜힘은 0이며, q가 B에 작용하는 힘의 크기는 B에 작용하는 중력의 빗면에 나란한 성분의 크기와 같다.

p, q, r에 작용하는 힘을 수평 성분과 연직 성분으로 분해한다. r가 B에 작용하는 힘의 크기는 B에 작용하는 중력의 크기와 같다.

05 그림과 같이 물체 A, B가 실 p, q, r로 연결되어 정지해 있다. 빗면의 경사각과 p가 연직 방향과 이루는 각은 θ 로 같고, q는 빗면과 나란하다. A, B의 질량은 각각 2 kg, 1 kg이다.



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

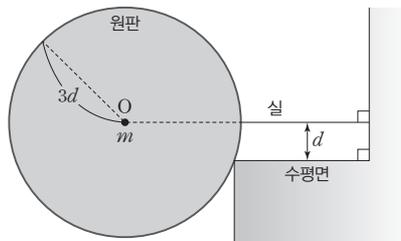
보기

- ㄱ. p가 천장에 작용하는 힘의 크기는 r가 B에 작용하는 힘의 크기보다 크다.
- ㄴ. $\sin\theta = \frac{\sqrt{2}}{2}$ 이다.
- ㄷ. 빗면이 A를 떠받치는 힘의 크기는 $10\sqrt{3} \text{ N}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

원판과 수평면이 접하는 지점을 회전 중심으로 원판의 무게에 의한 돌림힘과 실이 원판에 작용하는 힘에 의한 돌림힘은 평형을 이룬다.

06 그림과 같이 질량이 m 인 원판이 실에 연결되어 정지해 있다. 점 O는 원판의 무게중심이고, 원판의 반지름은 $3d$, 실이 원판에 연결된 지점은 수평면으로부터 높이 d 이다.

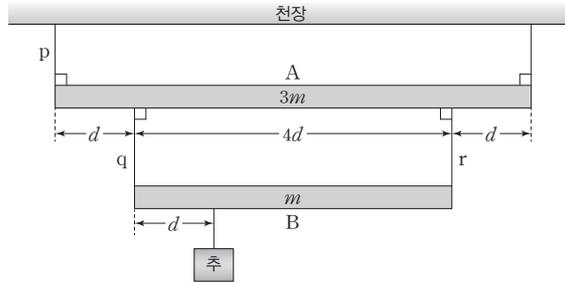


실이 원판에 작용하는 힘의 크기는? (단, 중력 가속도는 g 이고, 원판의 두께, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

- ① $\sqrt{2}mg$ ② $2\sqrt{2}mg$ ③ $3mg$ ④ $\sqrt{10}mg$ ⑤ $2\sqrt{3}mg$

07 그림과 같이 길이가 각각 $6d$, $4d$ 인 막대 A, B가 실로 연결되어 수평을 이루며 정지해 있다. B의 왼쪽 끝에서 d 만큼 떨어진 지점에 추가 매달려 있다. 실 q가 A에 작용하는 힘의 크기는 실 r가 A에 작용하는 힘의 크기의 2배이고, A, B의 질량은 각각 $3m$, m 이다.

[23027-0015]

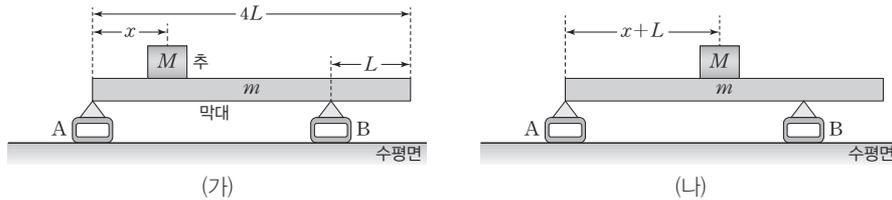


실 p가 A에 작용하는 힘의 크기는? (단, 중력 가속도는 g 이고, 막대의 밀도는 균일하며, 막대의 두께와 폭, 실의 질량은 무시한다.)

- ① $\frac{8}{3}mg$ ② $3mg$ ③ $\frac{10}{3}mg$ ④ $\frac{11}{3}mg$ ⑤ $4mg$

08 그림 (가)와 같이 수평면에 놓인 받침대 A, B 위에 질량이 m 인 막대가 수평을 이루며 정지해 있다. 막대 위에는 질량이 M 인 추가 막대의 왼쪽 끝에서 x 만큼 떨어진 지점에 놓여 있고, 막대의 길이는 $4L$ 이다. 그림 (나)는 (가)에서 추를 오른쪽으로 L 만큼 이동시켜 놓았을 때 막대가 수평을 이루며 정지해 있는 것을 나타낸 것이다. (가)에서 A, B가 막대에 작용하는 힘의 크기는 서로 같고, B가 막대에 작용하는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

[23027-0016]



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 막대의 밀도는 균일하며, 막대의 두께와 폭, 추의 크기는 무시한다.)

보기

ㄱ. A가 막대에 작용하는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

ㄴ. $x = \frac{4}{3}L$ 이다.

ㄷ. $M = 3m$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

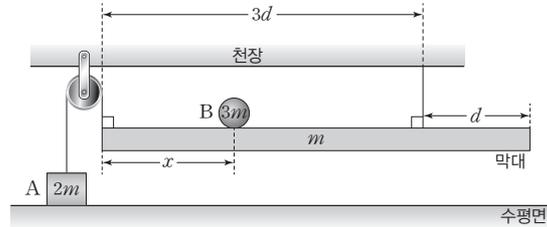
막대 A, B는 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 이루고 있다.

(가)에서 A가 막대에 작용하는 힘의 크기를 F 라고 하면, (나)에서 B가 막대에 작용하는 힘의 크기는 $\frac{3}{2}F$ 이다.

실이 A에 작용하는 힘의 크기가 A의 무게와 같을 때 x 는 최소이고, 실이 A에 작용하는 힘이 0일 때 x 는 최대이다.

축바퀴의 큰 바퀴에 연결된 실이 막대에 작용하는 힘의 크기는 A에 작용하는 중력의 크기의 $\frac{1}{3}$ 배이다.

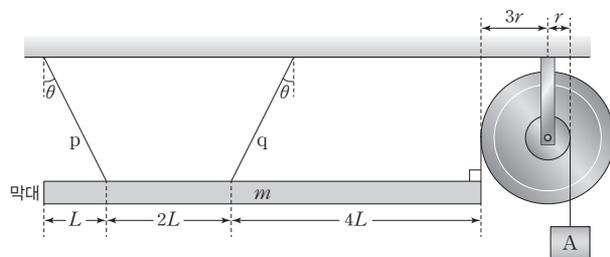
09 [23027-0017] 그림과 같이 길이가 $4d$ 인 막대가 수평을 이루며 정지해 있다. 막대의 왼쪽 끝은 도르래를 통해 수평면에 놓인 물체 A와 연결되어 있고, 막대의 왼쪽 끝에서 거리 x 만큼 떨어진 지점에 물체 B가 놓여 있다. 막대, A, B의 질량은 각각 $m, 2m, 3m$ 이다.



막대가 수평을 이루며 정지해 있을 수 있는 x 의 최솟값을 x_0 , 최댓값을 X_0 이라고 할 때, $\frac{x_0}{X_0}$ 은? (단, 막대의 밀도는 균일하며, 막대의 두께와 폭, 물체의 크기, 실의 질량과 모든 마찰은 무시한다.)

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

10 [23027-0018] 그림과 같이 질량이 m 인 막대가 실 p, q와 축바퀴의 큰 바퀴에 연결된 실에 연결되어 수평을 이루며 정지해 있다. 축바퀴의 작은 바퀴에는 물체 A가 매달려 정지해 있다. 막대의 길이는 $7L$ 이고, 축바퀴의 반지름은 큰 바퀴가 작은 바퀴의 3배이다. p, q가 막대와 연결된 두 지점 사이의 거리는 $2L$ 이며, 연직선과 이루는 각은 θ 로 같다.



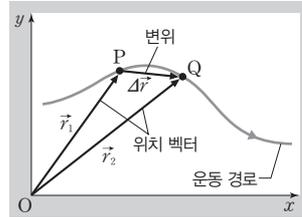
A의 질량은? (단, 막대의 밀도는 균일하고, 막대의 두께와 폭, 축바퀴의 두께, 실의 질량과 모든 마찰은 무시한다.)

- ① $\frac{4}{5}m$ ② $\frac{9}{10}m$ ③ m ④ $\frac{11}{10}m$ ⑤ $\frac{6}{5}m$

1 속도 와 가속도

(1) 변위: 물체의 위치 변화량을 나타내는 물리량이다.

- 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

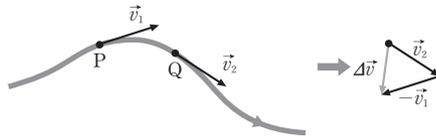
- ① 평균 속도: 변위를 걸린 시간으로 나눈 값이다. 따라서 P에서 Q까지 걸린 시간이 Δt 이면 평균 속도 $\vec{v}_{\text{평}}$ 은 다음과 같다.

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

- ② 순간 속도: 시간 간격 Δt 가 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 Δt 이면 평균 가속도 $\vec{a}_{\text{평}}$ 은 다음과 같다.

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

- ③ 순간 가속도: 시간 간격 Δt 가 거의 0일 때의 평균 가속도를 순간 가속도라고 한다.
- ④ 등가속도 운동: 가속도가 일정한 운동이다.
 - 속도가 일정하게 증가하거나 감소한다.
 - 등가속도 직선 운동의 공식: 직선상에서 가속도 a 로 등가속도 운동을 하는 물체의 처음 속도가 v_0 이면 시간 t 일 때의 속도 v 와 변위 s 는 다음과 같은 관계가 있다.

$$v = v_0 + at$$

$$s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$$

$$v^2 - v_0^2 = 2as$$

개념 체크

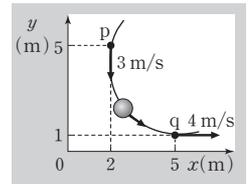
- 변위: 물체의 위치 변화량
- 속도(\vec{v}): 물체의 위치 변화량($\Delta\vec{r}$)을 걸린 시간(Δt)으로 나눈 값

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

- 가속도(\vec{a}): 물체의 속도 변화량($\Delta\vec{v}$)을 걸린 시간(Δt)으로 나눈 값

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

[1-3] 그림은 xy 평면에서 운동하는 물체의 운동 경로를 나타낸 것이다. 운동 경로상의 점 p, q에서 물체의 속력은 각각 3 m/s, 4 m/s이고, 방향은 각각 $-y$ 방향, $+x$ 방향이다. 물체가 p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간은 5초이다.



1. p에서 q까지 물체의 변위의 크기는 () m이다.
2. p에서 q까지 물체의 평균 속도의 크기는 () m/s이다.
3. p에서 q까지 물체의 평균 가속도의 크기는 () m/s^2 이다.

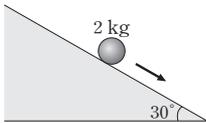
정답

1. 5
2. 1
3. 1

개념 체크

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

[1~2] 그림과 같이 질량이 2 kg인 물체가 경사각이 30°인 빗면을 따라 등가속도 직선 운동을 한다. (단, 중력 가속도는 10 m/s²이고, 마찰은 무시한다.)

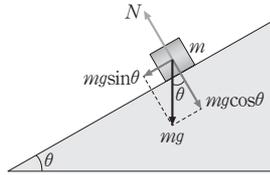


1. 빗면이 물체를 떠받치는 힘의 크기는 () N이고, 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 () N이다.
2. 물체의 가속도의 크기는 () m/s²이다.



과학 돋보기 | 기울기가 일정한 빗면 위에서의 운동

그림과 같이 질량이 m 인 물체가 수평면과의 각이 θ 이고 마찰이 없는 빗면을 미끄러져 내려가는 동안 물체는 등가속도 직선 운동을 한다. 물체에 작용하는 힘은 중력 mg 와 수직 항력 N 이다. 물체의 운동을 분석하기 위해 중력 mg 는 빗면에 나란한 방향의 성분과 빗면에 수직인 방향의 성분으로 나누어 각각의 방향으로 운동을 생각한다.



- 빗면에 나란한 방향으로 작용하는 힘의 크기: $mgsin\theta$
- 빗면에 수직인 방향으로 작용하는 힘의 크기: $N - mgcos\theta$

물체에 작용하는 알짜힘은 빗면에 나란한 방향이므로 물체의 가속도의 크기가 a 일 때 $ma = mgsin\theta$ 에서 물체의 가속도의 크기는 $a = gsin\theta$ 이다. 빗면에 수직인 방향으로 작용하는 알짜힘의 크기는 0이므로 $N - mgcos\theta = 0$ 에서 수직 항력 $N = mgcos\theta$ 이다.

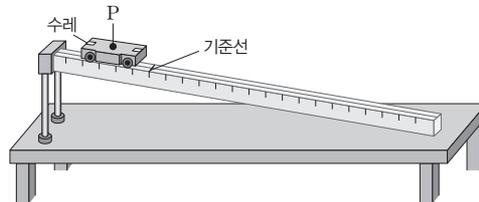
탐구자료 살펴보기 등가속도 운동

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.



동영상 촬영



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/s ²)			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/s ²)			4	4	4	4

point

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

정답

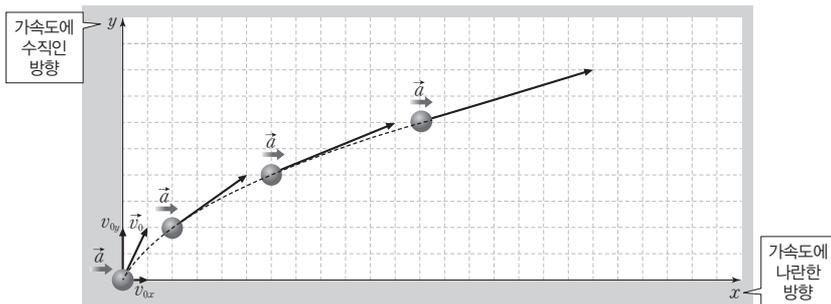
1. $10\sqrt{3}$, 10
2. 5

2 평면에서 등가속도 운동

(1) **평면에서 등가속도 운동**: 가속도의 방향이 처음 운동 방향에 수직인 등가속도 운동에서 가속도와 나란한 방향으로는 등가속도 운동을, 가속도와 수직인 방향으로는 등속도 운동을 한다.

(2) 평면에서 등가속도 운동의 분석

- 가속도가 일정하므로 가속도의 크기와 방향이 변하지 않는다.
- 가속도에 나란한 방향과 가속도에 수직인 방향으로 분해하면 운동을 쉽게 파악할 수 있다.
- 가속도 방향을 x 방향으로 정하면 가속도의 y 성분은 0이다. 따라서 y 방향으로로는 속도가 변하지 않는 등속도 운동을 하고, x 방향으로로는 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 t 일 때 속도 $\vec{v}=(v_x, v_y)$ 와 위치 $\vec{r}=(x, y)$ 는 다음과 같다.

• x 방향: $v_x=v_{0x}+at, x=v_{0x}t+\frac{1}{2}at^2$

• y 방향: $v_y=v_{0y}=\text{일정}, y=v_{0y}t$

(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.

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

② 운동 경로: x 와 y 의 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

- 자유 낙하 운동: 가만히 놓은 물체가 중력의 영향만으로 낙하하는 운동이다.
- 중력 가속도: 진공에서 낙하하는 물체는 약 9.8 m/s^2 의 가속도로 등가속도 운동을 하는데, 이 값을 중력 가속도라 하고 g 로 표시한다.
- 속도와 낙하 거리: 물체를 가만히 놓은 후 시간 t 후의 속도 v , 낙하 거리 h 는 다음 관계를 만족한다.

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

개념 체크

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

1. 등가속도 운동을 하는 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 (일정하고, 변하고), 알짜힘의 방향은 (일정하다, 변한다).

2. xy 평면에서 등가속도 운동을 하는 물체의 가속도가 $+x$ 방향이면, 물체의 속도의 x 성분은 (일정하고, 변하고), 속도의 y 성분은 (일정하다, 변한다).

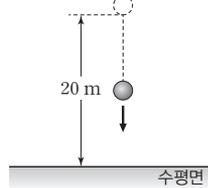
정답

- 일정하고, 일정하다
- 변하고, 일정하다

개념 체크

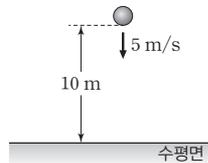
● 자유 낙하 운동과 연직 아래로 던진 물체의 운동: 물체에 일정하게 작용하는 중력으로 물체의 속도가 1초에 약 9.8 m/s씩 변화하는 등가속도 직선 운동이다.

1. 그림은 수평면으로부터 높이 20 m인 지점에서 가만히 놓은 물체가 등가속도 직선 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. (단, 중력 가속도는 10 m/s²이다.)



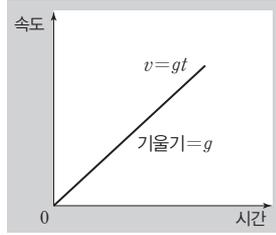
물체를 가만히 놓은 순간부터 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간은 () 초이고, 수평면에 도달하는 순간 속력은 () m/s이다.

2. 그림과 같이 수평면으로부터 10 m 높이에서 물체를 연직 아래 방향으로 5 m/s로 던졌다. 물체는 등가속도 직선 운동을 한다. (단, 중력 가속도는 10 m/s²이다.)

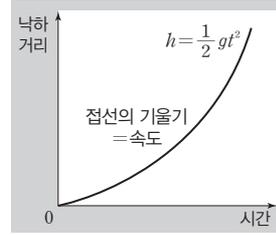


물체를 던진 순간부터 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간은 () 초이고, 수평면에 도달하는 순간 속력은 () m/s이다.

④ 시간에 따른 속도와 낙하 거리 그래프



속도-시간 그래프



낙하 거리-시간 그래프



과학 돋보기 | 자유 낙하 하는 물체에 대한 생각

BC 4세기



무거운 물체는 아래로 떨어지려는 본성이 있어서 떨어지는 거야. 무게가 클수록 낙하 속력이 커지므로 무거운 물체가 더 빨리 떨어지지.

17세기



물체가 떨어지는 데 걸리는 시간은 물체의 질량과 관계없어.

17세기 후반



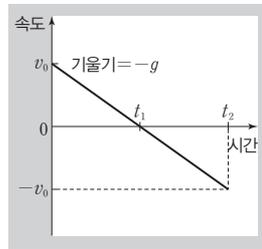
지구가 사과에게 작용하는 중력에 의해 사과가 떨어지는 거야.

(2) 연직 아래로 던진 물체의 운동: 연직 아래 방향을 (+)방향으로 정하고 물체를 던진 속도를 v_0 이라고 하면, 물체는 처음 속도가 v_0 이고 가속도가 g 인 등가속도 직선 운동을 한다.

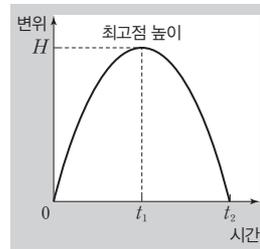
$$v = v_0 + gt, \quad h = v_0t + \frac{1}{2}gt^2, \quad v^2 - v_0^2 = 2gh$$

(3) 연직 위로 던진 물체의 운동: 연직 위 방향을 (+)방향으로 정하고 물체를 던진 속도를 v_0 이라고 하면, 물체는 처음 속도가 v_0 이고 가속도가 $-g$ 인 등가속도 직선 운동을 한다.

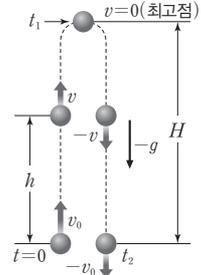
$$v = v_0 - gt, \quad h = v_0t - \frac{1}{2}gt^2, \quad v^2 - v_0^2 = -2gh$$



속도-시간 그래프



변위-시간 그래프



① 최고점까지 올라가는 데 걸리는 시간 t_1 : 최고점에서 속력이 0이므로, $v = v_0 - gt$ 에서 $v = 0$, $t = t_1$ 이다.

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

정답

- 1. 2, 20
- 2. 1, 15

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

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

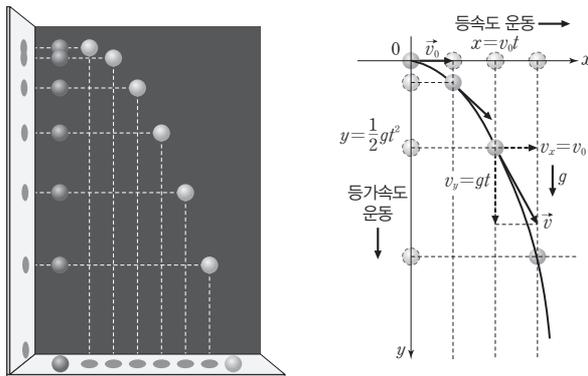
- ③ 최고점 높이 H : 물체가 올라가는 최고점 높이 H 는 다음과 같다.

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

- $v^2 - v_0^2 = -2gh$ 에서 $v=0, h=H$ 를 대입하면 $H = \frac{v_0^2}{2g}$ 이다.
- H 는 시간 $t_1 = \frac{v_0}{g}$ 동안 자유 낙하 하는 높이와 같으므로 $H = \frac{1}{2}gt_1^2 = \frac{1}{2}g\left(\frac{v_0}{g}\right)^2 = \frac{v_0^2}{2g}$ 이다.
- 역학적 에너지가 보존되므로 $\frac{1}{2}mv_0^2 = mgH$ 에서 $H = \frac{v_0^2}{2g}$ 이다.

4 포물선 운동

- (1) 수평 방향으로 던져진 물체의 운동: 물체를 수평 방향으로 던지면, 물체는 수평 방향으로는 등속도 운동을 하고 연직 방향으로는 가속도가 g 인 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 g 이다.

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

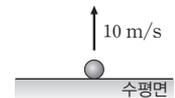
- ② 낙하 시간 T : 높이 H 에서 수평 방향으로 던진 물체가 바닥에 떨어질 때까지 걸리는 시간은 $H = \frac{1}{2}gT^2$ 에서 다음과 같다.

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

개념 체크

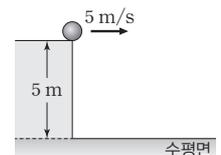
- 연직 위로 던진 물체의 운동: 올라갈 때는 속력이 일정하게 감소하고, 내려올 때는 속력이 일정하게 증가하는 등가속도 운동이다.
- 수평 방향으로 던진 물체의 운동: 수평 방향으로는 등속도 운동을 하고, 연직 방향으로는 자유 낙하와 같은 등가속도 운동을 한다.

1. 그림과 같이 물체를 수평 면에서 연직 위 방향으로 10 m/s의 속력으로 던진다. 물체는 등가속도 운동을 한다. (단, 중력 가속도는 10 m/s²이다.)



물체가 최고점까지 올라가는 데 걸린 시간은 () 초이고, 수평면으로부터 올라가는 최고점 높이는 () m이다.

2. 그림과 같이 수평면으로부터 높이가 5 m인 지점에서 물체를 수평 방향으로 5 m/s의 속력으로 던진다. 물체는 포물선 운동을 한다. (단, 중력 가속도는 10 m/s²이다.)



던진 순간부터 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간은 () 초이고, 수평면에 도달하는 순간 속도의 수평 성분은 () m/s 이고, 속도의 연직 성분은 () m/s이다.

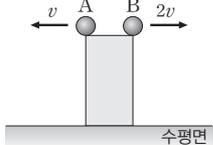
정답

1. 1, 5
2. 1, 5, 10

개념 체크

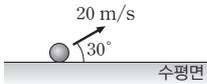
● 비스듬히 던진 물체의 운동: 수평 방향으로는 등속도 운동을 하고, 연직 방향으로는 가속도가 $-g$ 인 등가속도 운동을 한다.

- 그림과 같이 수평면으로부터 같은 높이에서 물체 A, B를 수평 방향으로 각각 v , $2v$ 의 속력으로 던진다. A, B는 포물선 운동을 한다.



수평 도달 거리는 B가 A의 ()배이다.

- [2~3] 그림과 같이 물체를 수평 방향과 30° 의 각을 이루며 20 m/s 의 속력으로 던진다. 물체는 포물선 운동을 한다. (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이다.)



- 수평면에서 던지는 순간 속도의 수평 성분의 크기는 () m/s 이고, 연직 성분의 크기는 () m/s 이다.
- 물체가 수평면에서 최고점까지 이동하는 데 걸린 시간은 () 초이다.

정답

- 2
- $10\sqrt{3}$, 10
- 1

- 수평 도달 거리 R : 속도의 수평 성분이 v_0 로 일정하므로 수평 도달 거리는 다음과 같다.

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

- 운동 경로: $x = v_0 t$ 와 $y = \frac{1}{2} g t^2$ 에서 t 를 소거하여 정리하면 다음과 같다.

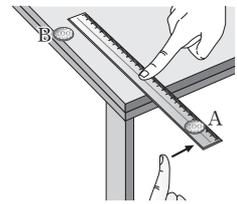
$$y = \frac{g}{2v_0^2} x^2$$

• y 가 x 에 대한 2차식이다. 따라서 운동 경로는 포물선이다.

탐구자료 살펴보기 수평 방향으로 던져진 동전의 운동 관찰

과정

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



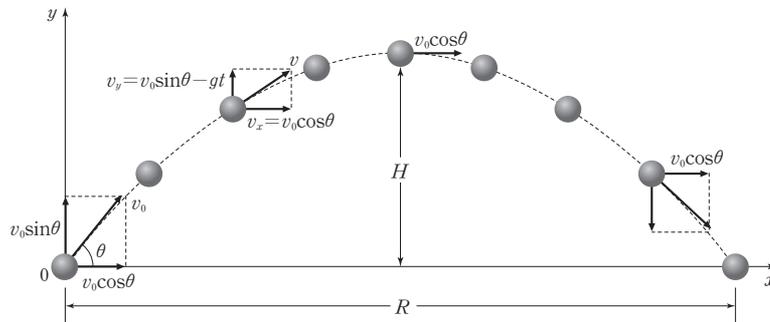
결과

- (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.

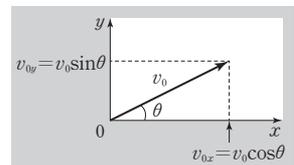
- (2) 비스듬히 던진 물체의 운동: 비스듬히 던진 물체에도 중력만 작용하므로 가속도는 중력 가속도와 같다. 따라서 수평 방향으로는 등속도 운동을, 연직 방향으로는 가속도가 $-g$ 인 등가속도 운동(연직 위로 던진 물체의 운동)을 한다.



- 처음 속도: 물체를 속력 v_0 으로 수평면과 θ 의 각으로 던지면, 처음 속도 \vec{v}_0 의 x 성분 v_{0x} 와 y 성분 v_{0y} 는 각각 다음과 같다.

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

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



- ② x 방향으로 $v_0 \cos \theta$ 의 일정한 속도로 등속도 운동을 하고, y 방향으로 $v_0 \sin \theta$ 의 속도로 연직 위로 던진 물체와 같은 운동을 한다.

[x 방향의 운동] 등속도 운동

가속도: $a_x = 0$

속도: $v_x = v_0 \cos \theta = \text{일정}$

변위: $x = (v_0 \cos \theta)t$

[y 방향의 운동] 연직 위로 던진 물체의 운동

가속도: $a_y = -g$

속도: $v_y = v_0 \sin \theta - gt$

변위: $y = (v_0 \sin \theta)t - \frac{1}{2}gt^2$

- ③ 운동 경로: $x = v_0 t \cos \theta$ 와 $y = v_0 t \sin \theta - \frac{1}{2}gt^2$ 에서 t 를 소거하여 정리하면 다음과 같다.

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

• y 가 x 에 대한 2차 다항식이므로, 운동 경로는 포물선이다.

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

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

- ⑤ 처음 높이에 도달하는 시간 t_2 : 처음 던져진 높이에 도달하는 순간 $y = 0$ 이므로, $0 = (v_0 \sin \theta)t_2 - \frac{1}{2}gt_2^2$ 에서 처음 높이에 도달하는 시간 t_2 는 다음과 같다.

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

- 최고점까지 올라가는 데 걸리는 시간과 최고점에서 바닥까지 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 H 는 다음과 같다.

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

- ⑦ 수평 도달 거리 R : 속도의 수평 성분이 $v_x = v_0 \cos \theta$ 이므로, 수평 도달 거리는

$R = v_x t_2 = \frac{2v_0^2 \sin \theta \cos \theta}{g}$ 인데 $2 \sin \theta \cos \theta = \sin 2\theta$ 이므로 수평 도달 거리 R 는 다음과 같다.

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

- $2\theta = 90^\circ$ 일 때 $\sin 2\theta$ 가 최대이므로 R 가 최대이다. 따라서 던지는 각이 45° 일 때 수평 도달 거리가 최대이다.
- $\sin 2\theta = \sin(180^\circ - 2\theta) = \sin 2(90^\circ - \theta)$ 이므로, 던지는 각이 θ 일 때와 $90^\circ - \theta$ 일 때 수평 도달 거리가 같다.

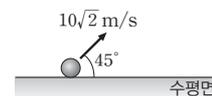
개념 체크

● 비스듬히 던진 물체의 최고점 높이와 수평 도달 거리: 물체를 속도 v_0 으로 수평 방향과 θ 의 각으로 던지면 물체의 최고점 높이 H 와 수평 도달 거리 R 는 다음과 같다.

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

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

[1-2] 그림과 같이 물체를 수평 방향과 45° 의 각을 이루며 $10\sqrt{2}$ m/s의 속력으로 던진다. 물체는 포물선 운동을 하여 수평면에 도달한다. (단, 중력 가속도는 10 m/s²이다.)



1. 물체가 최고점에 도달한 순간 속력은 () m/s 이다.
2. 물체의 최고점 높이는 () m이고, 수평 도달 거리는 () m이다.

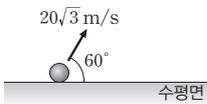
정답

1. 10
2. 5, 20

개념 체크

● 비스듬히 던져진 물체의 속도:
 물체가 수평면에서 속도 v 로 각 θ 를 이루며 발사된 순간으로부터 t 만큼의 시간이 지났을 때, 수평 방향의 속력은 $v\cos\theta$ 이고 연직 방향의 속력은 $v\sin\theta - gt$ 이다.

[1~3] 그림과 같이 수평면에서 물체를 수평 방향과 60° 의 각을 이루며 $20\sqrt{3}\text{ m/s}$ 의 속력으로 던진다. 물체는 포물선 운동을 한다. (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이다.)



- 수평면에서 물체를 던진 순간으로부터 2초가 지난 순간 물체의 속도의 수평 성분의 크기는 () m/s 이고, 속도의 연직 성분의 크기는 () m/s 이다.
- 물체가 수평면으로부터 올라가는 최고점 높이는 () m 이다.
- 물체를 수평면에서 던진 순간부터 물체가 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간은 () 초이다.

정답

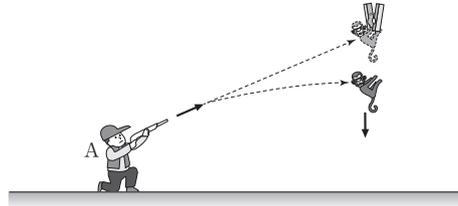
- $10\sqrt{3}, 10$
- 45
- 6



과학 돋보기 | 원숭이 인형 맞추기

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

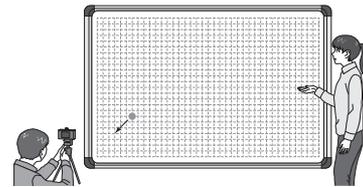
총알은 날아가면서 포물선 운동을 하고, 인형은 자유 낙하 한다. 이때 총알과 인형의 가속도가 같으므로, 인형의 입장에서 보면 총알은 등속 직선 운동을 한다. 따라서 A는 인형의 처음 위치를 겨냥해야 떨어지는 인형을 맞힐 수 있다.



탐구자료 살펴보기 비스듬히 던진 물체의 운동 동영상 분석

과정

- 모눈이 그려진 칠판과 디지털 카메라를 고정한다.
- 공을 비스듬히 던지고 공의 운동을 촬영한다.
- 촬영한 파일을 동영상 분석 프로그램으로 재생한다.
- 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/s 의 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/s^2)		-9.8	-9.8	-9.8	-9.8	-9.8	

→ 연직 방향으로는 -9.8 m/s^2 으로 등가속도 운동을 한다.

point

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

01 그림은 글라이더가 곡선 경로를 따라 날아가는 모습을 나타낸 것이다. 점 P, Q는 글라이더의 운동 경로상의 점이다. [23027-0019]

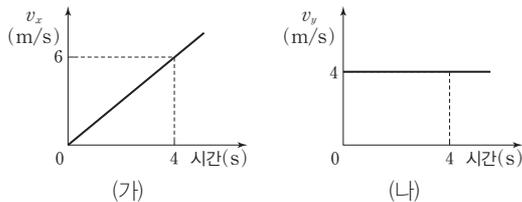


글라이더가 P에서 Q까지 운동하는 동안, 글라이더의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기**
- ㄱ. 등속도 운동을 한다.
 - ㄴ. 이동 거리는 변위의 크기보다 크다.
 - ㄷ. 평균 속도의 크기는 평균 속도보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 그림 (가), (나)는 xy 평면에서 운동하는 물체의 속도의 x 성분 v_x 와 y 성분 v_y 를 각각 시간에 따라 나타낸 것이다. 물체의 질량은 2 kg이다. [23027-0020]

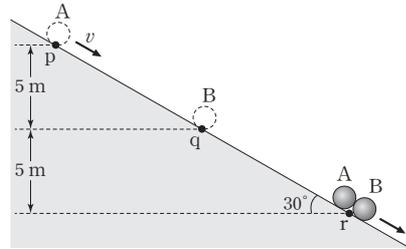


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기**
- ㄱ. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 3 N이다.
 - ㄴ. 0초부터 4초까지 물체의 변위의 x 성분의 크기는 9 m이다.
 - ㄷ. 0초부터 4초까지 물체의 평균 속도의 크기는 5 m/s이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

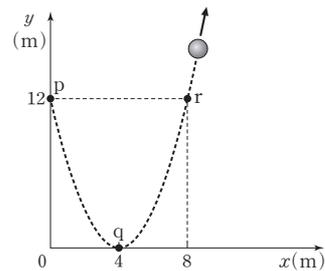
03 그림은 물체 A가 점 p를 v 의 속력으로 통과하는 순간 물체 B를 점 q에 가만히 놓았을 때, A, B가 등가속도 직선 운동을 하여 점 r에서 만난 모습을 나타낸 것이다. p, q, r는 경사각이 30° 인 빗면상의 점이고, p와 q의 높이차와 q와 r의 높이차는 5 m로 같다. [23027-0021]



v 는? (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이고, 물체의 크기, 모든 마찰은 무시한다.)

- ① 3 m/s ② 5 m/s ③ 7 m/s
 ④ 9 m/s ⑤ 12 m/s

04 그림은 xy 평면에서 등가속도 운동을 하는 물체의 운동 경로를 나타낸 것이다. 물체는 xy 평면상의 점 p, q, r를 순서대로 지나며, p에서 r까지 이동하는 데 걸린 시간은 4초이다. [23027-0022]

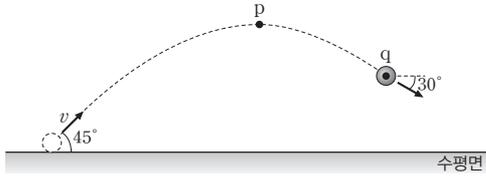


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

- 보기**
- ㄱ. q에서 물체의 속력은 2 m/s이다.
 - ㄴ. 물체의 가속도의 크기는 6 m/s^2 이다.
 - ㄷ. 물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 $+y$ 방향이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

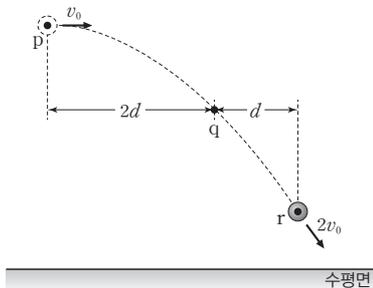
05 [23027-0023] 그림은 수평 방향과 45° 의 각을 이루며 속력 v 로 던져진 물체가 포물선 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. 점 p는 최고점이며, 점 q에서 물체의 운동 방향은 수평 방향과 30° 의 각을 이룬다.



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

- 보기
- ㄱ. 물체의 가속도의 방향은 p에서와 q에서가 같다.
 - ㄴ. 수평면으로부터 p까지의 높이는 $\frac{v^2}{4g}$ 이다.
 - ㄷ. 물체의 속력은 q에서가 p에서의 $\sqrt{3}$ 배이다.
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

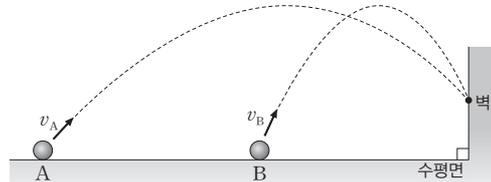
06 [23027-0024] 그림은 점 p에서 수평 방향으로 속력 v_0 으로 던져진 물체가 포물선 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. 점 q, r은 운동 경로상의 점이고 r에서 물체의 속력은 $2v_0$ 이다. 물체의 수평 이동 거리는 p에서 q까지는 $2d$, q에서 r까지는 d 이다.



q에서 물체의 속력은? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

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

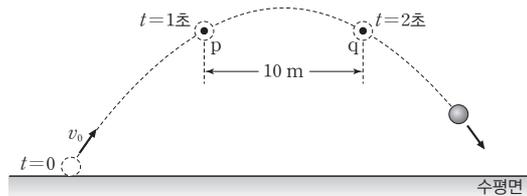
07 [23027-0025] 그림과 같이 수평면에서 물체 A, B를 각각 속력 v_A, v_B 로 동시에 던진다. A, B가 각각 포물선 운동을 하여 벽면의 한 점에 동시에 도달한다.



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

- 보기
- ㄱ. 수평면으로부터 올라가는 최고점 높이는 A가 B보다 작다.
 - ㄴ. 던진 순간부터 벽면에서 만날 때까지 속도 변화량의 크기는 A와 B가 같다.
 - ㄷ. $v_A > v_B$ 이다.
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

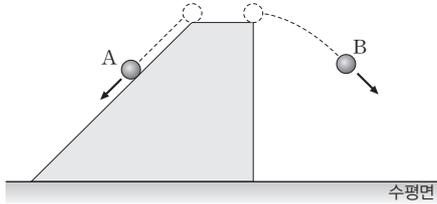
08 [23027-0026] 그림과 같이 시간 $t=0$ 일 때 수평면에서 비스듬히 속력 v_0 으로 던져진 물체가 포물선 운동을 한다. 점 p, q는 수평면으로부터 높이가 같고, p와 q 사이의 거리는 10 m이다. 물체는 $t=1$ 초, $t=2$ 초일 때 각각 p, q를 지난다.



v_0 은? (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이고, 물체의 크기는 무시한다.)

- ① $5\sqrt{13} \text{ m/s}$ ② 20 m/s ③ $5\sqrt{19} \text{ m/s}$
 ④ $10\sqrt{5} \text{ m/s}$ ⑤ 25 m/s

09 [23027-0027] 그림은 수평면으로부터 같은 높이에서 물체 A는 빗면에 가만히 놓고, 물체 B는 수평 방향으로 던졌을 때 A는 등가속도 직선 운동을 하고, B는 포물선 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다.



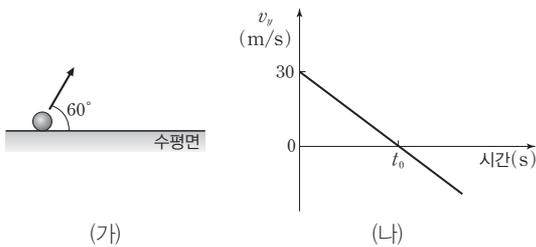
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, 물체의 크기, 모든 마찰은 무시한다.)

보기

- ㄱ. 가속도의 크기는 A가 B보다 작다.
- ㄴ. 작용하는 알짜힘의 방향은 A와 B가 같다.
- ㄷ. 수평면에 도달하는 순간 속력은 A가 B보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10 [23027-0028] 그림 (가)는 수평면에서 물체를 수평면과 60°의 각을 이루는 방향으로 던지는 모습을 나타낸 것이고, (나)는 물체를 던진 순간부터 물체의 속도의 연직 성분 v_y 를 시간에 따라 나타낸 것이다.



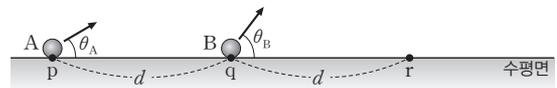
물체의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 10 m/s²이고, 물체의 크기와 공기 저항은 무시한다.)

보기

- ㄱ. $t_0 = 3$ 이다.
- ㄴ. 최고점 높이는 45 m이다.
- ㄷ. 수평 도달 거리는 $60\sqrt{3}$ m이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

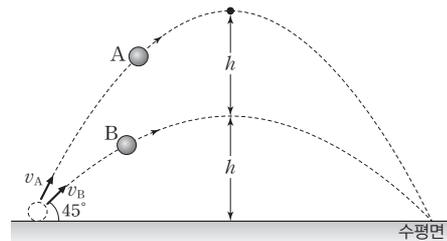
11 [23027-0029] 그림과 같이 물체 A, B를 각각 수평면상의 점 p, q에서 수평면과 θ_A , θ_B 의 각을 이루며 동시에 던진다. 포물선 운동을 하는 A, B는 수평면상의 점 r에 동시에 도달한다. p와 q, q와 r 사이의 거리는 d 로 같다.



$\frac{\tan\theta_B}{\tan\theta_A}$ 는? (단, A, B는 동일 연직면상에서 운동하며, 물체의 크기는 무시한다.)

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

12 [23027-0030] 그림과 같이 수평면에서 물체 A는 속도 v_A 로, 물체 B는 수평면과 45°의 각을 이루며 속도 v_B 로 던졌더니 각각 포물선 경로를 따라 운동하였다. 최고점 높이는 A가 B의 2배이고, A, B의 수평 도달 거리는 같다.



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

보기

- ㄱ. 던진 순간부터 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간은 A가 B보다 크다.
- ㄴ. 최고점에서 속력은 A가 B보다 크다.
- ㄷ. $v_A = \frac{\sqrt{5}}{2}v_B$ 이다.

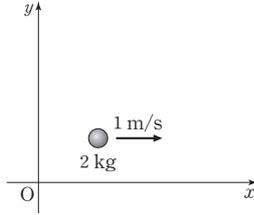
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\sqrt{(3\text{ N})^2 + (4\text{ N})^2} = 5\text{ N}$ 이다.

물체의 운동 방향과 가속도의 방향이 서로 수직일 때 물체의 속력은 최소이다.

[23027-0031]

01 그림은 시간 $t=0$ 일 때 질량이 2 kg 인 물체가 xy 평면에서 $+x$ 방향으로 1 m/s 의 속력으로 운동하는 모습을 나타낸 것이다. 표는 물체에 일정하게 작용하는 알짜힘의 x 성분과 y 성분을 나타낸 것이다.



알짜힘	크기	방향
x 성분	3 N	$-x$ 방향
y 성분	4 N	$+y$ 방향

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

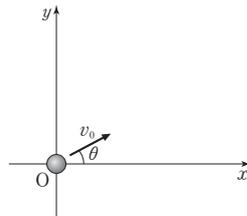
보기

- ㄱ. 물체는 등가속도 직선 운동을 한다.
- ㄴ. 물체의 가속도의 크기는 2.5 m/s^2 이다.
- ㄷ. $t=2$ 초일 때, 물체의 속력은 5 m/s 이다.

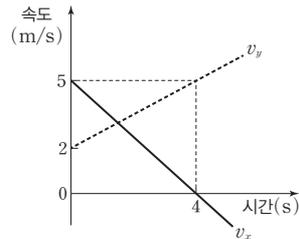
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[23027-0032]

02 그림 (가)는 xy 평면의 원점 O 에서 물체를 x 축과 이루는 각 θ , 속력 v_0 으로 발사하는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 물체가 발사된 순간부터 물체의 속도의 x 성분 v_x 와 속도의 y 성분 v_y 를 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

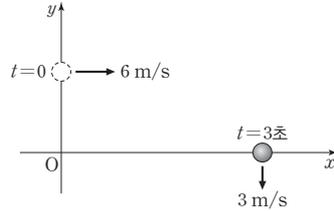
0초부터 5초까지 물체의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

보기

- ㄱ. $\tan\theta = \frac{2}{5}$ 이다.
- ㄴ. y 축으로부터 떨어진 최대 거리는 10 m 이다.
- ㄷ. 속력은 $\frac{3}{2}$ 초일 때 최소이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 [23027-0033] 그림은 xy 평면에서 등가속도 운동을 하는 물체를 나타낸 것이다. 시간 $t=0$ 일 때 물체는 6 m/s 의 속력으로 $+x$ 방향으로 운동하고, $t=3$ 초일 때 물체는 3 m/s 의 속력으로 $-y$ 방향으로 운동한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

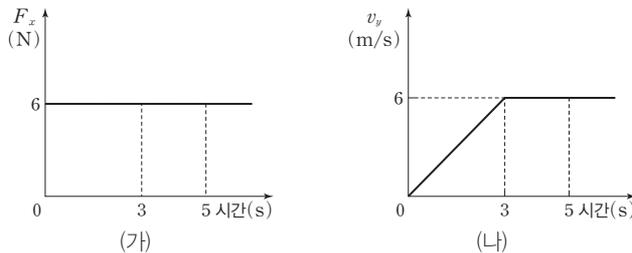
보기

- ㄱ. 물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 $-x$ 방향이다.
- ㄴ. 0초부터 3초까지 물체의 평균 속도의 크기는 $\frac{3\sqrt{5}}{2} \text{ m/s}$ 이다.
- ㄷ. 2초일 때 물체의 가속도의 크기는 $\sqrt{5} \text{ m/s}^2$ 이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

0초부터 3초까지 물체의 속도 변화량의 x 성분의 크기는 6 m/s 이고, y 성분의 크기는 3 m/s 이다.

04 [23027-0034] 그림 (가), (나)는 각각 xy 평면에 정지해 있던 물체에 작용하는 알짜힘의 x 성분 F_x 와 속도의 y 성분 v_y 를 시간에 따라 나타낸 것이다. 물체의 질량은 3 kg 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

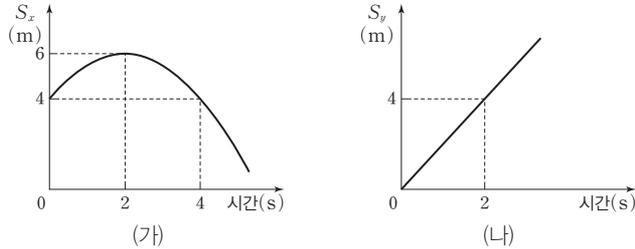
- ㄱ. 2초일 때 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $6\sqrt{2} \text{ N}$ 이다.
- ㄴ. 물체의 가속도의 크기는 1초일 때가 4초일 때의 2배이다.
- ㄷ. 3초부터 5초까지 물체의 평균 속도의 크기는 10 m/s 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

0초부터 3초까지 물체의 가속도의 y 성분의 크기는 2 m/s^2 이고, 3초부터 5초까지 가속도의 y 성분은 0이다.

물체의 속도의 y 성분의 크기는 2 m/s 로 일정하며, 물체의 가속도의 방향은 x 축과 나란하다.

05 그림 (가), (나)는 xy 평면에서 등가속도 운동을 하는 물체의 위치의 x 성분 S_x 와 y 성분 S_y 를 각 시간에 따라 나타낸 것이다. 물체의 질량은 2 kg 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

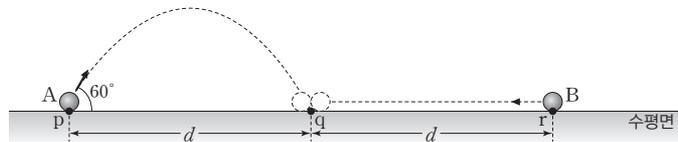
보기

- ㄱ. 2초일 때 물체의 속력은 2 m/s 이다.
- ㄴ. 2초일 때 물체의 운동 방향과 가속도 방향은 수직이다.
- ㄷ. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 2 N 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

A가 p에서 q까지 이동하는 동안 평균 속도의 수평 성분의 크기는 B가 r에서 q까지 이동하는 동안 평균 속도의 크기와 같다.

06 그림과 같이 물체 A를 점 p에서 수평 방향과 60° 의 각을 이루며 던지는 순간, 점 r에 정지해 있던 물체 B가 등가속도 직선 운동을 시작한다. 포물선 운동을 하는 A와 등가속도 직선 운동을 하는 B는 점 q에 동시에 도달한다. p, q, r는 수평면상의 점이며, p와 q, q와 r 사이의 거리는 d 로 같다.



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

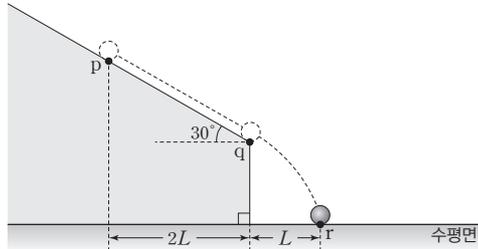
보기

- ㄱ. q에서 만나는 순간의 속력은 A와 B가 같다.
- ㄴ. A의 최고점 높이는 $\frac{\sqrt{3}}{3}d$ 이다.
- ㄷ. B의 가속도의 크기는 $\frac{\sqrt{3}}{3}g$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 그림과 같이 물체를 경사각이 30° 인 빗면상의 점 p에 가만히 놓았더니 물체가 점 q까지 등가속도 직선 운동을 한 후, q에서부터 수평면상의 점 r까지 포물선 운동을 하였다. 물체의 수평 이동 거리는 p에서 q까지는 $2L$, q에서 r까지는 L 이다.

[23027-0037]



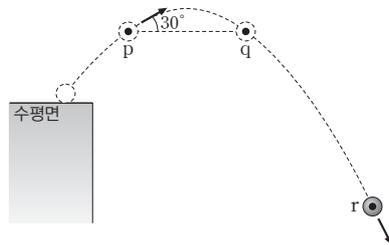
p와 r의 높이차는? (단, 물체의 크기, 모든 마찰은 무시한다.)

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

q에서 물체의 운동 방향은 수평 방향과 30° 의 각을 이룬다. 물체의 가속도의 크기는 p에서 q까지가 q에서 r까지의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

08 그림과 같이 수평면에서 비스듬히 던져진 물체가 포물선 운동을 하여 점 p, q, r를 순서대로 지난다. p에서 물체의 운동 방향은 수평면과 30° 의 각을 이룬다. p와 q는 수평면으로부터 높이가 같고, 물체가 p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간과 q에서 r까지 이동하는 데 걸린 시간은 같다.

[23027-0038]



p, q, r에서 물체의 속도의 수평 성분은 같고, p에서 q까지 속도 변화량과 q에서 r까지 속도 변화량은 같다.

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

보기

- ㄱ. 물체의 가속도의 방향은 p에서와 q에서가 같다.
- ㄴ. 물체의 수평 이동 거리는 p에서 r까지가 q에서 r까지의 2배이다.
- ㄷ. 물체의 속력은 r에서가 q에서의 $\sqrt{3}$ 배이다.

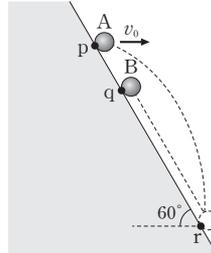
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

가속도의 크기는 B가 A의 $\frac{\sqrt{3}}{2}$ 배이다.

벽에 충돌하는 순간 속도의 연직 성분의 크기와 수평 성분의 크기는 같다.

[23027-0039]

09 그림과 같이 경사각이 60° 인 빗면상의 점 p에서 물체 A를 수평 방향으로 속력 v_0 으로 던지는 순간 빗면상의 점 q에서 물체 B를 가만히 놓는다. A, B는 각각 포물선 운동, 등가속도 직선 운동을 하여 빗면상의 점 r에 동시에 도달한다.

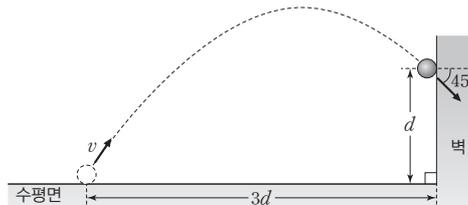


p와 q 사이의 거리는? (단, 중력 가속도는 g 이고, 물체의 크기, 모든 마찰은 무시한다.)

- ① $\frac{\sqrt{2}v_0^2}{2g}$ ② $\frac{v_0^2}{g}$ ③ $\frac{\sqrt{2}v_0^2}{g}$ ④ $\frac{\sqrt{3}v_0^2}{g}$ ⑤ $\frac{2v_0^2}{g}$

[23027-0040]

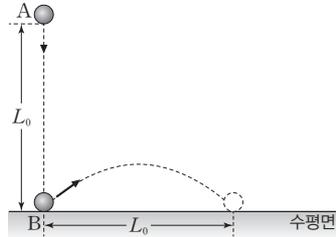
10 그림과 같이 수평면에서 속력 v 로 던져진 물체가 포물선 운동을 하여 벽에 충돌한다. 충돌 순간 물체의 운동 방향은 수평 방향과 45° 의 각을 이루고, 충돌 지점의 높이는 d , 물체가 던져진 지점에서 벽까지의 수평 이동 거리는 $3d$ 이다.



v 는? (단, 중력 가속도는 g 이고, 물체의 크기는 무시한다.)

- ① $\sqrt{\frac{13}{4}gd}$ ② $\sqrt{\frac{15}{4}gd}$ ③ $\sqrt{\frac{17}{4}gd}$ ④ $\sqrt{\frac{19}{4}gd}$ ⑤ $\sqrt{\frac{21}{4}gd}$

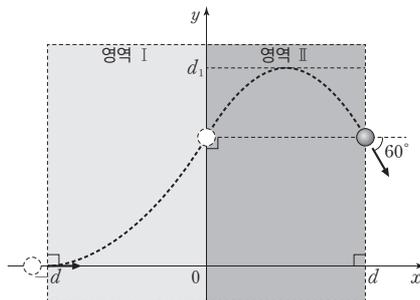
11 그림과 같이 수평면으로부터 높이 L_0 인 곳에서 물체 A를 가만히 놓은 순간 A의 연직 아래 수평면에서 물체 B를 비스듬히 던졌다. A, B는 각각 등가속도 직선 운동, 포물선 운동을 하여 수평면에 동시에 도달하였다. B의 수평 도달 거리는 L_0 이다.



A가 등가속도 운동을 하는 동안, A와 B 사이의 거리의 최솟값은? (단, A, B는 동일 연직면상에서 운동하며, 물체의 크기는 무시한다.)

- ① $\frac{1}{3}L_0$
- ② $\frac{1}{2}L_0$
- ③ $\frac{\sqrt{3}}{3}L_0$
- ④ $\frac{\sqrt{2}}{2}L_0$
- ⑤ $\frac{\sqrt{3}}{2}L_0$

12 그림은 xy 평면에서 운동하는 물체의 운동 경로를 나타낸 것이다. x 축을 따라 등속도 운동을 하던 물체는 영역 I에 $+x$ 방향으로 들어가서 영역 II에서 x 축과 60° 의 각을 이루며 나온다. 물체는 I과 II에서 각각 등가속도 운동을 하고, 가속도의 방향은 각각 y 축과 나란하다. II에서 물체가 x 축으로부터 떨어진 최대 거리는 d_1 이다.



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

보기

- ㄱ. 물체의 속력은 $x=d$ 를 통과할 때가 $x=-d$ 를 통과할 때의 2배이다.
- ㄴ. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 II에서가 I에서의 2배이다.
- ㄷ. $d_1 = \sqrt{3}d$ 이다.

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

A와 B는 같은 가속도로 등가속도 운동을 한다.

물체의 속도의 x 성분은 일정하고, I과 II를 이동하는 데 걸리는 시간은 같다.

개념 체크

● **주기와 각속도의 관계:** 등속 원운동을 하는 물체의 주기를 T , 각속도를 ω 라고 할 때 $T = \frac{2\pi}{\omega}$ 이다.

● **회전 반지름과 속력의 관계:** 같은 각속도로 등속 원운동을 하는 물체에서 회전 반지름이 클수록 속력이 빠르다.

$$v = r\omega$$

1. 일정한 속력으로 원운동을 하는 물체의 각속도가 π 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 2 m/s의 일정한 속력으로 원운동을 하는 물체가 있다. 이 물체의 각속도는 () rad/s이다.

1 등속 원운동

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

(2) 주기와 진동수

① 주기: 등속 원운동을 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 T 와 진동수 f 는 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 θ 이면 각속도 ω 는 다음과 같다.

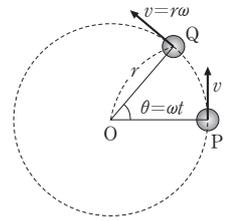
$$\omega = \frac{\theta}{t}, \quad \theta = \omega t$$

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.

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

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

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



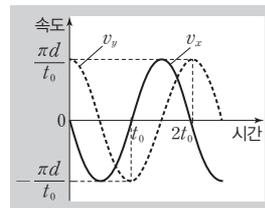
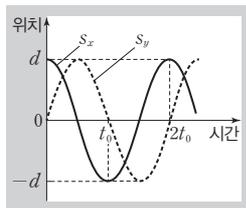
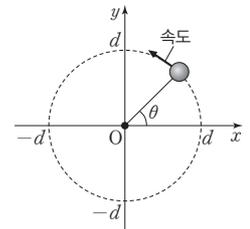
과학 돋보기 | 등속 원운동에서 물체의 위치와 속도

그림과 같이 xy 평면에서 물체가 시계 반대 방향으로 반지름이 d , 각속도가 $\omega = \frac{\theta}{t}$, 주기가 $2t_0$ 으로 등속 원운동을 한다.

물체의 위치의 x 성분은 $s_x = d \cos \theta = d \cos \omega t$ 이고, 위치의 y 성분은 $s_y = d \sin \theta = d \sin \omega t$ 이다.

물체의 속도의 x 성분은 $v_x = -\frac{\pi d}{t_0} \sin \theta = -\frac{\pi d}{t_0} \sin \omega t$ 이고, 속도의 y 성분은

$$v_y = \frac{\pi d}{t_0} \cos \theta = \frac{\pi d}{t_0} \cos \omega t \text{이다.}$$



정답

1. 2
2. 4π
3. 1

2 구심 가속도와 구심력

(1) 구심 가속도

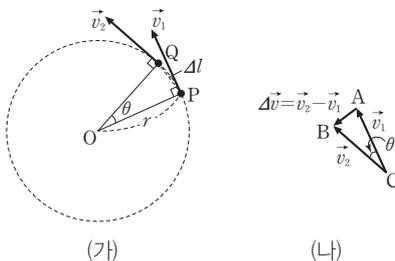
① 속도 변화량 $\Delta\vec{v}$: 그림 (가)와 같이 점 P, Q에서의 속도가 각각 \vec{v}_1, \vec{v}_2 이면, (나)와 같이 속도 변화량은 $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ 이다.

- P에서 Q까지 중심각이 θ 이므로 (나)에서 \vec{v}_1 과 \vec{v}_2 가 이루는 각은 θ 이다.

- \vec{v}_1, \vec{v}_2 의 크기가 같으므로 $\triangle ABC$ 는 이등변 삼각형이다. 따라서 $\angle CAB = \angle CBA$ 이다.

- 걸린 시간이 매우 짧도록 P, Q를 가까이하면 θ 가 매우 작아진다. 따라서 물체의 속력이 v 일 때, $|\Delta\vec{v}| \approx v\theta$, $\angle CAB = \angle CBA \approx 90^\circ$ 이다.

- 순간 속도의 크기와 방향: 걸린 시간이 거의 0이 되도록 극한을 취하면, $|\Delta\vec{v}| = v\theta$ 이고 $\angle CAB = \angle CBA = 90^\circ$ 이다.



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

- 크기: $|\vec{a}| = \frac{|\Delta\vec{v}|}{t} = \frac{v\theta}{t}$ 이다. $\frac{\theta}{t} = \omega$ 이고, $\omega = \frac{v}{r}$ 이므로 가속도의 크기는

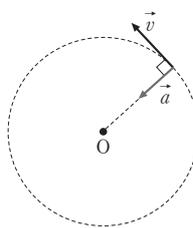
$$a = v\omega = \frac{v^2}{r} = r\omega^2 \text{이다.}$$

- 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: $a = v\omega = \frac{v^2}{r} = r\omega^2$ 이다.

- 방향: 원운동의 중심 방향이다.

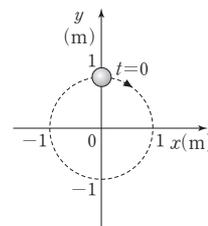


개념 체크

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

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

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



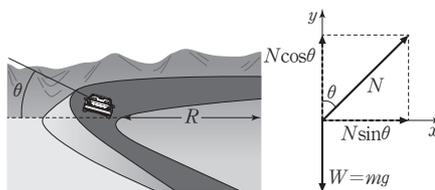
2. 물체의 속력은 () m/s 이다.

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



과학 돋보기 | 자동차가 곡선 도로를 안전하게 주행하기 위한 도로의 경사각은?

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 m 인 자동차가 곡선 도로의 반지름이 R 이고 수평면과 경사면이 이루는 각이 θ 인 도로를 따라 속력 v 로 운동할 때 경사면이 자동차에 작용하는 수직항력을 N 이라 하고, 경사면과 나란한 방향의 마찰을 무시하면, 자동차에 작용하는 힘은 다음과 같다.



$$N \sin \theta = ma_x \dots \text{①}, N \cos \theta - mg = 0 \text{에서 } N = \frac{mg}{\cos \theta} \dots \text{②}$$

②를 ①에 대입하여 정리하면, $ma_x = \frac{mg}{\cos \theta} \times \sin \theta = mg \tan \theta$ 이다. $a_x = \frac{v^2}{R}$ 이므로 $\tan \theta = \frac{v^2}{gR}$ 이다. 즉, 최대 속력이

V 인 곡선 도로를 안전하게 주행하기 위해서는 $\tan \theta \geq \frac{V^2}{gR}$ 으로 경사각도를 설계해야 한다.

정답

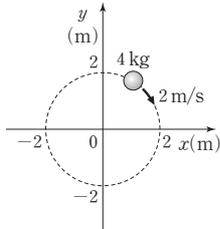
1. 8
2. $\frac{\pi}{2}$
3. $+x, \frac{\pi^2}{4}$

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. 등속 원운동을 하는 물체에 작용하는 힘을 () 이라고 하며, 이 힘은 원의 (중심을, 바깥을) 향하는 방향이다.

[2~3] 그림과 같이 xy 평면에서 질량이 4 kg인 물체가 2 m/s의 일정한 속력으로 원운동을 하고 있다. 원운동의 반지름은 2 m이다.



2. 물체의 원운동의 주기는 ()초이다.

3. 물체에 작용하는 구심력의 크기는 ()N이다.

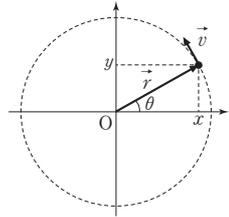
정답

1. 구심력, 중심을
2. 2π
3. 8



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} 의 크기는 $\omega^2 r = \frac{v^2}{r}$ 이다.
- \vec{a} 의 방향은 $-\vec{r}$ 방향이다. 따라서 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 방향으로 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)	$\frac{1}{\text{주기}^2} \left(\frac{1}{\text{초}^2} \right)$
10	4.0	0.40	6.25
20	2.8	0.28	12.8
30	2.3	0.23	18.9

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

point

• 회전 반지름이 일정할 때, 구심력의 크기는 속력의 제곱에 비례한다. $\rightarrow F \propto v^2$

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 년간 행성의 운동을 정밀하게 측정하였다.



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

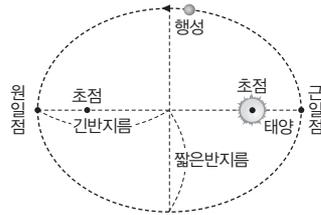


지동설: 지구를 포함한 행성들이 태양 주위를 돌고 있다는 설

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

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

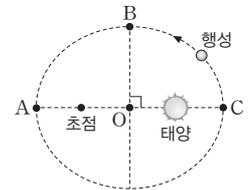
- 타원과 초점: 평면 위에서 고정된 두 점으로부터 거리의 합이 일정한 점들의 집합을 타원이라 하고, 고정된 두 점을 초점이라고 한다.
- 긴반지름: 두 초점을 연결한 직선이 타원과 만나는 두 점 사이의 거리가 긴지름이고, 긴지름의 절반이 긴반지름이다.
- 짧은반지름: 두 초점을 연결한 선분의 수직이등분선이 타원과 만나는 두 점 사이의 거리가 짧은지름이고, 짧은지름의 절반이 짧은반지름이다.
- 원일점과 근일점: 태양 주위를 도는 천체의 위치 중 태양과 가장 먼 지점이 원일점이고, 가장 가까운 지점이 근일점이다.



개념 체크

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

[1~2] 그림과 같이 행성이 태양을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동한다. 점 O는 타원의 중심이고, A, B, C는 타원 궤도상의 점이며, A, C는 태양의 중심과 타원의 초점을 잇는 직선상에 있다.



1. 근일점은 (A , B , C) 이고, 원일점은 (A , B , C) 이다.
2. 타원 궤도의 긴반지름은 (AB , OA , AC , OB) 이다.

탐구자료 살펴보기 타원 궤도 그리기

과정

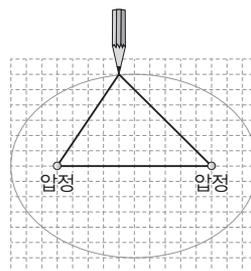
- (1) 그림과 같이 모눈종이 위에 압정을 꽂고 거리를 측정한다.
- (2) 실을 적당한 길이로 자른 후, 양 끝을 묶는다.
- (3) 실을 압정에 걸고 연필로 팽팽하게 당기면서 타원을 그린다.

결과

- 실의 길이가 일정하므로, 연필심에서 두 압정까지 거리의 합이 일정하다.

point

- 타원은 평면 위의 두 초점으로부터 거리의 합이 일정한 점들의 집합이다.



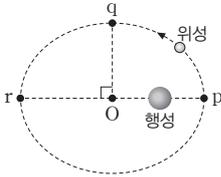
정답

1. C, A
2. OA

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.



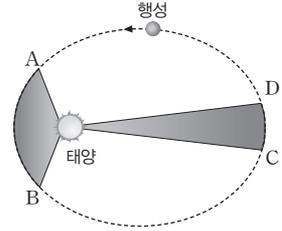
1. 위성이 p에서 q까지 이동하는 데 걸리는 시간은 q에서 r까지 이동하는 데 걸리는 시간보다 (작다 , 크다) .
2. 위성의 속력은 p에서가 r에서보다 (작다 , 크다) .
3. 위성 A, B가 동일한 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동하고 있다. A, B의 타원 궤도의 긴반지름이 각각 r, 2r일 때, 공전 주기는 B가 A의 ()배이다.

정답

1. 작다
2. 크다
3. 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.

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

- 공전 궤도의 긴반지름이 길수록 공전 주기가 길다.
- 긴반지름의 길이가 2배, 3배, 4배, ... 증가하면, 공전 주기는 2√2배, 3√3배, 4√4=8배, ... 증가한다.

탐구자료 살펴보기 **조화 법칙 알아보기**

과정

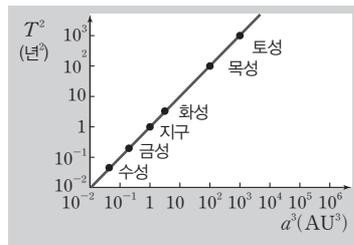
제시된 자료를 이용하여 표의 빈칸을 채우고, 주기와 긴반지름의 관계를 쉽게 파악할 수 있는 그래프를 그려 보자.

행성	공전 주기 T(년)	긴반지름 a(AU)	T ²	a 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)

결과

행성	T ²	a 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

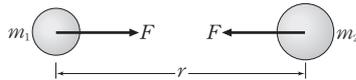
- 행성의 공전 주기의 제곱은 긴반지름의 세제곱에 비례한다.

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 작용한다고 생각하였으며, 이 힘을 중력이라고 하였다.

(2) 뉴턴 중력 법칙: 두 물체 사이에 작용하는 중력은 질량의 곱에 비례하고 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 질량이 각각 m_1, m_2 이고, 떨어진 거리가 r 인 두 물체 사이에 작용하는 중력의 크기 F 는 다음과 같다.



$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (G: \text{중력 상수})$$

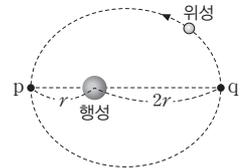
- ① 중력은 항상 끌어당기는 방향으로 작용한다.
- ② 중력은 천체의 운동에 결정적인 영향을 미치는 힘이다.
- ③ 두 물체 사이의 거리가 2배, 3배, 4배, ... 로 멀어지면, 중력의 크기는 $\frac{1}{4}$ 배, $\frac{1}{9}$ 배, $\frac{1}{16}$ 배 ... 로 감소한다.

개념 체크

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

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

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



- 1. 위성이 q에서 p까지 이동하는 동안 위성의 속력은 (감소, 증가)한다.
- 2. 행성이 위성에 작용하는 중력의 크기는 p에서 q에서의 () 배이다.
- 3. 위성의 가속도의 크기는 p에서 q에서의 () 배이다.

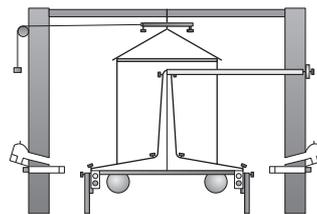
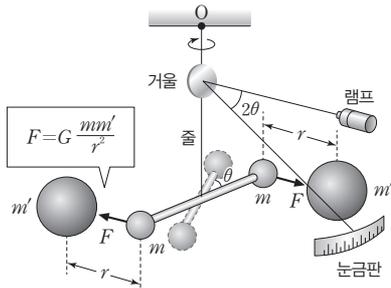
과학 돋보기 | 중력 상수 측정

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

$$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$$

[중력 상수 측정 과정]

- 줄에 연결된 막대의 양 끝에 질량이 m 인 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.



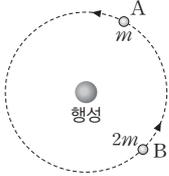
정답

- 1. 증가
- 2. 4
- 3. 4

개념 체크

● **중력 가속도**: 반지름이 R 이고, 질량이 M 인 행성의 지표면 근처에서 중력 가속도의 크기는 $\frac{GM}{R^2}$ 이다.

1. 그림과 같이 위성 A, B가 행성을 중심으로 하는 동일한 원 궤도를 따라 운동하고 있다. A, B의 질량은 각각 $m, 2m$ 이다.



행성이 A에 작용하는 중력의 크기가 F_0 일 때, A가 행성에 작용하는 중력의 크기는 ()이고, 행성이 B에 작용하는 중력의 크기는 ()이다.

2. 표는 행성 P, Q의 질량과 반지름을 나타낸 것이다.

행성	질량	반지름
P	M	$2R$
Q	$2M$	R

행성의 표면에서 중력 가속도의 크기는 P에서가 Q에서의 ()배이다.

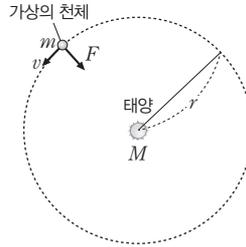
정답

- $F_0, 2F_0$
- $\frac{1}{8}$



과학 돋보기 | 중력 법칙 유도

뉴턴은 태양계의 행성뿐만 아니라 태양 주위를 도는 모든 천체들이 케플러 제3법칙을 따른다고 생각하였다. 따라서 반지름 r , 속력 v , 주기 T 로 등속 원운동을 하는 질량 m 인 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 $v^2 = \frac{4\pi^2 r^2}{T^2}$ 이므로 $F = \frac{4\pi^2 mr}{T^2}$ 이고, 케플러 제3법칙에 따라 $T^2 = kr^3$ 이므로 F 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

힘이 천체의 질량 m 에 비례하므로, 작용 반작용 법칙에 따라 힘은 태양의 질량 M 에도 비례한다. 따라서 $F \propto \frac{Mm}{r^2}$ 과 같이 나타낼 수 있으며, 비례 상수를 G 라고 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_2 이고, 떨어진 거리가 r 인 두 물체 사이에 작용하는 중력의 크기는 다음과 같다.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

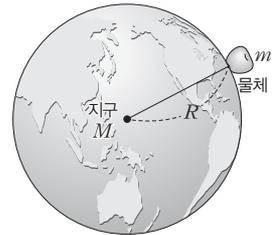
(3) **중력 가속도**: 천체 표면 근처에서 낙하하는 물체에 작용하는 힘이 천체의 중력뿐일 때의 가속도이다. 일반적으로 g 로 표시하며, 질량이 m 인 물체에 작용하는 중력의 크기는 mg 이다.

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

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

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

- 밀도가 ρ 이면 $M = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$ 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 속도: 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.

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

(5) 탈출 속도: 물체가 천체의 표면에서 탈출할 수 있는 최소한의 속도이다.

- ① 중력 퍼텐셜 에너지: 질량이 m 인 물체가 질량이 M 인 천체의 중심으로부터 거리 r 만큼 떨어져 있으면, 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 E_p 는 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 천체를 탈출하기 위해서는 천체의 표면에서 속력 v 가 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 속도: 탈출 조건을 만족하는 최소한의 속도인 탈출 속도 v_e 는 다음과 같다.

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

- ④ 지구 표면에서의 탈출 속도는 약 11.2 km/s이다.

과학 돋보기 | 인공위성의 속력과 탈출 속도

그림과 같이 지구 중심으로부터 r 만큼 떨어진 지점에서 물체를 수평 방향으로 던질 때 물체의 속력이 특정한 조건을 만족하면 물체는 지구 주위를 계속 돌게 된다.

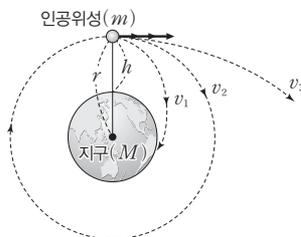
- 던진 속력이 v_1 일 때: 수평 방향으로 던진 속력이 작아 지구 주위를 돌지 못하고 지표면으로 떨어진다.
- 던진 속력이 v_2 일 때: 인공위성은 지구 중심으로부터 r 만큼 떨어진 거리를 유지하며 계속 지구 주위를 돌게 된다.

→ 지구 표면을 스치듯이 등속 원운동을 할 수 있는 속력은 $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ 이다

다. 이 식에 중력 상수 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$, 지구 질량 $M = 6 \times 10^{24} \text{ kg}$, 지구 반지름 $R = 6.4 \times 10^6 \text{ m}$ 를 대입하면 $v \approx 7.9 \text{ km/s}$ 이다.

- 던진 속력이 v_3 일 때: 수평 방향의 속력이 어느 값보다 크면, 물체는 지구 중력을 벗어나 우주로 날아가게 된다.

→ 지구 표면에서 지구를 탈출할 수 있는 속력은 $v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{2}v \approx 11.2 \text{ km/s}$ 이다.



개념 체크

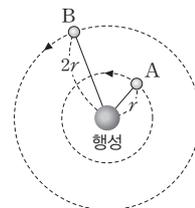
- 지구 주위를 등속 원운동 하는 인공위성의 속력(v): 지구가 인공 위성에 작용하는 중력이 인공위성에는 구심력으로 작용한다.

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

- 탈출 속도(v_e): 물체가 천체의 표면에서 탈출할 수 있는 최소한의 속도로 다음과 같다.

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

[1~2] 그림과 같이 위성 A, B가 행성을 중심으로 하는 원 궤도를 따라 운동하고 있다. 원 궤도의 반지름은 각각 r , $2r$ 이다.



1. 위성의 속력은 B가 A의 () 배이다.
2. 위성의 공전 주기는 B가 A의 () 배이다.
3. 표는 행성 P, Q의 질량과 반지름을 나타낸 것이다.

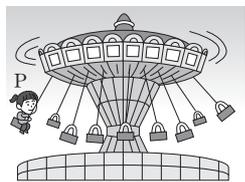
행성	질량	반지름
P	M	R
Q	$3M$	$2R$

행성의 표면에서 탈출 속도는 P에서가 Q에서의 () 배이다.

정답

1. $\frac{1}{2}$
2. $2\sqrt{2}$
3. $\sqrt{\frac{2}{3}}$

01 그림은 회전 그네를 타고 일정한 속력으로 원운동을 하는 사람 P에 대해 학생 A, B, C가 나는 대화이다.



P에 작용하는 알짜힘은 0이야.



학생 A

P의 운동 방향과 가속도의 방향은 수직이야.



학생 B

P의 각속도는 일정해.

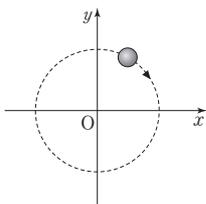


학생 C

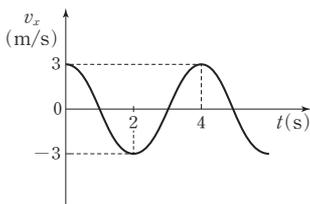
제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A ② C ③ A, B
- ④ B, C ⑤ A, B, C

02 그림 (가)는 xy 평면에서 원점 O를 중심으로 등속 원운동을 하는 물체를, (나)는 이 물체의 속도의 x 성분 v_x 를 시간 t 에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

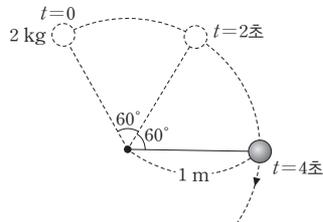
물체의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 원운동의 주기는 4초이다.
- ㄴ. 1초일 때, 속도의 y 성분의 크기는 3 m/s이다.
- ㄷ. 4초일 때, 가속도의 방향은 $-y$ 방향이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 그림은 수평면에서 실에 연결되어 등속 원운동을 하는 물체의 위치를 시간에 따라 나타낸 것이다. 물체의 질량은 2 kg이고, 원운동의 반지름은 1 m이다.



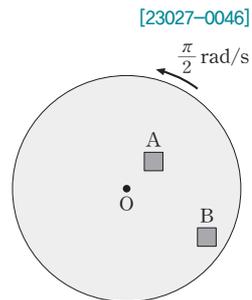
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

보기

- ㄱ. 물체의 속력은 $\frac{\pi}{6}$ m/s이다.
- ㄴ. 물체의 가속도의 방향은 2초일 때와 4초일 때가 같다.
- ㄷ. 물체에 작용하는 구심력의 크기는 $\frac{\pi^2}{18}$ N이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 그림과 같이 수평면에서 일정한 각속도 $\frac{\pi}{2}$ rad/s로 회전하는 원판에 물체 A, B가 고정되어 있다. 원판의 중심 O로부터 떨어진 거리는 A가 B보다 작고, 질량은 A와 B가 같다.



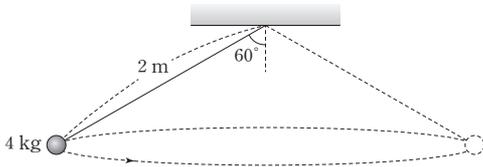
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

보기

- ㄱ. A의 원운동의 주기는 4초이다.
- ㄴ. 속력은 A가 B보다 작다.
- ㄷ. 구심력의 크기는 A와 B가 같다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

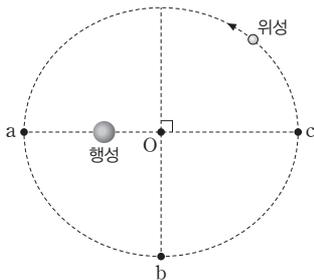
05 [23027-0047] 그림과 같이 길이가 2 m인 실에 연결된 물체가 수평면과 나란하게 등속 원운동을 하고 있다. 물체의 질량은 4 kg이고, 실이 연직 방향과 이루는 각은 60° 이다.



물체의 원운동의 주기는? (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이고, 물체의 크기, 실의 질량은 무시한다.)

- ① $\frac{\pi\sqrt{10}}{5}$ 초 ② $\frac{\pi\sqrt{10}}{3}$ 초 ③ $\frac{2\pi\sqrt{10}}{5}$ 초
 ④ $\frac{3\pi\sqrt{10}}{5}$ 초 ⑤ $\frac{2\pi\sqrt{10}}{3}$ 초

06 [23027-0048] 그림과 같이 위성이 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동하고 있다. O는 타원의 중심이며, a, b, c는 궤도상의 점이다. a는 행성으로부터 가장 가까운 지점이고, c는 행성으로부터 가장 먼 지점이다.

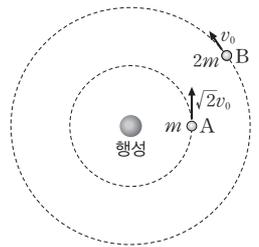


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 위성에 작용하는 중력의 크기는 a에서가 b에서보다 크다.
 - ㄴ. 위성의 속력은 c를 지날 때가 가장 작다.
 - ㄷ. 위성이 a에서 b까지 가는 데 걸리는 시간과 b에서 c까지 가는 데 걸리는 시간은 같다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 [23027-0049] 그림과 같이 위성 A, B가 행성을 중심으로 하는 원 궤도를 따라 운동하고 있다. A, B의 질량은 각각 $m, 2m$ 이고, A, B의 속력은 각각 $\sqrt{2}v_0, v_0$ 이다.

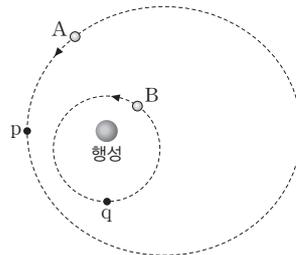


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 위성에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

- 보기
- ㄱ. 가속도의 크기는 A가 B보다 크다.
 - ㄴ. 위성에 작용하는 중력의 크기는 A가 B의 2배이다.
 - ㄷ. 공전 주기는 B가 A의 $2\sqrt{2}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 [23027-0050] 그림과 같이 위성 A, B가 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 각각 운동하고 있다. 점 p는 A가 행성으로부터 가장 가까운 지점이고, 점 q는 B가 행성으로부터 가장 먼 지점이다. p에서 A의 가속도의 크기와 q에서 B의 가속도의 크기는 같다.

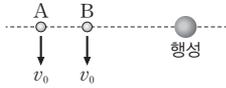


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 위성에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

- 보기
- ㄱ. 행성의 중심으로부터 떨어진 거리는 p와 q가 같다.
 - ㄴ. p에서 A의 속력은 q에서 B의 속력과 같다.
 - ㄷ. 공전 주기는 A가 B보다 크다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

09 [23027-0051] 그림은 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동하는 위성 A, B가 속력 v_0 으로 운동하는 순간의 모습을 나타낸 것이다. A, B의 속력의 최댓값은 v_0 으로 같다.



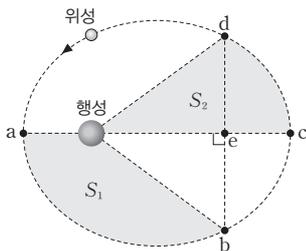
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, 위성에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

보기

- ㄱ. 가속도의 크기의 최댓값은 A와 B가 같다.
- ㄴ. 행성의 중심으로부터 위성의 중심까지의 거리의 최솟값은 A가 B보다 크다.
- ㄷ. 공전 주기는 A가 B보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10 [23027-0052] 그림과 같이 위성이 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동하고 있다. 점 a, c는 위성의 궤도의 두 초점을 잇는 직선상의 지점이고 점 b, d는 궤도상의 지점이며, 점 e는 타원 궤도의 두 초점 중 하나이다. 위성의 중심과 행성의 중심을 이은 선분이 쏘고 지나가는 면적은 위성이 a에서 b까지 가는 동안은 S_1 이고, c에서 d까지 가는 동안은 S_2 이다.



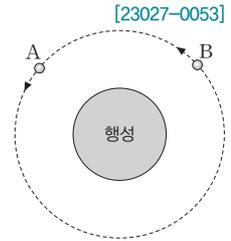
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 위성이 a에서 b로 가는 동안 위성의 속력은 감소한다.
- ㄴ. $S_1 = S_2$ 이다.
- ㄷ. 위성이 b에서 c까지 가는 데 걸리는 시간은 d에서 a까지 가는 데 걸리는 시간보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

11 [23027-0053] 그림과 같이 위성 A, B가 행성을 중심으로 하는 동일한 원 궤도를 따라 운동하고 있다. 질량은 A가 B보다 작다.



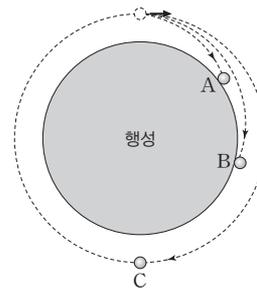
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 위성에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

보기

- ㄱ. 위성에 작용하는 중력의 크기는 A가 B보다 작다.
- ㄴ. 위성의 속력은 A와 B가 같다.
- ㄷ. A가 행성에 작용하는 힘의 크기와 행성이 A에 작용하는 힘의 크기는 같다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

12 [23027-0054] 그림은 행성의 표면으로부터 같은 높이에서 수평 방향으로 던진 세 물체 A, B, C의 경로를 나타낸 것이다. C는 행성을 중심으로 하는 원 궤도를 따라 운동한다.



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

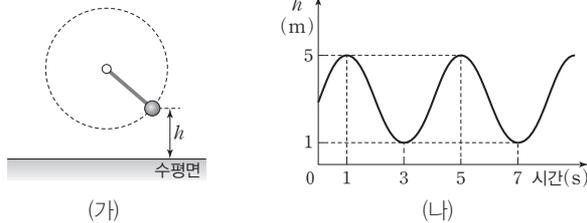
보기

- ㄱ. 던진 순간 속력은 A가 B보다 작다.
- ㄴ. 행성 표면에서 탈출 속도는 C의 속력보다 크다.
- ㄷ. C에 작용하는 구심력의 크기는 C가 행성에 작용하는 중력의 크기보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

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

[23027-0055]



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

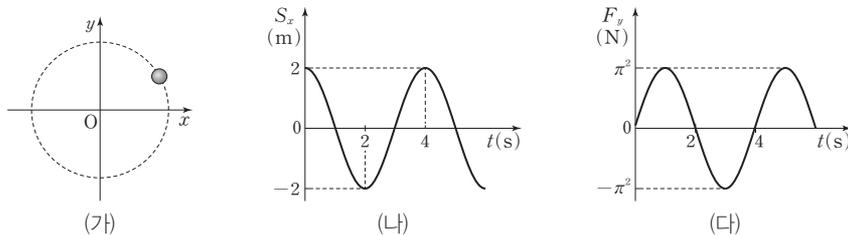
보기

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

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 그림 (가)와 같이 xy 평면에서 물체가 등속 원운동을 하고 있다. 그림 (나), (다)는 각각 물체의 위치의 x 성분 S_x 와 물체에 작용하는 알짜힘의 y 성분 F_y 를 시간 t 에 따라 나타낸 것이다.

[23027-0056]



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

보기

- ㄱ. 물체는 시계 방향으로 원운동을 한다.
- ㄴ. 1초일 때 물체의 속력은 $\frac{\pi}{2} \text{ m/s}$ 이다.
- ㄷ. 물체의 질량은 2 kg 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

물체의 높이가 최대일 때부터 다시 최대가 될 때까지 걸린 시간이 원운동의 주기이다.

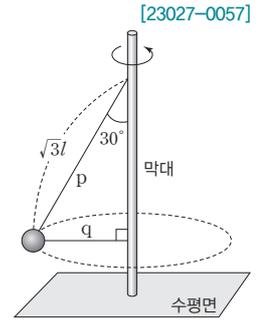
원운동의 반지름은 2 m 이고, 원운동의 주기는 4 초이다.

p가 물체에 작용하는 힘과 q가 물체에 작용하는 힘과 물체에 작용하는 중력의 합력이 물체에 작용하는 구심력이다.

추의 질량이 클수록 고무마개에 작용하는 구심력의 크기가 크고, 유리관 아래 끝과 클립 사이의 간격이 클수록 원운동의 반지름이 작다.

03 그림과 같이 물체가 실 p, q로 막대와 연결되어 수평면과 나란하게 등속 원운동을 한다. p의 길이는 $\sqrt{3}l$ 이고, p가 연직 방향과 이루는 각은 30° 이며, q는 수평면과 나란하다. p, q가 물체에 작용하는 힘의 크기는 같다. 물체의 속력은? (단, 중력 가속도는 g 이고, 물체의 크기, 실의 질량, 막대의 두께는 무시한다.)

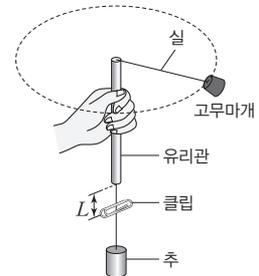
- ① $\sqrt{\frac{gl}{2}}$ ② \sqrt{gl} ③ $\sqrt{\frac{3gl}{2}}$
 ④ $\sqrt{2gl}$ ⑤ $\sqrt{\frac{5gl}{2}}$



04 다음은 원운동의 주기를 측정하는 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 그림과 같이 실을 가는 유리관에 끼워 실의 끝에 고무마개를 매달고 다른 끝에 추를 연결한 후 유리관과 추 사이에 클립을 끼운다.
 (나) 유리관 아래 끝과 클립 사이의 간격 L 을 일정하게 유지하면서 고무마개를 수평면과 나란하게 등속 원운동을 시킨다.
 (다) 고무마개가 10회전하는 데 걸린 시간 T 를 측정한다.
 (라) L 과 추의 질량 M 을 변화시키고 과정 (나), (다)를 반복한다.



[실험 결과]

실험	L	M	T
I	10 cm	200 g	27.0초
II	10 cm	㉠	19.1초
III	㉡	200 g	14.5초

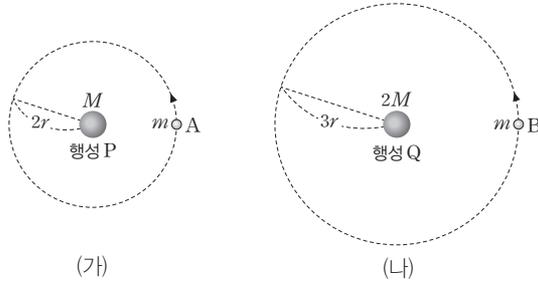
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실의 질량과 모든 마찰은 무시한다.)

㉠ 보기 ㉡

- ㉠. I에서 고무마개의 원운동의 주기는 2.7초이다.
 ㉡. ㉠은 200 g보다 크다.
 ㉢. ㉡은 10 cm보다 크다.

- ① ㉠ ② ㉡ ③ ㉠, ㉡ ④ ㉡, ㉢ ⑤ ㉠, ㉡, ㉢

05 [23027-0059] 그림 (가)는 위성 A가 행성 P를 중심으로 원 궤도를 따라 운동하는 모습을, (나)는 위성 B가 행성 Q를 중심으로 원 궤도를 따라 운동하는 모습을 나타낸 것이다. P, Q의 질량은 각각 $M, 2M$ 이고, A, B의 질량은 m 으로 같으며, A, B의 원 궤도 반지름은 각각 $2r, 3r$ 이다.



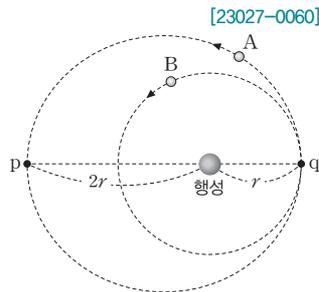
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 가속도의 크기는 A가 B보다 크다.
- ㄴ. 속력은 A가 B의 $\frac{\sqrt{3}}{3}$ 배이다.
- ㄷ. 공전 주기는 A가 B의 $\frac{4}{9}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 그림과 같이 위성 A는 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를, 위성 B는 행성을 중심으로 하는 원 궤도를 따라 운동하고 있다. 점 p, q는 A의 궤도의 두 초점을 지나는 직선상에 있으며, p, q가 행성의 중심으로부터 떨어진 거리는 각각 $2r, r$ 이다. q에서 A, B의 궤도가 접한다.



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

보기

- ㄱ. A의 가속도의 크기는 q에서가 p에서의 2배이다.
- ㄴ. q에서 속력은 A가 B보다 크다.
- ㄷ. 공전 주기는 A가 B의 $\sqrt{\frac{27}{8}}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

위성에 작용하는 중력의 크기는 행성의 질량에 비례하고, 행성의 중심으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다.

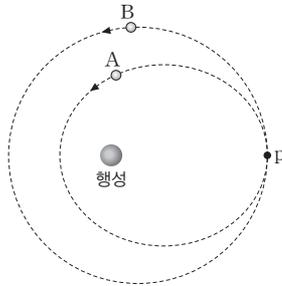
위성의 공전 주기는 공전 궤도 긴반지름의 세제곱근에 비례한다.

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

행성의 질량이 M 이고, 위성이 행성으로부터 떨어진 거리가 r 일 때, 위성의 가속도의 크기는 $a = \frac{GM}{r^2}$ 이다.

[23027-0061]

07 그림과 같이 위성 A, B가 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 각각 운동하고 있다. p는 A, B의 궤도가 접하는 점으로 A, B의 궤도에서 행성의 중심으로부터 가장 먼 지점이고, A의 공전 주기는 T 이다. 표는 A, B에 작용하는 중력의 크기의 최솟값과 최댓값을 나타낸 것이다.



위성	중력의 크기	
	최솟값	최댓값
A	F_0	$9F_0$
B	$4F_0$	$9F_0$

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

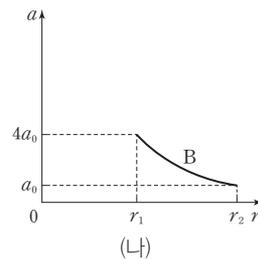
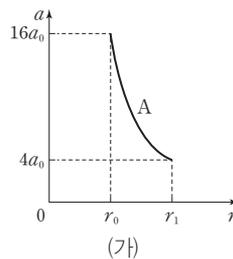
보기

- ㄱ. 질량은 B가 A의 4배이다.
- ㄴ. p에서 운동 에너지는 A가 B보다 작다.
- ㄷ. B의 공전 주기는 $\frac{5\sqrt{5}}{8}T$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[23027-0062]

08 그림 (가), (나)는 각각 위성 A, B가 동일한 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 한 주기 동안 운동할 때, 위성의 가속도의 크기 a 를 행성의 중심으로부터 위성의 중심까지의 거리 r 에 따라 나타낸 것이다.



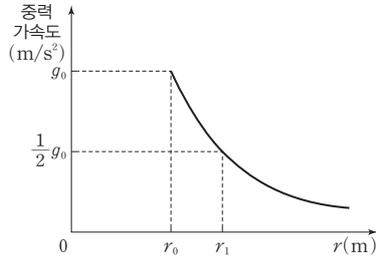
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 위성에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

보기

- ㄱ. $r_2 = 4r_0$ 이다.
- ㄴ. $r = r_1$ 에서 속력은 A가 B보다 크다.
- ㄷ. 공전 주기는 B가 A의 $2\sqrt{2}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

09 [23027-0063] 그림은 어떤 행성에서의 중력 가속도를 행성의 중심으로부터 떨어진 거리 r 에 따라 나타낸 것이다. 행성의 반지름은 r_0 이다.



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

보기

- ㄱ. 물체에 작용하는 중력의 크기는 $r=r_0$ 에서가 $r=r_1$ 에서의 2배이다.
- ㄴ. 행성의 질량은 $\frac{g_0 r_0^2}{G}$ 이다.
- ㄷ. $r_1 = \sqrt{2}r_0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10 [23027-0064] 그림과 같이 물체 A, B를 각각 행성 P, Q의 지표면에서 탈출 속도 v_P, v_Q 로 던진다. 표는 P, Q의 질량과 반지름을 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각 $2m, m$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 행성의 지표면에서 중력 가속도의 크기는 P에서가 Q에서보다 크다.
- ㄴ. 행성의 지표면에서 작용하는 중력의 크기는 A가 B의 2배이다.
- ㄷ. $v_Q = 2v_P$ 이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

질량이 M , 반지름이 R 인 행성의 표면에서 중력 가속도는 $g = \frac{GM}{R^2}$ 이다.

행성의 지표면에서 탈출 속도는 행성의 질량이 클수록 크고, 행성의 반지름이 작을수록 크다.

개념 체크

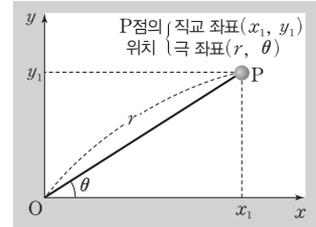
- **관성 좌표계**: 정지 또는 등속도 운동 중인 좌표계
- **가속 좌표계**: 가속도 운동 중인 좌표계
- **관성력**: 가속 좌표계에서 뉴턴 운동 제2법칙을 적용하기 위해 도입한 가상의 힘으로, 관성력의 방향은 계의 가속도의 방향과 반대 방향이다.

1. 지구 주위를 등속 원운동 하는 인공위성 안에 고정된 좌표계는 () 좌표계이다.
2. 가속도의 크기가 a 인 버스 안에서 질량이 m 인 물체에 작용하는 관성력의 크기는 ()이고, 방향은 버스의 가속도의 방향과 () 방향이다.
3. 오른쪽으로 직선 운동을 하는 자동차의 속력이 점점 감소할 때, 자동차 안에 있는 손잡이에 작용하는 관성력의 방향은 () 방향이다.

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, 이 계에 있는 모든 물체는 알짜힘이 0이면 정지해 있거나 등속도 운동을 한다. 즉, 관성 법칙(뉴턴 운동 제1법칙)이 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 m 인 물체에 작용하는 관성력의 크기는 ma 이고, 방향은 계의 가속도와 반대 방향이다.

$$\vec{F}_{\text{관}} = -m\vec{a}$$

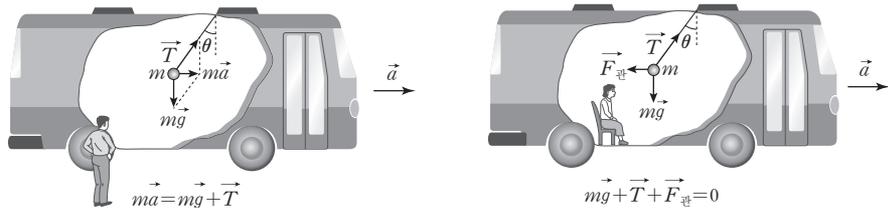
① 가속도 운동을 하는 버스

- 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.

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

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

$$m\vec{g} + \vec{T} + \vec{F}_{\text{관}} = 0$$



(가) 지면에서 있는 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.

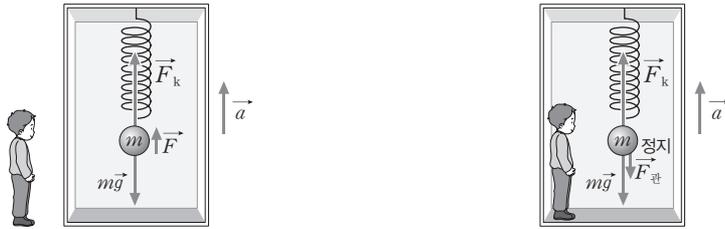
$$m\vec{g} + \vec{F}_k = \vec{F} = m\vec{a}$$

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

$$m\vec{g} + \vec{F}_k + \vec{F}_{\text{관}} = 0$$

정답

1. 가속
2. ma , 반대
3. 오른쪽



(가) 엘리베이터 밖에 정지한 사람이 본 추의 가속도 운동 (나) 엘리베이터 안에 정지한 사람이 본 힘의 평형

탐구자로 살펴보기 엘리베이터에서 몸무게 변화 분석

과정 엘리베이터가 위로 가속될 때, 정지 또는 등속도 운동을 할 때, 아래로 가속될 때 엘리베이터 안에서 체중계를 사용하여 자신의 몸무게를 측정한다.

결과

가속도	크기가 a 이고, 위 방향일 때	없음	크기가 a 이고, 아래 방향일 때
엘리베이터 운동 상태			
	위로 올라가면서 속력 증가, 아래로 내려가면서 속력 감소	정지해 있을 때, 등속도 운동을 할 때	위로 올라가면서 속력 감소, 아래로 내려가면서 속력 증가
관성력	크기: ma , 방향: 아래쪽	작용하지 않음	크기: ma , 방향: 위쪽
사람의 무게	$mg + ma$	mg	$mg - ma$

point

- 엘리베이터의 가속도의 방향이 위쪽이면 사람이나 물체의 무게가 가속되지 않을 때보다 더 크게 측정되고, 엘리베이터의 가속도의 방향이 아래쪽이면 무게가 더 작게 측정된다.
- 가속도의 크기가 a 인 가속 좌표계에서 질량이 m 인 물체에 작용하는 관성력의 크기는 ma 이고, 방향은 계의 가속도와 반대 방향이다.

③ 원운동을 하는 버스

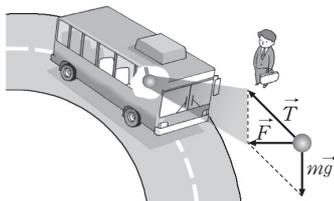
- 버스 밖의 관찰자: 그림 (가)에서 관찰자는 중력 mg 와 줄이 추를 당기는 힘 T 의 합력 F 를 구심력으로 하여 버스와 같은 가속도로 추가 원운동을 하는 것으로 관측한다.

$$mg + T = F = ma$$

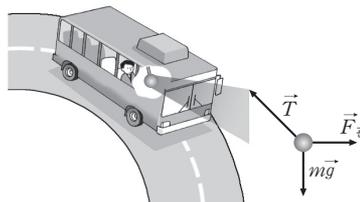
- 버스 안의 관찰자: 그림 (나)에서 관찰자는 추에 작용하는 중력 mg , 줄이 추를 당기는 힘 T , 관성력인 원심력 $F_{\text{관}}$ 이 평형을 이루어 추가 정지해 있는 것으로 관측한다.

$$mg + T + F_{\text{관}} = 0$$

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



(가) 지면에 서 있는 사람이 본 추의 가속도 운동

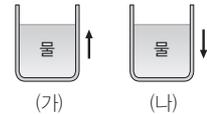


(나) 버스 안에 정지한 사람이 본 힘의 평형

개념 체크

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

[1~2] 그림 (가)는 물이 든 컵을 연직 위로 던져 올린 것을, (나)는 (가)의 물컵이 자유 낙하하는 것을 나타낸 것이다.



1. 컵의 좌표계에서 물에 작용하는 관성력의 방향은 (가)에서와 (나)에서가 서로 같다. (○, ×)
2. 컵의 밑면이 물을 떠받치는 힘의 크기는 (가)에서와 (나)에서보다 크다. (○, ×)
3. 등속 원운동을 하는 좌표계에서 물체에 작용하는 것으로 보이는 관성력을 ()이라고 한다.

정답

1. ○
2. ×
3. 원심력

개념 체크

● **등가 원리:** 관성력과 중력은 구별할 수 없다.

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

1. () 원리는 관성력과 중력은 근본적으로 구별할 수 없다는 원리이다.

2. 텅 빈 우주 공간에서 일정한 가속도 g 로 운동하는 우주선 안에서 가만히 놓은 물체는 우주선 안의 관찰자에게 우주선의 가속도의 방향과 () 방향으로 등가속도 운동을 하는 것으로 관찰된다.

3. 일반 상대성 이론에 따르면 행성의 질량이 클수록 행성 주위의 시공간의 휘어진 정도가 (크다, 작다).

2 등가 원리와 일반 상대성 이론

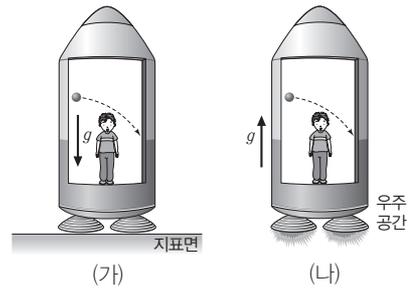
(1) **등가 원리:** 관성력과 중력은 근본적으로 구별할 수 없다는 원리이다.

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

② 그림 (나)와 같이 텅 빈 우주 공간에서 일정한 가속

도 g 로 운동하는 우주선 안에서 물체를 수평 방향으로 던지면 우주선 안의 관찰자에게 물체는 가속도 g 로 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 m 을 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_2 를 중력 질량이라고 한다.

③ **관성 질량과 중력 질량의 관계:** 중력 가속도의 크기가 g 인 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 g 를 가진다는 사실로부터 중력 질량(m_g)과 관성 질량(m_i)은 같다. 이것은 중력에 의한 현상과 관성력에 의한 현상을 구별할 수 없다는 등가 원리로 설명될 수 있다.

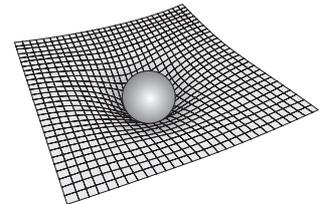
(3) 시공간의 휘어짐과 일반 상대성 이론

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.



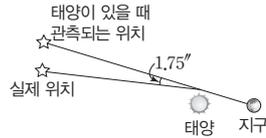
③ **일반 상대성 이론의 증거**

• 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.

정답

1. 등가
2. 반대
3. 크다

- 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 반년 전 관측한 별의 위치를 비교하여 태양 근처에서 빛이 휘어지는 각도는 대략 1.75"로 매우 작지만 관측값에 차이가 있음을 발견하였고, 이는 일식 때 태양 근처를 지나서 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.



개념 체크

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

1. 뉴턴의 중력 법칙은 수성의 세차 운동을 정확하게 설명할 수 있다. (○, ×)
2. 인공위성의 궤도에서 중력은 지표면에서보다 작으므로 인공위성에서의 시간은 지표면에서의 시간보다 () 간다.
3. 블랙홀끼리 충돌하는 과정에서 시공간의 일그러짐이 빛의 속력으로 파동처럼 퍼져 나가는 것을 () 라고 한다.

과학 돋보기 | GPS 위성의 시간 보정

GPS는 4개 이상의 인공위성을 이용하여 거리와 시간을 구함으로써 자동차가 지표면에 있는 위치를 알려준다. 상대성 이론에 의하면 지표면에서와 위성에서의 시간의 흐름이 다르기 때문에 시간을 보정해 주어야만 정확한 위치를 찾을 수 있다.

- 특수 상대성 이론에 의한 시간 보정: 위성은 지표면에서 볼 때 약 4 km/s로 운동하므로 시간 지연에 의해 위성의 시간은 지표면보다 하루에 약 7.1 μs 정도 느리게 간다.
- 일반 상대성 이론에 의한 시간 보정: 위성의 궤도에서 중력은 지표면에서보다 작으므로 위성의 시간은 지표면보다 하루에 약 45.7 μs 정도 빠르게 간다.

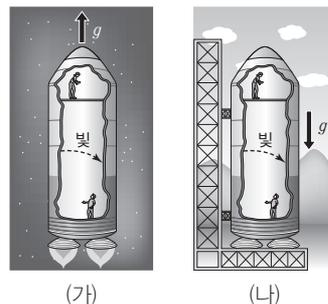
따라서 양쪽의 효과를 고려하면 위성에 있는 시계는 지표면에 있는 시계보다 하루에 약 38.6 μs 정도 빨라진다. 이 시간의 차이를 보정해 주어야 한다.



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.



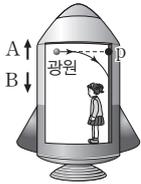
정답

1. ×
2. 빠르게
3. 중력파

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.

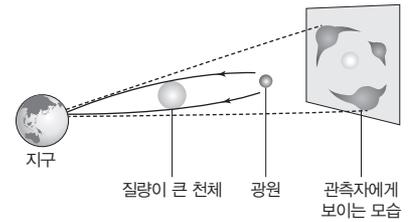
1. 우주 공간에서 등가속도 운동을 하는 우주선 안의 광원에서 점 p를 향해 방출된 빛의 경로가 그림과 같을 때, 우주선의 가속도 방향은 () 방향이다.



2. 별빛이 질량이 큰 천체 A 근처를 지나 지구에 도달할 때, 별의 상이 여러 개로 보이는 것을 () 효과라 하고, 이것은 A 근처의 시공간이 () 있기 때문이다.

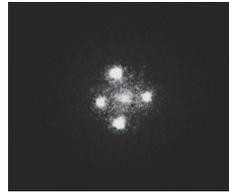
(2) 중력 렌즈 효과

- 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.

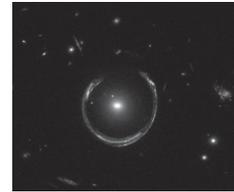


- ② **아인슈타인의 십자가와 아인슈타인의 고리**: 퀘이사

와 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

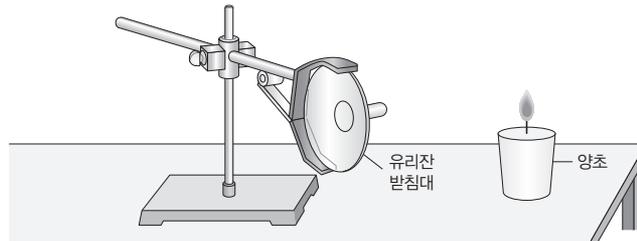


아인슈타인의 고리

탐구자로 살펴보기 중력 렌즈 효과 실험

과정

- (1) 유리잔 받침대를 잘라 렌즈를 만들고 스탠드에 고정한다.
- (2) 유리잔 렌즈를 촛불 앞에 놓고 렌즈로 촛불을 관찰한다.
- (3) 렌즈를 움직이면서 렌즈를 통해 보이는 다양한 촛불의 모습을 관찰한다.



결과



point

• 중력 렌즈 역할을 하는 천체에 의해 먼 별에서 지구로 오는 별 빛이 다양한 형태로 보이는 것처럼 불균일한 유리잔 렌즈를 통해 다양한 촛불의 상을 관측할 수 있다.

정답

1. A
2. 중력 렌즈, 휘어져

4 블랙홀

(1) 천체의 탈출 속도

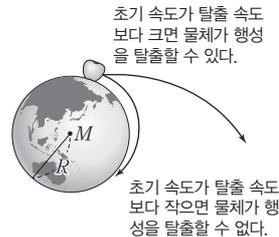
- ① 탈출 속도: 물체가 천체의 중력을 벗어나 무한히 먼 곳까지 가기 위한 최소한의 속도를 탈출 속도라고 한다.
- ② 천체의 질량이 M , 반지름이 R 인 천체 표면에서의 탈출 속도는 $\sqrt{\frac{M}{R}}$ 에 비례한다. 만약 천체의 질량이 일정한데 반지름이 매우 작아지면 탈출 속도는 300,000 km/s보다 커질 수 있으며, 이런 천체는 빛조차 빠져나가지 못하게 한다.

과학 돋보기 | 탈출 속도(Escape Velocity)

천체로부터 무한히 먼 곳에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지를 0으로 정하면, 반지름 R , 질량 M 인 천체의 중심에서 거리 r 만큼 떨어진 곳에 있는 질량 m 인 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 $U = -\frac{GMm}{r}$ (G : 중력 상수)이다. 따라서 천체의 중심으로부터 거리 r 인 곳에서 속도 v 로 운동하는 물체의 역학적 에너지는 다음과 같다.

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

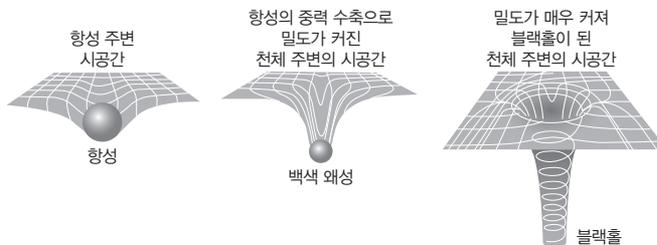
천체 표면에서 탈출 속도 v_e 로 발사된 물체는 천체로부터 멀어져 무한히 먼 곳에서는 속도가 0이 되고, 물체의 중력 퍼텐셜 에너지도 0이므로 $E \geq 0$ 이면 물체는 천체의 중력을 벗어나 무한히 먼 곳으로 탈출할 수 있게 된다. 천체 표면에서 속도 v_e 로 발사된 물체의 역학적 에너지는 $E = \frac{1}{2}mv_e^2 - \frac{GMm}{R} = 0$ 이므로 탈출 속도는 $v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$ 이다. 이 식을 이용하여 계산한 지구 표면에서의 탈출 속도는 약 11.2 km/s이다.



(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 무한히 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.

개념 체크

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

1. 천체의 표면에서 발사된 물체가 천체의 중력을 벗어나기 위한 최소한의 속도를 (㉠)라 하고, 천체의 질량과 반지름을 각각 M , R 라고 할 때 (㉠)는 (㉡)에 비례한다.
2. 질량이 극도로 큰 천체는 시공간을 극단적으로 휘게 만들어 근처를 지나는 빛조차 빠져나가지 못하게 하는데, 이 천체를 ()이라고 한다.
3. 블랙홀에서 탈출 속도는 빛의 속도보다 (), 블랙홀에 가까울수록 시간은 ()간다.

정답

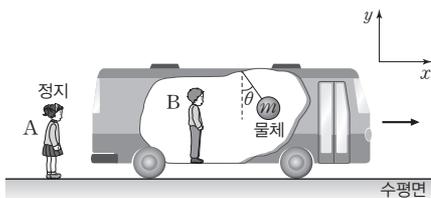
1. ㉠ 탈출 속도, ㉡ $\sqrt{\frac{M}{R}}$
2. 블랙홀
3. 크고, 느리게

01 그림은 수평면에 정지해 있는 관찰자 P와 등가속도 운동을 하고 있는 버스 안에 정지해 있는 관찰자 Q에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?
 ① A ② C ③ A, B ④ B, C ⑤ A, B, C

02 그림과 같이 수평면에 정지해 있는 관찰자 A에 대해 관찰자 B가 탄 버스가 $+x$ 방향으로 운동하고 있다. 버스의 천장에는 질량이 m 인 물체가 실에 매달려 있고, 실과 연직선이 이루는 각은 θ 로 일정하다. 버스의 가속도의 크기는 a 이다.

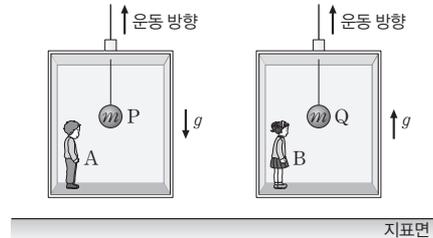


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. A의 좌표계에서 버스의 운동 방향과 가속도의 방향은 같다.
 - ㄴ. A의 좌표계에서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 ma 이다.
 - ㄷ. B의 좌표계에서 물체에 작용하는 관성력의 방향은 $-x$ 방향이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 그림과 같이 학생 A, B가 탑승한 엘리베이터에 질량이 m 으로 같은 물체 P, Q가 실로 천장에 연결되어 있다. 두 엘리베이터는 연직 위 방향으로 운동하고 있고, 각각 연직 아래 방향과 연직 위 방향으로 크기가 g 인 등가속도 운동을 한다.



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

- 보기
- ㄱ. A의 좌표계에서 실이 P에 작용하는 힘의 크기는 mg 이다.
 - ㄴ. P에 연결된 실이 끊어지면 A의 좌표계에서 P는 정지해 있다.
 - ㄷ. B의 좌표계에서 Q에 작용하는 관성력의 크기는 mg 이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 그림과 같이 텅 빈 우주 공간에서 학생 A에 대해 학생 B, C가 탑승한 우주선이 화살표 방향으로 각각 등속 직선 운동, 등가속도 직선 운동을 하고 있다.



B, C가 각각 물체 P, Q를 점 x, y를 향해 발사할 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. A가 관측할 때, P는 x에 도달한다.
 - ㄴ. A가 관측할 때, Q는 직진한다.
 - ㄷ. C가 관측할 때, Q는 y에 도달한다.

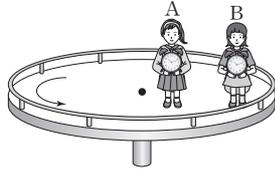
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 다음은 일반 상대성 이론에 대한 보고서이다.

[23027-0069]

[일반 상대성 이론 보고서]

- 질량이 같은 관찰자 A, B는 각각 회전하는 원판에서 있다. 중심으로 부터 거리는 B가 A보다 크다.
- 아인슈타인은 중력을 시공간의 휘어짐과 관련이 있다고 제안하였다.
- 각각의 좌표계에서 관성력의 크기는 B가 A보다 .
- 에 따르면 중력과 관성력은 구분할 수 없다.
- 시간은 B에서가 A에서보다 간다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. '크다'는 ㉠으로 적절하다.
- ㄴ. '등가 원리'는 ㉡으로 적절하다.
- ㄷ. '느리게'는 ㉢으로 적절하다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 그림은 타원은하 A의 뒤에 있는 푸른 은하의 빛이 관찰자에게 도달할 때 둥근 고리 모양으로 보이는 것을 나타낸 것이다.

[23027-0070]



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

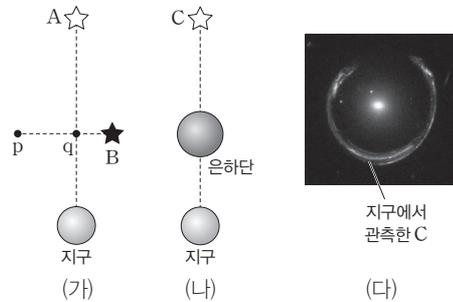
보기

- ㄱ. A 주위의 시공간이 휘어져 있기 때문에 나타나는 현상이다.
- ㄴ. 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있는 현상이다.
- ㄷ. 은하 주위의 시공간의 휘어진 정도는 은하의 질량과 관계가 없다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 그림 (가)는 지구에서 관측할 때 렌즈 역할을 하는 어두운 별 B가 q에 있을 때가 p에 있을 때보다 별 A의 밝기가 더 밝게 관측되는 것을, (나)는 은하단 뒤에 있는 은하 C를 지구에서 관측했다니 (다)와 같이 보이는 것을 나타낸 것이다.

[23027-0071]



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

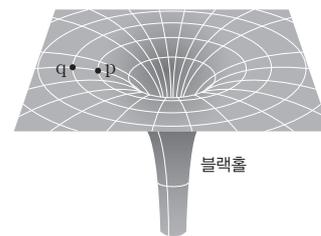
보기

- ㄱ. (가)는 B가 빛의 경로를 휘게 하기 때문이다.
- ㄴ. (나)에서 은하단 주위의 시공간은 휘어져 있다.
- ㄷ. (다)는 중력 렌즈 효과로 설명할 수 있다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 그림은 블랙홀 주위의 시공간을 모식적으로 나타낸 것으로, p, q는 블랙홀 주위의 한 지점이다. 빛이 q를 지날 때는 블랙홀 옆을 지나간다.

[23027-0072]



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

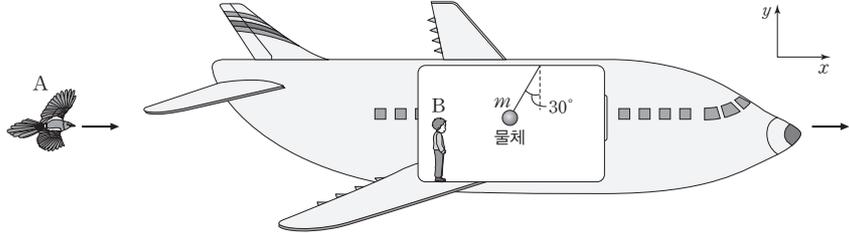
- ㄱ. 시공간의 휘어진 정도는 p에서가 q에서보다 크다.
- ㄴ. 시간은 p에서가 q에서보다 빠르게 간다.
- ㄷ. 블랙홀 주위의 시공간의 휘어짐은 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

실과 연직선이 이루는 각이 30° 로 일정하므로 비행기는 등가속도 운동을 하고, 가속도의 크기는 $g \tan 30^\circ$ 이다.

[23027-0073]

01 그림과 같이 비행기와 나란한 방향으로 일정한 속도로 운동하는 비둘기 A에 대해 관찰자 B가 탄 비행기가 $+x$ 방향으로 운동한다. 비행기의 천장에는 질량이 m 인 물체가 실에 매달려 있고, 실과 연직선이 이루는 각은 30° 로 일정하다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g 이고, 실의 질량과 공기 저항은 무시한다.)

보기

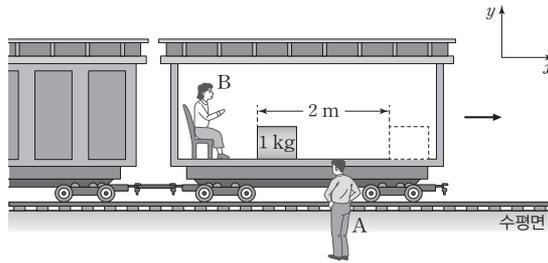
- ㄱ. A의 좌표계에서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\frac{1}{\sqrt{3}}mg$ 이다.
- ㄴ. 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 A의 좌표계에서와 B의 좌표계에서가 같다.
- ㄷ. 실이 끊어졌을 때, B의 좌표계에서 운동하는 물체의 가속도 크기는 g 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

기차의 가속도의 크기를 a , 물체의 질량을 m 이라고 하면 물체에 작용하는 관성력의 크기는 ma 이다.

[23027-0074]

02 그림과 같이 수평면에 정지해 있는 관찰자 A에 대해 $+x$ 방향으로 등가속도 운동을 하는 기차 안에 관찰자 B가 정지해 있다. B의 좌표계에서 시간 $t=0$ 일 때 마찰이 없는 수평한 기차 바닥에 정지해 있던 질량이 1 kg 인 물체가 등가속도 운동을 하여 $t=1$ 초일 때까지 $-x$ 방향으로 2 m 만큼 운동하였다.



$t=0$ 일 때부터 $t=1$ 초일 때까지, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기와 공기 저항은 무시한다.)

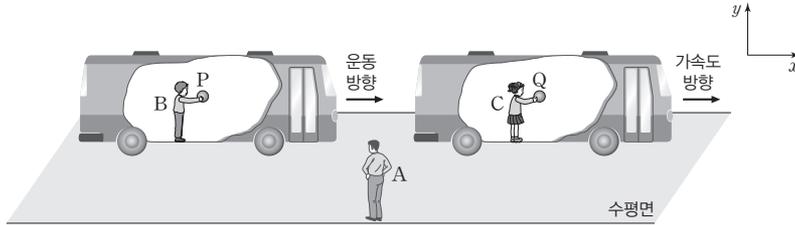
보기

- ㄱ. A의 좌표계에서 기차의 가속도의 크기는 4 m/s^2 이다.
- ㄴ. A의 좌표계에서 물체는 등가속도 운동을 한다.
- ㄷ. B의 좌표계에서 물체에 작용하는 관성력의 크기는 4 N 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 그림과 같이 수평면에 정지해 있는 관찰자 A에 대해 $+x$ 방향으로 각각 등속도 운동, 등가속도 직선 운동을 하는 자동차 안에 관찰자 B, C가 서 있다.

[23027-0075]



자동차가 운동하는 동안 B와 C가 물체 P와 Q를 각각 가만히 놓은 순간부터 바닥에 도달할 때까지, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 공기 저항은 무시한다.)

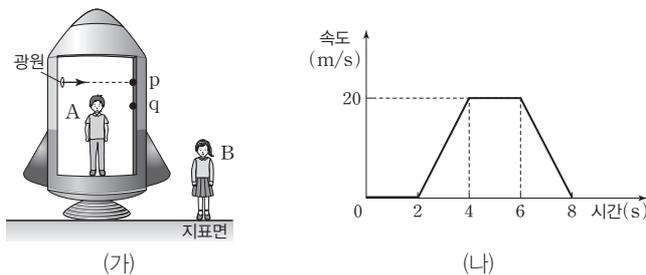
보기

- ㄱ. A의 좌표계에서 P는 포물선 운동을 한다.
- ㄴ. B의 좌표계에서 Q에 작용하는 알짜힘은 중력이다.
- ㄷ. C의 좌표계에서 Q는 등가속도 직선 운동을 한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 그림 (가)는 학생 A가 탄 우주선과 학생 B가 지표면에 정지해 있는 것을, (나)는 (가)의 우주선이 정지 상태에서 출발하여 연직 위 방향으로 운동할 때, B가 측정한 우주선의 속도를 시간에 따라 나타낸 것이다. A가 관찰할 때 광원에서는 p를 향해 빛을 발사하고 있고, 1초일 때 광원에서 발사된 빛은 q에 도달한다.

[23027-0076]



1초일 때 광원에서 p를 향해 발사된 빛이 q에 도달한 것은 중력에 의해 시공간이 휘어져 있기 때문이다.

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

보기

- ㄱ. A가 관찰할 때, 3초일 때 광원에서 발사된 빛은 q 아래쪽에 도달한다.
- ㄴ. B가 관찰할 때, 5초일 때 광원에서 발사된 빛은 직선 경로를 따라 운동한다.
- ㄷ. A가 관찰할 때, 7초일 때 광원에서 발사된 빛은 p 위쪽에 도달한다.

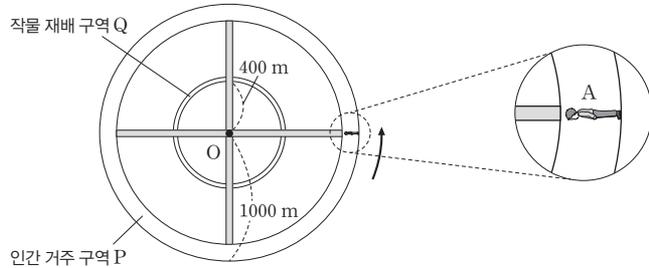
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

원운동을 하는 물체의 구심력의 크기는 $\frac{mv^2}{r}$ 이고, 구심 가속도의 크기는 $\frac{v^2}{r}$ 이다.

A에 작용하는 힘은 1초일 때는 중력과 관성력의 방향이 서로 같고, 3초일 때는 중력과 관성력의 방향이 서로 반대이다.

[23027-0077]

05 그림과 같이 우주 공간에 있는 인간 거주용 우주 정거장이 회전축 O를 중심으로 회전하고 있다. O에서 인간 거주 구역 P, 작물 재배 구역 Q까지의 거리는 각각 1000 m, 400 m이다. P에 거주하는 학생 A의 인공 중력 가속도는 10 m/s^2 이다.



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

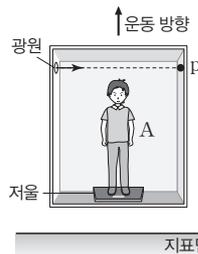
보기

- ㄱ. A의 좌표계에서, A에 작용하는 관성력의 방향은 O를 향하는 방향이다.
- ㄴ. O의 좌표계에서, A의 속력은 100 m/s 이다.
- ㄷ. P에서의 시간은 Q에서의 시간보다 느리게 간다.

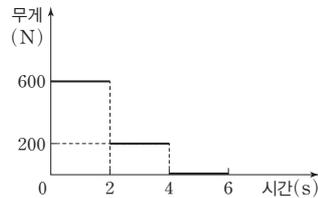
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[23027-0078]

06 그림 (가)는 연직 위 방향으로 운동하는 우주선 안에서 질량이 40 kg 인 학생 A의 무게를 저울로 측정하는 모습을, (나)는 (가)에서 저울에서 측정되는 무게를 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

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

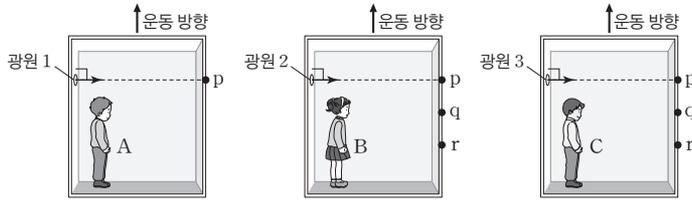
보기

- ㄱ. 1초일 때, A의 좌표계에서 A에 작용하는 관성력의 크기는 200 N 이다.
- ㄴ. 3초일 때, 지표면의 좌표계에서 우주선의 운동 방향과 가속도의 방향은 같다.
- ㄷ. A가 관찰할 때, 5초일 때 광원에서 점 p를 향해 발사한 빛은 p의 아래쪽에 도달한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 그림과 같이 텅 빈 우주 공간에서 일정한 속도로 운동하는 학생 A가 탑승한 우주선에 대해 학생 B, C가 탑승한 우주선이 각각 등가속도 운동을 하고 있다. B, C가 관찰할 때 우주선 내부의 광원 2, 3에서 각각 검출기 p를 향해 발사한 빛은 각각 검출기 q, r에 도달한다.

[23027-0079]



우주선의 가속도의 크기가 클수록 광원에서 발사한 빛이 휘어지는 정도는 크다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

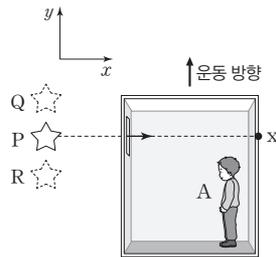
보기

- ㄱ. A가 관찰할 때, 광원 1에서 p를 향해 발사된 빛은 p 아래에 도달한다.
- ㄴ. B가 관찰할 때, 광원 2에서 발사된 빛은 휘어진다.
- ㄷ. A의 좌표계에서 우주선의 가속도 크기는 C가 탑승한 우주선보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 그림은 $+y$ 방향으로 속력이 증가하며 등가속도 운동을 하는 우주선 안에 있는 학생 A가 별 P를 관측하는 것을 나타낸 것으로, P에서 방출된 빛은 x를 향해 진행한다. P가 관측되는 겉보기 위치는 Q 또는 R이다.

[23027-0080]



등가 원리에 따라 별빛은 중력 또는 관성력이 작용하는 방향으로 휘어진다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. A가 관찰할 때, P에서 방출된 빛은 우주선 안에서 $-y$ 방향으로 휘어진다.
- ㄴ. P의 겉보기 위치는 R이다.
- ㄷ. 우주선의 속도가 같을 때, 우주선의 가속도의 크기가 클수록 P의 실제 위치와 겉보기 위치의 차이가 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

태양 주위의 시공간이 휘어져 있으므로 평상시에 관측되는 별의 위치와 일식 때 관측되는 별의 위치에는 차이가 생긴다.

질량에 의해 시공간이 휘어지고, 질량이 클수록 시공간의 휘어진 정도도 크다.

[23027-0081]

09 다음은 학생이 작성한 탐구 보고서의 일부이다.

[㉠ 탐구 보고서] 작성자: ○○○

1. 고정된 망원경으로 평상시 밤과 일식 때 별 A를 관찰하고, 일식 때 태양의 위치를 기준으로 관찰한 별의 위치를 표시한다. P, Q는 평상시 밤과 일식 때 관찰한 A의 위치를 순서 없이 나타낸 것이다.

2. ㉠ A의 위치가 다르게 나타나는 까닭을 분석한다.

⋮

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

ㄱ. '중력 렌즈 효과'는 ㉠으로 적절하다.
 ㄴ. 일식 때 관측된 A의 위치는 Q이다.
 ㄷ. ㉠은 태양 주위의 시공간이 휘어져 있기 때문이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[23027-0082]

10 다음은 중력파 검출에 대한 신문기사 내용이다.

[○○ 신문] 기자: ○○○

미국의 라이고(LIGO) 연구단과 유럽의 비르고(Virgo) 연구단이 지구로부터 160억 광년 떨어진 곳에서 ㉠ 태양 질량의 85배인 블랙홀과 ㉡ 태양 질량의 65배인 블랙홀이 병합되는 과정에서 발생한 중력파를 검출하였습니다. 이로써 아인슈타인의 [㉢]이 옳다는 것이 다시 한번 입증되었습니다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

ㄱ. ㉠에 가까울수록 시간은 느리게 간다.
 ㄴ. 시공간을 휘게 하는 정도는 ㉠이 ㉡보다 크다.
 ㄷ. '일반 상대성 이론'은 ㉢으로 적절하다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

1 일과 운동 에너지

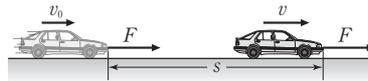
(1) **일:** 물체가 일직선을 따라 거리 s 만큼 움직이는 동안 크기가 F 인 일정한 힘이 운동 방향과 θ 의 각을 이루며 작용했을 때, 그 힘이 물체에 한 일은 다음과 같다.



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

(2) 일·운동 에너지 정리

① **일·운동 에너지 정리:** 질량 m 인 물체에 일정한 알짜힘(합력) F 를 작용하여 힘의 방향으로 거리 s 만큼 이동시킬 때, 알짜힘 F 가 한 일은 다음과 같이 구한다.



$$W = F s = m a s \quad \dots \text{㉠}, \quad 2 a s = v^2 - v_0^2 \quad \dots \text{㉡}$$

㉡에서 $a s = \frac{v^2 - v_0^2}{2}$ 이므로 ㉠에 대입하면 W 는 다음과 같다.

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

➔ 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.

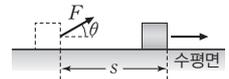
개념 체크

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

1. 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 물체의 () 변화량과 같다.

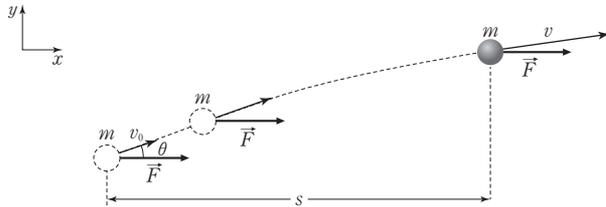
2. 마찰이 없는 수평면에 정지해 있는 물체를 수평 방향으로 10 N의 일정한 알짜힘으로 5 m만큼 이동시켰을 때, 물체의 운동 에너지는 () J이다.

3. 그림과 같이 마찰이 없는 수평면에서 정지한 물체에 크기가 F 인 힘을 작용하여 물체를 힘의 방향과 θ 의 각으로 s 만큼 이동시켰을 때, 물체의 운동 에너지가 50 J이면 힘이 한 일은 () J이다. (단, 공기 저항은 무시한다.)



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 x 축에 대해 θ 의 각을 이루며 처음 속도 v_0 로 운동하는 질량 m 인 물체에 x 축과 나란하게 일정한 알짜힘 \vec{F} 가 작용할 때, 알짜힘이 물체에 한 일을 구해 보자.



① 물체가 x 축 방향으로 거리 s 만큼 이동했을 때 속력을 v , 이때 x 축 방향의 속도 성분을 v_x , 가속도의 크기를 a 라고 하면 x 축 방향의 물체의 처음 속도 성분은 $v_0 \cos \theta$ 이므로 등가속도 직선 운동에서 $2 a s = v_x^2 - (v_0 \cos \theta)^2$ 이다.

② y 축 방향의 속도 성분 v_y 는 물체의 이동 거리와 관계없이 $v_0 \sin \theta$ 로 일정하다. 따라서 $v^2 = v_x^2 + v_y^2 = (v_0 \cos \theta)^2 + 2 a s + (v_0 \sin \theta)^2 = v_0^2 + 2 a s$ 가 성립한다.

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

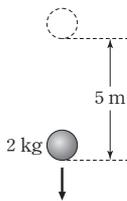
정답

1. 운동 에너지
2. 50
3. 50

개념 체크

● **중력이 한 일**: 물체가 자유 낙하 할 때, 중력이 물체에 일을 해 준만큼 물체의 운동 에너지가 증가한다.

[1~3] 그림은 질량이 2 kg 인 물체를 자유 낙하시켰더니 물체가 연직 아래 방향으로 5 m 이동한 것을 나타낸 것이다. (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이다.)



1. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 () N이다.
2. 물체가 5 m 이동하는 동안 중력이 한 일은 () J이다.
3. 물체가 5 m 이동하는 동안 운동 에너지는 () J만큼 증가한다.

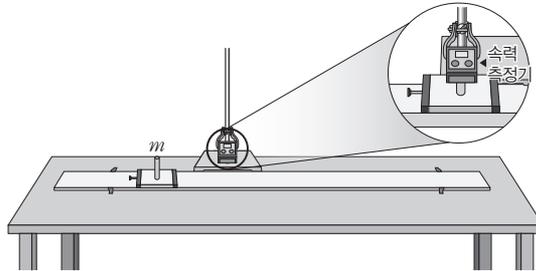
정답

1. 20
2. 100
3. 100

탐구자료 살펴보기 일 · 운동 에너지 관계 확인

과정

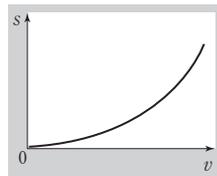
(1) 그림과 같이 속력 측정기를 설치하고, 질량 m 인 수레를 손으로 밀어 수레가 속력 측정기를 지난 후 멈출 수 있도록 한다.



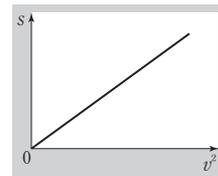
- (2) 수레가 속력 측정기를 지날 때의 수레의 속력 v 와 속력 측정 지점으로부터 수레가 멈추는 지점까지 거리 s 를 측정한다.
- (3) 속력 측정기에서 측정되는 수레의 속력이 여러 값으로 측정되도록 수레를 미는 힘의 크기를 다르게 하여 과정 (2)를 5회 이상 반복한다.

결과

• v 와 s 의 관계 그래프와 v^2 과 s 의 관계 그래프



v 와 s 의 관계 그래프



v^2 과 s 의 관계 그래프

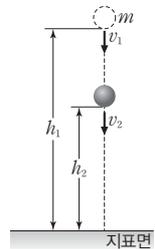
point

• 알짜힘이 일정할 때, 수레가 멈출 때까지 이동한 거리(s)는 수레의 처음 속력의 제곱(v^2)에 비례한다.

2 알짜힘이 하는 일

(1) 중력이 한 일: 질량 m 인 물체가 자유 낙하 할 때 물체에는 크기가 mg 인 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_2 가 되었을 때 속력을 각각 v_1, v_2 라고 하면, 등가속도 운동에서 $2g(h_1 - h_2) = v_2^2 - v_1^2$ 이므로 물체에 작용하는 중력이 한 일은 다음과 같다.

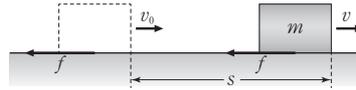


$$W = mg(h_1 - h_2) = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = \Delta E_k$$

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

(2) 마찰력이 한 일: 수평면에서 속력 v_0 으로 운동하던 질량 m 인 물체에 크기가 f 로 일정한 마찰력이 알짜힘으로 작용한다.

- ① 물체가 거리 s 만큼 이동하는 동안 마찰력이 한 일은 $W = -fs$ 이다.
- ② 물체가 s 만큼 이동하였을 때 속력을 v , 가속도의 크기를 a 라고 하면, 등가속도 운동에서 $-2as = v^2 - v_0^2$ 이다.



$a = \frac{f}{m}$ 이므로 $W = -fs = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = \Delta E_k$ 이다.

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

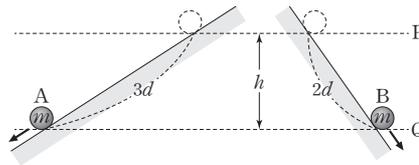
개념 체크

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

탐구자료 살펴보기 경사각이 다른 빗면에서 물체에 작용하는 힘이 한 일

자료

그림과 같이 질량이 m 으로 같은 물체 A, B를 경사각이 다른 빗면의 기준선 P에 가만히 놓았더니 A, B가 빗면을 따라 각각 $3d$, $2d$ 만큼 운동하여 기준선 Q를 지난다. P, Q의 높이차는 h 이고, 중력 가속도는 g 이다.



분석

(1) 마찰이 없는 경우

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

→ $F_A : F_B = 2 : 3$ 이라는 것을 알 수 있다.

(2) A에 크기가 f 로 일정한 마찰력이 작용하여 운동 에너지의 변화량이 $\frac{2}{3}mgh$ 인 경우

	알짜힘의 크기	알짜힘의 방향으로 이동한 직선 거리	알짜힘이 물체에 한 일	운동 에너지의 변화량
빗면을 따라 운동할 때	A	$F_A - f$	$3(F_A - f)d$	$\frac{2}{3}mgh$
	B	F_B	$2F_B d$	mgh

→ 마찰에 의한 역학적 에너지 감소량은 $\frac{1}{3}mgh$ 임을 알 수 있다.

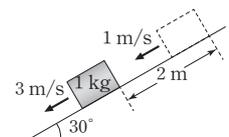
point

• 경사각이 주어지지 않았을 때 두 빗면의 길이의 비를 알면 가속도의 크기 비를 알 수 있고, 두 빗면의 가속도의 크기 비를 알면 빗면의 길이의 비를 알 수 있다.

1. 마찰이 없는 수평면에서 4 m/s의 속력으로 운동하던 질량이 2 kg인 물체가 마찰이 있는 수평면 구간을 통과한 후 속력이 2 m/s가 되었을 때, 마찰력이 한 일은 () J이다. (단, 공기 저항은 무시한다.)

2. 높이가 같고, 경사각이 다른 마찰이 없는 두 빗면의 길이의 비가 2 : 3일 때, 빗면에서 각각 등가속도 운동을 하는 물체의 가속도의 크기 비는 ()이다.

3. 그림과 같이 질량이 1 kg인 물체가 마찰이 있는 빗면을 따라 2 m 이동하는 동안 알짜힘이 한 일은 () J, 중력이 한 일은 () J, 마찰력이 한 일은 () J이다. (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이고, 공기 저항은 무시한다.)



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 m 인 물체를 속력 v_0 , 발사 각도 θ 로 발사하여 물체가 포물선 운동을 한다고 하자. 물체를 발사한 수평면을 중력 퍼텐셜 에너지의 기준면으로 하면, 발사 지점에서 물체의 역학적 에너지(E_0)는 다음과 같다.

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

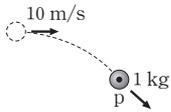
정답

- 1. -12
- 2. 3 : 2
- 3. 4, 10, -6

개념 체크

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

[1~2] 그림은 질량이 1 kg 인 물체를 수평 방향으로 10 m/s의 속력으로 던졌더니 물체가 포물선 운동을 하여 1초 후 점 p를 지나는 것을 나타낸 것이다. (단, 중력 가속도는 10 m/s²이다.)



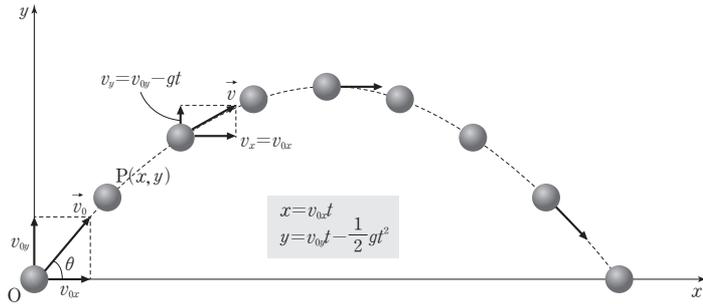
수평면

1. 0부터 1초까지 중력이 한 일은 () J이다.

2. p에서 물체의 운동 에너지는 () J이다.

② 임의의 시간 t 일 때 운동 에너지 $K(t)$: 시간 t 에서 속도의 수평 방향 성분을 v_x , 연직 방향 성분을 v_y 라고 할 때 v_x, v_y 는 각각 다음과 같다.

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



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 t 일 때 중력 퍼텐셜 에너지 $U(t)$: 시간 t 에서 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.

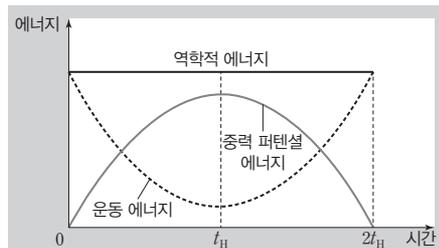
$$U(t) = mgy = mg\{(v_0 \sin \theta)t - \frac{1}{2}gt^2\}$$

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

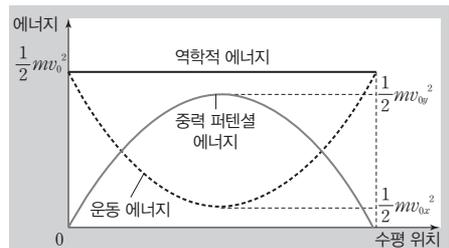
$$\begin{aligned} E(t) &= K(t) + U(t) = \frac{1}{2}mv^2 + mgy \\ &= \frac{1}{2}m\{(v_0 \cos \theta)^2 + (v_0 \sin \theta - gt)^2\} + mg\{(v_0 \sin \theta)t - \frac{1}{2}gt^2\} \\ &= \frac{1}{2}mv_0^2 = E_0 \end{aligned}$$

→ 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

정답

- 1. 50
- 2. 100

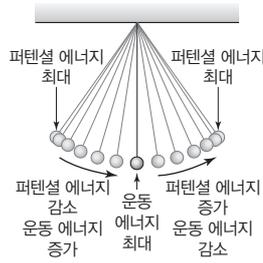
4 단진자와 역학적 에너지

(1) 단진자의 역학적 에너지

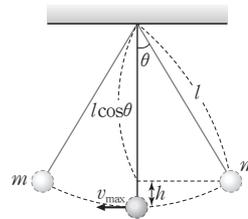
① 단진자 운동과 역학적 에너지: 질량을 무시할 수 있는 줄에 작은 물체를 매달고 연직 방향에 대해 줄을 기울였다가 놓으면 물체가 연직면에서 왕복 운동하는데, 이를 단진자라고 한다. 공기 저항과 마찰을 무시하면 단진자의 역학적 에너지는 보존된다.

➔ 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.



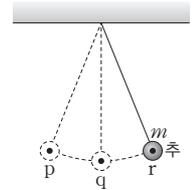
② 최저점에서 진자의 속력 v_{\max} : 그림과 같이 길이 l , 질량 m 인 단진자를 진폭 θ 로 진동시킬 때, 최저점에서 중력 퍼텐셜 에너지를 0으로 하면, 최저점과 최고점의 높이차가 h 이므로 최고점에서 역학적 에너지는 $mgh = mgl(1 - \cos\theta)$ 이고, 최저점에서 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}mv_{\max}^2$ 이므로 $\frac{1}{2}mv_{\max}^2 = mgl(1 - \cos\theta)$ 에서 $v_{\max} = \sqrt{2gl(1 - \cos\theta)}$ 이다.



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.

[1~3] 그림은 실에 매달린 질량이 m 인 추가 단진동하는 것을 나타낸 것으로, p와 r는 최고점이고 q는 최저점이다. p와 q의 높이차는 h 이다. (단, 중력 가속도는 g 이고, 실의 질량은 무시한다.)

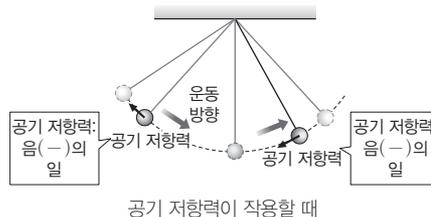
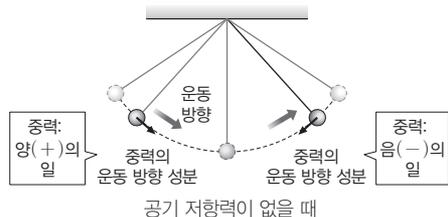


1. p와 q에서 추의 역학적 에너지는 ()이다.
2. q에서 추의 운동 에너지는 ()이다.
3. 추가 q에서 r까지 운동하는 동안 실이 당기는 힘이 추에 한 일은 ()이다.



과학 돋보기 | 진자에 작용하는 힘이 한 일과 역학적 에너지

1. 역학적 에너지가 보존될 때 진자에 작용하는 힘: 공기 저항이나 마찰을 무시하면 단진자에 작용하는 힘은 중력과 줄이 물체를 당기는 힘(장력)뿐이다.
 - ① 중력이 한 일: 진자가 최저점을 향해 내려갈 때는 중력의 운동 방향 성분과 운동 방향이 같은 방향이므로 중력은 진자에 양(+)의 일을 한다. 반대로 진자가 최저점을 지나 올라갈 때는 중력의 운동 방향 성분과 운동 방향이 반대 방향이므로 중력은 진자에 음(-)의 일을 한다.
 - ② 줄이 물체를 당기는 힘(장력)이 한 일: 장력은 항상 진자의 운동 방향과 수직으로 작용한다. 따라서 장력이 진자에 하는 일은 0이다. ➔ 공기 저항이나 마찰이 없을 때는 중력이 진자에 한 일만 고려하면 된다. 진자가 한 번 진동하는 동안 중력이 진자에 한 양(+)의 일과 음(-)의 일이 상쇄되므로 중력이 진자에 한 일은 0이다. 따라서 진자의 역학적 에너지는 보존된다.
2. 공기 저항력이 한 일: 공기 저항력은 항상 운동 방향과 반대 방향으로 작용하므로 공기 저항력이 진자에 한 일은 항상 음(-)이다. 따라서 공기 저항력이 작용할 때 진자의 역학적 에너지는 보존되지 않는다.



정답

1. 같다
2. mgh
3. 0

개념 체크

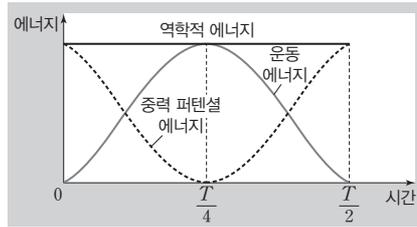
● 진폭 θ 가 충분히 작아야만 단진자가 단진동을 하므로 단진동하는 단진자라고 상황이 제시되었을 경우, 별도의 언급이 없어도 진폭 θ 가 충분히 작다고 전제한다.

1. 단진동하는 단진자에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 옳지 않은 것은 ×로 표시하시오.

- (1) 단진자의 질량이 클수록 주기가 크다. ()
- (2) 실이 길이가 길수록 주기가 크다. ()
- (3) 단진자의 진폭이 클수록 주기가 크다. ()

2. 중력 가속도가 지구의 4배인 행성에서 단진동하는 단진자의 주기는 지구에서의 ()배이다.

(2) 단진자 운동의 에너지-시간 그래프: 주기가 T 인 단진자에 대해 시간에 따른 역학적 에너지는 다음과 같다.



(3) 단진동하는 단진자의 주기: 진폭 θ 가 매우 작은 경우 단진자의 주기는 진자의 길이에만 의존한다.

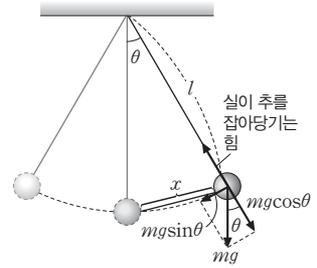
① 추에 작용하는 힘: θ 가 매우 작으므로 그림에서 $\sin\theta = \frac{x}{l}$ 이다.

추에 작용하는 접선 방향의 힘은 $F = -mgsin\theta = -\frac{mg}{l}x$

이다. 여기서 (-)부호는 복원력이 변위와 반대 방향임을 의미한다.

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

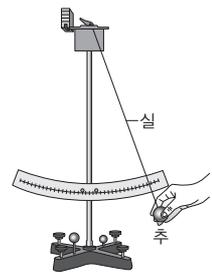
③ 진자의 등시성: 단진자의 주기는 추의 질량이나 진폭에 관계없이 진자의 길이에만 관계가 있다.



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 10° 로 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 5° , 15° , 30° 로 바꾸어 가면서 과정 (2)를 반복한다.
- (5) 진자의 길이를 1.0 m, 진폭을 10° 로 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
5°	2.00 s
15°	2.01 s
30°	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 일정하다.

정답

- 1. (1) × (2) ○ (3) ×
- 2. $\frac{1}{2}$

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·°C, kcal/kg·K, kcal/kg·°C

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

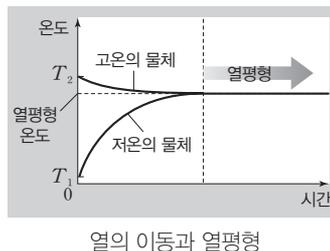
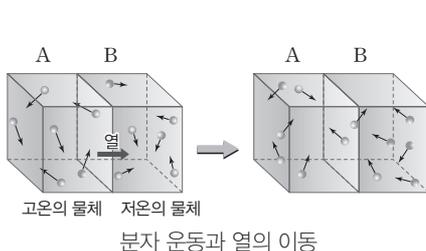
실온에서 여러 가지 물질의 비열

- 열용량(C): 어떤 물체의 온도를 1 K 높이는 데 필요한 열량을 의미한다.
 - 질량 m 인 물체의 열용량 C 와 비열 c 의 관계는 다음과 같다. $\rightarrow C=cm$
 - 열용량의 단위 : J/K, J/°C, kcal/K, kcal/°C

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 Q 는 다음과 같다.

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



개념 체크

- **비열:** 어떤 물질 1 kg의 온도를 1 K 높이는 데 필요한 열의 양이다.
- **열용량:** 어떤 물체의 온도를 1 K 높이는 데 필요한 열의 양이다.

1. 고온의 물체에서 ()의 물체로 이동한 열에너지의 양을 ()이라고 한다.
2. 어떤 물체의 온도를 1 K 높이는 데 필요한 열량을 ()이라고 한다.
3. 비열이 클수록 물질 1 kg의 온도를 1 K 높이는 데 필요한 열에너지의 양이 ()이다.

정답

1. 저온, 열량
2. 열용량
3. 많다

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(ΔU)과 계가 외부에 해 준 일(W)의 합과 같다.

1. 일이 열로 전환되는 예로 옳은 것은 ○, 옳지 않은 것은 ×로 표시하십시오.

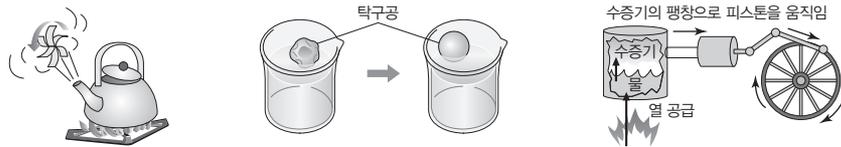
- (1) 망치로 못을 내리치면 망치와 못의 온도가 올라간다. ()
- (2) 찌그러진 탁구공을 뜨거운 물속에 넣으면 원래 모양으로 되돌아온다. ()
- (3) 모래가 들어 있는 통을 여러 번 흔들면 모래의 온도가 올라간다. ()

2. 기체에 공급한 열량을 Q, 내부 에너지 변화량을 ΔU, 기체가 한 일을 W라고 할 때, Q=()이다.

(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 기체의 열에너지가 증가하고, 이로 인해 분자 운동이 활발해진 기체가 탁구공 안쪽 표면을 밀어내는 일을 하여 원래 모양으로 퍼진다.
- 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(ΔU)과 계가 외부에 해 준 일(W)의 합과 같다.

$$Q = \Delta U + W$$

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 > 0이다.

물리량	(+)	(-)
Q	열 흡수	열 방출
ΔU	내부 에너지 증가	내부 에너지 감소
W	외부에 일을 함	외부에서 일을 받음

정답

- 1. (1) ○ (2) × (3) ○
- 2. ΔU + W

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 W 와 열량계 속에서 회전 날개와 물의 마찰로 발생한 열량 Q 사이에는 다음 관계가 성립한다.

$$W = JQ$$

- ① 비례 상수 J 를 열의 일당량이라고 하며, 그 값은 $J = 4.2 \times 10^3 \text{ J/kcal}$ 이다.
- 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. 줄은 물에 역학적으로 일을 해 주었을 때 온도가 변하는 것을 통해 ()이 에너지의 한 형태라는 것을 증명하였다.
2. 줄의 실험에서 추가 한 일 W 와 발생한 열량 Q 사이에 $W = JQ$ 의 관계가 성립할 때, J 를 ()이라고 한다.
3. $J = 4.2 \times 10^3 \text{ J/kcal}$ 는 1 kcal의 열에너지가 ()의 역학적 에너지에 해당함을 의미한다.

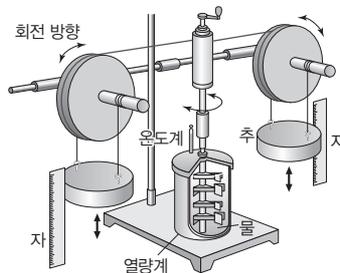
탐구자로 살펴보기 줄의 실험과 열의 일당량

과정

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 °C 높아졌을 때, 추가 낙하하는 동안 감소한 역학적 에너지와 마찰에 의해 발생한 열량을 구해 보자. (단, 중력 가속도는 9.8 m/s², 물의 비열 c 는 1 kcal/kg·°C이다.)

- 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 °C



결과

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

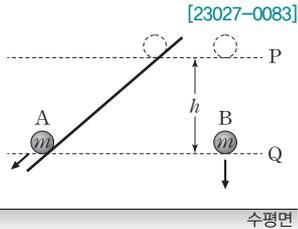
point

- 추가 낙하하는 동안 감소한 역학적 에너지는 중력이 한 일과 같고, 중력이 추에 한 일 W 는 열량계에서 회전 날개와 물의 마찰로 인해 발생한 열량 Q 와 같다.
- 1 kcal의 열량에 해당하는 역학적 에너지는 $4.2 \times 10^3 \text{ J}$ 이다.

정답

1. 열
2. 열의 일당량
3. 4.2 kJ

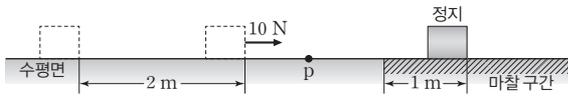
01 그림은 질량이 m 으로 같은 물체 A, B를 기준선 P에서 동시에 가만히 놓았더니 A, B가 각각 등가속도 운동을 하여 기준선 Q를 지나는 것을 나타낸 것이다. P, Q는 수평면과 나란하고, 높이차는 h 이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g 이고, 물체의 크기와 모든 마찰은 무시한다.)



- 보기
- ㄱ. Q에서 운동 에너지는 A와 B가 같다.
 - ㄴ. P에서 Q까지 운동하는 동안 알짜힘이 한 일은 B가 A보다 크다.
 - ㄷ. A의 운동 에너지가 $\frac{1}{2}mgh$ 일 때, B의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mgh$ 이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 그림과 같이 수평면에 정지해 있는 물체를 수평 방향으로 10 N의 일정한 힘으로 2 m만큼 당긴 후 놓았더니, 물체가 수평면상의 점 p를 지나 일정한 크기의 마찰력이 작용하는 마찰 구간에서 1 m 이동한 후 정지하였다.

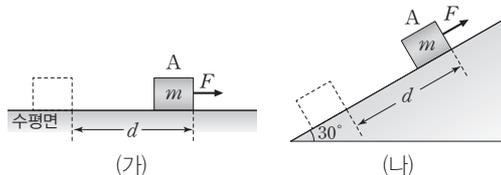


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간을 제외한 모든 마찰은 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. p에서 물체의 운동 에너지는 20 J이다.
 - ㄴ. 물체가 마찰 구간에서 운동하는 동안 마찰력이 한 일은 물체의 운동 에너지의 변화량과 같다.
 - ㄷ. 마찰 구간에서 운동하는 동안 물체에 작용하는 마찰력의 크기는 20 N이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 그림 (가), (나)는 수평면과 경사각이 30° 인 경사면에서 질량이 m 인 정지 상태의 물체 A를 각각 크기가 F 인 일정한 힘으로 운동 방향과 나란한 방향으로 d 만큼 당기는 것을 나타낸 것이다. A가 정지 상태에서 d 만큼 운동하는 동안 운동 에너지의 변화량은 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.



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

- 보기
- ㄱ. A에 작용하는 알짜힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.
 - ㄴ. F 는 mg 이다.
 - ㄷ. (나)에서 A가 d 만큼 운동하는 동안 A의 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량은 mgd 이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

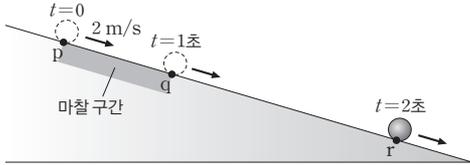
04 그림은 마찰이 없는 수평면에 정지해 있는 물체 A와 실로 연결된 물체 B를 수평 방향으로 크기가 F 인 일정한 힘으로 당기며 A, B가 d 만큼 이동했을 때 실이 끊어진 것을 나타낸 것이다. A, B의 질량은 같다.



실이 끊어진 후 A가 $2d$ 만큼 이동할 때까지 크기가 F 인 힘이 B에 한 일은? (단, 물체의 크기, 실의 질량과 공기 저항은 무시한다.)

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

05 [23027-0087] 그림과 같이 시간 $t=0$ 일 때 점 p 를 2 m/s 의 속력으로 지난 질량이 1 kg 인 물체가 등속도 운동을 하여 $t=1$ 초일 때 점 q 를 지난 후 등가속도 운동을 하여 $t=2$ 초일 때 점 r 를 지난다. p, q, r 는 경사면 위의 점이다. q 와 r 사이의 거리는 p 와 q 사이의 거리의 2배이고, p 와 q 사이에는 마찰력이 작용한다.

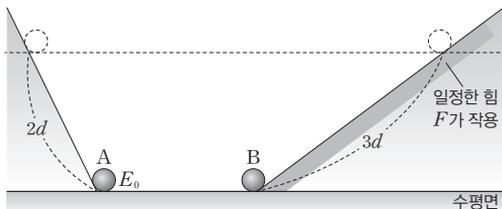


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이고, 물체의 크기와 마찰 구간을 제외한 모든 마찰은 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. 마찰 구간에서 물체에 작용하는 마찰력의 크기는 4 N 이다.
 - ㄴ. 물체가 q 에서 r 까지 운동하는 동안 물체의 중력 퍼텐셜 에너지의 감소량은 16 J 이다.
 - ㄷ. p 와 r 사이의 높이차는 2.4 m 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

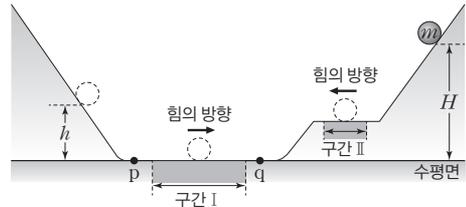
06 [23027-0088] 그림은 질량이 같은 물체 A, B 를 경사각이 다른 경사면의 같은 높이에서 동시에 가만히 놓았더니, 각각 등가속도 운동을 하여 경사면을 따라 $2d, 3d$ 만큼 이동한 후 수평면에 동시에 도달한 것을 나타낸 것이다. 수평면에 도달 직전 A 의 운동 에너지는 E_0 이다. 경사면에서 운동하는 동안 B 에는 중력 외에 경사면에 나란한 일정한 힘 F 가 작용한다.



B 가 경사면을 따라 이동하여 수평면에 도달할 때까지 F 가 한 일은? (단, 물체의 크기와 모든 마찰은 무시한다.)

- ① $\frac{6}{5}E_0$ ② $\frac{5}{4}E_0$ ③ $\frac{4}{3}E_0$ ④ $\frac{3}{2}E_0$ ⑤ $\frac{9}{4}E_0$

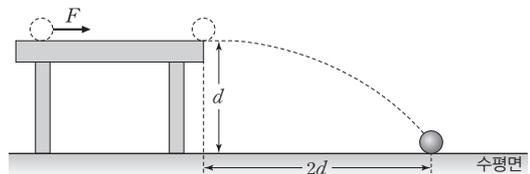
07 [23027-0089] 그림은 수평면으로부터 높이 h 인 지점에서 질량이 m 인 물체를 가만히 놓았더니, 물체가 수평면상의 점 p, q 와 구간 I, II 를 지난 후 높이 H 인 지점에서 정지한 순간을 나타낸 것이다. I, II 에서는 각각 운동 방향과 운동 방향의 반대 방향으로 크기가 같은 힘이 작용하고, 구간의 길이는 I 가 II 에서의 2배이다. 물체의 속력은 q 에서 p 에서의 2배이다.



물체가 I 를 통과하는 동안 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일 W 와 H 는? (단, 중력 가속도는 g 이고, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

- | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | $\frac{W}{H}$ | $\frac{W}{H}$ | $\frac{W}{H}$ | $\frac{H}{H}$ |
| ① | $3mgh$ | $2h$ | ② | $3mgh$ $2.5h$ |
| ③ | $3mgh$ | $3h$ | ④ | $4mgh$ $2h$ |
| ⑤ | $4mgh$ | $2.5h$ | | |

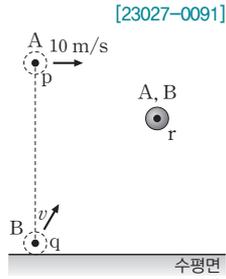
08 [23027-0090] 그림과 같이 높이가 d 인 수평한 책상면에 정지해 있는 물체를 수평 방향의 일정한 힘 F 로 당긴 후 놓았더니, 물체가 책상 끝을 지나 포물선 운동을 하여 수평 방향으로 $2d$ 만큼 이동한 후 수평면에 도달하였다.



책상 위에 정지해 있던 물체가 운동하여 수평면에 도달할 때까지 F 와 중력이 한 일을 각각 W_1, W_2 라고 할 때, $\frac{W_1}{W_2}$ 은? (단, 물체의 크기와 모든 마찰은 무시한다.)

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

09 그림과 같이 점 p에서 물체 A를 수평 방향으로 10 m/s의 속력으로 던지는 순간 점 q에서 물체 B를 v 의 속력으로 던졌더니, A, B가 포물선 운동을 하여 1초 후에 점 r에서 충돌하였다. A, B의 질량은 1 kg으로 같고, r에서 충돌 직전 A, B의 운동 에너지는 같다.

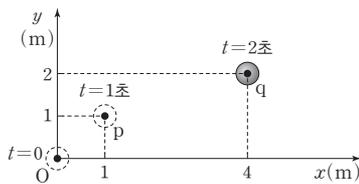


p, q는 동일 연직선상에 있다.
 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
 (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이고, 물체의 크기는 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. v 는 $10\sqrt{5} \text{ m/s}$ 이다.
 - ㄴ. p와 q 사이의 거리는 20 m이다.
 - ㄷ. 물체를 던진 순간부터 r에서 충돌할 때까지 운동 에너지의 변화량은 B가 A의 4배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10 그림과 같이 시간 $t=0$ 일 때 원점 O에서 발사한 질량이 1 kg인 물체가 등가속도 운동을 하여 $t=1$ 초, $t=2$ 초일 때 xy 평면상의 점 p, q를 지난다.

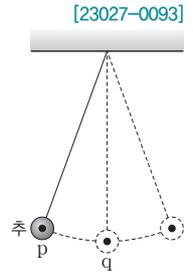


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
 (단, 물체의 크기는 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. O에서 물체의 속력은 1 m/s이다.
 - ㄴ. p에서 물체의 운동 에너지는 $\frac{5}{2} \text{ J}$ 이다.
 - ㄷ. 물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 알짜힘이 한 일은 8 J이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

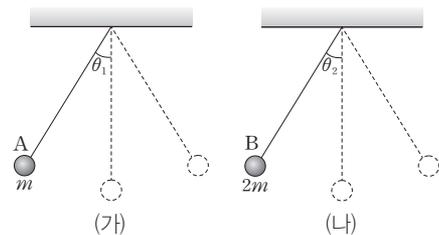
11 그림은 점 p에서 가만히 놓은 실에 연결된 추가 최저점 q를 지나 단진동을 하는 모습을 나타낸 것이다. p에서 가만히 놓은 물체가 처음 q에 도달하는 데 걸리는 시간은 t_0 이다.
 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실의 질량과 추의 크기는 무시한다.)



- 보기
- ㄱ. 단진동의 주기는 $4t_0$ 이다.
 - ㄴ. 추가 p에서 q까지 운동하는 동안 추의 운동 에너지는 증가한다.
 - ㄷ. 추의 역학적 에너지는 p에서가 q에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

12 그림 (가), (나)와 같이 질량이 각각 m , $2m$ 인 추 A, B가 길이가 같은 실에 연결되어 단진동을 한다. 실이 연직 방향과 이루는 최대각은 각각 θ_1 , θ_2 이다. A, B의 운동 에너지의 최댓값은 같다.

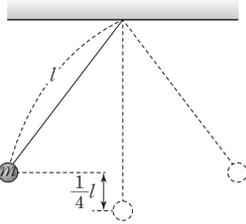


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
 (단, 실의 질량과 추의 크기는 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. $\theta_1 > \theta_2$ 이다.
 - ㄴ. 주기는 A가 B보다 크다.
 - ㄷ. 최고점에서 최저점까지 내려오는 동안 추에 작용하는 알짜힘이 한 일은 A가 B보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

13 그림은 길이가 l 인 실에 질량이 m 인 추가 연결되어 단진동하는 모습을 나타낸 것이다. 추의 최고점과 최저점의 높이차는 $\frac{1}{4}l$ 이다.



추가 최저점을 지나는 순간 실이 추를 당기는 힘의 크기는? (단, 중력 가속도는 g 이고, 실의 질량, 추의 크기는 무시한다.)

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

14 그림은 찌그러진 탁구공을 뜨거운 물에 넣었더니 원래대로 돌아온 것과 일정한 힘으로 당긴 물체가 마찰면을 지나간 후 마찰면이 뜨거워진 것을 보고 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



뜨거운 물에 넣은 탁구공이 원래대로 돌아온 것은 열이 일로 전환되었기 때문이야.
 마찰면이 뜨거워진 것은 힘이 한 일의 일부가 열로 전환되었기 때문이야.
 탁구공이 원래대로 돌아오는 과정에서 열은 물에서 탁구공으로 이동해.



학생 A



학생 B

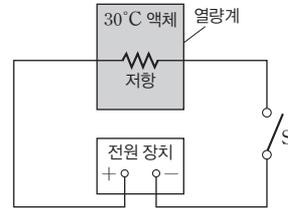


학생 C

제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A ② C ③ A, B ④ B, C ⑤ A, B, C

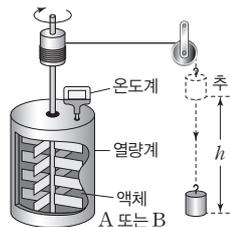
15 그림은 직류 전원 장치, 스위치 S, 저항이 들어 있는 단열된 열량계가 연결된 회로를 나타낸 것으로, 열량계에는 온도가 30°C 인 액체가 가득 채워져 있다. 액체의 질량은 0.5 kg 이고, 비열은 $1\text{ kcal/kg}\cdot^\circ\text{C}$ 이다.



S를 닫은 후 액체의 온도가 50°C 가 될 때까지 저항에서 발생한 열에너지는? (단, 열의 일당량은 4.2 kJ/kcal 이고, 저항에서 발생한 열은 모두 액체의 온도 변화에만 사용된다.)

- ① 21 kJ ② 42 kJ ③ 63 kJ ④ 84 kJ ⑤ 105 kJ

16 그림은 열량계에 질량이 500 g 이고 온도가 20°C 인 액체 A 또는 B가 들어 있는 줄의 실험 장치에서 추를 가만히 놓았더니 추가 일정한 속력으로 h 만큼 낙하한 것을, 표는 추의 질량이 21 kg , 42 kg 일 때 추가 h 만큼 낙하한 후, A, B의 온도를 나타낸 것이다. A의 비열은 $1\text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$ 이다.



액체	추의 질량	
	21 kg	42 kg
A	20.1°C	
B	20.2°C	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 (보기)에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 , 열의 일당량은 4.2 J/cal 이고, 실의 질량은 무시하며, 추의 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량은 모두 액체의 온도 변화에만 사용된다.)

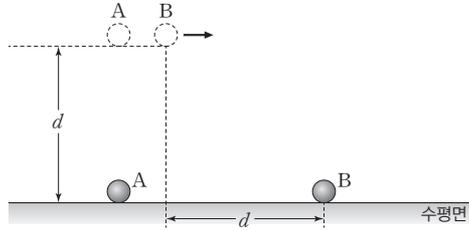
보기
 ㄱ. h 는 1 m이다.
 ㄴ. B의 비열은 $0.5\text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$ 이다.
 ㄷ. ㉠은 20.3°C 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

중력이 작용하는 공간에서 수평 방향과 나란하게 던진 물체는 수평 방향으로 등속도 운동을, 연직 방향으로 등가속도 운동을 한다.

[23027-0099]

01 그림과 같이 수평면으로부터 높이 d 인 지점에서 물체 A를 가만히 놓은 순간, 물체 B를 수평 방향으로 던졌더니 A와 B가 각각 등가속도 운동을 하여 수평면에 도달하였다. B의 수평 이동 거리는 d 이고, A와 B의 질량은 같다.



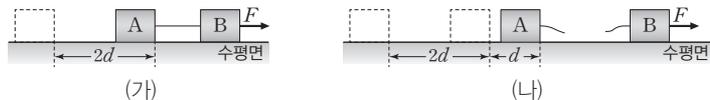
수평면에 도달하는 순간 A, B의 운동 에너지를 각각 E_A, E_B 라고 할 때, $\frac{E_B}{E_A}$ 는? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

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

마찰력의 크기가 f 인 마찰이 있는 수평면에서 물체에 일정한 크기의 힘 F 가 작용할 때 알짜힘은 $F - f$ 이고, 이때 알짜힘이 한 일 $W = (F - f)d$ 는 운동 에너지의 변화량인 ΔE_k 와 같다.

[23027-0100]

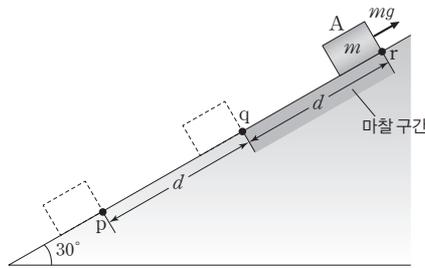
02 그림 (가)는 마찰이 있는 수평면에서 정지해 있는 물체 A와 실로 연결된 물체 B를 수평 방향으로 크기가 F 인 일정한 힘으로 당겼더니 A, B가 등가속도 운동을 하여 $2d$ 만큼 이동한 순간의 모습을, (나)는 (가)의 순간 실이 끊어진 후 A가 d 만큼 이동한 후 정지한 것을 나타낸 것이다. A, B의 질량은 같고, A, B에 작용하는 마찰력의 크기는 같다.



(나)에서 A가 정지한 순간 B의 운동 에너지는? (단, 물체의 크기와 실의 질량은 무시한다.)

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

03 [23027-0101] 그림은 경사각이 30° 인 경사면의 점 p에 정지해 있는 질량이 m 인 물체 A를 경사면과 나란한 방향으로 크기가 mg 인 힘으로 당기는 것을 나타낸 것이다. p, q, r는 경사면 위의 점이다. 물체는 p, q 사이에서는 등가속도 운동을 하고, 마찰력이 작용하는 q, r 사이에서는 등속도 운동을 한다. p, q와 q, r 사이의 거리는 d 로 같다.



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

보기

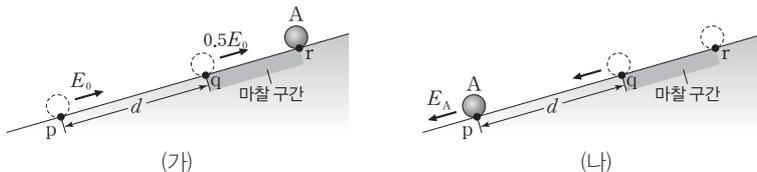
ㄱ. q에서 A의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mgd$ 이다.

ㄴ. 마찰 구간에서 A에 작용하는 마찰력의 크기는 $\frac{1}{4}mg$ 이다.

ㄷ. A가 p에서 r까지 운동하는 동안 A의 역학적 에너지의 변화량은 mgd 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 [23027-0102] 그림 (가)는 물체 A가 경사면의 점 p를 지나 점 q를 통과하여 최고점 r에 도달한 것을, (나)는 (가)의 r에서 정지한 A가 운동하여 q와 p를 지나는 것을 나타낸 것이다. 일정한 크기의 마찰력이 작용하는 qr 구간에서 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 3배이다. A의 운동 에너지는 (가)에서 p, q를 지날 때는 각각 E_0 , $0.5E_0$ 이고, (나)에서 p를 지날 때는 E_A 이다.



E_A 는? (단, 물체의 크기, 공기 저항, qr 구간의 마찰을 제외한 모든 마찰은 무시한다.)

- ① $\frac{1}{4}E_0$ ② $\frac{1}{3}E_0$ ③ $\frac{1}{2}E_0$ ④ $\frac{2}{3}E_0$ ⑤ $\frac{3}{4}E_0$

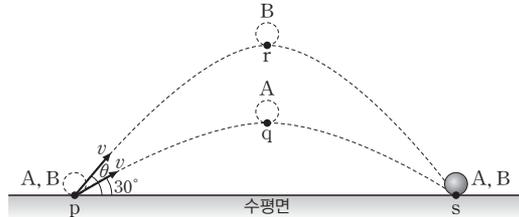
경사각이 θ 인 마찰 구간에서 경사면과 나란한 방향으로 물체에 작용하는 힘은 경사면 아래로 작용하는 힘 $mg\sin\theta$ 와 운동 방향과 반대 방향으로 작용하는 마찰력이 있다.

물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지의 변화량과 같다.

물체를 던지는 각이 θ 일 때와 $90^\circ - \theta$ 일 때 수평 도달 거리가 같다.

[23027-0103]

05 그림과 같이 물체 A, B를 수평면의 점 p에서 각각 수평면과 30° , θ 의 각을 이루는 방향으로 속력 v 로 던졌더니 각각 포물선 운동을 하여 최고점 q, r를 지난 후 수평면의 점 s에 도달한다. A, B의 질량은 m 으로 같다.



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

보기

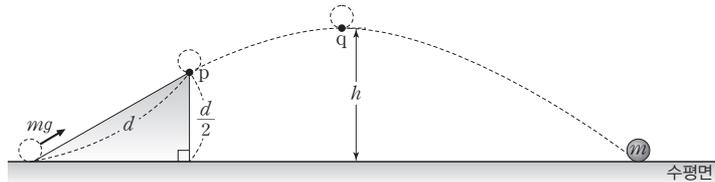
- ㄱ. p와 s 사이의 거리는 $\frac{\sqrt{3}v^2}{2g}$ 이다.
- ㄴ. A가 p에서 q까지 운동하는 동안 A의 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량은 $\frac{1}{4}mv^2$ 이다.
- ㄷ. q와 r의 높이차는 $\frac{v^2}{2g}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

경사면의 길이와 높이의 비가 2:1일 때 경사각은 30° 이다.

[23027-0104]

06 그림은 경사면의 길이가 d , 높이가 $\frac{d}{2}$ 인 경사면의 시작점에 정지해 있는 질량이 m 인 물체를 경사면과 나란한 방향으로 크기가 mg 인 힘으로 d 만큼 당겼더니 물체가 점 p를 지난 후 포물선 운동을 하여 점 q를 지나 수평면에 도달한 것을 나타낸 것이다. p는 경사면의 끝점, q는 포물선 경로상의 최고점이다.



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

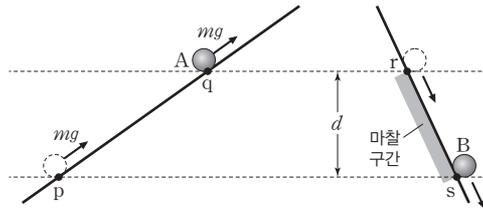
보기

- ㄱ. 물체가 경사면에서 d 만큼 운동하는 동안 물체의 역학적 에너지의 변화량은 mgd 이다.
- ㄴ. h 는 $\frac{5}{8}d$ 이다.
- ㄷ. 수평면에 도달하는 순간 물체의 운동 에너지는 mgd 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 그림과 같이 점 p에 정지해 있는 물체 A를 경사면과 나란한 방향으로 크기가 mg 인 힘으로 점 q까지 당겼더니 q에서 물체의 운동 에너지가 mgd 가 되었고, 점 r를 지난 물체 B가 점 s를 통과할 때 운동 에너지가 mgd 가 되었다. A, B의 질량은 m 이다. p, q와 r, s의 높이차는 d 로 같고, p, q 사이 거리는 r, s 사이 거리의 $\frac{4}{3}$ 배이다. A가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간은 B가 r에서 s까지 운동하는 데 걸린 시간의 2배이다.

[23027-0105]



물체에 작용하는 중력 이외의 외부 힘이 한 일은 물체의 역학적 에너지를 변화시킨다.

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

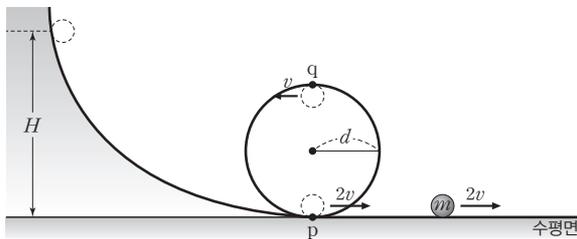
보기

- ㄱ. p와 q 사이의 거리는 $2d$ 이다.
- ㄴ. r에서 B의 운동 에너지는 $\frac{1}{4}mgd$ 이다.
- ㄷ. 마찰 구간에서 B에 작용하는 마찰력의 크기는 $\frac{1}{6}mg$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 그림과 같이 수평면으로부터 높이 H 인 지점에서 질량이 m 인 물체를 가만히 놓았더니 물체가 레일을 따라 운동하여 원형 레일의 최저점 p, 최고점 q를 각각 속력 $2v, v$ 로 지난 후 수평한 레일을 따라 속력 $2v$ 로 운동한다. 원형 레일의 반지름은 d 이고, q에서 물체가 레일을 미는 힘의 크기는 F 이다.

[23027-0106]



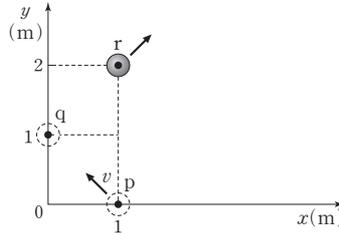
물체가 q를 지날 때 물체에 작용하는 알짜힘은 구심력이다.

H 와 F 는? (단, 중력 가속도는 g 이고, 물체의 크기와 모든 마찰 및 공기 저항은 무시한다.)

- | | | |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| $\frac{H}{F}$ | $\frac{H}{F}$ | $\frac{H}{F}$ |
| ① $\frac{8}{3}d$ $\frac{1}{3}mg$ | ② $\frac{8}{3}d$ $\frac{1}{2}mg$ | ③ $\frac{8}{3}d$ $\frac{2}{3}mg$ |
| ④ $\frac{9}{4}d$ $\frac{1}{3}mg$ | ⑤ $\frac{9}{4}d$ $\frac{1}{2}mg$ | |

q를 중심으로 p, r는 상하 대칭을 이루므로 가속도의 방향은 +x 방향이다.

09 그림은 시간 $t=0$ 일 때 p에서 속력 v 로 발사한 질량이 2 kg인 물체가 등가속도 운동을 하며 $t=1$ 초일 때 q를 지나 $t=2$ 초일 때 r를 통과하는 모습을 나타낸 것이다. p, q, r는 xy 평면상의 점이다.



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

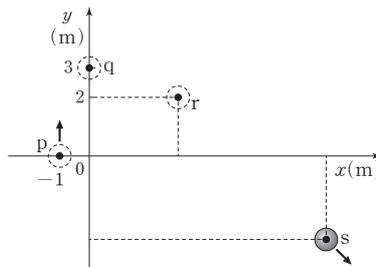
보기

- ㄱ. v 는 $\sqrt{5}$ m/s이다.
- ㄴ. 물체가 p에서 r까지 운동하는 동안 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 0이다.
- ㄷ. 3초일 때 물체의 운동 에너지는 16 J이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

xy 평면에서 운동하는 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 시작점과 끝점의 운동 에너지의 변화량과 같다.

10 그림과 같이 질량이 1 kg인 물체를 시간 $t=0$ 일 때 점 p에서 +y 방향으로 발사하였더니 물체가 xy 평면에서 등가속도 운동을 하며 $t=1$ 초, $t=2$ 초일 때 각각 점 q, r를 지난 후 $t=3$ 초일 때 점 s를 통과한다.

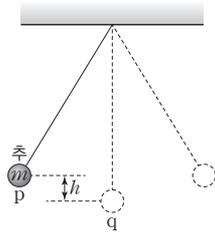


물체가 q에서 s까지 운동하는 동안 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

- ① 16 J ② 20 J ③ 32 J ④ 40 J ⑤ 80 J

11 그림은 질량이 m 인 추가 실에 연결되어 단진동하는 모습을 나타낸 것이다. p와 q는 각각 추의 최고점과 최저점이고, 높이차는 h 이다.

[23027-0109]



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

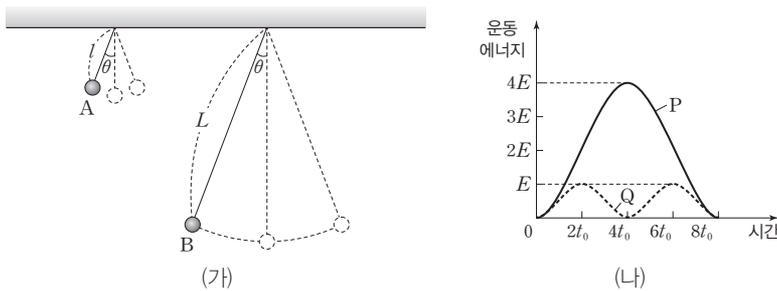
보기

- ㄱ. 추는 p에서 q까지 등가속도 운동을 한다.
- ㄴ. q에서 추의 운동 에너지는 mgh 이다.
- ㄷ. q에서 추의 운동 방향과 알짜힘의 방향은 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

12 그림 (가)는 길이가 각각 l, L 인 실에 연결된 질량이 같은 추 A, B가 실과 연직선이 이루는 최대 각이 θ 가 되게 단진동하는 모습을 나타낸 것이고, (나)의 P, Q는 A, B의 운동 에너지를 시간에 따라 순서 없이 나타낸 것이다. $L > l$ 이다.

[23027-0110]



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

보기

- ㄱ. A의 주기는 $8t_0$ 이다.
- ㄴ. $L=4l$ 이다.
- ㄷ. 0부터 $4t_0$ 까지 실이 B를 당기는 힘이 한 일은 $4E$ 이다.

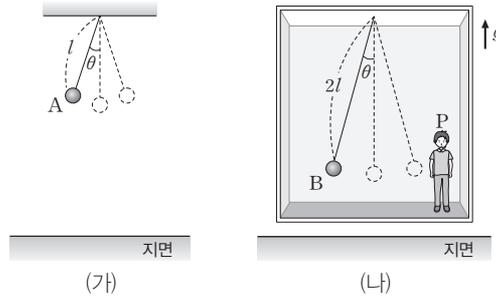
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

단진동하는 추의 역학적 에너지는 보존되고, 중력 퍼텐셜 에너지가 감소하는 만큼 운동 에너지가 증가한다.

실과 연직선이 이루는 최대각이 같을 때 추의 최고점과 최저점의 높이차는 실의 길이에 비례한다.

단진동하는 추의 운동은 원운동의 일부로 볼 수 있으므로 최저점에서 알짜힘은 구심력이다.

13 [23027-0111] 그림 (가)는 추 A가 길이가 l 인 실에 연결되어 단진동하는 모습을 나타낸 것으로, A의 주기는 T , 운동 에너지의 최댓값은 E , 최저점에서 실이 A를 당기는 힘의 크기는 F 이다. 그림 (나)는 학생 P가 탑승한 우주선 안에서 추 B가 길이가 $2l$ 인 실에 연결되어 단진동하는 모습을 나타낸 것으로, 우주선은 연직 위 방향으로 크기가 g 인 가속도로 운동한다. 질량은 A가 B의 2배이고, 실이 연직 방향과 이루는 최대 각은 θ 로 같다.



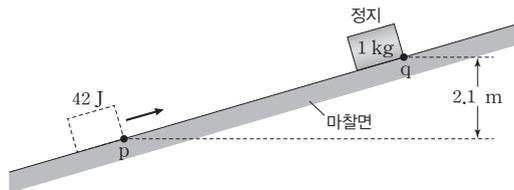
P의 좌표계에서, B에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g 이고, 실의 질량과 추의 크기는 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. 주기는 $\sqrt{2}T$ 이다.
 - ㄴ. 운동 에너지의 최댓값은 $2E$ 이다.
 - ㄷ. 최저점에서 실이 B를 당기는 힘의 크기는 $2F$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

마찰이 있는 경사면에서 운동하는 물체는 역학적 에너지의 일부가 열에너지로 전환된다.

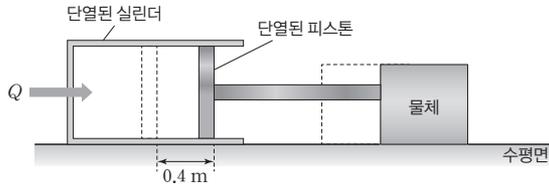
14 [23027-0112] 그림은 질량이 1 kg 인 물체가 마찰이 있는 경사면의 점 p를 지나 점 q에서 정지한 모습을 나타낸 것이다. p를 지날 때 물체의 운동 에너지는 42 J 이고, p와 q의 높이차는 2.1 m 이다. 열의 일당량은 4.2 J/cal 이다.



물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 마찰에 의해 발생한 열량을 Q 라고 할 때, Q 는? (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이고, 물체의 크기와 마찰에 의해 발생하는 열에너지 이외의 역학적 에너지 손실은 무시한다.)

- ① 2 cal ② 4 cal ③ 5 cal ④ 8 cal ⑤ 10 cal

15 [23027-0113] 그림은 고정된 단열된 실린더에 들어 있는 일정량의 기체에 열량 Q 를 서서히 가했더니 물체가 연결되어 정지해 있던 단열된 피스톤이 0.4 m 이동하여 평형을 이루며 정지한 모습을 나타낸 것이다. 열을 공급한 후 피스톤이 정지할 때까지 기체의 내부 에너지 변화량은 6 cal이고, 물체가 운동하는 동안 물체에는 운동 방향과 반대 방향으로 42 N의 일정한 마찰력이 작용한다. 열의 일당량은 4.2 J/cal이다.



Q 는? (단, 대기압과 공기 저항 및 피스톤의 마찰은 무시한다.)

- ① 8 cal ② 10 cal ③ 12 cal ④ 16 cal ⑤ 20 cal

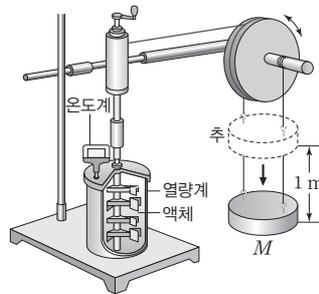
기체에 공급한 열량은 $Q = \Delta U + W$ 이다. 이때 ΔU 는 기체의 내부 에너지 변화량, W 는 기체가 한 일이다.

16 다음은 열의 일당량에 대한 실험이다.

[23027-0114]

[실험 과정]

- (가) 액체 1 kg을 단열된 열량계에 가득 채우고, 질량 $M = 20$ kg인 추를 낙하시킨다.
- (나) 추가 일정한 속력으로 거리 1 m만큼 낙하한 구간의 액체의 온도 변화 ΔT 를 측정한다.
- (다) M 을 30 kg, 40 kg으로 하여 (가)와 (나)의 과정을 반복한다.



[실험 결과]

M (kg)	20	30	40
ΔT (°C)	0.2	0.3	㉠

이 실험에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이고, 실의 질량은 무시하며, 추의 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량은 모두 액체의 온도 변화에만 사용된다.)

보기

- ㄱ. 액체의 비열은 $1000 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ 이다.
- ㄴ. ㉠은 0.4이다.
- ㄷ. 추가 운동하는 동안 추의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 추의 운동 에너지 증가량과 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

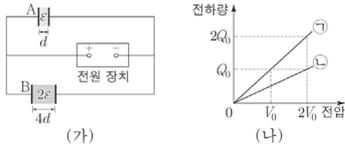
추가 낙하하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지는 액체가 얻은 열에너지로 전환된다. 이때 액체가 얻은 열에너지는 $Q = cm\Delta T$ 이다.

II

전자기장

2023학년도 대학수학능력시험 5번

5. 그림 (가)는 극판의 면적이 같은 평행판 축전기 A, B를 전원 장치에 연결한 것을 나타낸 것이다. A, B는 극판 사이의 간격이 각각 d , $4d$ 이고, 유전율이 각각 ϵ , 2ϵ 인 유전체로 완전히 채워져 있다. 그림 (나)는 전원 장치의 전압에 따라 A, B에 충전된 전하량을 나타낸 것이다. ㉠, ㉡은 각각 A, B 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

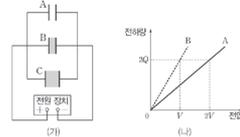
- < 보 기 >
- ㄱ. 전기 용량은 B가 A의 2배이다.
 - ㄴ. ㉠은 A이다.
 - ㄷ. 전압이 V_0 일 때, A에 저장된 전기 에너지는 $Q_0 V_0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2023학년도 EBS 수능완성 67쪽 4번

04

그림 (가)는 극판의 단면적이 같은 평행판 축전기 A, B, C를 전원 장치에 병렬연결한 모습을 나타낸 것이다. A와 B의 극판 간격은 같으며, C의 극판 간격은 A의 2배이다. A의 내부는 진공이며, B와 C의 내부는 유전율이 같은 유전체로 완전히 채워져 있다. 그림 (나)는 A, B에 충전된 전하량을 전원 장치의 전압에 따라 나타낸 것이다.



전압이 $2V$ 일 때 C에 충전된 전하량은? (단, 축전기는 완전히 충전되었다.)

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

연계 분석

수능 5번 문항은 수능완성 67쪽 4번 문항과 연계하여 출제되었다. 두 문항 모두 그림 (가)에서는 전원 장치에 병렬로 연결된 축전기 회로를, 그림 (나)에서는 전압에 따라 축전기에 충전되는 전하량 그래프를 제시했다는 점에서 매우 높은 유사성을 보인다. 풀이 과정에서 축전기의 극판 면적, 간격, 극판 사이에 채워진 유전체의 유전율을 이용하여 각 축전기의 전기 용량을 비교한다. 수능완성 4번 문항에서는 축전기에 충전된 전하량을 묻고 있고, 수능 5번 문항은 축전기에 저장된 전기 에너지를 묻고 있다는 점에서 일부 차이가 있다.

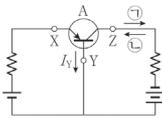
학습 대책

수능 5번 문항은 수능완성 4번 문항의 형식을 그대로 활용하여 축전기의 전기 용량, 축전기에 충전된 전하량, 축전기에 저장된 전기 에너지의 개념 등을 통합적으로 이해하고 있는지를 묻고 있다. 따라서 수능특강 학습 시 단순히 답을 찾는 데 그치지 않고 각 단원에서 제시하는 자료와 공식들을 깊이 있게 학습하는 자세가 필요하다. 또 완전히 충전된 축전기를 전원과 연결한 상태에서 극판 사이의 간격을 변화시키는 경우와 전원과 연결되지 않은 상태에서 극판 사이의 간격을 변화시키는 경우에 축전기 양단에 걸린 전압, 축전기 내부의 전기장의 세기 등 다양한 개념들을 추가로 물어볼 수 있으므로 난이도 높은 문항에 대해서도 철저한 대비가 필요하다.



2023학년도 대학수학능력시험 9번

9. 그림과 같이 트랜지스터 A, 저항, 전원을 연결하여 전류 증폭 회로를 구성하였다. X, Y, Z는 A에 연결된 세 단자이고, Y에서는 화살표 방향으로 세기가 I_1 인 전류가 흐른다. Z에 흐르는 전류의 세기는 I_V 보다 매우 크다.



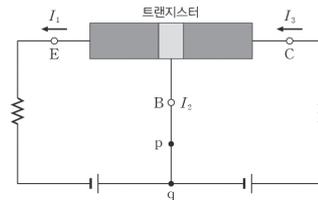
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- <보기>
- ㄱ. A는 n-p-n형 트랜지스터이다.
 - ㄴ. 전위는 X에서가 Y에서보다 높다.
 - ㄷ. Z에 흐르는 전류의 방향은 ㉠이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2023학년도 EBS 수능특강 116쪽 2번

02 [22027-0154]
그림과 같이 트랜지스터에 저항과 전원을 연결하였다. E, B, C는 각각 이미터, 베이스, 컬렉터 단자이고, p, q는 도선상의 점이다. E, C에는 화살표 방향으로 세기가 각각 I_1 , I_3 인 전류가 흐르고, B에는 세기가 I_2 인 전류가 흐른다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- <보기>
- ㄱ. $I_1 > I_3$ 이다.
 - ㄴ. B → p → q 방향으로 전류가 흐른다.
 - ㄷ. 컬렉터에서는 주로 양공이 전류를 흐르게 한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

연계 분석

수능 9번 문항은 수능특강 116쪽 2번 문항과 연계하여 출제되었다. 두 문항 모두 트랜지스터로 구성된 가장 기본적인 증폭 회로를 제시하고, 트랜지스터의 세 단자 중에서 한 단자에 흐르는 전류의 방향을 묻는다는 점에서 높은 유사성을 보인다. 수능특강 2번 문항은 n-p-n형 트랜지스터를 기본 그림 형태로 제시하였고, 수능 9번 문항은 n-p-n형 트랜지스터를 회로 기호를 이용하여 제시하였다. 또 수능특강 문항에서는 각 단자에 흐르는 전류의 세기를 비교하는 내용과 트랜지스터에서 주요 전하 운반자에 대한 내용까지 물어보았다는 점에서 일부 차이가 있다.

학습 대책

수능과 모의평가에서 출제된 트랜지스터 문항들을 살펴보면 정량적인 계산보다는 개념의 이해 정도를 명확히 묻는 정성적인 문항들이 대부분인 것을 알 수 있다. 따라서 수능특강 학습 시 단순 암기보다는 핵심 개념과 원리를 심도 있게 이해하는 데 중점을 두어야 한다. 또 트랜지스터의 기본적인 회로에서 저항을 추가 연결하여 바이어스 전압을 결정하는 다소 복잡한 형태의 전류 증폭 회로가 출제될 가능성이 있으므로 수능특강에 제시된 다양한 자료와 문항에 대해서도 면밀히 분석하며 학습할 필요가 있다.

개념 체크

- **전하:** 모든 전기 현상의 근원으로, 양(+)**전하**와 음(-)**전하**가 있다.
- **대전:** 물체가 전하의 이동으로 전기를 띠게 되는 현상이다.

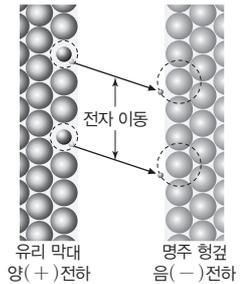
1. 도선에 1 A의 전류가 흐를 때 1초 동안 도선의 한 단면을 지나가는 전하량은 ()이다.
2. 물체가 전기를 띠는 현상을 ()이라 하고, 양(+)**전하**나 음(-)**전하**를 띠게 된 물체를 ()라고 한다.
3. 전기적 중성 상태의 두 물체를 마찰시켰을 때 전자를 잃은 물체는 ()를 띠고 전자를 얻은 물체는 ()를 띤다.

1 전기장과 전기력선

(1) 쿨롱 법칙

- ① **전하:** 모든 전기 현상의 근원으로, 양(+)**전하**와 음(-)**전하**가 있다. 전하의 흐름을 전류라고 한다.
- ② **전하량:** 물질이 가지고 있는 전하의 양을 전하량이라고 하며, 전하량의 단위는 C(쿨롱)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, e 로 표시한다.
 - 기본 전하량 $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
- ④ **대전체:** 보통 물체는 양(+)**전하**와 음(-)**전하**의 양이 같아 전기적으로 중성을 띠고 있지만 전하의 이동에 의하여 양(+)**전하**나 음(-)**전하**를 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(+)**전하**를 띠게 되고, 전자를 얻은 물체는 음(-)**전하**를 띠게 된다.

예 유리 막대와 명주 헝겊을 마찰시키면, 유리 막대에서 명주 헝겊 쪽으로 전자가 이동하여 유리 막대는 양(+)**전하**를 띠고 명주 헝겊은 음(-)**전하**를 띤다.
- ⑥ **전기력:** 전하와 전하 사이에 상호 작용 하는 힘을 말하며, 양(+)**전하**와 양(+)**전하** 또는 음(-)**전하**와 음(-)**전하** 사이에는 밀어내는 방향으로 전기력이 작용하고, 양(+)**전하**와 음(-)**전하** 사이에는 끌어당기는 방향으로 전기력이 작용한다.



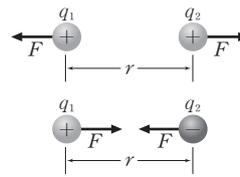
과학 돋보기 | 전기 현상과 자기 현상의 발견 및 발전 과정

- 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. 1 C
2. 대전, 대전체
3. 양(+)**전하**, 음(-)**전하**

- ⑦ 쿨롱 법칙: 두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 점전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 두 점전하가 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다. 전하량이 각각 q_1, q_2 인 두 점전하 사이의 거리가 r 일 때 두 점전하에 작용하는 전기력의 크기 F 는 다음과 같다.



$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

k 는 쿨롱 상수로, 진공에서 $k = 8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ 이다.

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. 전하량의 크기가 q 로 같은 두 전하가 거리 $2r$ 만큼 떨어져 있을 때 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 ()이다. (단, 쿨롱 상수는 k 이다.)
2. 전기장이 형성된 공간에 놓여 있는 전하량의 크기가 q 인 전하에 작용하는 전기력의 크기가 $2F$ 일 때, 전하가 놓인 지점에서 전기장의 세기는 ()이다.
3. 전기장이 형성된 공간에 음(-)전하를 놓았을 때, 음(-)전하가 받는 전기력의 방향과 전기장의 방향은 서로 ()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 가까이할 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.



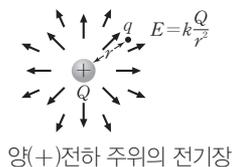
(2) 전기장: 전하 주위에 다른 전하를 놓으면 두 전하 사이에는 전기력이 작용한다. 이는 전하가 주변 공간에 전기장을 만들기 때문이다. 전기장은 전하뿐만 아니라 시간에 따라 변하는 자기장에 의해서도 생성된다.

- ① 전기장의 세기: 전기장이 형성된 공간에 놓인 단위 양전하(+1 C)당 작용하는 전기력의 크기를 전기장의 세기라고 한다. 전하량이 q 인 전하에 작용하는 전기력의 크기가 F 일 때 전기장의 세기 E 는 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: 전하량이 Q 인 점전하로부터 떨어진 거리가 r 인 곳에서 전하량이 q 인 전하에 작용하는 전기력의 크기는 $F = k \frac{Qq}{r^2}$ 이므로 전하량이 Q 인 점전하로부터 떨어진 거리가 r 인 곳에서 전기장의 세기 E 는 다음과 같다.

$$E = \frac{F}{q} = k \frac{Q}{r^2}$$



정답

1. $k \frac{q^2}{4r^2}$
2. $\frac{2F}{q}$
3. 반대이다

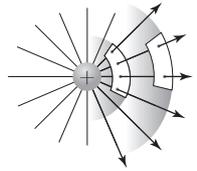
개념 체크

● **전기력선:** 전기장 안에 양(+) 전하를 놓았을 때, 양(+)전하에 작용하는 전기력의 방향을 연속적으로 연결한 가상의 선이다.

1. 전기장에 있는 양(+)전하에 작용하는 전기력의 방향을 공간에 따라 연속적으로 연결한 선을 () 이라고 한다.
2. 두 전기력선은 서로 교차할 수 () 다.
3. 두 전하의 종류가 () 때 전기장이 0인 지점은 두 전하 사이에 없다.

(3) 전기력선

① 전기력선: 전기장에 있는 양(+)전하에 작용하는 전기력의 방향을 공간에 따라 연속적으로 연결한 선을 전기력선이라고 한다. 전기력선의 방향은 양(+)전하가 받는 전기력의 방향과 같다.

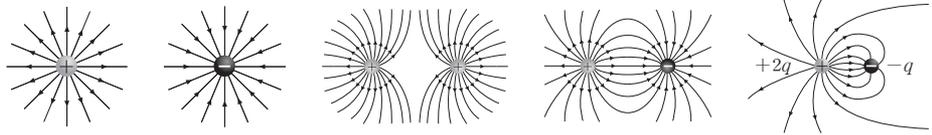


② 전기력선의 특징

- 양(+)전하에서는 나오는 방향, 음(-)전하에서는 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

과정

다음은 전기력선을 그릴 때 적용해야 할 내용이다.

<p>전기력선은 양(+)전하에서 나와서 음(-)전하로 들어간다. 단, 무한대에서 나오거나 들어가는 경우도 있다.</p>	<p>어떤 위치에서 전기장의 방향은 그 점에서 전기력선의 접선 방향이며, 전기력선이 조밀할수록 전기장이 세다.</p>	<p>균일한 전기장은 등간격의 전기력선으로 나타낸다.</p>
<p>전하로 들어가거나 나가는 전기력선의 개수는 전하량에 비례한다.</p>	<p>전기력선은 도체 표면에 수직으로 나오거나 들어간다.</p>	<p>전기력선은 도체 안에는 존재하지 않는다.</p>

분석 및 point

- 전기력선은 양(+)전하에서는 나오는 방향, 음(-)전하에서는 들어가는 방향이다.
- 전기력선은 분리되거나 교차되지 않는다.

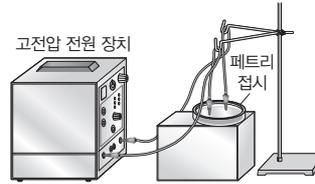
정답

1. 전기력선
2. 없
3. 다를

탐구자료 살펴보기 전기장의 모양 알아보기

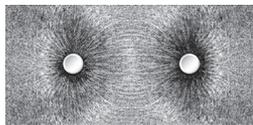
과정

- (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 켜 다음, 전압을 높이면서 털실 조각의 배열을 관찰한다.
- (3) 2개의 전극을 고전압 전원 장치의 (+)단자와 (+)단자에 도선으로 연결하고 베이비오일 속에 담근 상태에서 전원을 켜 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 켜 다음, 전압을 높이면서 털실 조각의 배열을 관찰한다.

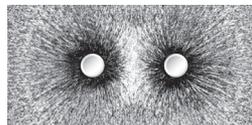


결과

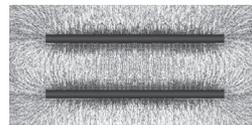
- (+), (-)전극 사이의 털실 조각은 두 극을 연결하는 모양으로 배열된다.
- (+), (+)전극 사이의 털실 조각은 두 극 사이에서 서로 밀어내는 모양으로 배열된다.
- 평행한 (+), (-)극판 사이에서 털실 조각은 균일하게 두 극판에 수직으로 배열된다.



(+), (-)전극 사이의 털실 조각



(+), (+)전극 사이의 털실 조각



(+), (-)극판 사이의 털실 조각

point

- 털실 조각들은 전기력선의 모양으로 배열된다.

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 가까이하면 전기력에 의한 자유 전자의 이동에 의해 대전체와 가까운 쪽에는 대전체와 다른 종류의 전하가 유도되고, 대전체와 먼 쪽에는 대전체와 같은 종류의 전하가 유도된다.

1. 물질의 고유한 특성인 ()이 작아 전류가 잘 흐르는 물질을 도체라고 한다.
2. 대전되지 않은 도체에 대전체를 가까이하면 도체에서 정전기 유도 현상이 일어나 도체와 대전체 사이에는 서로 ()는 전기력이 작용한다.

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 거의 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 가까이하면 도체 내의 자유 전자의 이동에 의해 대전체와 가까운 쪽에는 대전체와 다른 종류의 전하가 유도되고, 먼 쪽에는 대전체와 같은 종류의 전하가 유도되는 현상이다.

정답

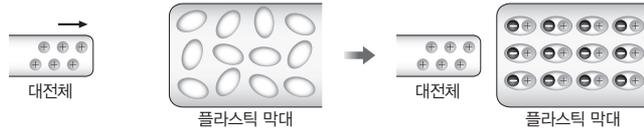
1. 비저항
2. 당기

개념 체크

● **유전 분극:** 절연체에는 자유 전자가 없지만 원자나 분자에 속박되어 있는 전자가 전기력을 받아 분극되는 현상이다.

1. 절연체에 대전체를 가까이 하면 대전체에 가까운 쪽은 대전체와 () 종류의 전하가 배열되는 유전 분극 현상이 발생하므로 대전체와 절연체 사이에는 서로 ()는 전기력이 작용한다.

2. 양(+)전하로 대전된 검전기에 () 전하로 대전된 대전체를 가까이하면 금속박이 더 벌어진다.



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 가까이하면 절연체의 양쪽 끝에 대전체와 같은 종류와 다른 종류의 전하가 각각 배열된다. 이를 유전 분극이라고 한다.



과학 돋보기 | 검전기에서 정전기 유도 현상

검전기는 금속판, 금속 막대, 금속박으로 구성되어 있으며, 검전기를 대전시켜 전하의 종류를 조사할 수 있다.

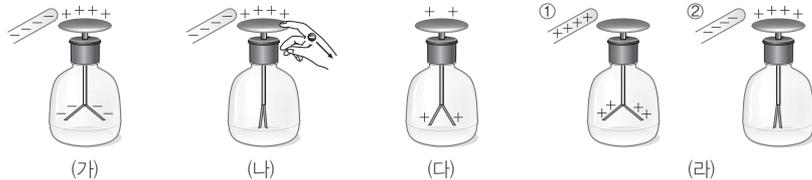
(가) 금속판에 음(-)전하를 띤 대전체를 접근시키면 금속박에 음(-)전하가 유도되어 금속박이 벌어진다.

(나) (가)의 금속판에 손을 접촉하여 접지시키면, 손을 통해 음(-)전하인 전자가 검전기 밖으로 빠져나가게 되어 금속박이 오므라든다.

(다) (나)에서 손을 먼저 떼고 대전체를 금속판에서 멀리하면, 검전기는 양(+)전하를 띠고 금속박은 다시 벌어진다.

(라) 양(+)전하로 대전된 검전기의 금속판에 전하의 종류를 알 수 없는 대전체를 접근시켜 보면 대전된 전하의 종류를 알 수 있다.

- ① 대전체가 양(+)전하로 대전된 경우: 금속박이 더 벌어진다.
- ② 대전체가 음(-)전하로 대전된 경우: 금속박이 오므라든다.



정리 특정 전하로 대전된 검전기에 검전기와 같은 종류의 전하로 대전된 대전체를 금속판에 접근시키면 금속박이 더 벌어지고, 검전기와 다른 종류의 전하로 대전된 대전체를 금속판에 접근시키면 금속박이 오므라든다.

(3) 정전기 유도 현상의 이용

- ① **전기 집진기:** 발전소나 보일러에서 연소 후 배출되는 배기 가스 중에서 오염된 먼지를 제거하는 기구이다. 집진기 내에 대전된 극판을 배열시키고 방전 극과 집진 극 사이에 높은 전압을 걸어주면 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 접시시키고 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. 다른, 당기
- 2. 양(+)

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. 번개는 대전된 구름과 지표 사이의 방전 현상이다. 구름 내부에서 위쪽은 양(+)전하를 띠고, 아래쪽은 음(-)전하를 띤다. 따라서 정전기 유도에 의해 지표면이 ()전하로 대전되어 전자가 지표면으로 이동한다.

2. 금속으로 된 차체나 주유기 손잡이에 손을 가까이 가져가면 손에 있던 전자들이 차체나 주유기 손잡이로 순간적으로 이동하는 현상을 ()이라 하고, 이를 막기 위해 주유하기 전에 ()에 손을 접촉한다.

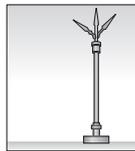
③ **음식물 포장 랩:** 음식물을 포장할 때 사용하는 랩을 분리하는 과정에서 랩이 대전되는데, 이때 대전된 전하는 그릇이나 다른 랩에 유전 분극에 의한 표면 전하를 유도한다. 따라서 랩끼리 또는 랩과 그릇을 서로 잘 달라붙게 한다. 전하를 띤 랩은 손가락에도 정전기 유도에 의한 반대 전하를 유도하므로 랩이 손가락에도 잘 달라붙는다.

(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 띠고, 아래쪽은 음(-)전하를 띤다. 지면과 가까운 구름의 아래쪽이 음(-)전하를 띤기 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

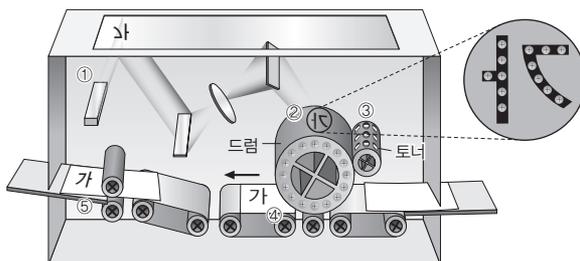


정전기 방지용 패드



과학 돋보기 | 복사기의 원리

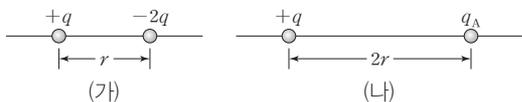
- ① 종이에 빛을 비추면 종이의 검은 글자 부분에서는 빛을 흡수하고, 흰 여백 부분에서는 빛을 반사한다.
- ② 종이에서 반사된 빛이 양(+)전하로 대전된 드럼을 비추면 빛이 닿은 부분은 전하를 띠지 않고 빛이 닿지 않은 부분은 그대로 양(+)전하를 띤다.
- ③ 드럼이 회전하면 음(-)전하를 띤 토너가 드럼의 양(+)전하로 대전된 부분에 달라붙는다.
- ④ 드럼이 접촉하여 지나가는 종이에 토너가 달라붙는다.
- ⑤ 종이에 묻은 토너가 뜨거운 롤러를 지나가면서 녹는다.



정답

- 1. 양(+)
- 2. 방전, 정전기 방지용 패드

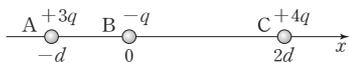
01 [23027-0115] 그림 (가)는 전하량이 각각 $+q$, $-2q$ 인 점전하가 거리 r 만큼 떨어진 곳에 고정된 것을, (나)는 전하량이 각각 $+q$, q_A 인 점전하가 거리 $2r$ 만큼 떨어진 곳에 고정된 것을 나타낸 것이다. (가)에서 전하량이 $+q$ 인 점전하가 받는 전기력의 크기는 F 이다.



(나)에서 두 점전하 사이에 크기가 F 이고 서로 미는 방향의 전기력이 작용할 때, q_A 는?

- ① $-8q$ ② $-4q$ ③ $+2q$
 ④ $+4q$ ⑤ $+8q$

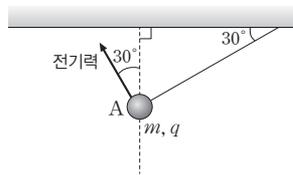
02 [23027-0116] 그림과 같이 전하량이 각각 $+3q$, $-q$, $+4q$ 인 점전하 A, B, C가 x 축상의 $x = -d$, $x = 0$, $x = +2d$ 인 지점에 고정되어 있다. C가 A와 B로부터 받는 전기력의 크기는 F 이다.



A가 B와 C로부터 받는 전기력의 크기는?

- ① F ② $2F$ ③ $3F$
 ④ $4F$ ⑤ $5F$

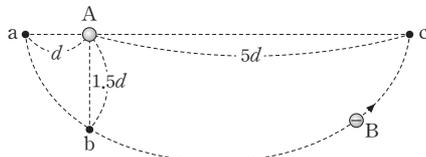
03 [23027-0117] 그림은 질량이 m , 전하량의 크기가 q 인 입자 A를 절연된 실에 연결하여 가만히 놓았을 때 정지한 모습을 나타낸 것이다. A에 작용하는 전기력의 방향은 연직 방향과 30° 를 이룬다.



A가 정지해 있는 곳에 형성된 전기장의 세기는? (단, 중력 가속도는 g 이고, A의 크기는 무시한다.)

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

04 [23027-0118] 그림은 고정된 점전하 A에 의한 전기력만을 받으면서 전자 B가 곡선 궤도를 따라 운동하는 것을 나타낸 것이다. A로부터 곡선 궤도상의 점 a, b, c까지의 거리는 각각 d , $1.5d$, $5d$ 이다. B가 b에서 c까지 운동하는 동안 A와 B 사이의 거리는 커진다.



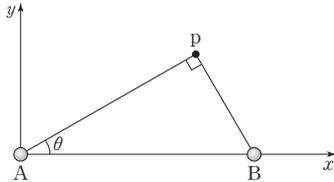
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. A는 양(+)전하로 대전되어 있다.
 ㄴ. A에 의한 전기장의 세기는 a에서가 b에서보다 크다.
 ㄷ. B가 b에서 c까지 운동하는 동안 B가 받는 전기력의 크기는 감소한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 [23027-0119] 그림과 같이 xy 평면에서 직각 삼각형의 두 꼭짓점에 점 전하 A, B를 고정시켰더니, 꼭짓점 p에서 전기장의 방향은 $+y$ 방향이다. B의 위치에서 A에 의한 전기장의 세기는 E 이고, $\tan\theta = \frac{3}{4}$ 이다.



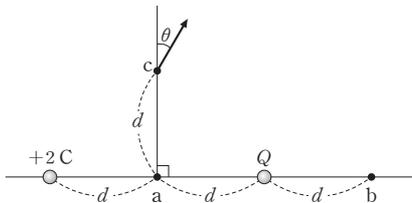
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. A는 음(-)전하이다.
- ㄴ. 전하량의 크기는 A가 B의 $\frac{4}{3}$ 배이다.
- ㄷ. p에서 전기장의 세기는 $\frac{4}{3}E$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

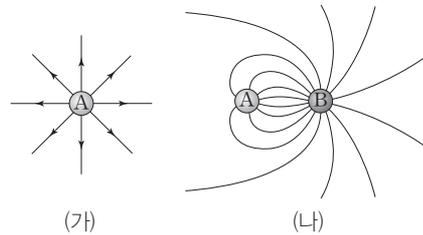
06 [23027-0120] 그림과 같이 전하량이 각각 $+2C$, Q 인 두 점전하가 거리 $2d$ 만큼 떨어져 고정되어 있다. 전기장의 세기는 점 a에서가 점 b에서의 3배이고, 점 c에서 전기장의 방향은 a와 c를 잇는 직선과 θ 의 각을 이루고, θ 는 45° 보다 작다.



Q는?

- ① $-\frac{1}{2}C$ ② $-\frac{1}{3}C$ ③ $+\frac{1}{3}C$
 ④ $+\frac{1}{2}C$ ⑤ $+2C$

07 [23027-0121] 그림 (가)는 점전하 A에 의한 전기력선을 나타낸 것이고, (나)는 A와 B 사이의 전기력선을 방향 표시 없이 나타낸 것이다.



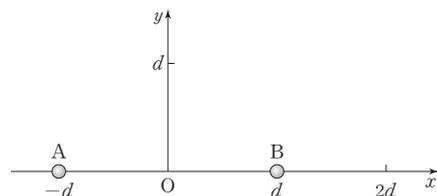
(나)에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. B는 양(+전하)이다.
- ㄴ. 전하량의 크기는 A가 B보다 크다.
- ㄷ. A와 B 사이에는 서로 당기는 방향의 전기력이 작용한다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 [23027-0122] 그림과 같이 x 축상의 $x=-d$ 인 지점과 $x=d$ 인 지점에 전하량의 크기가 같고 전하의 종류가 다른 점전하 A, B를 고정시켰다. x 축상의 $x=2d$ 인 지점에서의 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다. x 축상의 $x=2d$ 인 지점에서 B에 의한 전기장의 세기는 E 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

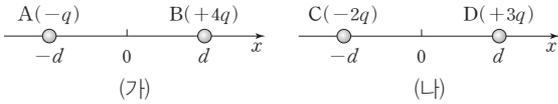
보기

- ㄱ. A는 양(+전하)이다.
- ㄴ. 원점 O에서 전기장의 방향은 $+x$ 방향이다.
- ㄷ. y 축상의 $y=d$ 인 지점에서 전기장의 세기는 $\frac{\sqrt{2}}{2}E$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[23027-0123]

09 그림 (가), (나)와 같이 점전하 A, B, C, D가 x 축상에 고정되어 있다. A, B, C, D의 전하량은 각각 $-q$, $+4q$, $-2q$, $+3q$ 이다.



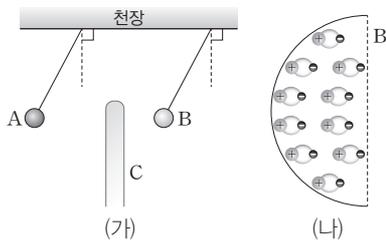
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. (가)와 (나)에서 x 축상의 $x=0$ 인 지점에서 전기장의 세기는 같다.
 - ㄴ. A가 B에 작용하는 전기력의 크기와 C가 D에 작용하는 전기력의 크기는 같다.
 - ㄷ. (가)에서 x 축상의 $x=-3d$ 인 지점의 전기장은 0이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[23027-0124]

10 그림 (가)는 대전된 도체구 A와 대전되지 않은 구 B를 절연된 실로 연결하여 천장에 매달고, A와 B 사이에 대전된 도체 막대 C를 고정시켰더니 A와 B가 정지해 있는 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 B의 왼쪽 부분의 전하 분포를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

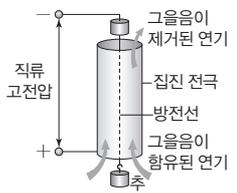
- 보기
- ㄱ. B는 절연체이다.
 - ㄴ. C는 양(+전하)로 대전되어 있다.
 - ㄷ. A와 C는 같은 종류의 전하로 대전되었다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

[23027-0125]

11 다음은 전기 집진기에서 오염된 먼지를 제거하는 과정을 설명한 것이다.

집진기 내에서 추가 연결된 금속으로 된 방전선이 원통의 중심에 있도록 설치한다. 집진기 내에 방전선은 음(-)으로, 집진 전극은 양(+)으로 대전시키면 방전선에서 발생한 전자에 의해 먼지가 음(-)전하로 대전되어 (+)극인 집진 전극으로 끌려가 원통 안쪽에 부착되고 깨끗해진 연기가 원통 상부로 빠져나간다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 원통 내부에는 방전선과 집진 전극에 의해 균일한 전기장이 형성된다.
 - ㄴ. 음(-)전하로 대전된 먼지와 집진 전극은 서로 당기는 전기력이 작용한다.
 - ㄷ. 음(-)전하로 대전된 먼지가 받는 전기력의 크기는 방전선에 가까울수록 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

[23027-0126]

12 다음은 정전기에 대한 기사 내용이다.

안전 협회에서는 주유소에서 운전자들이 연료를 넣을 때 꼭 ㉠ 방지용 패드에 먼저 손을 접촉해야 한다고 강조했다. 이번 사고도 주유기 내부에 차 있던 유증기(기름이 기화된 증기)로 ㉡ 손에 있던 전하가 순식간에 이동하며 폭발이 일어났을 가능성이 있기 때문이다.

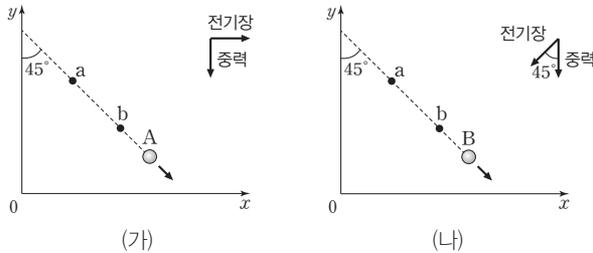


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. '정전기'는 ㉠으로 적절하다.
 - ㄴ. ㉡은 손에서 나타나는 충전 현상이다.
 - ㄷ. 손을 패드에 접촉시키면 손에 있는 정전기를 없앨 수 있다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

01 [23027-0127] 그림 (가), (나)와 같이 xy 평면에서 점전하 A, B가 균일한 전기장이 형성되어 있고 중력이 작용하는 공간에서 각각 속력이 증가하는 등가속도 직선 운동을 하여 점 a, b를 통과하였다. 질량은 B가 A의 2배이다. A, B에 작용하는 중력의 방향은 모두 $-y$ 방향, (가)에서 전기장의 방향은 $+x$ 방향, (나)에서 전기장의 방향은 중력 방향과 45° 의 각을 이루고 있다.



직선상에서 A와 B는 모두 속력이 증가하는 등가속도 직선 운동을 하므로 A와 B가 받는 알짜힘의 방향은 운동 방향과 같다. 따라서 A는 전기장의 방향으로 전기력을 받아야 하고, B는 전기장과 반대 방향으로 전기력을 받아야 한다.

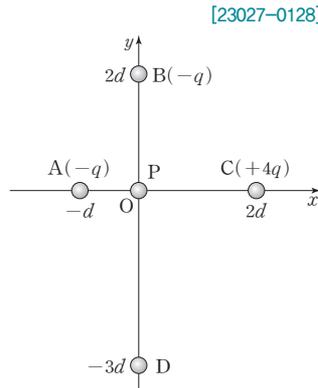
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. A와 B는 서로 다른 종류의 전하이다.
- ㄴ. B에 작용하는 전기력의 크기는 A에 작용하는 전기력의 크기의 $\sqrt{2}$ 배이다.
- ㄷ. 가속도의 크기는 A가 B의 2배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 그림과 같이 x 축상에 점전하 A, C를, y 축상에 점전하 B, D를, 원점 O에 점전하 P를 각각 고정시켰다. A, B, C의 전하량은 각각 $-q, -q, +4q$ 이다. P에 작용하는 전기력의 크기는 $2F$ 이고, A가 P에 작용하는 전기력의 크기는 F 이며 방향은 $-x$ 방향이다.



C가 P에 작용하는 전기력의 크기는 F 이므로 A와 C로부터 P가 받는 전기력의 합은 $2F$ 이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

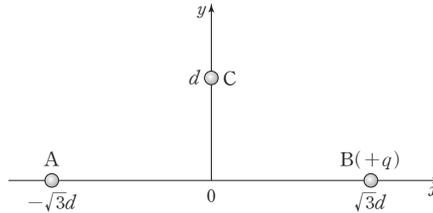
- ㄱ. P는 양(+전하)이다.
- ㄴ. P가 C에 작용하는 전기력의 크기는 $3F$ 이다.
- ㄷ. D의 전하량은 $-\frac{9}{4}q$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

A가 C에 작용하는 전기력과 B가 C에 작용하는 전기력의 크기는 서로 같고 두 전기력이 이루는 각은 120° 이므로, C가 A, B로부터 받는 전기력의 크기는 A와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기와 같다.

전기장의 방향은 전기력선의 접선 방향과 같다. 전기력선은 양(+전하)에서 나와 음(-전하)로 들어간다.

03 [23027-0129] 그림과 같이 x 축상의 $x = -\sqrt{3}d$ 인 지점과 $x = \sqrt{3}d$ 인 지점에 점전하 A, B를 고정시키고 y 축상의 $y = d$ 인 지점에 점전하 C를 고정시켰다. B의 전하량은 $+q$ 이다. C가 A와 B로부터 받는 전기력의 방향은 $-y$ 방향이고 전기력의 크기는 F 이다.



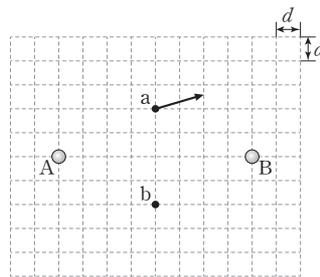
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. C는 음(-)전하이다.
- ㄴ. B와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기는 F 이다.
- ㄷ. B의 전하량이 $-q$ 가 되면 C가 A, B로부터 받는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 [23027-0130] 그림은 점전하 A, B를 고정시켰을 때 점 a에서 전기장의 방향을 화살표로 나타낸 것이다. A, B, a, 점 b는 동일한 평면에 놓여 있다.



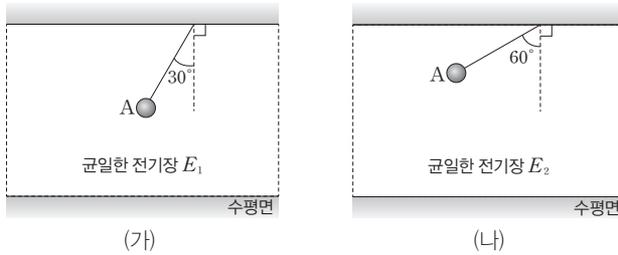
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. A는 양(+전하)이다.
- ㄴ. a와 b에서 전기장의 세기는 같다.
- ㄷ. 전하량의 크기는 A가 B보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 [23027-0131] 그림 (가), (나)와 같이 균일한 전기장 영역에 대전된 도체구 A가 절연된 실에 매달려 정지해 있다. (가)에서 전기장의 세기는 E_1 이고, 전기장의 방향은 수평면과 나란하다. (나)에서 전기장의 세기는 E_2 이고, 전기장의 방향은 실이 A를 당기는 힘의 방향과 수직인 방향이다.

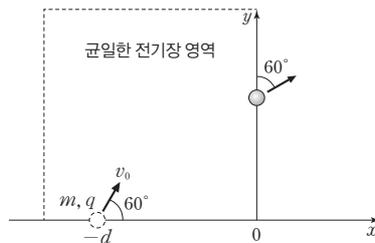


균일한 전기장 영역에서 대전 입자가 받는 전기력의 크기는 대전 입자의 전하량의 크기와 전기장의 세기의 곱과 같다.

$\frac{E_1}{E_2}$ 은? (단, 실의 질량은 무시한다.)

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

06 [23027-0132] 그림과 같이 $+x$ 방향으로 형성된 균일한 전기장 영역이 xy 평면에 형성되어 있다. x 축상의 $x = -d$ 인 지점에서 x 축과 60° 의 각을 이루는 방향으로 질량이 m 이고 전하량의 크기가 q 인 입자를 속력 v_0 으로 입사시켰더니 입자가 균일한 전기장 영역을 지나 y 축과 60° 의 각을 이루는 방향으로 균일한 전기장 영역을 빠져나간다.



전기장의 방향이 x 축과 나란하므로 대전 입자는 $+x$ 방향으로 등가속도 운동을 하고 $+y$ 방향으로 등속도 운동을 한다.

균일한 전기장의 세기는? (단, 입자에는 전기력만 작용하고, 입자의 크기와 전자기파의 발생은 무시한다.)

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

[23027-0133]

음(-)전하로 대전된 검전기에 양(+)전하로 대전된 대전체가 금속판에 서서히 접근하면 전자가 금속박에서 금속판으로 이동한다. 따라서 금속박은 검전기가 전기적 중성 상태가 될 때까지 오므라든다.

07 다음은 금속박 검전기를 이용한 실험이다.

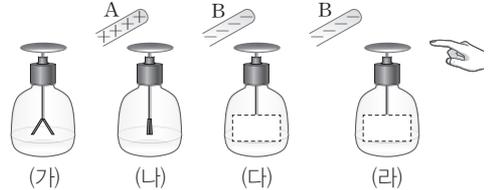
[실험 과정]

(가) 금속박 검전기의 금속판과 금속박을 특정 전하로 대전시켜 금속박이 벌어지게 한다.

(나) (가)에서 양(+)으로 대전된 금속 막대 A를 금속판에 서서히 접근시킨다.

(다) (가)에서 음(-)으로 대전된 금속 막대 B를 금속판에 서서히 접근시킨다.

(라) (다)에서 손가락을 금속판에 접촉하여 접지시킨 후 손가락을 떼고 B를 멀리한다.



[실험 결과]

• (나)의 결과: 금속박이 오므라든다.

• (다)의 결과:

• (라)의 결과: 금속박은 전하를 띤다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. (가)에서 검전기는 음(-)전하로 대전되어 있다.

ㄴ. ㉠은 '금속박이 더 벌어진다'가 적절하다.

ㄷ. ㉡은 '양(+)'이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

(나)에서 B는 왼쪽이 음(-)전하를 띠고 오른쪽이 양(+)전하를 띤다.

08 다음은 정전기 유도 현상에 대한 실험 과정이다.

[23027-0134]

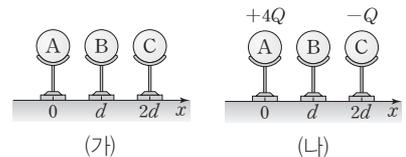
[실험 과정]

(가) 대전되지 않은 동일한 도체구 A, B, C를 절연된 받침대에 올려놓고 $x=0$, $x=d$, $x=2d$ 인 지점에 고정시킨다.

(나) A, C를 전하량 $+4Q$, $-Q$ 로 대전시킨다.

(다) C를 제거한 후, A와 B를 접촉시킨 다음 원래 위치에 고정시킨다.

(라) (다)에서 A를 제거한 후 $-Q$ 로 대전된 C를 B와 접촉시킨 후 $x=2d$ 인 지점에 고정시킨다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. (나)에서 B는 $-x$ 방향으로 전기력을 받는다.

ㄴ. (나)에서 A와 C 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

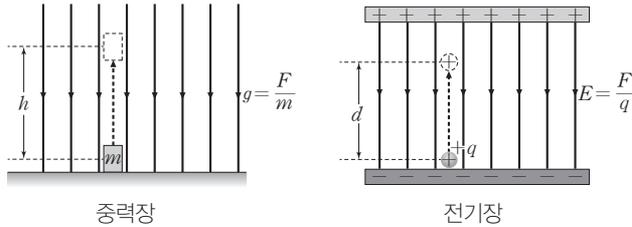
ㄷ. 전하의 종류는 (다)의 A와 (라)의 C가 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

1 전압(전위차)과 전류

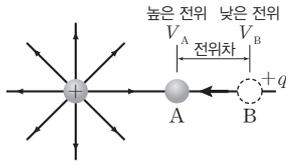
(1) **전위**: 단위 양(+)전하가 가지는 전기력에 의한 퍼텐셜 에너지이다.

- ① 중력과 전기력에 의한 일의 비교: 중력장에서 질량이 m 인 물체를 높이 h 만큼 들어 올리려면 일을 해 주어야 한다. 마찬가지로 균일한 전기장(E) 내에서 전하량이 $+q$ 인 전하를 전기장의 방향과 반대 방향으로 거리 d 만큼 이동시킬 때도 일을 해 주어야 한다.



- 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 W 라면, 두 지점 사이의 전위차 V 는 다음과 같다.



$$V = V_A - V_B = \frac{W}{q} \text{ [단위: J/C 또는 V]}$$

개념 체크

- **전위**: 전기장 내의 기준점으로부터 측정한 단위 양(+)전하가 가지는 전기력에 의한 퍼텐셜 에너지
- **전위차**: 두 지점 사이의 전위의 차

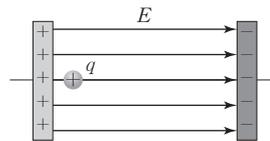
1. 전위는 단위 양(+)전하가 가지는 전기력에 의한 () 에너지이다.
2. 전하량이 $+q$ 인 전하를 전위가 V 인 한 점에서 전위가 $3V$ 인 다른 점까지 이동시키는 데 한 일은 ()이다.
3. 전하량이 $+q$ 인 전하를 세기가 E 인 균일한 전기장 영역에서 전기장과 반대 방향으로 거리 d 만큼 이동시키는 데 필요한 일이 W 라고 하면 $d = ()$ 이다.



과학 돋보기 | 균일한 전기장에 입사한 대전 입자의 운동

균일한 전기장에 나란하게 입사한 대전 입자의 운동은 다음과 같다.

- 대전 입자는 등가속도 운동을 한다.
- 전하가 받는 힘: $F = qE$
- $F = ma = qE$ 이므로 $a = \frac{qE}{m}$ 이다.



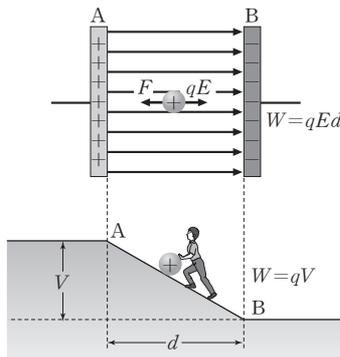
- (2) **균일한 전기장에서의 일**: 균일한 전기장(E) 내에서 전하량이 $+q$ 인 전하를 극판 B에서 거리 d 만큼 떨어진 극판 A까지 옮기는 데 필요한 일 W 는 다음과 같다.

$$W = Fd = qEd$$

$$W = qV \text{ [단위: J]}$$

$$qV = qEd \Rightarrow E = \frac{V}{d} \text{ [단위: V/m]}$$

그림에서 전기장의 세기는 각 지점의 위치에 대한 전위의 기울기를 의미한다.



정답

1. 퍼텐셜
2. $2qV$
3. $\frac{W}{qE}$

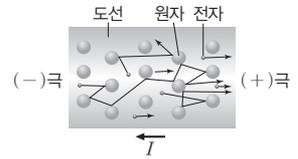
개념 체크

- **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. 도선의 단면을 $2t$ 초 동안 통과한 전하량이 $3Q$ 라면 전류의 세기는 ()이다.
2. 전기 저항이 일정할 때, 저항 양단의 전위차가 ()수족 저항에 흐르는 전류의 세기가 크다.
3. 저항 양단의 전위차가 일정할 때, 전기 저항이 ()수족 저항에 흐르는 전류의 세기가 크다.

(3) **전류:** 전자나 이온과 같이 전하를 띤 입자의 흐름을 전류라고 한다.

- ① 도체에서의 전류: 도체는 전류가 잘 흐르는 물체로, 일반적으로 금속에서는 자유 전자, 그 밖에 액체 등에서는 이온과 같은 전하 운반체들의 이동으로 전류가 흐른다.
- ② 전류의 방향: 양(+)**전하**가 이동하는 방향으로 정의한다. 따라서 음(-)**전하**가 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.
- ④ 전류의 세기(I): 단위 시간(1초) 동안 도선의 단면을 통과하는 전하량으로 정의한다. 도선의 단면을 t 초 동안 통과한 전하량이 Q 라면 전류의 세기 I 는 다음과 같다.



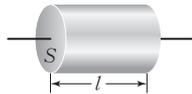
전지를 연결한 도선의 내부

$$I = \frac{Q}{t} \text{ [단위: A(암페어) 또는 C/s]}$$

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 l 에 비례하고, 물체의 단면적 S 에 반비례한다.



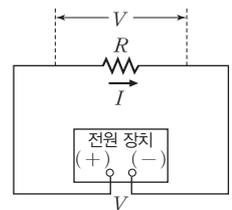
$$R = \rho \frac{l}{S} \text{ [단위: } \Omega(\text{옴})]$$

- ② 비저항(ρ): 비례 상수 ρ 를 그 물체의 비저항이라고 한다. 비저항은 길이가 1 m, 단면적이 1 m^2 인 물체의 저항으로, 물체마다 고유한 값을 갖는 물체의 특성이다.

- 단위: $\Omega \cdot \text{m}$
- 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 I 는 저항 양단의 전위차 V 에 비례하고, 전기 저항 R 에 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.

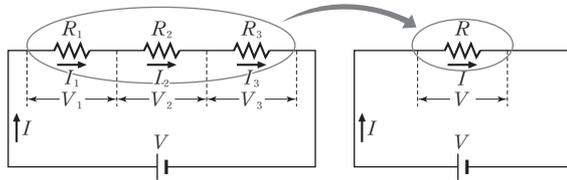
정답

1. $\frac{3Q}{2t}$
2. 클
3. 작을

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 전기 저항을 R , 각각의 전기 저항을 R_1, R_2, R_3 이라고 하자.



- 전류가 한 개의 닫힌 도선을 따라 흐르므로, 전체 전류의 세기 I 는 각각의 저항에 흐르는 전류의 세기 I_1, I_2, I_3 와 같다. $I = I_1 = I_2 = I_3 \dots$ ㉠
- 전체 전압 V 는 각각의 저항에 걸리는 전압의 합과 같다. $V = V_1 + V_2 + V_3 \dots$ ㉡
- 위의 식 ㉠에 옴의 법칙을 적용하고, 식 ㉡을 활용하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

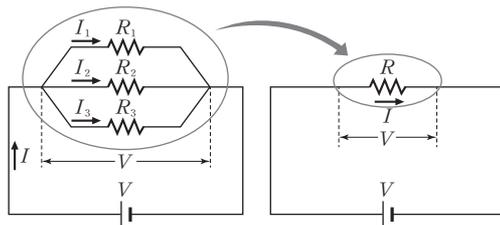
$$V = V_1 + V_2 + V_3 = I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3 = I(R_1 + R_2 + R_3) = IR \dots$$
 ㉢
- 위의 식 ㉢에서 합성 전기 저항 R 는 다음과 같다.

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

- ② 여러 개의 저항을 직렬로 연결할 때의 합성 전기 저항은 각각의 전기 저항을 모두 더한 값과 같다. $\Rightarrow R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$
- ③ 여러 개의 저항을 직렬로 연결하면 합성 전기 저항은 가장 큰 저항의 전기 저항보다 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 V 는 각각의 저항에 걸리는 전압 V_1, V_2, V_3 와 같다. $V = V_1 = V_2 = V_3 \dots$ ㉠
- 전하량 보존 법칙에 따라 회로에 흐르는 전체 전류의 세기 I 는 각 저항에 흐르는 전류의 세기의 합과 같다. $I = I_1 + I_2 + I_3 \dots$ ㉡
- 위의 식 ㉡에 옴의 법칙을 적용하고, 식 ㉠을 활용하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \rightarrow \frac{V}{R} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \dots$$
 ㉢

- 위의 식 ㉢에서 합성 전기 저항 R 의 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. 전기 저항값이 각각 $R, 2R$ 인 두 저항을 직렬로 연결하였을 때 합성 전기 저항값을 a 라 하고, 병렬로 연결하였을 때 합성 전기 저항값을 b 라고 하면, $\frac{a}{b}$ 는 ()이다.

2. 두 저항의 병렬연결에서 () 법칙에 따라 회로에 흐르는 전체 전류의 세기는 각 저항에 흐르는 전류의 세기의 합과 같다.

정답

1. $\frac{9}{2}$

2. 전하량 보존

개념 체크

● 저항의 병렬연결: 여러 개의 저항을 나란하게 놓고 양 끝을 연결하는 방법이다.

● 전력: 단위 시간 동안 공급하거나 소비하는 전기 에너지이다.

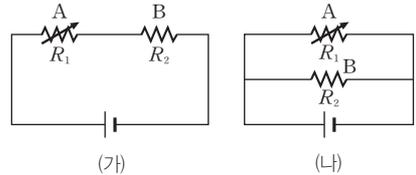
- 여러 개의 저항을 병렬로 연결할 때의 합성 전기 저항의 역수는 각각의 전기 저항의 역수의 ()를 모두 더한 값과 같다.
- 여러 개의 저항을 병렬로 연결하면 합성 전기 저항은 가장 작은 저항의 전기 저항보다 () .
- 가변 저항, 전원 장치로 구성되고 가변 저항에 전류가 흐르는 전기 회로에서 가변 저항값만을 2배로 증가시키면 가변 저항의 소비 전력은 ()배가 된다.

- 여러 개의 저항을 병렬로 연결할 때의 합성 전기 저항의 역수는 각각의 전기 저항의 역수를 모두 더한 값과 같다. $\rightarrow \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$
- 여러 개의 저항을 병렬로 연결하면 합성 전기 저항은 가장 작은 저항의 전기 저항보다 작다.

탐구자료 살펴보기 저항의 직렬연결과 병렬연결 비교

과정

- 그림 (가), (나)와 같이 저항값이 R_1 인 가변 저항 A, 저항값이 R_2 인 저항 B를 직렬, 병렬로 연결하여 회로를 구성한다.
- (가)와 (나)에서 A, B의 양단에 걸리는 전압과 각 저항에 흐르는 전류의 세기를 측정한다.
- (가)와 (나)에서 A의 저항값을 증가시킨 후 A, B의 양단에 걸리는 전압과 각 저항에 흐르는 전류의 세기를 측정한다.



결과

- (가)에서 A, B에 흐르는 전류의 세기는 같고, 전기 저항이 큰 저항에 더 큰 전압이 걸린다.
- (나)에서 A, B에 걸리는 전압은 같고, 전기 저항이 작은 저항에 더 큰 전류가 흐른다.
- 과정 (3)의 (가)에서 A, B에 흐르는 전류의 세기는 감소하고, A에 걸리는 전압은 증가하며 B에 걸리는 전압은 감소한다.
- 과정 (3)의 (나)에서 A에 흐르는 전류의 세기는 감소하고, B에 흐르는 전류의 세기는 일정하다. A, B에 걸리는 전압은 전원의 전압과 항상 같다.

point

구분	직렬연결	병렬연결
전류	각 저항에 흐르는 전류는 모두 같다.	각 저항에 흐르는 전류는 저항에 반비례한다.
전압	각 저항에 걸리는 전압은 저항에 비례한다.	각 저항에 걸리는 전압은 모두 같다.

4 저항에서 소모되는 전기 에너지

(1) 전류의 열작용: 도선에 전류가 흐르면 전자들이 원자와 충돌하면서 전자들이 갖고 있던 운동 에너지가 열에너지로 전환되어 도선에서 열이 발생한다.

- 전기 저항이 R 인 도선에 전류 I 가 시간 t 동안 흐를 때 전류가 한 일 W 는 다음과 같다.

$$W = qV = VIt = I^2Rt \text{ [단위: J(줄)]}$$

(2) 소비 전력

- 전력(P): 단위 시간 동안 공급하거나 소모되는 전기 에너지의 양으로 공급 전력 또는 소비 전력이라고도 한다.
- 전기 저항이 R 이고, 걸린 전압이 V 인 저항체에 t 초 동안 세기가 I 인 전류가 흘렀다면 저항체에서의 소비 전력은 다음과 같다.

$$P = \frac{W}{t} = VI = I^2R = \frac{V^2}{R} \text{ [단위: J/s=W(와트)]}$$

- 전력량(W): 시간 t 동안 저항에서 소모된 전기 에너지를 전력량이라고 한다.

$$W = Pt \text{ [단위: J(줄), Wh(와트시)]}$$

정답

- 역수
- 작다
- $\frac{1}{2}$

01 [23027-0135] 그림은 x 축과 나란한 방향의 균일한 전기장이 형성되어 있는 xy 평면상에 $x=d$ 인 x 축상의 점 p 에서 $+y$ 방향으로 전자를 입사시켰더니 전자가 점 q , r 를 지나는 포물선 운동을 하는 것을 나타낸 것이다.

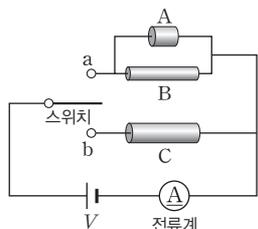


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 전기장의 방향은 $+x$ 방향이다.
 - ㄴ. 전위는 q 에서 r 에서보다 높다.
 - ㄷ. 전기력이 전자에 한 일은 전자가 p 에서 q 까지 가는 동안과 q 에서 r 까지 가는 동안에서 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 [23027-0136] 그림은 원통형 금속 막대 A, B, C, 스위치, 전류계를 전압 V 로 일정한 직류 전원에 연결한 것을 나타낸 것이다. 스위치를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때 전류계에 흐르는 전류의 세기는 같다. 표는 A, B, C의 비저항, 길이, 단면적을 나타낸 것이다.

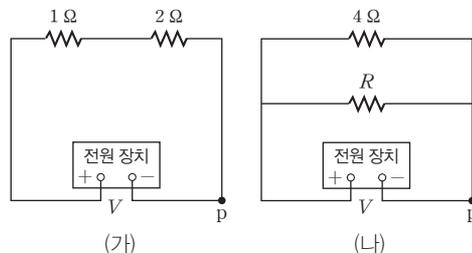


막대	A	B	C
비저항	ρ	ρ	ρ_C
길이	l	$3l$	$3l$
단면적	$3A$	A	$3A$

ρ_C 는?

- ① $\frac{1}{10}\rho$ ② $\frac{1}{9}\rho$ ③ $\frac{3}{10}\rho$ ④ $\frac{3}{5}\rho$ ⑤ $\frac{2}{3}\rho$

03 [23027-0137] 그림 (가)는 저항값이 각각 1Ω , 2Ω 인 두 저항을 직렬로 연결하고, (나)는 저항값이 각각 4Ω , R 인 두 저항을 병렬로 연결하여 전압이 V 로 일정한 전원 장치에 각각 연결한 것을 나타낸 것이다.



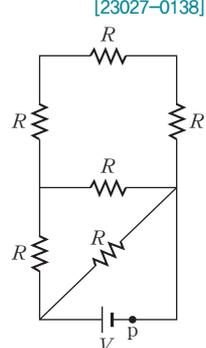
(가)와 (나)에서 회로상의 점 p 에 흐르는 전류의 세기가 같을 때, R 는?

- ① 1Ω ② 2Ω ③ 4Ω ④ 6Ω ⑤ 12Ω

04 [23027-0138] 그림과 같이 저항값이 R 인 저항 6개와 전압이 V 로 일정한 전원으로 회로를 구성하였다.

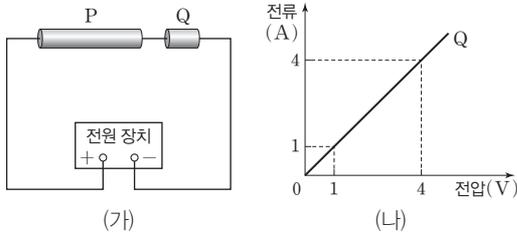
회로상의 점 p 에 흐르는 전류의 세기는?

- ① $\frac{4V}{7R}$ ② $\frac{3V}{4R}$
 ③ $\frac{11V}{7R}$ ④ $\frac{11V}{6R}$
 ⑤ $\frac{11V}{4R}$



[23027-0139]

05 그림 (가)는 단면적이 같은 원통형 저항 P, Q가 전원 장치에 직렬로 연결된 것을 나타낸 것이고, 이때 Q의 소비 전력은 1 W이다. P와 Q의 비저항은 같고 저항의 길이는 P가 Q의 4배이다. 그림 (나)는 Q에 걸리는 전압에 따라 Q에 흐르는 전류의 세기를 나타낸 것이다.



P에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

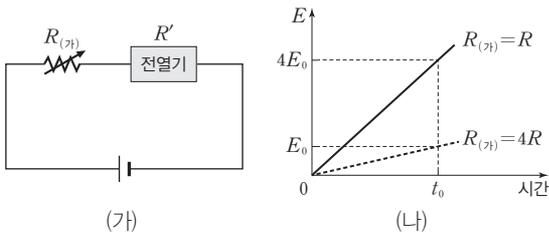
보기

- ㄱ. 걸리는 전압은 2 V이다.
- ㄴ. 저항값은 4 Ω이다.
- ㄷ. 소비 전력은 4 W이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[23027-0140]

06 그림 (가)는 저항값이 $R_{(가)}$ 인 가변 저항과 저항값이 R' 로 일정한 전열기를 전압이 일정한 전원에 직렬연결한 것이고, (나)는 $R_{(가)} = R$ 일 때와 $R_{(가)} = 4R$ 일 때, 전열기에 전류가 흐르는 순간부터 전열기에서 소비되는 전기 에너지 E 를 시간에 따라 나타낸 것이다.

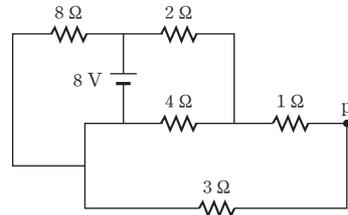


R' 는?

- ① R ② $2R$ ③ $3R$ ④ $4R$ ⑤ $5R$

[23027-0141]

07 그림은 전압이 8 V로 일정한 전원과 저항값이 각각 1 Ω, 2 Ω, 3 Ω, 4 Ω, 8 Ω인 저항으로 구성된 회로를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

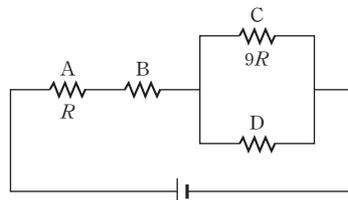
보기

- ㄱ. 저항값이 2 Ω인 저항에 걸리는 전압은 2 V이다.
- ㄴ. 회로상의 점 p에 흐르는 전류의 세기는 1 A이다.
- ㄷ. 소비 전력은 저항값이 8 Ω인 저항에서가 저항값이 4 Ω인 저항에서의 2배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[23027-0142]

08 그림과 같이 전압이 일정한 전원과 저항 A, B, C, D를 연결하였다. A, C의 저항값은 각각 $R, 9R$ 이고, A, B, C의 소비 전력은 각각 $P, 4P, P$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

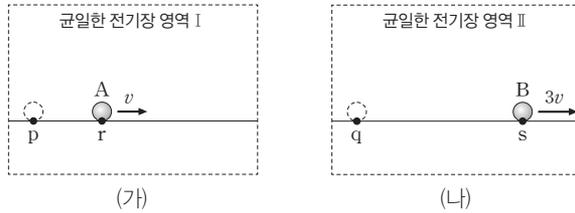
보기

- ㄱ. 저항에 흐르는 전류의 세기는 B에서가 C에서의 2배이다.
- ㄴ. 저항에 걸리는 전압은 C에서가 A에서의 3배이다.
- ㄷ. 저항값은 D가 B보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

01 그림 (가), (나)와 같이 균일한 전기장 영역 I, II에서 점전하 A, B를 각각 점 p와 q에 동시에 가만히 놓았더니 A가 점 r를 속력 v 로 통과하는 순간 B는 점 s를 속력 $3v$ 로 통과하였다. 질량은 B가 A의 2배이고, 전하량의 크기는 B가 A의 4배이다.

[23027-0143]



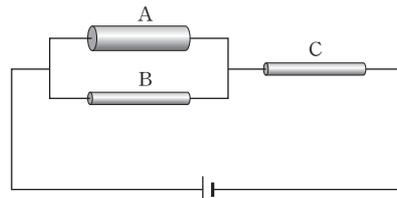
p와 r, q와 s 사이의 전위차를 각각 V_1, V_2 라고 할 때, $V_1 : V_2$ 는? (단, A와 B는 균일한 전기장에 의한 전기력만 받고, 전자기파의 발생은 무시한다.)

- ① 1 : 2 ② 1 : 6 ③ 1 : 12 ④ 2 : 9 ⑤ 3 : 16

전하량이 q 인 점전하를 전위차가 V 인 두 지점 사이를 이동시키는 데 전기력이 한 일 $W = qV$ 는 점전하의 운동 에너지 변화량과 같다.

02 그림과 같이 길이가 같은 원통형 저항 A, B, C를 전압이 일정한 전원에 연결하였다. 단면적은 A가 B의 3배이고 B와 C는 같다. 단위 시간당 소비하는 전기 에너지는 A, B, C가 모두 같다.

[23027-0144]



A, B, C의 비저항을 각각 ρ_A, ρ_B, ρ_C 라고 하면, $\rho_A : \rho_B : \rho_C$ 는?

- ① 1 : 1 : 1 ② 1 : 1 : 2 ③ 2 : 1 : 2 ④ 3 : 1 : 4 ⑤ 12 : 4 : 1

비저항이 ρ , 길이가 l , 단면적이 A 인 저항의 전기 저항값 R 는 $R = \rho \frac{l}{A}$ 이다.

부피가 일정한 원통형 저항에서 길이가 2배 늘어나면 단면적은 $\frac{1}{2}$ 배가 된다. 저항값이 R_1 , R_2 인 두 저항의 직렬, 병렬연결에서 합성 저항값 R' 는 각각 다음과 같다.

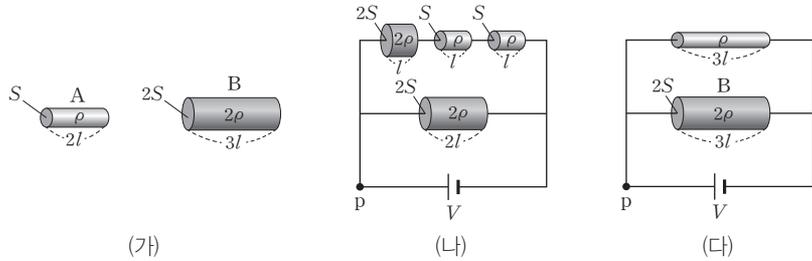
$$R' = R_1 + R_2$$

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

전압계 양단에 걸리는 전압이 0이면 전압계 양단은 전위가 같다. 저항의 직렬연결에서 저항값의 비와 전압의 비는 같다.

[23027-0145]

03 그림 (가)는 단면적이 각각 S , $2S$ 이고, 길이가 각각 $2l$, $3l$ 이며, 비저항이 각각 ρ , 2ρ 인 원통형 저항 A, B를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 A, B를 각각 잘라 전압이 V 로 일정한 전원에 연결한 것을, (다)는 (가)에서 A만을 $3l$ 로 늘여 전압이 V 로 일정한 전원에 연결한 것을 나타낸 것이다. (나)에서 점 p에 흐르는 전류의 세기는 I 이다.

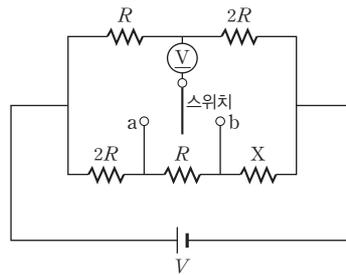


(다)에서 p에 흐르는 전류의 세기는?

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

[23027-0146]

04 그림과 같이 저항값이 R 인 저항 2개, 저항값이 $2R$ 인 저항 2개, 저항 X, 전압계를 전압이 V 로 일정한 전원에 연결하였다. 스위치를 a에 연결할 때 전압계 양단에 걸리는 전압은 0이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

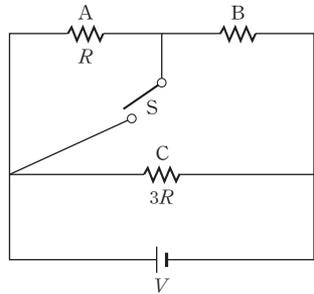
ㄱ. X의 저항값은 $6R$ 이다.

ㄴ. 스위치를 a에 연결할 때 X에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{V}{6R}$ 이다.

ㄷ. 스위치를 b에 연결할 때 전압계 양단에 걸리는 전압은 $\frac{1}{6}V$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 [23027-0147] 그림과 같이 스위치 S, 저항 A, B, C를 전압이 V 로 일정한 전원에 연결하였다. A, C의 저항값은 각각 R , $3R$ 이다. S를 닫기 전 B에 흐르는 전류의 세기는 S를 닫은 후 B에 흐르는 전류의 세기의 $\frac{2}{3}$ 배이다.

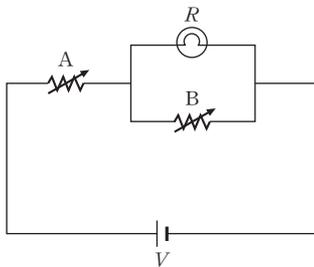


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. S를 닫은 후 A에 걸리는 전압은 $\frac{1}{3}V$ 이다.
 - ㄴ. B의 저항값은 $3R$ 이다.
 - ㄷ. S를 닫은 후 C의 소비 전력은 $\frac{V^2}{3R}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

06 [23027-0148] 그림은 가변 저항 A, B, 저항값이 R 인 전구를 전압이 V 인 전원에 연결한 것을 나타낸 것이고, 표는 A와 B의 저항값의 범위를 나타낸 것이다.



저항	저항값의 범위
A	$R \sim 2R$
B	$R \sim 3R$

전구의 소비 전력의 최댓값과 최솟값을 각각 $P_{\text{최대}}$, $P_{\text{최소}}$ 라고 할 때, $\frac{P_{\text{최대}}}{P_{\text{최소}}}$ 는?

- ① $\frac{49}{24}$ ② $\frac{7}{4}$ ③ $\frac{9}{4}$ ④ $\frac{49}{15}$ ⑤ $\frac{225}{49}$

저항에 흐르는 전류의 세기는 저항의 저항값에 반비례하고 저항 양단에 걸리는 전압에 비례한다($I = \frac{V}{R}$).

두 저항의 직렬연결에서 전체 전압이 일정할 때 한 저항의 저항값이 감소하면 다른 저항에 걸리는 전압이 증가한다. 저항값이 일정하고 저항에 걸리는 전압이 변할 때 소비 전력은 $P = \frac{V^2}{R}$ 으로 구한다.

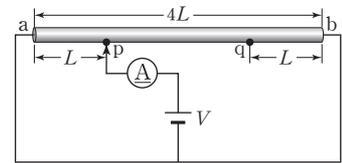
저항의 병렬연결에서 합성 저항값의 역수는 각 저항의 저항값의 역수의 합과 같다. 소비 전력 $P=VI=I^2R=\frac{V^2}{R}$ 이다.

[23027-0149]

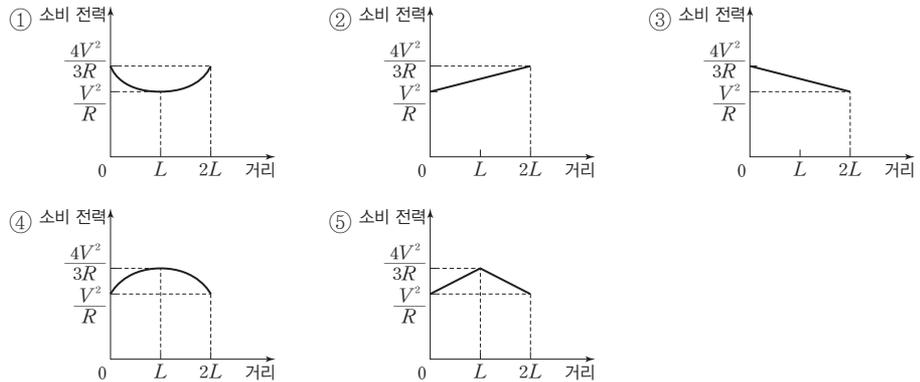
07 다음은 원통형 저항의 소비 전력을 구하는 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 그림과 같이 길이가 $4L$ 이고, 저항값이 $4R$ 인 균일한 재료의 원통형 저항, 전류계, 전압이 V 로 일정한 전원을 연결한다.
- (나) 전류계와 저항의 접점을 저항의 왼쪽 끝점 a로부터 오른쪽으로 L 만큼 떨어진 p점에서 출발하여 저항의 오른쪽 끝점 b로부터 왼쪽으로 L 만큼 떨어진 q점까지 이동하는 동안 전류계에 흐르는 전류의 세기를 측정하여 소비 전력을 계산한다.



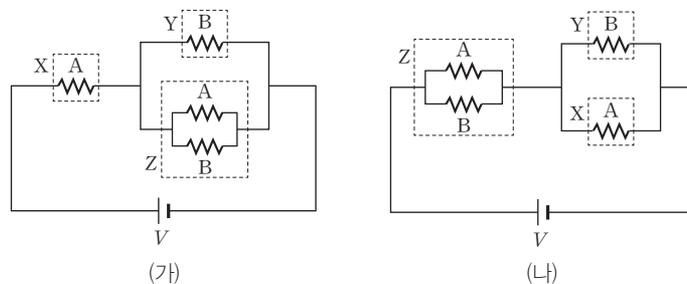
접점이 p에서 q까지 이동하는 동안 접점의 이동 거리에 따른 원통형 저항의 소비 전력을 개략적으로 나타낸 그래프로 가장 적절한 것은?



X의 소비 전력은 Y와 Z의 소비 전력 합 of 5배이고, Y와 Z는 X와 직렬로 연결되어 있으므로 Y와 Z의 합성 저항값은 X의 저항값의 $\frac{1}{5}$ 배이다.

[23027-0150]

08 그림 (가), (나)와 같이 저항 A, B로 구성된 전열기 X, Y, Z를 전압이 V 로 일정한 전원에 연결하였다. (가)에서 X의 소비 전력은 Y와 Z의 소비 전력 합 of 5배이다.



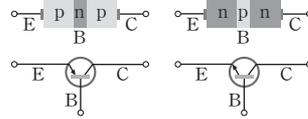
(가)와 (나)에서 Y의 소비 전력을 각각 P_1, P_2 라고 할 때, $\frac{P_1}{P_2}$ 은?

- ① $\frac{1}{18}$ ② $\frac{1}{9}$ ③ $\frac{2}{9}$ ④ $\frac{1}{3}$ ⑤ $\frac{2}{3}$

1 트랜지스터

(1) 트랜지스터

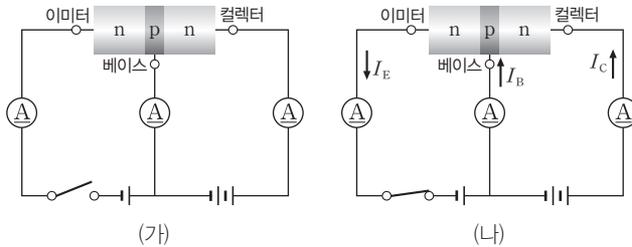
- ① 종류: p형과 n형 불순물 반도체를 p형, n형, p형 또는 n형, p형, n형 순으로 접합하여 만들며, p-n-p형과 n-p-n형이 있다.
- ② 구조: 이미터(E), 베이스(B), 컬렉터(C)라고 부르는 3개의 단자가 있고, 이미터와 컬렉터 사이의 베이스는 두께가 수 μm 정도로 매우 얇게 제작된다.



(2) 증폭 작용과 스위칭 작용

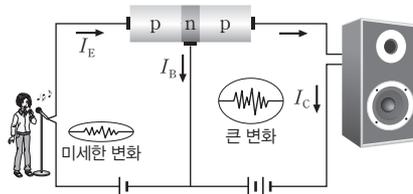
① 트랜지스터의 작동 원리

- 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. $\Rightarrow I_E = I_B + I_C$



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_B 에 비해 컬렉터 전류 I_C 가 훨씬 크다.
- 그림과 같이 베이스 단자에 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_B 에 대한 컬렉터 전류 I_C 의 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. 트랜지스터는 이미터(E), 베이스(B), 컬렉터(C)라고 부르는 3개의 단자가 있고, 이미터와 컬렉터 사이의 베이스는 매우 () 게 제작된다.
2. 트랜지스터에서 () 에 흐르는 전류의 세기는 베이스에 흐르는 전류의 세기와 () 에 흐르는 전류의 세기의 합과 같다.
3. 증폭 작용을 하는 트랜지스터에서 이미터와 베이스 사이에는 항상 () 전압이 걸려 있다.

정답

1. 얇
2. 이미터, 컬렉터
3. 순방향

개념 체크

● 바이어스 전압: 트랜지스터를 정상적으로 작동시키기 위해 이미터와 베이스 사이에 걸어 주는 전압이다.

1. 트랜지스터를 정상적으로 작동시키기 위해서는 ()와 () 사이에 적절한 전압을 걸어 주어야 하는데, 이 전압을 바이어스 전압이라고 한다.

2. p-n-p형 트랜지스터가 포함된 증폭 회로에서 () 전압이 걸려 있지 않으면 스위칭 작용으로 인해 교류 신호의 (+)쪽 신호에만 반응하여 (-)쪽 신호가 나오지 않는다.

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.

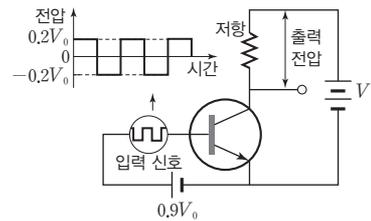


과학 돋보기 | 트랜지스터의 스위칭 작용

이미터와 베이스 사이에 전류가 흐를 수 있는 최소 전압을 V_0 이라고 할 때, 이미터와 베이스 사이에 $0.9V_0$ 인 전압이 걸려 있고 $+0.2V_0$ 과 $-0.2V_0$ 의 신호가 교대로 입력되는 경우를 생각해 보자.

• 입력 신호의 전압이 $+0.2V_0$ 일 때는 이미터와 베이스 사이에 걸린 전압이 $1.1V_0$ 이므로 이미터와 베이스 사이에 전류가 흘러 컬렉터에도 전류가 흐른다. 따라서 컬렉터에 연결된 저항에는 V 와 거의 같은 전압이 걸리며, 이 전압을 출력할 수 있다.

• 입력 신호의 전압이 $-0.2V_0$ 일 때는 이미터와 베이스 사이에 걸린 전압이 $0.7V_0$ 이므로 이미터와 베이스 사이에 전류가 흐르지 않아 컬렉터에 전류가 흐르지 않는다. 따라서 저항에 전류가 흐르지 않아 출력 전압이 0이 된다.

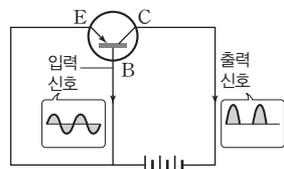


(3) 바이어스 전압

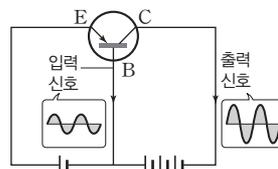
① 바이어스 전압: 트랜지스터를 정상적으로 작동시키기 위해서는 이미터와 베이스 사이에 적절한 전압을 걸어 주어야 하는데, 이 전압을 바이어스 전압이라고 한다.

② 증폭 회로에서 바이어스 전압의 역할

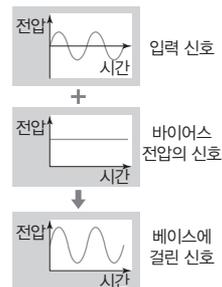
- 바이어스 전압을 걸지 않았을 때: p-n-p형 트랜지스터에서 베이스 단자에 전압이 걸려 있지 않은 상태에서는 입력된 교류 신호의 (+)쪽 신호에만 반응하여 (-)쪽 신호가 나오지 않는다. 그 까닭은 (+), (-)가 교대로 되어 있는 교류 형태의 신호에서 스위칭 작용 때문에 (-)부분에서는 컬렉터 쪽으로 전류가 흐르지 않아 신호가 출력되지 않기 때문이다.
- 바이어스 전압을 걸었을 때: 적절한 바이어스 전압을 걸어 주면 신호를 제대로 증폭할 수 있다. 예를 들어 베이스에 공급되는 신호 전압의 진폭이 0.1 V라고 할 때 이미터와 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



정답

1. 이미터, 베이스
2. 바이어스

③ 전압 분할로 바이어스 전압 결정하기

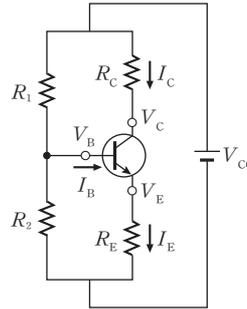
- n-p-n형 트랜지스터를 전원에 연결하여 일정한 전류 증폭률로 작동시킬 때 베이스와 이미터 사이의 전압을 일정한 값 V_{BE} 로, 컬렉터와 이미터 사이의 전압을 일정한 값 V_{CE} 로 정해 놓고 이때 이미터 단자 전위를 V_E 로 정하면, 트랜지스터의 세 단자의 전위는 각각 다음과 같다.

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_B 가 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_1 과 R_2 를 선택한다. $R_E = \frac{V_E}{I_E} \approx \frac{V_E}{I_C}$, $R_C = \frac{V_{CC} - V_C}{I_C}$ 가 되도록 R_E , R_C 를 선택한다. 트랜지스터의 각 단자에 적절한 저항을 추가하는 방법으로 전압을 분할하여 바이어스 전압을 결정할 수 있다.



개념 체크

● 전하량: 축전기에 충전되는 전하량은 두 극판 사이의 전위차에 비례한다.

$$Q = CV$$

● 전기 용량: 축전기에 1V의 전압을 걸었을 때 충전되는 전하량이다.

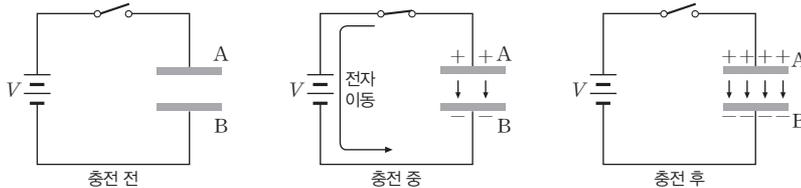
1. 축전기에 4Q의 전하가 충전되었을 때 극판 사이의 전위차가 2V이면 축전기의 전기용량은 ()이다.
2. 같은 전하량을 충전시킬 때 전기 용량이 () 축전기일수록 축전기에 걸리는 전압이 작다.

2 축전기

(1) 축전기: 전하를 저장할 수 있는 장치를 말하며, 축전기에 전하를 저장하는 과정을 충전이라고 한다. 축전기에 충전되는 전하량 Q 는 두 극판 사이의 전위차 V 에 비례한다. $\rightarrow Q = CV$

(2) 축전기의 전기 용량: 축전기에 걸리는 전압은 충전된 전하량에 비례한다. 이때 비례 상수 C 를 전기 용량이라고 한다. $\rightarrow C = \frac{Q}{V}$

축전기에 전하를 충전시키면 전하량에 비례해서 축전기에 걸리는 전압은 증가한다.



① 전기 용량

- 축전기에 걸리는 전압이 1V일 때, 충전되는 전하량을 전기 용량이라고 한다.
- 축전기 극판의 면적, 두 극판 사이의 간격, 극판 사이에 있는 물질의 종류에 따라 다르다.
- 축전기에 전압 V 인 전지를 연결하면, 축전기에 걸리는 전압이 V 가 될 때까지 전하가 충전된다.
- 같은 전하량을 충전시킬 때 전기 용량이 큰 축전기일수록 축전기에 걸리는 전압이 더 낮다.
- 전기 용량의 단위: F(패럿)
 - \rightarrow 1F은 1V의 전압을 걸어 줄 때 1C의 전하량이 충전되는 전기 용량이다.
 - \rightarrow 1F은 매우 큰 단위이므로 일상생활에서는 $1 \mu F (= 10^{-6}F)$ 또는 $1 pF (= 10^{-12}F)$ 을 사용한다.

정답

1. $\frac{2Q}{V}$
2. 큰

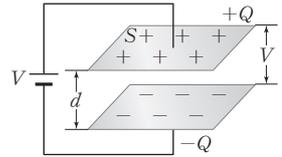
개념 체크

- **유전체와 유전 분극:** 유전체에 서의 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 ()하고, 극판 사이의 간격에 ()한다.
2. 축전기 속에 유전체를 넣으면 유전체의 () 현상이 일어나 축전기에 전하를 더 많이 모을 수 있다.
3. 전기 용량이 2C인 축전기에 충전된 전하량이 4Q일 때 축전기에 저장된 전기 에너지는 ()이다.

- ② 평행판 축전기의 전기 용량 C 는 극판의 면적 S 에 비례하고, 극판 사이의 간격 d 에 반비례한다.

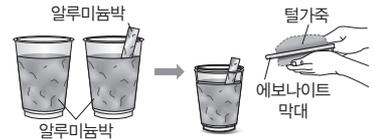
$$C = \epsilon \frac{S}{d} \quad (\epsilon: \text{유전율})$$



탐구자료 살펴보기 레이던 병(간이 축전기) 만들기

과정

- (1) 그림과 같이 2개의 플라스틱 컵을 위쪽에 1 cm 정도만 남기고 알루미늄박으로 감싸 셀로판테이프로 고정한다.
- (2) 한 컵의 바깥 면에 직사각형 모양의 알루미늄박을 컵 위로 돌출되어 나오게 한 후, 셀로판테이프로 고정한다.
- (3) 과정 (2)의 컵이 안쪽에 오도록 두 컵을 겹친다.
- (4) 안쪽 컵의 돌출된 알루미늄박에 털가죽으로 문지른 에보나이트 막대를 접촉한다.
- (5) 과정 (4)를 10번 정도 반복한 후 안쪽 컵의 돌출된 알루미늄박과 바깥쪽 알루미늄박에 동시에 손을 대어 본다.



결과

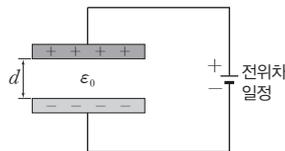
• 손을 통해 전류가 흐르는 것을 느낄 수 있다.

point

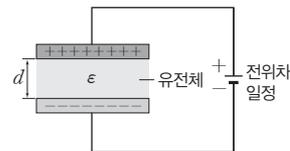
• 전하를 정전기 유도의 원리로 저장할 수 있다.

(3) 유전체의 역할

- ① 유전체: 유리, 종이, 나무, 플라스틱과 같은 절연체이다.
- ② 유전율: 전기장 내에서 유전 분극되는 정도와 관련 있는 물리량이다. 유전 분극이 잘 될수록 유전율이 크며, 진공의 유전율은 일반적으로 ϵ_0 으로 나타낸다.
- ③ 유전체와 전기 용량: 유전율이 ϵ 인 유전체를 축전기 속에 넣으면 전기 용량은 진공 상태일 때의 $\frac{\epsilon}{\epsilon_0}$ 배가 된다. 축전기 속에 유전체를 넣으면 유전체의 유전 분극에 의해 축전기에 전하를 더 많이 모을 수 있다.



유전체를 넣지 않았을 때

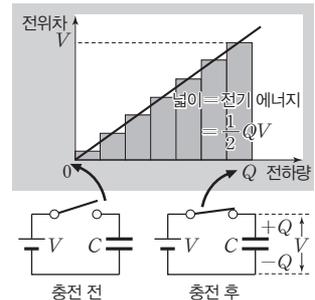


유전체를 넣었을 때

3 축전기에 저장된 전기 에너지

- (1) 전기 용량이 C 인 축전기에 전압 V 인 전지를 연결하여 충전을 시작하면 축전기 극판의 양단에 전하가 이동하여 대전이 된다.
- (2) 전기 에너지는 전위차 - 전하량 그래프의 밑넓이와 같다.

$$E = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$



정답

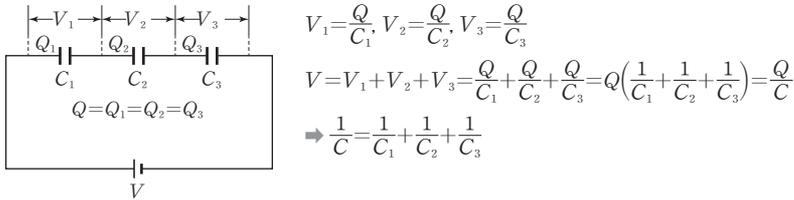
1. 비례, 반비례
2. 유전 분극
3. $\frac{4Q^2}{C}$



과학 돋보기 | 축전기의 연결

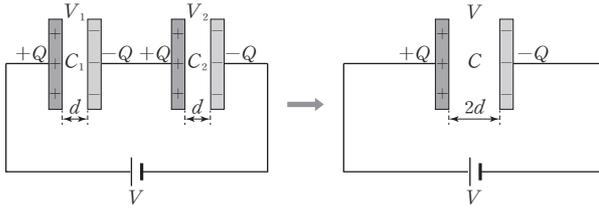
1. 직렬연결

① 각 축전기에 충전되는 전하량이 같고, 각 축전기에 걸린 전압의 합은 전원의 전압과 같다.



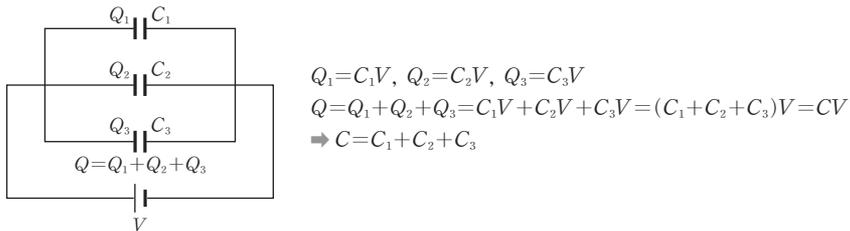
② 합성 전기 용량은 전기 용량이 가장 작은 축전기의 전기 용량보다 작다.

③ 면적이 같은 축전기를 직렬로 연결할 때, 두 극판 사이의 간격이 증가하는 효과가 나타나 합성 전기 용량은 감소한다.



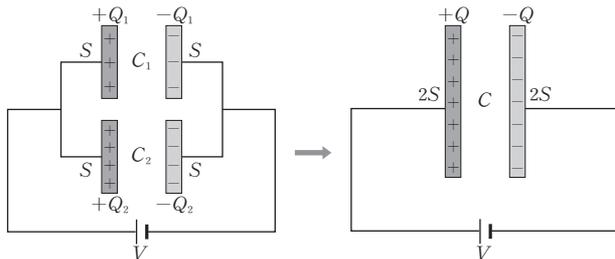
2. 병렬연결

① 각 축전기에 걸린 전압은 전원의 전압과 같고, 각 축전기에 충전된 전하량의 합이 전체 전하량과 같다.



② 합성 전기 용량은 전기 용량이 가장 큰 축전기의 전기 용량보다 크다.

③ 극판 사이의 간격이 같은 축전기를 병렬로 연결할 때, 극판의 면적이 넓어지는 효과가 나타나 합성 전기 용량은 증가한다.



4 축전기의 이용

(1) 에너지 저장 장치로서의 축전기 활용 사례

- ① 카메라 플래시: 사진을 찍을 때 주변이 어두우면 플래시를 터뜨린다. 플래시에서 강한 빛을 발산하기 위해서는 순간적으로 많은 전기 에너지가 필요하다. 이때 축전기에 저장된 전기 에너지를 이용하여 짧은 시간 동안 강한 빛을 낼 수 있다.

개념 체크

● **축전기의 직렬연결:** 각 축전기에 충전되는 전하량이 같고, 각 축전기에 걸린 전압의 합이 전원의 전압과 같다.

● **축전기의 병렬연결:** 각 축전기에 걸린 전압은 전원의 전압과 같고, 각 축전기에 충전된 전하량의 합이 전체 전하량과 같다.

1. 전기 용량이 각각 $1 \mu\text{F}$, $2 \mu\text{F}$ 인 두 축전기 A, B가 병렬로 연결되어 있을 때, A에 걸리는 전압이 V 이면 B에 걸리는 전압은 ()이다.

2. 축전기와 저항이 병렬로 연결되어 있으면 축전기와 저항에 걸리는 전압은 ()다.

3. 극판 사이의 간격이 같은 축전기를 병렬로 연결할 때, 극판의 면적이 ()지는 효과가 나타나 합성 전기 용량은 증가한다.

정답

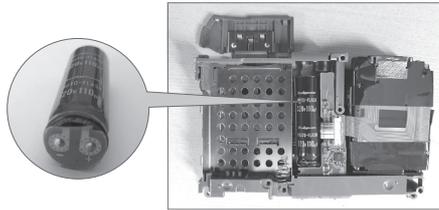
1. V
2. 같
3. 넓어

개념 체크

- **자동심장충격기:** 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. 자동심장충격기는 축전기에 저장된 전기 에너지를 한꺼번에 ()시키면서 순간적으로 강한 전류를 심장 부근에 가해 심장이 원래 기능을 하도록 돕는다.
2. 키보드의 글자판을 누르면 두 금속판 사이의 간격이 줄어들어 전기 용량이 ()하고 컴퓨터가 이 변화를 인식하여 글자를 입력한다.
3. 콘덴서 마이크에 소리가 도달하여 소리에 의해 얇은 금속판이 진동할 때 두 금속판 사이의 간격이 달라져 전기 용량이 변하게 된다. 이때 콘덴서(축전기)에 저장된 ()이/가 변하여 회로에 전류가 흐르게 된다.

- ② **자동심장충격기:** 축전기에 저장된 전기 에너지를 한꺼번에 방전시키면서 순간적으로 강한 전류를 심장 부근에 가해 심장이 원래 기능을 하도록 돕는다. 자동심장충격기를 반복 사용할 때 축전기에 전하를 충전시키는 데 시간이 걸리므로 연속으로 사용하지는 못한다.



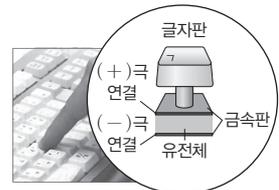
카메라 내부의 축전기



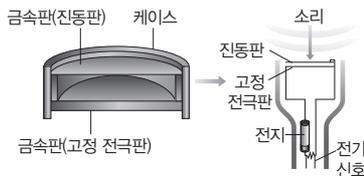
자동심장충격기

(2) 전기 용량의 차이로서의 축전기 활용 사례

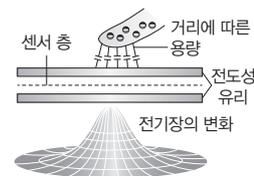
- ① **키보드:** 컴퓨터 키보드 중 축전기 원리를 활용하는 정전식 키보드의 글자판 아래에는 글자판과 함께 움직이는 금속판과 고정된 금속판이 연결되어 나란하게 배치되어 있어 글자판을 누르면 두 금속판 사이의 간격이 줄어들어 전기 용량이 증가하고 컴퓨터가 이 변화를 인식하여 글자를 입력한다.
- ② **콘덴서 마이크:** 전지에 연결된 두 금속판이 나란하게 배치되어 있어 소리에 의해 얇은 금속판이 진동할 때 두 금속판 사이의 간격이 달라지면 전기 용량이 변하게 된다.
- ③ **터치스크린:** 유리 한쪽 표면의 전도성을 높게 만든 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.



키보드



콘덴서 마이크

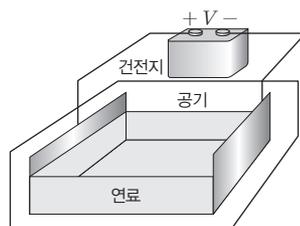


터치스크린

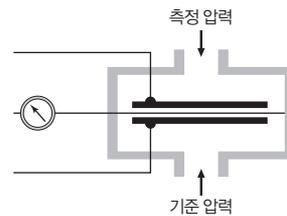


과학 돋보기 | 연료 잔량 측정기와 축전기 압력계

연료 잔량 측정기는 축전기의 두 극판 사이에 채워진 연료의 양에 따라 유전율이 변하게 되어 전기 용량도 변하는 원리를 이용하고, 축전기 압력계는 축전기의 두 극판 사이의 미세한 측정 압력의 변화에 의해 극판 사이의 간격이 변해 전기 용량이 변하는 원리를 이용한다.



연료 잔량 측정기 원리

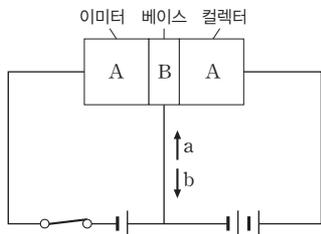


축전기 압력계 원리

정답

1. 방전
2. 증가
3. 전하량(전기 에너지)

01 [23027-0151] 그림과 같이 트랜지스터를 전원에 연결하였더니 트랜지스터에서 전류를 증폭하고 있다. 베이스 단자에는 a 또는 b 방향으로 전류가 흐르고, A, B는 p형 또는 n형 반도체이다.

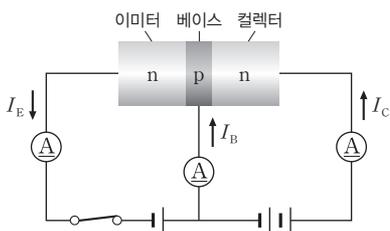


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. A는 p형 반도체이다.
 - ㄴ. 베이스에 흐르는 전류의 방향은 a이다.
 - ㄷ. 컬렉터를 구성하는 반도체에는 주로 전자가 전류를 흐르게 한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

02 [23027-0152] 그림과 같이 트랜지스터를 이용하여 전류 증폭 회로를 구성하였다. 이미터, 베이스, 컬렉터에 흐르는 전류의 세기는 각각 I_E , I_B , I_C 이다.

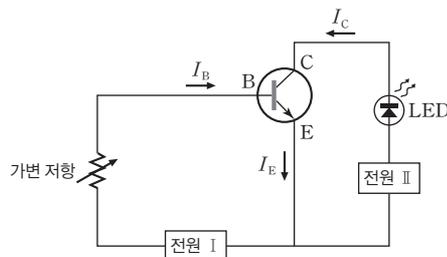


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 베이스와 컬렉터 사이에는 순방향 전압이 걸린다.
 - ㄴ. $I_E = I_B + I_C$ 이다.
 - ㄷ. 베이스와 컬렉터 사이의 전압을 증가시킬 때 베이스에 흐르는 전류의 변화량은 컬렉터에 흐르는 전류의 변화량보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 [23027-0153] 그림과 같이 가변 저항, 발광 다이오드(LED), 트랜지스터를 전원 장치 I, II에 연결하였더니 LED에 불이 켜졌다. C, B, E는 각각 트랜지스터의 컬렉터, 베이스, 이미터이고, 컬렉터 전류 I_C , 베이스 전류 I_B , 이미터 전류 I_E 가 화살표 방향으로 흐른다. $\frac{I_C}{I_B}$ 는 일정하다.

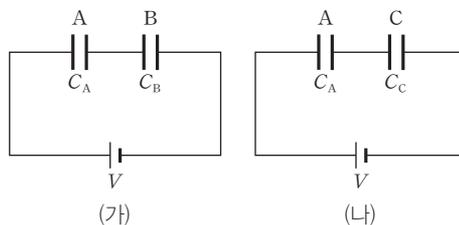


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. n-p-n형 트랜지스터이다.
 - ㄴ. 가변 저항의 저항값을 서서히 증가시키면 발광 다이오드의 밝기가 감소한다.
 - ㄷ. B와 E 사이에는 역방향 전압이 걸린다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

04 [23027-0154] 그림 (가), (나)와 같이 전기 용량이 각각 C_A , C_B , C_C 인 축전기 A, B, C를 전압이 V 로 일정한 전원에 연결하여 완전히 충전시켰다. (가)에서 축전기 양단에 걸리는 전압은 A가 B의 2배이고, A 양단에 걸리는 전압은 (가)에서 (나)에서의 2배이다.

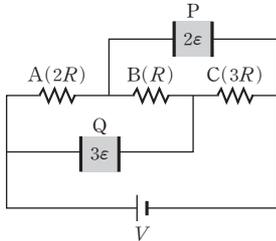


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. C 양단에 걸리는 전압은 $\frac{1}{3}V$ 이다.
 - ㄴ. $C_B = 4C_C$ 이다.
 - ㄷ. 충전된 전하량은 B가 C의 2배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 [23027-0155] 그림과 같이 극판의 면적과 극판 사이의 간격이 같은 평행판 축전기 P, Q를 전압이 V 로 일정한 직류 전원, 저항 A, B, C에 연결하여 완전히 충전하였다. P, Q에는 유전율이 각각 2ϵ , 3ϵ 인 유전체가 채워져 있고 A, B, C의 저항값은 각각 $2R$, R , $3R$ 이다.



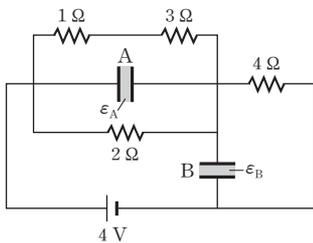
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 전기 용량은 P가 Q보다 크다.
- ㄴ. 극판 사이의 전위차는 P가 Q보다 크다.
- ㄷ. 축전기에 충전된 전하량은 Q가 P의 $\frac{9}{8}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 [23027-0156] 그림과 같이 저항값이 각각 1Ω , 2Ω , 3Ω , 4Ω 인 저항 4개와 극판의 면적, 극판 사이의 간격이 같은 평행판 축전기 A, B를 전압이 $4V$ 로 일정한 전원에 연결하였다. A와 B에 전하가 완전히 충전되었다. A와 B에는 유전율이 각각 ϵ_A , ϵ_B 인 유전체가 채워져 있고, A와 B에 충전된 전하량은 모두 $1\mu C$ 이다.



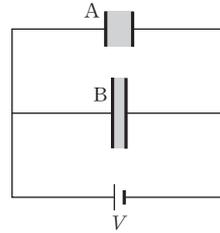
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 축전기 양단에 걸리는 전압은 B가 A의 4배이다.
- ㄴ. A의 전기 용량은 $1\mu F$ 이다.
- ㄷ. $\epsilon_B = 3\epsilon_A$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

07 [23027-0157] 그림은 평행판 축전기 A, B를 전압이 일정한 전원에 연결하여 완전히 충전한 것을 나타낸 것이고, 표는 A, B의 극판의 면적, 극판 사이의 간격, 극판 사이에 채워진 유전체의 유전율을 나타낸 것이다.



축전기	A	B
극판의 면적	S	$2S$
극판 사이의 간격	$2d$	d
유전체의 유전율	ϵ	3ϵ

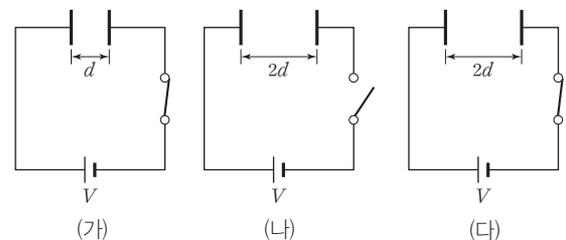
물리량이 B가 A의 12배인 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 전기 용량
- ㄴ. 충전된 전하량
- ㄷ. 저장된 전기 에너지

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

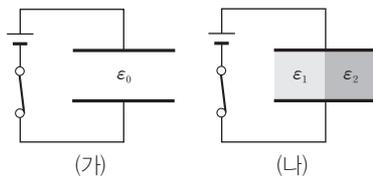
08 [23027-0158] 그림 (가)는 극판 사이의 간격이 d 인 평행판 축전기를 전압이 V 로 일정한 직류 전원에 연결하여 완전히 충전시킨 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 상태에서 스위치를 연 후, 축전기의 극판 사이의 간격을 $2d$ 로 증가시킨 것을 나타낸 것이고, (다)는 (나)의 상태에서 스위치를 닫아 축전기를 완전히 충전시킨 것을 나타낸 것이다.



(나)와 (다)의 축전기에 저장된 전기 에너지를 각각 $E_{(나)}$, $E_{(다)}$ 라고 할 때, $E_{(나)} : E_{(다)}$ 는?

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

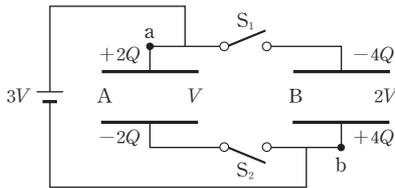
09 그림 (가)는 평행판 축전기에 유전율이 ϵ_0 인 유전체를 채워 스위치와 전압이 일정한 전원에 연결한 것을 나타낸 것이고, (나)는 (가)와 동일한 평행판 축전기에 유전율이 각각 ϵ_1, ϵ_2 이고 같은 모양의 두 유전체를 절반씩 채워 스위치와 전압이 일정한 전원에 연결한 것을 나타낸 것이다. (가)와 (나)의 축전기 양단에 걸리는 전압은 같고 축전기는 완전히 충전되어 있다.



(가)의 축전기에 저장된 전기 에너지를 E_0 , (나)의 축전기에 저장된 전기 에너지를 E 라고 할 때, $\frac{E}{E_0}$ 는?

- ① $\frac{2\epsilon_0^2}{(\epsilon_1 + \epsilon_2)^2}$ ② $\frac{(\epsilon_1 + \epsilon_2)^2}{2\epsilon_0^2}$ ③ $\frac{2\epsilon_0}{\epsilon_1 + \epsilon_2}$
- ④ $\frac{\epsilon_1 + \epsilon_2}{2\epsilon_0}$ ⑤ $\frac{\epsilon_1 + \epsilon_2}{\epsilon_0}$

10 그림과 같이 충전된 축전기 A와 B가 스위치 S_1, S_2 와 전압이 $3V$ 로 일정한 전원에 연결되어 있다. S_1, S_2 는 열려 있고, A, B 양단에 완전히 충전된 전하량은 각각 $2Q, 4Q$ 이다. 이때 A, B에 걸린 전압은 각각 $V, 2V$ 이고, A, B에 저장된 전기 에너지는 각각 E_A, E_B 이며, S_1, S_2 를 닫은 이후 A, B가 완전히 충전되었을 때 A에 저장된 전기 에너지는 E 이다.



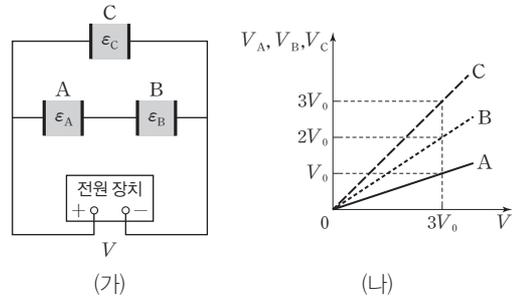
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. $E_B = 4E_A$ 이다.
- ㄴ. S_1, S_2 를 닫은 순간부터 A, B가 완전히 충전될 때까지 b점을 통과한 전하량의 크기는 a점을 통과한 전하량의 크기의 $\frac{5}{2}$ 배이다.
- ㄷ. $E = 3E_A$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

11 그림 (가)는 극판의 면적, 극판 사이의 간격이 같은 평행판 축전기에 유전율이 각각 $\epsilon_A, \epsilon_B, \epsilon_C$ 인 유전체를 채운 평행판 축전기 A, B, C를 전원 장치에 연결한 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 A, B, C가 완전히 충전되었을 때 전원 장치의 전압 V 에 따른 A, B, C 양단의 전압 V_A, V_B, V_C 를 각각 나타낸 것이다.



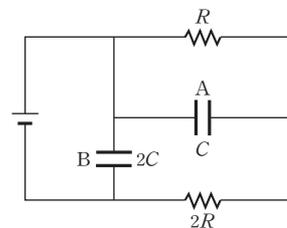
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. $\epsilon_B = 2\epsilon_A$ 이다.
- ㄴ. $V = 3V_0$ 일 때 A에 충전된 전하량은 C에 충전된 전하량의 $\frac{\epsilon_A}{2\epsilon_C}$ 배이다.
- ㄷ. 축전기에 저장된 전기 에너지는 C가 B의 $\frac{9\epsilon_C}{4\epsilon_B}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

12 그림은 전압이 일정한 전원과 저항값이 각각 $R, 2R$ 인 저항, 전기 용량이 각각 $C, 2C$ 인 축전기 A, B로 구성된 회로를 나타낸 것이다.



A, B가 완전히 충전되었을 때, A와 B에 저장된 전기 에너지를 각각 E_A, E_B 라고 하면, $\frac{E_A}{E_B}$ 는?

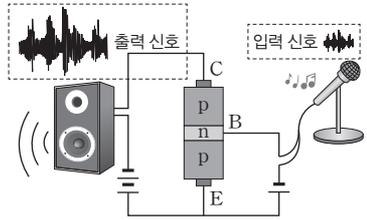
- ① $\frac{1}{18}$ ② $\frac{1}{9}$ ③ $\frac{1}{8}$ ④ $\frac{1}{4}$ ⑤ $\frac{1}{3}$

[23027-0163]

트랜지스터는 이미터 단자와 베이스 단자 사이에 순방향 전압이 걸린다. 베이스를 얇게 만들면 p-n-p형 트랜지스터에서 이미터에서 베이스로 이동하던 대다수의 양공이 컬렉터로 이동한다.

01 다음은 p-n-p형 트랜지스터에 대한 설명이다.

이미터(E)와 베이스(B) 사이에 순방향 전압 V_{EB} 가 걸려 있어 전류가 흐를 때, 베이스가 충분히 얇다면 베이스에 흐르는 전류의 세기 I_B 가 컬렉터에 흐르는 전류의 세기 I_C 보다 ㉠ 것이다. 따라서 이미터에서 베이스로 이동하던 대부분의 ㉡ 이 컬렉터로 이동한다. 그러므로 ㉢ V_{EB} 의 미세한 전압 변화에 의해 I_C 가 크게 변하는 작용을 한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

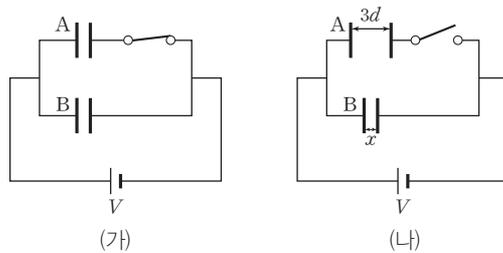
- 보기
- ㄱ. ㉠은 '작을'이 적절하다.
 - ㄴ. ㉡은 전자이다.
 - ㄷ. ㉢은 정류 작용이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

축전기의 전기 용량은 극판 사이의 간격에 반비례한다. 축전기의 전기 용량을 C , 두 극판 양단에 걸리는 전압을 V 라고 하면, 축전기에 충전된 전하량은 $Q=CV$ 이고 축전기에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{2}CV^2 = \frac{Q^2}{2C}$ 이다.

[23027-0164]

02 그림 (가)는 극판의 면적이 같고 극판 사이의 간격이 d 로 같은 두 평행판 축전기 A, B를 전압이 V 로 일정한 직류 전원에 연결하여 완전히 충전시킨 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 상태에서 스위치를 연 후, A의 극판 사이의 간격을 $3d$ 로 증가시키고, B의 극판 사이의 간격을 x 로 변화시킨 것을 나타낸 것이다. (나)에서 A, B에 저장된 전기 에너지는 같다.

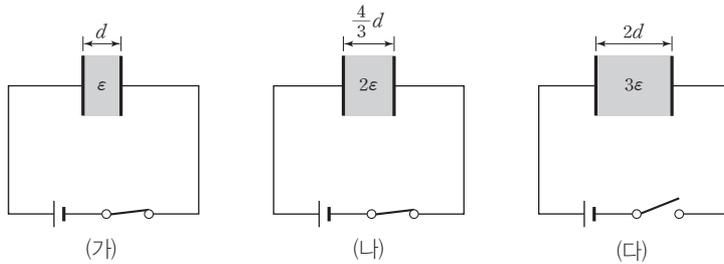


x 는? (단, (가)와 (나)에서 A, B의 극판 사이는 진공이다.)

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

[23027-0165]

03 그림 (가)와 같이 극판 사이의 간격이 d 이고 유전율이 ϵ 인 유전체를 채운 평행판 축전기를 전압이 일정한 전원에 연결하여 스위치를 닫아 완전히 충전하였다. 축전기에 충전된 전하량은 Q 이다. 그림 (나)는 (가)에서 극판 사이의 간격을 $\frac{4}{3}d$ 로 늘인 후 유전율이 2ϵ 인 유전체를 채워 완전히 충전한 것을, (다)는 (나)에서 스위치를 열고 극판 사이의 간격을 $2d$ 로 늘인 후 극판 사이에 유전율이 3ϵ 인 유전체를 채운 것을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 축전기의 전기 용량은 (나)에서가 (가)에서의 $\frac{3}{2}$ 배이다.
- ㄴ. 축전기에 충전된 전하량은 (다)에서가 (가)에서의 $\frac{3}{2}$ 배이다.
- ㄷ. 축전기에 저장된 전기 에너지는 (나)에서와 (다)에서가 같다.

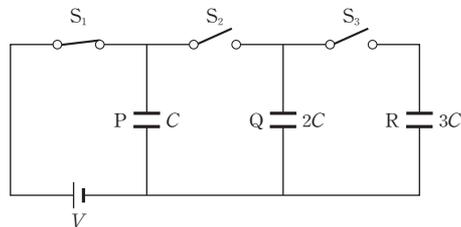
- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[23027-0166]

04 다음은 축전기에 충전된 전하량을 알아보는 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 전기 용량이 각각 C , $2C$, $3C$ 인 축전기 P, Q, R와 스위치 S_1 , S_2 , S_3 을 전압이 V 로 일정한 전원에 연결한 후 S_1 을 닫아 P를 완전히 충전시킨다.



- (나) S_1 을 열고 S_2 를 닫아 Q를 완전히 충전시킨다.
- (다) S_2 를 열고 S_3 을 닫아 R를 완전히 충전시킨다.

(다)에서 P, Q, R에 충전된 전하량을 각각 Q_1 , Q_2 , Q_3 이라고 할 때, $Q_1 : Q_2 : Q_3$ 은?

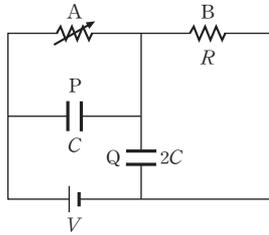
- ① 1 : 2 : 3 ② 2 : 3 : 6 ③ 3 : 2 : 1 ④ 5 : 4 : 6 ⑤ 6 : 3 : 2

스위치가 연결된 상태에서 극판 사이의 거리를 변화시키면 극판 사이에 걸리는 전압은 일정하다. 완전히 충전된 축전기에 스위치를 연 후 극판 사이의 거리를 변화시키면 축전기에 충전된 전하량은 변하지 않는다.

S_1 만 닫았을 때 P에 모이는 전하량은 S_1 을 열고 S_2 를 닫았을 때 P와 Q에 모이는 전하량의 합과 같고, S_3 을 닫았을 때 P와 Q에 걸리는 전압은 같다.

두 저항의 직렬연결에서 각 저항에 걸리는 전압의 합은 전체 전압과 같고 각 저항의 양단에 걸리는 전압의 비는 저항값의 비와 같다. 저항과 축전기가 병렬로 연결된 경우 저항 양단에 걸리는 전압과 축전기 양단에 걸리는 전압은 같다.

05 [23027-0167] 그림은 가변 저항 A, 저항값이 R 인 저항 B, 평행판 축전기 P와 Q를 전압이 V 로 일정한 전원에 연결한 것을 나타낸 것이다. P와 Q의 전기 용량은 각각 C , $2C$ 이다. 표는 A의 저항값이 각각 R , $3R$ 이고 P, Q에 전하가 완전히 충전되었을 때 P와 Q에 충전된 전하량을 각각 나타낸 것이다.



A의 저항값	P의 전하량	Q의 전하량
R	Q_0	㉠
$3R$	㉡	

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

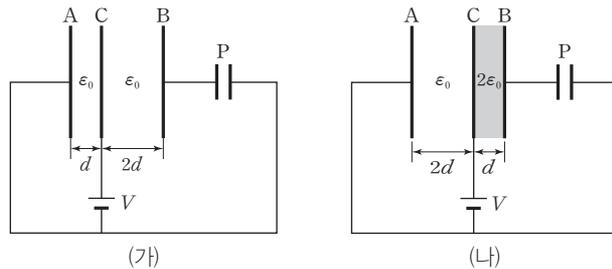
보기

- ㄱ. A의 저항값이 R 일 때, Q에 걸리는 전압은 V 이다.
- ㄴ. ㉠은 $2Q_0$ 이다.
- ㄷ. ㉡은 $3Q_0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

C와 B 사이의 축전기와 P는 직렬로 연결되어 직류 전원에 연결되어 있고, A와 C 사이의 축전기는 직류 전원과 연결되어 있다.

06 [23027-0168] 그림 (가), (나)와 같이 간격이 $3d$ 인 금속판 A, B 사이에 금속판 C를 넣고 평행판 축전기 P, 전압이 V 로 일정한 직류 전원에 연결하여 축전기를 완전히 충전하였다. A, B, C의 금속판의 면적은 같고 서로 마주 보고 있다. (가)에서 A와 C, C와 B, (나)에서 A와 C 사이는 진공이고, (나)에서 C와 B 사이는 유전율이 $2\epsilon_0$ 인 물질이 채워져 있다. (나)에서 C와 B 사이의 전기 용량과 P의 전기 용량은 C 로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 진공의 유전율은 ϵ_0 이고, C의 두께는 무시한다.)

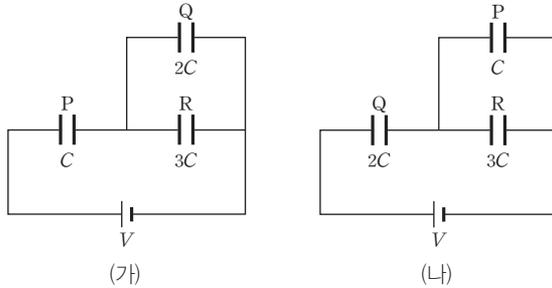
보기

- ㄱ. (가)에서 A와 C 사이의 전기 용량은 $\frac{1}{2}C$ 이다.
- ㄴ. (가)에서 C와 B 사이에 충전된 전하량은 $\frac{2}{5}CV$ 이다.
- ㄷ. (나)에서 P에 저장된 전기 에너지는 $\frac{16}{25}CV^2$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 그림 (가), (나)와 같이 전기 용량이 각각 $C, 2C, 3C$ 인 축전기 P, Q, R를 전압이 V 로 일정한 전원에 연결하여 완전히 충전시켰다. (가)에서 축전기 양단에 걸리는 전압은 P가 Q의 5배이고, R에 걸리는 전압은 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

[23027-0169]



(가)의 회로는 Q와 R가 병렬로 연결된 상태에 P가 직렬로 연결되어 있고, (나)의 회로는 P와 R가 병렬로 연결된 상태에 Q가 직렬로 연결되어 있다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

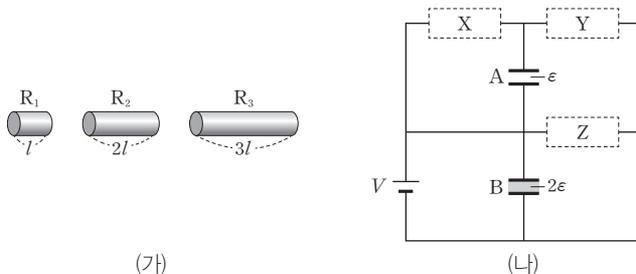
보기

- ㄱ. (가)에서 P에 걸리는 전압은 $\frac{5}{6}V$ 이다.
- ㄴ. 축전기에 충전된 전하량은 (가)의 Q와 (나)의 P에서 같다.
- ㄷ. 축전기에 저장된 전기 에너지는 (가)의 P가 (나)의 Q보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 그림 (가)는 길이가 $6l$ 인 균일한 재료의 원통형 금속 막대를 길이의 비가 $1 : 2 : 3$ 이 되도록 잘라 저항 R_1, R_2, R_3 을 만든 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 전압이 V 로 일정한 전원과 극판의 면적, 극판 사이의 간격이 같은 평행판 축전기 A, B를 연결한 회로를 나타낸 것이다. X, Y, Z는 R_1, R_2, R_3 의 위치를 순서 없이 나타낸 것이다. A와 B 내부에는 유전율이 각각 $\epsilon, 2\epsilon$ 인 유전체가 채워져 있고 A와 B는 완전히 충전되어 있다. B에 저장된 전기 에너지는 E 이다.

[23027-0170]



저항의 재료와 단면적이 일정할 때 저항값은 길이에 비례하고 두 저항이 직렬로 연결된 회로에서 각 저항의 저항값의 비는 각 저항에 걸린 전압의 비와 같다. 저항과 축전기가 병렬로 연결된 회로에서 각 저항에 걸린 전압과 축전기에 걸린 전압은 같다.

A에 저장될 수 있는 전기 에너지의 최댓값은?

- ① $\frac{1}{32}E$ ② $\frac{2}{25}E$ ③ $\frac{9}{50}E$ ④ $\frac{2}{9}E$ ⑤ $\frac{9}{32}E$

개념 체크

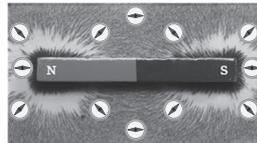
- **자기장:** 자기력이 미치는 공간이다.
- **자기력선:** 자기장 내에서 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향을 연속적으로 이은 선이다.

1. 자기장 내에서 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향을 연속적으로 연결한 선을 ()이라고 한다.
2. 자기력선은 자석의 ()극에서 나와서 ()극으로 들어간다.
3. 자기력선이 조밀한 곳일수록 자기장의 세기가 () .

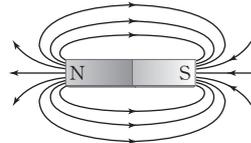
1 자기장과 자기력선

(1) **자기장:** 자석 주위에 쇠붙이나 다른 자석을 가까이하면 서로 당기거나 미는 힘이 작용하는데 이렇게 자석이 다른 물체와 상호 작용 하는 힘을 자기력이라 하고, 자기력이 미치는 공간을 자기장이라고 한다.

(2) **자기력선:** 그림과 같이 막대자석 주위에 철가루를 뿌렸을 때, 자석 주위에 배열된 철가루의 모양으로 자기력선을 관찰할 수 있다. 자기력선은 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향을 연속적으로 이은 선으로, 자기력선이 조밀한 곳일수록 자기장의 세기가 크다.



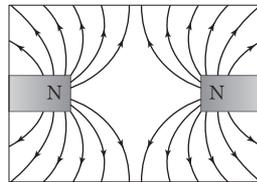
막대자석 주위의 자기장



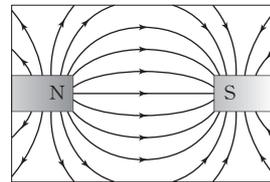
막대자석 주위의 자기력선

(3) 자기력선의 특징

- ① 자석의 N극에서 나와서 S극으로 들어가는 단일 닫힌 곡선이다.
- ② 서로 교차하거나 도중에 갈라지거나 끊어지지 않는다.
- ③ 자기력선 위의 한 점에서 그은 접선 방향이 그 점에서 자기장의 방향이다.
- ④ 같은 극과 다른 극 사이에서의 자기력선은 다음과 같다.



같은 극 사이에서의 자기력선

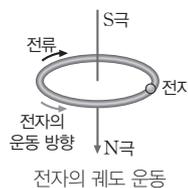


다른 극 사이에서의 자기력선



과학 돋보기 | 자기장의 본질

자기장은 전기장과 밀접한 관계가 있다. 전하의 주위에 전기장이 생기는 것처럼 그 전하가 움직이면 주위의 공간에는 자기장이 생긴다. 실제로 전자가 공전과 자전을 하는 것은 아니지만 그림과 같이 전자가 원자핵 주위를 시계 반대 방향으로 회전하면 전류는 시계 방향으로 흐르므로 회전 중심에서 자기장의 방향은 전자의 궤도면에 수직인 아래 방향이 된다. 전자가 자전하는 스핀에 의해서도 자기장이 만들어지는데 보통은 스핀에 의한 자기장의 세기가 궤도 운동에 의한 자기장의 세기보다 크다.



전자의 궤도 운동



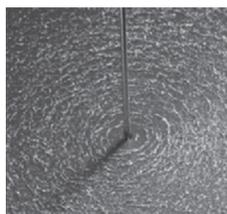
고전 물리학의 전자 스핀 모형

정답

1. 자기력선
2. N, S
3. 크다

2 직선 전류에 의한 자기장

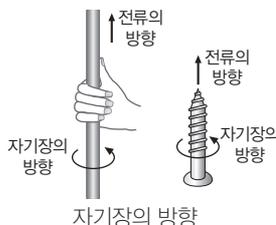
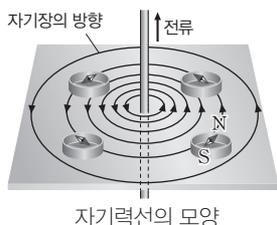
(1) **전류의 자기 작용의 발견:** 외르스테드는 전류가 흐르는 도선 주위에 놓인 자침이 움직이는 것로부터 전류에 의해 자기장이 발생한다는 결론을 도출하였다.



(2) **자기장의 세기:** 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 주위에 만들어진 자기장의 세기 B 는 전류의 세기 I 에 비례하고, 도선으로부터의 거리 r 에 반비례한다.

$$B = k \frac{I}{r} \quad [\text{단위: T, N/A} \cdot \text{m, } k = 2 \times 10^{-7} \text{ N/A}^2]$$

(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 감아주는 방향이다. 이것을 앙페르 법칙 또는 오른나사 법칙이라고 한다. 이는 오른나사가 전류의 방향으로 진행할 때 나사가 회전하는 방향과 일치한다.



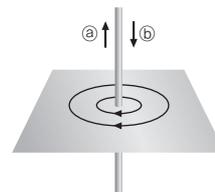
개념 체크

① 직선 전류에 의한 자기장의 세기: 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터의 거리에 반비례한다.

1. 전류가 흐르는 직선 도선 주위에 형성되는 자기장의 세기는 전류의 세기에 ()하고, 직선 도선으로부터의 거리에 ()한다.

2. 전류가 흐르는 직선 도선 주위에 형성되는 자기장의 방향은 () 법칙을 이용하여 알 수 있다.

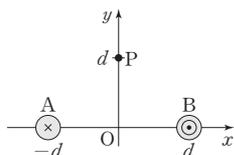
3. 그림과 같이 직선 도선에 () 방향으로 전류가 흐르면 도선 주위에 동심원 모양의 자기장이 형성된다.



탐구자료 살펴보기 무한히 긴 두 직선 전류에 의한 합성 자기장

자료

그림은 xy 평면에 수직으로 고정된 무한히 긴 직선 도선 A, B와 y 축상의 점 P를 나타낸 것이다.



[조건]

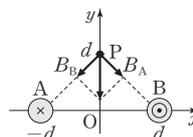
- A, B에 흐르는 전류의 세기는 I 로 같다.
- ×: xy 평면에 수직으로 들어가는 방향
- ⊙: xy 평면에서 수직으로 나오는 방향
- O에서 자기장의 세기는 $2B_0$ 이다.

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_0 으로 같다.
- P에서 A, B에 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_0 이고, 방향은 $-y$ 방향이다.

point

- 그림과 같이 B_A, B_B 를 화살표로 표시하고, 그 합을 벡터 합을 통해 구할 수 있어야 한다.
- A, B에 흐르는 전류의 방향이 같을 때 P에서 자기장의 세기와 방향도 구해 보자.



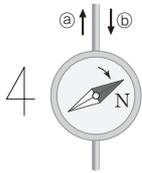
정답

1. 비례, 반비례
2. 앙페르 또는 오른나사
3. ①

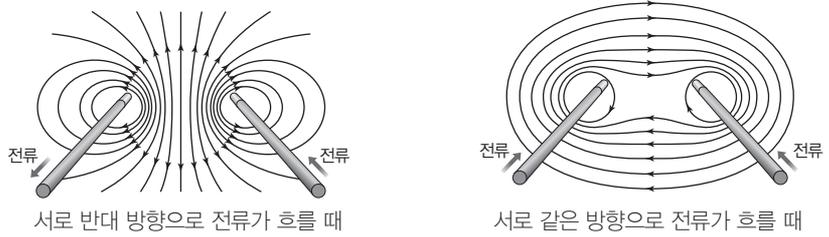
개념 체크

● 두 직선 전류에 의한 자기장의 세기: 나란한 두 직선 도선에 전류가 흐를 때 두 도선의 중앙에서 자기장의 세기는 자기장의 방향이 같으면 더해 주고, 반대이면 빼 준다.

1. 두 직선 도선에 흐르는 전류의 방향이 (같은, 반대) 방향일 때, 자기장이 0인 지점은 두 직선 도선 사이에 있다.
2. 두 직선 도선에 흐르는 전류의 방향이 (같은, 반대) 방향일 때, 자기장이 0인 지점은 두 직선 도선 바깥쪽에 있다.
3. 그림과 같이 직선 도선을 남북 방향으로 놓고 전류를 () 방향으로 흐르게 하면, 직선 도선 위에 놓은 나침반 자침의 N극은 시계 방향으로 회전한다.



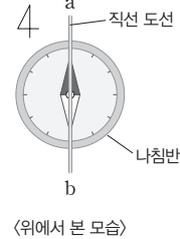
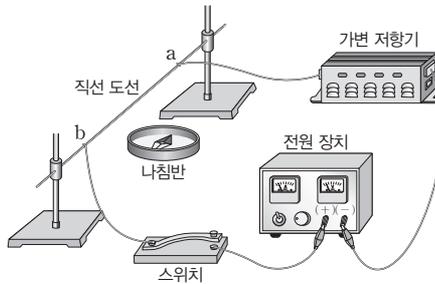
(4) 나란한 두 직선 도선에 전류가 흐를 때 자기력선의 모양: 세기가 같은 전류가 흐르는 두 직선 도선이 종이면에 수직으로 고정되어 있는 경우 각각의 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장이 서로 중첩된다. 이때 도선 주위에서 자기력선의 모양은 그림과 같다.



탐구자료 살펴보기 직선 전류에 의한 자기장

과정

(1) 그림과 같이 수평면에 놓인 나침반의 자침과 직선 도선을 나란하게 놓고 도선에 일정한 세기의 전류를 흐르게 한 후 자침의 움직임을 관찰한다.



- (2) 전류의 세기를 증가시키면서 자침의 움직임을 관찰한다.
- (3) 전원 장치의 극을 바꾸어 연결한 후 자침의 움직임을 관찰한다.

결과

- (1), (2)에서는 자침의 N극이 서쪽으로 회전한다.
- 자침의 N극이 서쪽으로 회전한 각은 (2)에서 (1)에서보다 크다.
- (3)에서는 자침의 N극이 동쪽으로 회전한다.

point

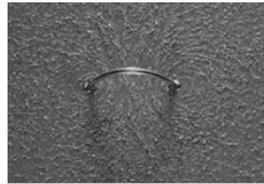
- 직선 도선에 일정한 세기의 전류가 흐를 때 자침의 N극이 가리키는 방향은 지구 자기장과 전류에 의한 자기장의 합성 자기장의 방향과 같다.
- 도선에 흐르는 전류의 세기가 클수록 전류에 의한 자기장의 세기가 커지므로 자침의 N극이 전류에 의한 자기장의 방향으로 더 많이 회전한다.

정답

1. 같은
2. 반대
3. ㉠

3 원형 전류에 의한 자기장

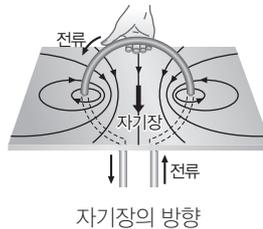
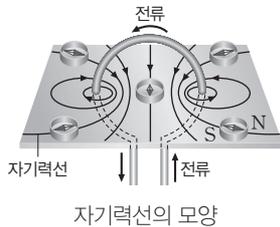
(1) **자기장의 모양:** 원형 도선의 각 부분을 직선 도선으로 생각하면 도선 근처에서 원 모양이지만 도선에서 멀어지면 타원 모양이 되다가 도선의 중심에서는 직선 모양이 된다.



(2) **자기장의 세기:** 원형 전류 중심에서 자기장의 세기는 전류의 세기 I 에 비례하고, 도선이 만드는 원의 반지름 r 에 반비례한다.

$$B = k' \frac{I}{r} \quad [\text{단위: T, N/A} \cdot \text{m, } k' = 2\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2]$$

(3) **자기장의 방향:** 원형 도선에 전류가 흐르면 원형 도선 중심에 생성되는 자기장의 방향은 오른손의 엄지손가락을 전류의 방향으로 향하게 하고 나머지 네 손가락으로 도선을 감아줄 때 네 손가락이 향하는 방향이다.

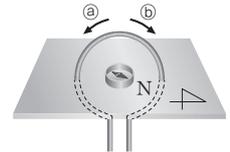


개념 체크

1. 원형 전류의 중심에서 자기장의 세기: 전류의 세기에 비례하고, 도선이 만드는 원의 반지름에 반비례한다.

1. 전류가 흐르는 원형 도선의 중심에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 ()하고, 도선의 반지름에 ()한다.

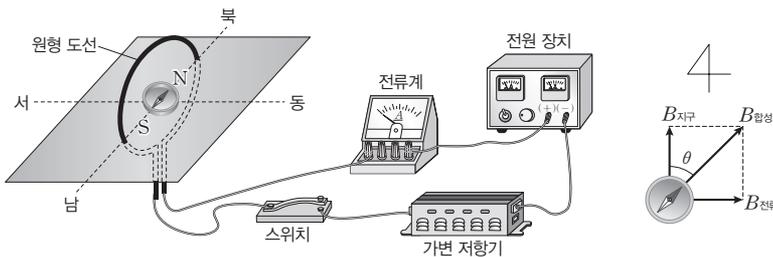
2. 그림과 같이 일정한 전류가 () 방향으로 흐르는 원형 도선 중심에 나침반을 놓으면 나침반 자침의 N극은 북쪽쪽을 가리킨다.



탐구자로 살펴보기 전류가 흐르는 원형 도선 주위의 자기장

과정

- 원형 도선의 중심축과 동서를 연결하는 선을 일치시켜 전기 회로를 구성하고, 원형 도선의 중심에 나침반을 놓는다.
- 스위치를 닫고 전원 장치에 연결된 가변 저항기의 전기 저항을 조절하여 전류의 세기를 변화시키면서 나침반 자침(N극)의 회전각을 측정한다.
- 원형 도선에 흐르는 전류의 방향을 반대로 하고, 나침반 자침(N극)의 회전 방향을 관찰한다.



결과

• 자침(N극)은 북쪽에서 동쪽(시계 방향)으로 회전하며, 전류의 방향을 반대로 하면 북쪽에서 서쪽(시계 반대 방향)으로 회전한다.

전류(A)	0.2	0.4	0.6	0.8
회전각(°)	11.6	21.3	31.1	38.4

point

- 전류가 2배, 3배, 4배 증가함에 따라 나침반 자침의 회전각이 북쪽에서 동쪽 방향인 시계 방향으로 점점 증가한다. 하지만 회전각이 전류에 비례하여 2배, 3배, 4배로 증가하지는 않는다.
- 자침의 N극이 가리키는 방향은 지구에 의한 자기장 $B_{\text{지구}}$ 와 전류에 의한 자기장 $B_{\text{전류}}$ 의 합성 방향이다.
- 원형 도선에 흐르는 전류의 방향을 반대로 하여 전류를 증가시키면 나침반 자침의 회전각은 북쪽에서 서쪽 방향인 시계 반대 방향으로 점점 증가한다.

정답

- 비례, 반비례
- ㉠

개념 체크

● 솔레노이드 내부에서의 자기장: 솔레노이드 내부에서는 자기력선이 평행하고, 자기장은 균일하다.

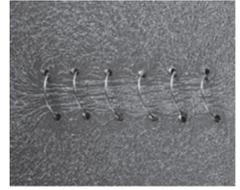
1. 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 단위 길이당 도선의 감은 수에 ()하고, 전류의 세기에 ()한다.

2. 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 오른손의 네 손가락을 ()의 방향으로 감아질 때 ()이 가리키는 방향이다.

3. 전류가 흐르는 솔레노이드 주위에 형성되는 자기장은 막대자석에 의한 자기장과 모양이 비슷하다. (○, ×)

4 솔레노이드에 의한 자기장

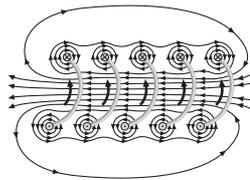
(1) 자기장의 모양: 긴 원통에 원형 도선을 촘촘하고 균일하게 감은 것을 솔레노이드라고 하며, 원형 도선을 여러 개 포개놓은 것과 같다. 솔레노이드 내부에는 축에 나란하고 균일한 자기장이 형성되며, 솔레노이드 외부에는 막대자석이 만드는 자기장과 비슷한 모양의 자기장이 형성된다.



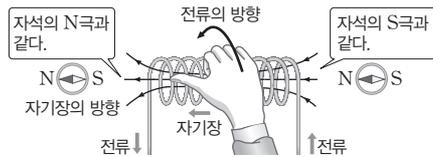
(2) 자기장의 세기: 솔레노이드 내부에는 균일한 자기장이 형성된다. 이때 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기 I 에 비례하고, 단위 길이당 도선의 감은 수 n 에 비례한다.

$$B = k''nI \text{ [단위: T, N/A} \cdot \text{m, } k'' = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2 \text{]}$$

(3) 자기장의 방향: 전류가 흐르는 방향으로 오른손 네 손가락을 감아쥐고 엄지손가락을 세울 때, 엄지손가락의 방향이 솔레노이드 내부에서의 자기장의 방향이다.



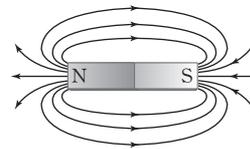
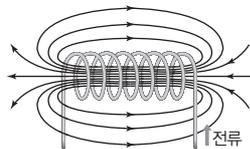
자기력선의 모양



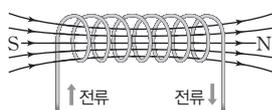
자기장의 방향

(4) 솔레노이드에 의한 자기장의 특징

- ① 막대자석에 의한 자기장과 모양이 비슷하다.
- ② N극과 S극을 이용해 자기장을 생각하면 편리하다.
- ③ 내부에 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.

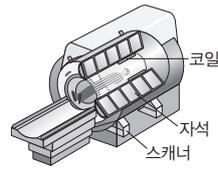


정답

- 1. 비례, 비례
- 2. 전류, 엄지손가락
- 3. ○

전자석은 도선에 흐르는 전류의 세기를 조절하여 자기장의 세기를 조절할 수 있으므로, 폐자장에서 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

개념 체크

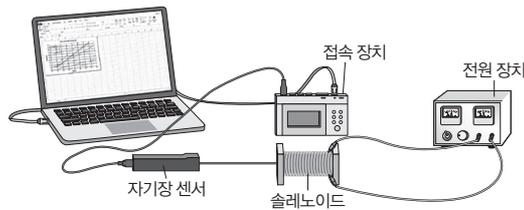
● **전자석의 이용:** 전류의 세기나 자기장의 세기를 조절하여 전기 기구에 다양하게 쓰인다.

1. 솔레노이드 안쪽에 철심을 넣어 만든 ()은 전류의 세기와 방향을 바꿀 수 있어 다양한 곳에 이용된다.
2. ()은 솔레노이드에서 강한 자기장을 발생시켜 인체 속 물 분자의 수소 원자핵을 공명시켜 얻은 신호를 이용하여 질병을 진단한다.

탐구자료 살펴보기 솔레노이드에서 전류의 세기와 단위 길이당 감은 수에 따른 자기장의 세기 비교

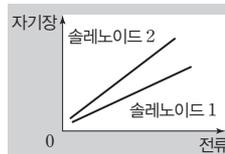
과정

- (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 켜다.
- (3) 전원 장치의 전류의 세기를 증가시키면서 평균 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 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 솔레노이드의 단위 길이당 도선의 감은 수에 비례한다.



point

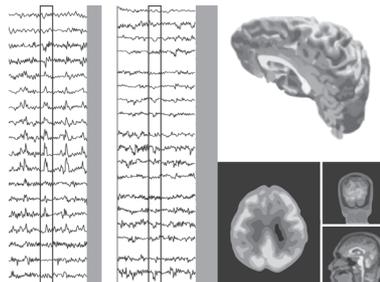
- 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 위치에 관계없이 일정하다.
- 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기와 단위 길이당 도선의 감은 수에 비례한다.
- 그래프가 원점을 지나지 않는 까닭은 지구 자기장이 작용하기 때문에 솔레노이드에 의한 자기장과 지구 자기장이 합성되어 영향을 받기 때문이다.



과학 돋보기 | 뇌자도(腦磁圖, MEG, Magnetoencephalography)

뇌의 신경 세포들이 활성화되면서 발생한 미세한 전류에 의한 자기장을 측정하는 장치를 뇌자도라고 한다. 자기장의 세기를 측정하는 스쿼드(SQUID) 센서가 측정 가능한 자기장의 세기는 10^{-15} T 정도이다. 일반 냉장고의 자석의 자기장의 세기는 0.01 T, 사람의 심장에 의한 자기장의 세기는 10^{-11} T, 뇌에 의한 자기장의 세기는 10^{-12} T~ 10^{-15} T 정도로 작다.

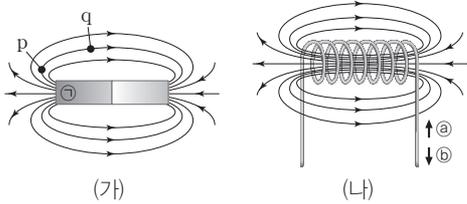
뇌자도 장치를 사용하면 간질과 뇌종양, 뇌졸중 같은 뇌 관련 수술의 부위를 정확하게 진단할 수 있으며, 파킨슨병, 치매 등 신경계 질환의 진단이 가능하다.



정답

1. 전자석
2. 자기 공명 영상(MRI) 장치

01 그림 (가), (나)는 막대자석과 일정한 전류가 흐르는 솔레노이드 주위의 자기력선을 나타낸 것이다. (가)에서 점 p, q는 자기력 선상의 지점이다. ㉠은 자석의 N극과 S극 중 하나이다.

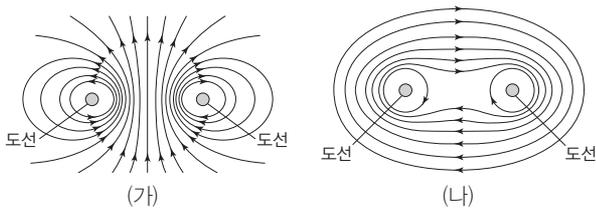


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. (가)에서 ㉠은 N극이다.
 - ㄴ. (나)에서 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향은 ㉠ 방향이다.
 - ㄷ. (가)에서 자기장의 세기는 p에서가 q에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 그림 (가), (나)는 종이면에 수직으로 고정된 무한히 긴 두 직선 도선에서 전류가 같은 방향으로 흐를 때와 반대 방향으로 흐를 때, 도선 주위의 전류에 의한 자기력선의 모습을 순서 없이 나타낸 것이다.

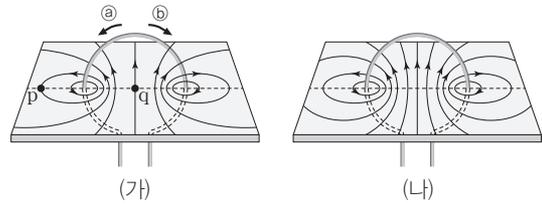


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 같은 방향으로 전류가 흐르는 두 도선 주위의 자기력 선을 나타낸 것은 (가)이다.
 - ㄴ. (가)에서 왼쪽 직선 도선에 흐르는 전류의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.
 - ㄷ. (나)에서 두 직선 도선 사이에는 자기장이 0인 지점이 있다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 그림 (가)는 원형 도선에 흐르는 일정한 전류에 의한 자기력 선을 나타낸 것이다. 점 p, q는 자기력선상의 지점이다. 그림 (나)는 (가)에서 원형 도선에 흐르는 전류의 세기만을 변화시켰을 때 전류에 의한 자기력선을 나타낸 것이다.

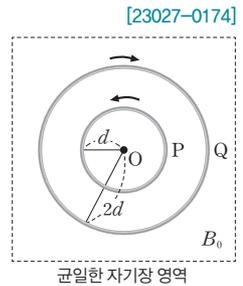


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. (가)에서 원형 도선에 흐르는 전류의 방향은 ㉠ 방향이다.
 - ㄴ. (가)의 p, q에서 자기장의 방향은 서로 같다.
 - ㄷ. 원형 도선에 흐르는 전류의 세기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

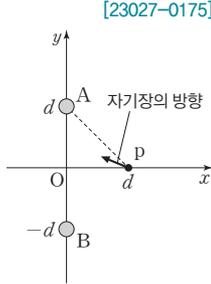
04 그림은 세기가 B_0 이고 방향은 종이면에 수직인 균일한 자기장 영역에 고정된 반지름이 각각 d , $2d$ 인 원형 도선 P, Q에 동일한 세기의 전류가 화살표 방향으로 흐르고 있는 것을 나타낸 것이다. P, Q의 중심 O에서 자기장은 0이다.



P에 흐르는 전류의 방향만을 반대로 바꾸었을 때, O에서 자기장의 방향과 세기로 옳은 것은?

- | 방향 | 세기 |
|---------------------|--------|
| ① 종이면에 수직으로 들어가는 방향 | $2B_0$ |
| ② 종이면에 수직으로 들어가는 방향 | $4B_0$ |
| ③ 종이면에 수직으로 들어가는 방향 | $5B_0$ |
| ④ 종이면에서 수직으로 나오는 방향 | $2B_0$ |
| ⑤ 종이면에서 수직으로 나오는 방향 | $4B_0$ |

05 그림은 일정한 세기의 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 A, B가 xy 평면에 수직으로 y 축상의 $y=d$, $y=-d$ 에 각각 고정되어 있을 때, x 축상의 점 p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향을 나타낸 것이다.



[23027-0175]

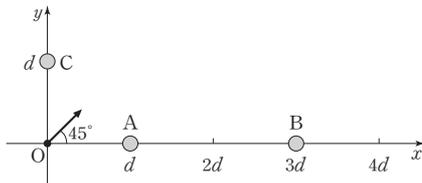
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 전류의 방향은 A에서와 B에서가 같다.
- ㄴ. 전류의 세기는 A에서가 B에서보다 작다.
- ㄷ. A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 원점 O에서가 p에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

06 그림과 같이 일정한 세기의 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가 xy 평면에 수직으로 고정되어 있다. 원점 O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향이 x 축과 이루는 각은 45° 이고, x 축상의 $x=4d$ 에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 0이다.



[23027-0176]

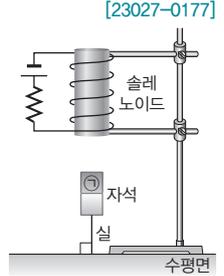
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. O에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$ 방향이다.
- ㄴ. 전류의 방향은 B에서와 C에서가 서로 같다.
- ㄷ. 전류의 세기는 A에서가 C에서의 3배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 그림과 같이 솔레노이드에 전류를 흘려주었더니 바닥과 실로 연결된 자석이 자기력을 받아 정지해 있다. ㉠은 자석의 N극과 S극 중 하나이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



[23027-0177]

보기

- ㄱ. 솔레노이드 내부에서 전류에 의한 자기장의 방향은 연직 위 방향이다.
- ㄴ. ㉠은 자석의 N극이다.
- ㄷ. 솔레노이드가 자석에 작용하는 자기력의 크기는 자석에 작용하는 중력의 크기보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

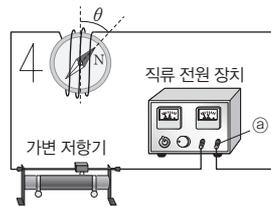
08 다음은 솔레노이드에 대해 탐구한 내용이다.

[23027-0178]

2023년 ○월 ○일

[탐구 내용]

그림과 같이 나침반에 남북 방향으로 도선을 감고 직류 전원 장치에 연결한다. 회로에 세기가 서로 다른 일정한 전류를 각각 흐르게 할 때, 나침반 자침의 N극이 북쪽에서 동쪽 방향으로 회전한 각 θ 를 측정한다.



실험	전류	θ
I	I_0	20°
II	㉠	40°

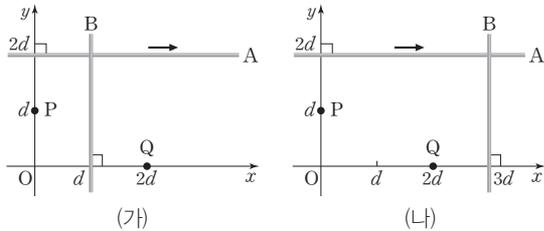
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 직류 전원 장치의 단자 ㉠은 (+)극이다.
- ㄴ. ㉠은 I_0 보다 크다.
- ㄷ. I에서 전원 장치의 극을 바꾸어 연결하면 자침의 N극은 서쪽 방향으로 회전하여 정지한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

09 [23027-0179] 그림 (가)와 같이 일정한 세기의 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 A, B가 xy 평면에 고정되어 있다. A에 흐르는 전류의 방향은 $+x$ 방향이고, 점 P, Q는 각각 y 축상과 x 축상에 있다. 그림 (나)는 (가)에서 B를 $x=3d$ 로 옮겨 고정시킨 모습을 나타낸 것이다. (가)와 (나)의 P에서 자기장의 세기는 같다.



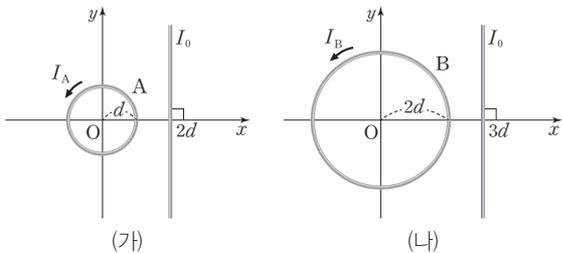
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. B에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.
- ㄴ. 전류의 세기는 B에서가 A에서의 $\frac{3}{2}$ 배이다.
- ㄷ. Q에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 (가)에서가 (나)에서의 3배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

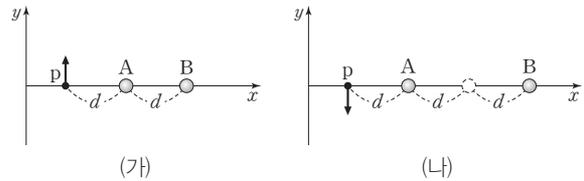
10 [23027-0180] 그림 (가), (나)와 같이 반지름이 각각 $d, 2d$ 인 원형 도선 A, B와 무한히 긴 직선 도선이 xy 평면에 고정되어 있다. A, B에는 세기가 각각 I_A, I_B 인 전류가 시계 반대 방향으로 흐르고, 직선 도선에는 세기가 I_0 인 전류가 흐른다. (가)와 (나)에서 A, B의 중심 O에서 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장은 모두 0이다.



$\frac{I_A}{I_B}$ 는?

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

11 [23027-0181] 그림 (가)와 같이 일정한 세기의 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 A, B가 xy 평면에 수직으로 고정되어 있다. x 축상의 점 p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$ 방향이다. 그림 (나)는 (가)에서 B만 $+x$ 방향으로 d 만큼 옮겨 고정시켰더니 p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향이 $-y$ 방향으로 바뀐 것을 나타낸 것이다.



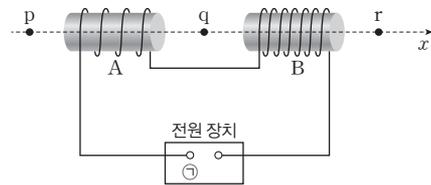
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. A에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.
- ㄴ. 전류의 세기는 A에서가 B에서보다 크다.
- ㄷ. (가)에서 A와 B 사이에는 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이 되는 지점이 있다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

12 [23027-0182] 그림과 같이 두 솔레노이드 A, B와 직류 전원 장치를 이용하여 회로를 구성하였다. 단위 길이당 도선의 감은 수는 B가 A보다 많다. 점 p, q, r는 A와 B의 중심축인 x 축상의 점이고, q에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$ 방향이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

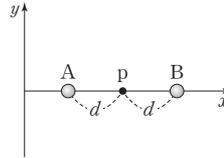
보기

- ㄱ. 전원 장치의 단자 ㉠은 (+)극이다.
- ㄴ. A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 p와 r에서 같다.
- ㄷ. 솔레노이드 내부에서 전류에 의한 자기장의 세기는 A에서가 B에서보다 작다.

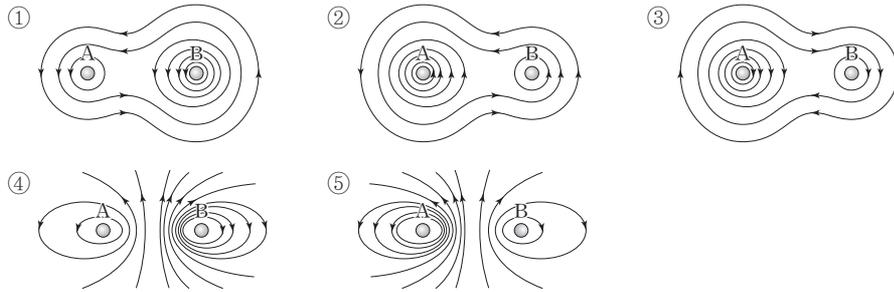
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

01 그림과 같이 일정한 세기의 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 A, B가 xy 평면에 수직으로 고정되어 있다. x 축상의 점 p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$ 방향이고, A, B의 전류에 의한 자기장이 0인 지점은 p와 B 사이에 있다.

[23027-0183]



A, B 주위에 형성되는 자기력선을 나타낸 것으로 가장 적절한 것은?



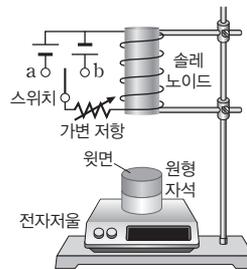
02 다음은 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장에 대한 실험이다.

[23027-0184]

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 전압이 동일한 두 전원 장치와 솔레노이드를 이용하여 회로를 구성하고 원형 자석과 솔레노이드의 중심축을 일치시킨 후, 솔레노이드 연직 아래의 전자저울 위에 원형 자석을 올려놓는다.

(나) 가변 저항값은 일정하게 하고, 스위치를 연결하지 않을 때와 a와 b에 각각 연결할 때, 전자저울의 측정값을 기록한다.



[실험 결과]

과정	스위치를 연결하지 않을 때	스위치를 a에 연결했을 때	스위치를 b에 연결했을 때
측정값(g)	㉠	61.6	58.8

스위치를 a에 연결했을 때는 자석과 솔레노이드 사이에 서로 밀어내는 자기력이, 스위치를 b에 연결했을 때는 자석과 솔레노이드 사이에 서로 당기는 자기력이 작용함을 알 수 있다.

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

보기

- ㄱ. 원형 자석의 윗면은 N극이다.
- ㄴ. ㉠은 60.2이다.
- ㄷ. 스위치를 a에 연결하고 가변 저항값을 2배로 하면 전자저울의 측정값은 61.6보다 커진다.

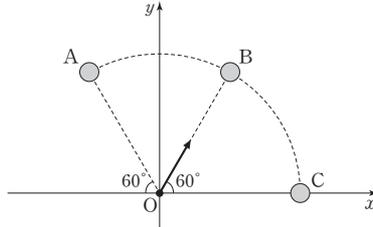
- ① ㄱ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

원점 O에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 +y 방향이다.

한 지점에서 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 다를 때, 자기장 벡터의 합성을 통해 자기장의 세기와 방향을 구할 수 있다.

[23027-0185]

03 그림과 같이 일정한 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가 원주상에 60° 간격으로 xy 평면에 수직으로 고정되어 있다. 원의 중심인 원점 O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 x축과 60°의 각을 이룬다. A, B에 흐르는 전류의 세기는 I_0 으로 같다.

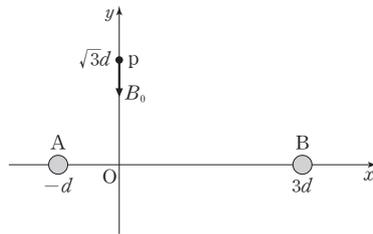


C에 흐르는 전류의 방향과 세기로 옳은 것은? (단, \odot 은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, \otimes 는 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.)

- | | | | | | |
|---|-----------|----------------|---|-----------|---------------|
| | 방향 | 세기 | | 방향 | 세기 |
| ① | \otimes | $\sqrt{3}I_0$ | ② | \otimes | $3I_0$ |
| ③ | \otimes | $2\sqrt{3}I_0$ | ④ | \odot | $\sqrt{3}I_0$ |
| ⑤ | \odot | $3I_0$ | | | |

[23027-0186]

04 그림은 일정한 세기의 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 A, B가 xy 평면에 수직으로 고정되어 있는 것을 나타낸 것이다. A, B는 각각 x축상의 $x=-d$, $x=3d$ 인 지점에 있다. y축상의 $y=\sqrt{3}d$ 인 점 p에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 세기가 B_0 이고 방향은 -y 방향이다. A에 흐르는 전류의 세기는 I_0 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

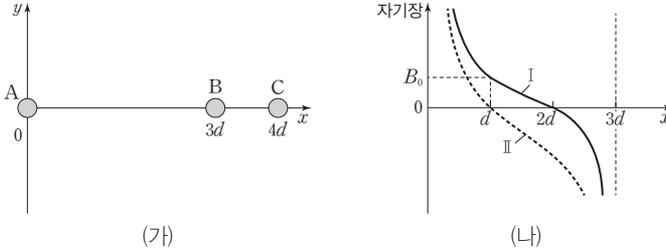
보기

- ㄱ. 전류의 방향은 A에서와 B에서가 서로 같다.
- ㄴ. B에 흐르는 전류의 세기는 $3I_0$ 이다.
- ㄷ. 원점 O에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 $3B_0$ 이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

[23027-0187]

05 그림 (가)는 일정한 세기의 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가 xy 평면에 수직으로 고정되어 있는 것을 나타낸 것이다. A, B, C는 각각 x 축상의 $x=0, x=3d, x=4d$ 인 지점에 있다. 그림 (나)는 x 축상($0 < x < 3d$)에서 A, B의 전류에 의한 자기장 I과 A, B, C의 전류에 의한 자기장 II를 x 에 따라 나타낸 것이다. 자기장의 방향은 $+y$ 방향이 양(+)이다.



나란한 두 직선 도선에 흐르는 전류의 방향이 같을 때 자기장이 0이 되는 지점은 두 직선 도선 사이에 있다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

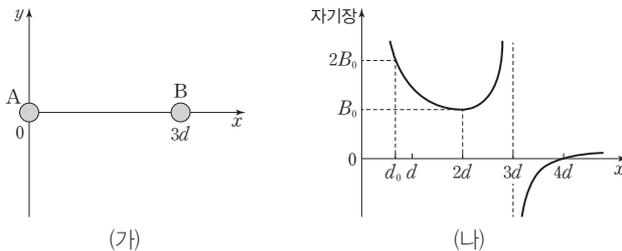
- ㄱ. 전류의 방향은 A, B, C에서 모두 같다.
- ㄴ. 전류의 세기는 A에서가 C에서보다 작다.
- ㄷ. $x=2d$ 에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{3}{2}B_0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[23027-0188]

06 그림 (가)는 일정한 세기의 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 A, B가 xy 평면에 수직으로 고정되어 있는 것을 나타낸 것이다. A, B는 각각 x 축상의 $x=0, x=3d$ 인 지점에 있다. 그림 (나)는 x 축상($x > 0$)에서 A, B의 전류에 의한 자기장을 x 에 따라 나타낸 것으로, $x=2d$ 에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0 이다. 자기장의 방향은 $+y$ 방향이 양(+)이다.

x 축상의 $x=4d$ 에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 0이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

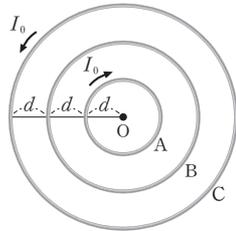
- ㄱ. 전류의 방향은 A에서와 B에서가 서로 같다.
- ㄴ. 전류의 세기는 A에서가 B에서의 4배이다.
- ㄷ. $d_0 > \frac{3}{4}d$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

II의 O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 서로 상쇄된다.

$I_Q=0$ 일 때, O에서 P의 전류에 의한 자기장의 세기는 $5B_0$ 이다.

07 그림과 같이 중심이 점 O로 같고, 반지름이 각각 $d, 2d, 3d$ 인 원형 도선 A, B, C가 종이면에 고정되어 있다. A, C에는 세기가 I_0 인 전류가 각각 시계 방향과 시계 반대 방향으로 흐른다. 표는 B에 흐르는 전류에 따른 O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기를 나타낸 것이다. ㉠, ㉢는 각각 시계 방향과 시계 반대 방향을 순서 없이 나타낸 것이다.



실험	B에 흐르는 전류		O에서 자기장의 세기
	방향	세기	
I	㉠	$6I$	㉡
II	㉢	I	0
III	㉢	$3I$	B_0

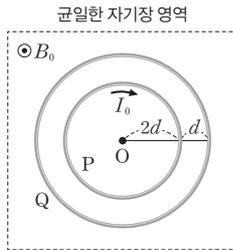
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

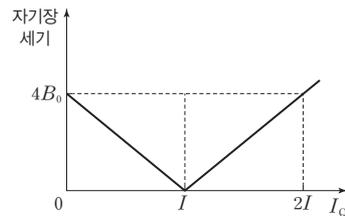
ㄱ. ㉠은 시계 방향이다. ㄴ. $I = \frac{4}{3}I_0$ 이다. ㄷ. ㉡은 $\frac{7}{2}B_0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 그림 (가)와 같이 중심이 점 O로 같고, 반지름이 각각 $2d, 3d$ 인 두 원형 도선 P, Q가 세기는 B_0 이고 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향의 균일한 자기장 영역에 고정되어 있다. P에는 세기가 I_0 인 전류가 시계 방향으로 흐른다. 그림 (나)는 O에서 균일한 자기장 영역과 P, Q의 전류에 의한 자기장의 세기를 Q에 흐르는 전류의 세기 I_Q 에 따라 나타낸 것이다. Q에 흐르는 전류의 방향은 일정하다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, P와 Q의 상호 작용은 무시한다.)

보기

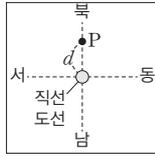
ㄱ. $I_Q=I$ 일 때, O에서 Q의 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄴ. $I = \frac{6}{5}I_0$ 이다.

ㄷ. $I_Q=2I$ 일 때, P에 흐르는 전류의 방향만을 반대로 하면 O에서 균일한 자기장 영역과 P, Q의 전류에 의한 자기장의 세기는 $14B_0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

09 그림은 종이면에 무한히 긴 직선 도선이 수직으로 고정되어 있는 것을 나타낸 것이다. 표는 그림에서 도선으로부터 북쪽으로 거리 d 만큼 떨어진 점 P에 나침반을 놓고, 직선 도선에 세기가 서로 다른 전류를 흐르게 할 때 나침반의 모습을 나타낸 것이다.



[23027-0191]

실험	I	II
전류의 세기	I_0	⊖
나침반의 모습		

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

보기

- ㄱ. I에서 도선에 흐르는 전류의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.
- ㄴ. ⊖은 $\sqrt{3}I_0$ 이다.
- ㄷ. II에서 나침반을 P에서 북쪽으로 서서히 이동시키면 자침의 N극은 시계 방향으로 회전한다.

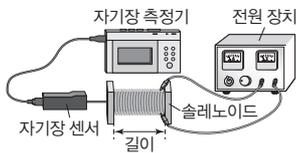
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10 다음은 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장에 대한 실험이다.

[23027-0192]

[실험 과정]

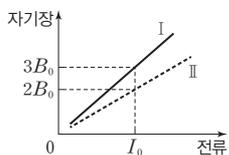
(가) 그림과 같이 단위 길이당 도선의 감은 수가 서로 다른 솔레노이드 A, B와 자기장 센서를 이용하여 실험 장치를 구성하고, A, B의 길이와 도선의 감은 수를 기록한다.



솔레노이드	길이(cm)	감은 수(회)
A	25	100
B	30	180

(나) 자기장 센서를 솔레노이드의 중앙에 위치하도록 하고 전류의 세기를 증가시키면서 A, B의 내부에서 전류에 의한 자기장의 세기를 측정하여 그래프로 나타낸다.

[실험 결과]



- 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 와/과 도선의 단위 길이당 감은 수에 비례한다.
- ※ I, II는 A, B에서 전류에 의한 자기장 측정 결과를 순서 없이 나타낸 것이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. I은 A의 측정 결과이다.
- ㄴ. '전류의 세기'는 ⊖으로 적절하다.
- ㄷ. A의 도선의 감은 수만을 2배로 하고 세기가 I_0 인 전류를 흐르게 할 때, A 내부에서 전류에 의한 자기장의 세기는 $3B_0$ 보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

나침반 자침의 N극은 지구 자기장과 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 합성 자기장의 방향을 가리킨다.

솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 단위 길이당 도선의 감은 수에 비례한다.

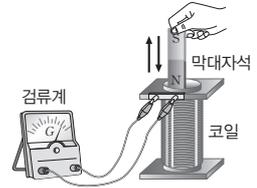
개념 체크

● **전자기 유도:** 코일을 통과하는 자기 선속이 변할 때 코일에 유도 전류가 흐르는 현상

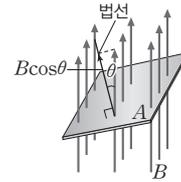
1. 코일 내부를 통과하는 ()이 변할 때 코일에 전류가 흐르는 현상을 전자기 유도라고 한다.
2. 렌츠 법칙에 의하면 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 코일 내부를 통과하는 자기 선속의 변화를 ()하는 방향이다.
3. 전자기 유도에 의해 코일에 유도 전류를 흐르게 하는 기전력을 ()이라고 한다.

1 전자기 유도

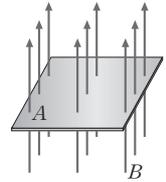
(1) **전자기 유도:** 코일 주위에서 자석을 움직이면 코일에 전류가 흐른다. 이것은 자석의 운동에 의해 코일을 통과하는 자기 선속이 변하기 때문이다. 이와 같이 코일을 통과하는 자기 선속이 변할 때 코일에 전류가 흐르는 현상을 전자기 유도라 하고, 이때 흐르는 전류를 유도 전류라고 한다.



(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 넓이, 또는 면의 법선과 자기장이 이루는 각이 변하면 자기 선속이 변한다. 면의 법선과 자기장의 방향이 이루는 각이 θ , 면의 면적이 A , 자기장의 세기가 B 일 때 자기 선속(Φ)은 다음과 같다.



자기장과 면의 법선이 θ 의 각을 이룰 때



자기장과 면이 수직일 때

$$\Phi = BA \cos \theta \text{이고, } \theta = 0^\circ \text{일 때 } \Phi = BA \text{ [단위: Wb(웨버)]}$$

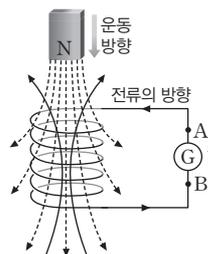
(3) 유도 전류와 유도 기전력

- 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.

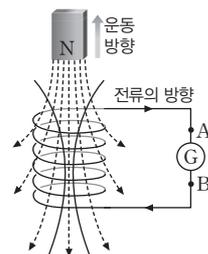
(4) **렌츠 법칙:** 유도 전류는 코일을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐르며, 이를 렌츠 법칙이라고 한다.

(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 $B \rightarrow \odot \rightarrow A$ 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 $A \rightarrow \odot \rightarrow B$ 방향으로 흐른다.



(가) 자기 선속이 증가하는 경우



(나) 자기 선속이 감소하는 경우

정답

1. 자기 선속
2. 방해
3. 유도 기전력

(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 N 과 자기 선속의 시간에 따른 변화율 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 에 각각 비례하고, 유도 기전력의 방향은 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다. 유도 기전력 V 는 다음과 같다.

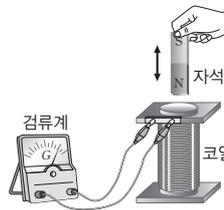
$$V = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \text{ [단위: V(볼트)]}$$

여기서 (-)부호는 렌츠 법칙을 나타낸다.

탐구자료 살펴보기 전자기 유도 현상

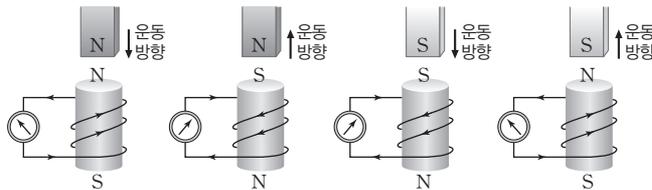
과정

- (1) 그림과 같이 검류계에 연결된 코일에 자석의 N극 또는 S극을 가까이하거나 멀리 하면서 검류계의 눈금 변화를 관찰한다.
- (2) 자석을 빠르게 또는 느리게 움직이면서 검류계의 눈금 변화를 관찰한다.
- (3) 두 자석을 같은 극끼리 겹쳐 과정 (1)을 반복하면서 검류계의 눈금 변화를 관찰한다.



결과

• 자석의 N극과 S극이 바뀌거나 운동 방향이 바뀌면 유도 전류의 방향이 반대로 바뀐다.

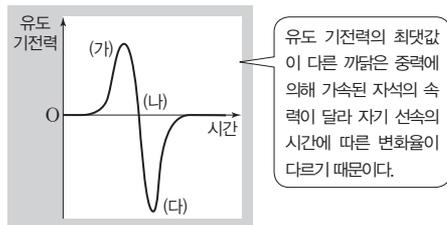
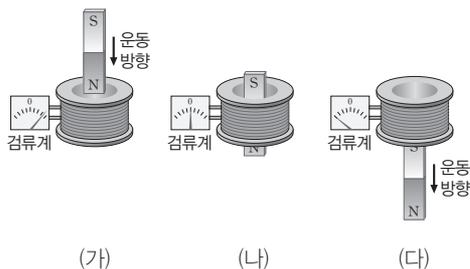


- 자석을 빠르게 움직일수록 유도 전류의 세기가 크다.
- 두 자석을 겹쳐서 실험할 때가 유도 전류의 세기가 더 크다.

point

- 코일에는 자석의 운동을 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다.
- 유도 전류의 세기는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다.

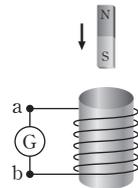
(7) 자석이 솔레노이드 안을 통과할 때 유도되는 기전력: 그림과 같이 N극이 아래로 향하게 하여 자석을 떨어뜨리면 N극이 솔레노이드에 가까워지면서 솔레노이드에는 자석의 운동을 방해하는 위쪽 방향의 자기장을 유도하는 기전력이 발생한다. 반대로 자석의 S극이 빠져나갈 때는 솔레노이드에 아래쪽 방향의 자기장을 유도하는 기전력이 발생한다.



개념 체크

• **유도 기전력:** 유도 기전력은 코일의 감은 수 N 과 자기 선속의 시간에 따른 변화율 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 에 비례하고, 유도 기전력의 방향은 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다.

1. 코일에 유도되는 기전력의 크기는 코일의 감은 수 N 과 자기 선속의 시간에 따른 변화율 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 에 각각 () 한다.
2. 그림과 같이 코일에 자석의 S극이 접근할 때, 코일을 통과하는 자석에 의한 자기 선속은 ()하고, 코일에는 () 방향으로 유도 전류가 흐른다.



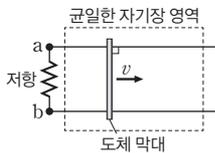
정답

1. 비례
2. 증가, b → ⓐ → a

개념 체크

● 유도 기전력의 크기: 한 변의 길이가 l 인 정사각형 도선이 일정한 속력 v 로 세기가 B 인 균일한 자기장 영역에 수직으로 들어갈 때, 도선에 유도되는 기전력의 크기는 $V = Bl \frac{\Delta x}{\Delta t} = Blv$ 이다.

[1~3] 그림과 같이 종이면에서 수직으로 나오는 방향의 균일한 자기장 영역에서 저항이 연결된 \square 자형 도선 위에 놓인 도체 막대가 일정한 속력 v 로 오른쪽 방향으로 운동한다.



1. 도체 막대가 운동하는 동안 회로를 통과하는 자기 선속은 ()한다.
2. 저항에 흐르는 유도 전류의 방향은 ()이다.
3. 저항에 흐르는 유도 전류의 세기는 자기장 영역의 자기장 세기와 도체 막대의 속력에 각각 ()한다.

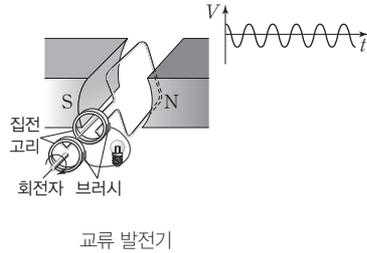
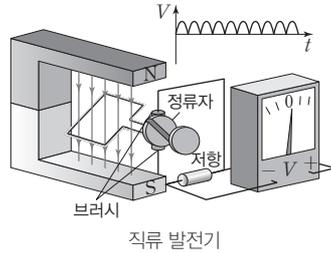
정답

1. 증가
2. b → 저항 → a
3. 비례



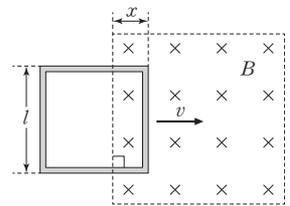
과학 돋보기 | 직류 발전기와 교류 발전기

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.



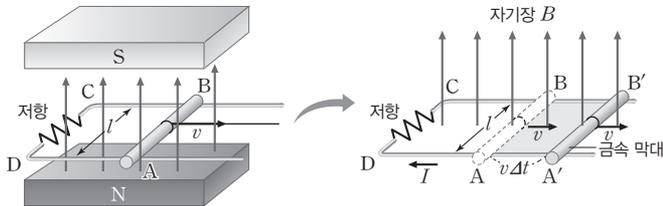
2 전자기 유도 의 예

(1) 도선의 운동에 의한 전자기 유도: 한 변의 길이가 l 이고 전기 저항이 R 인 정사각형 도선이 세기가 B 이고 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 균일한 자기장 영역에 들어가고 있다.



- ① 유도 전류의 방향: 정사각형 도선을 통과하는 자기 선속이 증가하므로 렌츠 법칙에 의해 정사각형 도선에는 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.
- ② 유도 기전력과 유도 전류의 세기: 자기장의 세기가 B 이고, 자기장 영역에 포함된 면적이 $A = lx$ 이므로 자기 선속은 $\Phi = BA = Blx$ 이다. 자기장 B 와 도선의 길이 l 은 일정하므로 자기 선속의 변화는 $\Delta\Phi = \Delta(Blx) = Bl\Delta x$ 이다.
 - 유도 기전력의 크기는 $V = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 이므로 $V = Bl \frac{\Delta x}{\Delta t} = Blv$ 이다.
 - 유도 전류의 세기는 $I = \frac{V}{R}$ 이므로 $I = \frac{Blv}{R}$ 이다.

(2) \square 자형 도선에서의 전자기 유도: 세기가 B 인 균일한 자기장 영역에서 자기장 방향에 수직으로 놓인 전기 저항이 R 인 저항이 연결된 \square 자형 도선 위에서 금속 막대를 일정한 속력 v 로 운동시킨다.



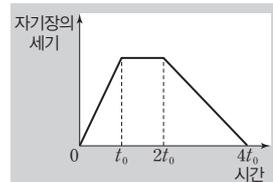
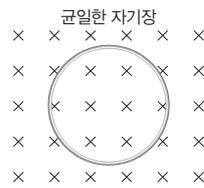
- ① 유도 전류의 방향: \square 자형 도선 위에 금속 막대를 올려놓고 화살표 방향으로 운동시키면, 도선과 금속 막대로 둘러싸인 부분을 통과하는 자기 선속이 증가하므로 렌츠 법칙에 의해 저항에는 $D \rightarrow$ 저항 $\rightarrow C$ 방향으로 유도 전류가 흐른다.
- ② 유도 기전력과 유도 전류의 세기: 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{Blv\Delta t}{\Delta t}$ 이므로 유도 기전력의 크기는 $V = Blv$ 이고, 유도 전류의 세기는 $I = \frac{V}{R}$ 이므로 $I = \frac{Blv}{R}$ 이다.

개념 체크

● 자기장의 변화에 의한 전자기 유도: 도선 내부의 자기장의 세기가 변할 때 도선에는 유도 전류가 흐른다.

(3) 자기장의 변화에 의한 전자기 유도: 도선 내부를 통과하는 자기장의 세기가 시간에 따라 변할 때 도선에 유도 전류가 흐른다.

① 0부터 t_0 까지: 자기장의 세기가 증가하므로 원형 도선에는 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.



② t_0 부터 $2t_0$ 까지: 자기장의 세기가 일정하므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

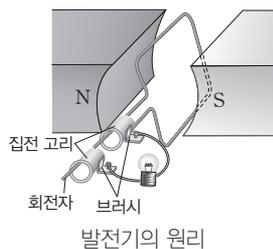
③ $2t_0$ 부터 $4t_0$ 까지: 자기장의 세기가 감소하므로 원형 도선에는 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.

④ 원형 도선에 발생하는 유도 기전력의 크기는 0부터 t_0 까지가 $2t_0$ 부터 $4t_0$ 까지보다 크다.

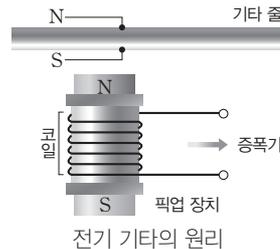
(4) 전자기 유도의 이용

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.



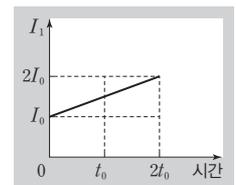
발전기의 원리



전기 기타의 원리

1. ()는 1차 코일과 2차 코일의 모양, 감은 수, 위치, 코일 주위의 물질 등에 의해 결정되며 단위는 ()이다.

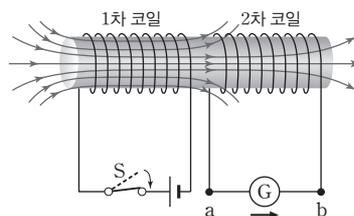
2. 그림은 상호 인덕턴스가 M 인 이웃한 두 코일에서 1차 코일에 흐르는 전류 I_1 를 시간에 따라 나타낸 것이다. t_0 일 때 상호유도에 의해 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 ()이다.



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_2 이고 Δt 동안 1차 코일에 흐르는 전류가 ΔI_1 만큼 변할 때, 2차 코일에 생기는 유도 기전력 V 는 다음과 같다.



$$V = -N_2 \frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t} = -N_2 \frac{\Delta\Phi_2}{\Delta I_1} \cdot \frac{\Delta I_1}{\Delta t} = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \quad [M: \text{상호 인덕턴스, 단위: H(헨리)}]$$

- 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 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 렌츠 법칙에 따라 1차 코일에 의해 생기는 자기장의 변화를 방해하는 방향(a → ⓐ → b)이다.

정답

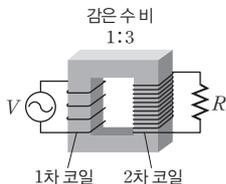
1. 상호 인덕턴스, H(헨리)
2. $\frac{MI_0}{2t_0}$

개념 체크

- **상호유도:** 한쪽 코일에 흐르는 전류의 변화에 의한 자기 선속의 변화로 근처에 있는 다른 코일에 서 유도 기전력이 발생하는 현상이다.
- **변압기:** 1차 코일과 2차 코일을 동일한 철심에 감아 두 코일 사이에 상호유도가 잘 일어나게 한 것이다.

1. ()는 1차 코일과 2차 코일을 철심에 감아 두 코일 사이에 ()가 일어나게 한 것으로, 1차 코일과 2차 코일의 감은 수의 비에 따라 전압을 변화시키는 장치이다.

[2~3] 그림과 같이 변압기에 전압이 V 인 교류 전원과 저항값이 R 인 저항이 연결되어 있다. 1차 코일과 2차 코일의 감은 수의 비는 1 : 3이다. (단, 변압기에서 에너지 손실은 무시한다.)

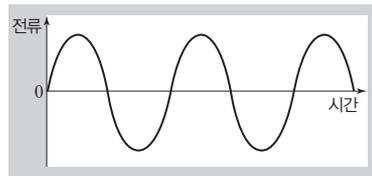


- 2차 코일에 유도되는 전압은 ()이다.
- 저항의 소비 전력은 ()이다.

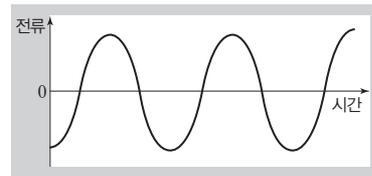
정답

1. 변압기, 상호유도
2. $3V$
3. $\frac{9V^2}{R}$

(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

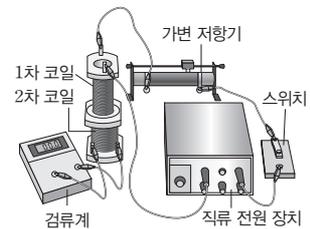


2차 코일에 유도된 전류

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 전기 저항을 변화시키면서, 2차 코일에 연결된 검류계의 값의 변화를 관찰한다.



결과

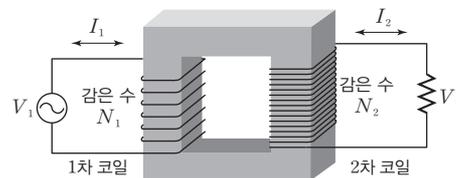
- 스위치를 닫는 순간과 여는 순간 2차 코일에는 서로 반대 방향의 유도 전류가 흐르고, 스위치를 닫고 있을 때에는 2차 코일에 유도 전류가 흐르지 않는다.
- 저항의 전기 저항을 증가시킬 때와 감소시킬 때 2차 코일에는 서로 반대 방향의 유도 전류가 흐른다.

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 전기 저항이 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.

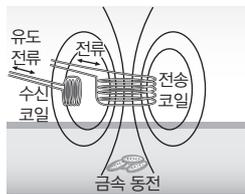


(2) 코일의 감은 수가 각각 N_1 , N_2 이고, 1차 코일과 2차 코일을 통과하는 자기 선속의 변화가 같다고 하면 $V_1 = -N_1 \frac{\Delta\Phi_1}{\Delta t}$, $V_2 = -N_2 \frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t}$ 이므로 $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$ 이다. 또한 전력이 전달될 때 에너지 손실이 없다면 1차 코일과 2차 코일에 걸리는 전력이 같아야 하므로 $V_1 I_1 = V_2 I_2$ 이고, 다음이 성립한다.

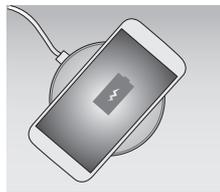
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

5 상호유도의 이용

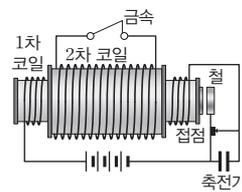
- (1) 금속 탐지기:** 금속 탐지기에서 전송 코일에 의해 생성된 자기 선속이 주변에 있는 금속에 의해 변하기 때문에 수신 코일에 흐르는 전류가 변한다. 이것을 감지하여 금속을 찾을 수 있다.
- (2) 스마트폰 무선 충전기:** 충전 패드에 있는 1차 코일에 교류 전원이 연결되면 스마트폰에 있는 2차 코일에서 유도 기전력이 발생하여 충전한다.
- (3) 고압 방전 장치:** 자동차에서 연료에 불을 붙이는 데 사용되는 고압 방전 장치는 두 금속 사이에 순간적으로 큰 전압을 걸어 방전이 일어나도록 하는 장치로, 1차 코일에 전류를 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

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. 스마트폰 무선 충전기의 충전 패드에 있는 1차 코일에 (직류 , 교류) 전원이 연결되면 스마트폰에 있는 2차 코일에 유도 기전력이 발생한다.



과학 돋보기 | 상호유도의 활용

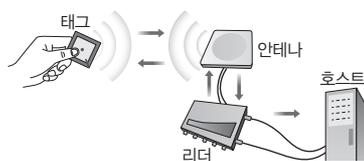
■ RFID(Radio Frequency Identification)

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.

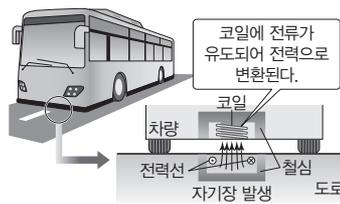
RFID의 이용 분야는 계속 넓어지고 있다. 대형 상점의 경우 각각의 물건에 태그를 부착하여 재고량을 관리하고 편리하게 물건값을 계산할 수 있으며, 공항이나 항구 등에서는 화물에 태그를 부착하여 물류 이동을 관리할 수 있다. 최근에 유럽연합(EU)에서는 화폐에 태그를 부착하여 위조 방지, 빠른 판매, 유통 과정 등을 파악하는 방안을 고려하고 있다. 식품에 부착되는 인체에 무해한 태그, 특이한 금속 제품에 사용되는 인식률이 높은 태그, 싼 물건에 붙일 수 있는 저렴한 가격의 태그 등이 일반화되면 우리 생활에는 큰 변화가 일어날 것으로 예상된다.

■ 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 상호유도 현상에 의해 전기가 넘겨가 충전된다.



RFID의 원리

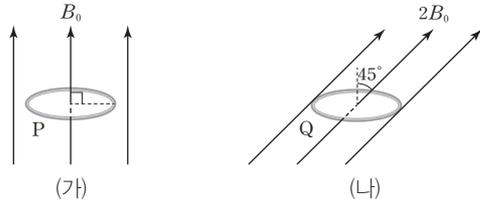


전기 버스 충전의 원리

정답

1. 상호유도
2. 교류

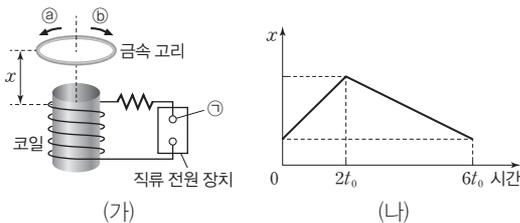
01 [23027-0193] 그림 (가), (나)는 동일한 두 원형 도선 P, Q가 세기가 각각 B_0 , $2B_0$ 인 균일한 자기장 영역에 고정되어 있는 것을 나타낸 것이다. P의 중심축은 자기장의 방향과 나란하고 Q의 중심축은 자기장의 방향과 45° 의 각을 이룬다.



P, Q를 통과하는 자기 선속을 각각 Φ_P , Φ_Q 라고 할 때, $\frac{\Phi_Q}{\Phi_P}$ 는?

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

02 [23027-0194] 그림 (가)와 같이 고정된 코일 위에서 코일의 중심축을 따라 금속 고리를 운동시켰다. 그림 (나)는 코일 윗부분부터 금속 고리까지의 거리 x 를 시간에 따라 나타낸 것이다. t_0 일 때, 금속 고리에는 ㉠ 방향으로 유도 전류가 흐른다.



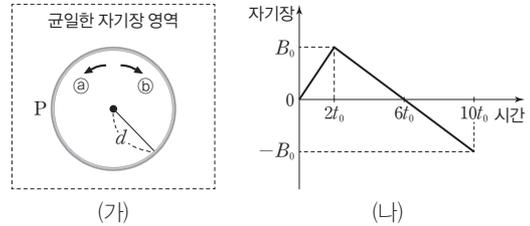
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 직류 전원 장치의 단자 ㉠은 (+)극이다.
- ㄴ. $4t_0$ 일 때, 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 ㉡ 방향이다.
- ㄷ. 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_0 일 때가 $4t_0$ 일 때보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

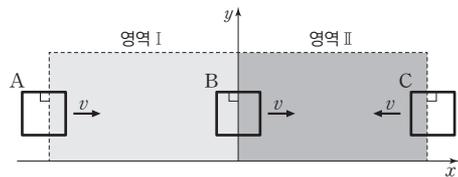
03 [23027-0195] 그림 (가)와 같이 종이면에 수직인 균일한 자기장 영역에 반지름이 d 인 원형 도선 P가 고정되어 있다. 그림 (나)는 (가)에서 균일한 자기장 영역의 자기장을 시간에 따라 나타낸 것이다. t_0 일 때, P에 흐르는 유도 전류의 방향은 ㉠ 방향이다.



$8t_0$ 일 때, P에 흐르는 유도 전류의 방향과 P에 유도되는 기전력의 크기로 옳은 것은?

방향	크기	방향	크기
① ㉠	$\frac{\pi B_0 d^2}{4t_0}$	② ㉠	$\frac{\pi B_0 d^2}{2t_0}$
③ ㉡	$\frac{\pi B_0 d^2}{8t_0}$	④ ㉡	$\frac{\pi B_0 d^2}{4t_0}$
⑤ ㉡	$\frac{\pi B_0 d^2}{2t_0}$		

04 [23027-0196] 그림은 xy 평면에 수직인 균일한 자기장 영역 I, II에서 동일한 정사각형 도선 A, B, C가 v 의 일정한 속력으로 운동하는 어느 순간의 모습을 나타낸 것이다. A, B는 $+x$ 방향으로 운동한다. 이때 A에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이고, 유도 전류의 세기는 A, B, C 중 A에서가 가장 크다.



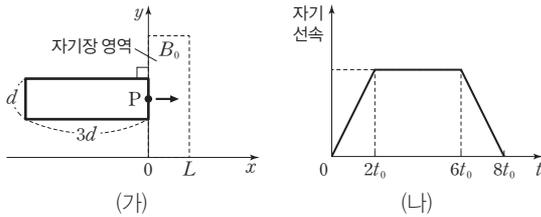
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B, C의 상호 작용은 무시한다.)

보기

- ㄱ. 자기장의 세기는 I이 II보다 크다.
- ㄴ. 자기장의 방향은 I과 II에서 서로 반대이다.
- ㄷ. B에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 [23027-0197] 그림 (가)는 한 변의 길이가 각각 $d, 3d$ 인 직사각형 도선이 xy 평면에서 $+x$ 방향으로 폭이 L 인 균일한 자기장 영역을 향해 등속도 운동을 할 때, 시간 $t=0$ 인 순간의 모습을 나타낸 것이다. 균일한 자기장 영역의 자기장은 세기가 B_0 이고, 방향이 xy 평면에 수직이다. 그림 (나)는 도선을 통과하는 자기장 영역에 의한 자기 선속을 t 에 따라 나타낸 것이다. $t=t_0$ 일 때, 도선 위의 점 P에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.



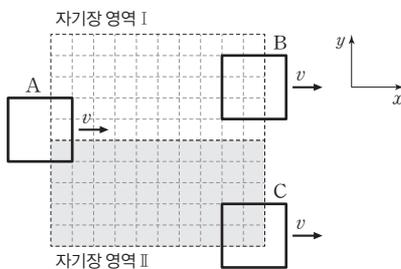
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 자기장 영역에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.
- ㄴ. $L=d$ 이다.
- ㄷ. $t=7t_0$ 일 때, 도선에 유도되는 기전력의 크기는 $\frac{B_0 d^2}{2t_0}$ 이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

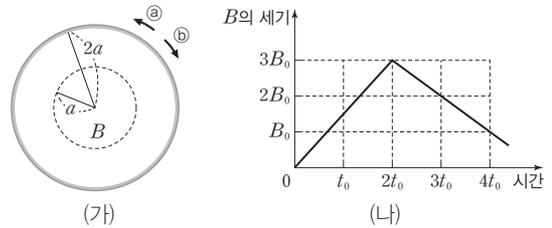
06 [23027-0198] 그림은 xy 평면에 수직인 균일한 자기장 영역 I, II에서 동일한 정사각형 도선 A, B, C가 $+x$ 방향으로 일정한 속력 v 로 운동하는 어느 순간의 모습을 나타낸 것이다. 이때 A에는 유도 기전력이 발생하지 않고, B에는 크기가 V_0 인 기전력이 발생한다.



C에 유도되는 기전력의 크기는? (단, 모눈 눈금의 간격은 동일하고, A, B, C의 상호 작용은 무시한다.)

- ① $\frac{2}{3}V_0$ ② $\frac{4}{3}V_0$ ③ $2V_0$ ④ $3V_0$ ⑤ $4V_0$

07 [23027-0199] 그림 (가)와 같이 종이면에 고정된 반지름이 $2a$ 인 원형 도선 내부에 반지름이 a 인 원형의 균일한 자기장 영역이 형성되어 있다. 자기장 영역의 자기장 B 는 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다. 그림 (나)는 (가)에서 B 의 세기를 시간에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 0부터 $4t_0$ 까지, 원형 도선 내부를 통과하는 B 에 의한 자기 선속의 최댓값은 $3\pi B_0 a^2$ 이다.
- ㄴ. t_0 일 때, 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 ㉠ 방향이다.
- ㄷ. $3t_0$ 일 때, 도선에 유도되는 기전력의 크기는 $\frac{\pi a^2 B_0}{2t_0}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 [23027-0200] 그림은 저항값이 일정한 저항이 연결되고 종이면에 고정된 Γ 자형 도선에 놓인 금속 막대가 $+x$ 방향으로 일정한 속력 v 로 운동하여 균일한 자기장 영역 I, II를 통과하는 모습을 나타낸 것이다. I, II에서 자기장의 세기는 각각 $B, 2B$ 이고, 방향은 모두 종이면에 수직이다. 금속 막대가 I을 통과하는 동안, 저항에서 소비된 전기 에너지는 E 이다.



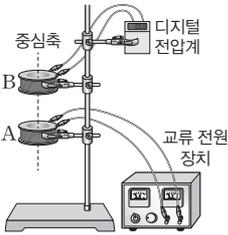
금속 막대가 II를 통과하는 동안, 저항에서 소비된 전기 에너지는? (단, 금속 막대의 저항은 무시한다.)

- ① $\frac{1}{4}E$ ② $2E$ ③ $4E$ ④ $8E$ ⑤ $16E$

09 다음은 코일을 이용한 상호유도에 대한 실험이다. [23027-0201]

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 코일 A, B를 각각 교류 전원 장치와 디지털 전압계에 연결하고 A, B의 중심축을 일치시켜 스탠드에 고정한다.



(나) 교류 전원 장치에서 교류 신호를 발생시키고, 디지털 전압계로 B의 전압을 측정한다.

[실험 결과]

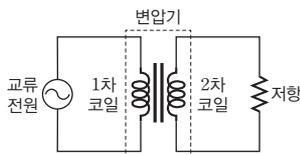
- 전압계의 측정값은 V_0 이다.

위 실험에서 전압계의 측정값을 V_0 보다 크게 하는 방법으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. A와 B 사이를 멀리한다.
 - ㄴ. B의 감은 수를 2배로 증가시킨다.
 - ㄷ. A와 B의 중심축이 서로 수직이 되도록 한다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10 그림은 교류 전원과 저항이 연결된 변압기를, 표는 변압기의 1차 코일과 2차 코일의 전압과 전류의 세기를 나타낸 것이다. [23027-0202]



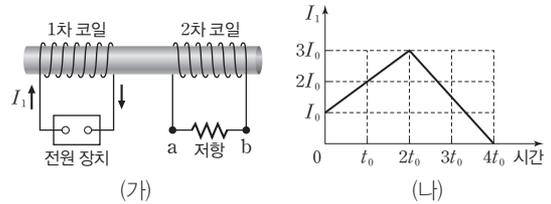
	전압	전류
1차 코일	V_0	㉠
2차 코일	$4V_0$	I_0

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

- 보기
- ㄱ. 변압기의 1차 코일의 감은 수는 2차 코일의 감은 수의 4배이다.
 - ㄴ. ㉠은 $4I_0$ 이다.
 - ㄷ. 저항의 저항값만을 2배로 할 때, 2차 코일에 유도되는 전압은 $8V_0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

11 그림 (가)는 전원 장치에 연결된 1차 코일과 저항이 연결된 2차 코일을 나타낸 것이고, (나)는 (가)에서 1차 코일에 화살표 방향으로 흐르는 전류 I_1 을 시간에 따라 나타낸 것이다. t_0 일 때, 상호유도에 의해 2차 코일의 저항에 걸리는 전압은 $2V_0$ 이다. [23027-0203]



$3t_0$ 일 때, 상호유도에 의해 저항에 흐르는 전류의 방향과 저항에 걸리는 전압의 크기는?

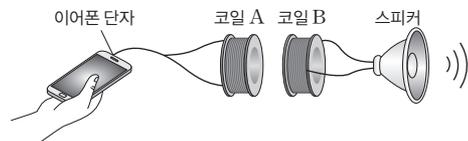
- | 전류의 방향 | 전압의 크기 |
|--------------|--------|
| ① a → 저항 → b | V_0 |
| ② a → 저항 → b | $3V_0$ |
| ③ a → 저항 → b | $6V_0$ |
| ④ b → 저항 → a | $3V_0$ |
| ⑤ b → 저항 → a | $6V_0$ |

12 다음은 패러데이 법칙에 대해 탐구한 내용이다. [23027-0204]

2023년 ○월 ○일

[탐구 내용]

그림과 같이 코일 A는 이어폰 단자를 이용하여 휴대 전화에, 코일 B는 스피커에 연결하고 휴대 전화에서 음악을 켜더니 스피커에서 소리가 작게 들렸다.



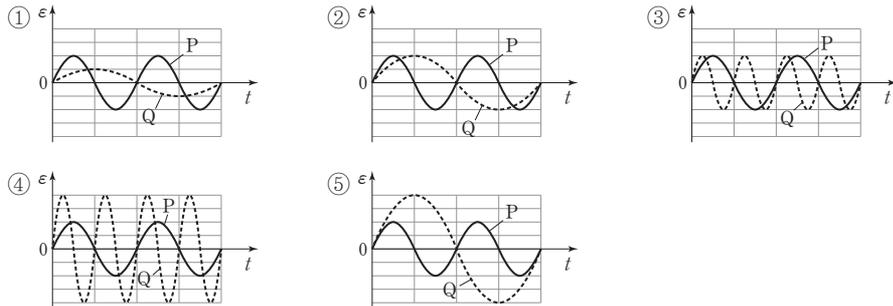
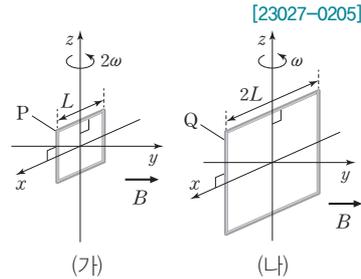
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. A와 B 사이에서 상호유도 현상이 일어난다.
 - ㄴ. A에 의한 자기 선속의 변화가 B에 전류를 흐르게 한다.
 - ㄷ. A와 B의 중심축에 철심을 넣으면 스피커에서 발생하는 소리의 크기가 커진다.

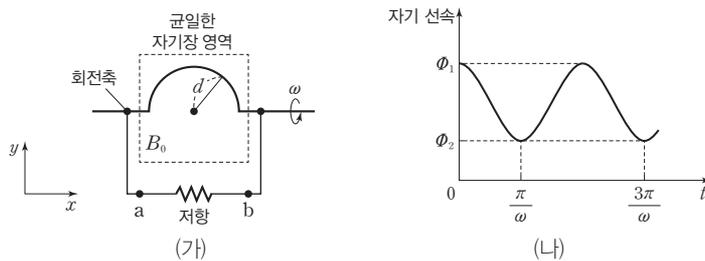
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

01 그림 (가), (나)는 $+y$ 방향의 균일하고 세기가 B 로 일정한 자기장 영역에 놓인 한 변의 길이가 각각 $L, 2L$ 인 정사각형 도선 P, Q가 z 축을 회전축으로 각각 $2\omega, \omega$ 의 일정한 각속도로 회전하는 모습을 나타낸 것이다.

P, Q에 유도되는 기전력 ϵ 을 시간 t 에 따라 나타낸 것으로 가장 적절한 것은?



02 그림 (가)는 균일한 자기장 영역에서 xy 평면에 고정된 저항과 반지름이 d 인 반원형 도선으로 회로를 구성하고, 반원형 도선을 일정한 각속도 ω 로 회전시킬 때, 시간 $t=0$ 인 순간의 모습을 나타낸 것이다. 균일한 자기장 영역의 자기장은 세기가 B_0 이고, 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 그림 (나)는 (가)에서 회로를 통과하는 자기 선속을 t 에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. $\Phi_1 - \Phi_2 = \pi B_0 d^2$ 이다.
 - ㄴ. $t = \frac{\pi}{2\omega}$ 일 때, 저항에 흐르는 유도 전류의 방향은 $a \rightarrow$ 저항 $\rightarrow b$ 이다.
 - ㄷ. 저항 양단에 걸리는 유도 기전력의 크기는 $t = \frac{\pi}{4\omega}$ 일 때가 $t = \frac{3\pi}{2\omega}$ 일 때보다 크다.

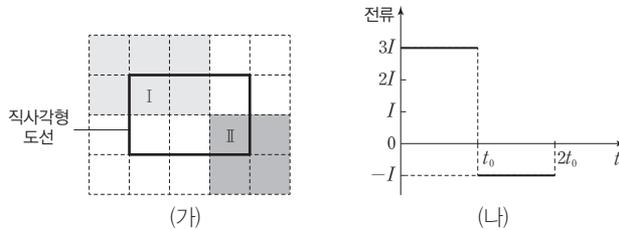
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

단면적이 A , 감은 수가 N 인 코일이 세기가 B 인 균일한 자기장에서 시간 t 에 따라 일정한 각속도 ω 로 회전할 때, 자기 선속은 $\Phi = NBA \cos \omega t$ 이다.

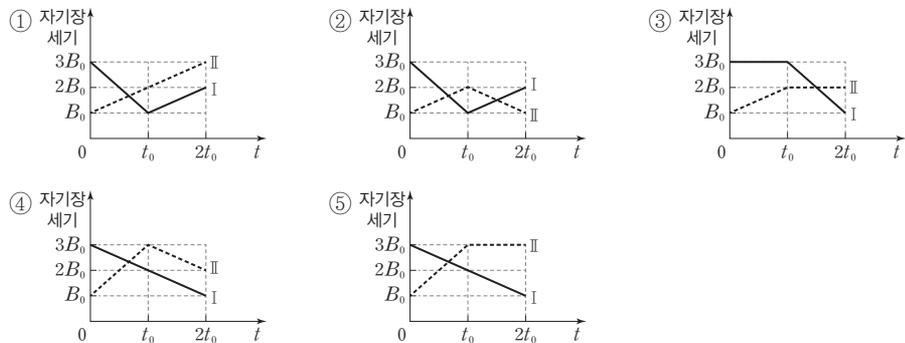
유도 기전력의 크기는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다.

도선을 통과하는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 감소할 때, 도선에는 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.

03 그림 (가)와 같이 균일한 자기장 영역 I, II가 형성된 종이면에 직사각형 도선이 고정되어 있다. 그림 (나)는 I, II의 자기장이 변할 때 도선에 흐르는 유도 전류를 시간 t 에 따라 나타낸 것으로, 전류의 방향은 시계 방향이 양(+)이다. $t=0$ 일 때, I과 II에서 자기장의 세기는 각각 $3B_0, B_0$ 이고, $t=0$ 부터 $t=2t_0$ 까지 I, II에서 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

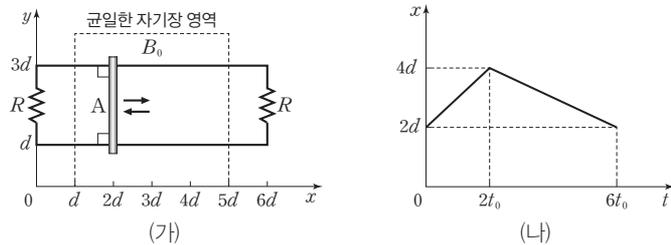


I, II에서 t 에 따라 자기장의 세기를 나타낸 것으로 가장 적절한 것은? (단, 모든 간격은 동일하다.)



t_0 일 때, A의 속력은 $\frac{d}{t_0}$ 이므로 도선에 유도되는 기전력의 크기는 $V=B_0(2d)\left(\frac{d}{t_0}\right)$ 이다.

04 그림 (가)와 같이 저항값이 R 로 동일한 저항이 양쪽에 연결되고 xy 평면에 고정된 직사각형 도선에 놓인 금속 막대 A가 균일한 자기장 영역에서 x 축과 나란하게 운동한다. 균일한 자기장 영역의 자기장은 세기가 B_0 이고, 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 그림 (나)는 (가)에서 A의 위치 x 를 시간 t 에 따라 나타낸 것이다.

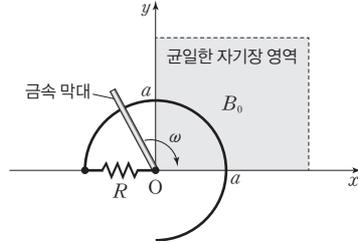


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A의 저항과 두께는 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. t_0 일 때, A에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.
 - ㄴ. t_0 일 때, A에 흐르는 유도 전류의 세기는 $\frac{4B_0d^2}{Rt_0}$ 이다.
 - ㄷ. 왼쪽 저항의 소비 전력은 t_0 일 때가 $4t_0$ 일 때의 2배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 [23027-0209] 그림은 균일한 자기장 영역을 포함한 xy 평면상에 고정된 반지름이 a 인 원형 도선(○) 위를 금속 막대가 원점 O 를 중심으로 시계 방향으로 일정한 각속도 ω 로 회전할 때, 시간 $t=0$ 인 순간의 모습을 나타낸 것이다. 원형 도선의 한쪽 끝점과 O 사이에는 저항값이 R 인 저항이 연결되어 있다. 균일한 자기장 영역의 자기장은 세기가 B_0 이고, 방향은 xy 평면에 수직인 방향이다.

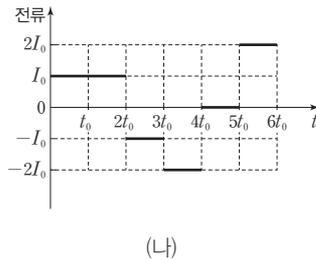
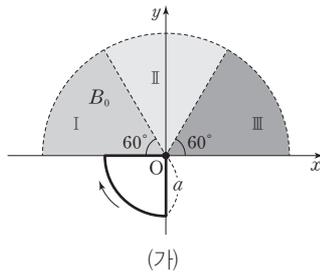


전기 저항이 R 이고, 걸린 전압이 V 인 저항에 전류 I 가 시간 t 동안 흐를 때 저항에서 소비되는 전기 에너지는 $I^2 R t = \frac{V^2}{R} t$ 이다.

$t=0$ 부터 $t = \frac{\pi}{\omega}$ 까지 금속 막대가 회전하는 동안, 저항에서 소비되는 전기 에너지는? (단, 금속 막대의 저항과 두께는 무시한다.)

- ① $\frac{\pi B_0^2 a^4 \omega}{8R}$ ② $\frac{\pi B_0^2 a^4 \omega}{4R}$ ③ $\frac{\pi B_0^2 a^4 \omega}{2R}$ ④ $\frac{\pi B_0^2 a^4 \omega}{R}$ ⑤ $\frac{2\pi B_0^2 a^4 \omega}{R}$

06 [23027-0210] 그림 (가)는 균일한 자기장 영역 I, II, III을 포함한 xy 평면상에서 반지름이 a 이고, 중심각이 90° 인 부채꼴 모양의 금속 고리가 원점 O 를 중심으로 시계 방향으로 일정한 각속도로 회전할 때, 시간 $t=0$ 인 순간의 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 금속 고리가 $t=0$ 부터 $t=6t_0$ 까지 $\frac{1}{2}$ 회전하는 동안, 금속 고리에 흐르는 유도 전류를 t 에 따라 나타낸 것이다. I, II, III에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직이고, I에서 자기장의 세기는 B_0 이다. 금속 고리의 저항값은 R 이다.



자기 선속은 $0 \sim 2t_0$ 구간에서는 I에 의해서만, $2t_0 \sim 3t_0$ 구간에서는 II에 의해서만 영향을 받는다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. I, III에서 자기장의 방향은 서로 같다.
 ㄴ. 자기장의 세기는 I, II, III에서 모두 같다.
 ㄷ. $I_0 = \frac{\pi a^2 B_0}{12 R t_0}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

자석이 코일의 중심 지점을 지나는 순간 코일에 유도되는 전압의 부호가 바뀐다.

[23027-0211]

07 다음은 전자기 유도에 대한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 전기 신호 분석 장치에 연결한 코일을 스탠드에 고정시킨다.

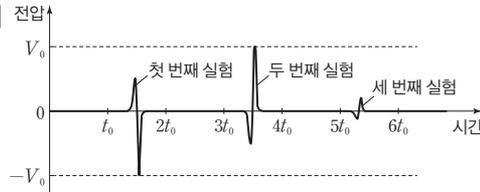
(나) 실험 I ~ III과 같이 자석의 N극을 위 또는 아래 방향으로 하고, 코일의 중심 위에서 연직으로 자석을 가만히 놓을 때 자석의 높이를 기록한다.



실험	자석의 N극 방향	자석의 높이
I	아래	d
II	위	d
III	아래	㉠

(다) I, II, III을 임의의 순서로 진행하고 세 실험에서 자석이 떨어질 때, 코일에 유도된 전압을 측정한다.

[실험 결과] 전압



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

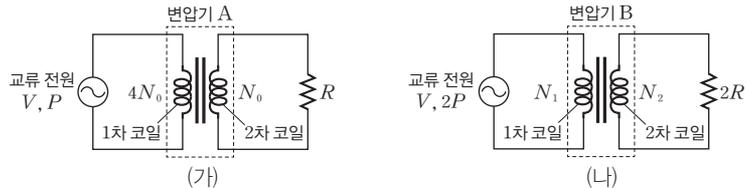
보기

- ㄱ. I 과 II 에서 자석이 코일에 가까워지는 동안, 코일이 자석에 작용하는 자기력의 방향은 서로 같다.
- ㄴ. ㉠은 d 보다 크다.
- ㄷ. 실험을 진행한 순서는 II → I → III이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[23027-0212]

08 그림 (가), (나)는 저항값이 각각 R , $2R$ 인 저항이 연결된 변압기 A, B가 전압이 V 로 일정한 교류 전원 에 연결되어 있는 것을 나타낸 것이다. A의 1차 코일과 2차 코일의 감은 수는 각각 $4N_0$, N_0 이다. 교류 전원에서 A, B에 공급하는 전력은 각각 P , $2P$ 이다.



B의 1차 코일과 2차 코일의 감은 수를 각각 N_1 , N_2 라고 할 때, $\frac{N_2}{N_1}$ 는? (단, 변압기에서 에너지 손실은 무시한다.)

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

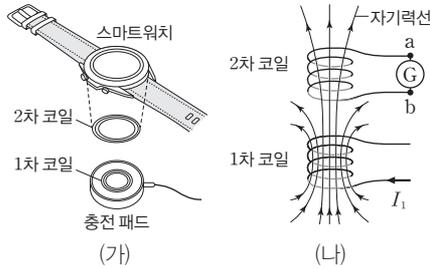
1차 코일의 감은 수와 전압을 각각 N_1 , V_1 , 2차 코일의 감은 수와 전압을 각각 N_2 , V_2 라고 할 때, $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$ 의 관계가 성립한다.

09 다음은 스마트워치가 충전되는 원리에 대한 설명이다.

[23027-0213]

그림 (가)와 같이 충전 패드와 스마트워치에 는 각각 1차 코일과 2차 코일이 들어 있어 스마트워치를 충전 패드 위에 올려놓으면 스마트 워치가 무선 충전된다.

㉠은/는 1차 코일에 흐르는 전류가 변 하면 2차 코일에 유도 기전력이 발생하는 현상 으로, 그림 (나)에서 ㉠ 1차 코일에 흐르는 전 류의 세기 I_1 을 증가시킬 때, 2차 코일에 흐르는 전류의 방향은 ㉡이다.



충전 패드에 있는 1차 코일에 교류 전원이 연결되면 스마트 워치에 있는 2차 코일에 유도 기전력이 발생한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

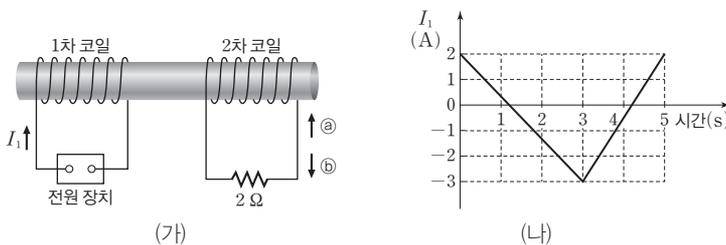
보기

- ㄱ. '상호유도'는 ㉠으로 적절하다.
- ㄴ. ㉠일 때, 1차 코일 내부에서 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 증가한다.
- ㄷ. ㉡은 $a \rightarrow \text{㉢} \rightarrow b$ 이다.

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

10 그림 (가)는 전원 장치에 연결된 1차 코일과 저항값이 2 Ω인 저항이 연결된 2차 코일을 나타낸 것이고, (나)는 1차 코일에 흐르는 전류 I_1 을 시간에 따라 나타낸 것이다. 전류의 방향은 (가)에서 I_1 이 화살표 방향으로 흐를 때를 양(+)으로 한다. 1초일 때, 상호유도에 의해 저항에 흐르는 전류의 세기는 1 A이다.

[23027-0214]



2차 코일에 유도되는 기전력은 $V_2 = -M \frac{dI_1}{dt}$ (M : 상호 인덕턴스, I_1 : 1차 코일에 흐르는 전류)이다.

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

보기

- ㄱ. 2초일 때, 2차 코일에 흐르는 전류의 방향은 ㉠ 방향이다.
- ㄴ. 두 코일 사이의 상호 인덕턴스는 1.2 H이다.
- ㄷ. 0초부터 5초까지 2차 코일의 저항에서 소비되는 전기 에너지는 15 J이다.

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

III

파동과 물질의 성질

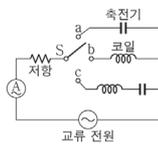
2023학년도 9월 모의평가 6번

6. 다음은 교류 회로에 대한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 전압의 최댓값이 일정한 교류 전원과 진류계, 저항, 축전기, 코일, 스위치 S를 이용하여 회로를 구성한다.

(나) S를 a, b, c에 연결하고 교류 전원의 진동수만 변화시키면서 회로에 흐르는 전류의 세기 I 를 측정한다.



[실험 결과]

○ X, Y, Z는 a, b, c를 순서 없이 나타낸 것이다.

S의 연결 위치	결과
X	교류 전원의 진동수가 커질수록, I 는 감소한다.
Y	교류 전원의 진동수가 커질수록, I 는 증가하다가 최댓값이 된 후 감소한다.
Z	교류 전원의 진동수가 커질수록, I 는 증가한다.

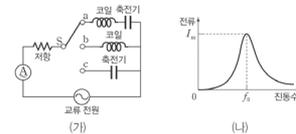
X, Y, Z로 옳은 것은? [3점]

- | | | | | | | | |
|---|---------------|---------------|---|---------------|---------------|---------------|---|
| | $\frac{X}{Y}$ | $\frac{Y}{Z}$ | | $\frac{X}{Y}$ | $\frac{Y}{Z}$ | $\frac{Z}{X}$ | |
| ① | a | b | c | ② | a | c | b |
| ③ | b | a | c | ④ | b | c | a |
| ⑤ | c | a | b | | | | |

2023학년도 EBS 수능특강 179쪽 9번

09 [2027-0257]

그림 (가)와 같이 전압의 최댓값이 일정한 교류 전원, 저항, 코일, 축전기를 이용하여 구성된 회로에서 스위치 S를 단자 a에 연결하였다. 두 축전기의 전기 용량은 C 로 같고, 두 코일의 자체 유도 계수는 L 로 같다. 그림 (나)는 (가)에서 전류계에 측정되는 전류의 세기를 교류 전원의 진동수에 따라 나타낸 것이다. 전류계로 측정된 전류의 최댓값은 I_m 이고, 이때 교류 전원의 진동수는 f_0 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- [보기]
- ㄱ. $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 이다.
- ㄴ. S를 단자 b에 연결하고 교류 전원의 진동수가 $\frac{1}{2}f_0$ 일 때, 전류계로 측정된 전류의 세기는 I_m 보다 크다.
- ㄷ. S를 단자 c에 연결하고 교류 전원의 진동수가 $2f_0$ 일 때, 전류계로 측정된 전류의 세기는 I_m 보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

연계 분석

9월 모의평가 6번 문항은 수능특강 179쪽 9번 문항과 연계하여 출제되었다. 두 문항 모두 교류 전원과 저항이 연결된 회로에서 스위치의 연결 위치에 따라 저항, 코일, 축전기의 연결 상태가 달라지는 회로의 특성을 분석하고 교류 전원의 진동수에 따른 전류의 변화를 정성적으로 해석할 수 있는지에 대해 묻고 있다는 점에서 유사성이 있다. 수능특강 문항은 저항-축전기-코일이 연결된 회로에서 나타난 실험 결과를 바탕으로 스위치가 다른 지점에 연결되었을 때의 변화를 해석하는 것을 평가하는 반면, 9월 모의평가에서는 탐구형 문항으로 [실험 과정]에서 스위치의 연결에 따라 나타날 수 있는 [실험 결과]를 연결하는 형태로 출제되어 탐구 상황을 해석하는 과정을 평가하고 있다는 점에서 차이가 있다.

학습 대책

교류 전원과 함께 저항, 코일, 축전기가 각각 연결되어 있는 회로에서 교류 전원의 진동수에 따른 각 전기 소자의 특성을 이해하고 있어야 한다. 저항은 교류 전원의 진동수에 관계없이 전류의 흐름을 방해하는 정도가 일정하고, 코일은 교류 전원의 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 크며 축전기는 교류 전원의 진동수가 작을수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 크다는 사실을 이해하고, 코일과 축전기가 함께 연결되어 있을 때는 공명 진동수에서 회로에 최대 전류가 흘러감을 정성적으로 이해하여, 교류 전원과 함께 저항, 코일, 축전기에 연결되어 있는 구조 및 교류 전원의 진동수에 따른 전류의 변화를 정성적으로 분석하고 제시된 회로에 적용할 수 있어야 한다.



2023학년도 대학수학능력시험 6번

6. 그림 (가)는 광전 효과 실험 장치를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 금속판에 단색광 A, B, C를 각각 비추어 금속판에서 광전자가 방출될 때 광전류를 전압에 따라 나타낸 것이다. A와 B를 각각 비추었을 때 정지 전압은 V_1 로 같고, C를 비추었을 때 정지 전압은 V_2 이다. A, C의 진동수는 각각 $7f_0$, $5f_0$ 이고, 금속판의 문턱 진동수는 f_0 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- <보기>
ㄱ. B의 진동수는 $7f_0$ 이다.
ㄴ. 단색광의 세기는 A가 B보다 크다.
ㄷ. $V_1 = \frac{3}{2}V_2$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2023학년도 EBS 수능특강 198쪽 3번

03 [22027-0267] 그림 (가)는 광전 효과 실험 장치를 이용한 실험 I, II, III에서 사용한 단색광의 진동수와 세기를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 실험에서 측정된 전압에 따른 광전류의 세기를 나타낸 것이다.



단색광의 진동수와 세기를 옮겨 비교한 것은?

- 진동수 세기 진동수 세기
① $f_I > f_{II} = f_{III}$ $I_I < I_{II}$ ② $f_I = f_{II} > f_{III}$ $I_I = I_{II}$
③ $f_I < f_{II} = f_{III}$ $I_I > I_{II}$ ④ $f_I < f_{II} = f_{III}$ $I_I < I_{II}$
⑤ $f_I > f_{II} > f_{III}$ $I_I > I_{II}$

연계 분석

수능 6번 문항은 수능특강 198쪽 3번 문항과 연계하여 출제되었다. 두 문항 모두 광전 효과 실험 장치에 진동수와 세기가 다른 단색광을 각각 비추었을 때 전압에 따른 광전류의 세기를 측정하 자료를 제시하였고, 이를 분석하여 단색광의 진동수와 세기, 광전류의 세기와 정지 전압의 관계를 설명할 수 있는지에 대해 묻고 있다는 점에서 유사성이 있다. 수능특강 문항은 정지 전압의 크기와 광전류의 세기를 비교하여 단색광의 진동수와 세기를 정성적으로 비교 분석할 수 있는지를 물었는데, 수능 문항은 금속판에 비추는 단색광의 진동수와 금속판의 문턱(한계) 진동수를 제시하고 전압에 따른 광전류의 세기 자료를 이용하여 <보기>ㄷ에서 정지 전압 V_1 과 V_2 의 정량적인 관계를 묻고 있다는 점에서 차이가 있다.

학습 대책

광전 효과 실험 장치에서 전압에 따른 광전류의 세기를 나타낸 자료를 분석할 줄 알고, 아인슈타인의 광양자설을 바탕으로 한 광전 효과 실험에서 나타나는 다양한 실험 분석 결과를 이해하고 정지 전압, 문턱(한계) 진동수, 일함수의 개념과 관계를 정확히 알게 되어야 한다. 문턱(한계) 진동수가 f_0 인 광전 효과 실험 장치의 금속판에 진동수가 f 인 빛을 비추었을 때 방출되는 광전자가 가지는 최대 운동 에너지 $E_k = h(f - f_0)$ (h : 플랑크 상수)이고, 광전 효과 실험 장치에 역방향 전압을 걸어 주어 광전류가 0이 되는 순간의 정지 전압 V_s 와 광전자의 최대 운동 에너지의 관계가 $eV_s = E_k$ 임을 이용하여 $eV_s = E_k = h(f - f_0)$ 의 관계를 정확히 분석할 줄 알아야 한다. 또한 금속판에 비추는 단색광의 세기가 증가할수록 광전류의 세기가 증가한다는 사실을 알고 이를 제시된 자료에 정확하게 적용할 수 있어야 한다.

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. () 간섭이란 두 파동이 () 위상으로 중첩되어 합성파의 진폭이 커지는 현상이다.
2. () 간섭이란 두 파동이 () 위상으로 중첩되어 합성파의 진폭이 작아지는 현상이다.
3. 영의 이중 슬릿 실험에서 두 빛이 보강 간섭하는 지점은 () 무늬가, 상쇄 간섭하는 지점은 () 무늬가 생긴다. 이 실험의 결과는 빛의 ()으로 설명할 수 있다.

1 전자기파의 간섭

(1) **파동의 간섭:** 두 개 이상의 파동이 중첩될 때 진폭이 커지거나 작아지는 현상

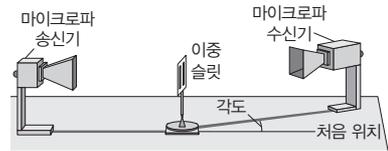
- ① 보강 간섭: 두 파동이 같은 위상으로 중첩되어 합성파의 진폭이 커지는 현상
- ② 상쇄 간섭: 두 파동이 반대 위상으로 중첩되어 합성파의 진폭이 작아지는 현상

(2) **전자기파의 간섭:** 전자기파는 파동이므로 간섭 현상이 일어난다.

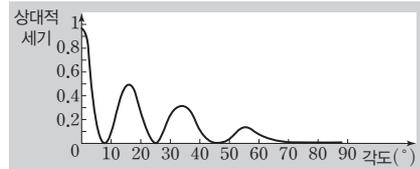
탐구자료 살펴보기 마이크로파를 이용한 간섭 현상

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 회전한 각도에 따른 수신기에 수신되는 마이크로파의 세기를 측정한다.



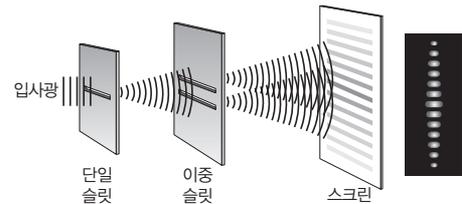
결과 및 point



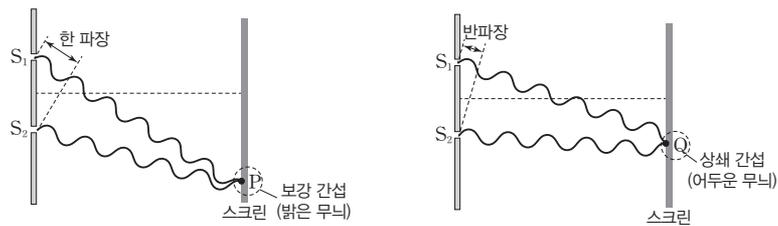
→ 수신기의 회전 각도에 따라 마이크로파의 세기가 강해지는 보강 간섭과 마이크로파의 세기가 약해지는 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 교대로 나타나는 것을 확인할 수 있다.

(3) 이중 슬릿에 의한 빛의 간섭

① 영의 실험: 19세기 초, 영은 그림과 같이 단일 슬릿에서 나온 빛을 다시 간격이 좁은 이중 슬릿에 통과시키면 스크린에 밝고 어두운 무늬가 생기는 것을 발견하였다. 이 실험은 빛이 파동이라는 것을 밝힌 실험이다.



② 그림 (가)와 같이 슬릿 S_1 과 S_2 로부터 스크린상의 P점까지는 경로차가 한 파장이므로 두 파동이 같은 위상으로 만나게 된다. 따라서 보강 간섭이 일어나 밝은 무늬가 만들어진다. 그런데 그림 (나)와 같이 S_1 과 S_2 로부터 스크린상의 Q점까지는 경로차가 반파장이므로 두 파동이 반대 위상으로 만나게 된다. 따라서 상쇄 간섭이 일어나 어두운 무늬가 만들어진다.



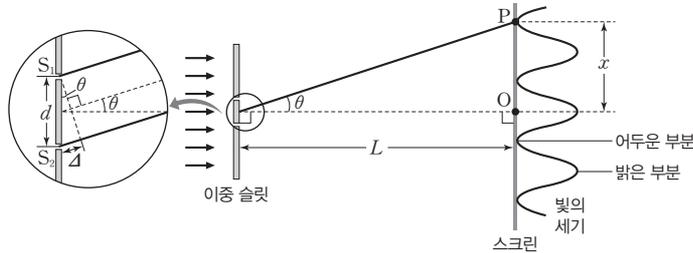
(가)

(나)

정답

1. 보강, 같은
2. 상쇄, 반대
3. 밝은, 어두운, 파동성

- ③ 이중 슬릿에 의한 빛의 간섭 조건: 밝은 무늬는 경로차 Δ 가 $\Delta = \frac{\lambda}{2}(2m)$ 일 때, 즉 반파장의 짝수 배가 되는 지점에서 나타난다. 또 어두운 무늬는 경로차 Δ 가 $\Delta = \frac{\lambda}{2}(2m+1)$ 일 때, 즉 반파장의 홀수 배가 되는 지점에서 나타난다.



그림에서 슬릿 사이의 간격 d 에 비해 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리 L 이 매우 크다고 가정하면 슬릿 S_1 과 S_2 로부터 스크린상의 임의의 점 P까지의 경로차 Δ 는 $d \sin \theta$ 와 같다. 또한 각 θ 가 매우 작을 때에는 $\sin \theta \approx \tan \theta$ 라고 할 수 있으므로 스크린 중앙의 밝은 무늬의 중심 O에서부터 P까지의 거리를 x 라고 할 때, Δ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta = d \sin \theta \approx d \tan \theta = d \frac{x}{L}$$

따라서 보강 간섭과 상쇄 간섭의 조건을 나타내면 다음과 같다.

$$\Delta = d \frac{x}{L} = \begin{cases} \frac{\lambda}{2}(2m) & \text{보강 간섭 } (m=0, 1, 2, 3, \dots) \\ \frac{\lambda}{2}(2m+1) & \text{상쇄 간섭 } (m=0, 1, 2, 3, \dots) \end{cases}$$

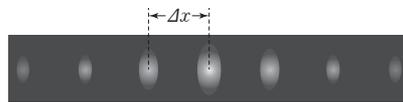
탐구자료 살펴보기 이중 슬릿을 이용한 빛의 간섭 실험

과정

- (1) 그림과 같이 스크린과 이중 슬릿, 빨간색 레이저를 동일 직선상에 설치한다.
- (2) 빨간색 레이저의 빛이 이중 슬릿을 통과하여 스크린에 도달할 때 선명한 간섭무늬가 나올 수 있도록 거리를 조절한다.
- (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(Δx)	레이저의 파장 ($\lambda = \frac{d}{L} \Delta x$)
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 d 에 비해 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리 L 이 매우 크면 θ 가 매우 작아진다. θ 가 매우 작을 때 $\cos \theta$ 는 1에 가까워진다. $\tan \theta = \frac{\sin \theta}{\cos \theta}$ 이므로 θ 가 매우 작을 때 $\tan \theta$ 를 $\sin \theta$ 로 근사할 수 있다.

[1-3] 이중 슬릿 실험에서 사용하는 단색광의 파장은 λ , 슬릿 사이의 간격이 d , 슬릿과 스크린 사이의 거리가 L 이다.

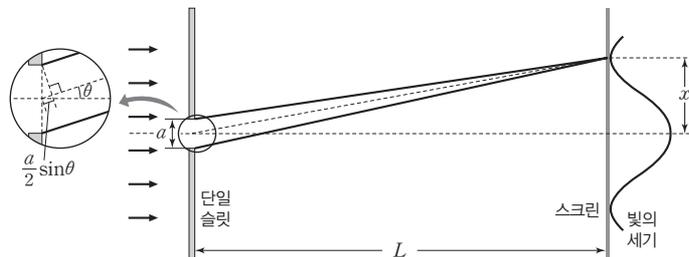
1. 두 슬릿으로부터 경로차가 $\frac{\lambda}{2}$ 의 () 배일 때 () 간섭에 의한 밝은 무늬가 생긴다.
2. 두 슬릿으로부터 경로차가 $\frac{\lambda}{2}$ 의 () 배일 때 상쇄 간섭에 의한 () 무늬가 생긴다.
3. 스크린의 가운데 밝은 무늬의 중심으로부터 x 만큼 떨어진 스크린상의 지점은 두 슬릿으로부터의 경로차가 ()인 지점이다.

정답

1. 짝수, 보강
2. 홀수, 어두운
3. $d \frac{x}{L}$

(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 λ 라고 할 때, 스크린 중앙에서 첫 번째 어두운 지점까지의 거리 x 는 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.

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.

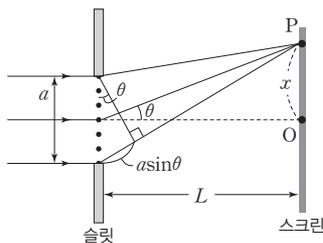
1. 단일 슬릿을 이용한 빛의 회절 실험에서 회절 무늬의 가운데 밝은 무늬의 폭은 슬릿의 폭이 ()수축, 빛의 파장이 ()수축, 슬릿과 스크린 사이의 거리가 ()수축 크다.
2. 단일 슬릿 실험에서 슬릿의 폭이 a , 슬릿과 스크린 사이의 거리가 L , 스크린 중앙에서 첫 번째 어두운 지점까지의 거리가 x 일 때, 사용한 빛의 파장은 ()이다.



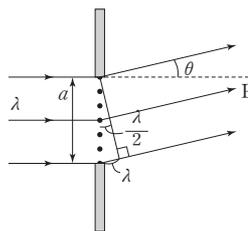
과학 돋보기 | 빛의 간섭과 단일 슬릿에 의한 회절 무늬

하위헌스 원리는 파동의 전파 과정에서 한 파면의 각 부분이 독립적인 점파원이 되어 새로운 파동을 발생하며 전파한다는 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 θ 를 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 $a \sin \theta = a \frac{x}{L} = \frac{\lambda}{2} \cdot 2m (m=1, 2, 3, \dots)$ 이 된다. 이때 스크린의 중앙에 있는 점 O에서는 슬릿을 이등분했을 때, 슬릿의 윗부분에서 오는 빛과 슬릿의 아랫부분에서 오는 빛의 경로차가 0이므로 항상 밝은 무늬가 된다.



단일 슬릿에 의한 회절



어두운 무늬를 만들 때

정답

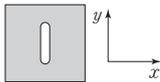
1. 좁음, 길, 클
2. $\frac{a}{L} x$

개념 체크

● **회절에 의한 현상:** CD의 뒷면이나 전복 컵테기의 안쪽 면에서는 미세하게 분포하는 홀무늬에 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. 그림과 같은 모양의 단일 슬릿을 사용할 때, 스크린에 생기는 회절 무늬는 (x 축, y 축) 방향으로 넓게 나타난다.

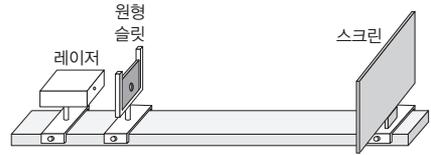


3. 소리는 빛보다 파장이 () 때문에 회절하는 정도가 ().

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 나올 수 있도록 거리를 조절한다.
- (3) 원형 슬릿 대신 사각형 슬릿으로 교체하여 회절 무늬를 관찰한다.
- (4) 빨간색 레이저 대신 초록색 레이저를 사용하여 원형 슬릿, 사각형 슬릿의 회절 무늬를 관찰한다.

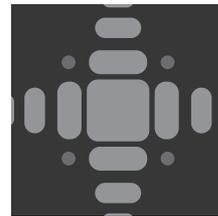


결과

<빨간색 레이저를 이용한 회절 무늬>

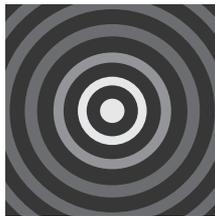


원형 슬릿의 회절 무늬



사각형 슬릿의 회절 무늬

<초록색 레이저를 이용한 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 | 회절 및 간섭에 의한 현상

담 너머 소리가 들리는 모습	면도날의 가장자리 모습	모르포 나비	CD 회절격자
소리가 빛보다 회절하는 정도가 커서 담 너머의 모습은 보이지 않지만 소리는 들린다.	빛이 물체의 가장자리를 지날 때 회절 현상이 일어나서 그림자의 가장자리에 밝고 어두운 패턴이 나타난다.	모르포 나비의 날개에 입사한 빛이 여러 층으로부터 반사되어 빛이 진행한 경로차로 인해 간섭 현상이 나타난다.	CD의 뒷면에 입사한 빛이 규칙적인 홈에서 회절하고 서로 간섭하여 다양한 색으로 보이게 된다.

정답

1. 크다
2. x 축
3. 길기, 크다

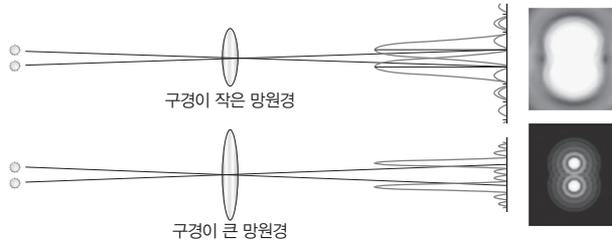
3 전자기파의 간섭과 회절의 이용

(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 통화 상태가 나빠지므로 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

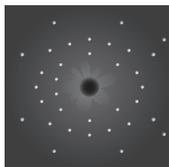
● X선 회절 무늬: X선을 결정에 쏘면 결정의 규칙적인 구조로 인하여 회절 무늬가 나타난다. 이를 분석하여 결정의 구조를 알아낼 수 있다.

1. 여러 대의 작은 전파 망원경에서 측정한 전파의 ()을 이용하면 큰 전파 망원경과 같은 효과를 얻을 수 있다.
2. 산속에서는 장애물이 많아 () 파장의 전자기파를 이용하는 FM 방송보다 () 파장의 전자기파를 이용하는 AM 방송이 ()이 더 잘 일어나 방송 수신이 더 잘된다.
3. 왓슨과 크릭은 DNA의 X선 () 무늬 분석을 통해 DNA가 이중 나선 구조임을 알게 되었다.

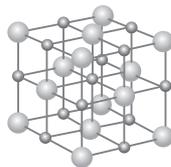
탐구자료 살펴보기 X선 회절 현상의 이용

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

(나)



DNA의 이중 나선 구조

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.

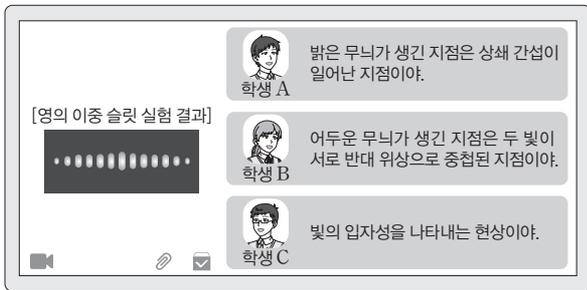
point

• 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. 간섭
2. 짧은, 긴, 회절
3. 회절

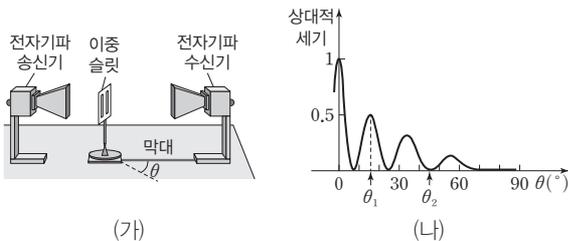
01 그림은 영의 이중 슬릿 실험의 결과로 스크린에 나타난 간섭무늬에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A ② B ③ A, C ④ B, C ⑤ A, B, C

02 그림 (가)와 같이 서로 마주 보고 있는 전자기파 송신기와 수신기, 이중 슬릿을 동일 직선상에 설치한 후 슬릿과 수신기가 연결된 막대를 회전시키며 수신기에 측정된 전자기파의 세기를 측정한다. 그림 (나)는 회전각 θ 에 따른 수신기에 측정된 전자기파의 상대적 세기를 나타낸 것이다.

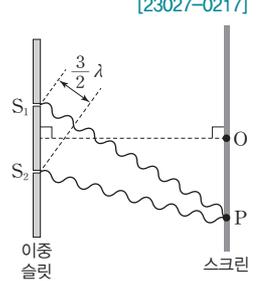


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기**
- ㄱ. 전자기파가 이중 슬릿에 도달하는 순간, 두 슬릿에 도달한 전자기파의 위상은 서로 같다.
 - ㄴ. $\theta = \theta_1$ 일 때, 수신기에서는 전자기파의 보강 간섭이 일어난다.
 - ㄷ. 송신기에서 발생하는 전자기파의 파장을 길게 바꾸면 $0 < \theta < \theta_2$ 에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 수는 많아진다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 그림은 이중 슬릿 S_1, S_2 를 같은 위상으로 통과한 파장이 λ 인 단색광이 스크린상의 점 P에서 만나는 것을 모식적으로 나타낸 것이다. S_1, S_2 로부터 P까지의 경로차는 $\frac{3}{2}\lambda$ 이고, 스크린상의 점 O는 S_1, S_2 로부터 같은 거리에 있다.

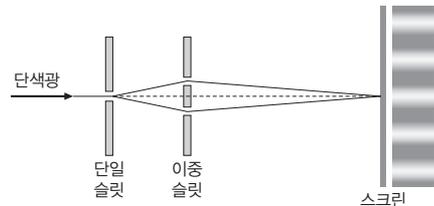


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기**
- ㄱ. P에서는 어두운 무늬가 나타난다.
 - ㄴ. 스크린에 나타난 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 O와 P 사이의 거리의 1/2배이다.
 - ㄷ. 단색광의 파장만을 1/2 lambda인 것으로 바꾸었을 때, P에서는 어두운 무늬가 생긴다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 그림은 단색광을 슬릿에 비추었을 때 스크린에 일정한 간격으로 밝고 어두운 무늬가 생긴 것을 나타낸 것이다.



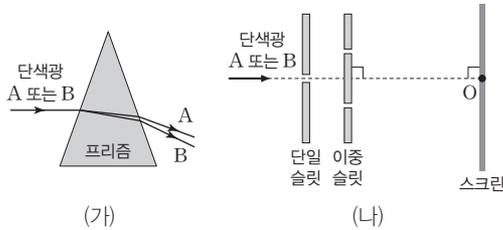
이와 같은 빛의 현상과 같은 원리로 설명할 수 있는 예만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기**
- ㄱ. 물 위에 뜬 얇은 기름막에 생긴 여러 빛깔의 무늬
 - ㄴ. 모르고 나비의 날개 구조에 의해 생긴 푸른색 무늬
 - ㄷ. 물체를 선명하게 볼 수 있는 무반사 코팅 렌즈 안경



- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 [23027-0219] 그림 (가)는 단색광 A 또는 B가 프리즘에 입사하여 굴절한 후 진행되는 모습을, (나)는 A 또는 B를 슬릿에 비추어 스크린에 간섭무늬를 만드는 것을 나타낸 것이다. 이중 슬릿의 두 슬릿으로부터 점 O까지의 거리는 같다.



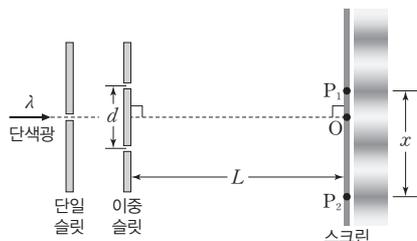
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 진공에서 파장은 A가 B보다 짧다.
- ㄴ. (나)에서 B를 비출 때, O에서는 보강 간섭이 일어난다.
- ㄷ. (나)의 스크린에 생긴 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 A를 비출 때가 B를 비출 때보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

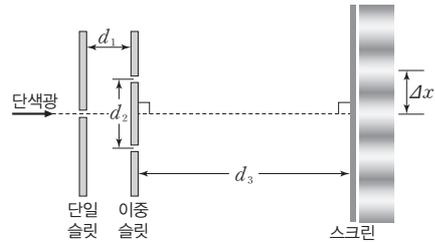
06 [23027-0220] 그림은 파장이 λ 인 단색광을 슬릿에 비추었을 때 스크린에 생긴 간섭무늬를 나타낸 것이다. 이중 슬릿의 슬릿 간격은 d , 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리는 L 이다. 스크린상의 점 O는 두 슬릿으로부터 같은 거리에 있는 점이고, 점 P_1 과 P_2 는 각각 O를 중심으로 반대 방향에 생긴 첫 번째, 두 번째 어두운 무늬로 P_1 과 P_2 사이의 거리는 x 이다.



λ 는?

- ① $\frac{dx}{4L}$ ② $\frac{dx}{2L}$ ③ $\frac{dx}{L}$ ④ $\frac{2dx}{L}$ ⑤ $\frac{4dx}{L}$

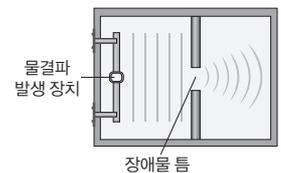
07 [23027-0221] 그림은 단색광을 슬릿에 비추었을 때 스크린에 일정한 간격으로 밝고 어두운 무늬가 생긴 것을 나타낸 것이다. 단일 슬릿과 이중 슬릿 사이의 거리, 이중 슬릿의 슬릿 간격, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리는 각각 d_1 , d_2 , d_3 이고, 스크린의 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 Δx 이다.



d_1 , d_2 , d_3 을 각각 2배씩 증가시킬 때, 스크린에 나타나는 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은?

- ① $\frac{1}{4}\Delta x$ ② $\frac{1}{2}\Delta x$ ③ Δx ④ $2\Delta x$ ⑤ $4\Delta x$

08 [23027-0222] 그림은 물결파 발생 장치로 만들어진 물결파가 장애물의 틈을 지나 회절되어 장애물 뒤쪽까지 전달되는 모습을 나타낸 것이다. 한 가지 조건만을 변화시켰을 때, 물결파의 회절이 더 잘 일어나는 경우만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



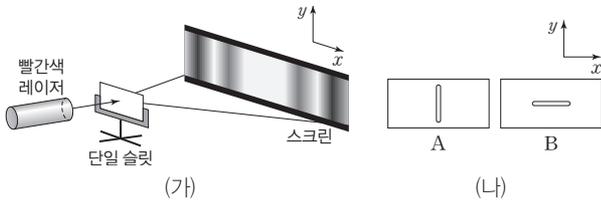
보기

- ㄱ. 물결파 발생 장치의 진동수를 증가시킨다.
- ㄴ. 물의 깊이를 깊게 하여 물결파의 속력을 증가시킨다.
- ㄷ. 장애물 틈을 좁게 한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[23027-0223]

09 그림 (가)는 빨간색 레이저를 단일 슬릿에 비추었더니 스크린에 밝은 무늬와 어두운 무늬가 생긴 실험을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 단일 슬릿의 모양 A, B를 나타낸 것이고, (가)의 단일 슬릿은 A, B 중 하나이다.



(가)의 실험에 대한 설명으로 옳은 것만을 (보기)에서 있는 대로 고른 것은?

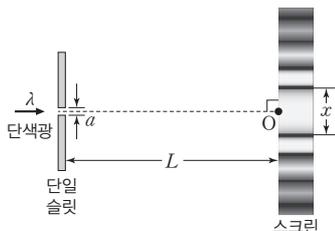
보기

ㄱ. 단일 슬릿은 A이다.
 ㄴ. 레이저의 세기를 감소시키면 가운데 밝은 무늬의 폭이 넓어진다.
 ㄷ. 레이저를 파란색으로 바꾸면 가운데 밝은 무늬의 폭이 좁아진다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[23027-0224]

10 그림은 단색광을 단일 슬릿에 비추었을 때 스크린에 생긴 회절 무늬를 나타낸 것이다. 단색광의 파장은 λ , 슬릿의 폭은 a , 슬릿과 스크린 사이의 거리는 L 이다. 스크린상의 점 O를 중심으로 양쪽의 첫 번째 어두운 무늬의 중심 사이의 거리는 x 이다.



는?

- ① $\frac{ax}{4L}$ ② $\frac{ax}{2L}$ ③ $\frac{ax}{L}$ ④ $\frac{2ax}{L}$ ⑤ $\frac{4ax}{L}$

11 다음은 X선을 분석하여 DNA 구조를 발견한 과정에 대한 내용이다.

[23027-0225]

왓슨과 크릭은 그림과 같이 DNA의 X선 무늬를 분석하여 DNA가 이중 나선 구조임을 알게 되었다. X선이 입자를 구성하는 격자에서 튕겨 나올 때 각 X선이 지나온 경로의 차이 때문에 나타나는 현상을 분석하여 분자의 미세 구조를 파악할 수 있다. 단일 슬릿을 이용한 전자기파의 실험을 통해 관찰할 수 있는 빛의 현상은 빛의 파장이 수록, 빛이 통과하는 슬릿의 폭이 수록 잘 일어난다.



㉠, ㉡, ㉢으로 가장 적절한 것은?

- | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> |
| ① 간섭 | 짧을 | 좁을 | ② 간섭 | 길 | 넓을 |
| ③ 회절 | 짧을 | 좁을 | ④ 회절 | 길 | 좁을 |
| ⑤ 회절 | 길 | 넓을 | | | |

[23027-0226]

12 그림 (가)는 정사각형 모양의 구멍이 있는 슬릿에 단색광을 비추었을 때 생긴 회절 무늬를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 한 가지 조건만을 변화시켰을 때 생긴 회절 무늬를 나타낸 것이다. 회절 무늬에서 밝은 무늬의 폭은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.



(가) (나)

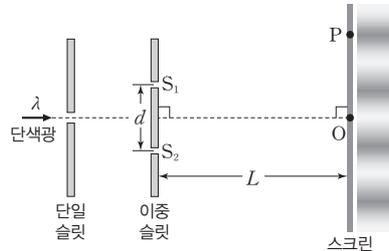
(가)에서 (나)의 무늬를 얻기 위해 변화시킨 내용으로 옳은 것만을 (보기)에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 단색광을 파장이 긴 것으로 바꾼다.
 ㄴ. 단색광의 밝기를 밝게 바꾼다.
 ㄷ. 슬릿의 정사각형 구멍을 더 큰 것으로 바꾼다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

01 그림과 같이 슬릿에 파장이 λ 인 단색광을 비추었더니 스크린에 간섭무늬가 생겼다. 이중 슬릿 간격은 d , 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리는 L 이다. 스크린상의 점 O 는 이중 슬릿의 두 슬릿 S_1, S_2 로부터 같은 거리에 있는 점이고, 점 P 는 O 로부터 두 번째 어두운 무늬가 생긴 지점이다.



O 로부터 두 번째 어두운 무늬가 생긴 지점 P 는 두 슬릿으로부터 빛의 경로차가 $\frac{3}{2}\lambda$ 인 지점이고, O 와 P 사이의 거리는 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 Δx 의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

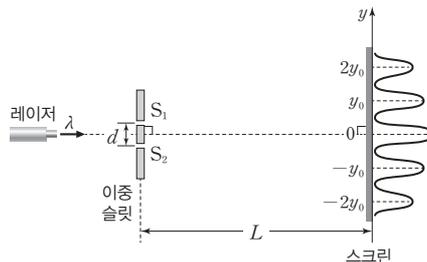
한 가지 조건만을 변화시킬 때, P 에 밝은 무늬가 생기는 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 단색광의 파장을 $\frac{1}{2}\lambda$ 로 바꿀 때
- ㄴ. 이중 슬릿 간격을 $\frac{2}{3}d$ 로 바꿀 때
- ㄷ. 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 $\frac{3}{2}L$ 로 바꿀 때

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 그림은 레이저에서 방출된 파장이 λ 인 단색광을 이중 슬릿을 향해 비추었을 때, y 축에 놓인 스크린에 나타난 간섭무늬의 빛의 세기를 나타낸 것이다. 이중 슬릿 S_1 과 S_2 사이의 간격은 d 이고, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리는 L 이다. 스크린상의 $y=0$ 인 지점은 S_1, S_2 로부터 같은 거리에 있다.



$y = -2y_0$ 인 지점은 $y=0$ 로부터 $-y$ 방향으로 두 번째 밝은 무늬가 생긴 지점, $y = -y_0$ 인 지점은 $y=0$ 로부터 $-y$ 방향으로 첫 번째 밝은 무늬가 생긴 지점이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

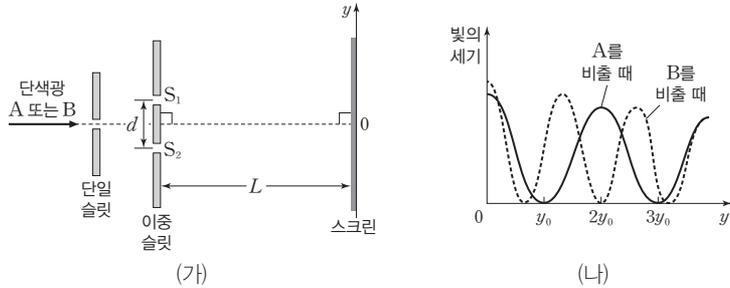
보기

- ㄱ. $y=y_0$ 에서 상쇄 간섭이 일어난다.
- ㄴ. $y_0 = \frac{L\lambda}{d}$ 이다.
- ㄷ. S_1, S_2 를 지난 단색광의 경로차는 $y = -2y_0$ 에서가 $y = -y_0$ 에서보다 3λ 만큼 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

슬릿을 향해 A 또는 B를 비출 때, 스크린에 나타난 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 각각 $\Delta y_A = \frac{L}{d}\lambda_A$, $\Delta y_B = \frac{L}{d}\lambda_B$ 로 사용하는 단색광의 파장에 비례한다.

03 그림 (가)와 같이 단색광 A 또는 B를 슬릿을 향해 비추었더니 단색광이 단일 슬릿과 이중 슬릿의 S_1 , S_2 를 통과하여 스크린에 도달한다. A, B의 파장은 각각 λ_A , λ_B 이고, S_1 과 S_2 사이의 간격은 d , 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리는 L 이다. 스크린상의 $y=0$ 인 지점은 S_1 , S_2 로부터 같은 거리에 있다. 그림 (나)는 (가)에서 A 또는 B를 비추었을 때, 스크린상의 y 축 위치에 따른 빛의 세기를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

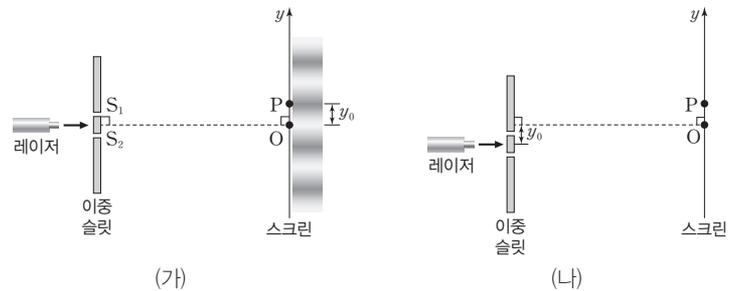
보기

- ㄱ. A를 비출 때, $y=0$ 에서는 보강 간섭이 일어난다.
- ㄴ. B를 비출 때, $y=0$ 과 $y=3y_0$ 사이에 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 개수는 2개이다.
- ㄷ. $\frac{\lambda_A}{\lambda_B} = \frac{3}{2}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

이중 슬릿에 의해 생긴 빛의 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta y = \frac{L}{d}\lambda$ 이므로, 이중 슬릿을 스크린에 대해 나란한 방향으로 이동시켰을 때 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 변화가 없다.

04 그림 (가)와 같이 레이저를 이용해 이중 슬릿에 단색광을 비추었더니 스크린에 간섭무늬가 생겼다. 스크린상의 점 O는 두 슬릿 S_1 , S_2 로부터 같은 거리에 있는 점이고, 점 P는 O로부터 $+y$ 방향으로 첫 번째 어두운 무늬가 생긴 지점으로 O와 P 사이의 간격은 y_0 이다. 그림 (나)는 (가)에서 레이저와 이중 슬릿을 $-y$ 방향으로 y_0 만큼 이동시킨 모습을 나타낸 것이다.



(나)에서 생긴 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격과 P에 생긴 무늬로 옳은 것은?

- | 무늬 간격 | P에 생긴 무늬 | 무늬 간격 | P에 생긴 무늬 |
|----------|----------|----------|----------|
| ① y_0 | 밝은 무늬 | ② y_0 | 어두운 무늬 |
| ③ $2y_0$ | 밝은 무늬 | ④ $2y_0$ | 어두운 무늬 |
| ⑤ $4y_0$ | 밝은 무늬 | | |

05 다음은 빛의 간섭 실험이다.

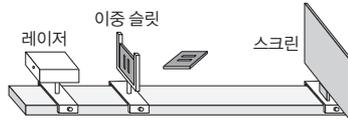
[23027-0231]

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 레이저, 이중 슬릿, 스크린을 설치하여 고정시킨다.

(나) 파장이 λ_1 인 레이저 빛을 비추고 슬릿 간격이 각각 d_1, d_2 인 이중 슬릿을 사용하며 스크린에 생긴 간섭무늬를 관찰하고 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격을 측정한다.

(다) 슬릿 간격이 d_1 인 이중 슬릿을 설치하고, 파장이 각각 λ_1, λ_2 인 레이저 빛을 사용하며 스크린에 생긴 간섭무늬를 관찰하고 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격을 측정한다.



[실험 결과]

○ (나)의 결과

슬릿 간격	간섭무늬
d_1	
d_2	

○ (다)의 결과

파장	간섭무늬
λ_1	
λ_2	

이중 슬릿에 의한 빛의 간섭 실험에서 파장이 일정할 때 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 슬릿 간격에 반비례하고, 슬릿 간격이 일정할 때 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 빛의 파장에 비례한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

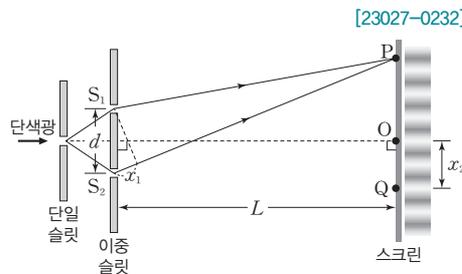
ㄱ. ㉠은 보강 간섭에 의해 나타난다.

ㄴ. $\frac{d_1}{d_2} = 2$ 이다.

ㄷ. $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{3}{2}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 그림과 같이 단색광을 슬릿에 비추었더니 스크린에 간섭무늬가 나타났다. 이중 슬릿의 간격은 d , 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리는 L 이다. 스크린상의 점 O는 S_1, S_2 에서 같은 거리인 지점이고, 점 P, Q에는 각각 O로부터 네 번째 어두운 무늬, 두 번째 밝은 무늬가 생긴다.



[23027-0232]

S_1, S_2 로부터 P까지의 경로차 x_1 는 빛의 파장의 $\frac{7}{2}$ 배이고, O에서 Q까지의 거리 x_2 는 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격의 2배이다.

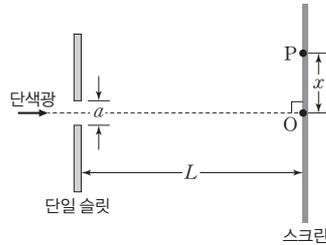
S_1, S_2 로부터 P까지의 경로차를 x_1 , O에서 Q까지의 거리를 x_2 라고 할 때, $\frac{x_1}{x_2}$ 은?

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

단일 슬릿에 의한 빛의 회절 무늬에서 스크린상의 중심점 O에서 첫 번째 어두운 무늬가 생기는 지점 P까지의 거리 $x = \frac{L}{a}\lambda_0$ 이다.

[23027-0233]

07 그림은 단일 슬릿을 통과한 빛에 의해 스크린에 회절 무늬가 생기도록 슬릿에 단색광을 비추는 것을 나타낸 것이다. 단일 슬릿의 폭은 a , 슬릿과 스크린 사이의 거리는 L 이다. 스크린상의 점 O는 회절 무늬의 가운데 가장 밝은 무늬의 중심 지점이고, 점 P는 O로부터 x 만큼 떨어진 지점이다. 표는 단일 슬릿에 비추는 단색광의 파장에 따라 P에 생기는 무늬의 모습을 나타낸 것이다.



실험	단색광의 파장	P에 생기는 무늬
I	λ_0	O로부터 첫 번째 어두운 무늬
II	$2\lambda_0$	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. $\lambda_0 = \frac{ax}{L}$ 이다.

ㄴ. 'O로부터 두 번째 어두운 무늬'는 ㉠으로 적절하다.

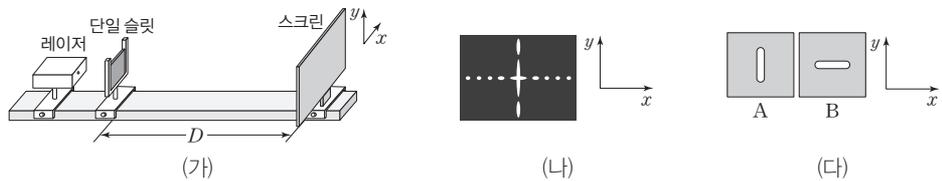
ㄷ. 실험 I에서 단색광의 세기를 증가시키면 P에서 밝은 무늬가 나타난다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

단일 슬릿을 이용한 빛의 회절에서 슬릿의 폭이 좁은 방향으로 회절 무늬의 가운데 밝은 무늬 폭이 넓게 나타난다.

[23027-0234]

08 그림 (가)는 레이저를 단일 슬릿을 향해 비추어 스크린에 회절 무늬를 만드는 모습을 나타낸 것으로, 슬릿과 스크린 사이의 거리는 D 이다. 그림 (나)는 (가)의 스크린에 나타난 회절 무늬를, (다)는 단일 슬릿 A, B를 나타낸 것이고, (가)의 단일 슬릿은 A, B 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 단일 슬릿을 통과한 빛의 회절 현상은 x 축과 나란한 방향보다 y 축과 나란한 방향으로 더 잘 일어난다.

ㄴ. (가)의 단일 슬릿은 A이다.

ㄷ. D 가 증가할수록 스크린의 회절 무늬에서 가운데 밝은 무늬 폭은 넓어진다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

09 다음은 빛의 회절 실험이다.

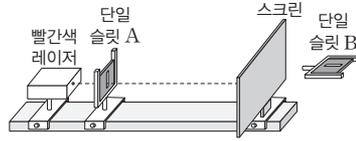
[23027-0235]

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 빨간색 레이저, 슬릿 폭이 a_A 인 단일 슬릿 A, 스크린을 설치하여 고정시킨다.

(나) 레이저 빛을 비추어 스크린에 생긴 회절 무늬를 관찰하고, 가운데 밝은 무늬를 중심으로 양쪽 첫 번째 어두운 무늬 중심 사이의 거리를 측정한다.

(다) (가)에서 A를 슬릿 간격이 a_B 인 단일 슬릿 B로 바꾸어 과정 (나)를 반복한다.



[실험 결과]

○ (나)의 결과

슬릿	회절 무늬
A	

○ (다)의 결과

슬릿	회절 무늬
B	

단일 슬릿을 이용한 빛의 회절에서 가운데 밝은 무늬를 중심으로 양쪽 첫 번째 어두운 무늬 중심 사이의 거리는 슬릿의 폭에 반비례하고, 빛의 파장과 슬릿과 스크린 사이의 거리에 각각 비례한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

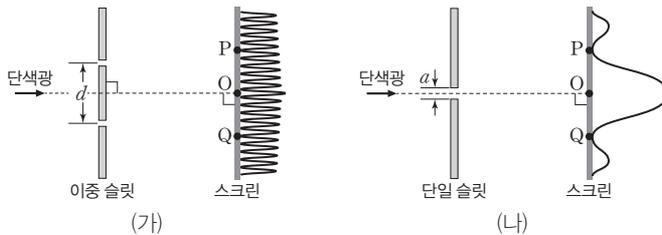
ㄱ. 단일 슬릿을 통과한 빛의 회절은 (나)에서가 (다)에서보다 잘 일어난다.

ㄴ. $\frac{a_A}{a_B} = 2$ 이다.

ㄷ. (다)에서 레이저를 파란색으로 바꾸면 가운데 밝은 무늬를 중심으로 양쪽 첫 번째 어두운 무늬 중심 사이의 거리는 $2x_0$ 보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10 그림 (가)는 단색광을 슬릿 간격이 d 인 이중 슬릿에 비추었더니 스크린에 생긴 간섭무늬의 빛의 세기를 나타낸 것이다. 스크린상의 점 O는 두 슬릿으로부터 같은 거리에 있고, 점 P, Q는 O로부터 각각 여섯 번째 어두운 무늬가 생긴 지점이다. 그림 (나)는 (가)에서 이중 슬릿을 폭이 a 인 단일 슬릿으로 바꾸었을 때 생긴 회절 무늬의 빛의 세기를 나타낸 것이다. P, Q는 가장 밝은 지점인 O로부터 첫 번째 어두운 무늬가 생긴 지점이다.



$\frac{d}{a}$ 는?

- ① 4 ② $\frac{9}{2}$ ③ 5 ④ $\frac{11}{2}$ ⑤ 6

이중 슬릿에 의한 빛의 간섭 실험에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$, 단일 슬릿에 의한 빛의 회절에서 가운데 가장 밝은 무늬의 중심에서 첫 번째 어두운 무늬까지의 거리 $x = \frac{L}{a}\lambda$ 이다.

(d : 이중 슬릿의 슬릿 간격, a : 단일 슬릿의 슬릿 폭, L : 슬릿과 스크린 사이의 거리, λ : 빛의 파장)

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. 파원이나 관찰자가 움직이게 되었을 때는 ()에 의해 정지해 있을 때와 다른 진동수의 파동을 측정하게 된다.
2. 원운동을 하는 버지가 가까이 다가올 때는 () 소리가 들리고, 멀어질 때는 () 소리가 들리며, 그 차이는 버지의 속력이 () 크다.
3. 음원이 정지해 있는 관찰자를 향해 다가올 때, 소리의 파장은 (), 관찰자가 듣는 소리의 진동수는 () .

1 도플러 효과

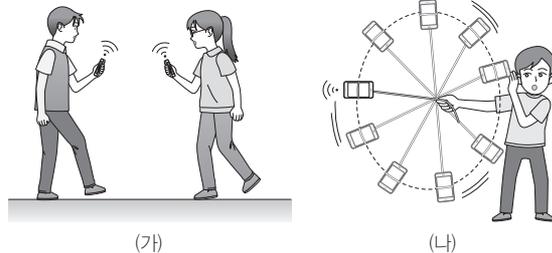
(1) **도플러 효과:** 파원이나 관찰자가 움직이게 되면 정지해 있을 때와는 다른 진동수의 파동을 측정하게 되는데, 이를 도플러 효과라고 한다. 파원과 관찰자가 서로 가까워지면 파동의 진동수가 커지고, 서로 멀어지면 파동의 진동수가 작아진다.



탐구자료 살펴보기 스마트폰을 이용한 진동수 변화 측정

과정

- (1) 스마트폰 두 개를 준비하고, 하나에는 진동수가 일정한 소리를 발생하는 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 멀리하는 상대적인 운동을 하며 소리의 진동수를 측정한다.
- (4) 그림 (나)와 같이 소리를 내는 스마트폰을 끈에 매달아 회전시키며 진동수를 측정한다.
- (5) 속도를 다르게 하여 과정 (4)를 반복한다.



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_s 라 하고, 이때 관찰자가 듣게 되는 진동수를 f' 라고 하면 관찰자가 듣는 소리는 다음과 같이 달라진다.

① 음원이 정지해 있는 관찰자를 향해 다가올 때: 관찰자가 듣는 소리의 진동수 f' 는 다음과 같다.

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{\lambda - \frac{v_s}{f}} = \frac{v}{f - \frac{v_s}{f}} = \left(\frac{v}{v - v_s} \right) f$$

정답

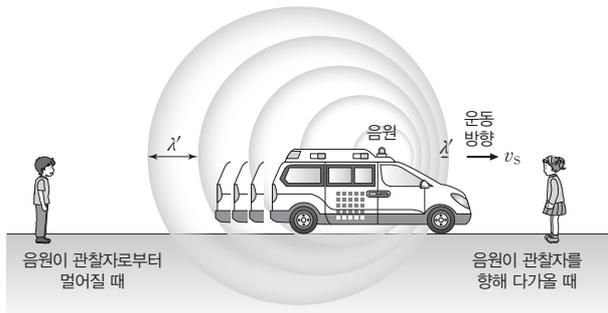
1. 도플러 효과
2. 높은, 낮은, 클수록
3. 짧아지고, 커진다

음원이 관찰자 쪽으로 가까이 다가오면 소리의 파장이 λ' 로 짧아진다. 소리의 속력은 음원이 정지해 있을 때와 동일하므로, 관찰자가 듣는 소리의 진동수가 커져서 진동수 f 인 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 f 인 소리보다 더 낮은 소리를 듣게 된다.



개념 체크

● **구급차의 사이렌 소리:** 정지해 있는 구급차에서 발생하는 사이렌 소리는 관찰자의 움직임에 따라 다른 진동수로 측정된다. 관찰자가 구급차를 향해 다가갈 때는 사이렌 소리가 높은 음으로 들리고, 관찰자가 구급차와 멀어지는 방향으로 움직일 때는 사이렌 소리가 낮은 음으로 들린다.

[1~2] 진동수가 f 인 음파를 발생하는 음원이 v_s 의 속력으로 관찰자를 향해 등속 직선 운동을 한다. 음속은 v 이다.

1. 관찰자가 듣는 음파의 파장은 음원이 정지해 있을 때에 비해 ()만큼 짧아진다.
2. 관찰자가 듣는 음파의 진동수는 ()이다.
3. 음원이 정지한 관찰자로부터 멀어질 때, 관찰자가 측정하는 소리의 파장은 (), 소리의 진동수는 ()이다.



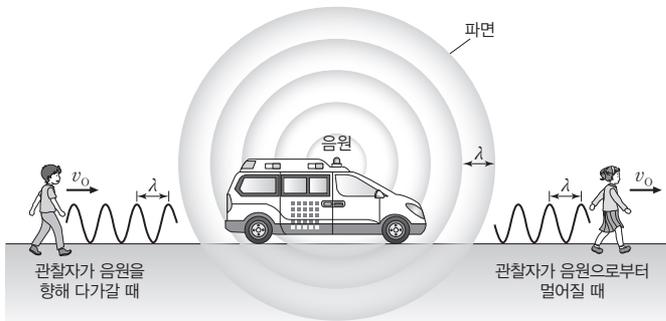
과학 돋보기 | 관찰자가 속도 v_0 로 움직일 때 도플러 효과

① 관찰자가 정지해 있는 음원을 향해 다가올 때: 관찰자가 같은 시간 동안 만나는 파면의 수는 증가하고, 관찰자가 측정한 진동수 f' 도 증가한다.

$$f' = \left(\frac{v + v_0}{v} \right) f$$

② 관찰자가 정지해 있는 음원으로부터 멀어질 때: 관찰자가 같은 시간 동안 만나는 파면의 수는 감소하고, 관찰자가 측정한 진동수 f' 도 감소한다.

$$f' = \left(\frac{v - v_0}{v} \right) f$$



※ 도플러 효과의 일반식

$$f' = \left(\frac{v \pm v_0}{v \pm v_s} \right) f \quad \left(\begin{array}{l} f': \text{관찰자가 듣는 소리의 진동수, } f: \text{소리의 진동수} \\ v: \text{소리의 속력, } v_s: \text{음원의 속력, } v_0: \text{관찰자의 속력} \end{array} \right)$$

정답

1. $\frac{v_s}{f}$
2. $\left(\frac{v}{v - v_s} \right) f$
3. 길어지고, 작아진다

개념 체크

◆ **도플러 효과의 이용:** 도플러 효과를 이용하면 물체에 반사된 파동이나, 물체에서 방출하는 파동의 진동수 변화를 측정하여 움직이는 물체의 속력을 측정할 수 있다.

1. 도플러 레이더로부터 구름이 멀어지고 있을 때, 레이더에서 측정한 구름에서 반사된 전파의 진동수는 레이더에서 방출한 전파의 진동수보다 ().

2. 대부분의 은하에서 나오는 빛의 흡수 스펙트럼에서 ()이 나타나며, 은하가 멀리 있을수록 멀어지는 속력이 빠르므로 그 정도가 ().

3. 도플러 초음파 검사에서 혈액이 검사기 방향으로 흐르며 적혈구가 검사기로 다가올 때, 검사기에서 측정한 적혈구에서 반사된 초음파의 진동수는 검사기에서 방출한 초음파의 진동수보다 ().

2 도플러 효과의 이용

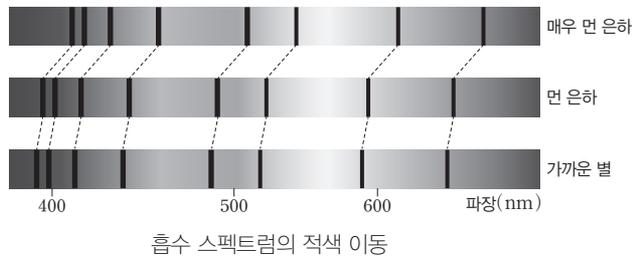
(1) **속력 측정:** 속력 측정 장치에서는 마이크로파나 적외선, 초음파를 내보내는데, 이 전자기파나 초음파가 다가오는 공이나 자동차에 부딪혀 되돌아오면서 진동수가 커진다. 이러한 진동수 변화를 측정하여 도플러 효과로 투수가 던진 공의 속력이나 자동차의 속력을 알아낸다.



(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.



이외에도 박쥐가 초음파의 도플러 효과를 이용하여 물체나 먹이의 속도를 알아내고, 도플러 초음파 검사로 인체 내 혈액의 속도를 알아내는 등 도플러 효과는 일상생활에서 널리 활용되고 있다.



도플러 초음파 검사

3 전자기파의 발생

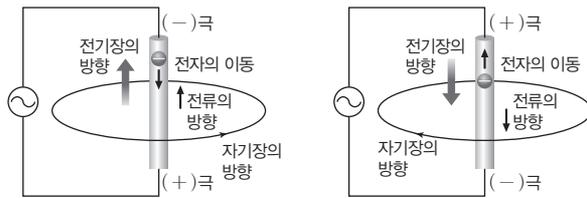
(1) **전기장에 의한 자기장의 변화:** 전원이 연결된 직선 도선 주위에 전기장이 생기고, 도선 내부의 전자가 전기력을 받아 이동하면 도선 주위에 자기장이 발생한다. 이때 직선 도선에 연결하는 전원이 교류이면 전기장이 계속 변하게 되어 자기장도 계속 변하게 된다.

정답

1. 작다
2. 적색 이동(적색 편이), 크다
3. 크다

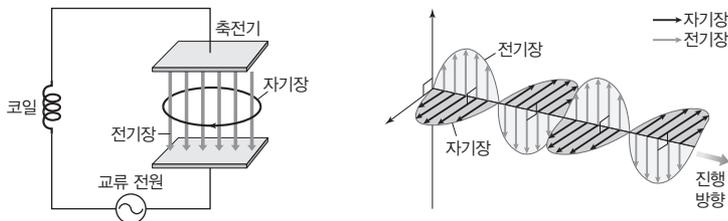
개념 체크

- **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.



(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.



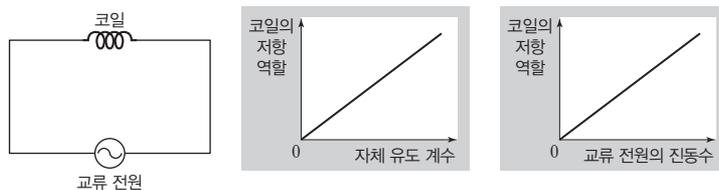
1. 전기장과 자기장이 서로를 유도하면서 주기적으로 진동하는 파동의 형태로 퍼져 나가는데, 이를 ()라고 한다.

2. 코일에 교류 전류가 흐를 때, 코일의 자체 유도 계수가 (), 교류 전원의 진동수가 () 코일의 저항 역할이 커진다.

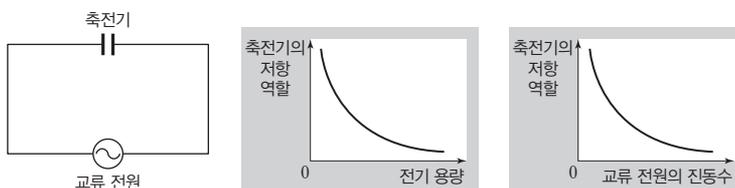
3. 축전기에 교류 전류가 흐를 때, 축전기의 전기 용량이 (), 교류 전원의 진동수가 () 축전기의 저항 역할이 작아진다.

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.



정답

1. 전자기파
2. 클수록, 클수록
3. 클수록, 클수록

개념 체크

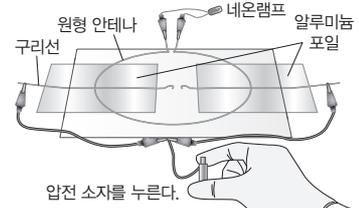
● **교류 회로에서의 공명:** 교류 전원의 진동수가 공명 진동수일 때, 코일의 저항 역할과 축전기의 저항 역할이 같아진다. 이때 코일과 축전기가 함께 만들어내는 저항 역할이 최소가 되고, 회로에는 최대의 전류가 흐른다.

1. 헤르츠의 전자기파 실험에서 압전 소자를 누르면 구리선 사이에서 방전에 의해 발생한 ()를 ()에서 수신하여 네온램프에 불이 켜진다.
2. 저항, 축전기, 코일이 연결된 교류 회로에서 전류의 값이 최대일 때의 진동수를 () 진동수라고 하며, 이 진동수는 코일의 자체 유도 계수가 (), 축전기의 전기 용량이 ()크다.
3. 저항, 축전기, 코일이 연결된 교류 회로에서 저항의 저항값을 증가시킬 때, 회로에 흐르는 전류의 최대값은 (증가하고, 감소하고, 일정하고), 회로의 공명 진동수는 (증가한다, 감소한다, 일정하다).

탐구자료 살펴보기 헤르츠의 전자기파 실험

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

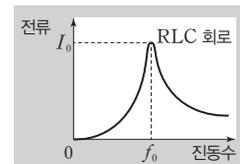
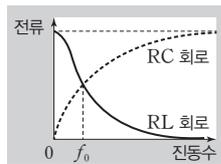
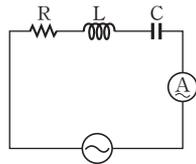
- 압전 소자를 누를 때 구리선 사이에서는 불꽃이 발생한다.
- 압전 소자를 누를 때 발생한 전자기파가 안테나에 수신되어 전류가 흐르게 되므로 네온램프에 빛이 난다.
- 네온램프의 불빛 세기는 알루미늄 포일과 안테나 사이의 거리가 가까울수록 강하고, 거리가 멀수록 약하다.

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 모두 연결하면 교류 전원의 진동수에 따라 전류의 세기가 변하는데, 특정 진동수에서 전류의 값이 최대가 된다. 이 특정 진동수를 공명 진동수(공진 주파수) f_0 이라고 한다. $\Rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$



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 $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ (f : 교류 전원의 진동수, C : 축전기의 전기 용량)이다. 즉, 축전기의 용량 리액턴스는 교류 전원의 진동수에 반비례하고, 축전기의 전기 용량에 반비례한다.

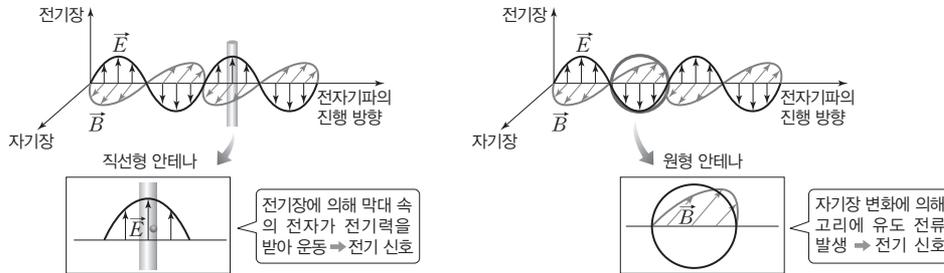
RLC 회로의 공명 진동수에서 코일의 유도 리액턴스와 축전기의 용량 리액턴스는 크기가 같고 교류 회로에서 저항, 코일, 축전기가 전류의 흐름을 방해하는 정도의 합은 최소값이 된다. $X_L = X_C$, 즉, $2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C}$ 의 조건을 만족하는 교류 전원의 진동수 f_0 이 공명 진동수가 된다. 따라서 공명 진동수는 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 이다.

정답

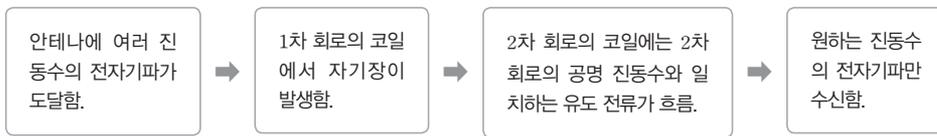
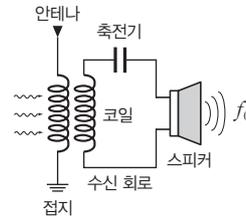
1. 전자기파, 안테나
2. 공명, 작을수록, 작을수록
3. 감소하고, 일정하다

5 전자기파의 수신

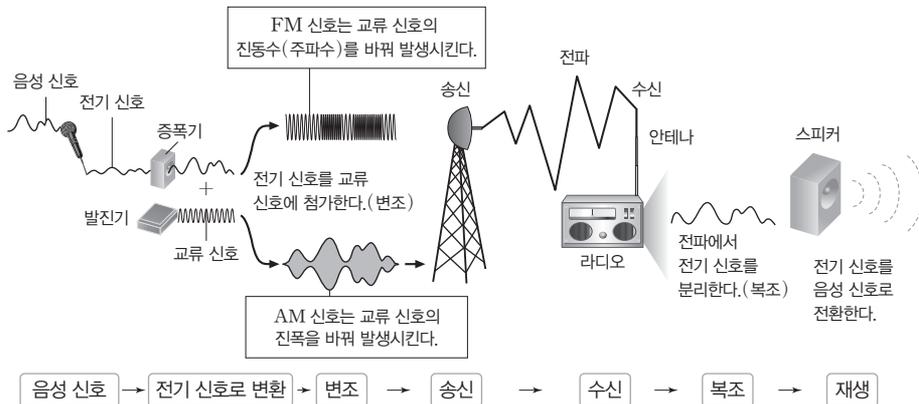
(1) 전자기파의 수신: 안테나의 전자는 전자기파의 전기장으로부터 전기력을 받는다. 안테나에 들어오는 전자기파의 전기장은 시간에 따라 진동하기 때문에 안테나 속의 전자도 진동하게 된다. 따라서 안테나 속에는 전자의 진동으로 인해 교류가 흐르게 된다.



(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.



(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.



개념 체크

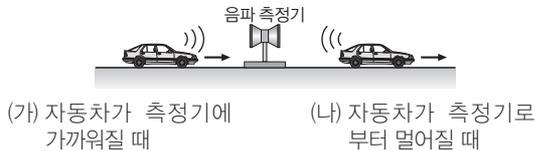
- **전자기파의 수신:** 전자기파가 전자 주위를 지나가면, 음(-)전하를 띤 전자는 전기장과 반대 방향으로 전기력을 받는다. 따라서 진동하는 전자기파의 전기장에 의해 전자는 진동하게 되고, 전자의 진동으로 인해 교류 전류가 흐른다.
- **변조와 복조:** 마이크로부터 입력된 전기 신호에 교류 신호를 첨가하여 진동수(주파수)나 진폭을 변화시키는 과정을 변조라 하고, 변조된 전파로부터 원래의 전기 신호를 분리하는 과정을 복조라고 한다.

1. 전파 수신 회로에서 흐르는 전류가 최대인 순간 ()에 의해 수신되는 전자기파의 진동수는 수신 회로의 공명 진동수와 ()이다.
2. 전자기파를 수신할 때, 수신 안테나의 1차 코일에 흐르는 전류에 의해 발생하는 ()의 변화에 의해 2차 코일에 ()가 흐른다.
3. 소리에 의한 전기 신호를 교류 신호에 첨가하는 것을 변조라고 하며, 그 방식에는 ()을/를 변조하는 FM 방식과 ()을/를 변조하는 AM 방식이 있다.

정답

1. (전자기파) 공명, 같다
2. 자기장, 유도 전류
3. 진동수(주파수), 진폭

01 [23027-0237] 그림은 직선 도로에서 일정한 진동수의 음파를 내며 등속 직선 운동을 하는 자동차와 음파의 진동수를 측정하는 음파 측정기에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



(가)와 (나)에서 측정기가 측정한 진동수가 다른 현상은 도플러 효과로 설명할 수 있어.

측정기가 측정한 음파의 진동수는 (가)에서가 (나)에서보다 커.

자동차의 속력이 느릴수록 (가)와 (나)에서 측정기가 측정한 음파의 진동수 차가 커.



학생 A



학생 B

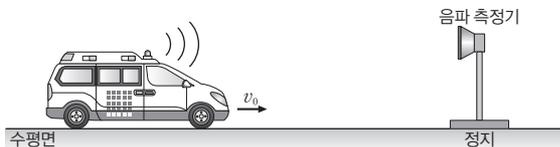


학생 C

제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A ② C ③ A, B ④ B, C ⑤ A, B, C

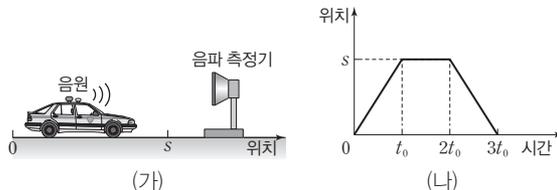
02 [23027-0238] 그림은 수평면에서 진동수가 f 인 음파를 발생시키는 구급차가 정지해 있는 음파 측정기를 향해 일정한 속력 v_0 으로 다가가고 있는 모습을 나타낸 것이다. 속력 v_0 은 음파 속력 v 의 $\frac{1}{20}$ 배이다.



음파 측정기가 측정하는 음파의 파장과 진동수는?

- | | | | | | |
|---|-------------------|------------------|---|-------------------|------------------|
| | 파장 | 진동수 | | 파장 | 진동수 |
| ① | $\frac{19v}{20f}$ | $\frac{19}{20}f$ | ② | $\frac{19v}{20f}$ | $\frac{20}{19}f$ |
| ③ | $\frac{21v}{20f}$ | $\frac{20}{19}f$ | ④ | $\frac{21v}{20f}$ | $\frac{20}{21}f$ |
| ⑤ | $\frac{21v}{20f}$ | $\frac{21}{20}f$ | | | |

03 [23027-0239] 그림 (가)는 진동수가 f_0 인 음파를 발생하며 직선 운동을 하는 음원과 정지한 음파 측정기를 나타낸 것이고, (나)는 음원의 위치를 시간에 따라 나타낸 것이다. 측정기가 측정한 음파의 진동수는 $\frac{1}{2}t_0$ 일 때가 $\frac{5}{2}t_0$ 일 때의 $\frac{5}{4}$ 배이다.



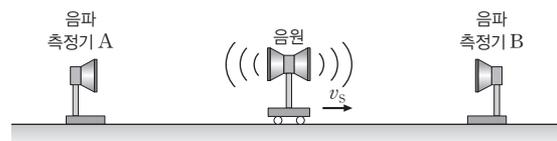
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 측정기에서 측정한 음파의 파장은 $\frac{1}{2}t_0$ 일 때가 $\frac{3}{2}t_0$ 일 때보다 짧다.
- ㄴ. 측정기에서 측정한 음파의 진동수는 $\frac{3}{2}t_0$ 일 때가 $\frac{5}{2}t_0$ 일 때보다 작다.
- ㄷ. 음파의 속력은 $\frac{10s}{t_0}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 [23027-0240] 그림과 같이 일정한 진동수의 음파를 발생시키는 음원이 음파 측정기 A로부터 음파 측정기 B를 향해 속력 v_s 로 등속 직선 운동을 한다. A, B에서 측정한 음파의 파장은 각각 λ_A, λ_B 이다.



$\frac{\lambda_A}{\lambda_B} = \frac{11}{7}$ 일 때, v_s 는? (단, 음파의 속력은 v 이다.)

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

05 다음은 초음파를 이용해 혈액의 속력과 방향을 측정하는 장치의 원리에 대한 설명이다. [23027-0241]

그림과 같이 초음파 검사기는
 ㉠ 검사기에서 혈관으로 방출한 초음파와 혈액 내 ㉡ 적혈구에 부딪혀 돌아오는 초음파의 진동수 차이를 분석해 혈액의 속력과 방향을 측정한다. 검사기에서 방출한 초음파의 진행 방향과 혈액의 흐름 방향이 같아 적혈구가 검사기로부터 멀어지는 방향으로 운동하는 경우 반사된 초음파의 진동수는 검사기에서 방출한 초음파의 진동수보다 ㉠ 측정된다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 초음파 검사기의 측정 원리는 도플러 효과로 설명할 수 있다.
 ㄴ. 적혈구가 검사기에 가까워질 때, 파장은 ㉠보다 짧다.
 ㄷ. '크게'는 ㉠으로 적절하다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 그림은 속력 측정 장치에서 일정한 속력으로 운동하는 자동차의 속력을 측정하는 것을 나타낸 것이다. 속력 측정 장치는 장치에서 방출한 전자기파 A와 자동차에서 반사된 전자기파 B의 진동수의 측정값을 이용해 자동차의 속력을 측정한다. [23027-0242]



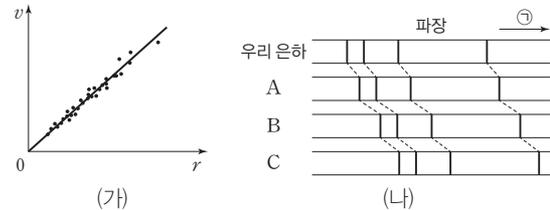
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 진공에서의 속력은 A가 B보다 크다.
 ㄴ. 측정 장치에서 측정한 진동수는 A가 B보다 크다.
 ㄷ. 자동차의 속력이 빠를수록 측정 장치에서 측정한 A와 B의 진동수 차이는 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 그림 (가)는 우리 은하로부터 외부 은하까지의 거리 r 에 따른 외부 은하의 후퇴 속력 v 를 나타낸 것이고, (나)는 지구에서 관측한 우리 은하 안의 별과 외부 은하 A, B, C의 수소 흡수 스펙트럼을 나타낸 것이다. [23027-0243]



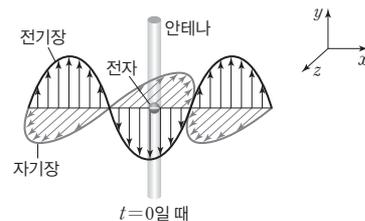
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. '길어짐'은 ㉠으로 적절하다.
 ㄴ. 우리 은하로부터 후퇴 속력은 A가 B보다 작다.
 ㄷ. 우리 은하로부터 떨어진 거리는 B가 C보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 그림은 x 축과 나란한 방향으로 진행하는 전자기파가 시간 $t=0$ 일 때 직선형 안테나를 지나는 순간의 모습을 나타낸 것이다. $t=0$ 일 때 안테나를 통과하는 전기장의 방향은 $-y$ 방향이다. [23027-0244]



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

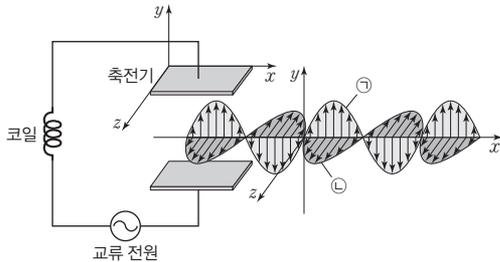
보기

ㄱ. 전자기파에 의해 안테나에 흐르는 전류의 세기는 일정하다.
 ㄴ. 전자기파의 진행 방향과 전기장의 진동 방향은 수직이다.
 ㄷ. $t=0$ 일 때, 전기장에 의해 전자에 작용하는 전기력의 방향은 $+y$ 방향이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[23027-0247]

09 그림은 교류 전원, 코일, 축전기가 연결된 회로에서 전자기파가 발생하여 +x 방향으로 전파되는 것을 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 전기장과 자기장을 순서 없이 나타낸 것이다.



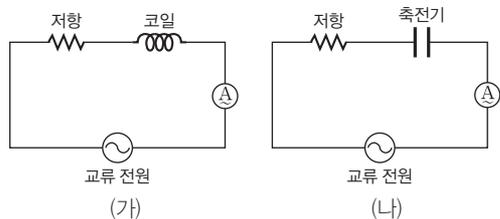
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 축전기의 두 금속판 사이에서 진동하는 ㉠이 발생한다.
- ㄴ. ㉡은 자기장이다.
- ㄷ. 전자기파의 진동수는 교류 전원의 진동수와 같다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10 그림 (가), (나)는 전압의 최댓값이 일정한 교류 전원에게 각각 저항, 코일을 연결한 회로와 저항, 축전기를 연결한 회로를 나타낸 것이다. (가), (나)의 교류 전원 진동수가 f_0 일 때, 전류계에 측정된 전류의 최댓값은 I_0 으로 같다.



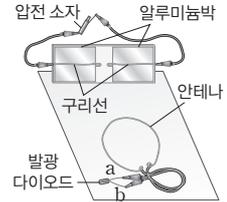
(가), (나)의 교류 전원 진동수를 $2f_0$ 으로 증가시킬 때, (가)와 (나)의 전류계에 측정된 전류의 최댓값을 각각 $I_{(가)}$, $I_{(나)}$ 라고 하면, I_0 , $I_{(가)}$, $I_{(나)}$ 를 옳게 비교한 것은?

- ① $I_0 < I_{(가)} < I_{(나)}$
- ② $I_0 < I_{(나)} < I_{(가)}$
- ③ $I_{(가)} < I_0 < I_{(나)}$
- ④ $I_{(가)} < I_{(나)} < I_0$
- ⑤ $I_{(나)} < I_0 < I_{(가)}$

11 다음은 전자기파의 송수신 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 그림과 같이 압전 소자와 알루미늄박에 고정된 구리선을 연결하고, 원형의 구리선으로 만든 안테나에 발광 다이오드(LED)를 연결한다.
- (나) 압전 소자를 누르며 LED를 관찰한다.
- (다) (가)에서 LED의 a, b 부분을 반대로 연결한 후, 과정 (나)를 반복한다.



[실험 결과]

- (나)의 결과: LED가 켜진다.
- (다)의 결과: LED가 ㉠.

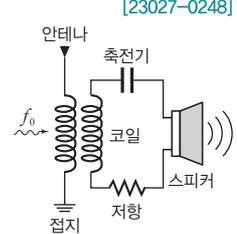
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. (나)에서 구리선 사이의 방전에 의해 전자기파가 발생한다.
- ㄴ. (나)에서 안테나에는 전자기파에 의한 유도 전류가 흐른다.
- ㄷ. '켜지지 않는다'는 ㉠으로 적절하다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

12 그림은 진동수가 f_0 인 전자기파가 안테나에 도달할 때, 수신 회로를 조절하여 회로에 흐르는 전류가 최대인 순간 스피커에서 진동수가 f_0 인 전자기파에 의한 방송이 나오는 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 수신 회로의 공명 진동수는 f_0 이다.
- ㄴ. 저항의 저항값을 증가시키면 수신 회로의 공명 진동수가 감소한다.
- ㄷ. 축전기의 전기 용량을 증가시키면 수신 회로의 공명 진동수가 증가한다.

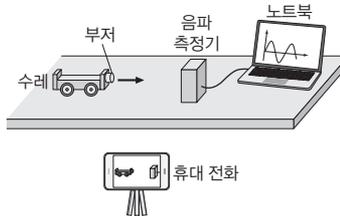
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

01 다음은 도플러 효과 실험이다.

[23027-0249]

[실험 과정]

- (가) 그림과 같이 일정한 진동수 f_0 인 음파가 발생하는 부저가 달린 수레와 음파 측정기, 노트북, 휴대 전화를 준비한다.
- (나) 수레를 음파 측정기를 향해 일정한 속력으로 직선 운동시킨다.
- (다) 휴대 전화를 이용해 수레의 속력을 측정하고, 음파 측정기를 이용해 음파의 진동수를 측정한다.
- (라) (나)에서 수레의 운동 방향을 반대로 바꾸어 과정 (다)를 반복한다.



[실험 결과]

과정	수레의 속력	음파의 진동수
(다)	3.4 m/s	1000 Hz
(라)	3.4 m/s	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 음파의 속력은 340 m/s이다.)

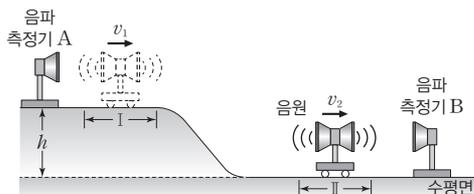
보기

- ㄱ. $f_0 = 990$ Hz이다.
- ㄴ. 측정된 음파의 파장은 (다)에서가 (라)에서보다 길다.
- ㄷ. $f_0 < ㉠ < 1000$ Hz이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 그림과 같이 높이가 h 인 평면의 구간 I에서 음원이 속력 v_1 로 음파 측정기 A로부터 멀어지는 등속 직선 운동을 한 후, 수평면의 구간 II에서 속력 v_2 로 음파 측정기 B에 가까워지는 등속 직선 운동을 한다. 음원에서 발생하는 음파의 진동수는 f_0 이다. 표는 음원이 I에서 운동할 때 A에서 측정된 음파의 진동수와 II에서 운동할 때 B에서 측정된 음파의 진동수를 나타낸다. 음파의 속력은 v 이다.

[23027-0250]



구간	측정기	음파의 진동수
I	A	$\frac{5}{6}f_0$
II	B	$\frac{5}{3}f_0$

h 는? (단, 중력 가속도는 g 이고, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

- ① $\frac{v^2}{50g}$ ② $\frac{3v^2}{50g}$ ③ $\frac{v^2}{10g}$ ④ $\frac{7v^2}{50g}$ ⑤ $\frac{9v^2}{50g}$

수레가 음파 측정기를 향해 운동할 때 측정기에서 측정하는 음파의 진동수는 f_0 보다 크고, 수레가 음파 측정기 반대 방향으로 운동할 때 측정기에서 측정하는 음파의 진동수는 f_0 보다 작다.

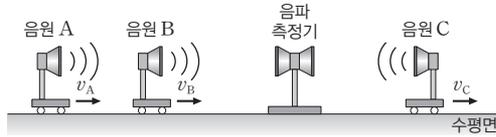
I에서 A가 측정된 음파의 진동수 $f_A = \left(\frac{v}{v+v_1}\right)f_0$ 이고, II에서 B가 측정된 음파의 진동수 $f_B = \left(\frac{v}{v-v_2}\right)f_0$ 이다.

A와 B의 속력 차와 B와 C의 속력 차를 v 라고 할 때, $v_A = v_B - v$, $v_C = v_B + v$ 이고, 음파의 속력을 v_0 이라고 할 때, 측정기가 측정한 B에서 발생하는 음파의 진동수 $f_B = \left(\frac{v_0}{v_0 - v_B}\right)f_0$ 이다.

(가)의 관제탑에서 측정한 A의 경고음의 진동수는 $f_A = \left(\frac{v_0}{v_0 - v}\right)f_0 = \frac{2}{T_1}$ 이고, (나)의 관제탑에서 측정한 B의 경고음의 진동수는 $f_B = \left(\frac{v_0}{v_0 + \frac{1}{2}v}\right)f_0 = \frac{2}{T_2}$ 이다. (v_0 : 음파의 속력, f_0 : 경고음의 진동수)

[23027-0251]

03 그림과 같이 음원 A, B, C가 진동수가 f_0 인 음파를 발생하며 각각 속력 v_A, v_B, v_C 로 동일 직선상에서 등속 직선 운동을 하고 있다. $v_A < v_B < v_C$ 이고, A와 B의 속력 차와 B와 C의 속력 차는 같다. 표는 정지한 음파 측정기에서 측정한 A, B, C에서 발생하는 음파의 진동수를 각각 나타낸 것이다.



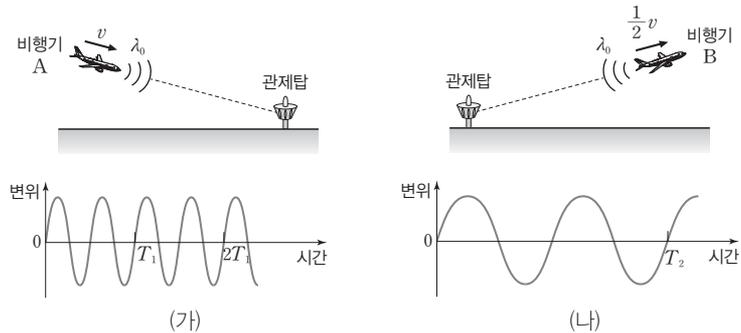
음원	음파 측정기가 측정한 음파의 진동수
A	$\frac{9}{8}f_0$
B	㉠
C	$\frac{3}{4}f_0$

㉠은?

- ① $\frac{6}{5}f_0$ ② $\frac{11}{9}f_0$ ③ $\frac{5}{4}f_0$ ④ $\frac{9}{7}f_0$ ⑤ $\frac{4}{3}f_0$

[23027-0252]

04 그림 (가)는 경고음을 발생하는 비행기 A가 관제탑을 향해 속력 v 로 등속 직선 운동을 하는 모습과 관제탑에서 측정한 A의 경고음의 변위를 시간에 따라 나타낸 것이다. T_1 동안 A의 이동 거리는 $\frac{1}{2}\lambda_0$ 이다. 그림 (나)는 경고음을 발생하는 비행기 B가 관제탑에서 멀어지는 방향으로 속력 $\frac{1}{2}v$ 로 등속 직선 운동을 하는 모습과 관제탑에서 측정한 B의 경고음의 변위를 시간에 따라 나타낸 것이다. 정지해 있는 A와 B에서 내는 경고음의 파장은 λ_0 로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

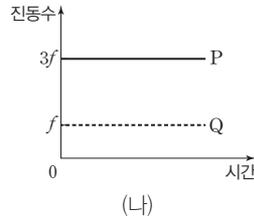
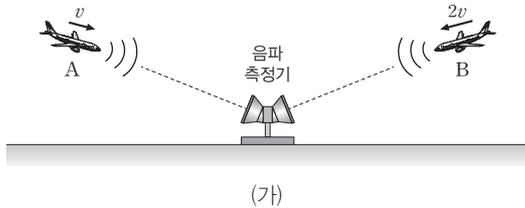
ㄱ. 음파의 속력은 $2v$ 이다.

ㄴ. $\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{3}$ 이다.

ㄷ. T_2 동안 B가 이동한 거리는 $\frac{5}{8}\lambda_0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 그림 (가)와 같이 비행기 A, B가 음파를 발생하며 정지한 음파 측정기를 향해 각각 속도 v , $2v$ 로 등속 직선 운동을 한다. A, B에서 발생한 음파의 진동수는 f_0 으로 같다. 그림 (나)는 (가)에서 음파 측정기가 측정한 A, B에서 발생한 음파의 진동수를 시간에 따라 나타낸 것으로, P, Q는 A, B를 순서 없이 나타낸 것이다.



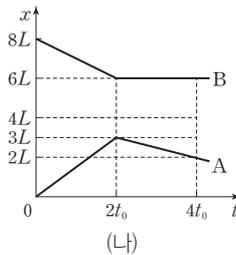
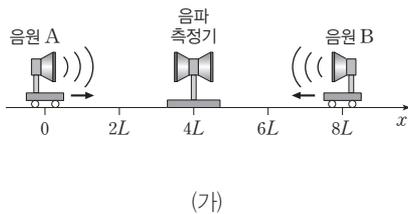
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. P는 B이다. ㄴ. 음파의 속력은 $3v$ 이다. ㄷ. $f_0 = \frac{2}{5}f$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 그림 (가)는 수평면상에서 운동하는 음원 A, B와 정지한 음파 측정기를 나타낸 것이다. 음파 측정기는 $x=4L$ 에 정지해 있고, A, B에서 발생하는 음파의 진동수는 각각 f_0 , $\frac{6}{7}f_0$ 이다. 그림 (나)는 A, B의 위치 x 를 시간 t 에 따라 나타낸 것으로, 시간 $t=3t_0$ 일 때 음파 측정기가 측정한 A, B에서 발생한 음파의 진동수는 같다.



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

보기

ㄱ. 음파의 속력은 $\frac{3L}{t_0}$ 이다.

ㄴ. 음파 측정기에서 측정한 B에서 발생한 음파의 파장은 $t=t_0$ 일 때가 $t=3t_0$ 일 때보다 짧다.

ㄷ. $t=t_0$ 일 때, 음파 측정기에서 측정한 음파의 진동수는 A에서 발생한 음파가 B에서 발생한 음파보다 $\frac{5}{7}f_0$ 만큼 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

음파 측정기를 향하는 속력이 B가 A보다 크므로 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 B에서 발생한 음파의 진동수가 A에서 발생한 음파의 진동수보다 크다.

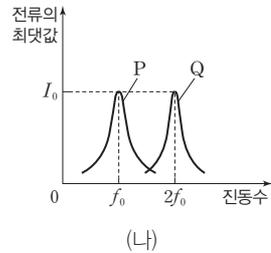
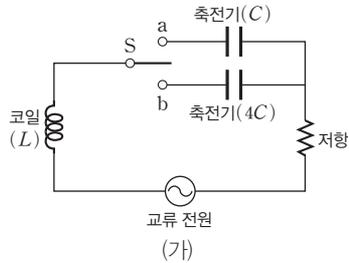
$t=3t_0$ 일 때, A는 $\frac{L}{2t_0}$ 의 속력으로 음파 측정기로부터 멀어진다. 따라서 음파의 속력을 v_0 이라고 할 때,

$$f_{A(3t_0)} = \left(\frac{v_0}{v_0 + \frac{L}{2t_0}} \right) f_0 = \frac{6}{7}f_0$$

이다.

교류 전원에 저항, 코일, 축전기가 연결되어 있을 때, 회로의 공명 진동수는 코일의 자체 유도 계수가 클수록, 축전기의 전기 용량이 클수록 작다.

07 그림 (가)와 같이 자체 유도 계수가 L 인 코일, 전기 용량이 각각 $C, 4C$ 인 축전기, 저항을 전압의 최댓값이 일정한 교류 전원에 연결하였다. 그림 (나)는 스위치 S 를 a 또는 b 에 연결했을 때 회로에 흐르는 전류의 최댓값을 교류 전원의 진동수에 따라 나타낸 것으로, P, Q 는 S 를 a 에 연결했을 때와 b 에 연결했을 때를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

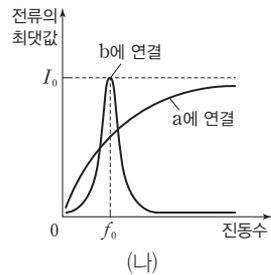
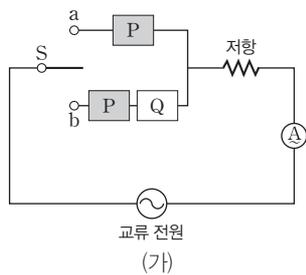
보기

- ㄱ. P 는 S 를 a 에 연결했을 때이다.
- ㄴ. $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 이다.
- ㄷ. 스위치를 b 에 연결했을 때, 회로에서 코일이 전류의 흐름을 방해하는 정도는 진동수가 $2f_0$ 일 때가 f_0 일 때보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

저항과 코일이 연결된 교류 회로에서는 진동수가 커질수록 전류의 최댓값은 작아지고, 저항과 축전기가 연결된 교류 회로에서는 진동수가 커질수록 전류의 최댓값은 커진다.

08 그림 (가)와 같이 전압의 최댓값이 일정한 교류 전원, 스위치 S , 전류계, 저항, 전기 소자 P, Q 를 사용해 회로를 구성하였다. 그림 (나)는 (가)의 회로에서 S 를 a 또는 b 에 연결하였을 때, 교류 전원의 진동수에 따라 전류계에 측정되는 전류의 최댓값을 나타낸 것이다. P, Q 는 각각 축전기와 코일 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

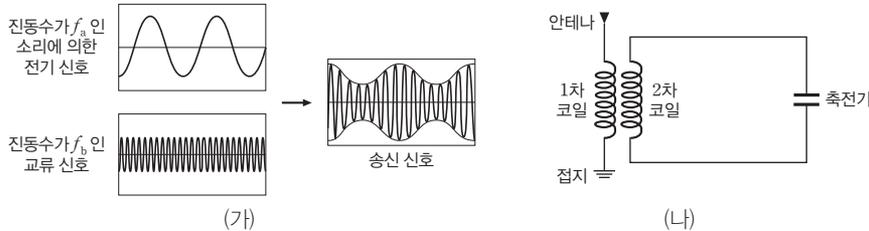
보기

- ㄱ. P 는 코일이다.
- ㄴ. Q 는 진동수가 큰 전류를 잘 흐르지 못하게 하는 성질이 있다.
- ㄷ. S 를 b 에 연결하고 저항의 저항값을 감소시키면 회로의 공명 진동수는 f_0 보다 작아진다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

09 그림 (가)는 진동수가 f_a 인 소리에 의한 전기 신호를 진동수가 f_b 인 교류 신호에 실어 송신 신호를 만드는 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 신호를 수신하는 안테나와 수신 회로를 나타낸 것으로, (가)의 송신 신호를 수신할 때 전자기파 공명에 의해 수신 회로에 흐르는 진동수가 f_b 인 교류 전류가 최댓값을 나타낸다.

[23027-0257]



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

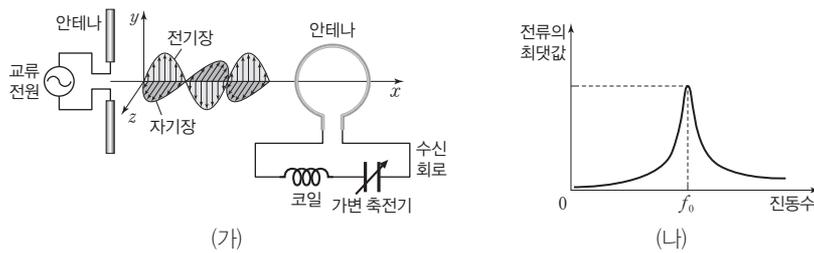
보기

- ㄱ. (가)는 전기 신호의 세기에 따라 진폭을 조절하는 변조 방식이다.
- ㄴ. (나)의 안테나에 도달하는 송신 신호의 전자기파에서는 전기장과 자기장이 나란하게 진동한다.
- ㄷ. (나)에서 수신 회로의 공명 진동수는 f_b 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10 그림 (가)는 교류 전원에 연결된 직선 안테나에서 전자기파가 발생되고 수신 회로와 연결된 원형 안테나에서 전자기파를 수신하는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 수신 회로에 흐르는 전류의 최댓값을 원형 안테나에 수신되는 전자기파의 진동수에 따라 나타낸 것이다.

[23027-0258]



수신 회로에 흐르는 전류가 최댓값 때 공명에 의해 전자기파가 수신되므로 수신 회로의 공명 진동수와 전자기파의 진동수는 f_0 로 같다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 수신 회로의 공명 진동수는 f_0 이다.
- ㄴ. 수신되는 전자기파의 진동수가 클수록 수신 회로의 코일이 전류의 흐름을 방해하는 정도가 크다.
- ㄷ. 수신 회로의 가변 축전기의 전기 용량을 증가시키면 수신 회로의 공명 진동수는 감소한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

개념 체크

- **볼록 렌즈의 초점:** 렌즈의 초점은 2개이며, 렌즈의 중심으로부터 각 초점 사이의 거리는 같다.
- **실상과 허상:** 빛이 실제로 모여서 생기는 상은 실상, 빛의 연장선이 모여서 생기는 상은 허상이다.

1. 광축에 나란하게 입사한 광선은 볼록 렌즈에서 굴절된 후 ()을 지난다.
2. ()을 지나 입사한 광선은 볼록 렌즈에서 굴절된 후 광축과 나란하게 진행한다.
3. 렌즈를 통과한 빛이 진행하여 스크린에 모여서 만들어진 상을 ()이라고 하고, 렌즈를 지난 광선의 연장선이 모여서 만들어진 상을 ()이라고 한다.
4. 렌즈에 의해 생긴 상의 방향이 물체의 방향과 같은 상을 ()이라고 하고, 상의 방향이 물체의 방향과 반대인 상을 ()이라고 한다.

1 볼록 렌즈에 의한 상

(1) **볼록 렌즈:** 가장자리보다 가운데 부분이 더 두꺼워 입사 광선을 광축 방향으로 모으는 렌즈

① 볼록 렌즈의 초점(F)

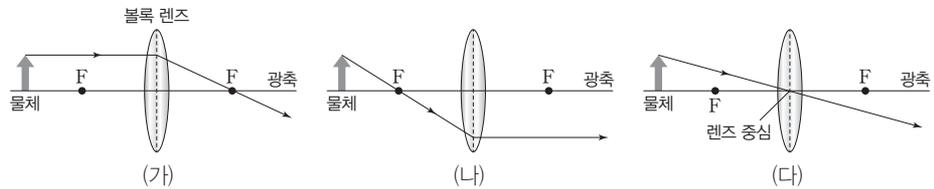
- 초점에서 퍼져 나가는 빛은 렌즈에서 굴절된 후 광축에 나란하게 진행한다.
- 광축에 나란하게 입사한 빛은 렌즈에서 굴절된 후 초점에 모인다.



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 굴절된 후 초점(F)을 지난다.
- ② 그림 (나)와 같이 초점(F)을 지나 입사한 광선은 볼록 렌즈에서 굴절된 후 광축과 나란하게 진행한다.
- ③ 그림 (다)와 같이 볼록 렌즈의 중심을 지나는 광선은 볼록 렌즈에서 굴절되지 않고 그대로 직진한다.



(3) 볼록 렌즈에 의한 상의 작도법

① 실상과 허상

- 실상: 렌즈에서 굴절된 빛이 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. 따라서 상의 위치는 광선 추적에 의해 그려진 3개의 광선 중 최소 2개의 교점을 찾아서 구한다. 만약 렌즈를 통과한 광선이 서로 만나지 않는 경우 굴절 광선의 뒤쪽 연장선을 그어 상의 위치를 찾을 수 있다.

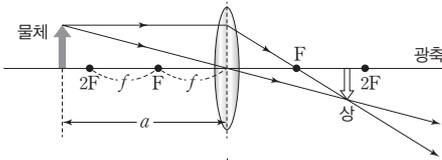
정답

1. 초점
2. 초점
3. 실상, 허상
4. 정립상, 도립상

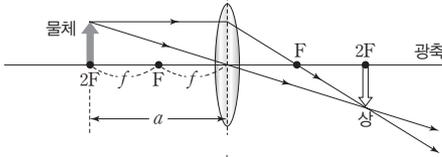
(4) 볼록 렌즈에 의한 물체의 상

① 물체가 렌즈로부터 초점보다 멀리 있을 때: 물체의 한 점에서 퍼져 나간 빛이 렌즈를 통과한 후 다시 한 점에 모이므로 거꾸로 선 실상이 생긴다.

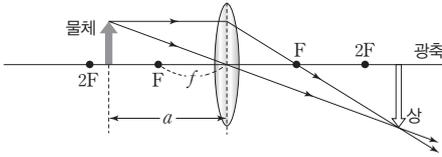
- 물체와 렌즈 사이의 거리(a)가 초점 거리(f)의 2배보다 길 때($a > 2f$): 물체보다 작은 상이 생긴다.



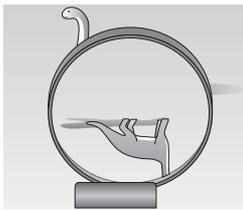
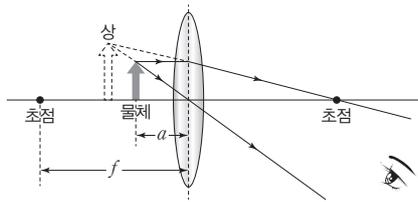
- 물체와 렌즈 사이의 거리(a)가 초점 거리(f)의 2배일 때($a = 2f$): 물체와 같은 크기의 상이 생긴다.



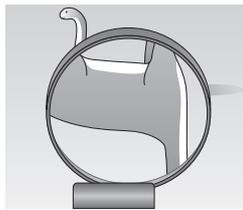
- 물체와 렌즈 사이의 거리(a)가 초점 거리(f)보다 길고, 초점 거리(f)의 2배보다 짧을 때($f < a < 2f$): 물체보다 큰 상이 생긴다.



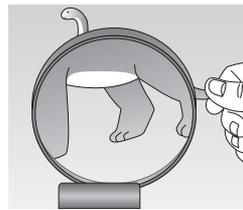
② 물체가 렌즈로부터 초점보다 가까이 있을 때($a < f$): 렌즈를 통과한 빛이 서로 퍼져 나가므로 렌즈의 뒤쪽에는 상이 맺히지 않지만, 렌즈를 통해 눈으로 물체를 바라볼 때 굴절 광선의 뒤쪽 연장선의 교점, 즉 렌즈의 앞쪽에 물체보다 크고 바로 선 허상이 생긴다.



축소된 도립 실상
($a > 2f$ 일 때)



확대된 도립 실상
($f < a < 2f$ 일 때)



확대된 정립 허상
($a < f$ 일 때)

개념 체크

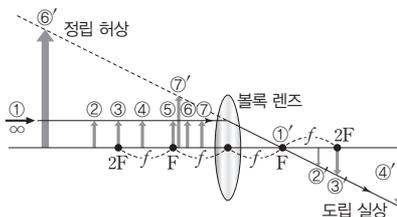
● 볼록 렌즈에 의한 상

- 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. 볼록 렌즈의 중심에서 물체까지의 거리가 초점 거리의 2배보다 길 때 렌즈에 의한 상은 ()된 도립 실상이다.
2. 볼록 렌즈의 중심에서 물체까지의 거리가 초점 거리의 ()배일 때 물체와 같은 크기의 도립 실상이 생긴다.
3. 물체를 볼록 렌즈의 ()에 놓으면 상이 생기지 않는다.
4. 볼록 렌즈의 중심에서 물체까지의 거리가 초점 거리보다 작을 때 렌즈에 의한 상은 ()된 정립 허상이다.

과학 돋보기 | 물체의 위치에 따른 볼록 렌즈에 의한 상의 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.



정답

1. 축소
2. 2
3. 초점
4. 확대

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.

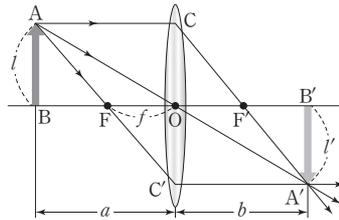
1. 초점 거리가 5 cm인 볼록 렌즈와 물체 사이의 거리가 10 cm이면 렌즈와 상 사이의 거리는 ()이다.
2. 케플러 굴절 망원경에서 대물렌즈에 의한 상은 (실상, 허상)이고, 접안렌즈에 의한 상은 (실상, 허상)이다.
3. 케플러 굴절 망원경에서 대물렌즈의 초점 거리는 접안렌즈의 초점 거리보다 (크다, 작다).
4. 광학 현미경에서 대물렌즈에 의해 확대된 (실상, 허상)이, 접안렌즈에 의해 더욱 확대된 (실상, 허상)이 보인다.

2 렌즈 방정식과 배율

(1) 렌즈 방정식: 렌즈와 물체 사이의 거리가 a , 렌즈와 상 사이의 거리가 b , 렌즈의 초점 거리가 f 일 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, a 의 부호를 (+)으로 정하면 b 의 부호는 상의 종류에 따라 정해진다. 상이 렌즈 뒤에 생기는 실상의 경우 b 는 (+)값으로, 상이 렌즈 앞에 생기는 허상의 경우 b 는 (-)값으로 나타난다.



(2) 배율(M): 물체의 크기와 상의 크기의 비율을 배율이라고 한다. 위 그림과 같이 상이 생길 때, $\triangle ABO$ 와 $\triangle A'B'O$ 는 닮음이므로 배율 M 은 다음과 같다.

$$M = \frac{l'}{l} = \left| \frac{b}{a} \right|$$

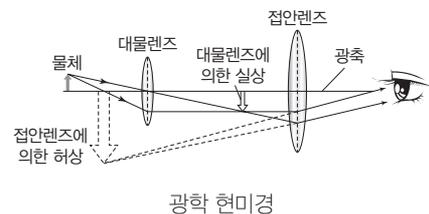
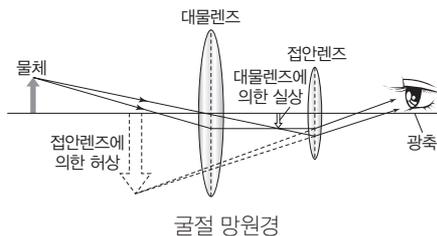


과학 돋보기 | 렌즈 방정식의 유도

위 그림에서 $\triangle ABF$ 와 $\triangle C'OF$ 는 닮음이므로, $\frac{AB}{BF} = \frac{C'O}{OF}$ 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 abf 로 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.



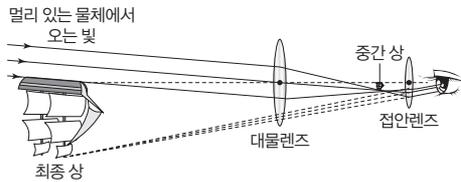
정답

1. 10 cm
2. 실상, 허상
3. 크다
4. 실상, 허상



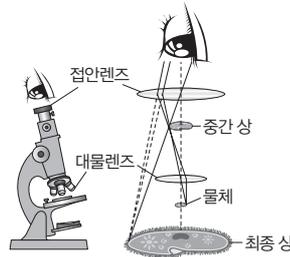
과학 돋보기 | 망원경과 현미경의 원리

●망원경의 원리



망원경은 멀리 떨어진 물체를 보는 데 사용하는 광학 기기이다. 멀리 있는 물체로부터 온 빛은 망원경의 대물렌즈에 의하여 굴절되어 접안렌즈 앞에 중간 상(도립 실상)으로 만들어지며, 이 상은 접안렌즈에 대하여 물체의 역할을 한다. 이 중간상을 확대한 허상을 보게 되는 것이다.

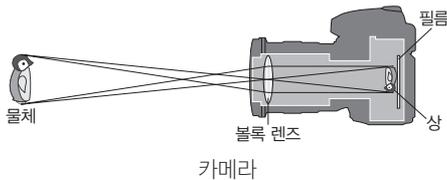
●현미경의 원리



대물렌즈는 초점 바로 밖에 있는 물체의 확대된 실상을 접안렌즈의 초점 안에 형성시키는 역할을 하며, 접안렌즈는 그 상을 확대경과 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 에너지 전환 효율을 높일 수 있다.



볼록 렌즈를 이용한 태양 전지

개념 체크

● **카메라:** 볼록 렌즈에서 굴절된 빛이 필름 또는 CCD에 도달하여 상이 맺힌다.

● **볼록 렌즈를 이용한 태양 전지:** 볼록 렌즈 아래에 태양 전지를 설치하면, 렌즈가 빛을 모아 태양 전지에 보내게 되어 에너지 전환 효율이 높아진다.

1. 볼록 렌즈의 초점 거리 구하기 실험에서 스크린에 맺히는 상은 (실상, 허상) 이다.

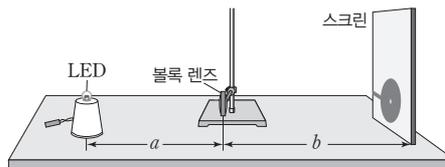
2. 볼록 렌즈의 초점 거리 구하기 실험에서 LED와 렌즈 사이의 거리를 () 보다 더 작게 하였을 때는 스크린에 상이 맺히지 않는다.

3. 볼록 렌즈의 초점 거리 구하기 실험에서 LED와 렌즈 사이의 거리가 40 cm, 렌즈와 스크린 사이의 거리가 24 cm일 때, 선명한 상이 맺혔다. 이때 렌즈의 초점 거리는 () 이고, 상의 배율은 () 이다.

탐구자료 살펴보기 | 볼록 렌즈의 초점 거리 구하기

과정

- 그림과 같이 LED, 볼록 렌즈, 스크린을 설치하고, 다른 조명을 차단하여 교실을 어둡게 만든다.
- 스크린에 선명한 상이 맺히도록 렌즈와 스크린 사이의 거리를 조절한다.
- 스크린에 선명한 상이 맺혔을 때, LED와 렌즈 사이의 거리 a 와 렌즈와 스크린 사이의 거리 b 를 측정한다.
- 과정 (3)의 측정 결과와 렌즈 방정식을 이용하여 렌즈의 초점 거리 f 를 구한다.



결과

a	b	$f = \frac{ab}{a+b}$
20 cm	60 cm	$f = \frac{20 \times 60}{20 + 60} = 15 \text{ (cm)}$
30 cm	30 cm	$f = \frac{30 \times 30}{30 + 30} = 15 \text{ (cm)}$

point

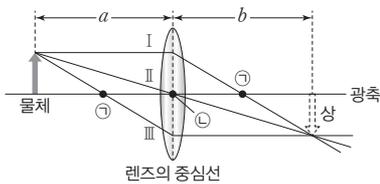
- 광원과 렌즈 사이의 거리(a)를 렌즈의 초점 거리(f)보다 더 멀리하였을 때는 스크린에 맺힌 모든 상은 광원에서 퍼져 나간 빛이 렌즈를 통과한 후 다시 한 점으로 모여서 만들어진 실상이다.
- 광원과 렌즈 사이의 거리(a)를 렌즈의 초점 거리(f)보다 더 가까이하였을 때는 허상이 생기므로 스크린에 상이 맺히지 않는다.

정답

- 실상
- 초점 거리
- 15 cm, 0.6

01 다음은 볼록 렌즈에 의한 빛의 진행 경로에 대한 설명이다. [23027-0259]

- 렌즈로부터 거리 a 만큼 떨어진 광축 위의 지점에 놓인 물체의 한 점에서 나와 광축과 나란하게 렌즈에 입사한 광선 I 은 굴절한 후 렌즈의 ㉠을/를 지난다.
- 물체의 한 점에서 나와 렌즈의 ㉡을/를 지나가는 광선 II 는 굴절하지 않고 그대로 직진한다.
- 물체의 한 점에서 나와 ㉢을/를 지나 렌즈에 입사한 광선 III 은 굴절한 후 광축과 나란하게 진행한다.
- 상의 위치는 렌즈에서 b 만큼 떨어진 광축 위의 지점이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. '초점'은 ㉠에 해당한다.
 - ㄴ. '중심'은 ㉡에 해당한다.
 - ㄷ. 상의 크기는 물체의 크기의 $\frac{b}{a}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

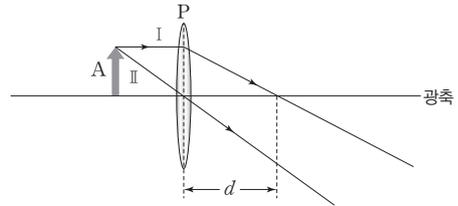
02 그림은 글자 '물리학'을 볼록 렌즈로 관찰하는 모습을 나타낸 것이다. 볼록 렌즈로 관찰한 상의 모습으로 가능한 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [23027-0260]



- 보기
- ㄱ.
 - ㄴ.
 - ㄷ.
- 상의 크기가 글자의 크기보다 작은 도립상이다. 상의 크기가 글자의 크기보다 작은 정립상이다. 상의 크기가 글자의 크기보다 큰 정립상이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 그림과 같이 물체 A의 한 점에서 나온 광축과 나란한 빛 I 은 볼록 렌즈 P를 통과한 후 P의 중심으로부터 d 만큼 떨어진 광축 위의 지점을 지나고, A의 한 점에서 나온 빛 II 는 P의 중심을 지난다. I 과 II 는 P에서 굴절된 후 만나지 않고, 굴절된 I 과 II 의 연장선은 물체와 같은 쪽에서 만난다. [23027-0261]

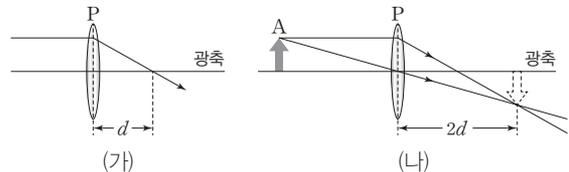


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. P의 초점 거리는 d 이다.
 - ㄴ. P에 의한 A의 상은 실상이다.
 - ㄷ. P의 중심과 A 사이의 거리는 d 보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 그림 (가)는 볼록 렌즈 P에 광축과 나란한 빛이 입사한 후 P의 중심으로부터 d 만큼 떨어진 광축 위의 지점을 빛이 지나가는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 물체 A의 상이 P의 중심으로부터 $2d$ 만큼 떨어진 지점에 생기는 것을 나타낸 것이다. [23027-0262]

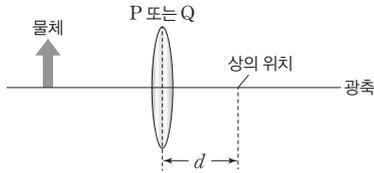


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. P의 초점 거리는 d 이다.
 - ㄴ. (나)에서 P의 중심과 A 사이의 거리는 $2d$ 이다.
 - ㄷ. (나)에서 상의 크기는 A의 크기와 같다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 [23027-0263] 그림과 같이 초점 거리가 다른 볼록 렌즈 P 또는 Q에 의한 물체의 상의 위치는 각각 렌즈의 중심으로부터 d 만큼 떨어진 지점이다. 표는 렌즈에 따른 상의 종류와 상의 배율을 나타낸 것이다.



실험	볼록 렌즈	상의 종류	상의 배율
I	P	㉠	$\frac{1}{2}$
II	Q	도립상	2

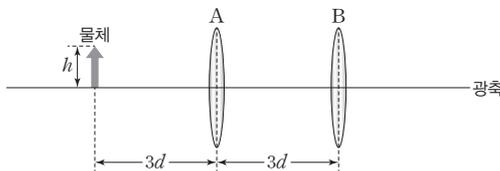
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. '정립상'은 ㉠에 해당한다.
- ㄴ. II일 때, 물체와 Q 사이의 거리는 $2d$ 이다.
- ㄷ. 초점 거리는 P가 Q의 2배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 [23027-0264] 그림과 같이 크기가 h 인 물체를 볼록 렌즈 A, B 앞에 놓는다. 물체와 A의 중심 사이의 거리와 A와 B의 중심 사이의 거리는 $3d$ 로 같고, A와 B의 초점 거리는 d 로 같다.



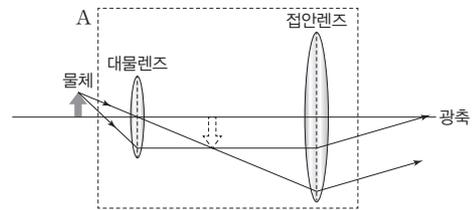
A, B에 의한 최종 상에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 정립상이다.
- ㄴ. 물체로부터 떨어진 거리는 $9d$ 이다.
- ㄷ. 크기는 h 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 [23027-0265] 그림은 물체의 한 점에서 나온 빛이 두 개의 볼록 렌즈로 이루어진 광학 기기 A를 지나는 것을 나타낸 것이다. 대물렌즈에 의한 확대된 상은 접안렌즈의 초점과 접안렌즈 사이에서 생긴다. A는 굴절 망원경과 광학 현미경 중 하나이다.



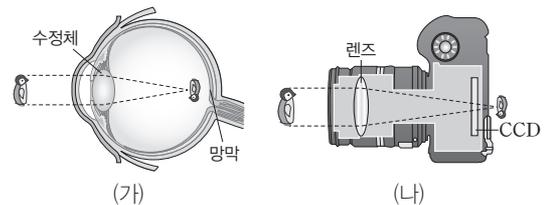
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 물체와 대물렌즈 사이의 거리는 대물렌즈의 초점 거리의 2배보다 크다.
- ㄴ. 접안렌즈에 의한 상은 허상이다.
- ㄷ. A는 광학 현미경이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 [23027-0266] 그림 (가)는 물체에서 나온 빛이 눈의 수정체를 통과한 후 망막 앞에 물체의 상이 생기는 것을, (나)는 물체에서 나온 빛이 카메라의 렌즈를 통과한 후 CCD 위에 물체의 선명한 상이 생기지 않는 것을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. (가)와 (나)에서 물체의 상은 실상이다.
- ㄴ. (가)에서 수정체의 초점 거리가 짧아지면 망막에 선명한 상이 생긴다.
- ㄷ. (나)에서 렌즈만을 물체 쪽으로 옮기면 CCD에 선명한 상이 생긴다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

스크린에 맺히는 상은 빛이 모여서 생긴 실상이고, 렌즈 방정식은 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ 이며, 렌즈에 의한 상의 배율은 $|\frac{b}{a}|$ 이다.

[23027-0267]

01 다음은 볼록 렌즈에 의해 스크린에 생기는 상을 관찰하는 실험이다.

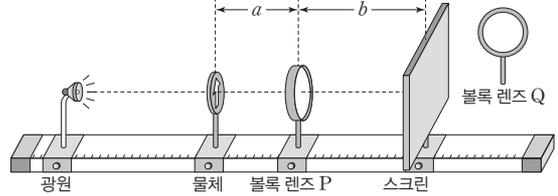
[실험 과정]

(가) 그림과 같이 광학대 위에 광원, 물체, 볼록 렌즈 P, 스크린을 설치한다.

(나) 물체와 렌즈 사이의 거리 a 를 측정하고, 스크린을 움직여 스크린에 물체의 모습이 가장 선명하게 나타날 때 렌즈와 스크린 사이의 거리 b 를 측정한다.

(다) P를 볼록 렌즈 Q로 바꾸고, 과정 (나)를 반복한다.

[실험 결과]



볼록 렌즈	a	b	상의 배율
P	20 cm	30 cm	①
Q	30 cm	②	1

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. ①은 $\frac{3}{2}$ 이다.

ㄴ. ②은 30 cm이다.

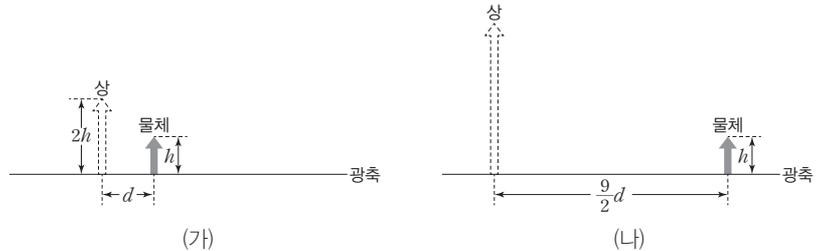
ㄷ. 볼록 렌즈의 초점 거리는 P가 Q의 $\frac{5}{4}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

(가)에서 물체와 렌즈 사이의 거리가 a 이면, 렌즈와 상 사이의 거리는 $a+d$ 이고, 상의 크기는 $|\frac{a+d}{a}| \times h$ 이다.

[23027-0268]

02 그림 (가)는 물체와 임의의 위치에 놓은 볼록 렌즈에 의한 정립상 사이의 거리가 d 인 것을 나타낸 것이다. 물체의 크기는 h 이고, 정립상의 크기는 $2h$ 이다. 그림 (나)는 (가)에서 볼록 렌즈를 옮긴 후 물체와 볼록 렌즈에 의한 정립상 사이의 거리가 $\frac{9}{2}d$ 인 것을 나타낸 것이다.

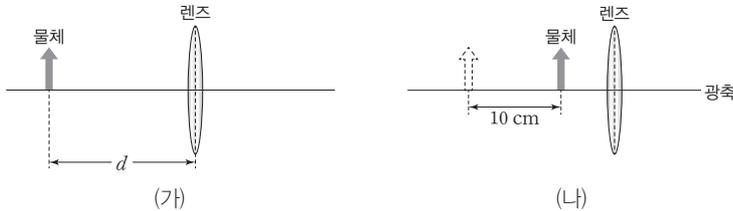


(나)에서 정립상의 크기는?

- ① $2.5h$ ② $3h$ ③ $3.5h$ ④ $4h$ ⑤ $4.5h$

03 그림 (가)는 볼록 렌즈의 중심으로부터 d 만큼 떨어진 지점에 물체를 놓은 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 물체를 볼록 렌즈를 향해 10 cm 이동시킨 것을 나타낸 것이다. (가)와 (나)에서 광축 위에 생기는 볼록 렌즈에 의한 상의 배율은 2로 서로 같다.

[23027-0269]



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

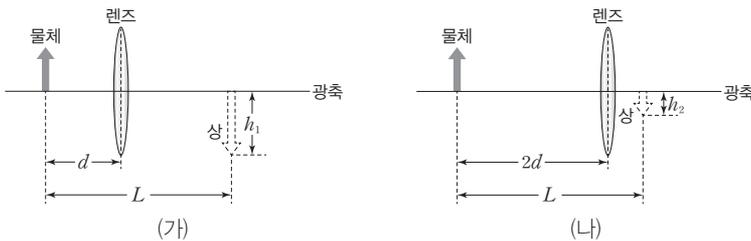
보기

- ㄱ. (나)에서 상은 허상이다.
- ㄴ. $d = 15$ cm이다.
- ㄷ. 물체와 상 사이의 거리는 (가)에서가 (나)에서의 3배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 그림 (가), (나)와 같이 초점 거리가 f 인 볼록 렌즈의 중심으로부터 거리가 각각 d , $2d$ 만큼 떨어진 지점에 물체를 놓았더니 크기가 각각 h_1 , h_2 인 실상이 생겼다. (가), (나)에서 물체와 상 사이의 거리는 L 로 서로 같다.

[23027-0270]



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. $L = 3d$ 이다.
- ㄴ. $f = \frac{2}{3}d$ 이다.
- ㄷ. $\frac{h_1}{h_2} = 4$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

물체가 렌즈를 향해 10 cm 이동해도 물체의 상의 배율이 같으므로 (나)에서 생기는 상은 확대된 정립 허상이다.

물체와 렌즈 사이의 거리가 각각 d , $2d$ 일 때, 렌즈와 상 사이의 거리는 각각 $L - d$, $L - 2d$ 이고, 볼록 렌즈의 초점 거리가 같으므로

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{L-d} = \frac{1}{2d} + \frac{1}{L-2d}$$

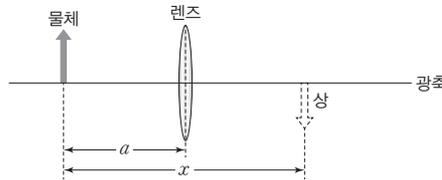
이다.

물체와 렌즈 사이의 거리가 초점 거리의 2배일 때 물체의 크기와 상의 크기가 같다.

물체와 렌즈 사이의 거리가 a 이고, 렌즈와 상 사이의 거리가 b 일 때, 상의 크기는 물체의 크기 $\times \left| \frac{b}{a} \right|$ 이다.

[23027-0271]

05 그림은 초점 거리가 f 인 볼록 렌즈 앞에 물체를 놓았더니 실상이 생긴 것을 나타낸 것이다. 표는 물체와 렌즈 사이의 거리 a 에 따른 물체와 실상 사이의 거리 x 를 나타낸 것이다. $a_3 - a_1 = \frac{1}{2}d$ 이다.



실험	a	x
I	a_1	$\frac{3}{2}d$
II	a_2	$\frac{4}{3}d$
III	a_3	$\frac{3}{2}d$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. $a_1 + a_3 = \frac{3}{2}d$ 이다.

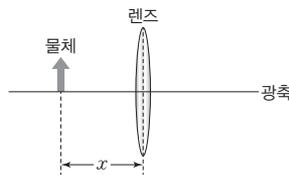
ㄴ. $f = d$ 이다.

ㄷ. $a = a_2$ 일 때 물체의 크기와 상의 크기가 같다.

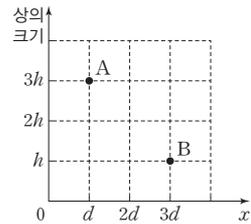
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[23027-0272]

06 그림 (가)는 볼록 렌즈의 중심으로부터 거리가 x 인 지점에 물체를 놓은 것을 나타낸 것이고, (나)는 (가)에서 볼록 렌즈에 의한 물체의 상 A, B의 크기를 물체와 렌즈 사이의 거리 x 에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

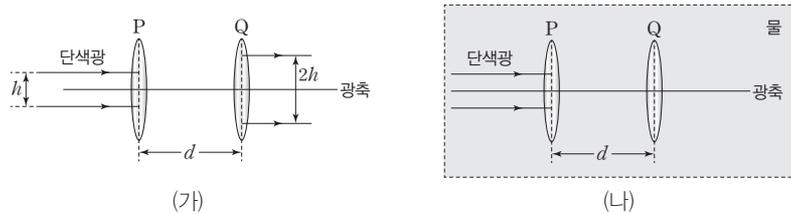
ㄱ. A는 도립상이다.

ㄴ. 볼록 렌즈의 초점 거리는 $\frac{3}{2}d$ 이다.

ㄷ. $x = 2d$ 일 때, 상의 크기는 $2h$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 그림 (가)는 공기 중에서 광축으로부터 같은 거리만큼 떨어져 광축과 나란하게 입사하는 동일한 두 단색광이 볼록 렌즈 P에 폭 h 로 입사하여 볼록 렌즈 Q를 통과한 후 $2h$ 의 폭으로 광축과 나란하게 진행하는 것을 나타낸 것이다. P, Q는 유리로 만들어졌다. 그림 (나)는 물속에서 (가)의 두 단색광이 광축과 나란하게 P에 입사하는 것을 나타낸 것으로, 두 단색광이 광축과 교차하는 지점은 P와 Q 사이에 있다. (가)와 (나)에서 P와 Q의 중심 사이의 거리는 d 로 같고, 굴절률은 공기 < 물 < 유리이다.



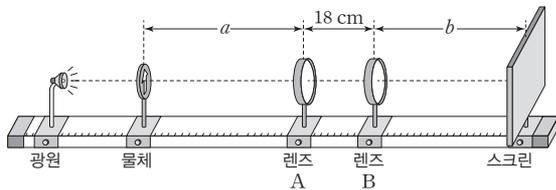
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. (가)에서 초점 거리는 Q가 P의 2배이다.
- ㄴ. 두 단색광이 광축과 교차하는 지점과 Q 사이의 거리는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.
- ㄷ. (나)에서 Q를 통과한 두 단색광은 광축과 나란하게 진행한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 그림은 광학대에 볼록 렌즈 A, B를 고정하고 A, B에 의한 최종 상이 스크린에 선명하게 나타날 때 물체와 A 사이의 거리 a 와 B와 스크린 사이의 거리 b 를 측정하는 것을 나타낸 것이다. A와 B 사이의 거리는 18 cm이다. 표는 a , b 와 스크린에 생긴 상의 배율을 나타낸 것이다.



실험	a	b	상의 배율
I	60 cm	30 cm	1
II	50 cm	㉠	㉡

스크린에 생기는 상은 실상이고, 2개의 볼록 렌즈에 의한 상의 배율은 볼록 렌즈 각각의 상의 배율의 곱이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

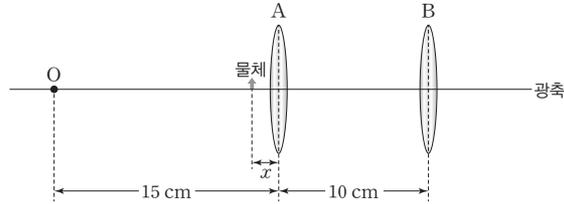
보기

- ㄱ. 렌즈의 초점 거리는 A가 B의 2배이다.
- ㄴ. ㉠은 40 cm이다.
- ㄷ. ㉡은 3이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

A, B에 의한 최종 상의 배율은 물체의 크기의 $5 \times 10 = 50$ (배)이다.

09 그림과 같이 볼록 렌즈 A, B에 의한 물체의 최종 상이 A로부터 왼쪽으로 15 cm 떨어진 점 O에 생겼다. 물체와 A 사이의 거리는 x 이고, A와 B 사이의 거리는 10 cm이다. A에 의한 물체의 상은 A와 B 사이에 생기고, A, B에 의한 상의 배율은 각각 5, 10이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

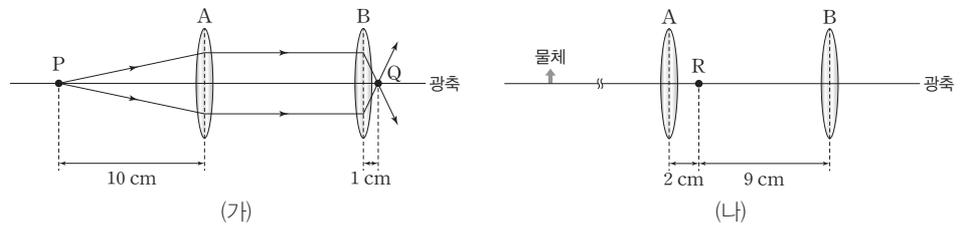
보기

- ㄱ. 최종 상은 정립상이다.
- ㄴ. $x = 1.5$ cm이다.
- ㄷ. 초점 거리는 A가 B의 $\frac{9}{20}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

초점에서 나온 광선은 볼록 렌즈를 통과한 후 광축과 나란하게 진행한다. (나)에서 A에 의한 물체의 상은 축소된 실상이고, B에 의한 상은 확대된 허상이다.

10 그림 (가)는 볼록 렌즈 A로부터 10 cm 떨어진 광축 위의 점 P에서 나온 빛이 A를 통과한 후 광축과 나란하게 진행하여 볼록 렌즈 B를 통과한 후 B로부터 1 cm 떨어진 광축 위의 점 Q를 지나는 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 광축 위의 한 지점에 위치하는 물체의 A, B에 의한 최종 상의 위치가 점 R인 것을 나타낸 것이다. A와 B 사이의 거리는 11 cm이고, R은 A, B 사이에서 A의 중심으로부터 2 cm 떨어진 지점이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. A의 초점 거리는 10 cm이다.
- ㄴ. (나)에서 A에 의한 상의 위치는 A, B 사이에서 B와 0.9 cm 떨어진 점이다.
- ㄷ. A, B에 의한 물체의 상의 배율은 $\frac{1}{100}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

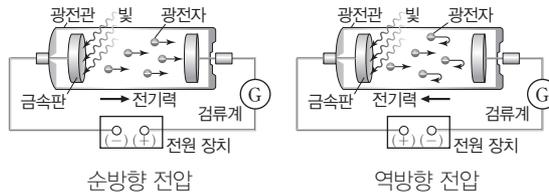
1 광전 효과

(1) 광전 효과

- 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.
- 빛에 의해 금속 표면에서 전자가 방출되는 현상을 광전 효과라 하고, 방출된 전자를 광전자라고 한다.

(2) 광전 효과 실험

- 그림과 같이 광전관에서 빛을 비추어주는 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.



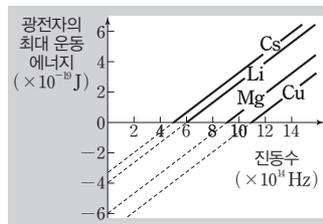
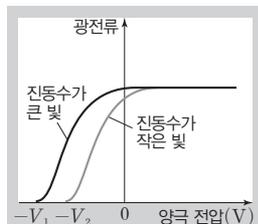
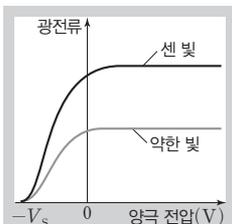
② 광전류와 광전자

- 광전관의 금속판에 빛을 비추면 금속판에서 광전자가 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 수는 줄어들게 되어 광전류의 세기는 감소한다.

- 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



- 광전자는 특정한 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비출 때 방출된다. 이 특정한 진동수를 문턱(한계) 진동수라고 하며, 문턱(한계) 진동수는 금속의 종류에 따라 다르다.
- 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.

개념 체크

- **광전 효과**: 금속 표면에 빛을 비추면 전자가 방출되는 현상을 광전 효과라고 한다.
- **광전류와 광전자**: 광전관의 금속판에 빛을 비추면 금속판에서 전자가 튀어나와 회로에 전류가 흐르게 되는데, 이 전류를 광전류라 하고, 빛에 의해 금속판에서 튀어나온 전자를 광전자라고 한다.

- 광전관에서 빛을 비추는 금속판에 (+)극을 연결하여 () 전압을 걸어 주면 광전자의 속력은 점점 ()한다.
- 광전관에 역방향 전압을 걸고 역방향 전압을 서서히 증가시킬 때 광전류가 0이 되는 순간의 전압을 ()이라고 하며, 그 값은 광전자의 ()에 비례한다.
- ()보다 진동수가 큰 빛을 금속판에 비추면 빛의 세기에 관계없이 즉시 광전자가 방출된다.
- 광전 효과가 일어날 때, 빛의 세기가 증가할수록 광전류의 세기는 ()한다.

정답

1. 역방향, 감소
2. 정지 전압, 최대 운동 에너지
3. 문턱(한계) 진동수
4. 증가

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.

[1~3] 플랑크 상수는 h 이다.

1. 진동수가 f 인 광자 1개의 에너지는 ()이다.
2. 문턱(한계) 진동수가 f_0 인 금속의 일함수는 ()이고, 금속에 진동수가 $2f_0$ 인 빛을 금속 표면에 비출 때, 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 ()이다.
3. 금속에 비추어진 빛의 진동수에 따른 광전자의 최대 운동 에너지 관계 그래프에서 금속의 종류에 관계없이 기울기는 ()로 일정하다.

- ③ 금속 표면에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지(E_k)는 비취진 빛의 세기에는 관계없고, 비취진 빛의 진동수에 따라 변한다.
- ④ 비취진 빛의 진동수와 광전자의 최대 운동 에너지(E_k)의 관계 그래프의 기울기는 플랑크 상수 h 로 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

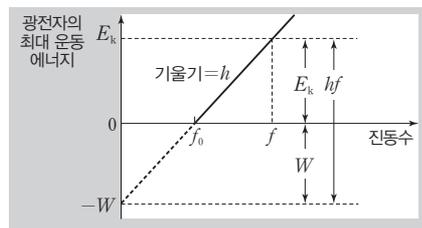
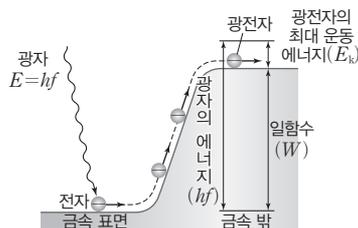
- ① 1905년 아인슈타인은 플랑크가 제안한 양자설을 이용하여 ‘빛은 연속적인 파동 에너지의 흐름이 아니라 광자(광양자)라고 부르는 불연속적인 에너지를 가진 입자의 흐름이다.’라는 광양자설로 광전 효과를 설명하였다.
- ② 광양자설에 의하면 진동수 f 인 광자 1개의 에너지 E 는 다음과 같다.

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad (\text{플랑크 상수 } h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}, \text{ 빛의 속도 } c = 3 \times 10^8 \text{ m/s})$$

(2) 광양자설에 의한 광전 효과 해석

- ① 문턱(한계) 진동수와 일함수: 진동수가 f 인 빛을 금속 표면에 비추면 hf 의 에너지를 가진 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_0 인 금속 표면에 진동수가 f 인 빛을 비출 때 방출되는 광전자가 가지는 최대 운동 에너지(E_k)는 다음과 같다.

$$E_k = hf - W = h(f - f_0) = h\left(\frac{c}{\lambda} - \frac{c}{\lambda_0}\right)$$



정답

1. hf
2. hf_0, hf_0
3. h

탐구자료 살펴보기 태양 전지의 전류 측정

과정

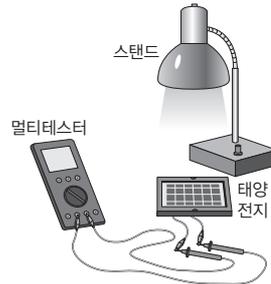
- (1) 그림과 같이 어두운 곳에서 태양 전지의 연직 위로 빛의 세기를 조절할 수 있는 스탠드를 설치하고, 태양 전지 양단에 멀티테스터를 연결한다.
- (2) 빛의 세기를 변화시키며 태양 전지에서 생성되는 전류의 세기를 측정한다.

결과

• 빛의 세기가 증가할수록 측정되는 전류의 세기는 증가한다.

point

- 광자의 에너지가 p-n 접합면의 띠 간격(E_g)보다 크면 전자가 전도띠로 올라갈 수 있으므로 광전류가 흐르게 된다.
- 빛의 세기가 증가할수록 태양 전지에서 생성되는 전자·양공 쌍의 수가 많아짐에 따라 회로를 이동하는 전자의 수가 증가하므로 전류의 세기는 증가한다.



3 물질파

(1) 드브로이 물질파

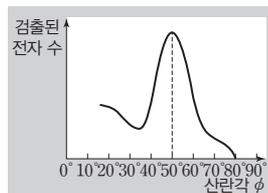
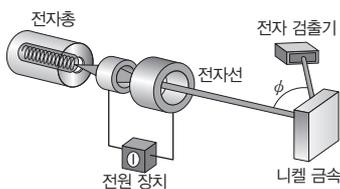
① 1924년 드브로이는 파장 λ 인 광자의 운동량 $p = \frac{h}{\lambda}$ 인 것처럼, 속력 v 로 움직이는 질량 m 인 입자의 파장은 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ 를 만족한다고 제안하였다.

입자의 파장은 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ 를 만족한다고 제안하였다.

② 물질인 입자가 파동성을 가질 때 이 파동을 물질파 또는 드브로이파라 하고, 이때 파장을 드브로이 파장이라고 한다.

(2) 물질파의 확인

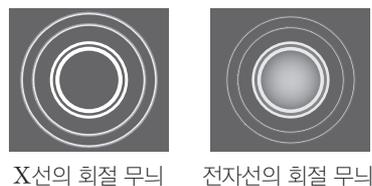
① 데이비슨·거머 실험: 데이비슨과 거머는 니켈 결정에 느리게 움직이는 전자를 입사시킨 후 입사한 전자선과 튀어나온 전자가 이루는 각에 따른 회절된 전자 수의 분포를 알아보기 위해 검출기의 각 ϕ 를 변화시키면서 각에 따라 검출되는 전자의 수를 측정하였다.



실험 결과: 54V의 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 이론이 증명되었다.

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 증명하였다. 이때 전자의 속력을 빠르게 조절하면 물질파 파장이 짧아져 전자선에 의한 회절 무늬의 간격이 좁아진다.



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 증명하였다.
- **톰슨의 전자 회절 실험:** X선의 회절 무늬와 전자선의 회절 무늬를 비교하여 전자의 파동성을 증명하였다.

1. 물질인 입자가 파동성을 가질 때 이 파동을() 또는 드브로이파라고 한다.
2. 질량이 m 인 입자가 속력 v 로 움직일 때, 물질파의 파장은 ()이다. (단, 플랑크 상수는 h 이다.)
3. 데이비슨·거머 실험에서 니켈 결정 표면에 입사한 전자선이 가장 많이 튀어나오는 방향은 파동 이론에서 결정면에서 산란된 파동이 ()되는 조건과 같다.
4. 톰슨의 전자 회절 실험에서 전자의 속력이 빨라지면 전자선에 의한 회절 무늬 간격은 ()진다.

정답

1. 물질파
2. $\frac{h}{mv}$
3. 보강 간섭
4. 좁아

개념 체크

- 양자 조건: 원자 속의 전자는 특정한 조건을 만족하는 원 궤도를 회전할 때, 전자기파를 방출하지 않고 안정된 운동을 한다.
- 진동수 조건: 전자가 양자 조건을 만족하는 궤도 사이에서 전이할 때 두 궤도의 에너지 차에 해당하는 전자기파를 흡수 또는 방출한다.
- 수소 원자의 전자 궤도의 반지름: $r_n = a_0 n^2$

1. 전자가 궤도 운동하는 원의 둘레가 전자의 ()의 정수배가 되어 정상파를 이룰 때만 안정한 궤도를 이룬다.
2. 보어의 양자 가설을 수소 원자에 적용하여 이론적으로 얻은 양자수 n 인 전자 궤도의 반지름은 ()에 비례한다.
3. 정상 상태에서의 전자의 드브로이 파장은 양자수 n 에 ()한다.

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 반지름이 r 이면 양자 조건은 다음과 같다.

$$2\pi r m v = n h \quad (n = 1, 2, 3, \dots: \text{양자수}, h: \text{플랑크 상수})$$

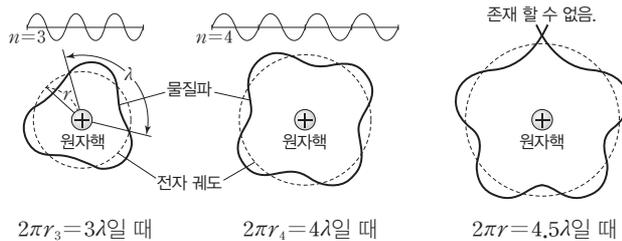
② 제2가설(진동수 조건): 전자가 양자 조건을 만족하는 원 궤도 사이에서 전이할 때는 두 궤도의 에너지 차에 해당하는 에너지($E_n - E_m = hf$)를 갖는 전자기파를 방출하거나 흡수한다.

(2) 보어 원자 모형에 드브로이 물질파 이론의 적용

① 보어의 제1가설을 드브로이 파장으로 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$2\pi r = n \frac{h}{mv} = n \lambda \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

② 전자가 궤도 운동하는 원의 둘레가 드브로이 파장의 정수배가 되어 정상파를 이룰 때만 안정한 궤도를 이룬다.



- ③ 전자의 물질파가 원 궤도에서 정상파를 이룰 때만 전자가 에너지를 방출하지 않고 정상 상태를 유지하게 된다.
- ④ 전자의 원 궤도 둘레가 전자의 물질파 파장의 정수배와 일치하지 않는 경우에는 전자가 정상 상태를 유지하지 못하므로 전자의 궤도는 존재할 수 없다.
- ⑤ 보어는 양자 가설을 수소 원자에 적용하여 양자수 n 인 전자 궤도의 반지름을 이론적으로 유도하여 다음과 같은 관계를 얻었다.

$$r_n = a_0 n^2 \quad (a_0: \text{보어 반지름}, a_0 = 0.53 \times 10^{-10} \text{ m} = 0.53 \text{ \AA})$$



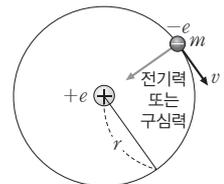
과학 돋보기 | 보어 원자 모형에서 전자 궤도의 반지름 유도

원자핵의 전하량을 $+e$, 전자의 질량과 전하량을 각각 $m, -e$ 라고 하면 뉴턴 운동 제 2법칙으로부터 $m \frac{v^2}{r} = k \frac{e^2}{r^2} \dots$ ① 식이 성립한다.

양자수가 n 일 때 전자의 속력을 v_n , 궤도 반지름을 r_n 이라고 하고 보어의 양자 가설 ($2\pi r = n \left(\frac{h}{mv} \right) = n \lambda$)과 식 ①을 이용하면 수소 원자 내의 전자의 속력과 궤도 반지름은

$$v_n = \frac{2\pi k e^2}{nh} \dots$$
 ②, $r_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 k m e^2} \dots$ ③이 된다.

즉, 식 ③에서 h, k 는 각각 플랑크 상수, 쿨롱 상수이고, m, e 는 일정한 물리량이므로 전자의 궤도 반지름은 $r_n = a_0 n^2$ (a_0 : 보어 반지름)으로 양자수의 제곱(n^2)에 비례한다.



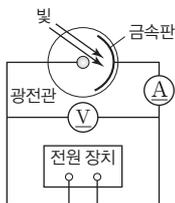
정답

1. 드브로이 파장
2. n^2
3. 비례

01 다음은 광전 효과에 대한 설명이다.

[23027-0277]

- 광전관의 금속판에 문턱(한계) 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비추면 ㉠ 이/가 튀어나와 회로에 광전류가 흐른다.
- 금속판에 빛을 비추고 직류 전원 장치의 전압을 변화시켜 광전류가 0이 되는 순간의 전압은 광전자의 ㉡ 에 비례한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

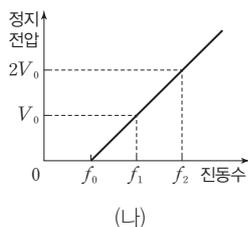
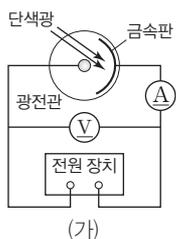
보기

- ㄱ. '광전자'는 ㉠에 해당한다.
- ㄴ. '최대 운동 에너지'는 ㉡에 적절하다.
- ㄷ. 금속판에 비추는 빛의 세기를 변화시키면 광전류가 0이 되는 순간의 전압은 변한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 그림 (가)와 같이 광전 효과 실험 장치에 단색광을 비추어 정지 전압을 측정하였다. 그림 (나)는 (가)에서 금속판에 비추는 단색광의 진동수에 따라 측정된 정지 전압을 나타낸 것이다.

[23027-0278]



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 기본 전하량은 e 이다.)

보기

- ㄱ. 금속판의 문턱(한계) 진동수는 f_0 이다.
- ㄴ. 단색광의 진동수가 f_1 일 때 광전자의 최대 운동 에너지는 eV_0 이다.
- ㄷ. $f_2 = 2f_1$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 표의 실험 I~IV는 동일한 금속판에 파장과 세기가 서로 다른 단색광을 같은 시간 동안 비출 때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지를 나타낸 것이다.

[23027-0279]

실험	단색광의 파장	단색광의 세기	광전자의 최대 운동 에너지
I	λ_0	I_0	$3E_0$
II	λ_0	$2I_0$	㉠
III	$2\lambda_0$	I_0	E_0
IV	$3\lambda_0$	I_0	㉡

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

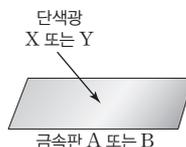
보기

- ㄱ. ㉠은 $2E_0$ 이다.
- ㄴ. 방출된 광전자의 수는 I에서가 II에서보다 작다.
- ㄷ. ㉡은 $\frac{2}{3}E_0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 그림은 금속판 A, B에 단색광 X, Y를 각각 비추는 것을 나타낸 것이다. 표는 A, B에 X, Y를 각각 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지를 나타낸 것으로, B에 X를 비추는 경우는 광전자가 방출되지 않고, Y를 비추는 경우는 광전자가 방출된다.

[23027-0280]



금속판	광전자의 최대 운동 에너지	
	X를 비추는 경우	Y를 비추는 경우
A	$2E_0$	$4E_0$
B	방출되지 않음	㉠

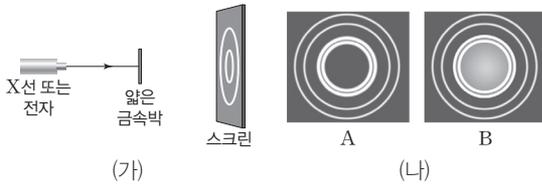
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 진동수는 Y가 X보다 크다.
- ㄴ. ㉠은 $2E_0$ 보다 작다.
- ㄷ. X와 Y를 동시에 A에 비추면 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $6E_0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 [23027-0281] 그림 (가)는 X선과 전자를 각각 동일한 얇은 금속박에 입사시켰을 때 스크린에 회절 무늬가 생기는 것을, (나)의 A, B는 각각 (가)에서 X선과 전자에 의한 회절 무늬를 나타낸 것이다. 얇은 금속박과 스크린 사이의 거리는 일정하고, A, B의 회절 무늬의 간격은 서로 같다.

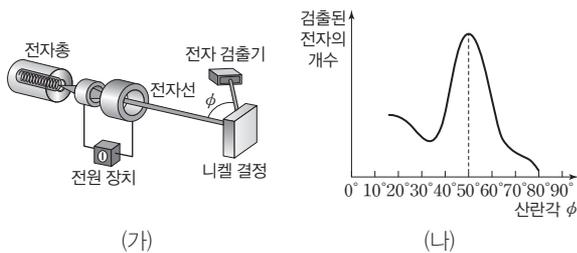


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. B는 전자의 파동성으로 설명할 수 있다.
 - ㄴ. X선의 파장과 전자의 물질파 파장은 같다.
 - ㄷ. 전자의 속력이 클수록 B의 회절 무늬 간격은 넓어진다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 [23027-0282] 그림 (가)는 전자를 54 V로 가속시켜 니켈 결정에 입사한 전자선과 튀어나온 전자가 이루는 산란각 ϕ 에 따른 검출되는 전자 수를 측정하는 실험을, (나)는 (가)의 실험 결과를 ϕ 에 따른 검출된 전자의 개수로 나타낸 것이다.

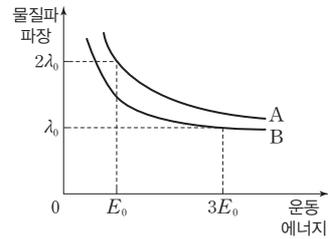


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 산란된 전자의 물질파는 $\phi=50^\circ$ 에서 보강 간섭 조건을 만족한다.
 - ㄴ. 54 V보다 큰 전압으로 가속시키면 니켈 결정에 입사하는 전자의 운동량의 크기는 54 V일 때보다 증가한다.
 - ㄷ. (나)의 결과는 전자의 파동성으로 설명할 수 있다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 [23027-0283] 그림은 각각 질량이 m_A, m_B 인 입자 A, B의 물질파 파장을 입자의 운동 에너지에 따라 나타낸 것이다.

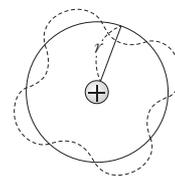


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. A, B의 물질파 파장이 $2\lambda_0$ 일 때 운동량의 크기는 A가 B보다 크다.
 - ㄴ. B의 운동 에너지가 E_0 일 때 B의 물질파 파장은 $\sqrt{3}\lambda_0$ 이다.
 - ㄷ. $m_A : m_B = 3 : 4$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 [23027-0284] 그림은 보어의 수소 원자 모형에서 양자수 $n=n_0$ 일 때, 반지름이 r 인 전자의 원운동 궤도와 물질파가 만든 정상파를 각각 실선과 점선으로 나타낸 것이다. $n=1$ 일 때, 전자 궤도의 반지름은 a_0 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 플랑크 상수는 h 이다.)

- 보기
- ㄱ. $n_0=2$ 이다.
 - ㄴ. $r=16a_0$ 이다.
 - ㄷ. 전자의 운동량의 크기는 $\frac{h}{16\pi a_0}$ 이다.

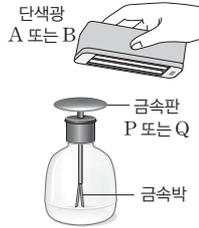
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

01 다음은 광전 효과에 대한 실험이다.

[23027-0285]

[실험 과정]

(가) 대전되지 않은 검전기 위에 금속판 P를 올려놓고 음(-)전하로 대전시켜 금속박이 벌어지게 한 후, P에 단색광 A, B를 각각 동일한 시간 동안 비추고 금속박의 변화를 관찰한다.
 (나) (가)에서 P를 금속판 Q로 바꾸어 과정 (가)를 반복한다.



[실험 결과]

실험	A	B
(가)	오므라들	오므라들
(나)	오므라들	변화없음

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

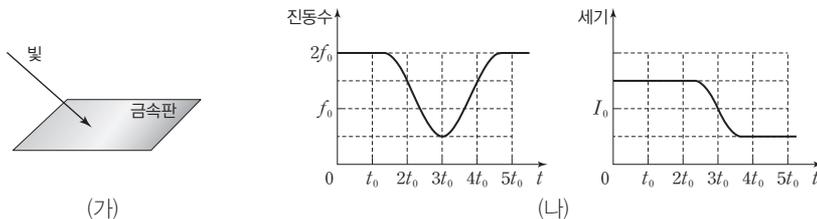
보기

- ㄱ. 진동수는 A가 B보다 크다.
- ㄴ. 문턱(한계) 진동수는 P가 Q보다 작다.
- ㄷ. (나)에서 Q에 비추는 B의 세기를 증가시키면 금속박이 오므라들 수 있다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 그림 (가)는 문턱(한계) 진동수가 f_0 인 금속판에 빛을 비추는 것을, (나)는 (가)의 금속판에 비추는 빛의 진동수와 세기를 시간 t 에 따라 나타낸 것이다.

[23027-0286]



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. $3t_0$ 일 때 광전자는 방출되지 않는다.
- ㄴ. 방출되는 광전자의 개수는 t_0 일 때가 $5t_0$ 일 때보다 적다.
- ㄷ. 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $4t_0$ 일 때가 $5t_0$ 일 때의 $\frac{3}{4}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

음(-)전하로 대전된 검전기의 금속판에 빛을 비추어 광전자가 방출되면 금속박이 오므라든다.

문턱(한계) 진동수 f_0 보다 큰 진동수 f 의 빛을 금속판에 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_k = hf - hf_0$ 이다.

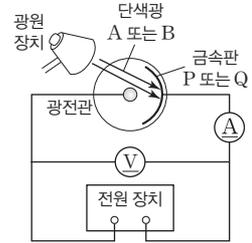
[23027-0287]

(다), (라)는 금속판 P에 각각 단색광 A, B를 비추고, (마), (바)는 금속판 Q에 단색광 A, 세기를 바꿔준 A를 비추는 것이다.

03 다음은 광전 효과 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 그림과 같이 전원 장치, 진동수가 각각 $f, 1.5f$ 인 단색광 A, B를 방출하는 광원 장치, 금속판 P, Q를 준비한다.
- (나) 광전관에 P를 설치한 후, 단색광 A를 광전관에 비춘다.
- (다) 광전류의 최대 전류값을 측정하고 전압을 조절하여 정지 전압을 측정한다.
- (라) (나)에서 단색광판을 B로 바꾸어 과정 (다)를 반복한다.
- (마) (나)에서 금속판만을 Q로 바꾸어 과정 (다)를 반복한다.
- (바) A의 세기를 바꾸어 과정 (마)를 반복한다.



[실험 결과]

과정	(다)	(라)	(마)	(바)
정지 전압	V_0	\ominus	$0.5V_0$	$0.5V_0$
전류값	I_0	I_0	I_0	$0.5I_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

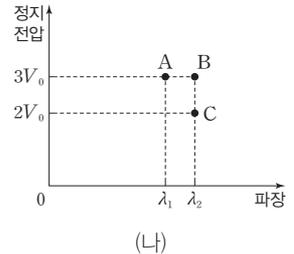
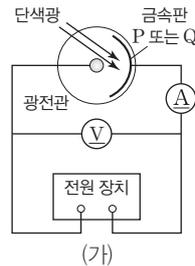
보기

- ㄱ. \ominus 은 V_0 보다 작다.
- ㄴ. 금속의 일함수는 P가 Q보다 크다.
- ㄷ. 금속판에 비추는 단색광의 세기는 (바)에서가 (마)에서보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

광자의 에너지는 파장에 반비례하고, 정지 전압은 광전자의 최대 운동 에너지에 비례한다. 금속판에 빛을 비출 때 금속판의 일함수가 클수록 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 감소한다.

04 그림 (가)는 광전 효과 실험 장치의 금속판에 단색광을 비추는 것을 나타낸 것이고, (나)의 A, B, C는 파장이 각각 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_2$ 인 단색광을 (가)의 금속판 P 또는 Q에 비추었을 때 측정된 정지 전압을 나타낸 것이다. 일함수는 P가 Q의 2배이다.



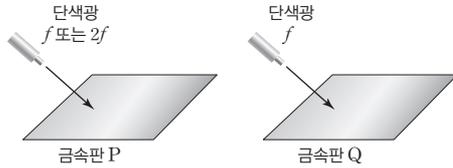
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. A는 λ_1 인 단색광을 Q에 비추었을 때의 실험 결과이다.
- ㄴ. $\lambda_2 = \frac{5}{4}\lambda_1$ 이다.
- ㄷ. Q에 $5\lambda_1$ 보다 짧은 파장의 단색광을 비출 때 광전자가 방출될 수 있다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 그림은 금속판 P, Q에 단색광을 각각 비추는 것을 나타낸 것이고, 표의 실험 I~Ⅲ은 P, Q에 비추는 단색광의 진동수와 방출되는 광전자의 물질파 파장의 최솟값 λ_{\min} 을 나타낸 것이다.



실험	금속판	진동수	λ_{\min}
I	P	f	$2\lambda_0$
II	P	$2f$	λ_0
III	Q	$2f$	$\sqrt{2}\lambda_0$

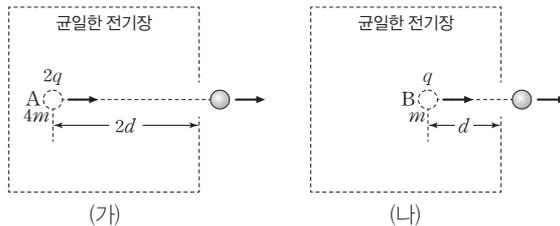
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 I에서가 II에서의 $\frac{1}{2}$ 배이다.
- ㄴ. 문턱(한계) 진동수는 P가 Q의 $\frac{1}{2}$ 배이다.
- ㄷ. 진동수가 f 인 단색광을 Q에 비추면 광전자가 방출되지 않는다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 그림 (가), (나)는 균일한 전기장 영역에 가만히 놓은 입자 A, B가 각각 전기장의 방향과 나란한 방향으로 $2d$, d 만큼 등가속도 직선 운동을 하여 균일한 전기장 영역을 빠져나온 후 등속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. (가)와 (나)에서 전기장의 세기와 방향은 같다. A, B의 전하량은 각각 $2q$, q 이고, 질량은 각각 $4m$, m 이다.



전기장 영역을 빠져나온 후, 입자에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 입자의 크기는 무시한다.)

보기

- ㄱ. 운동 에너지는 A가 B의 4배이다.
- ㄴ. 속력은 A가 B의 2배이다.
- ㄷ. 물질파 파장은 A가 B의 4배이다.

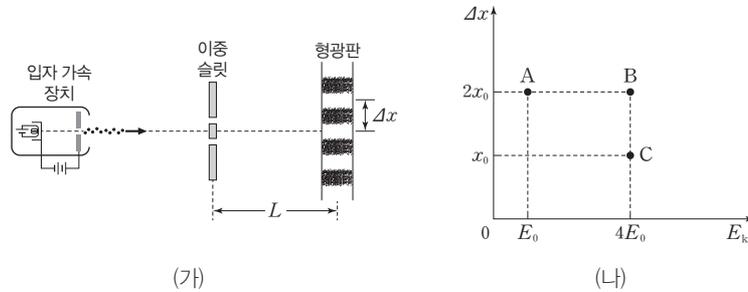
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

동일한 진동수의 빛을 비추었을 때 금속판의 문턱(한계) 진동수가 클수록 방출되는 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 크다.

균일한 전기장(E) 내에서 d 만큼 등가속도 직선 운동을 한 전하량이 q 인 입자의 운동 에너지는 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = qEd$ 이다.

이중 슬릿에 의한 간섭무늬 사이의 간격 Δx 는 입자의 물질파 파장에 비례한다.

07 그림 (가)는 입자 가속 장치에서 가속된 입자가 이중 슬릿을 통과하여 L 만큼 떨어진 형광판에 간섭 무늬를 만드는 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 입자 가속 장치에서 방출되어 등속도 운동을 하는 입자 A, B, C의 운동 에너지 E_k 와 형광판에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 Δx 를 나타낸 것이다.



입자에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 이중 슬릿의 간격과 L 은 일정하다.)

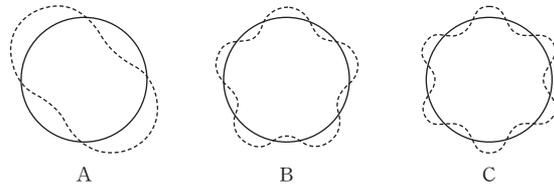
보기

- ㄱ. 물질파 파장은 A가 B의 2배이다.
- ㄴ. 속력은 B가 C의 2배이다.
- ㄷ. 질량은 A와 C가 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

$2\pi r_n = n \frac{h}{mv} = n\lambda$ 에서 A는 양자수 $n=20$ 이고, B는 양자수 $n=5$, C는 양자수 $n=6$ 이다.

08 그림의 A, B, C는 보어의 수소 원자 모형에서 양자수 n 이 서로 다른 전자의 원운동 궤도와 물질파가 만든 정상파를 나타낸 것이다. 실선과 점선은 각각 원운동 궤도와 정상파를 나타낸다. n 에 따른 전자의 에너지는 $E_n = -\frac{E_0}{n^2}$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 전자의 원운동 궤도의 반지름은 B에서가 A에서의 $\frac{25}{4}$ 배이다.
- ㄴ. 전자의 운동량의 크기는 B에서가 C에서의 $\frac{6}{5}$ 배이다.
- ㄷ. 전자가 A에서 C로 전이할 때 흡수하는 에너지는 $\frac{2}{9}E_0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

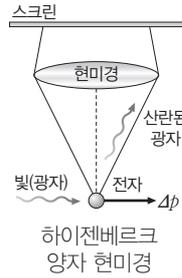
1 불확정성 원리

(1) 측정의 정밀성에 대한 문제

- 고전 역학: 측정 과정에서 측정 도구가 측정 대상에 미치는 영향을 얼마든지 줄일 수 있다고 생각하여 물리량을 무한히 정밀하게 측정하고 예측할 수 있다고 가정한다.
- 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

- 위치의 불확정성(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 불확정성 Δx 는 감소한다.
- 운동량의 불확정성(Δp): 전자에 비춰준 빛은 운동량을 지닌 광자로 생각할 수 있으므로 광자는 전자와 충돌하여 전자의 운동량을 변화시키게 되어 운동량을 정확하게 알기 어렵다. 이때 파장이 λ 인 광자의 운동량이 $p = \frac{h}{\lambda}$ 이므로 광자의 파장이 짧을수록 전자의 운동량의 불확정성 Δp 는 증가한다.



③ 하이젠베르크의 불확정성 원리

- 짧은 파장의 빛을 이용하면 입자의 위치는 정확하게 측정할 수 있지만 운동량의 불확정성은 증가한다. 반대로 긴 파장의 빛을 이용하면 입자의 운동량의 정확성을 높일 수 있지만 입자의 위치의 불확정성은 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.

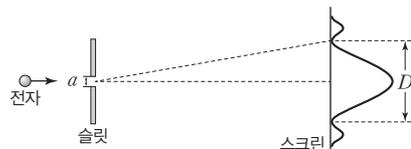
$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2} \quad \left(\text{단, } \hbar = \frac{h}{2\pi}, h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} \right)$$

탐구자료 살펴보기 전자의 회절과 불확정성 원리

자료

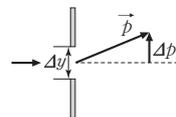
그림과 같이 전자가 폭이 a 인 단일 슬릿을 통과할 때, 슬릿을 통과한 전자는 형광 스크린에 밝고 어두운 무늬를 만든다.

- 슬릿의 폭 a 가 작아지면 회절 무늬의 폭 D 가 커진다.
- 슬릿의 폭 a 가 커지면 회절 무늬의 폭 D 가 작아진다.



분석 및 point

전자의 위치의 불확정성 Δy 는 슬릿의 폭 a 에 비례한다고 할 수 있고, 회절 무늬의 폭 D 가 커지는 것은 운동량의 y 성분 불확정성(Δp_y)이 커지는 것을 의미한다. 즉, 슬릿의 폭이 좁아지면 전자의 위치에 대한 정보는 정확해지지만, 전자의 운동량에 대한 정보는 더 부정확해지므로 불확정성 원리가 성립된다.



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.

- 양자 역학에서는 측정 도구와 측정 대상의 상호 작용에 의해 무한히 정밀하게 측정하는 것은 () 한 것으로 본다.
- 입자성과 파동성을 모두 띠고 있는 물체의 () 와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다. 이러한 원리를 하이젠베르크의 () 원리라고 한다.
- 입자를 관측하기 위해 사용한 빛의 파장이 짧을수록 입자 위치의 불확정성은 () 한다.
- 전자의 회절 실험을 불확정성 원리에 의해 해석하면 슬릿의 폭은 ()의 불확정성, 회절 무늬의 폭은 ()의 불확정성을 의미한다.

정답

- 불가능
- 위치, 불확정성
- 감소
- 위치, 운동량

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 원자 모형에 따른 전자의 궤도 반지름, 중심 방향의 운동량은 하이젠베르크의 () 원리에 위배된다.
2. () 함수는 슈뢰딩거 파동 방정식의 해로 직접 관측하거나 측정할 수 없다.
3. 파동 함수의 절댓값의 ()은 특정 위치에서 전자를 발견할 확률 밀도를 알려준다.
4. 전자를 발견할 수 있는 전 구간에 대한 확률 밀도 함수의 합은 ()이다.



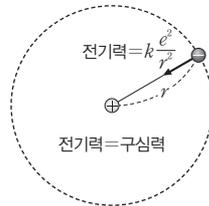
과학 돋보기 | 에너지와 시간의 측정에 대한 하이젠베르크 불확정성 원리

광자의 에너지는 진동수에 비례하므로 광자의 에너지를 측정하려면 진동수를 측정해야 한다. 진동수를 정확하게 측정하려면 측정 시간이 길어야 하고, 측정 시간이 짧으면 진동수의 불확정성이 증가한다. 에너지의 불확정성 ΔE 는 측정 시간 Δt 가 짧을수록 증가한다. 즉, 에너지와 시간의 측정에 대한 불확정성 원리를 식으로 표현하면 다음과 같다.

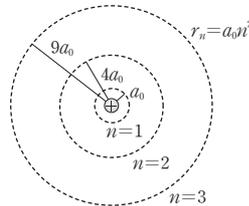
$$\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$$

(3) 불확정성 원리와 보어 원자 모형의 한계

- ① 보어는 수소 원자 모형에 양자 가설을 적용하여 전자는 원자핵으로부터 반지름이 r 인 원 궤도를 속력 v 로 운동한다고 유도하였다. 이때 r 는 약 0.5×10^{-10} m, v 는 약 10^6 m/s 정도이다. 또한 보어의 원자 모형에서는 양자수 n 에 따른 전자의 궤도가 $r_n = a_0 n^2$ 으로 n 에 따라 정확히 주어진다.

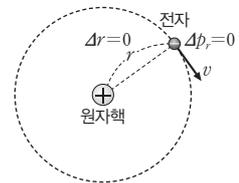


전자의 운동에 대한 보어의 가정



보어 모형에 따른 전자의 궤도

- ② 보어의 원자 모형에 따른 전자가 원자핵으로부터 떨어진 거리의 불확정성 $\Delta r = 0$ 이고, 중심 방향의 운동량의 불확정성 $\Delta p_r = 0$ 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 ψ 로 나타내며 이를 파동 함수라고 한다. 파동 함수 ψ 는 직접 측정되거나 관찰할 수 없는 양이다.
- ② 확률 밀도 함수($|\psi|^2$): 전자가 어떤 시간에 특정 위치에서 발견될 확률 정보로 파동 함수 ψ 의 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 구간에 대한 확률 밀도 함수의 합은 1이다.

정답

1. 불확정성
2. 파동
3. 제곱
4. 1

(2) **원자의 양자수**: 슈뢰딩거 방정식으로 전자의 파동 함수를 결정하는 값으로, 3개의 양자수 n, l, m 으로 나타낸다.

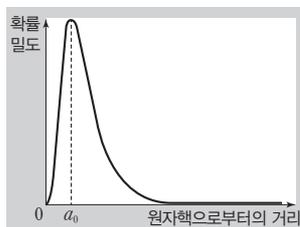
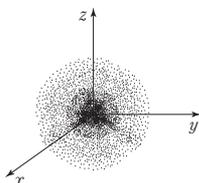
양자수	명칭	허용된 값
n	주 양자수(→ 전자의 에너지를 결정)	1, 2, 3, ..., ∞
l	궤도 양자수(→ 전자의 각운동량의 크기를 결정)	0, 1, 2, ..., $n-1$
m	자기 양자수(→ 각운동량의 한 성분을 결정)	$-l, -l+1, \dots, 0, \dots, l-1, l$

• 주 양자수가 2인 경우 양자수(n, l, m): (2, 0, 0), (2, 1, -1), (2, 1, 0), (2, 1, 1)

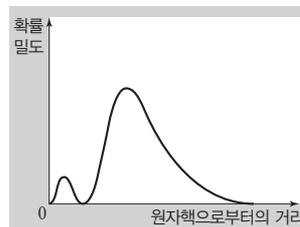
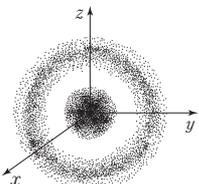
(3) 현대적 원자 모형

① 파동 함수는 전자를 발견할 확률을 알려주는데, 수소 원자에서 전자를 발견할 확률은 보어 모형에서 기술한 것과 다르게 3차원으로 분포된 전자 구름의 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_n 은 보어 원자 모형에서 구한 값과 같으며 그 값은 다음과 같다.

$$E_n = -\frac{13.6 \text{ eV}}{n^2}$$

• 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 원자일 때에도 모두 적용될 수 있다.

개념 체크

- 주 양자수(n): 전자의 에너지를 결정하는 양자수
- 궤도 양자수(l): 전자의 각운동량의 크기를 결정하는 양자수
- 자기 양자수(m): 각운동량의 한 성분을 결정하는 양자수

1. 수소 원자에서 속박된 전자가 가질 수 있는 에너지는 ()에 의해 결정된다.
2. 원자핵으로부터의 거리에 따른 확률 밀도 그래프 아래의 전체 넓이는 ()이다.
3. 양자수가 n 일 때, 현대적 원자 모형에서 구한 수소 원자의 에너지 준위 E_n 은 ()이고, 이것은 보어 원자 모형에서 구한 값과 ().
4. 현대적 원자 모형에서 다전자 원자의 파동 함수를 결정하려면 스핀 양자수를 포함하여 양자수 ()개가 필요하다.

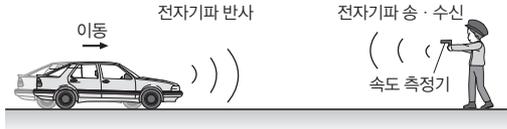
정답

1. 주 양자수
2. 1
3. $-\frac{13.6 \text{ eV}}{n^2}$, 같다
4. 4

01 다음은 측정의 정밀성에 대한 탐구 보고서의 일부이다.

[23027-0293]

[예시 상황] 속도 측정기는 달리는 자동차에 전자기파를 발사하고 자동차와 충돌한 후 되돌아오는 전자기파의 진동수를 측정함으로써 속도를 측정한다.



[해석]

- 고전 역학의 관점: 자동차의 속력을 ㉠ .
- 양자 역학의 관점: 자동차의 속력을 정밀하게 측정하는 것은 불가능하다.
- 자동차의 속력을 측정하는 과정에서 발생하는 자동차의 운동량의 불확정성은 매우 작다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㉠. '정확하게 측정할 수 있다.'는 ㉠에 적절하다.
- ㉡. 양자 역학의 관점에서 볼 때 속도 측정기에서 발사된 전자기파는 자동차의 속도를 변화시킨다.
- ㉢. 불확정성 원리에 의하면 자동차의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정할 수 있다.

- ① ㉠ ② ㉢ ③ ㉠, ㉡ ④ ㉡, ㉢ ⑤ ㉠, ㉡, ㉢

02 그림은 파동 함수에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습이다.

[23027-0294]

입자의 파동 함수(ψ): 입자의 운동 상태나 에너지에 관한 정보를 가지고 있다.

파동 함수는 수리당겨 파동 방정식의 해야.

파동 함수는 직접 측정되고 관찰될 수 있는 양이야.

확률 밀도 함수($|\psi|^2$)는 특정 위치에서 입자를 발견할 확률 밀도를 알려줘.

학생 A

학생 B

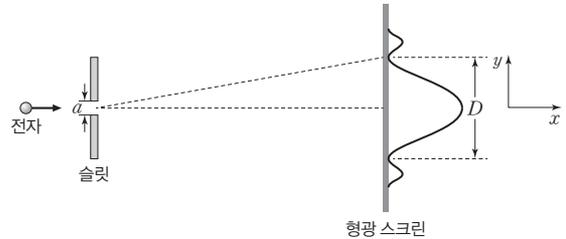
학생 C

제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A ② B ③ A, C ④ B, C ⑤ A, B, C

03 그림은 단일 슬릿에 의한 전자의 회절 실험을 나타낸 것으로, 슬릿에 $+x$ 방향으로 입사한 전자가 형광 스크린에 만든 밝고 어두운 무늬를 상대적인 세기로 나타낸 것이다. 슬릿의 폭은 a 이고, 회절 무늬의 폭은 D 이다.

[23027-0295]



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

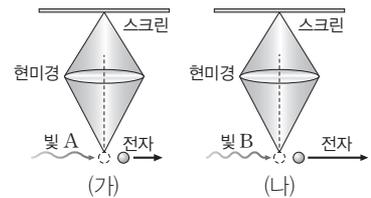
- ㉠. a 가 감소하면 슬릿에서 전자의 y 방향의 위치 불확정성이 감소한다.
- ㉡. 전자의 y 방향의 운동량 불확정성이 증가하면 D 가 증가한다.
- ㉢. 전자의 운동량 불확정성이 감소하면 전자의 위치 불확정성이 증가한다.

- ① ㉠ ② ㉡ ③ ㉠, ㉢ ④ ㉡, ㉢ ⑤ ㉠, ㉡, ㉢

04 그림 (가), (나)는

[23027-0296]

각각 긴 파장과 짧은 파장의 빛 A, B를 사용하여 전자의 위치를 측정하는 하이젠베르크의 사고 실험을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㉠. 전자의 위치의 불확정성은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
- ㉡. 전자의 운동량의 불확정성은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
- ㉢. 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다.

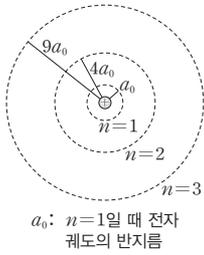
- ① ㉠ ② ㉡ ③ ㉠, ㉢ ④ ㉡, ㉢ ⑤ ㉠, ㉡, ㉢

05 다음은 보어의 수소 원자 모형의 한계에 대한 설명의 일부이다. [23027-0297]

[보어의 수소 원자 모형]
전자는 원자핵으로부터 반지름이 r 인 원 궤도를 따라 운동한다.

[보어의 수소 원자 모형의 한계]

- 전자 궤도의 반지름의 불확정성은 이다.
- 전자의 원 궤도 중심 방향의 운동량의 불확정성은 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. ㉠은 '0'이다.
 ㄴ. ㉡은 '무한대'이다.
 ㄷ. 보어의 수소 원자 모형은 불확정성 원리가 성립한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 표는 현대 원자 모형에서 전자의 파동 함수를 결정하는 양자수 n, l, m 의 허용된 값을 나타낸 것이다. [23027-0298]

	양자수	허용된 값
주 양자수	n	1, 2, 3, ..., ∞
궤도 양자수	l	0, 1, 2, ..., ㉠
	㉡	$-l, -l+1, \dots, 0, \dots, l-1, l$

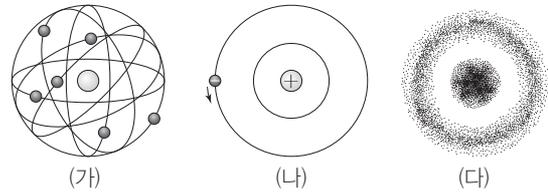
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. n 은 전자의 에너지를 결정하는 양자수이다.
 ㄴ. ㉠은 $n-1$ 이다.
 ㄷ. ㉡은 자기 양자수이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 그림 (가), (나), (다)는 각각 러더퍼드 원자 모형, 보어 원자 모형, 현대 원자 모형을 나타낸 것이다. [23027-0299]



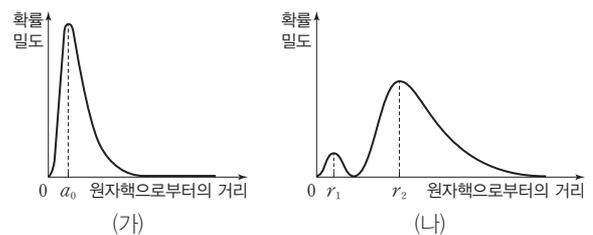
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. (가)와 (나)에서 전자는 궤도 운동을 한다.
 ㄴ. (나)는 다전자 원자에 가장 적합한 모형이다.
 ㄷ. (가), (나), (다)에서 원자핵과 전자 사이에는 전기력이 작용한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 그림 (가)와 (나)는 수소 원자에서 주 양자수가 각각 $n=1$, $n=2$ 일 때 원자핵으로부터의 거리에 따른 전자가 존재할 확률 밀도를 나타낸 것이다. [23027-0300]



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. (가)에서 전자는 원자핵으로부터 a_0 만큼 떨어진 지점에서 발견될 확률이 가장 크다.
 ㄴ. 그래프가 거리축과 이루는 넓이는 (가)에서보다 (나)에서가 크다.
 ㄷ. 전자의 에너지 준위는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

입자의 운동량을 정확하게 알면 입자의 위치의 불확정성은 무한대가 된다.

슬릿의 폭 a 가 좁을수록 첫 번째 어두운 무늬가 나타나는 각도 θ 가 커진다.

01 그림은 파장이 λ 인 입자 A의 물질파와 여러 파동이 중첩된 입자 B의 물질파를 나타낸 것이다. B의 중첩된 파동의 폭은 Δx 이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 플랑크 상수는 h 이다.)



[23027-0301]

보기

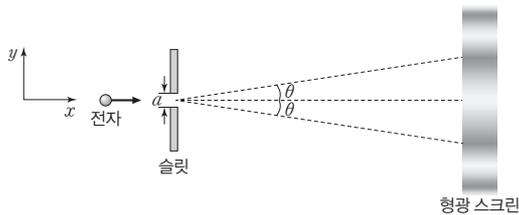
- ㄱ. A의 운동량의 크기는 $\frac{h}{\lambda}$ 이다.
- ㄴ. A의 위치의 불확정성은 λ 이다.
- ㄷ. B의 중첩된 파동의 수가 감소하면 Δx 는 감소한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 다음은 전자의 회절 현상을 이용하여 불확정성의 원리를 확인하는 내용이다.

[23027-0302]

- 그림과 같이 물질파 파장이 λ 인 전자가 y 축 방향으로 놓인 폭이 a 인 슬릿을 통과하여 형광 스크린에 밝고 어두운 무늬를 만든다.



- 슬릿에서 y 축 방향의 위치 불확정성은 $\Delta y = \text{㉠}$ 이다.
- 슬릿을 지나는 순간 전자의 운동량의 크기를 p 라고 하면 운동량의 y 성분 $p_y = p \sin \theta$ 이다. 슬릿의 중심에서 스크린의 첫 번째 어두운 무늬가 나타나는 지점을 연결한 선과 슬릿의 중심과 스크린을 수직으로 연결한 직선이 이루는 각이 θ 이고, $\sin \theta = \text{㉡}$ 이다. 전자의 운동량의 y 성분의 불확정성은 $\Delta p_y = 2p_y$ 이다.
- $\lambda = \frac{h}{p}$ 를 적용하면, $\Delta y \Delta p_y = \text{㉢}$ 이고, ㉢ 은/는 $\frac{h}{2}$ 보다 크므로 불확정성 원리가 성립한다.

$$\Delta y \Delta p_y \geq \frac{h}{2} \left(\hbar = \frac{h}{2\pi} \right)$$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 플랑크 상수는 h 이다.)

보기

- ㄱ. ㉠은 a 이다.
- ㄴ. ㉡은 $\frac{2\lambda}{a}$ 이다.
- ㄷ. ㉢은 h 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 다음은 보어 원자 모형과 현대적 원자 모형의 공통점과 차이점에 대한 설명이다.

[23027-0303]

[공통점]

- 전자가 다른 에너지 준위로 전이할 때 두 에너지 준위의 차에 해당하는 빛을 흡수하거나 방출한다.
- 수소 원자의 에너지 준위는 $-\frac{13.6}{n^2}$ (eV)(n : 주 양자수)이다.

[차이점]

- 보어 원자 모형에서는 전자가 원자핵으로부터 일정한 거리만큼 떨어진 ㉠ 원 궤도를 따라 운동한다. 현대적 원자 모형에서는 전자의 정확한 위치는 알 수 없고, 일정 범위에서 전자가 존재할 확률만 알 수 있다.

보어 원자 모형은 전자들 사이의 전기적 상호 작용을 고려하지 않아 다전자 원자에 적용할 수 없다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

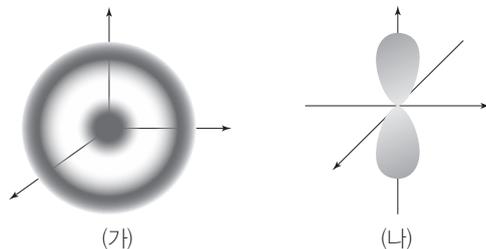
보기

- ㄱ. ㉠의 반지름은 n 에 비례한다.
- ㄴ. 보어 원자 모형과 현대적 원자 모형은 수소 원자의 선 스펙트럼을 설명할 수 있다.
- ㄷ. 현대적 원자 모형은 불확정성 원리를 반영한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 그림 (가), (나)는 주 양자수(n)가 $n=2$ 이고, 궤도 양자수(l)가 각각 $l=0$, $l=1$ 일 때 수소 원자에서 전자의 확률 밀도를 3차원상의 전자 구름의 형태로 순서 없이 나타낸 것이다.

[23027-0304]



현대적 원자 모형에서 전자를 발견할 확률은 3차원으로 분포된 전자 구름의 형태를 보이고, 전자의 파동 함수는 3개의 양자수 n , l , m 으로 나타낸다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

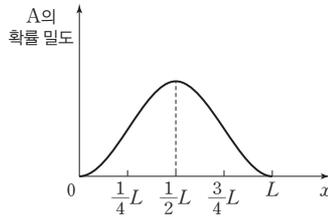
- ㄱ. 전자의 에너지 준위는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.
- ㄴ. 궤도 양자수의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.
- ㄷ. (나)에서 전자가 가질 수 있는 자기 양자수의 개수는 1개이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

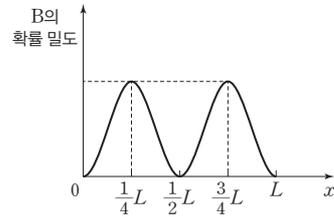
확률 밀도 함수 $|ψ|^2$ 과 그 주
 변의 부피의 곱은 그 공간에
 서 입자를 발견할 확률이고,
 $0 \leq x \leq L$ 에 대한 확률 밀도
 함수의 합은 1이다.

05 그림 (가), (나)는 $x=0, x=L$ 인 위치에 있는 벽에 의해 $0 \leq x \leq L$ 인 1차원 공간에 갇혀 있는 입자 A, B의 확률 밀도를 각각 나타낸 것이다.

[23027-0305]



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

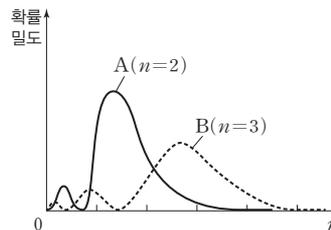
- ㄱ. $x = \frac{1}{2}L$ 인 위치에서, A가 발견될 확률은 B가 발견될 확률보다 크다.
- ㄴ. B가 발견될 확률은 $x = \frac{1}{4}L$ 인 위치에서와 $x = \frac{3}{4}L$ 인 위치에서가 같다.
- ㄷ. $0 \leq x \leq L$ 에서 A의 확률 밀도 함수가 x 축과 이루는 넓이와 $0 \leq x \leq \frac{1}{2}L$ 에서 B의 확률 밀도 함수가 x 축과 이루는 넓이는 서로 같다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

원자 내에서 전자가 발견될 확
 률의 합은 A에서와 B에서가
 같다.

06 그림의 A, B는 수소 원자에서 주 양자수(n)가 각각 $n=2, n=3$ 인 상태의 전자가 발견될 확률 밀도를 원자핵으로부터의 거리 r 에 따라 나타낸 것으로, A, B의 궤도 양자수 l 은 모두 0이다.

[23027-0306]



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 확률 밀도 함수 그래프가 r 축과 이루는 넓이는 A가 B보다 크다.
- ㄴ. 자기 양자수의 개수는 A일 때가 B일 때보다 작다.
- ㄷ. A의 전자가 $n=1$ 인 상태로 전이할 때 방출하는 에너지는 B의 전자가 $n=1$ 인 상태로 전이할 때 방출하는 에너지보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ