

수능 특강

과학탐구영역 **물리학II**

이 책의 차례 Contents

I 역학적 상호 작용

01	힘과 평형	6
02	물체의 운동 (1)	17
03	물체의 운동 (2)	34
04	일반 상대성 이론	51
05	일과 에너지	65

II 전자기장

06	전기장과 정전기 유도	86
07	저항의 연결과 전기 에너지	100
08	트랜지스터와 축전기	110
09	전류에 의한 자기장	123
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.

[22027-0001]
1. 아래 그래프를 이해한 내용으로 가장 적절한 것은?

※ 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

이 책의 구성과 특징 Structure

교육과정의 핵심 개념 학습과 문제 해결 능력 신장

[EBS 수능특강]은 고등학교 교육과정과 교과서를 분석·종합하여 개발한 교재입니다.

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



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.

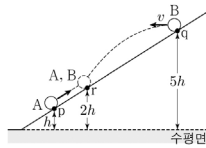
2점 수능 테스트는 필수적인 개념을 간략한 문제 상황으로 다루고 있으며, 3점 수능 테스트는 다양한 개념을 복잡한 문제 상황이나 탐구 활동에 적용하였습니다.

I

역학적 상호 작용

2022학년도 대학수학능력시험 15번

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



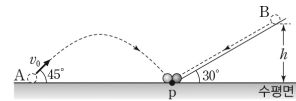
v 는? (단, 중력 가속도는 g 이고, 물체는 동일 연직면에서 운동하며, 물체의 크기, 마찰, 공기 저항은 무시한다.)

- ① $\frac{\sqrt{11gh}}{2}$ ② $\sqrt{3gh}$ ③ $\frac{\sqrt{13gh}}{2}$
 ④ $\frac{\sqrt{14gh}}{2}$ ⑤ $\frac{\sqrt{15gh}}{2}$

2022학년도 EBS 수능특강 27쪽 12번

[21027-0030]

12. 그림과 같이 수평면에서 공 A를 수평 방향에 대해 45° 의 각을 이루며 v_0 의 속력으로 던지는 순간, 경사각이 30° 인 빗면 위의 높이가 h 인 지점에 정지해 있던 공 B를 가만히 놓았더니 경사면이 끝나는 지점 p에 동시에 도달한다.



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

보기

ㄱ. B가 빗면을 내려오는 데 걸린 시간은 $\frac{\sqrt{2}}{g}v_0$ 이다.

ㄴ. $h = \frac{v_0^2}{2g}$ 이다.

ㄷ. A의 최고점에서의 속력과 B가 p에 도달하는 순간의 속력은 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

연계 분석

수능 15번 문항은 수능특강 27쪽 12번 문항과 연계하여 출제되었다. 두 문항은 포물선 운동을 하는 물체와 경사면에서 등가속도 직선 운동을 하는 물체가 서로 만나는 상황을 제시했다는 점에서 높은 유사성을 보인다. 두 문항 모두 두 물체가 운동한 시간이 같다는 조건을 이용하지만 수능특강 문항은 경사각이 제시되었고, 수능 문항은 경사각이 제시되어 있지 않다는 점에서 차이가 있다. 수능 문항이 제시된 각 지점의 높이 조건을 이용하여 경사면의 가속도와 경사각을 찾고 포물선 운동을 하는 물체의 처음 속력을 찾아내야 하므로 고난도 문항이라고 할 수 있다.

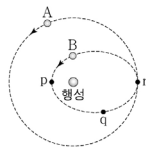
학습 대책

수능 15번 문항과 같이 포물선 운동을 하는 다소 복잡한 상황의 문항들을 빠른 시간 내에 보다 효율적으로 계산하기 위해서는 등가속도 직선 운동을 하는 물체, 포물선 운동을 하는 물체의 운동에서 자주 사용하는 공식들은 따로 정리하고 암기해야 한다. 따라서 연계 교재의 문항을 풀 때, 기본 공식들이 적용되는 여러 가지 상황에 대해 충분히 고민하고 연습하면서 문항 적응력을 높여야 한다.

수능 _ EBS 교재 연계 사례

2022학년도 대학수학능력시험 7번

7. 그림과 같이 위성 A는 행성을 중심으로 하는 원 궤도를, 위성 B는 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동하고 있다. 점 p는 B가 행성으로부터 가장 가까운 지점이고, 점 q는 B의 공전 궤도상의 점이다. B가 행성으로부터 가장 먼 지점 r에서 A, B의 궤도가 접한다. B에 작용하는 중력의 크기는 p에서 r에서의 9배이다. B가 p에서 q까지 가는 데 걸리는 시간은 T 이고, B의 공전 주기는 $6T$ 이다.



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

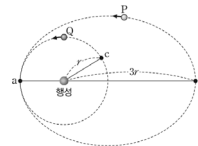
<보기>

- ㄱ. A의 공전 주기는 $\frac{9\sqrt{6}}{2}T$ 이다.
- ㄴ. B가 q에서 r까지 가는 데 걸리는 시간은 $2T$ 이다.
- ㄷ. r에서 속력은 A가 B보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2022학년도 EBS 수능특강 48쪽 8번

08 [21027-0062]
그림과 같이 위성 P, Q가 각각 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도와 행성을 중심으로 하는 원 궤도를 따라 공전한다. 점 a와 b는 각각 P가 행성으로부터 가장 가까운 지점과 가장 먼 지점이고 점 c는 Q의 궤도 상의 점이다. a에서 P와 Q의 궤도가 만나고, 행성에서 b, c까지의 거리는 각각 $3r$, r 이다.



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

[보기]

- ㄱ. 주기는 P가 Q의 $3/3$ 배이다.
- ㄴ. a에서 P의 가속도의 크기와 c에서 Q의 가속도의 크기는 같다.
- ㄷ. a를 지날 때 속력은 Q가 P보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

연계 분석

수능 7번 문항은 수능특강 48쪽 8번 문항과 연계하여 출제되었다. 두 문항 모두 행성을 중심으로 원운동을 하는 위성과 동일한 행성을 한 초점으로 타원 운동을 하는 위성의 공전 궤도를 제시하였고, 두 위성의 공전 주기, 특정한 지점에서 두 위성의 속력 등을 비교하여 물어본다는 점에서 높은 유사성을 보인다. 수능특강 문항에서는 궤도상의 각 지점이 행성으로부터 떨어진 거리를 직접 제시하였지만 수능 문항에서는 타원 운동을 하는 위성에 작용하는 중력의 상대적인 크기와 타원 궤도상의 두 지점을 위성이 운동하는 시간을 제시하여 주어진 조건에서 거리를 찾아 문제를 해결해야 한다는 점에서 차이가 있다.

학습 대책

수능 7번 문항과 같이 최근 케플러 법칙 단원에서는 타원 궤도 법칙, 면적 속도 일정 법칙, 조화 법칙을 종합적으로 적용하여 두 위성에 작용하는 중력, 가속도, 속력 등을 정량적으로 계산하여 비교하는 문항들이 많이 출제되고 있다. 따라서 수능특강을 학습할 때 단순히 답을 찾는 데 그치지 않고, 각 단원에서 제시하는 자료들을 면밀히 정량적으로 분석하며 조건과 질문 내용을 스스로 재구성하며 학습해야 한다.

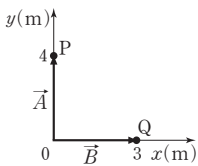
개념 체크

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

1. 다음 물리량 중 벡터량에 해당하는 것을 고르시오.

- | | |
|-------|----------|
| ㄱ. 속도 | ㄴ. 시간 |
| ㄷ. 힘 | ㄹ. 이동 거리 |

[2~4] 그림은 xy 평면에서 원점으로부터 점 P, Q를 향하는 벡터 \vec{A} , \vec{B} 를 나타낸 것이다.



- $\vec{A} + \vec{B}$ 의 크기는 () m이다.
- $\vec{A} - \vec{B}$ 의 크기는 () m이다.
- $\vec{A} + \vec{B}$ 의 방향과 $\vec{A} - \vec{B}$ 의 방향은 서로 반대이다. (○, ×)

정답

1. ㄱ, ㄷ
2. 5
3. 5
4. ×

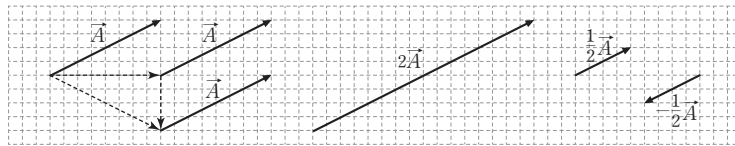
1 힘의 합성과 분해

(1) 스칼라량과 벡터량

- 스칼라량: 길이, 질량, 시간, 이동 거리, 속도, 에너지 등과 같이 크기만으로 표시할 수 있는 물리량을 스칼라(scalar)량이라고 한다.
- 벡터량: 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: 벡터량 \vec{A} 의 크기는 $|\vec{A}|$ 와 같이 절댓값으로 나타내거나 A 와 같이 화살표를 쓰지 않고 나타낸다.

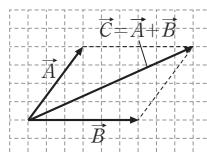
과학 돋보기 벡터의 여러 가지 특징

- 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.
- $-\vec{A}$ 는 \vec{A} 와 크기는 같고 방향은 반대이다.

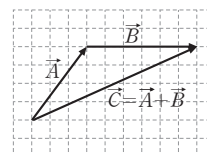


(2) **벡터의 합성**: 둘 이상의 벡터를 같은 효과를 갖는 하나의 벡터로 나타내는 것을 벡터의 합성이라고 한다.

- 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.
- 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.

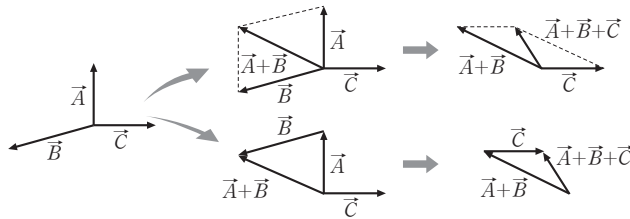


평행사변형법



삼각형법

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



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

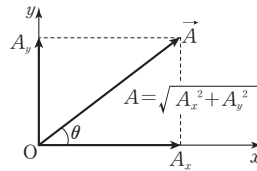
$$\vec{A} - \vec{B} = \vec{A} + (-\vec{B}) = \vec{A} - \vec{B}$$

(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.

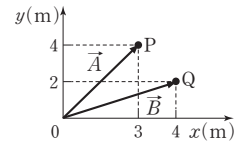
$$A_x = A \cos \theta, A_y = A \sin \theta, A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$$



개념 체크

● 벡터의 분해: 한 개의 벡터를 두 개 이상의 벡터로 나누는 것

[1-3] 그림은 xy 평면에서 원점으로부터 점 P, Q를 향하는 벡터 \vec{A}, \vec{B} 를 나타낸 것이다.

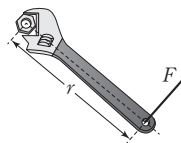


- \vec{A} 의 x 성분의 크기는 () m이고, y 성분의 크기는 () m이다.
- \vec{B} 의 x 성분의 크기는 () m이고, y 성분의 크기는 () m이다.
- $\vec{A} + \vec{B}$ 의 x 성분의 크기는 () m이고, y 성분의 크기는 () m이다.

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> $l_1 m g = l_2 F + l_3 m_0 g \rightarrow F = \frac{l_1 m - l_3 m_0}{l_2} g$	<p>추를 일정한 속도로 끌어올리는 동안 돌림힘의 합이 0이다.</p> $a F = b m g \rightarrow F = \frac{b}{a} m g$

정답

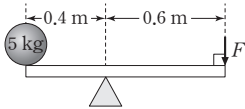
- 3, 4
- 4, 2
- 7, 6

개념 체크

- **돌림힘**: 물체의 회전 운동을 변화시키는 원인
- **돌림힘의 크기**: 회전 팔의 길이와 회전 팔에 수직 방향으로 작용하는 힘의 크기에 비례

$$\tau = r \times F$$

[1-2] 그림과 같이 질량이 5 kg 인 물체가 놓여있는 질량을 무시할 수 있는 막대에 크기가 F 인 힘을 작용하였더니 막대가 수평으로 정지해 있다. 받침점으로부터 물체까지의 수평 거리는 0.4 m이고, 받침점으로부터 크기가 F 인 힘이 작용하는 지점까지의 거리는 0.6 m이다. (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이다.)



1. 받침점에서 크기가 F 인 힘에 의한 돌림힘의 크기는 () $\text{N}\cdot\text{m}$ 이고, F 의 크기는 () N 이다.
2. 받침대가 막대를 받치는 힘의 크기는 몇 N 인가?

정답

1. 20, $\frac{100}{3}$
2. $\frac{250}{3} \text{ N}$

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

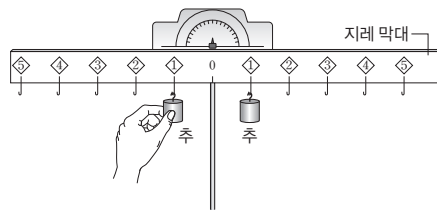
- 힘의 평형: 물체에 작용하는 알짜힘이 0이다.
- 돌림힘의 평형: 물체에 작용하는 돌림힘의 합이 0이다.

② 평형 상태에서 가능한 운동: 정지, 등속 직선 운동

탐구자료 살펴보기 막대 수평 맞추기

과정

- (1) 막대의 중심을 스탠드에 걸어 막대를 수평으로 맞춘다.
- (2) 막대의 왼쪽 부분의 눈금과 추의 개수를 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	—	—	—

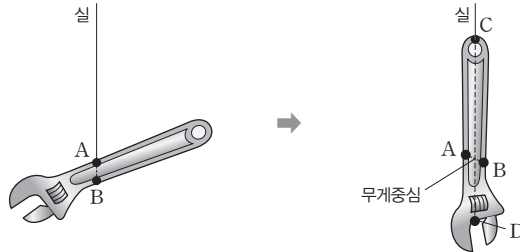
막대 왼쪽의 (눈금×추의 개수)의 합과 막대 오른쪽의 (눈금×추의 개수)의 합이 같을 때 막대는 수평을 유지한다.

point

막대가 수평을 유지할 때 막대에 작용하는 돌림힘의 합은 0이다.

(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.

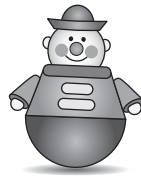


(3) 구조물의 안정성

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



모빌



오뎅이



아치형 다리

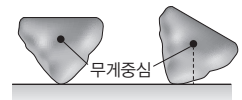
개념 체크

● **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. 물체의 모든 부분에 작용하는 중력을 더한 합력의 작용점 () 이라고 한다.
2. 구조물은 바닥이 (넓을수록, 좁을수록), 무게중심이 (높을수록, 낮을수록) 안정성이 높다.
3. 그림 (가)의 물체는 약간 기울었을 때 무게중심이 (위로, 아래로) 이동하므로 (안정한, 불안정한) 평형이고, (나)의 물체는 약간 기울었을 때 무게중심이 (위로, 아래로) 이동하므로 (안정한, 불안정한) 평형이다.

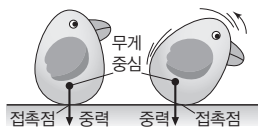


(가)

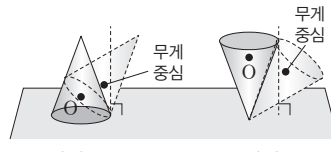


(나)

과학 돋보기 **안정한 평형과 불안정한 평형**



오뎅이의 무게중심 위치는 낮기 때문에 오뎅이가 기울어지면 무게중심이 위로 올라간다. 따라서 오뎅이를 밀었다 놓으면 접촉점을 축으로 하는 중력에 의한 돌림힘이 오뎅이를 원래 상태로 돌아가게 한다.



(가)

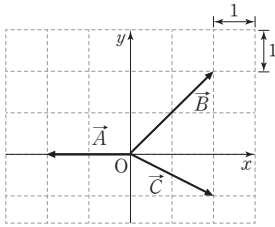
(나)

바닥면으로부터 물체의 무게중심까지의 거리는 (가)에서 (나)에서보다 작다. (가)의 물체를 약간 기울이면 무게중심의 위치가 올라가고 (나)의 물체를 약간 기울이면 무게중심의 위치가 내려간다. 따라서 (가)의 물체는 안정한 평형 상태에 있고, (나)의 물체는 불안정한 평형 상태에 있다.

정답

1. 무게중심
2. 넓을수록, 낮을수록
3. 위로, 안정한, 아래로, 불안정한

01 [22027-0001] 그림은 xy 평면에 벡터 $\vec{A}, \vec{B}, \vec{C}$ 를 나타낸 것이다.

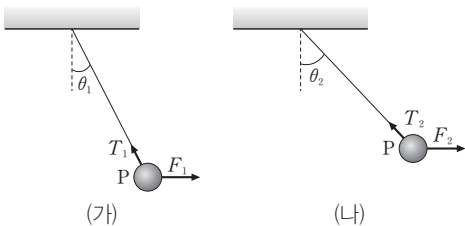


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. $|\vec{B}| = \sqrt{2}|\vec{A}|$ 이다.
 - ㄴ. $|\vec{A} + \vec{C}| < |\vec{B}|$ 이다.
 - ㄷ. $2\vec{A} + \vec{B} + \vec{C}$ 는 $+y$ 방향이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

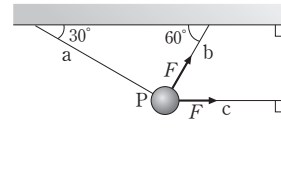
02 [22027-0002] 그림 (가), (나)는 실에 매달린 물체 P가 수평 방향으로 크기가 각각 F_1, F_2 인 힘으로 당겨져 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. (가), (나)에서 실이 연직선에 대해 이루는 각은 각각 θ_1, θ_2 이며, $\theta_1 < \theta_2$ 이다. (가), (나)에서 실이 P에 작용하는 힘의 크기는 각각 T_1, T_2 이다.



T_1, T_2 와 F_1, F_2 를 옳게 비교한 것은? (단, 물체의 크기, 실의 질량은 무시한다.)

- ① $T_1 > T_2$ $F_1 > F_2$ ② $T_1 > T_2$ $F_1 < F_2$
- ③ $T_1 < T_2$ $F_1 > F_2$ ④ $T_1 < T_2$ $F_1 < F_2$
- ⑤ $T_1 = T_2$ $F_1 = F_2$

03 [22027-0003] 그림은 물체 P가 실 a, b, c에 매달려 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. b, c가 물체에 작용하는 힘의 크기는 F 로 같다.



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

- 보기
- ㄱ. P에 작용하는 알짜힘은 0이다.
 - ㄴ. a가 P를 당기는 힘의 크기는 $\sqrt{3}F$ 이다.
 - ㄷ. P의 무게는 $3F$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 [22027-0004] 그림은 받침대에 올려진 막대의 양 끝에 연직 방향으로 크기가 각각 F_1, F_2 인 힘을 작용하였더니 막대가 수평을 유지하고 있는 모습을 나타낸 것이다. 받침점으로부터 크기가 F_1 인 힘이 작용하는 지점까지의 거리는 크기가 F_2 인 힘이 작용하는 지점까지의 거리보다 작다.

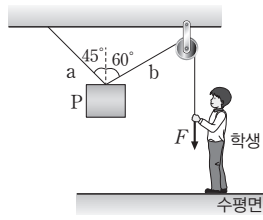


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 막대의 밀도는 균일하고, 막대의 두께와 폭은 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. 막대에 작용하는 돌림힘의 합은 0이다.
 - ㄴ. $F_1 > F_2$ 이다.
 - ㄷ. 받침대가 막대에 작용하는 힘의 크기는 $F_1 + F_2$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 [22027-0005] 그림은 물체 P가 실 a, b에 매달려 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. 학생이 b를 연직 방향으로 당기는 힘의 크기는 F이다. P의 무게는? (단, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

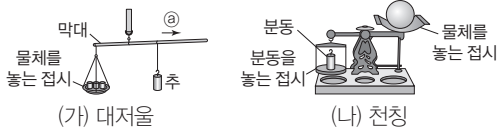


- ① $\frac{\sqrt{2}}{2}F$ ② $\frac{\sqrt{3}}{2}F$ ③ $\frac{1+\sqrt{2}}{2}F$
 ④ $\frac{1+\sqrt{3}}{2}F$ ⑤ $\frac{\sqrt{2}+\sqrt{3}}{2}F$

06 [22027-0006] 다음은 조선시대에 사용했던 저울에 대한 설명이다.

조선시대 저울을 살펴보면, 돌림힘의 평형을 이용해 질량을 비교하는 대칭 저울이 대다수이다. 대칭 저울은 기준을 정하고, 기준보다 무겁거나 가벼운 것으로 비교를 해가며 질량을 측정한다.

- (가) 대저울은 눈금을 매기고 물체의 질량에 따라 추를 이동시켜서 평형을 이루었을 때 물체의 질량을 알아내는 저울이다.
- (나) 천칭은 지렛대 양쪽에 똑같은 크기의 저울판을 달고 한쪽은 계측할 물체를 놓고 다른 한쪽은 분동(쇠로 된 추)을 놓아서 평형을 이루었을 때 분동의 질량으로 물체의 질량을 계측하는 저울이다.



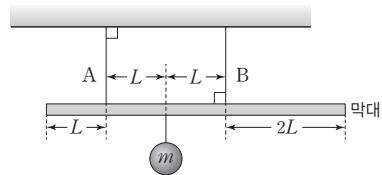
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. (가)에서 대저울의 막대가 수평으로 평형을 이루었을 때 막대에 작용하는 돌림힘의 합은 0이다.
- ㄴ. (가)에서 접시에 물체를 추가로 놓았을 때 막대를 수평으로 유지하기 위한 추의 이동 방향은 @이다.
- ㄷ. (나)에서 물체를 놓는 접시에 놓는 물체의 질량을 증가시킬 때, 지렛대를 수평으로 유지하기 위해서는 분동을 놓는 접시에 놓는 분동의 개수를 증가시킨다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

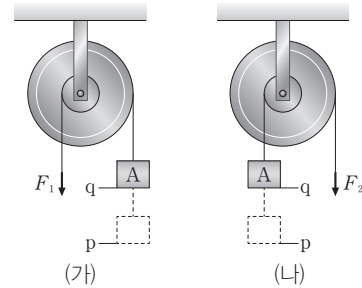
07 [22027-0007] 그림과 같이 질량이 m인 물체가 매달려 있는 길이가 5L인 막대가 실 A, B에 매달려 수평으로 평형을 유지하고 있다. 실이 막대를 당기는 힘의 크기는 A가 B의 $\frac{2}{3}$ 배이다.



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

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

08 [22027-0008] 그림 (가)는 축바퀴의 큰 바퀴에 실로 연결된 물체 A를 기준선 p에서 기준선 q까지 일정한 속력으로 들어 올리는 것을 나타낸 것이다. 작은 바퀴에 연결된 실을 당기는 힘의 크기는 F_1 이다. 그림 (나)는 (가)의 축바퀴에서 작은 바퀴에 A를 매달고, 큰 바퀴에 연결된 실에 크기가 F_2 인 힘을 작용하여 A를 p에서 q까지 일정한 속력으로 들어 올리는 것을 나타낸 것이다.



A가 p에서 q까지 운동하는 동안, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A의 크기, 실의 질량, 축바퀴의 두께와 모든 마찰은 무시한다.)

보기

- ㄱ. A의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량은 (가)에서와 (나)에서가 같다.
- ㄴ. F_1 은 F_2 보다 크다.
- ㄷ. 크기가 F_1 인 힘이 한 일은 크기가 F_2 인 힘이 한 일보다 크다.

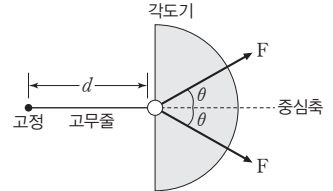
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

고무줄의 늘어난 길이가 길수록 고무줄이 고리에 작용하는 탄성력의 크기는 커진다.

01 [22027-0009] 다음은 힘의 평형에 대한 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 마찰이 없는 수평면에서 고무줄의 한 끝은 고정하고, 다른 한쪽은 고리를 끼운 후 각도기 위에 장치한다.
- (나) 중심축에 대한 각 θ 와 힘 F 의 크기를 변화시킨 실험 I, 실험 II, 실험 III을 수행하며 고무줄이 정지했을 때의 길이 d 를 측정한다.



[실험 결과]

구분	θ	F의 크기	d
I	30°	F_0	L
II	45°	F_0	㉠
III	60°	㉡	L

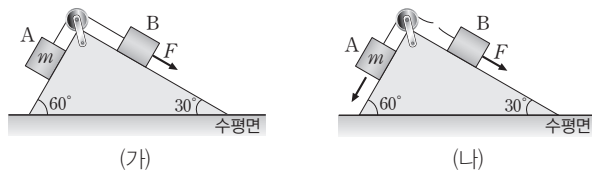
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. I에서 고무줄에 작용한 탄성력의 크기는 F_0 보다 크다.
- ㄴ. ㉠은 L 보다 크다.
- ㄷ. ㉡은 F_0 보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

02 [22027-0010] 그림 (가)는 질량이 m 인 물체 A와 실로 연결된 물체 B를 빗면과 나란한 방향으로 크기가 F 인 힘으로 당겼더니 A, B가 정지해 있는 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 A와 B를 연결한 실을 끊었더니 A, B가 각각 등가속도 운동을 하는 것을 나타낸 것이다. 이때 가속도의 크기는 A가 B의 $\frac{\sqrt{3}}{2}$ 배이다.



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

보기

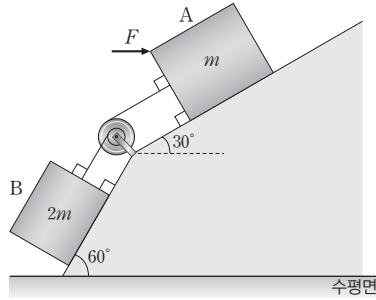
- ㄱ. B의 질량은 $2m$ 이다.
- ㄴ. F 는 $\frac{\sqrt{3}}{4}mg$ 이다.
- ㄷ. (나)에서 경사면이 물체에 작용하는 힘의 크기는 A가 B의 $\frac{3}{4}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

(나)에서 A와 B를 연결한 실이 끊어졌을 때, A에 작용하는 알짜힘은 A에 작용하는 중력의 경사면과 나란한 성분이 고, B에 작용하는 알짜힘의 크기는 B에 작용하는 중력의 경사면과 나란한 성분과 F 의 합이다.

03 [22027-0011]

그림은 물체 A, B가 축바퀴와 연결된 실에 매달려 각각 경사각이 30°, 60°인 빗면에 정지해 있는 것을 나타낸 것이다. A는 큰 바퀴에, B는 작은 바퀴에 연결되어 있다. A에는 수평 방향으로 크기가 F 인 힘이 작용하며, 바퀴의 반지름은 큰 바퀴가 작은 바퀴의 2배이다. A, B의 질량은 각각 m , $2m$ 이다.



작은 바퀴에 연결된 실이 B를 당기는 힘의 크기는 큰 바퀴에 연결된 실이 A를 당기는 힘의 크기의 2배이다.

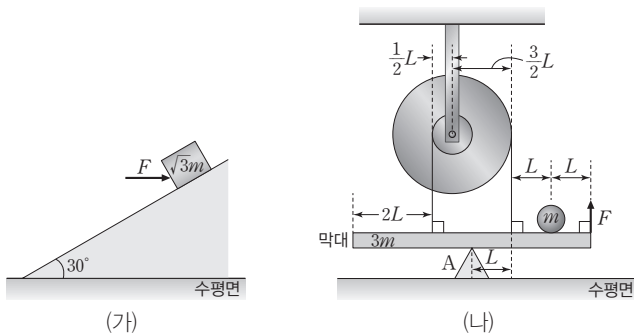
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g 이고, 축바퀴의 두께, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. 큰 바퀴에 연결된 실이 A를 당기는 힘의 크기는 $\frac{\sqrt{3}}{2}mg$ 이다.
 - ㄴ. F 의 크기는 $\left(\frac{3+\sqrt{3}}{3}\right)mg$ 이다.
 - ㄷ. 빗면이 물체에 작용하는 힘의 크기는 A가 B의 $\frac{\sqrt{3}}{2}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 [22027-0012]

그림 (가)는 마찰이 없는 경사면에서 질량이 $\sqrt{3}m$ 인 물체에 수평면과 나란한 방향으로 크기가 F 인 힘을 작용하였더니 물체가 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 받침대 A 위에 놓인 길이 6L인 막대가 축바퀴와 실로 연결되어 수평을 이루고 있는 모습을 나타낸 것이다. 막대에 올려진 물체의 질량은 m 이고, 질량이 $3m$ 인 막대의 오른쪽 끝에서 연직 위 방향으로 당기는 힘의 크기는 F 이다. 축바퀴의 작은 바퀴와 큰 바퀴의 반지름은 각각 $\frac{1}{2}L$, $\frac{3}{2}L$ 이다.



(가)에서 물체에 작용하는 중력의 경사면과 나란한 성분은 F 의 경사면과 나란한 성분과 크기가 같고 방향이 반대이다.

(나)에서 A가 막대를 받치는 힘의 크기는? (단, 중력 가속도는 g 이고, 막대의 밀도는 균일하며, 물체의 크기, 막대의 두께와 폭, 실의 질량, 축바퀴의 두께 및 모든 마찰은 무시한다.)

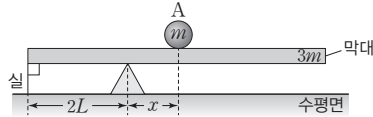
- ① $\frac{1}{2}mg$ ② mg ③ $\frac{3}{2}mg$ ④ $2mg$ ⑤ $\frac{5}{2}mg$

막대의 길이는 $6L$ 이므로 막대의 무게중심은 받침점으로부터 오른쪽 방향으로 L 만큼 떨어진 지점이다.

A가 p로부터 멀수록 p를 회전축으로 하는 A의 무게에 의한 돌림힘의 크기는 증가한다.

05 [22027-0013]

그림과 같이 길이가 $6L$, 질량이 $3m$ 인 막대가 수평을 이루며 정지해 있다. 막대의 왼쪽 끝은 수평면과 실로 연결되어 있고, 막대의 왼쪽 끝으로부터 $2L$ 만큼 떨어진 지점에서 받침대가 막대를 받치고 있다. 막대 위에는 질량이 m 인 물체 A가 받침점으로부터 x 만큼 떨어진 지점에 정지해 있고, 받침대가 막대를 받치는 힘의 크기는 실이 막대를 당기는 힘의 크기의 3배이다.

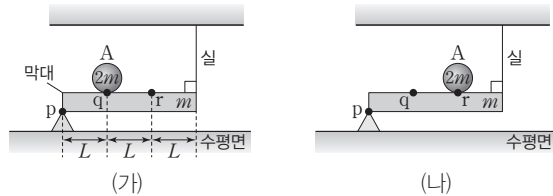


x 는? (단, 막대의 밀도는 균일하며, 막대의 두께와 폭, A의 크기는 무시한다.)

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

06 [22027-0014]

그림 (가)와 같이 질량이 m 인 막대의 왼쪽 끝 점 p를 받침대가 받치고 막대의 오른쪽 끝은 실에 매달려 막대가 수평을 이루며 정지해 있다. 막대의 점 q에는 질량이 $2m$ 인 물체 A가 정지해 있고, 막대의 길이는 $3L$ 이다. 그림 (나)는 (가)에서 A를 점 r에 놓았더니 막대가 수평을 이루며 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다.



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

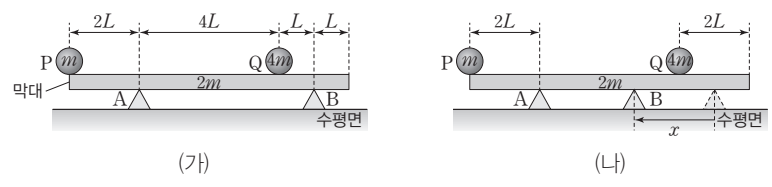
보기

ㄱ. p를 회전축으로 할 때, A의 무게에 의한 돌림힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.
 ㄴ. 받침대와 실이 막대에 작용하는 힘의 크기의 합은 (가)에서와 (나)에서가 같다.
 ㄷ. 실이 막대를 당기는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 $\frac{11}{7}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 [22027-0015]

그림 (가)와 같이 받침대 A, B 위에 올려진 막대가 수평으로 평형을 유지하고 있다. 길이가 $8L$ 인 막대 위에는 질량이 각각 m , $4m$ 인 물체 P, Q가 정지해 있다. 이때 A, B가 막대를 받치는 힘의 크기는 각각 F_A , F_B 이다. 그림 (나)는 (가)에서 B를 왼쪽으로 x 만큼 이동시켰을 때 막대가 계속 수평으로 평형을 유지하고 있는 모습을 나타낸 것이다. 막대의 질량은 $2m$ 이다.



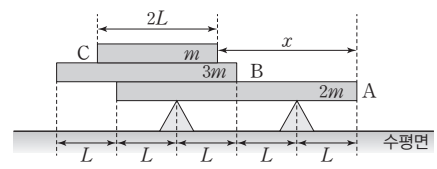
B를 왼쪽으로 움직여 막대의 평형이 깨지면 막대는 시계 방향으로 회전하고, 이때 A가 막대에 작용하는 힘은 0이다.

(가)에서 $\frac{F_A}{F_B}$ 와 (나)에서 x 의 최댓값으로 옳은 것은? (단, 막대의 밀도는 균일하고, 막대의 두께와 폭, P와 Q의 크기는 무시한다.)

- | | $\frac{F_A}{F_B}$ | x 의 최댓값 | | $\frac{F_A}{F_B}$ | x 의 최댓값 |
|---|-------------------|-----------------|---|-------------------|-----------------|
| ① | $\frac{15}{18}$ | $\frac{16}{7}L$ | ② | $\frac{17}{18}$ | $\frac{16}{7}L$ |
| ③ | $\frac{15}{18}$ | $\frac{17}{7}L$ | ④ | $\frac{17}{18}$ | $\frac{17}{7}L$ |
| ⑤ | $\frac{15}{18}$ | $\frac{18}{7}L$ | | | |

08 [22027-0016]

그림은 직육면체 막대 A, B가 수평으로 평형을 유지하고 있는 상태에서 막대 C를 A, B의 길이 방향으로 나란하게 놓은 모습을 나타낸 것이다. A, B, C의 길이는 각각 $4L$, $3L$, $2L$ 이고, 질량은 각각 $2m$, $3m$, m 이다. A, B, C가 수평으로 평형을 유지할 때, A의 오른쪽 끝으로부터 C의 오른쪽 끝까지의 거리 x 의 최솟값과 최댓값은 각각 x_1 , x_2 이다.



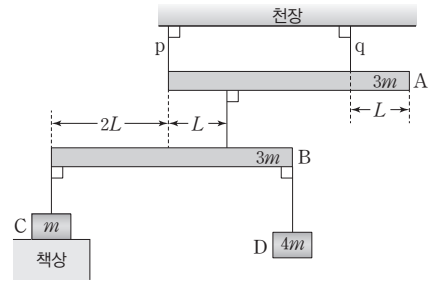
$x < x_1$ 일 때, C는 B 위에서 시계 방향으로 회전하고, $x > x_2$ 일 때 A는 시계 반대 방향으로 회전한다.

$\frac{x_1}{x_2}$ 은? (단, 막대의 두께와 폭은 같고, 밀도는 각각 균일하다.)

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

C에 작용하는 중력의 크기는 실이 C에 작용하는 힘의 크기와 책상이 C를 받치는 힘의 크기의 합과 같다.

09 [22027-0017] 그림은 길이와 질량이 같은 막대 A, B가 수평으로 평형을 유지하고 있는 모습을 나타낸 것이다. A, B의 길이는 $4L$ 이고 질량은 $3m$ 이다. A는 천장과 연결된 실 p, q에 매달려 있다. B에는 물체 C, D가 매달려 있고, C는 수평인 책상에 놓여 있다. C, D의 질량은 각각 m , $4m$ 이다. p, q가 A를 당기는 힘의 크기는 각각 T_p , T_q 이고, 책상이 C를 떠받치는 힘의 크기는 N 이다.

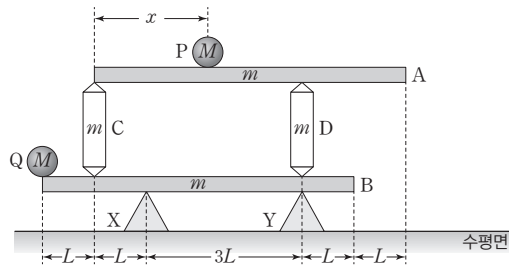


N 과 $\frac{T_p}{T_q}$ 로 옳은 것은? (단, 중력 가속도는 g 이고, 막대의 밀도는 균일하며, 막대의 두께와 폭, 물체의 크기, 실의 질량은 무시한다.)

- | | | | | | |
|---|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|
| | $\frac{N}{\frac{T_p}{T_q}}$ | | $\frac{N}{\frac{T_p}{T_q}}$ | | $\frac{N}{\frac{T_p}{T_q}}$ |
| ① | $\frac{1}{3}mg$ | $\frac{51}{35}$ | ② | $\frac{1}{3}mg$ | $\frac{53}{40}$ |
| | | | ③ | $\frac{2}{3}mg$ | $\frac{51}{35}$ |
| ④ | $\frac{2}{3}mg$ | $\frac{53}{40}$ | ⑤ | $\frac{2}{3}mg$ | $\frac{53}{35}$ |

두 막대는 수평으로 평형을 유지하고 있으므로 막대에 작용하는 돌림힘의 합과 알짜힘은 0이다.

10 [22027-0018] 그림과 같이 길이가 $6L$ 인 막대 A, B가 수평으로 평형을 유지하고 있다. A의 왼쪽 끝으로부터 x 만큼 떨어진 지점에 물체 P가 정지해 있고, B의 왼쪽 끝에 물체 Q가 정지해 있다. A와 B 사이에는 막대 C, D가 연직으로 세워져 있으며, 받침대 X, Y는 B를 떠받치고 있다. A, B, C, D의 질량은 m 으로 같고, P, Q의 질량은 M 으로 같다. C, D가 A를 떠받치는 힘의 크기는 각각 $2F$, $3F$ 이고, Y가 B를 떠받치는 힘의 크기는 $4F$ 이다.



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

보기

ㄱ. $M = \frac{2}{3}m$ 이다.

ㄴ. $x = \frac{3}{2}L$ 이다.

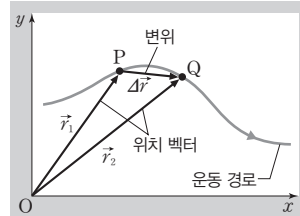
ㄷ. X가 B를 떠받치는 힘의 크기는 $10F$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

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

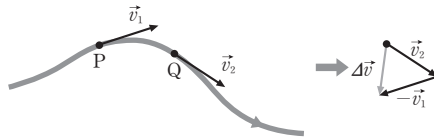
- ① 평균 속도: 변위를 걸린 시간으로 나눈 값이다. P에서 Q까지 걸린 시간이 Δt 이면 평균 속도 $\vec{v}_{\text{평}}$ 는 다음과 같다.

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

- 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 Q까지의 가속도 \vec{a} 는 다음과 같다.

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

- 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

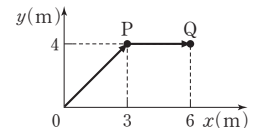
- 변위: 물체의 위치 변화량
- 속도(\vec{v}): 물체의 위치 변화량($\Delta\vec{r}$)을 걸린 시간(Δt)으로 나눈 값

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

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

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

[1-2] 그림은 xy 평면의 원점에서 점 P를 거쳐 점 Q까지 운동하는 물체의 운동 경로를 나타낸 것이다. 원점에서 Q까지 운동하는 데 걸린 시간은 2초이다.



1. 원점에서 Q까지 물체의 이동 거리는 () m이다.
2. 원점에서 Q까지 물체의 평균 속도의 크기는 () m/s이다.

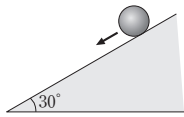
정답

1. 8
2. $\sqrt{13}$

개념 체크

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

[1~2] 그림은 경사각이 30° 이고 마찰이 없는 빗면에서 경사면을 따라 등가속도 직선 운동을 하는 물체를 나타낸 것이다. (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이다.)



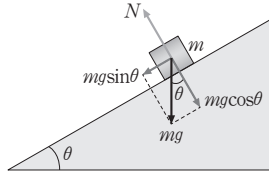
1. 빗면을 따라 운동하는 물체의 속력은 (증가, 감소) 한다.
2. 물체의 가속도의 크기는 () m/s^2 이다.

정답

1. 증가
2. 5

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. 중력 mg 는 빗면에 나란한 방향의 성분과 빗면에 수직인 성분으로 나누어 각각의 방향으로 운동을 생각해야 한다.



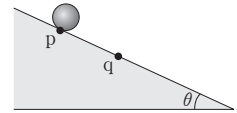
- 빗면에 나란한 방향으로 작용하는 힘의 크기: $mg \sin \theta$
- 빗면에 수직인 방향으로 작용하는 힘의 크기: $N - mg \cos \theta$

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

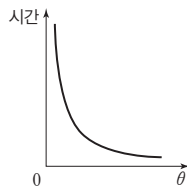
탐구자료 살펴보기 등가속도 운동

과정

- (1) 마찰이 없는 빗면의 점 p에 물체를 가만히 놓은 순간부터 빗면의 점 q에 도달하는 순간까지 걸린 시간을 측정한다.
- (2) 빗면의 경사각 θ 를 변화시키며 과정 (1)을 수행한다.



결과



경사각이 클수록 물체가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간이 짧다.

point

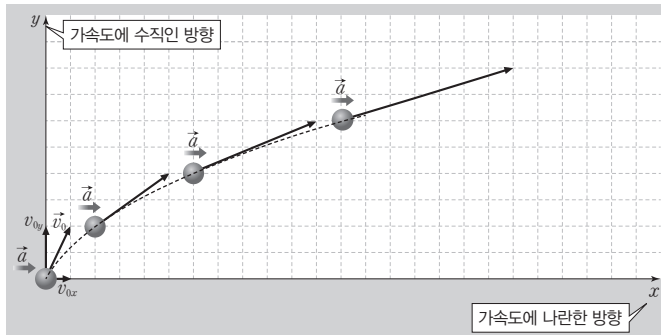
- 마찰이 없고 기울기가 θ 인 빗면에 놓인 질량이 m 인 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $mg \sin \theta$ 이고, 물체의 가속도의 크기는 $g \sin \theta$ 이다.
- p와 q 사이의 거리를 L , p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간을 t 라고 하면, $t = \sqrt{\frac{2L}{g \sin \theta}}$ 이다.

2 평면에서 등가속도 운동

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

(2) 평면에서 등가속도 운동의 분석

- ① 가속도가 일정하므로 가속도의 크기와 방향이 변하지 않는다.
- ② 가속도에 나란한 방향과 가속도에 수직인 방향으로 분해하면 운동을 쉽게 파악할 수 있다.
- ③ 가속도 방향을 x 방향으로 정하면 가속도의 y 성분은 0이다. 따라서 y 방향으로의 속도가 변하지 않는 등속도 운동을 하고, x 방향으로는 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

- ① 자유 낙하 운동: 가만히 놓은 물체가 중력의 영향만으로 낙하하는 운동이다.
- ② 중력 가속도: 진공에서 낙하하는 물체는 약 9.8 m/s^2 의 가속도로 등가속도 운동을 하는데, 이 값을 중력 가속도라 하고 g 로 표시한다.
- ③ 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

● 포물선 운동: 물체에 작용하는 알짜힘의 방향과 나란한 방향으로 등가속도 운동을 하고, 알짜힘의 방향과 수직인 방향으로는 등속도 운동을 한다.

1. 포물선 운동을 하는 물체의 가속도의 방향과 수직인 방향의 속력은 (증가, 감소, 일정)하/한다.
2. 포물선 운동을 하는 물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 (일정하다, 변한다).

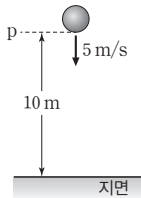
정답

1. 일정
2. 일정하다

개념 체크

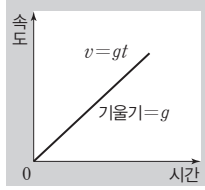
● **연직 아래로 던진 물체의 운동:** 등가속도 운동을 하는 물체가 낙하하는 동안 1초에 약 9.8 m/s씩 빨라진다.

[1~2] 그림과 같이 지면으로부터 높이가 10 m인 기준선 p에서 5 m/s의 속력으로 연직 방향으로 던져진 물체가 등가속도 운동을 한다. (단, 중력 가속도는 10 m/s²이다.)

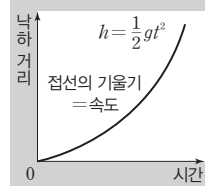


1. 물체가 지면에 도달하는 순간의 속력은 () m/s 이다.
2. p에서 지면에 도달할 때까지 걸린 시간은 () s이고 평균 속력은 () m/s 이다.
3. 지면에서 10 m/s의 속력으로 연직 위 방향으로 던져진 물체가 등가속도 운동을 한다. 물체가 올라간 최고점 높이는 () m 이다. (단, 중력 가속도는 10 m/s²이다.)

④ 시간에 따른 속도와 낙하 거리 그래프



속도-시간 그래프



낙하 거리-시간 그래프

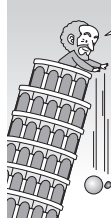
과학 돋보기 자유 낙하 하는 물체에 대한 생각

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



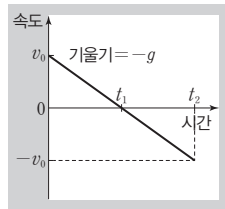
지구가 사과에게 작용하는 중력에 의해 사과가 떨어지는 거야.

(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.

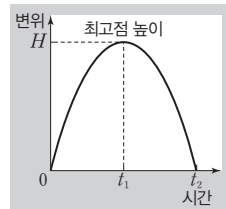
$$v = v_0 + gt, \quad h = v_0t + \frac{1}{2}gt^2, \quad v^2 - v_0^2 = 2gh$$

(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.

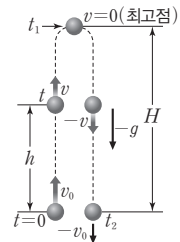
$$v = v_0 - gt, \quad h = v_0t - \frac{1}{2}gt^2, \quad v^2 - v_0^2 = -2gh$$



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. 15
2. 1, 10
3. 5

- ② 출발점으로 되돌아올 때까지 걸리는 시간 t_2 : 출발점으로 되돌아오면 올라간 높이가 0이므로, $h = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$ 에서 $h = 0, t = t_2$ 이다.

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

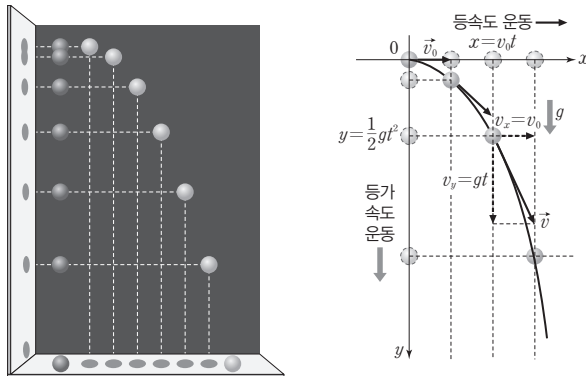
- ③ 최고점 높이 H : 물체가 올라가는 최고점 높이 H 는 다음과 같다.

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

- $v^2 - v_0^2 = -2gh$ 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 $H = \frac{1}{2} g t_1^2 = \frac{1}{2} g \left(\frac{v_0}{g} \right)^2 = \frac{v_0^2}{2g}$ 이다.
- 역학적 에너지가 보존되므로 $\frac{1}{2} m v_0^2 = m g H$ 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.

[수평 방향의 운동] 등속도 운동

가속도: $a_x = 0$

속도: $v_x = v_0$

변위: $x = v_0 t$

[연직 방향의 운동] 자유 낙하 운동

가속도: $a_y = g$

속도: $v_y = g t$

변위: $y = \frac{1}{2} g t^2$

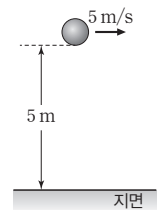
- ② 낙하 시간 T : 높이 H 에서 수평 방향으로 던진 물체가 바닥에 떨어질 때까지 걸리는 시간은 $H = \frac{1}{2} g T^2$ 에서 다음과 같다.

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

개념 체크

- 수평 방향으로 던져진 물체의 운동: 수평 방향으로는 처음 던져진 속력으로 등속도 운동을 하고, 연직 방향으로는 자유 낙하와 같은 등가속도 운동을 한다.

[1~2] 그림과 같이 지면으로부터 높이가 5 m인 지점에서 수평 방향으로 5 m/s의 속력으로 던져진 물체가 포물선 운동을 한다. (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이다.)



1. 물체를 던진 순간부터 지면에 도달할 때까지 걸린 시간은 () s이다.
2. 물체가 지면에 도달하는 순간 물체의 속력은 () m/s이다.

정답

1. 1
2. $5\sqrt{5}$

개념 체크

● 비스듬히 던져진 물체의 최고점의 높이: 물체를 수평면에서 속력 v 로 각 θ 를 이루며 던졌을 때, 최고점의 높이는 $\frac{(v\sin\theta)^2}{2g}$ 이다.

[1~2] 수평면에서 20 m/s의 속력으로 수평면에 대해 각 30° 를 이루며 던져진 물체가 포물선 운동을 한다. (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이다.)

1. 물체의 최고점의 높이는 () m이고, 최고점에서 물체의 속력은 () m/s이다.
2. 물체가 수평면에서 최고점까지 운동하는 데 걸린 시간은 () s이다.

③ 수평 도달 거리 R : 속도의 수평 성분이 v_0 로 일정하므로 수평 도달 거리는 다음과 같다.

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

④ 운동 경로: $x = v_0 t$ 와 $y = \frac{1}{2} g t^2$ 에서 t 를 소거하여 정리하면 다음과 같다.

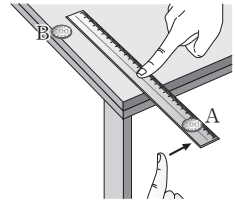
$$y = \frac{g}{2v_0^2} x^2$$

• y 가 x 에 대한 2차식이다. 따라서 운동 경로는 포물선이다.

탐구자료 살펴보기 수평 방향으로 던져진 동전의 운동 관찰하기

과정

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



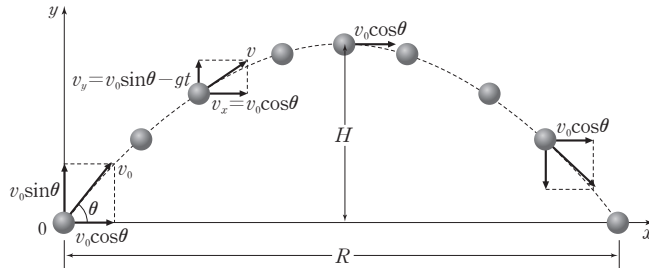
결과

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

point

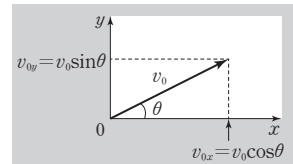
• 수평으로 던진 물체는 수평 방향으로는 등속도 운동을, 연직 방향으로는 자유 낙하와 같은 운동을 한다.

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



① 처음 속도: 물체를 속력 v_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.

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



정답

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

- 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 0이므로, $v_y = v_0 \sin \theta - gt$ 에서 $0 = v_0 \sin \theta - gt_1$ 이다. 따라서 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 던져진 물체의 수평 도달 거리: 물체를 수평면에서 속력 v 로 각 θ 를 이루며 던졌을 때, 수평 도달 거리는 $\frac{v^2 \sin 2\theta}{g}$ 이다.

1. 수평면에서 수평면에 대해 각 θ 를 이루며 던져진 물체가 포물선 운동을 한다. 처음 속력은 일정하게 유지하며 θ 만을 변화시켜 물체를 던졌을 때, 수평 도달 거리가 최대인 각은 ()이다. (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이다.)

2. 수평면에서 물체 A, B를 같은 속력으로 수평면에 대해 각각 20° , 70° 의 각을 이루며 발사시킨다. A, B의 수평 도달 거리는 각각 R_A , R_B 이고, 최고점의 높이는 각각 H_A , H_B 이다. R_A , R_B 와 H_A , H_B 를 비교하시오.

(1) R_A () R_B

(2) H_A () H_B

정답

1. 45

2. (1) = (2) <

개념 체크

● 비스듬히 던져진 물체의 속력:
 물체가 수평면에서 속력 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.

[1~2] 수평면에서 10 m/s의 속력으로 수평면에 대해 각 30° 를 이루며 던져진 물체가 포물선 운동을 한다. (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이다.)

1. 수평면에서 물체를 던진 순간으로부터 1초가 지났을 때 물체의 속력은 () m/s이다.
2. 수평면에서 물체를 던진 순간으로부터 다시 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간은 () s이다.

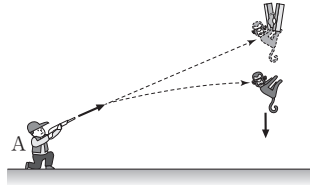
정답

1. 10
2. 1

과학 돋보기 원숭이 인형 맞추기

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

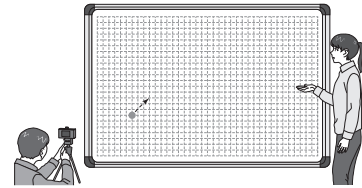
총알은 날아가면서 포물선 운동을 하고, 인형은 자유 낙하 한다. 이때 총알과 인형의 가속도가 같으므로, 인형의 입장에서 보면 총알은 등속 직선 운동을 한다. 따라서 A는 인형의 처음 위치를 겨냥해야 떨어지는 인형을 맞힐 수 있다.



탐구자료 살펴보기 비스듬히 던진 물체의 운동 동영상 분석

과정

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



결과

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

결과 분석

• 수평 방향

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

→ 수평 방향으로는 5 m/s의 일정한 속도로 운동한다.

• 연직 방향

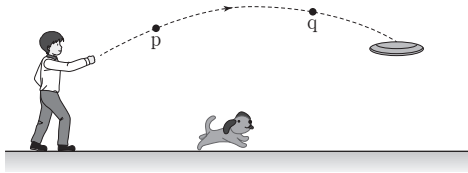
시간(s)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
위치(m)	0	0.245	0.392	0.441	0.392	0.245	0
구간 변위(m)		0.245	0.147	0.049	-0.049	-0.147	-0.245
구간 속도(m/s)		2.45	1.47	0.49	-0.49	-1.47	-2.45
가속도(m/s ²)			-9.8	-9.8	-9.8	-9.8	-9.8

→ 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 [22027-0019] 그림은 물체가 점 p, q를 지나는 곡선 경로를 따라 운동하는 것을 나타낸 것이다.

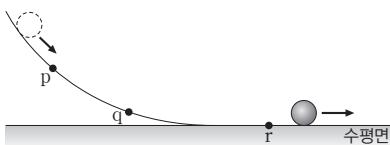


p에서 q까지 물체의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 가속도 운동이다.
 - ㄴ. 변위의 크기는 이동 거리보다 크다.
 - ㄷ. 평균 속도의 크기는 평균 속력과 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

02 [22027-0020] 그림은 물체가 점 p, q, r를 지나며 운동하는 것을 나타낸 것이다. p, q는 곡면상의 점이고, r는 수평면상의 점이다.

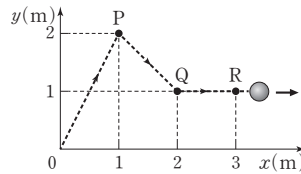


물체의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기, 공기 저항, 모든 마찰은 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. 속력은 p에서가 q에서보다 작다.
 - ㄴ. 평균 속력은 p에서 q까지가 p에서 r까지보다 작다.
 - ㄷ. q에서 r까지 운동하는 동안 평균 속도의 크기는 평균 속력보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 [22027-0021] 그림은 xy 평면에서 시간 $t=0$ 일 때 원점에서 출발하여 점 P, Q, R를 지나는 물체의 운동 경로를 나타낸 것이다. 표는 물체가 원점에서 R까지 운동하는 동안 각 지점을 지나는 시간을 나타낸 것이다.



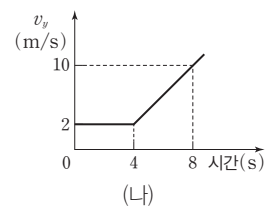
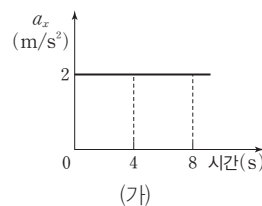
위치	원점	P	Q	R
시간(초)	0	2	3	5

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

- 보기
- ㄱ. 원점에서 Q까지 변위의 크기는 이동 거리보다 크다.
 - ㄴ. 원점에서 P까지 평균 속력은 Q에서 R까지 평균 속력보다 크다.
 - ㄷ. 원점에서 R까지 평균 속도의 크기는 $\frac{\sqrt{10}}{5}$ m/s이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

04 [22027-0022] 그림은 xy 평면에서 운동하는 물체의 가속도의 x 성분 a_x 와 속도의 y 성분 v_y 를 시간에 따라 나타낸 것이다. 0초일 때 물체의 운동 방향은 $+y$ 방향이다.

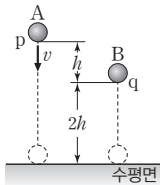


물체의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 1초부터 3초까지 평균 속도의 크기는 평균 속력보다 작다.
 - ㄴ. 5초부터 7초까지 물체의 운동 경로는 직선이다.
 - ㄷ. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 3초일 때가 5초일 때보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

05 [22027-0023] 그림은 연직 방향으로 직선 운동하는 물체 A가 속도 v 로 점 p를 지나는 순간 물체 B를 점 q에서 가만히 놓은 것을 나타낸 것이다. p, q의 높이는 각각 $3h, 2h$ 이고, A, B는 수평면에 동시에 도달한다.

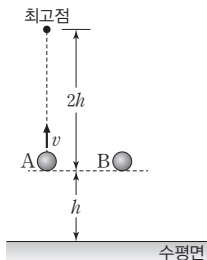


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기, 공기 저항은 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. 물체가 낙하하는 동안 가속도의 크기는 A와 B가 같다.
 - ㄴ. A가 p를 지난 순간부터 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간은 $\frac{2h}{v}$ 이다.
 - ㄷ. 수평면에 도달하는 순간 물체의 속력은 A가 B보다 v 만큼 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

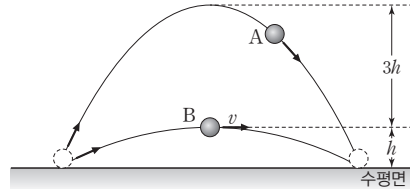
06 [22027-0024] 그림은 수평면으로부터 높이가 h 인 지점에서 물체 A를 연직 방향으로 속도 v 로 던지는 순간 같은 높이에서 물체 B를 가만히 놓은 모습을 나타낸 것이다. 수평면으로부터 A의 최고점의 높이는 $3h$ 이다.



B가 수평면에 도달하는 순간 수평면으로부터 A의 높이는? (단, A, B의 크기, 공기 저항은 무시한다.)

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

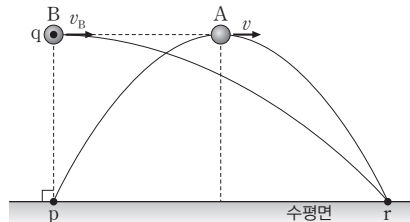
07 [22027-0025] 그림은 수평면의 동일한 지점에서 물체 A를 수평면에 대해 비스듬히 던지고 T 만큼의 시간이 지난 후 물체 B를 수평면에 대해 비스듬히 던졌더니 A와 B가 포물선 운동을 하여 수평면의 동일한 지점에 동시에 도달한 것을 나타낸 것이다. A, B의 최고점의 높이는 각각 $4h, h$ 이고, B의 최고점에서 속력은 v 이다.



T 와 최고점에서 A의 속력으로 옳은 것은? (단, 중력 가속도는 g 이고, 물체의 크기는 무시한다.)

- | | | | |
|---|---------------------------|---|---------------------------|
| | $\frac{T}{A \text{의 속력}}$ | | $\frac{T}{A \text{의 속력}}$ |
| ① | $\sqrt{\frac{2h}{g}}$ | ② | $2\sqrt{\frac{2h}{g}}$ |
| | $\frac{1}{2}v$ | | $\frac{1}{2}v$ |
| ③ | $\sqrt{\frac{2h}{g}}$ | ④ | $2\sqrt{\frac{2h}{g}}$ |
| | $\frac{2}{3}v$ | | $\frac{2}{3}v$ |
| ⑤ | $\sqrt{\frac{2h}{g}}$ | | $\frac{3}{4}v$ |

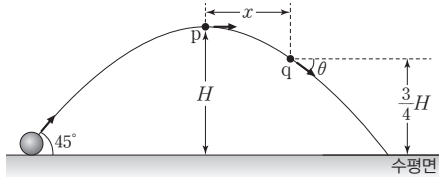
08 [22027-0026] 그림과 같이 수평면의 점 p에서 비스듬히 던져진 물체 A가 최고점을 지나는 순간, 점 q에서 물체 B를 수평 방향으로 속도 v_B 로 던진다. A, B는 포물선 운동을 하여 수평면상의 점 r에 동시에 도달한다. 최고점에서 A의 속력은 v 이다.



v_B 는? (단, A, B는 동일 연직면에서 운동하며, 물체의 크기는 무시한다.)

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

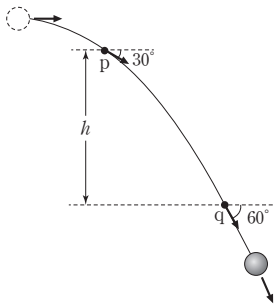
09 [22027-0027] 그림과 같이 수평면과 45° 의 각을 이루며 던져진 물체가 포물선 운동을 한다. 최고점 p의 높이는 H 이고, 높이가 $\frac{3}{4}H$ 인 점 q에서 물체의 운동 방향이 수평 방향과 이루는 각은 θ 이다. p에서부터 q까지 수평 거리는 x 이다.



$\tan\theta$ 와 x 로 옳은 것은? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

- | | | | | | |
|---|---------------|----------------|---|---------------|----------------|
| | $\tan\theta$ | x | | $\tan\theta$ | x |
| ① | $\frac{1}{4}$ | H | ② | $\frac{1}{2}$ | H |
| ③ | $\frac{1}{4}$ | $\frac{3}{2}H$ | ④ | $\frac{1}{2}$ | $\frac{3}{2}H$ |
| ⑤ | $\frac{1}{4}$ | $2H$ | | | |

10 [22027-0028] 그림은 수평 방향으로 던져진 물체가 포물선 운동을 하며 점 p, q를 지나는 것을 나타낸 것이다. p, q에서 물체의 운동 방향이 수평 방향과 이루는 각은 각각 30° , 60° 이다. p와 q의 높이 차는 h 이다.



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

보기

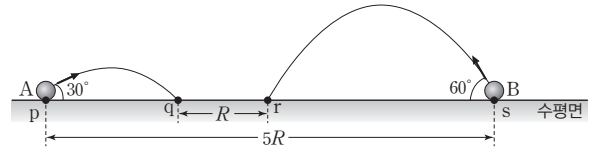
ㄱ. 등가속도 운동이다.

ㄴ. 속력은 q에서가 p에서의 $\sqrt{3}$ 배이다.

ㄷ. p에서부터 q까지 수평 이동 거리는 $\frac{\sqrt{2}}{2}h$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

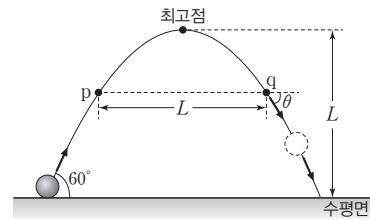
11 [22027-0029] 그림은 수평면의 점 p, s에서 각각 물체 A, B가 발사되는 것을 나타낸 것이다. 수평면에 대해 각각 30° , 60° 의 각으로 발사된 A, B는 포물선 운동을 하며, B가 s에서 점 r까지 운동하는 데 걸린 시간은 A가 p에서 점 q까지 운동하는 데 걸린 시간의 2배이다. p와 s 사이의 거리는 $5R$ 이고, q와 r 사이의 거리는 R 이다.



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

- ① $\frac{8}{7}R$ ② $\frac{10}{7}R$ ③ $\frac{12}{7}R$ ④ $2R$ ⑤ $\frac{16}{7}R$

12 [22027-0030] 그림과 같이 수평면에서 수평면과 60° 의 각으로 던져진 물체가 높이가 같은 점 p, q를 지나며 포물선 운동을 한다. p와 q 사이의 거리는 L 이고, 물체의 최고점의 높이는 L 이다. q에서 물체의 운동 방향이 수평 방향과 이루는 각은 θ 이다.



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

보기

ㄱ. p에서 q까지 물체가 운동하는 데 걸린 시간은 $\sqrt{\frac{3L}{2g}}$ 이다.

ㄴ. 최고점에서 물체의 속력은 $\sqrt{\frac{gL}{4}}$ 이다.

ㄷ. $\tan\theta = \sqrt{\frac{5}{8}}$ 이다.

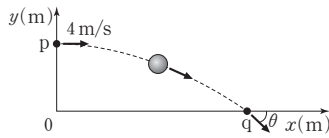
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

물체는 x 축과 나란한 방향으로 등속도 운동을 하고, y 축과 나란한 방향으로 등가속도 운동을 한다.

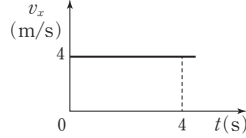
수평면에 도달하는 순간 물체의 속도의 수평 성분의 크기를 v_x , 연직 성분의 크기를 v_y 라고 하면, $\tan\theta = \frac{v_y}{v_x}$ 이다.

01 [22027-0031]

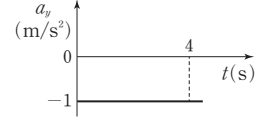
그림 (가)는 물체가 시간 $t=0$ 일 때 y 축상의 점 p 를 통과한 순간부터 $t=4$ 초일 때 x 축상의 점 q 를 통과하는 순간까지의 운동 경로를 xy 평면에 나타낸 것이다. p 에서 물체의 운동 방향은 $+x$ 방향이고, q 에서 물체의 운동 방향과 x 축이 이루는 각은 θ 이다. 그림 (나)는 물체의 속도의 x 성분 v_x 와 가속도의 y 성분 a_y 를 t 에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)



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

보기

- ㄱ. 원점에서 p 까지의 거리는 원점에서 q 까지의 거리의 $\frac{1}{2}$ 배이다.
- ㄴ. $\tan\theta = 1$ 이다.
- ㄷ. q 에서 물체의 속도의 크기는 4 m/s 이다.

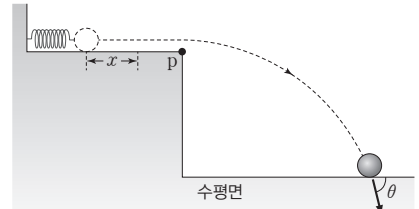
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 [22027-0032]

다음은 포물선 운동에 대한 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 그림과 같이 수평인 실험대에 용수철을 고정시킨다.
- (나) 물체를 용수철에 접촉시킨 후 x 만큼 용수철을 압축시켰다가 가만히 놓는다.
- (다) 물체가 실험대의 끝점 p 를 지난 순간부터 수평면에 도달하는 데까지 걸린 시간 T 를 측정한다.
- (라) 물체가 수평면에 도달하는 순간 물체의 운동 방향과 수평면이 이루는 각 θ 를 측정한 후 $\tan\theta$ 를 구한다.
- (마) x 를 변화시키며 (다), (라)를 반복한다.



(다)와 (라)의 결과를 그래프로 나타낸 것으로 가장 적절한 것은?

- ①

(다)	(라)
- ②

(다)	(라)
- ③

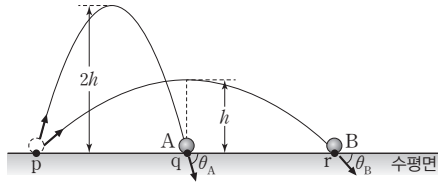
(다)	(라)
- ④

(다)	(라)
- ⑤

(다)	(라)

03 [22027-0033]

그림과 같이 수평면의 점 p에서 물체 A, B를 동시에 비스듬히 던졌더니, A, B가 포물선 운동을 하여 각각 수평면의 점 q, r에 도달한다. A, B가 수평면에 도달하는 순간 운동 방향이 수평면과 이루는 각은 각각 θ_A, θ_B 이다. q는 B의 최고점을 지나는 연직선과 수평면이 만나는 점이고, A, B의 최고점의 높이는 수평면으로부터 각각 $2h, h$ 이다.



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

보기

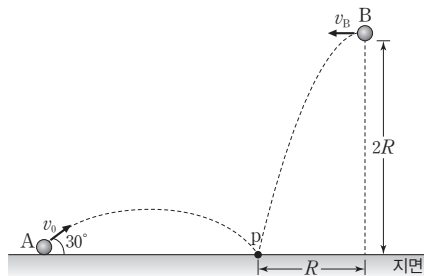
- ㄱ. A와 B는 수평면에 동시에 도달한다.
- ㄴ. 최고점에서 속력은 A가 B보다 작다.
- ㄷ. $\frac{\tan\theta_A}{\tan\theta_B} = 4$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

최고점의 높이가 높을수록 포물선 운동을 하는 물체의 체공 시간은 길다.

04 [22027-0034]

그림은 물체 A를 지면에 대해 30° 의 각을 이루며 속도 v_0 로 던지는 순간 지면으로부터 높이가 $2R$ 인 지점에서 물체 B를 수평 방향으로 속도 v_B 로 던지는 것을 나타낸 것이다. A와 B는 각각 포물선 운동을 하며, 지면의 점 p에 동시에 도달한다. B를 수평 방향으로 던진 지점으로부터 p까지의 수평 거리는 R 이다.



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

보기

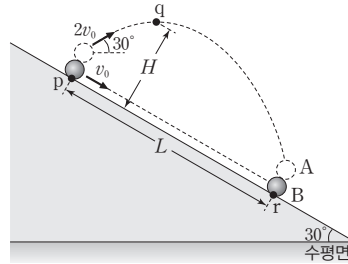
- ㄱ. A의 최고점의 높이는 $\frac{2}{3}R$ 이다.
- ㄴ. $v_B = \frac{1}{4}v_0$ 이다.
- ㄷ. p에 도달하는 순간 B의 속력은 $\frac{\sqrt{17}}{4}v_0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

중력 가속도가 g 일 때, B가 수평 방향으로 던져진 순간부터 p에 도달하는 순간까지 걸린 시간은 $\sqrt{\frac{4R}{g}}$ 이다.

A가 p에서 r까지 운동하는 동안 수평 이동 거리는 $L\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}L$ 이다.

05 [22027-0035] 그림은 경사각이 30° 인 경사면의 점 p에서 물체 A, B를 동시에 발사하였다. 경사면의 점 r에서 만난 것을 나타낸 것이다. A는 수평면과 30° 의 각을 이루며 $2v_0$ 의 속력으로 발사되어 점 q를 지나는 포물선 운동을 하고, B는 속력 v_0 으로 발사되어 경사면을 따라 등가속도 직선 운동을 한다. p와 r 사이의 거리는 L 이다. q는 수평면으로부터 A의 최고점이며, 경사면에서 q까지의 거리는 H 이다.



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

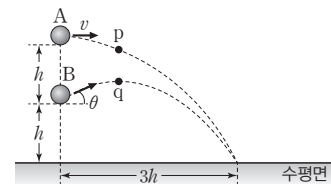
보기

- ㄱ. q에서 A의 속력은 $\sqrt{3}v_0$ 이다.
- ㄴ. B가 p에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은 $\sqrt{\frac{3L}{g}}$ 이다.
- ㄷ. $H = \frac{3}{16}L$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

A의 속도의 수평 성분과 B의 속도의 수평 성분은 같으므로 p와 q는 동일 연직선에 있다.

06 [22027-0036] 그림과 같이 수평면으로부터 높이가 $2h$ 인 지점에서 물체 A를 수평 방향으로 v 의 속력으로 던지는 순간, A를 던진 지점의 연직 아래의 높이가 h 인 지점에서 물체 B를 수평 방향에 대해 각 θ 의 방향으로 던진다. A, B는 포물선 운동을 하며 수평면상의 같은 지점에 동시에 도달한다. A, B의 수평 도달 거리는 $3h$ 이다. 점 q는 B의 최고점이며, B가 q를 지나는 순간 A는 점 p를 지난다.



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

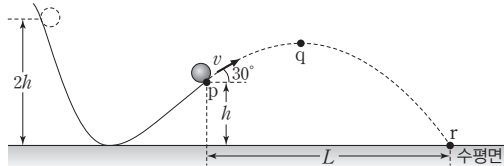
보기

- ㄱ. q에서 B의 속력은 v 보다 크다.
- ㄴ. $\tan\theta = \frac{1}{3}$ 이다.
- ㄷ. p와 q 사이의 거리는 $\frac{4}{5}h$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

07 [22027-0037]

그림은 수평면으로부터 높이가 $2h$ 인 지점에 가만히 놓은 물체가 마찰이 없는 경사면을 따라 운동하다가 높이가 h 인 점 p 에서 속도 v 로 수평면과 30° 의 각으로 발사되는 모습을 나타낸 것이다. p 를 지난 물체는 최고점 q 를 지나 수평면의 점 r 에 도달할 때까지 포물선 운동을 한다. p 에서 r 까지 수평 거리는 L 이다.



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

보기

ㄱ. q 에서 물체의 속력은 $\frac{\sqrt{3}}{2}v$ 이다.

ㄴ. q 에서 r 까지 운동하는 데 걸린 시간은 p 에서 q 까지 운동하는 데 걸린 시간의 2배이다.

ㄷ. $\frac{L}{h} = \frac{\sqrt{13}}{4}$ 이다.

① ㄱ

② ㄴ

③ ㄷ

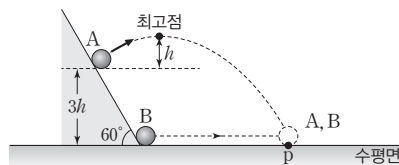
④ ㄱ, ㄷ

⑤ ㄴ, ㄷ

p 에서 q 까지 운동하는 동안 걸린 시간은 $\frac{v \sin 30^\circ}{g} = \frac{v}{2g}$ 이다.

08 [22027-0038]

그림과 같이 경사각이 60° 인 경사면의 수평면으로부터 높이가 $3h$ 인 지점에서 물체 A가 경사면에 대해 수직 방향으로 발사되는 순간, 수평면에 정지해 있던 물체 B가 출발한다. A는 포물선 운동을 하고 B는 크기가 a 인 가속도로 등가속도 직선 운동을 하여 수평면의 점 p 에 A와 B가 동시에 도달한다. 수평면으로부터 A의 최고점의 높이는 $4h$ 이다.



a 는? (단, 중력 가속도는 g 이고, A, B는 동일 연직면에서 운동하며, 물체의 크기는 무시한다.)

① $\frac{4}{9}g$

② $\frac{5}{9}g$

③ $\frac{2}{3}g$

④ $\frac{5\sqrt{2}}{9}g$

⑤ $\frac{5\sqrt{3}}{9}g$

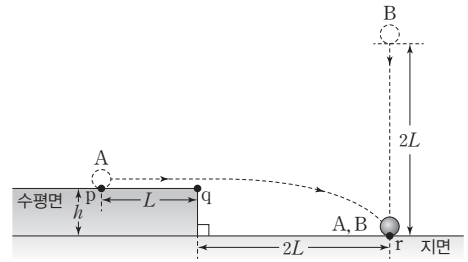
A가 경사면에서 발사되는 순간 A의 운동 방향이 수평면과 이루는 각은 30° 이다.

B를 가만히 놓은 순간부터 r에 도달할 때까지 걸린 시간은 $\sqrt{\frac{4L}{g}}$ 이다.

물체가 경사면에서 운동하는 동안 물체의 가속도의 크기는 $g\sin 30^\circ = \frac{1}{2}g$ 이다.

09 [22027-0039]

그림은 지면으로부터 높이가 h 인 수평면의 점 p에 정지해 있던 물체 A가 등가속도 운동을 시작하는 순간 지면으로부터 높이가 $2L$ 인 지점에서 물체 B를 가만히 놓았더니 지면의 점 r에 A와 B가 동시에 도달한 모습을 나타낸 것이다. A는 p에서 수평면의 끝점 q까지 수평 방향으로 힘을 받아 크기가 a 인 가속도로 운동하다가 q에서 r까지 포물선 운동을 한다. p에서 q까지의 거리는 L 이고, q에서 r까지의 수평 방향 거리는 $2L$ 이다.



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

보기

ㄱ. $a = \frac{3}{2}g$ 이다.

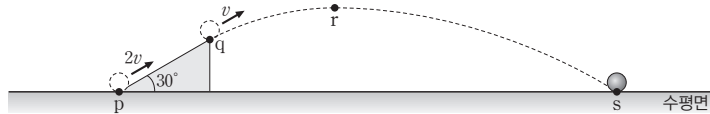
ㄴ. $h = \frac{\sqrt{2}}{2}L$ 이다.

ㄷ. r에 도달하는 순간 속력은 A가 B의 $\frac{\sqrt{5}}{2}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

10 [22027-0040]

그림은 경사면이 시작되는 점 p를 속력 $2v$ 로 지난 물체가 경사면의 끝점 q, 최고점 r를 차례로 지나 수평면의 점 s에 도달한 것을 나타낸 것이다. 경사면이 수평면과 이루는 각은 30° 이고, q에서 물체의 속력은 v 이다.



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

보기

ㄱ. 물체가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간은 q에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간의 4배이다.

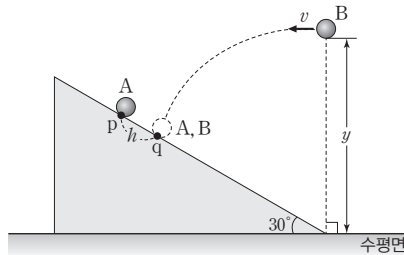
ㄴ. 수평면으로부터 r까지의 높이는 $\frac{13v^2}{8g}$ 이다.

ㄷ. p와 s 사이의 수평 거리는 $\frac{7\sqrt{5}v^2}{4g}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

11 [22027-0041]

그림은 경사각이 30° 인 경사면의 점 p에서 물체 A를 가만히 놓는 순간 물체 B를 수평면과 경사면이 만나는 점으로부터 연직 위로 높이가 y 인 지점에서 수평 방향으로 속력 v 로 던지는 모습을 나타낸 것이다. A는 등가속도 직선 운동을 하고, B는 포물선 운동을 하다가 경사면의 점 q에서 A와 B가 충돌한다. p와 q 사이의 거리는 h 이고, q에서 A와 B가 충돌하는 순간 속력은 B가 A의 $\sqrt{7}$ 배이다.

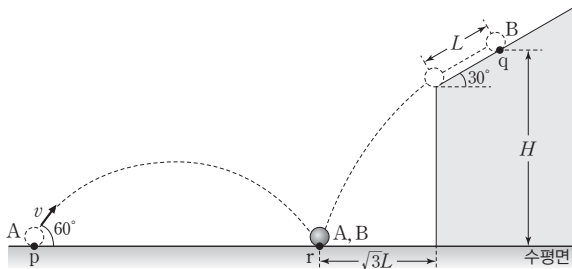


y 는? (단, 물체의 크기와 마찰은 무시한다.)

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

12 [22027-0042]

그림은 수평면의 점 p에서 물체 A를 속력 v 로 수평면에 대해 60° 의 각으로 발사시키는 순간 물체 B를 수평면으로부터 높이가 H 인 마찰이 없는 경사면의 점 q에 가만히 놓았더니 A와 B가 수평면의 점 r에 동시에 도달한 것을 나타낸 것이다. B는 수평 방향에 대해 경사각이 30° 인 경사면을 따라 거리 L 만큼 직선 운동한 후 포물선 운동하며, 포물선 운동하는 동안 수평 이동 거리는 $\sqrt{3}L$ 이다.



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

보기

ㄱ. $v = \sqrt{\frac{16gL}{3}}$ 이다.

ㄴ. $H = \frac{9}{2}L$ 이다.

ㄷ. p에서 r까지의 거리는 $\frac{8\sqrt{3}}{3}L$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

B를 수평 방향으로 던진 순간부터 q에 도달할 때까지 걸린 시간은 $\sqrt{\frac{4h}{g}}$ 이다.

A가 p에서 r까지 운동하는데 걸린 시간은 $\frac{2v\sin 60^\circ}{g} = \frac{\sqrt{3}v}{g}$ 이다.

개념 체크

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

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

$$v = r\omega$$

1. 등속 원운동 하는 물체의 주기가 4초일 때, 각속도는 () rad/s이고, 20초 동안 ()바퀴 회전한다.

2. 반지름이 5 m인 원 궤도를 따라 등속 원운동 하는 물체의 속력이 10 m/s일 때 주기는 () s이고, 각속도는 () rad/s이다.

1 등속 원운동

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

(2) 주기와 진동수

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

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

③ 주기와 진동수의 관계: 주기가 0.1초이면 1초 동안 10바퀴 회전한다. 이와 같이 주기 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.

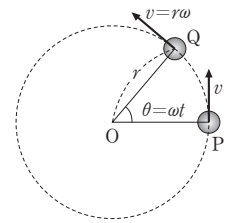
$$\omega = \frac{\theta}{t}, \quad \theta = \omega t$$

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 라디안과 원운동의 순간 속도

① 라디안

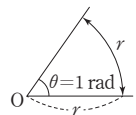
호의 길이가 원의 반지름과 같을 때, 호의 중심각을 1 rad(라디안)이라고 한다.

- 라디안은 $\frac{\text{호의 길이}}{\text{반지름}}$ 이므로 차원이 없다. 따라서 생략할 수 있다.
- 수식에서 사용하는 각의 단위는 라디안이다.
- 360° 는 2π (라디안)에 해당한다. 따라서 다음 관계가 성립한다.

$$1(\text{rad}) = \frac{180^\circ}{\pi}, \quad 1^\circ = \frac{\pi}{180}(\text{rad})$$

② 원운동의 순간 속도

- 방향: 순간 속도의 방향(=운동 방향)은 접선 방향과 같다.
- 크기: 1주기 동안 한 바퀴 회전한다. 따라서 순간 속도의 크기(=속력)는 다음과 같다. $\Rightarrow v = \frac{2\pi r}{T} = \omega r$



정답

1. $\frac{\pi}{2}, 5$
2. $\pi, 2$

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

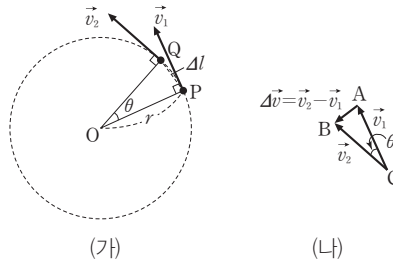
$$a = v\omega = \frac{v^2}{r} = r\omega^2 \text{이다.}$$

- 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.

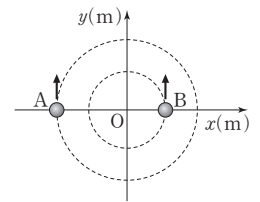
- 방향: 원운동의 중심 방향이다.



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.

[1~2] 그림은 xy 평면에서 등속 원운동 하는 물체 A, B가 x 축을 동시에 통과하는 순간의 모습을 나타낸 것이다. A, B의 속력은 같고, 원 궤도의 반지름은 A가 B보다 크다.



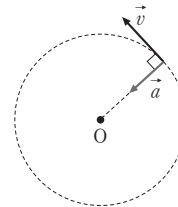
1. 이 순간, A의 구심 가속도의 방향은 () 방향이고 B의 구심 가속도의 방향은 () 방향이다.

2. 구심 가속도의 크기는 A가 B보다 (크다, 작다).

[3~4] 등속 원운동 하는 물체 A, B의 구심 가속도의 크기가 같다.

3. 원 궤도의 반지름이 A가 B보다 클 때, 각속도는 A가 B보다 (크다, 작다).

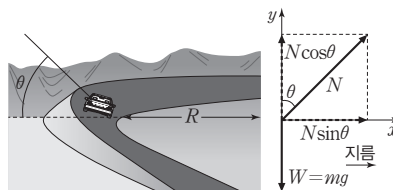
4. 속력이 A가 B보다 작을 때, 원 궤도의 반지름은 A가 B보다 (크다, 작다).



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 수직 항력을 N 이라 하고, 경사면과 나란한 방향의 마찰을 무시하면, 자동차에 작용하는 힘은 다음과 같다.



$N \sin \theta = ma_x$... ①이다. $N \cos \theta - mg = 0$ 에서 $N = \frac{mg}{\cos \theta}$... ②이다. 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.

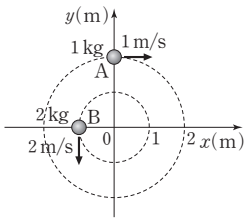
정답

1. +x, -x
2. 작다
3. 작다
4. 작다

개념 체크

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

[1~2] 그림은 xy 평면에서 원점을 중심으로 등속 원운동 하는 물체 A, B를 나타낸 것이다. A, B의 속력은 각각 1 m/s, 2 m/s이고, 질량은 각각 1 kg, 2 kg이다.



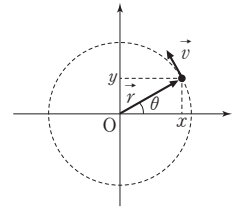
1. A의 주기는 () s이고, B의 주기는 () s이다.
2. 물체에 작용하는 구심력의 크기는 B가 A의 () 배이다.

정답

1. $4\pi, \pi$
2. 16

과학 돋보기 미분법을 이용한 구심 가속도 계산

- 위치 \vec{r} 는 다음과 같다.
 $\vec{r} = (r\cos\theta, r\sin\theta) = (r\cos\omega t, r\sin\omega t)$
- 속도 \vec{v} 는 위치 \vec{r} 를 시간에 대하여 미분한 값과 같다.
 $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \omega r(-\sin\omega t, \cos\omega t)$
- 가속도 \vec{a} 는 속도 \vec{v} 를 시간에 대하여 미분한 값과 같다.
 $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = -\omega^2 r(\cos\omega t, \sin\omega t) = -\omega^2 \vec{r}$



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

(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

쇠고리 수(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

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

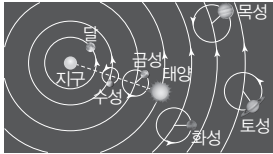
point

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

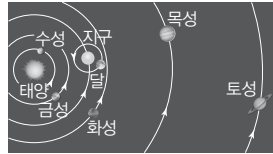
3 케플러 법칙

(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

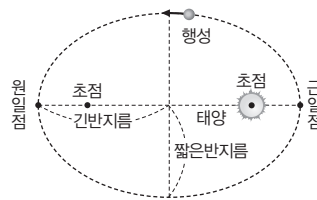


지동설: 지구를 포함한 행성들이 태양 주위를 돌고 있다는 설

(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.



탐구자료 살펴보기 타원 궤도 그리기

과정

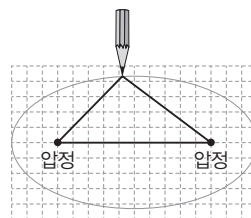
- (1) 그림과 같이 모눈종이 위에 압정을 꽂고 거리를 측정한다.
- (2) 실을 적당한 길이로 자른 후, 양 끝을 묶는다.
- (3) 실을 압정에 걸고 연필로 팽팽하게 당기면서 타원을 그린다.

결과

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

point

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



개념 체크

● 케플러 법칙: 행성 운동에 관한 법칙

- 제1법칙: 타원 궤도 법칙
- 제2법칙: 면적 속도 일정 법칙
- 제3법칙: 조화 법칙

1. 태양 주위를 공전하는 천체의 궤도상에서 태양으로부터의 거리가 가장 먼 지점을 ()이라 하고, 가장 가까운 지점을 ()이라고 한다.
2. 태양을 한 초점으로 타원 궤도 운동하는 천체의 속력은 원일점에서가 근일점에 서보다 (빠르다, 느리다).

정답

1. 원일점, 근일점
2. 느리다

개념 체크

- **면적 속도 일정 법칙:** 태양과 행성을 연결하는 선분이 같은 시간 동안 쓸고 지나가는 면적은 일정하다.
- **조화 법칙:** 행성의 공전 주기의 제곱은 긴반지름의 세제곱에 비례한다.

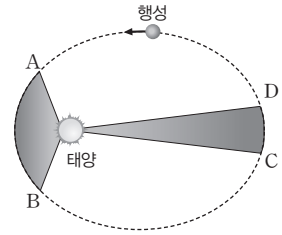
1. 표는 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도의 점 a, b, c, d를 따라 운동하는 위성과 행성을 연결한 직선이 쓸고 지나간 면적과 걸린 시간을 나타낸 것이다. ㉠에 해당하는 것은?

	면적	시간
a에서 b까지	2S	T
c에서 d까지	S	㉠

2. 태양을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동을 하는 행성 A, B의 타원 궤도의 긴반지름은 각각 a, 2a이다. 행성의 공전 주기는 B가 A의()배이다.

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 $2\sqrt{2}$ 배, $3\sqrt{3}$ 배, $4\sqrt{4}=8$ 배, ... 증가한다.

탐구자료 살펴보기 조화 법칙 알아보기

과정

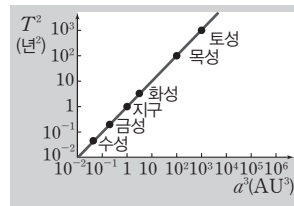
제시된 자료를 이용하여 표의 빈칸을 채우고, 주기와 긴반지름의 관계를 쉽게 파악할 수 있는 그래프를 그려 보자.

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

T ²	a ³
0.058	0.058
0.378	0.378
1.000	1.000
3.534	3.512
141.61	140.61
864.36	879.22



point

- 행성의 공전 주기의 제곱은 긴반지름의 세제곱에 비례한다.

정답

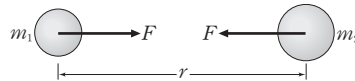
1. $\frac{1}{2}T$
2. $2\sqrt{2}$

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, ... 로 멀어지면, 중력의 크기는 $\frac{1}{4}$ 배, $\frac{1}{9}$ 배, ...로 감소한다.

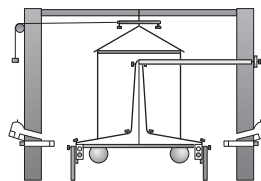
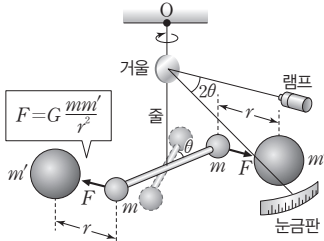
과학 돋보기 중력 상수 측정

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.



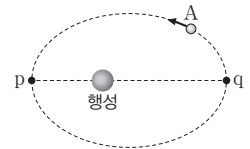
개념 체크

● 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. 물체 A, B가 서로 거리 r 만큼 떨어져 있을 때 A가 B에게 작용하는 중력의 크기는 F 이다. A, B가 서로 거리 $2r$ 만큼 떨어져 있을 때 B가 A에게 작용하는 중력의 크기는 ()이다.

[2-4] 그림은 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동하는 위성 A를 나타낸 것이다.



2. A의 속력은 p에서가 q에서보다 (크다, 작다).
3. A의 가속도의 크기는 p에서가 q에서보다 (크다, 작다).
4. A에 작용하는 중력의 크기는 p에서가 q에서보다 (크다, 작다).

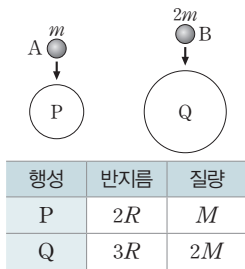
정답

1. $\frac{1}{4}F$
2. 크다
3. 크다
4. 크다

개념 체크

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

[1~2] 그림은 물체 A, B가 각각 행성 P, Q의 지표면 근처에서 자유 낙하 운동을 하고 있는 것을 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각 m , $2m$ 이다. 표는 P, Q의 반지름과 질량을 나타낸 것이다.



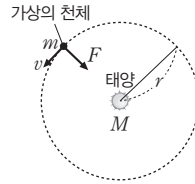
1. 지표면 근처에서 중력 가속도의 크기는 P에서가 Q에서의 ()배이다.
2. P가 A에 작용하는 중력의 크기는 Q가 B에 작용하는 중력의 크기의 ()배이다.

정답

1. $\frac{9}{8}$
2. $\frac{9}{16}$

과학 돋보기 중력 법칙 유도

뉴턴은 태양계의 행성뿐만 아니라 태양 주위를 도는 모든 천체들이 케플러 제3법칙을 따른다고 생각하였다. 따라서 반지름 r , 속력 v , 주기 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

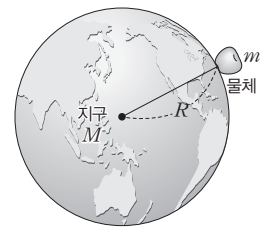
$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

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

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

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

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

과학 돋보기 **땅의 법칙과 하늘의 법칙을 통일하다**

뉴턴 이전에는 땅에서 일어나는 현상과 천체의 운동과 같이 하늘에서 일어나는 현상의 공통점을 발견하기 어려웠다. 따라서 땅에서 일어나는 현상을 설명하는 법칙과 하늘에서 일어나는 현상을 설명하는 법칙이 따로 존재한다고 생각하였다. 그러나 '뉴턴의 대포'로 알려진 사고 실험을 통해, 뉴턴은 땅에서의 현상과 하늘에서의 현상을 같은 법칙으로 설명할 수 있다는 것을 밝혔다.

높은 산에서 포탄을 발사하면 땅에 떨어지게 된다. 포탄을 보다 빠르게 발사하면 더 멀리까지 날아가서 땅에 떨어지며, 적당한 빠르기로 발사한 포탄은 원 궤도를 따라 지구 주위를 회전할 수 있다. 지구의 중력을 받는 달이 지구로 떨어지지 않고 지구 주위를 회전하는 까닭도 같은 원리로 설명할 수 있다.

사과가 떨어지는 현상과 포탄이 떨어지는 현상은 모두 지상에서 일어나는 현상이므로 같은 원리로 설명된다. 결국 사과가 떨어지는 현상과 달이 지구 주위를 회전하는 현상은 근본적으로 같은 현상이다. 땅의 법칙과 하늘의 법칙이 하나로 통일된 것이다.



- (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.

개념 체크

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

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

1. ()는 물체가 천체를 탈출하기 위한 천체 표면에서의 최소한의 발사 속도이다.

- [2~4] 지구를 중심으로 등속 원운동 하는 인공위성 A, B의 원 궤도의 반지름은 각각 $r, 2r$ 이다. A, B의 질량은 각각 $m, 2m$ 이다.

2. 지구가 인공위성에 작용하는 중력의 크기는 A가 B의 ()배이다.

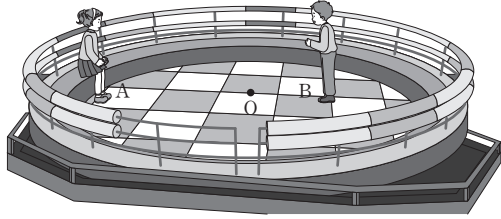
3. 인공위성의 속력은 A가 B의 ()배이다.

4. 인공위성의 주기는 A가 B의 ()배이다.

정답

1. 탈출 속도
2. 2
3. $\sqrt{2}$
4. $\frac{1}{2\sqrt{2}}$

01 [22027-0043] 그림은 일정한 속력으로 회전하는 놀이 기구에 타고 있는 학생 A, B를 나타낸 것이다. A, B는 놀이 기구에 대해 정지해 있고, 놀이 기구의 중심점 O로부터의 거리는 A가 B보다 크다.

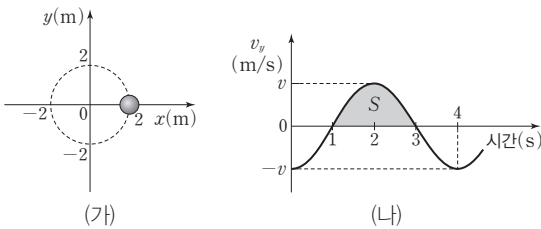


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 각속도는 A와 B가 같다.
 - ㄴ. 속력은 A가 B보다 크다.
 - ㄷ. 구심 가속도의 크기는 A와 B가 같다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 [22027-0044] 그림 (가)는 xy 평면에서 등속 원운동 하는 물체가 x 축상의 $x=2$ m인 지점을 지나는 순간의 모습을 운동 방향 표시 없이 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 순간부터 물체의 속도의 y 성분인 v_y 를 시간에 따라 나타낸 것이다. 그래프에서 색칠된 부분의 면적은 S 이다.

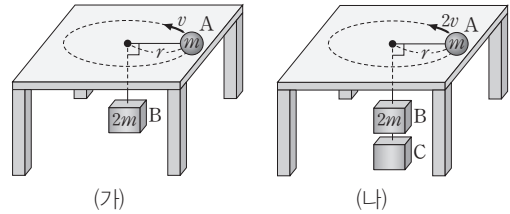


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. y 축상의 $y=2$ m인 지점에서 물체의 운동 방향은 $+x$ 방향이다.
 - ㄴ. v 는 π 이다.
 - ㄷ. S 는 $2\sqrt{2}$ m이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 [22027-0045] 그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에서 질량이 m 인 물체 A가 질량이 $2m$ 인 물체 B와 연결되어 속력 v 로 등속 원운동을 하는 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 B에 물체 C를 연결하고 A를 속력 $2v$ 로 등속 원운동을 시키는 것을 나타낸 것이다. 원운동의 반지름은 (가)에서와 (나)에서가 같다.

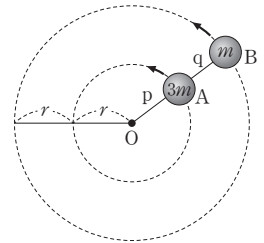


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기, 실의 질량은 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. A의 각속도는 (가)에서와 (나)에서가 같다.
 - ㄴ. A에 작용하는 구심력의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.
 - ㄷ. C의 질량은 $6m$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

04 [22027-0046] 그림은 마찰이 없는 수평면에서 물체 A, B가 실 p, q로 연결되어 점 O를 중심으로 등속 원운동을 하는 것을 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각 $3m, m$ 이고, O, A, B는 일직선을 이룬다.

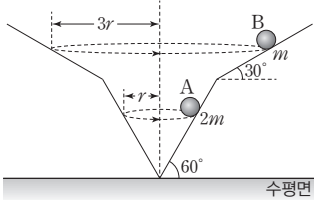


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기, 실의 질량은 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. 각속도는 A와 B가 같다.
 - ㄴ. 속력은 A가 B보다 크다.
 - ㄷ. A에 작용하는 힘의 크기는 p가 q의 $\frac{5}{2}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

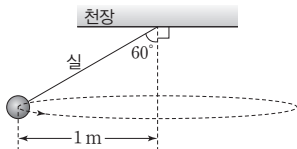
05 [22027-0047] 그림은 물체 A, B가 원뿔 안쪽 면에서 수평면과 나란하게 등속 원운동을 하는 것을 나타낸 것이다. A, B가 운동하는 경사면이 수평면과 이루는 각은 각각 60° , 30° 이다. A, B의 질량은 각각 $2m$, m 이고, 원 궤도의 반지름은 각각 r , $3r$ 이다. A, B에 작용하는 구심력의 크기는 각각 F_A , F_B 이고, A, B의 주기는 각각 T_A , T_B 이다.



$\frac{F_A}{F_B}$ 와 $\frac{T_A}{T_B}$ 로 옳은 것은? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

- | | | | | | |
|---|-------------------|-------------------|---|-------------------|-------------------|
| | $\frac{F_A}{F_B}$ | $\frac{T_A}{T_B}$ | | $\frac{F_A}{F_B}$ | $\frac{T_A}{T_B}$ |
| ① | 6 | $\frac{1}{6}$ | ② | 9 | $\frac{1}{6}$ |
| ③ | 6 | $\frac{1}{3}$ | ④ | 9 | $\frac{1}{3}$ |
| ⑤ | 6 | $\frac{1}{2}$ | | | |

06 [22027-0048] 그림과 같이 실에 매달린 물체가 등속 원운동을 한다. 실이 연직선과 이루는 각은 60° 이고, 실이 물체에 작용하는 힘의 크기는 10 N 이다.

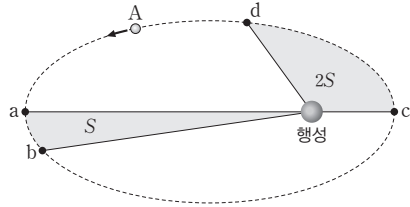


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이고, 물체의 크기, 실의 질량은 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. 물체에 작용하는 구심력의 크기는 5 N 이다.
 - ㄴ. 물체의 질량은 0.5 kg 이다.
 - ㄷ. 물체의 운동 에너지는 $\frac{5}{4}\text{ J}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

07 [22027-0049] 그림과 같이 위성 A가 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동하고 있다. 점 a에서 점 b까지 A와 행성을 연결한 선분이 쓸고 지나간 면적은 S 이고, 점 c에서 점 d까지 A와 행성을 연결한 선분이 쓸고 지나간 면적은 $2S$ 이다.

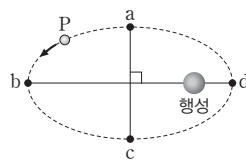


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. A의 가속도의 크기는 a에서가 c에서보다 작다.
 - ㄴ. A가 a에서 b까지 운동하는 데 걸린 시간은 c에서 d까지 운동하는 데 걸린 시간의 2배이다.
 - ㄷ. A의 속력은 b에서가 d에서보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

08 [22027-0050] 그림은 위성 P가 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 점 a, b, c, d를 지나며 운동하는 것을 나타낸 것이다. b는 행성으로부터 가장 먼 지점이고, d는 행성으로부터 가장 가까운 지점이다. 표는 a, b, c, d에서 P의 가속도의 크기를 나타낸 것이다.



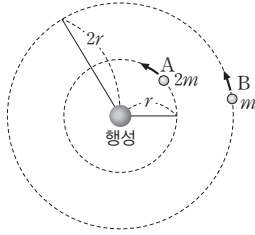
	a	b	c	d
가속도 크기	a_0	㉠	㉡	$4a_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 행성으로부터 떨어진 거리는 a가 d의 4배이다.
 - ㄴ. ㉠ > ㉡이다.
 - ㄷ. 가속도의 방향은 b에서와 d에서가 서로 반대이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

09 [22027-0051] 그림은 행성을 중심으로 위성 A, B가 각각 등속 원운동 하는 것을 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각 $2m, m$ 이고, 원 궤도의 반지름은 각각 $r, 2r$ 이다.

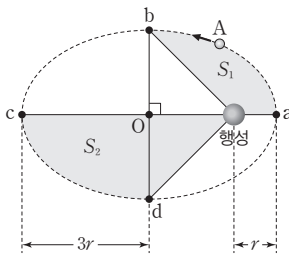


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

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

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

10 [22027-0052] 그림과 같이 위성 A가 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동하고 있다. A가 점 a를 지날 때 행성이 A에게 작용하는 중력의 크기는 F 이다. a에서 점 b까지 A와 행성을 연결한 선분이 쓸고 지나간 면적은 S_1 이고, 점 c에서 점 d까지 A와 행성을 연결한 선분이 쓸고 지나간 면적은 S_2 이다. $S_1 < S_2$ 이고 점 O는 타원 궤도의 중심이다.

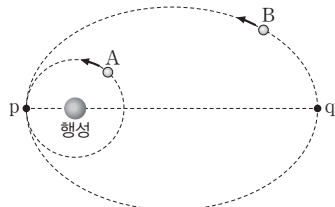


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. A가 a에서 b까지 운동하는 데 걸린 시간은 c에서 d까지 운동하는 데 걸린 시간보다 작다.
 - ㄴ. c에서 A에 작용하는 중력의 크기는 $\frac{1}{25}F$ 이다.
 - ㄷ. A의 운동 에너지는 b에서와 d에서가 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

11 [22027-0053] 그림은 행성을 중심으로 원운동 하는 위성 A와 행성을 한 초점으로 타원 궤도를 따라 운동하는 위성 B를 나타낸 것이다. 점 p는 A와 B의 궤도가 접하는 지점이고, 점 q는 B가 행성으로부터 가장 먼 지점이다. p에서 위성에 작용하는 중력의 크기는 A가 B의 2배이고, 공전 주기는 B가 A의 $3\sqrt{3}$ 배이다.

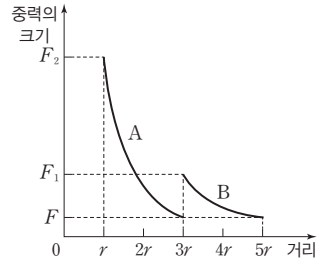


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

- 보기
- ㄱ. p에서 속력은 A가 B보다 작다.
 - ㄴ. 질량은 A가 B의 2배이다.
 - ㄷ. B에 작용하는 중력의 크기는 p에서가 q에서의 16배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

12 [22027-0054] 그림은 질량이 각각 m_A, m_B 인 위성 A, B가 동일한 행성을 한 초점으로 하는 각각의 타원 궤도를 따라 한 주기 동안 운동할 때, A, B에 작용하는 중력의 크기를 행성의 중심으로부터 A, B 중심까지의 거리에 따라 나타낸 것이다. A, B의 주기는 각각 T_A, T_B 이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)



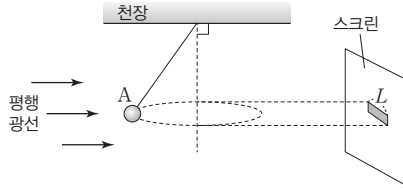
- 보기
- ㄱ. $\frac{m_A}{m_B} = \frac{16}{25}$ 이다.
 - ㄴ. $\frac{T_A}{T_B} = \frac{\sqrt{2}}{4}$ 이다.
 - ㄷ. $\frac{F_2}{F_1} = \frac{64}{25}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

01 [22027-0055] 다음은 등속 원운동에 대한 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 천장에 연결된 실에 물체 A를 매달고 물체에 평행 광선을 비춘다.
- (나) 등속 원운동 하는 물체의 진동수를 변화시키며 스크린에 나타난 그림자 자취의 폭 L 을 측정한다.



[실험 결과]

실험	I	II
진동수	10 Hz	20 Hz
L	L_0	㉠

A의 원 궤도의 지름은 스크린에 나타난 그림자 자취의 폭(L)과 같다.

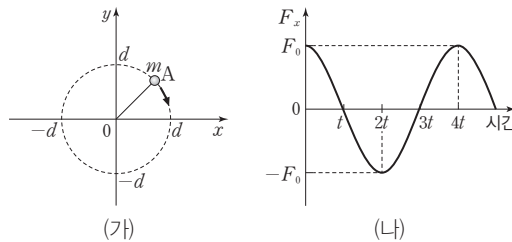
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. ㉠은 L_0 보다 크다.
- ㄴ. A에 작용하는 구심력의 크기는 I에서가 II에서보다 크다.
- ㄷ. A의 속력은 I에서가 II에서보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

02 [22027-0056] 그림 (가)와 같이 xy 평면에서 물체 A가 원점에 고정된 실에 매달려 시계 방향으로 등속 원운동을 한다. 원 궤도의 반지름은 d 이고, A의 질량은 m 이다. 그림 (나)는 실이 A에 작용하는 힘의 x 성분 F_x 를 시간에 따라 나타낸 것이다.



A에 작용하는 알짜힘의 크기는 F_0 으로 일정하고 방향은 원점을 향하는 방향이다.

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

보기

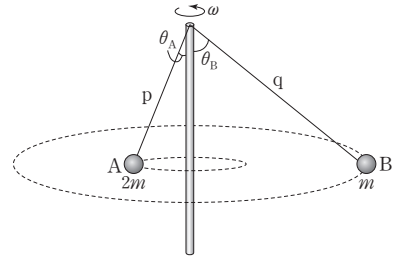
- ㄱ. $t = \sqrt{\frac{\pi^2 m d}{2F_0}}$ 이다.
- ㄴ. $2t$ 일 때 A는 x 축상의 $x=d$ 를 지난다.
- ㄷ. A의 속도의 y 성분의 최댓값은 $\sqrt{\frac{F_0 d}{m}}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

A, B에 작용하는 구심력의 크기를 각각 F_A , F_B 라고 하면, $\tan\theta_A = \frac{F_A}{2mg}$ 이고, $\tan\theta_B = \frac{F_B}{mg}$ 이다.

A에 작용하는 구심력의 크기는 p가 A에 작용하는 힘의 수평 성분의 크기와 q가 A에 작용하는 힘의 크기의 합이다.

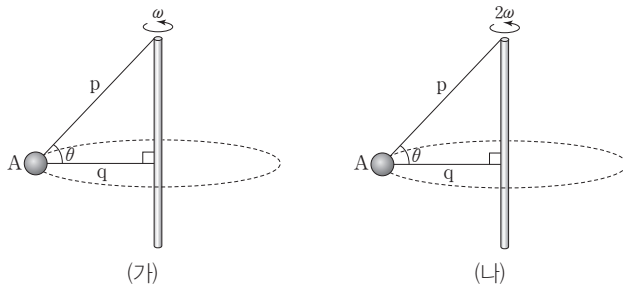
03 [22027-0057] 그림은 물체 A, B가 각각 실 p, q로 막대와 연결되어 수평면과 나란하게 등속 원운동 하는 것을 나타낸 것이다. A, B의 각속도는 ω 로 같다. p, q가 막대와 이루는 각은 각각 θ_A , θ_B 이고, $\theta_A < \theta_B$ 이다. A, B의 질량은 각각 $2m$, m 이고, 물체에 작용하는 구심력의 크기는 B가 A의 $\frac{3}{2}$ 배이다. A, B의 운동 에너지는 각각 E_A , E_B 이다.



$\frac{E_B}{E_A}$ 와 $\frac{\tan\theta_B}{\tan\theta_A}$ 로 옳은 것은? (단, 물체의 크기, 막대의 두께, 실의 질량은 무시한다.)

- | | $\frac{E_B}{E_A}$ | $\frac{\tan\theta_B}{\tan\theta_A}$ | | $\frac{E_B}{E_A}$ | $\frac{\tan\theta_B}{\tan\theta_A}$ |
|---|-------------------|-------------------------------------|---|-------------------|-------------------------------------|
| ① | $\frac{9}{2}$ | 4 | ② | 9 | 4 |
| ③ | $\frac{9}{2}$ | 3 | ④ | 9 | 3 |
| ⑤ | $\frac{9}{2}$ | 2 | | | |

04 [22027-0058] 그림 (가), (나)는 물체 A가 실 p, q로 막대와 연결되어 수평면과 나란하게 각각 등속 원운동 하는 것을 나타낸 것이다. (가), (나)에서 A의 각속도는 각각 ω , 2ω 이다. (가)에서 A에 작용하는 구심력의 크기는 F 이고, p와 q가 이루는 각은 (가)에서와 (나)에서가 θ 로 같다.



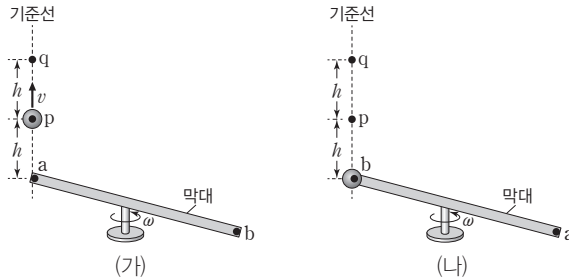
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 (보기)에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기, 막대의 두께, 실의 질량은 무시한다.)

- 보기 □
- ㄱ. p가 A에 작용하는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.
 - ㄴ. A의 가속도의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.
 - ㄷ. q가 A에 작용하는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 $4F$ 만큼 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

05 [22027-0059]

그림 (가)는 막대가 수평을 유지하며 일정한 각속도 ω 로 회전하는 것을 나타낸 것이다. 막대의 한 끝점인 a가 기준선을 지나는 순간 막대로부터 높이가 h 인 점 p에서 물체를 연직 위 방향으로 속력 v 로 던진다. 점 q는 물체의 최고점이며, p, q 사이의 거리는 h 이다. 그림 (나)는 막대의 다른 끝점 b가 기준선을 처음으로 통과하는 순간 물체가 막대와 충돌한 것을 나타낸 것이다.



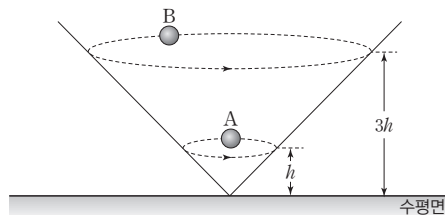
ω 는? (단, 중력 가속도는 g 이고, 물체의 크기, 공기 저항, 막대의 폭은 무시한다.)

- ① $\frac{\pi g}{(1+\sqrt{3})v}$ ② $\frac{\pi g}{(1+\sqrt{2})v}$ ③ $\frac{\pi g}{2v}$ ④ $\frac{\pi g}{v}$ ⑤ $\frac{2\pi g}{v}$

물체가 p에서 던져진 순간부터 막대의 b에 도달할 때까지 걸린 시간은 막대의 주기의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

06 [22027-0060]

그림은 원뿔의 안쪽 면을 따라 수평면과 나란하게 등속 원운동 하는 물체 A, B를 나타낸 것이다. A, B의 높이는 각각 h , $3h$ 이다. 물체에 작용하는 구심력의 크기는 A가 B의 2배이다.



A, B의 역학적 에너지를 각각 E_A , E_B 라고 할 때, $\frac{E_B}{E_A}$ 는? (단, 수평면에서 중력 퍼텐셜 에너지는 0이며, 물체의 크기는 무시한다.)

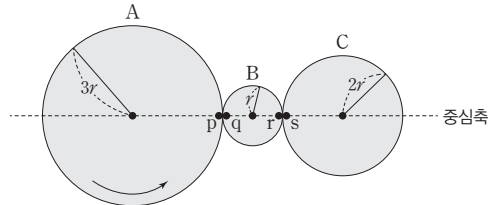
- ① $\frac{3}{2}$ ② $\frac{3}{4}$ ③ $\frac{5}{4}$ ④ $\frac{6}{5}$ ⑤ $\frac{7}{6}$

A, B에 각각 작용하는 구심력의 방향은 원 궤도 중심을 향하는 방향이고, 역학적 에너지는 중력 퍼텐셜 에너지와 운동 에너지의 합이다.

A, B, C는 서로 맞물려 회전하고 있으므로 p, q, r, s의 속력은 모두 같다.

07 [22027-0061]

그림은 원판 A, B, C가 서로 미끄러지지 않고 맞물려 등속 원운동 하는 것을 나타낸 것이다. A는 시계 반대 방향으로 회전하며, A, B, C의 반지름은 각각 $3r$, r , $2r$ 이고, 각 원판의 중심은 중심축상에 있다. 점 p는 A의 가장자리에, 점 q와 점 r는 B의 가장자리에, 점 s는 C의 가장자리에 각각 고정된 점이다. $t=0$ 일 때, p, q, r, s는 중심축을 지나며, p와 q, r와 s가 동시에 만난다. B의 주기는 2초이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

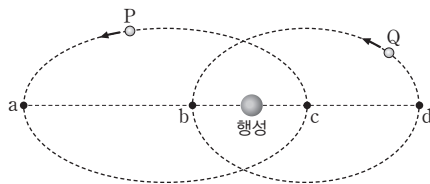
- ㄱ. A의 주기는 6초이다.
- ㄴ. C의 회전 방향은 시계 반대 방향이다.
- ㄷ. p와 q, r와 s가 중심축상에서 다시 처음으로 동시에 만나는 시간은 $t=12$ 초일 때이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

P에 작용하는 중력 크기의 최댓값은 최솟값의 16배이므로 행성으로부터 가장 먼 지점까지의 거리는 가장 가까운 지점까지의 거리의 4배이다.

08 [22027-0062]

그림은 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동하는 위성 P, Q를 나타낸 것이다. 점 a, d는 각각 P, Q의 궤도에서 행성으로부터 가장 먼 지점이고, 점 c, b는 각각 P, Q의 궤도에서 행성으로부터 가장 가까운 지점이다. 행성으로부터의 거리는 b와 c가 같다. 표는 행성 주위를 공전하는 동안 위성에 작용하는 중력 크기의 최댓값과 최솟값을 나타낸 것이다. 공전 주기는 P가 Q의 $\frac{5\sqrt{5}}{8}$ 배이다.



	최댓값	최솟값
P	$2F$	$\frac{1}{8}F$
Q	F	㉠

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

보기

- ㄱ. P의 속력은 a에서가 c에서보다 크다.
- ㄴ. 질량은 P가 Q의 2배이다.
- ㄷ. ㉠은 $\frac{1}{9}F$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

09 [22027-0063]

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	$\frac{4}{3}F$	F
	최솟값	$\frac{4}{27}F$	$\frac{1}{4}F$

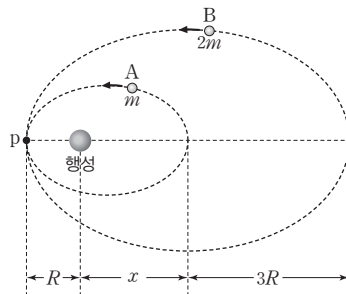
B의 공전 주기는? (단, A, B에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

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

위성에 작용하는 중력의 크기는 질량에 비례하고 행성으로부터의 거리의 제곱에 반비례한다.

10 [22027-0064]

그림은 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동하는 위성 A, B를 나타낸 것이다. 점 p는 A와 B의 궤도가 만나는 지점이고, A, B의 질량은 각각 m , $2m$ 이다. p는 행성과 A가 가장 가까운 지점이다. A, B의 공전 주기는 각각 T , $2\sqrt{2}T$ 이다. p와 행성의 중심 사이의 거리는 R 이고, 행성의 중심으로부터 A가 가장 멀리 떨어진 지점까지의 거리는 x , 행성의 중심에서 A가 가장 먼 지점으로부터 B가 가장 먼 지점까지의 거리는 $3R$ 이다.



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

보기

- ㄱ. p에서 가속도의 크기는 A와 B가 같다.
 ㄴ. $x=3R$ 이다.
 ㄷ. A에 작용하는 중력 크기의 최댓값은 B에 작용하는 중력 크기의 최솟값의 25배이다.

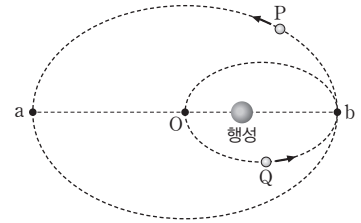
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

공전 주기는 B가 A의 $2\sqrt{2}$ 배이므로 타원 궤도의 긴반지름은 B가 A의 2배이다.

위성이 타원 궤도를 따라 운동하는 동안 가속도의 크기가 최소일 때에는 행성으로부터의 거리가 가장 먼 지점을 지날 때이다.

11 [22027-0065]

그림은 위성 P, Q가 행성을 한 초점으로 하는 각각의 타원 궤도를 따라 운동하는 것을 나타낸 것이다. 질량은 Q가 P의 2배이다. 점 O는 P의 타원 궤도의 중심이고, 위성이 공전하는 동안 가속도 크기의 최솟값은 Q가 P의 4배이다. P의 궤도에서 점 a는 행성으로부터 가장 먼 지점이고 점 b는 행성으로부터 가장 가까운 지점이다. Q의 궤도에서 O는 행성으로부터 가장 가까운 지점이고 b는 행성으로부터 가장 먼 지점이다. b는 P와 Q의 궤도가 만나는 점이다.



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

보기

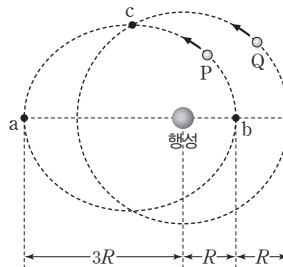
- ㄱ. P의 운동 에너지는 a에서가 b에서보다 작다.
- ㄴ. 공전 주기는 P가 Q의 $2\sqrt{2}$ 배이다.
- ㄷ. 위성에 작용하는 중력 크기의 최댓값은 Q가 P의 8배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

P의 타원 궤도의 긴반지름은 $2R$ 이고, 원 궤도의 반지름은 $2R$ 이므로 공전 주기는 P와 Q가 같다.

12 [22027-0066]

그림은 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동하는 위성 P와 행성을 중심으로 원운동 하는 위성 Q를 나타낸 것이다. P의 궤도에서 점 a는 행성으로부터 가장 먼 지점이고 점 b는 행성으로부터 가장 가까운 지점이다. 점 c는 P, Q의 궤도가 만나는 지점이다. Q의 공전 주기는 T 이다.



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

보기

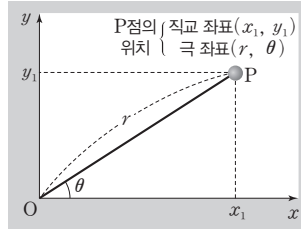
- ㄱ. P의 속력은 a에서가 b에서보다 작다.
- ㄴ. c에서 가속도의 크기는 P가 Q보다 크다.
- ㄷ. P가 a에서 b까지 이동하는 데 걸리는 시간은 $\frac{1}{2}T$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

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: 관측자가 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.

$$\vec{F}_{\text{관}} = -m\vec{a}$$

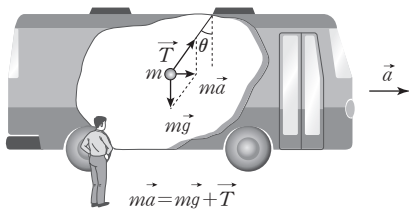
① 가속도 운동을 하는 버스

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

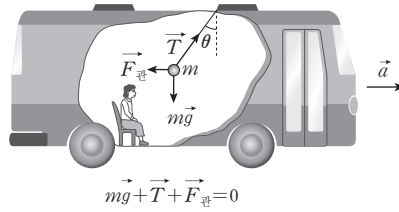
$$m\vec{g} + \vec{T} = m\vec{a}$$

- 버스 안의 관측자: 그림 (나)에서 관측자는 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 관측자: 그림 (가)에서 관측자는 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 관측자: 그림 (나)에서 관측자는 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.

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

개념 체크

- **관성 좌표계**: 정지 또는 등속도 운동 중인 좌표계
- **가속 좌표계**: 가속도 운동 중인 좌표계
- **관성력**: 가속 좌표계의 가속도 효과로 도입되는 가상의 힘으로, 관성력의 방향은 계의 가속도와 반대 방향이며, 관성력의 크기는 관성 좌표계에서 측정할 때 가속 좌표계의 물체에 작용하는 알짜힘의 크기와 같다.

1. 가속 좌표계 안에서도 뉴턴 운동 제2법칙이 성립하도록 도입한 힘을 () 이라고 한다.
2. 3 m/s^2 의 가속도로 운동하고 있는 버스 안 천장에 매달려 있는 질량 20 kg 인 물체에 작용하는 관성력의 크기는 () N 이다.
3. 연직 위 방향으로 운동하는 엘리베이터의 속력이 점점 빨라질 때, 엘리베이터 안 바닥에 놓여 있는 물체에 작용하는 관성력의 방향은 () 방향이다.

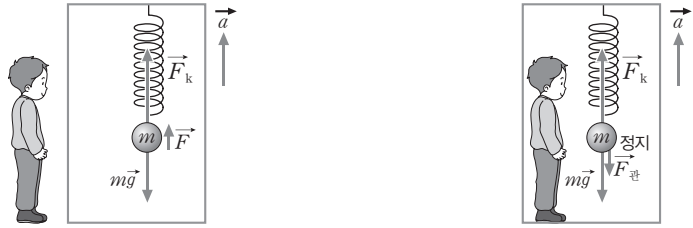
정답

1. 관성력
2. 60
3. 연직 아래

개념 체크

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

- 엘리베이터가 속력이 일정하게 증가하면서 연직 위로 올라갈 때, 사람의 몸무게는 엘리베이터가 정지해 있을 때보다 크다. (○, ×)
- ()은 원운동 하는 가속 좌표계에서 물체가 받는 관성력으로 구심력과 크기는 같고, 방향은 ()이다.
- 구심력과 원심력은 작용 반작용 관계에 있다. (○, ×)



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

탐구자료 살펴보기 엘리베이터에서 몸무게 변화 분석하기

과정

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

결과

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

point

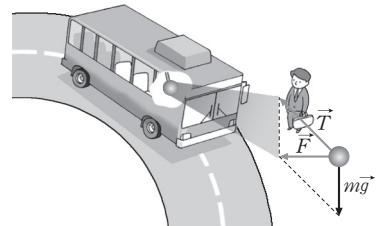
- 엘리베이터의 가속도의 방향이 위쪽이면 사람이나 물체의 무게가 가속되지 않을 때보다 더 크게 측정되고, 엘리베이터의 가속도의 방향이 아래쪽이면 무게가 더 작게 측정된다.
- 가속도의 크기가 a 인 가속 좌표계에서 질량이 m 인 물체에 작용하는 관성력의 크기는 ma 이고, 방향은 계의 가속도와 반대 방향이다.

③ 원운동을 하는 버스

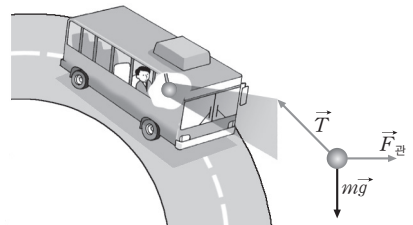
- 버스 밖의 관측자: 그림 (가)에서 관측자는 중력 $m\vec{g}$ 와 줄이 추를 당기는 힘 \vec{T} 의 합력 \vec{F} 를 구심력으로 하여 버스와 같은 가속도로 추가 원운동을 하는 것으로 관측한다.

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

- 버스 안의 관측자: 그림 (나)에서 관측자는 추에 작용하는 중력 $m\vec{g}$, 줄이 추를 당기는 힘 \vec{T} , 관성력인 원심력 $\vec{F}_{\text{관}}$ 이 평형을 이루어 추가 정지해 있는 것으로 관측한다. $\Rightarrow m\vec{g} + \vec{T} + \vec{F}_{\text{관}} = 0$
- 원심력: 원운동을 하는 좌표계 안에서 나타나는 관성력을 원심력이라고 한다.



(가) 지면에서 있는 사람이 본 추의 가속도 운동



(나) 버스 안에 정지한 사람이 본 힘의 평형

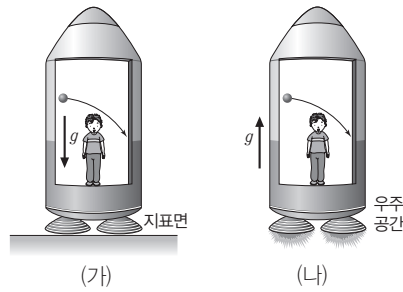
정답

-
- 원심력, 반대
- ×

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 중력이 작용하지 않는 우주 공간

에서 일정한 가속도 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, 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.

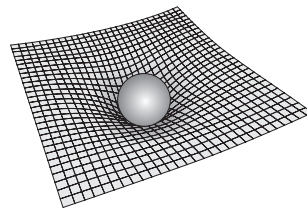
③ 관성 질량과 중력 질량의 관계: 중력 가속도의 크기가 g 인 중력장에 놓은 물체에 작용하는 중력은 $F=m_g g$ (m_g : 중력 질량)이고, 중력에 의한 뉴턴 운동 제2법칙은 $F=m_i a$ (m_i : 관성 질량)이다. 따라서 가속도는 $a=\frac{m_g}{m_i}g$ 이다. 중력장 내에서 물체들은 모두 동일한 가속도 g 를 가진다는 사실로부터 중력 질량(m_g)과 관성 질량(m_i)은 같다. 이것은 중력에 의한 현상과 관성력에 의한 현상을 구별할 수 없다는 등가 원리로 설명될 수 있다.

(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 계산한 경우 근일점이 100년에 531"만큼 변하는 것으로 예측되어 43"라는 관측값과의 오차를 설명하지 못한다. 반면, 태양의 질량에 의해 시공간이 휘어져 있다는 일반 상대성 이론을 적용하여 계산하면 오차를 설명할 수 있다.

개념 체크

① 등가 원리: 관성력과 중력은 구별할 수 없다.

② 질량과 시공간: 질량에 의해 주위의 시공간이 휘어져 있으며 휘어진 시공간을 따라 물체와 빛이 진행한다.

1. 가속 좌표계에서 나타나는 관성력은 근본적으로 ()과 구별할 수 없다는 것을 등가 원리라고 한다.

2. 일반 상대성 이론에 의하면 행성의 ()이 클수록 행성 주위의 시공간의 휘어진 정도가 크다.

3. 등가 원리에 따라 중력에 의한 현상과 가속에 의한 현상은 구별할 수 없으므로 중력 질량과 ()은 서로 같다.

정답

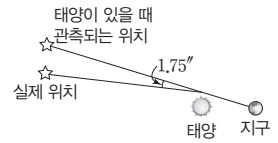
1. 중력
2. 질량
3. 관성 질량

개념 체크

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

1. 일반 상대성 이론에 의하면 중력이 (크게, 작게) 작용하는 공간일수록 시간이 느리게 간다.
2. 무거운 천체의 질량이 짧은 시간 동안 급격히 변할 때 시공간의 일그러짐이 파동이 되어 주변으로 퍼져 나가는 것을 () 라고 한다.
3. 중력을 받는 공간이나 (등속도 운동, 가속도 운동)을 하는 좌표계에서 빛을 관측할 때 빛이 휘어짐을 관찰할 수 있다.

- 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 지나는 별빛이 휘어지면서 지구에 도달한다는 일반 상대성 이론의 예측이 옳음을 증명한 것이다.
- 중력에 의한 시간 지연: 일반 상대성 이론에 의하면 중력의 영향으로 시공간이 휘어지는데, 시공간이 많이 휘어진 곳일수록 시간이 느리게 간다. GPS 위성에서 시간 정보를 지구로 송신할 때 지상의 높이에 해당하는 중력 차이를 고려하여 시간 지연을 보정한 값으로 보낸다.
- 중력파: 질량에 의해 시공간이 휘어져 있으므로 초신성 폭발과 같은 현상이 발생하여 질량의 공간적 분포에 변화가 있게 되면 주위의 시공간이 요동을 치게 되고, 이 흔들림이 파동으로 퍼져 나가는 것을 중력파라고 한다.



과학 돋보기 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 μ s 정도 느리게 간다.
- 일반 상대성 이론에 의한 시간 보정: 위성의 궤도에서 중력은 지표면에서보다 작으므로 위성의 시간은 지표면보다 하루에 약 45.7 μ s 정도 빠르게 간다.

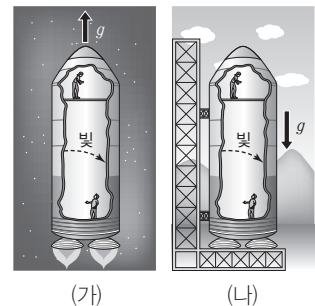
따라서 양쪽의 효과를 고려하면 위성에 있는 시계는 지표면에 있는 시계보다 하루에 약 38.6 μ s 정도 빨라진다. 이 시간의 차이를 보정해 주어야 한다.



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.

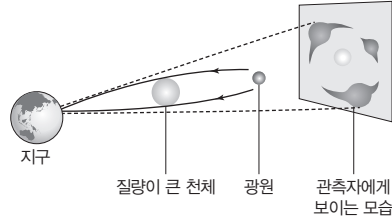


정답

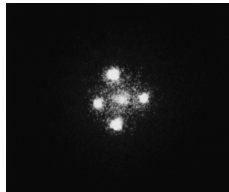
1. 크게
2. 중력파
3. 가속도 운동

(2) 중력 렌즈 효과

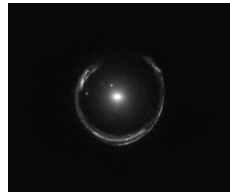
- ① 중력 렌즈 효과: 먼 곳에 있는 밝은 별로부터 빛이 지구에 도달할 때 중간에 질량이 매우 큰 천체가 있으면 빛은 휘어져 별의 상이 여러 개로 보일 수 있다. 이처럼 중력이 렌즈처럼 빛을 휘게 하는 것을 중력 렌즈 효과라고 한다.



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



아인슈타인의 십자가

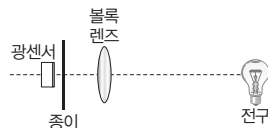


아인슈타인의 고리

탐구자료 살펴보기 중력 렌즈 효과 가상 실험

과정

- 불이 켜진 전구 앞에 둥글게 자른 종이를 고정하고 광센서에서 빛의 밝기를 측정한다.
- 종이에서 렌즈 사이 거리가 초점 거리가 되도록 종이와 전구 사이에 볼록 렌즈를 놓고 빛의 밝기를 측정한다.
- 측정 결과를 중력 렌즈 현상과 비교한다.



결과

- 전구와 종이 사이에 렌즈를 놓았을 때 빛의 밝기가 더 크게 측정된다.

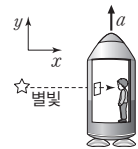
point

- 볼록 렌즈에 의해 빛이 모여 밝게 측정되는 것과 같이 중력 렌즈 역할을 하는 천체에 의해 먼 별에서 지구로 오는 별 빛의 밝기가 변하거나 여러 개의 상으로 관측된다.

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.

- 중력이 렌즈처럼 빛을 휘게 하여 여러 개의 상을 만드는 것을 () 효과라고 한다.
- 중력 렌즈 역할을 하는 천체의 질량이 (클수록, 작을수록) 관측되는 별의 위치가 실제 별의 위치와 차이가 크다.
- 그림과 같이 $+x$ 방향으로 진행하는 빛을 $+y$ 방향의 가속도 a 로 운동하는 관측자가 볼 때, 빛은 $(+y, -y)$ 방향으로 휘어진다.



정답

- 중력 렌즈
- 클수록
- $-y$

개념 체크

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

1. 천체의 질량이 M , 반지름이 R 인 천체 표면에서의 탈출 속도는 $\sqrt{\frac{M}{R}}$ 에 (비례, 반비례)한다.
2. 블랙홀의 탈출 속도는 빛의 속도보다 (크다, 작다).
3. 블랙홀의 존재는 블랙홀 주변에서 방출되는 () 선을 통해 간접적으로 알 수 있다.

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 300000 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

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

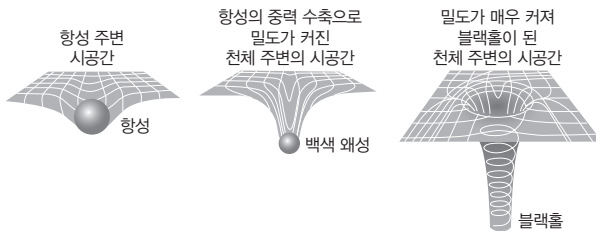
이다. 이 식을 이용하여 계산한 지구 표면에서의 탈출 속도는 약 11.2 km/s이다.



(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.

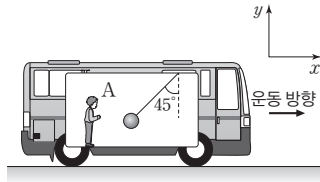


- ② 블랙홀의 형성: 별이 핵융합 과정을 끝내고 초신성 폭발 이후 남은 질량이 태양 질량의 약 3배~4배를 넘으면 별은 계속 붕괴하여 밀도가 무한히 커지며 결국 블랙홀이 된다.
- ③ 블랙홀의 발견: 블랙홀 주변의 물질이 블랙홀로 빨려 들어갈 때 매우 높은 온도로 가열되어 X선을 방출하는데, 이 X선을 관측하여 블랙홀을 발견할 수 있다.

정답

1. 비례
2. 크다
3. X

01 [22027-0067]
그림과 같이 관찰자 A가 탄 버스가 $+x$ 방향으로 운동한다. 버스의 천장에는 물체가 실에 매달려 있고, 실과 연직선이 이루는 각은 45° 로 일정하다.

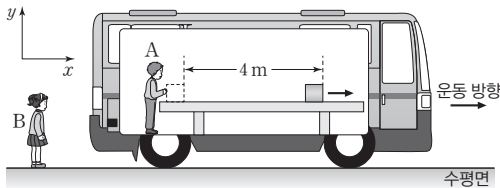


A의 좌표계에서 관측한 것으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실의 질량은 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. 물체에 작용하는 관성력의 방향은 $-x$ 방향이다.
 - ㄴ. 물체에 작용하는 관성력의 크기와 중력의 크기는 같다.
 - ㄷ. 실이 끊어지면 물체가 바닥까지 포물선 운동을 한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 [22027-0068]
그림과 같이 수평면에 정지해 있는 관찰자 B에 대해 관찰자 A가 탄 버스가 일정하게 속력이 변하며 $+x$ 방향으로 운동한다. A가 잡고 있던 질량이 1 kg 인 물체를 가만히 놓았더니 A의 좌표계에서 물체가 $+x$ 방향으로 2초 동안 4 m 만큼 운동하였다.

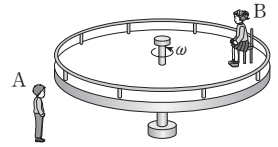


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기, 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. A의 좌표계에서 물체가 4 m 만큼 이동하는 동안 물체의 가속도 크기는 일정하다.
 - ㄴ. B의 좌표계에서 버스의 속력은 감소한다.
 - ㄷ. A의 좌표계에서 물체에 작용하는 관성력의 크기는 2 N 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 [22027-0069]
그림과 같이 지면에 정지해 있는 관찰자 A에 대해 관찰자 B가 일정한 각속도 ω 로 등속 원운동을 하는 놀이 기구에 앉아 있다.

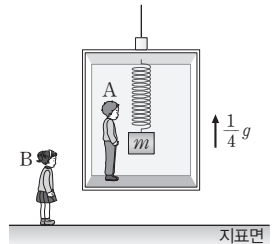


이때 A의 좌표계에서 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 F 이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. B의 좌표계는 가속 좌표계이다.
 - ㄴ. B의 좌표계에서 B에 작용하는 관성력은 원운동의 중심 방향으로 작용한다.
 - ㄷ. 놀이 기구의 각속도만 2ω 로 증가하면 B의 좌표계에서 B에 작용하는 관성력의 크기는 $\frac{1}{4}F$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 [22027-0070]
그림과 같이 지표면에 정지해 있는 관찰자 B에 대해 관찰자 A가 탄 엘리베이터가 일정하게 속력이 변하며 연직 위 방향으로 운동한다. 엘리베이터의 가속도의 방향은 연직 위 방



향이고, 크기는 $\frac{1}{4}g$ 이다. A의 좌표계에서는 질량이 m 인 물체가 엘리베이터의 천장에 연결된 용수철에 매달려 정지해 있다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g 이고, 용수철의 질량은 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. A의 좌표계에서 물체에 작용하는 관성력의 방향은 연직 아래 방향이다.
 - ㄴ. B의 좌표계에서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\frac{1}{4}mg$ 이다.
 - ㄷ. A와 B의 좌표계에서 물체에 작용하는 탄성력의 크기는 서로 같다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

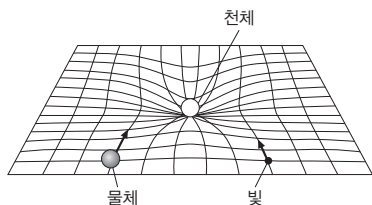
05 [22027-0071] 다음은 일반 상대성 이론에 대한 설명이다.

아인슈타인은 중력을 힘으로 간주하지 않고 물체의 (가)이/가 시공간을 휘게 한다고 생각했다. 초신성 폭발과 같은 현상이 발생하여 (가)의 공간적 분포에 급격한 변화가 있게 될 때, 이 변화에 의한 시공간의 흔들림이 파동이 되어 주변으로 퍼져 나가는 것을 (나)라고 한다.

(가), (나)에 들어갈 내용으로 옳은 것은?

- | | | | |
|------|-----|------|-----|
| | (가) | (나) | |
| ① 질량 | 물질파 | ② 질량 | 중력파 |
| ③ 질량 | 초음파 | ④ 온도 | 물질파 |
| ⑤ 온도 | 중력파 | | |

06 [22027-0072] 그림은 질량이 큰 천체 주위의 시공간을 물체와 빛이 지나가는 순간의 모습을 나타낸 것이다.



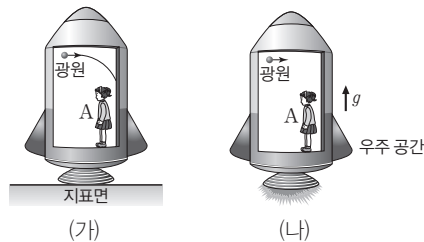
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 천체의 질량이 클수록 시공간이 휘어진 정도가 작다.
 ㄴ. 천체 주위의 시공간이 휘어져 있는 까닭을 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있다.
 ㄷ. 물체는 시공간을 따라 휘어지며 진행하고, 빛은 시공간의 휘어진 정도와 관계없이 직진한다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

07 [22027-0073] 그림 (가)는 지표면에 정지한 우주선 안의 관찰자 A가 광원에서 방출된 빛을 관측할 때, 빛의 경로를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 우주선이 무중력 상태의 우주 공간에서 가속도 g 로 운동할 때 광원에서 빛이 방출되는 것을 나타낸 것이다.



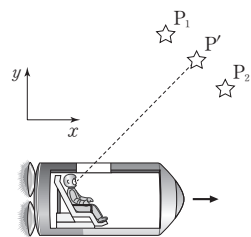
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 지표면에서 중력 가속도는 g 이다.)

보기

ㄱ. (가)에서 지표면 주변의 시공간은 휘어져 있다.
 ㄴ. (나)의 A가 관측할 때, 광원에서 방출된 빛은 직진한다.
 ㄷ. A가 외부를 볼 수 없다면, A는 중력에 의한 현상과 관성력에 의한 현상을 구별할 수 없다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 [22027-0074] 그림은 속력이 일정하게 증가하며 $+x$ 방향으로 가속도 운동을 하는 우주선 안의 관찰자가 별을 관측하는 모습을 나타낸 것이다. P'는 별이 관측되는 겉보기 위치이고, 별의 실제 위치는 P₁ 또는 P₂이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 별의 실제 위치는 P₁이다.
 ㄴ. 우주선의 가속도의 크기가 클수록 별의 실제 위치와 겉보기 위치 차이가 크다.
 ㄷ. 정지한 관측자가 태양 근처를 지나온 별빛을 관측할 때도 별의 위치가 다르게 보일 수 있다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

09 [22027-0075] 다음은 허블 망원경으로 촬영한 천체 사진에 대한 설명이다.

멀리 떨어진 퀘이사로부터 나온 빛이 은하단 주변을 지나 지구의 관측자에게 도달할 때, 빛이 휘어져 퀘이사의 상이 여러 개로 관찰된다.



은하단

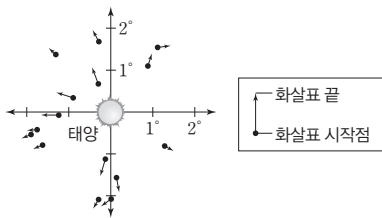
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 은하단이 오목 렌즈와 같은 역할을 한다.
- ㄴ. 뉴턴의 중력 이론으로 설명할 수 있다.
- ㄷ. 은하단의 질량이 클수록 은하단 주위의 시공간이 휘어진 정도가 크다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

10 [22027-0076] 그림은 에딩턴의 관측과 관련된 별의 상대적 위치 이동을 화살표로 나타낸 것이다. 화살표 끝과 시작점은 각각 일식이 일어날 때와 평상시 밤일 때 관측한 별의 위치를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

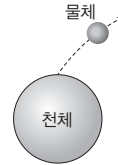
보기

- ㄱ. 중력 렌즈 현상이다.
- ㄴ. 화살표 시작점은 일식 때 관측한 별의 위치이다.
- ㄷ. 태양의 질량에 의해 시공간이 휘어져 나타나는 현상이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

11 [22027-0077] 다음은 탈출 속력에 대한 설명과 천체 A, B, C의 질량, 반지름, 탈출 속력을 나타낸 것이다.

천체의 표면에서 발사한 물체가 천체의 중력을 벗어나기 위한 지표면에서의 최소한의 속력을 탈출 속력이라고 한다.

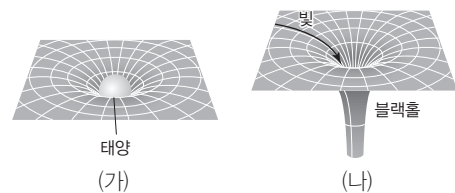


천체	질량	반지름	탈출 속력
A	M	R	v_A
B	$2M$	R	v_B
C	M	$2R$	v_C

v_A, v_B, v_C 의 크기를 옳게 비교한 것은?

- ① $v_A > v_B > v_C$
- ② $v_A > v_C > v_B$
- ③ $v_B > v_A > v_C$
- ④ $v_B > v_C > v_A$
- ⑤ $v_C > v_A > v_B$

12 [22027-0078] 그림 (가)는 태양 주변의 시공간을, (나)는 블랙홀 주위의 시공간을 지나는 빛이 블랙홀 중심부로 빨려 들어가는 것을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 태양과 같은 질량을 가진 천체가 블랙홀이 되기 위해서는 반지름이 매우 커져야 한다.
- ㄴ. 블랙홀 중심부로 접근할수록 시간은 빠르게 간다.
- ㄷ. 블랙홀의 탈출 속력은 빛의 속도보다 크다.

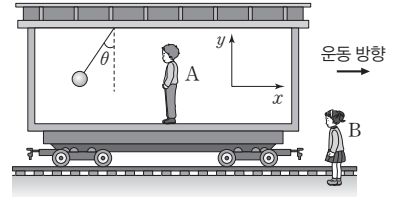
- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

가속 좌표계 안에서는 관성력을 받는다. 관성력의 방향은 계의 가속도 방향과 반대이다.

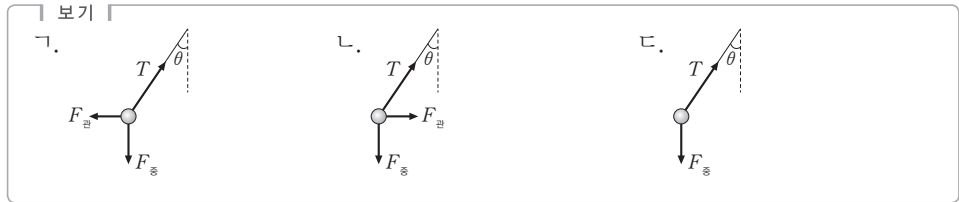
페트병의 좌표계에서 중력과 관성력이 평형을 이루면 무중력 상태가 되어 물이 새지 않는다.

01 [22027-0079]

그림과 같이 수평면에 정지해 있는 관찰자 B에 대해 관찰자 A가 탄 기차가 +x 방향으로 운동한다. 기차의 천장에는 물체가 실에 매달려 있고, 실과 연직선이 이루는 각은 θ 로 일정하다.



물체에 작용하는 중력과 관성력을 각각 $F_{중}$, $F_{관}$, 실이 물체에 작용하는 힘을 T 라 할 때, A의 좌표계와 B의 좌표계에서 물체에 작용하는 $F_{중}$, $F_{관}$, T 의 관계를 나타낸 것으로 가장 적절한 것을 <보기>에서 고른 것은?



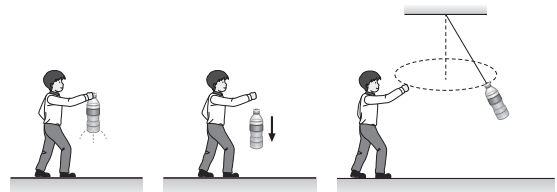
- | | A의 좌표계 | B의 좌표계 | | A의 좌표계 | B의 좌표계 |
|---|--------|--------|---|--------|--------|
| ① | ㄱ | ㄴ | ② | ㄱ | ㄷ |
| ③ | ㄴ | ㄱ | ④ | ㄴ | ㄷ |
| ⑤ | ㄷ | ㄱ | | | |

02 [22027-0080]

다음은 관성력에 대해 탐구한 내용이다.

[탐구 과정]

(가) 페트병의 아래 부분에 송곳으로 구멍을 뚫고 물을 채운 후 페트병을 들고 서 있으면서 물이 구멍으로 새어 나오게 한다.



(나) (가)에서 페트병을 가만히 놓아 떨어뜨렸을 때, 페트병이 낙하하는 동안 물이 어떻게 되는지 관찰한다.

(다) (가)에서 페트병을 실에 매달고 등속 원운동 시킬 때, 물이 어떻게 되는지 관찰한다.

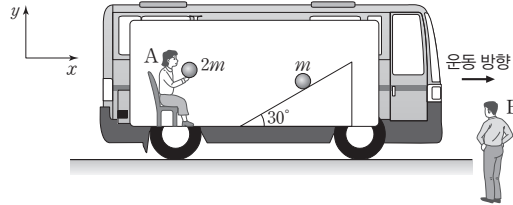
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 공기 저항은 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. (나)의 페트병의 좌표계에서 물이 받는 관성력의 방향은 연직 아래 방향이다.
 - ㄴ. (나), (다)에서 모두 물이 새어 나온다.
 - ㄷ. (다)에서 실이 끊어지면 페트병이 낙하하는 동안 물이 새지 않는다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

03 [22027-0081]

그림과 같이 수평면에 정지해 있는 관찰자 B에 대해 관찰자 A가 탄 버스가 등가속도 운동을 한다. 버스의 운동 방향은 $+x$ 방향이고, A의 좌표계에서 버스 안의 경사각이 30° 인 빗면 위에는 질량이 m 인 물체가 정지해 있다.



가속도의 크기가 a 인 가속 좌표계에서 질량이 m 인 물체에 작용하는 관성력의 크기는 ma 이다.

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

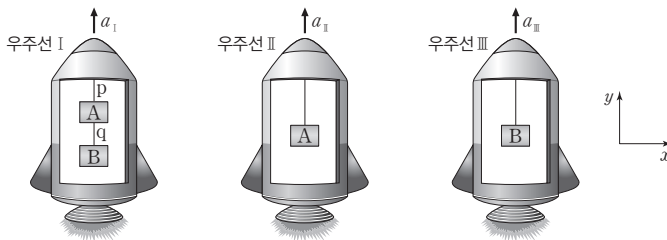
보기

- ㄱ. B의 좌표계에서 버스의 속력은 감소한다.
- ㄴ. B의 좌표계에서 버스의 가속도의 크기는 $\frac{1}{\sqrt{3}}g$ 이다.
- ㄷ. A의 좌표계에서 질량이 $2m$ 인 물체를 빗면 위에 가만히 놓으면 물체는 빗면을 따라 내려간다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 [22027-0082]

그림과 같이 무중력 공간에서 물체 A, B가 함께 또는 A, B가 각각 실에 연결된 우주선 I, II, III이 가속도의 크기가 각각 a_I, a_{II}, a_{III} 인 등가속도 직선 운동을 한다. I, II, III의 가속도의 방향은 모두 $+y$ 방향이다. I에서 실 p가 A를 당기는 힘의 크기는 실 q가 B를 당기는 힘의 크기의 3배이고, I에서 p가 A를, II에서 실이 A를, III에서 실이 B를 각각 당기는 힘의 크기는 모두 같다.



관성력이 아닌 실제 존재하는 힘들은 항상 두 물체 사이의 상호 작용에 의해 나타난다. 물체의 운동은 관찰자에 따라 상대적으로 기술되는 방법이 다르더라도 두 물체 사이의 상호 작용에 의해 나타나는 힘은 관찰자의 운동 상태와 관계없이 동일하게 나타난다.

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

보기

- ㄱ. I의 좌표계에서 물체에 작용하는 관성력의 크기는 A가 B보다 크다.
- ㄴ. II에서 실이 A에 작용하는 힘의 크기는 II의 좌표계에서와 II 밖의 관성 좌표계에서 측정할 때가 서로 같다.
- ㄷ. $a_{III} > a_I > a_{II}$ 이다.

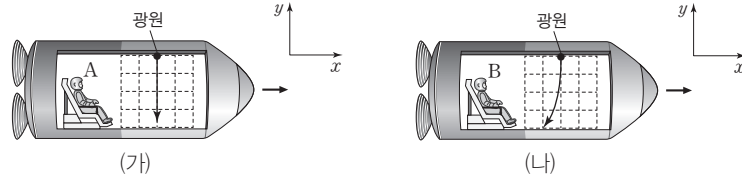
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

등가 원리에 의하면 중력과 관성력을 구별할 수 없다.

볼록 렌즈를 통과한 빛이 모여 밝아지는 것과 같이 중력 렌즈에 의해 빛이 모여 별의 밝기가 더 밝은 것으로 관측된다.

05 [22027-0083]

그림 (가), (나)는 무중력 공간에서 $+x$ 방향으로 운동하는 관찰자 A, B가 탄 우주선의 광원에서 $-y$ 방향으로 빛을 방출했을 때, A, B가 관측한 빛의 경로를 나타낸 것이다. (가), (나)에서 우주선은 등가속도 직선 운동 또는 등속도 운동을 한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

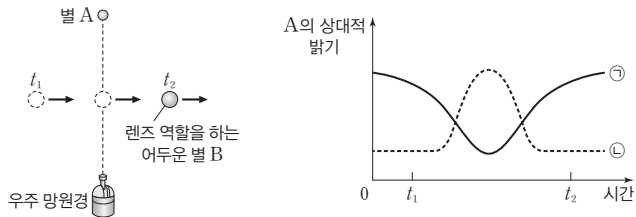
- ㄱ. (가)의 우주선은 등속도 운동을 한다.
- ㄴ. B가 탄 우주선 밖의 정지한 관측자가 관찰할 때, B가 탄 우주선의 속력은 느려진다.
- ㄷ. B가 외부를 볼 수 없다면, (나)에서 빛이 휘어진 까닭이 중력 때문인지 관성력 때문인지 구별할 수 없다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

06 [22027-0084]

다음은 중력 렌즈 현상에 대해 조사한 내용이다.

- 별빛의 휘어지는 정도가 작아 관측된 별의 위치와 실제 위치의 차이가 미세한 경우 빛의 상대적 밝기 변화를 통해 중력 렌즈 효과를 확인할 수 있다.
- 그림과 같이 우주 망원경을 통해 멀리 떨어진 별 A에서 방출된 빛을 어두운 별 B가 우주 망원경과 A 사이를 통과하는 동안 관측하면 A의 상대적 밝기가 시간에 따라 변한다. $t_1 \sim t_2$ 동안 관측한 A의 상대적 밝기 변화는 ㉠과 ㉡ 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

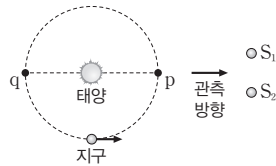
- ㄱ. A의 상대적 밝기 변화 그래프는 ㉠이다.
- ㄴ. B는 볼록 렌즈 역할을 한다.
- ㄷ. B 위치에 따라 A의 상대적 밝기가 변하는 까닭은 B 주변의 시공간이 휘어지기 때문이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

07 [22027-0085] 다음은 에딩턴의 관측과 관련하여 조사한 자료이다.

[탐구 과정]

- (가) 태양 주위를 공전하는 지구가 p점에 있을 때, 지구에서 충분히 멀리 있는 두 별 S₁과 S₂의 위치를 관측하여 기록한다.
- (나) 지구가 q점에 있고, 일식이 일어났을 때 S₁과 S₂의 위치를 관측하여 기록한다.
- (다) (가), (나)에서 S₁과 S₂ 사이의 간격을 측정한다.



[탐구 결과]

- 사진 A, B는 (가), (나)에서 촬영한 사진을 순서 없이 나타낸 것이다.

사진 A	사진 B

- (다)의 결과 : $d_1 > d_2$

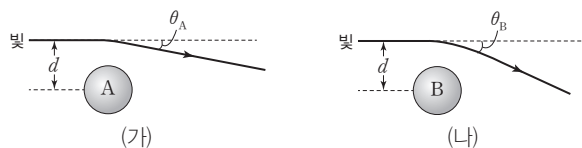
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. (가)에서 촬영한 사진은 A이다.
- ㄴ. S₁과 S₂ 사이의 간격이 변한 까닭은 태양 주위의 시공간이 휘어져 있기 때문이다.
- ㄷ. $d_1 > d_2$ 인 까닭을 아인슈타인의 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

08 [22027-0086] 그림 (가), (나)는 크기와 모양이 같은 천체 A, B 주변에서 빛이 휘는 모습을 나타낸 것이다. $\theta_A < \theta_B$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 질량은 B가 A보다 크다.
- ㄴ. 시간은 A의 표면에서가 B의 표면에서보다 느리게 간다.
- ㄷ. 표면에서의 탈출 속력은 A가 B보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

태양 주위의 시공간이 휘어져 있어 별의 위치가 평상시 밤과 일식 때 다른 지점에서 관측된다.

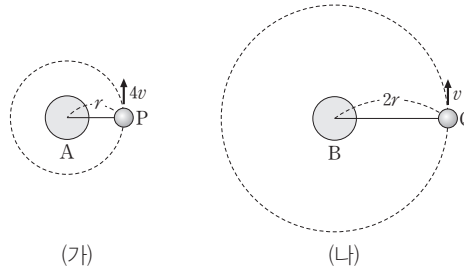
질량이 더 큰 천체 주변에서 시공간이 더 많이 휘어진다.

위성이 등속 원운동을 할 때 행성의 중력이 구심력으로 작용하므로 $\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$ 이다.

천체의 질량이 M , 반지름이 R 인 천체 표면에서의 탈출 속력은 $\sqrt{\frac{M}{R}}$ 에 비례한다.

09 [22027-0087]

그림 (가), (나)는 질량이 같은 위성 P, Q가 질량이 서로 다른 행성 A, B를 중심으로 반지름이 각각 $r, 2r$ 인 궤도를 따라 등속 원운동을 하고 있는 것을 나타낸 것이다. P, Q의 속력은 각각 $4v, v$ 이고, A, B의 반지름은 서로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. P, Q의 좌표계에서 위성이 받는 관성력의 크기는 P가 Q보다 크다.
- ㄴ. 일반 상대성 이론에 의하면 행성 주변의 시공간의 휘어진 정도는 A에서가 B에서보다 크다.
- ㄷ. 행성 표면에서 탈출 속력은 A가 B보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10 [22027-0088]

다음은 탈출 속력과 천체 A, B, C의 물리량에 대해 조사한 내용이다.

천체의 표면에서 발사된 물체가 천체의 중력을 벗어나 무한히 멀어지기 위해 필요한 최소의 발사 속력을 탈출 속력이라 한다.

천체	질량	반지름	탈출 속력
A	M_0	R_0	v_0
B	\ominus	R_0	$4v_0$
C	M_0	$\frac{1}{4}R_0$	$\omin�$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

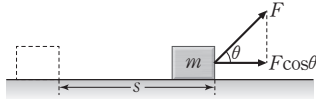
보기

- ㄱ. $\omin�$ 은 M_0 보다 크다.
- ㄴ. $\omin�$ 은 v_0 보다 작다.
- ㄷ. 일반 상대성 이론에 의하면 천체 주변의 시공간이 휘어진 정도는 B에서가 A에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

1 일과 운동 에너지

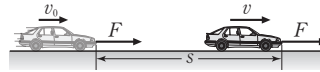
(1) **일:** 물체가 일직선을 따라 거리 s 만큼 움직이는 동안 크기가 F 인 일정한 힘이 운동 방향과 θ 의 각을 이루며 작용했을 때, 그 힘이 물체에 한 일은 다음과 같다.



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

(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.



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

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

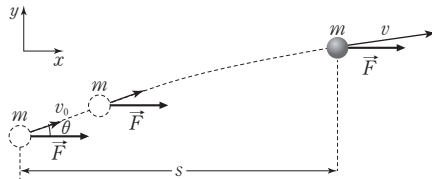
$$W = F s = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m v_0^2 = \Delta E_k$$

➔ 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.

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 속력 v_0 으로 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.

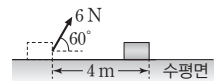
② y 축 방향의 속도 성분 v_y 는 물체의 이동 거리와 관계없이 $v_0 \sin \theta$ 로 일정하다. 따라서 $v^2 = v_x^2 + v_y^2 = (v_0 \cos \theta)^2 + 2 a s + (v_0 \sin \theta)^2 = v_0^2 + 2 a s$ 가 성립한다.

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.

개념 체크

① **일·운동 에너지 정리:** 알짜힘이 한 일만큼 물체의 운동 에너지가 변한다.

1. 그림과 같이 물체에 6 N의 힘을 작용하여 물체를 힘의 방향과 60° 의 방향으로 4 m만큼 이동시켰을 때 물체를 이동시킨 힘이 한 일은 () J이다.



2. 마찰이 없는 수평면에서 정지해 있는 질량이 2 kg인 물체에 수평 방향으로 힘이 작용하여 25 J의 일을 해 주었을 때 물체의 속력은 () m/s가 된다.

3. 물체에 작용한 ()이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

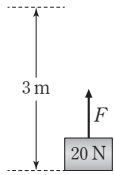
정답

1. 12
2. 5
3. 알짜힘

개념 체크

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

[1~3] 그림과 같이 무게가 20 N인 물체를 연직 위로 크기가 F 인 일정한 힘을 작용하여 등속으로 3 m만큼 들어 올렸다.



1. 3 m만큼 들어 올리는 동안 F 가 한 일은 () J이다.
2. 3 m만큼 들어 올리는 동안 중력 퍼텐셜 에너지는 () J만큼 증가하였다.
3. 3 m만큼 들어 올리는 동안 알짜힘이 한 일은 () J이다.

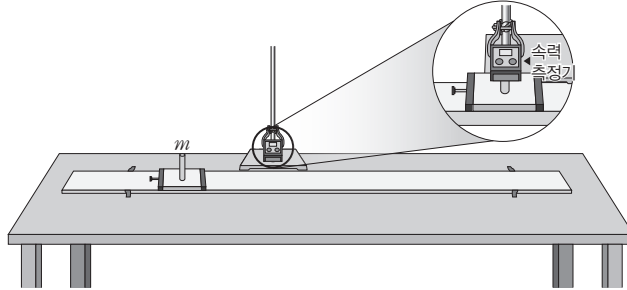
정답

1. 60
2. 60
3. 0

탐구자료 살펴보기 일 · 운동 에너지 관계 확인

과정

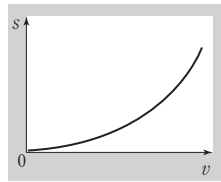
(1) 그림과 같이 속도 측정기를 설치하고, 질량 m 인 수레를 손으로 밀어 수레가 속도 측정기를 지난 후 멈출 수 있도록 한다.



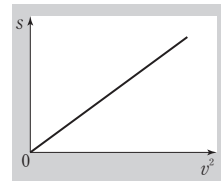
- (2) 수레가 속도 측정기를 지날 때의 수레의 속도 v 와 속도 측정 지점으로부터 수레가 멈추는 지점까지 거리 s 를 측정한다.
- (3) 속도 측정기에서 측정되는 수레의 속력이 여러 값으로 측정되도록 수레를 미는 힘의 크기를 다르게 하여 과정 (2)를 5회 이상 반복한다.

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

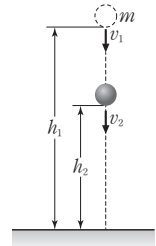
point

• 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 다음과 같다.

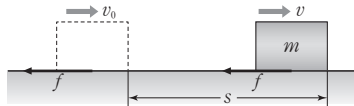


$$W = mg(h_1 - h_2) = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = \Delta E_k$$

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

(2) **마찰력이 한 일**: 수평면에서 속도 v_0 로 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 라 하면, 등가속도 운동에서 $-2as = v^2 - v_0^2$ 이다.

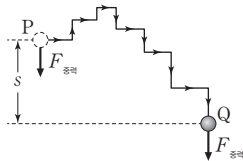
$a = \frac{f}{m}$ 이므로 $W = -fs = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = \Delta E_k$ 이다.

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

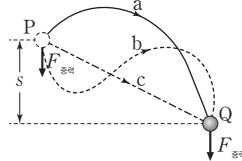
과학 돋보기 이동 경로와 중력이 한 일

(가)와 같이 물체에 연직 아래 방향으로 크기가 $F_{중력}$ 인 중력이 작용하고 있고, 다른 힘들이 작용하여 물체가 중력의 방향에 대해 수직 방향, 같은 방향, 반대 방향으로 이동하는 경우를 반복하여 결국 P에서 Q까지 이동하는 경우를 생각해 보자. 물체가 중력의 방향과 수직으로 이동할 때 중력이 물체에 한 일은 0이고, 중력의 방향과 같은 방향으로 이동할 때 중력이 물체에 한 일은 (+), 반대 방향으로 이동할 때 한 일은 (-)이다. 결국 두 지점의 높이의 차가 s 인 P에서 Q까지 물체가 이동하는 동안 중력이 한 일 W 는 $F_{중력}$ 과 s 의 곱이 된다. ($W = F_{중력} \cdot s$)

(나)와 같이 물체가 P에서 Q까지 $F_{중력}$ 과 다른 힘들이 작용하여 경로 a, b, c를 따라 이동할 때, 이 경로들을 (가)와 같이 아주 미세한 직각 경로가 반복된 것으로 생각할 수 있다. 따라서 a, b, c의 경로와 관계없이 P에서 Q까지 이동하는 동안 $F_{중력}$ 이 한 일은 결국 (가)와 같다.

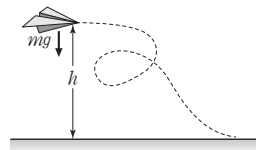


(가) 물체가 직각 경로로 이동할 때



(나) 물체가 다양한 경로로 이동할 때

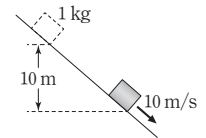
즉, 중력이 물체에 하는 일은 수평 방향의 운동에 의해 영향을 받지 않고, 두 지점의 높이의 차에만 관계한다. 따라서 질량이 m 인 물체가 높이 h 인 곳에서 여러 가지 다른 경로를 따라 바닥으로 내려갈 때, 중력이 물체에 하는 일은 물체의 이동 경로와 관계없이 모두 $W = mgh$ 로 같음을 알 수 있다.



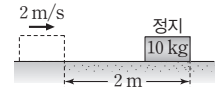
개념 체크

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

1. 그림과 같이 빗면에 가만히 놓은 질량이 1 kg인 물체가 높이 10 m만큼 내려온 순간 속력이 10 m/s가 되었을 때, 마찰로 소모된 에너지는 () J이다. (단, 중력 가속도는 10 m/s²이다.)



2. 그림과 같이 수평면에서 2 m/s의 일정한 속력으로 운동하는 질량이 10 kg인 물체가 크기가 () N인 마찰력을 받으면 물체는 2 m만큼 이동하여 정지한다. (단, 물체의 크기는 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.

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

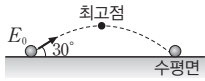
정답

- 1. 50
- 2. 10

개념 체크

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

[1~3] 그림과 같이 수평면과 30°의 각을 이루는 방향으로 던져진 물체가 포물선 운동을 하여 수평면에 도달한다. 던져진 순간 물체의 역학적 에너지는 E_0 이다. (단, 수평면에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 0이다.)



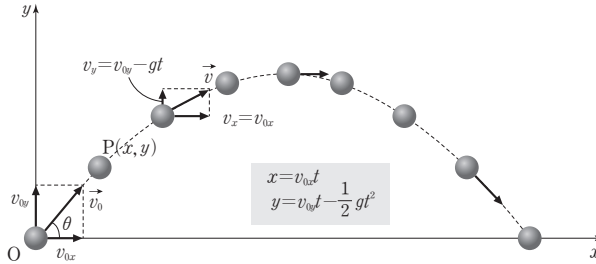
1. 최고점에서 물체의 운동 에너지는 ()이다.
2. 최고점에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 ()이다.
3. 수평면에 도달할 때, 물체의 운동 에너지는 ()이다.

정답

1. $\frac{3}{4}E_0$
2. $\frac{1}{4}E_0$
3. E_0

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.

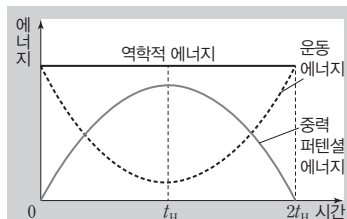
$$U(t) = mgy = mg\{(v_0 \sin \theta)t - \frac{1}{2}gt^2\}$$

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.

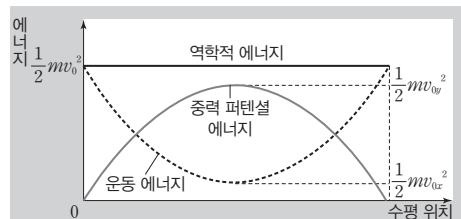
$$\begin{aligned} E(t) &= K(t) + U(t) = \frac{1}{2}mv^2 + mgy \\ &= \frac{1}{2}m\{(v_0 \cos \theta)^2 + (v_0 \sin \theta - gt)^2\} + mg\{(v_0 \sin \theta)t - \frac{1}{2}gt^2\} \\ &= \frac{1}{2}mv_0^2 = E_0 \end{aligned}$$

→ 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

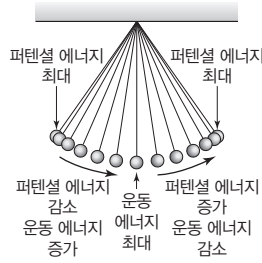
4 단진자와 역학적 에너지

(1) 단진자의 역학적 에너지

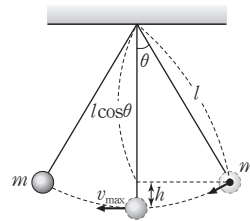
① 단진자 운동과 역학적 에너지: 질량을 무시할 수 있는 줄에 작은 물체를 매달고 연직 방향에 대해 줄을 기울였다가 놓으면 물체가 연직면에서 왕복 운동하는데, 이를 단진자라고 한다. 공기 저항과 마찰을 무시하면 단진자의 역학적 에너지는 보존된다.

➔ 그림과 같이 진자가 출발점에서 진동의 중심을 향해 아래 방향으로 운동할 때 운동 에너지 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(최하점): 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.



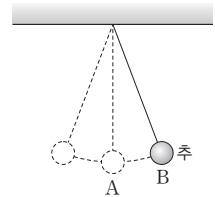
② 최하점에서 진자의 속력 v_{\max} : 그림과 같이 길이 l , 질량 m 인 단진자를 진폭 θ 로 진동시킬 때, 최하점에서 중력 퍼텐셜 에너지를 0으로 하면, 최하점과 최고점의 높이 차이가 h 이므로 최고점에서 역학적 에너지는 $mgh = mgl(1 - \cos\theta)$ 이고, 최하점에서 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}mv_{\max}^2$ 이므로 $\frac{1}{2}mv_{\max}^2 = mgl(1 - \cos\theta)$ 에서 $v_{\max} = \sqrt{2gl(1 - \cos\theta)}$ 이다.



개념 체크

- 복원력: 계가 평형점으로부터 벗어났을 때 원래의 상태로 되돌아가려는 힘
- 단진자 운동에서의 역학적 에너지: 단진자 운동에서 물체가 최고점에서 출발하는 순간에 중력 퍼텐셜 에너지가 최대이고, 운동 에너지는 0이다. 물체가 최하점을 지나는 순간에는 운동 에너지가 최대이고 중력 퍼텐셜 에너지는 최소가 된다.

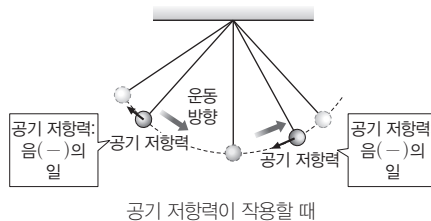
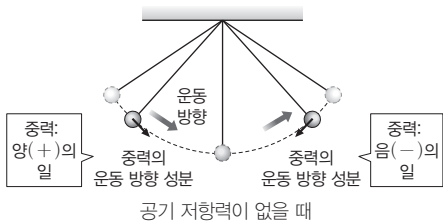
[1-3] 그림과 같이 실에 매달린 추가 진자 운동을 한다. 점 A, B는 각각 최하점과 최고점이다. (단, 실의 질량과 추의 크기는 무시한다.)



1. A에서 B로 갈 때 추의 운동 에너지는 (증가, 감소)한다.
2. B에서 A로 갈 때 () 에너지 감소량과 () 에너지 증가량은 같다.
3. B에서 A로 갈 때 알짜 힘이 한 일은 A에서의 () 에너지와 같다.

과학 돋보기 단진자에 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 최하점을 향해 내려갈 때는 중력의 운동 방향 성분과 운동 방향이 같은 방향이므로 중력은 진자에 양(+)의 일을 한다. 반대로 진자가 최하점을 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. 감소
2. 중력 퍼텐셜, 운동
3. 운동

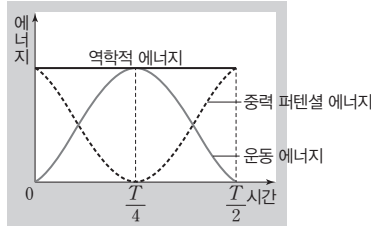
개념 체크

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

[1~3] 단진동하는 단진자의 주기에 대해 답하시오.

1. 단진자의 주기는 추의 질량이나 진폭에 관계없이 진자의 ()와 중력 가속도에만 영향을 받는다.
2. 단진자의 길이가 4배가 되면 주기는 ()배가 된다.
3. 진자의 길이가 l , 단진자의 주기가 T 일 때, 중력 가속도의 크기는 ()이다.

(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.

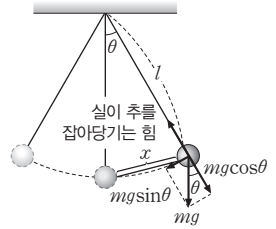
① 추에 작용하는 힘: θ 가 매우 작으므로 그림에서 $\sin\theta = \frac{x}{l}$ 이다.

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.

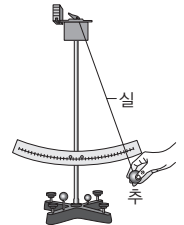
③ 진자의 등시성: 단진자의 주기는 추의 질량이나 진폭에 관계없이 진자의 길이에만 관계가 있다.



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. 길이
2. 2
3. $\frac{4\pi^2 l}{T^2}$

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 차이에 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

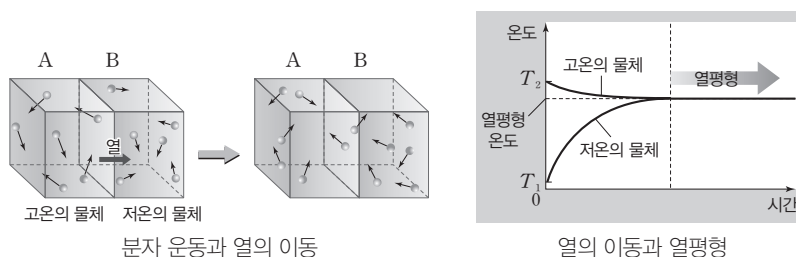
실온에서 여러 가지 물질의 비열

- 열용량(C): 어떤 물체의 온도를 1 K 높이는 데 필요한 열량을 의미한다.
 - 질량 m (kg)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 양

1. 고온의 물체와 저온의 물체가 접촉하면 ()의 물체에서 ()의 물체로 열이 이동한다.
2. 어떤 물질 1 kg의 온도를 1 K 높이는 데 필요한 열량을 ()이라고 한다.
3. 비열 c , 질량 m 인 물체의 온도를 ΔT 만큼 높이는 데 필요한 열량은 ()이다.

정답

1. 고온, 저온
2. 비열
3. $cm\Delta T$

개념 체크

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

1. 찌그러진 탁구공을 뜨거운 물속에 넣으면 탁구공이 원래 모양으로 돌아오는 것은 ()이 ()로 전환되는 예이다.

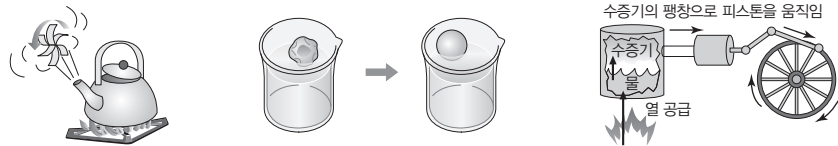
2. 물체를 구성하는 입자들의 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 총합을 ()라고 한다.

3. 계가 외부에서 받은 열량을 Q , 계가 외부에 한 일을 W 라고 하면, 계의 내부 에너지 변화량은 ()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.
- 추운 겨울에 손을 비비면 마찰에 의해 열이 발생하여 손이 따뜻해진다.
- 모래가 들어 있는 통을 여러 번 흔들면 모래의 온도가 올라간다.

(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 $W < 0$, 계가 일을 하면 $W > 0$, 계가 주위로 열을 방출하면 $Q < 0$, 계가 주위로부터 열을 흡수하면 $Q > 0$ 이다.

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

정답

1. 열 일
2. 내부 에너지
3. $Q - W$

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 1cal에 해당하는 일의 양은 4.2 J이다.

1. 열의 일당량이 J 일 때, 일 $W[\text{J}]$ 와 열량 $Q[\text{cal}]$ 사이에는 ()의 관계식이 성립한다.
2. 줄의 실험 장치에서 중력이 추에 한 일이 147 J일 때, 회전 날개와 물 사이의 마찰로 발생한 열량은 () cal이다. (단, 열의 일당량은 4.2 J/cal이다.)
3. 과자 한 봉지의 열량이 400 kcal일 때 이 과자의 열량에 해당하는 일의 양은 () kJ이다. (단, 열의 일당량은 4.2 kJ/kcal이다.)

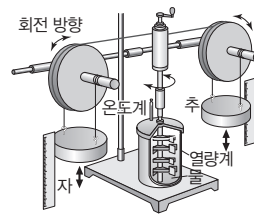
탐구자료 살펴보기 줄의 실험과 열의 일당량

자료

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

질량이 15 kg인 추 2개를 1.5 m만큼 낙하시키는 실험을 20회 반복하였더니 질량이 5 kg인 물의 온도가 약 0.42 °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



분석

- 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. $W = JQ$
2. 35
3. 1680

01 [22027-0089] 그림과 같이 마찰이 없는 수평면에서 물체가 전동기로부터 일정한 힘을 받아 등가속도 직선 운동을 한다. 표는 물체의 위치에 따른 운동 에너지를 나타낸 것이다.

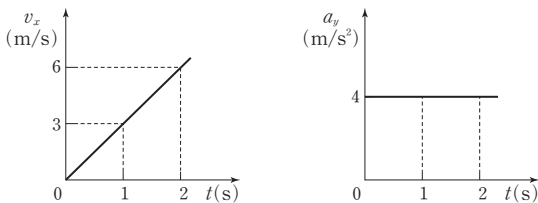


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 2 N이다.
 - ㄴ. $x=1$ m에서 물체의 운동 에너지는 8 J이다.
 - ㄷ. 물체의 속력은 $x=2$ m에서가 $x=1$ m에서의 $\frac{5}{4}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

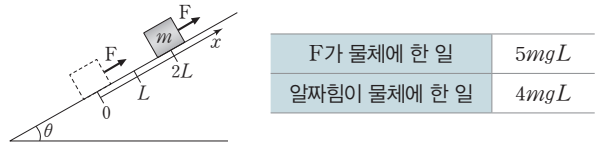
02 [22027-0090] 그림은 xy 평면에서 정지해 있던 질량이 2 kg인 물체가 크기가 F 인 알짜힘을 받아 운동하는 순간부터 속도의 x 성분 v_x 와 가속도의 y 성분 a_y 를 시간 t 에 따라 나타낸 것이다. 알짜힘이 1초부터 2초까지 물체에 한 일은 W 이다.



F 와 W 로 옳은 것은?

- | | | | | | |
|---|------|-------|---|------|------|
| | F | W | | F | W |
| ① | 5 N | 25 J | ② | 5 N | 75 J |
| ③ | 10 N | 25 J | ④ | 10 N | 75 J |
| ⑤ | 10 N | 100 J | | | |

03 [22027-0091] 그림과 같이 경사각이 θ 인 빗면에서 질량이 m 인 물체에 x 축 방향으로 일정한 힘 F 가 작용하여 물체가 $x=0$ 에서 $x=2L$ 까지 등가속도 직선 운동을 한다. 표는 물체가 $x=0$ 에서 $x=2L$ 까지 이동하는 동안, F 와 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일을 나타낸 것이다.

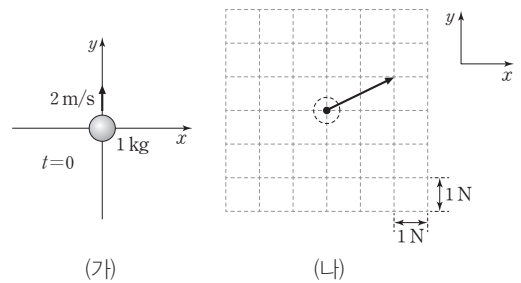


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g 이고, 마찰과 물체의 크기는 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. F 의 크기는 $\frac{5}{2}mg$ 이다.
 - ㄴ. 물체가 $x=0$ 에서 $x=2L$ 까지 이동하는 동안, 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 mgL 이다.
 - ㄷ. $\sin\theta = \frac{1}{2}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 [22027-0092] 그림 (가)는 질량 1 kg인 물체가 xy 평면에서 시간 $t=0$ 일 때 원점을 2 m/s의 속력으로 $+y$ 방향으로 통과하는 모습을, (나)는 이 순간부터 물체에 작용하는 알짜힘을 화살표로 나타낸 것이다.

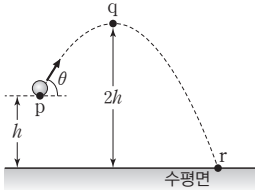


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. $t=0$ 이후, 물체는 포물선 운동을 한다.
 - ㄴ. $t=1$ 초일 때, 물체의 속력은 5 m/s이다.
 - ㄷ. $t=0$ 부터 $t=2$ 초까지 알짜힘이 한 일은 10 J이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

05 [22027-0093] 그림과 같이 수평면으로부터 높이가 h 인 점 p에서 수평면과 θ 의 각을 이루며 던져진 물체가 최고점 q를 지나 수평면 위의 점 r까지 포물선 운동을 한다. 표는 p, q에서 물체의 운동 에너지를 나타낸 것이다.



위치	운동 에너지
p	$5E_0$
q	E_0

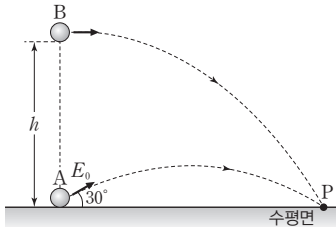
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

보기

- ㄱ. p에서 q까지 운동하는 동안 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량은 $4E_0$ 이다.
- ㄴ. r에서 물체의 운동 에너지는 $9E_0$ 이다.
- ㄷ. $\tan\theta = 2$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

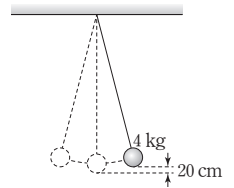
06 [22027-0094] 그림과 같이 물체 A가 수평면에 대해 30° 의 방향으로 던져진 순간, A의 연직 위로 높이 h 인 지점에서 물체 B가 수평 방향으로 던져진다. A, B는 포물선 운동을 하여 수평면상의 점 P에 동시에 도달한다. 던져진 순간, A의 운동 에너지는 E_0 이다. A와 B의 질량은 같다.



P에 도달하는 순간, B의 운동 에너지는? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

- ① $\frac{3}{2}E_0$ ② $\frac{7}{4}E_0$ ③ $2E_0$ ④ $\frac{9}{4}E_0$ ⑤ $\frac{5}{2}E_0$

07 [22027-0095] 그림과 같이 질량이 4 kg 인 추가 단진동을 한다. 추의 최고점과 최저점의 높이 차는 20 cm 이다.



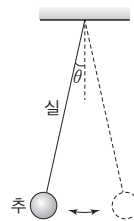
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 10 m/s^2 이고, 실의 질량과 추의 크기는 무시한다.)

보기

- ㄱ. 추가 최고점에서 최저점까지 내려가는 동안, 중력이 추에 한 일은 8 J 이다.
- ㄴ. 추가 최저점에서 최고점까지 올라가는 동안, 실이 추를 당기는 힘이 한 일은 0 이다.
- ㄷ. 최저점에서 추의 속력은 2 m/s 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 [22027-0096] 그림과 같이 실에 매달린 추를 실과 연직선이 이루는 각이 θ 가 되도록 당긴 후 가만히 놓았더니 추가 단진동을 한다. 표는 θ 를 동일하게 하고, 추의 질량과 실의 길이를 변화시켰을 때, 추의 운동 에너지의 최댓값을 나타낸 것이다.



단진자	추의 질량	실의 길이	운동 에너지 최댓값
A	m	$2l$	E_1
B	$3m$	l	E_2

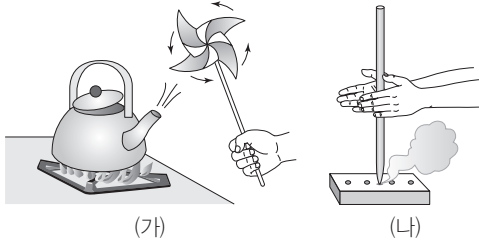
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실의 질량과 추의 크기는 무시한다.)

보기

- ㄱ. A의 추가 1회 왕복 운동하는 동안 실이 추를 당기는 힘이 추에 한 일은 E_1 과 같다.
- ㄴ. $E_2 > E_1$ 이다.
- ㄷ. 단진자의 주기는 B가 A보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

09 [22027-0097] 그림 (가)는 물이 끓을 때 발생하는 수증기에 의해 바람개비가 돌아가는 모습을, (나)는 나무와 나무를 마찰시켜 불을 피우는 모습을 나타낸 것이다.

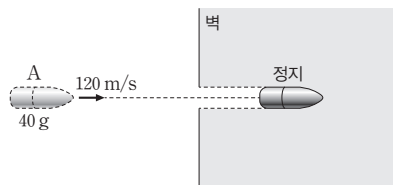


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. (가)는 열이 일로 전환된 예이다.
 - ㄴ. (나)에서 나무를 구성하는 분자들의 내부 에너지는 감소한다.
 - ㄷ. (가), (나)를 통해 일과 열은 서로 전환될 수 있음을 알 수 있다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10 [22027-0098] 그림과 같이 120 m/s의 일정한 속력으로 운동하던 질량이 40 g인 탄환 A가 벽을 뚫고 들어가다 마찰에 의해 정지한다. 벽에 충돌하기 전 A의 운동 에너지의 $\frac{1}{2}$ 은 A가 벽에서 운동하는 동안 A의 온도를 높이는 데 사용된다. A의 비열은 0.03 cal/g·°C이다.

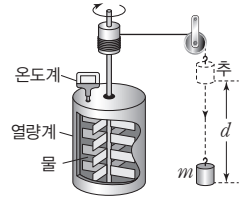


A에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 열의 일당량은 4 J/cal이다.)

- 보기
- ㄱ. 온도가 상승하는 동안, A의 내부 에너지가 증가한다.
 - ㄴ. 정지할 때까지 A가 얻은 열량은 36 cal이다.
 - ㄷ. 온도 변화량은 60 °C이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

11 [22027-0099] 그림은 줄의 실험 장치에서 질량이 m 인 추가 거리 d 만큼 일정한 속도로 낙하하는 것을 나타낸 것으로, 이때 열량계 속에 담긴 물의 온도 변화는 T_0 이다.

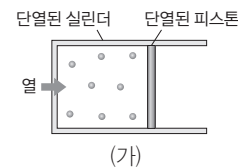


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g 이고, 추의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량은 모두 물의 온도 변화에만 사용된다.)

- 보기
- ㄱ. 추가 d 만큼 낙하하는 동안, 중력이 추에 한 일은 mgd 이다.
 - ㄴ. 낙하 거리만을 증가시켜 실험하면 물의 온도 변화는 T_0 보다 커진다.
 - ㄷ. 물의 비열과 열량계에 담긴 물의 질량을 알면 열과 일 사이의 관계식을 찾을 수 있다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

12 [22027-0100] 그림 (가)는 실린더에 들어 있는 이상 기체에 열을 공급하는 모습을, (나)는 (가)의 이상 기체에 열량 Q 를 공급했을 때, 기체의 내부 에너지 변화량 ΔU 와 기체가 외부에 한 일 W 를 나타낸 것이다.

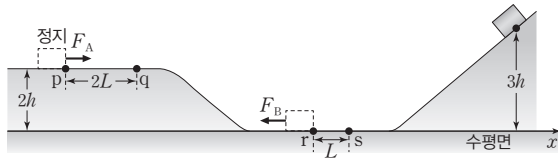


과정	Q	ΔU	W
I	Q_0	126 J	W_0
II	$2Q_0$	0	$5W_0$

Q_0 와 W_0 로 옳은 것은? (단, 열의 일당량은 4.2 J/cal이고, 모든 마찰은 무시한다.)

- | | | | | |
|---|--------|-------|--------|-------|
| | Q_0 | W_0 | Q_0 | W_0 |
| ① | 25 cal | 42 J | 25 cal | 84 J |
| ② | 50 cal | 42 J | 50 cal | 84 J |
| ③ | 50 cal | 126 J | | |

01 [22027-0101] 그림과 같이 높이 $2h$ 인 수평면에 정지해 있던 물체가 연직면상에 있는 궤도를 따라 운동하여 높이가 $3h$ 인 최고점에 도달한다. 물체는 거리가 $2L$ 인 구간 pq 에서 $+x$ 방향으로 크기가 F_A 인 힘을 받고, 거리가 L 인 구간 rs 에서 $-x$ 방향으로 크기가 F_B 인 힘을 받는다. 물체의 운동 에너지는 r 에서가 q 에서의 $\frac{5}{4}$ 배이다.

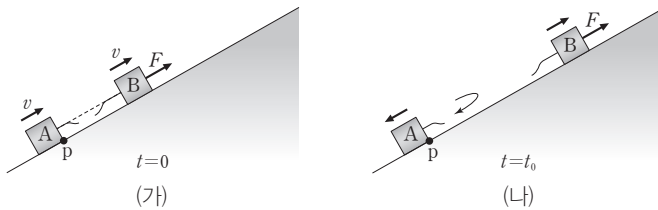


$\frac{F_A}{F_B}$ 는? (단, 물체의 크기, 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

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

물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량(ΔE_k)과 같다.

02 [22027-0102] 그림 (가)와 같이 실로 연결된 물체 A와 B가 빗면에서 일정한 속력 v 로 운동하고 있다. 시간 $t=0$ 일 때, A는 점 p 를 지나고 실이 끊어진다. 그림 (나)는 (가)의 A, B가 각각 등가속도 운동을 하여, $t=t_0$ 일 때 A가 p 를 지나는 모습을 나타낸 것이다. B에는 빗면 방향으로 크기가 F 인 힘이 작용하고, A, B의 질량은 각각 $m, 2m$ 이다.



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

보기

ㄱ. (가)에서 실이 끊어지기 전 실이 A를 당기는 힘의 크기는 $\frac{1}{3}F$ 이다.

ㄴ. (나)에서 가속도의 크기는 B가 A의 2배이다.

ㄷ. $t=0$ 부터 $t=t_0$ 까지 B에 작용한 알짜힘이 한 일은 $3mv^2$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

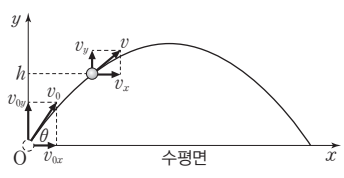
질량이 B가 A의 2배이므로 중력의 빗면에 나란한 성분의 힘의 크기는 B가 A의 2배이다.

등가속도 운동에서 속도와 변위의 관계식은 $2as=v^2-v_0^2$ 이다.

물체가 포물선 운동을 하는 동안 물체의 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지의 합은 위치에 관계없이 일정하다.

03 [22027-0103] 다음은 포물선 운동을 하는 물체의 역학적 에너지 보존을 설명하는 과정이다.

그림과 같이 원점 O에서 질량이 m 인 물체를 수평면과 θ 의 각을 이루는 방향으로 속력 v_0 으로 던졌더니 임의의 높이가 h 인 지점에서 물체의 속력이 v 가 되었다. O에서 속도의 x, y 성분을 각각 v_{0x}, v_{0y} 라 하고, 수평면에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지를 0이라고 하면 O에서 물체의 역학적 에너지는 ㉠ 이다.



↓

높이가 h 인 지점에서 속도의 x, y 성분을 각각 v_x, v_y 라 하면 물체는 수평 방향으로 등속도 운동을 하므로 $v_x=v_{0x}$, 연직 방향으로는 가속도가 $-g$ 인 등가속도 운동을 하므로 $v_y=\text{㉡}$ 이다.

↓

높이가 h 인 지점에서 역학적 에너지는 ㉢ 이다. 이것은 O에서 역학적 에너지와 같다.

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

보기

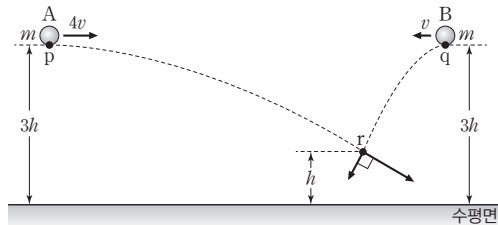
ㄱ. ㉠은 $\frac{1}{2}m(v_{0x}^2+v_{0y}^2)$ 이다.

ㄴ. ㉡은 $\sqrt{v_{0y}^2+2gh}$ 이다.

ㄷ. ㉢은 $mgh+\frac{1}{2}m(v_{0x}^2+v_{0y}^2-2gh)$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

04 [22027-0104] 그림과 같이 질량이 m 으로 같은 물체 A, B가 각각 높이 $3h$ 인 점 p, q에서 수평 방향으로 속력 $4v, v$ 로 발사된 후, 포물선 운동을 하여 높이 h 인 점 r에서 만난다. 이때 A, B의 운동 방향은 서로 수직이다.

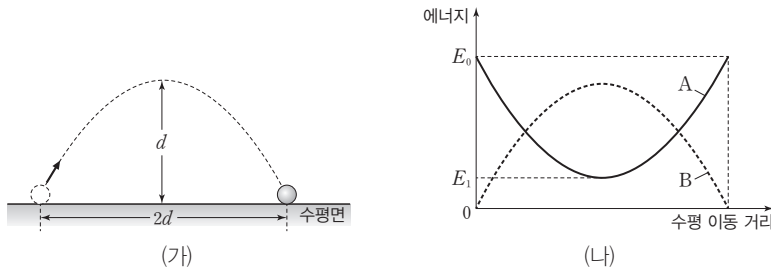


r에서 A와 B가 만나는 순간 두 물체의 운동 에너지의 합은? (단, 중력 가속도는 g 이고, A, B는 동일 연직면에서 운동하며, 물체의 크기는 무시한다.)

- ① $12mgh$ ② $\frac{25}{2}mgh$ ③ $13mgh$ ④ $\frac{27}{2}mgh$ ⑤ $14mgh$

05 [22027-0105]

그림 (가)와 같이 수평면에서 비스듬히 던져진 물체가 포물선 운동을 하여 수평면에 도달한다. 물체의 최고점 높이와 수평 이동 거리는 각각 d , $2d$ 이다. 그림 (나)의 A, B는 (가)에서 물체가 던져진 순간부터 수평면에 도달할 때까지 물체의 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지를 물체의 수평 이동 거리에 따라 순서 없이 나타낸 것이다.



포물선 운동을 하는 물체는 중력이 알짜힘으로 작용하고, 중력이 한 일만큼 물체의 운동 에너지가 변한다.

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

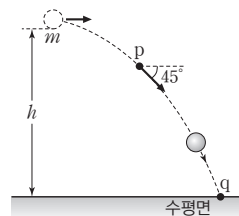
보기

- ㄱ. 물체의 운동 에너지를 나타낸 것은 B이다.
- ㄴ. $E_1 = \frac{1}{5}E_0$ 이다.
- ㄷ. 물체가 최고점에서 수평면에 도달할 때까지 중력이 물체에 한 일은 $\frac{4}{5}E_0$ 이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

06 [22027-0106]

그림과 같이 높이 h 인 지점에서 수평 방향으로 던져진 질량이 m 인 물체가 포물선 운동을 한다. 물체는 운동 방향과 수평면이 이루는 각이 45° 인 점 p 를 지나 수평면 위의 점 q 에 도달한다. p 에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 운동 에너지의 $\frac{3}{2}$ 배이다.



p 에서 수평 방향과 연직 방향의 속도 성분의 크기가 같으므로 던져진 위치에서의 운동 에너지는 p 에서의 운동 에너지의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g 이고, 수평면에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 0이며, 물체의 크기는 무시한다.)

보기

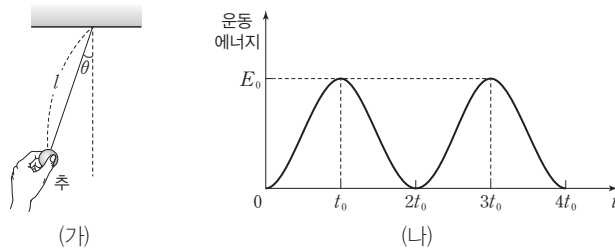
- ㄱ. 물체의 역학적 에너지는 $\frac{5}{4}mgh$ 이다.
- ㄴ. 던져진 순간 물체의 속력은 $\sqrt{\frac{gh}{2}}$ 이다.
- ㄷ. p 에서 q 까지 물체의 수평 이동 거리는 $\frac{1}{2}h$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

추가 최하점을 지나는 순간에 운동 에너지가 최대이고 중력 퍼텐셜 에너지는 최소가 된다.

07 [22027-0107]

그림 (가)는 길이가 l 인 실에 추를 연결한 진자에서 실과 연직선이 이루는 각이 θ 가 되도록 추를 잡고 있는 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 추를 가만히 놓은 순간부터 추의 운동 에너지를 시간 t 에 따라 나타낸 것이다.



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

보기

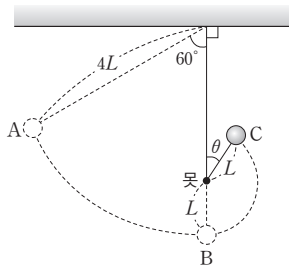
- ㄱ. 진자의 주기는 $2t_0$ 이다.
- ㄴ. t_0 부터 $3t_0$ 까지 알짜힘이 추에 한 일은 $2E_0$ 과 같다.
- ㄷ. 추의 질량은 $\frac{E_0}{gl(1-\cos\theta)}$ 이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

물체가 최하점을 지나 못에 감겨 위로 올라가는 동안 물체의 역학적 에너지는 보존된다.

08 [22027-0108]

그림은 길이가 $4L$ 인 실에 연결된 물체를 점 A에서 가만히 놓았더니 물체가 최하점 B를 지나면서 고정된 못에 의해 방향이 꺾여 점 C에 도달할 순간을 나타낸 것이다. 실과 연직선이 이루는 각은 A와 C에서 각각 60° , θ 이다. 못과 B, 못과 C 사이의 거리는 L 로 같고 물체의 운동 에너지는 B에서가 C에서의 6배이다.

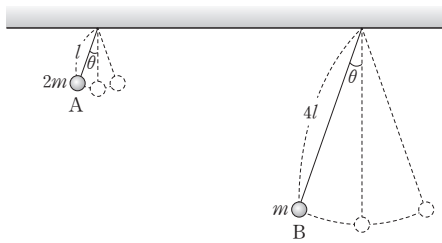


$\tan\theta$ 는? (단, 실의 질량, 물체와 못의 크기 및 공기 저항은 무시한다.)

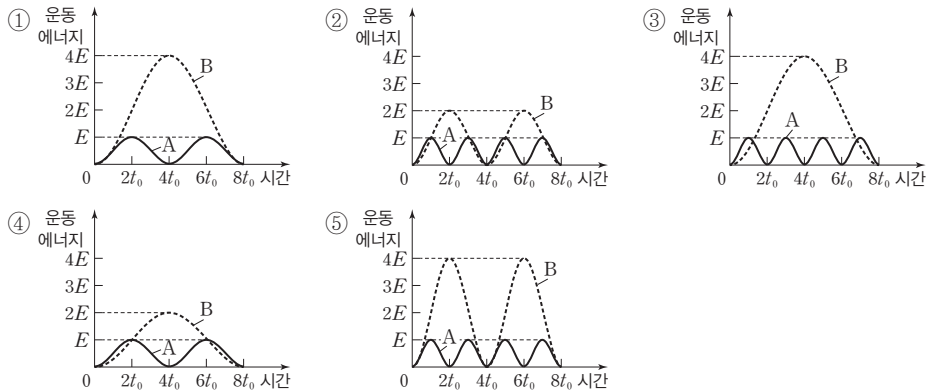
- ① $\frac{\sqrt{3}}{3}$ ② $\frac{\sqrt{5}}{3}$ ③ $\frac{\sqrt{3}}{2}$ ④ $\frac{\sqrt{5}}{2}$ ⑤ $\frac{\sqrt{7}}{2}$

09 [22027-0109]

그림은 길이가 각각 $l, 4l$ 인 실에 매달린 질량이 각각 $2m, m$ 인 추 A, B가 진폭 θ 로 단진동하는 것을 나타낸 것이다. A의 주기는 $4t_0$ 이다. A와 B의 운동 에너지를 시간에 따라 나타낸 것으로 가장 적절한 것은? (단, 실의 질량과 추의 크기는 무시한다.)

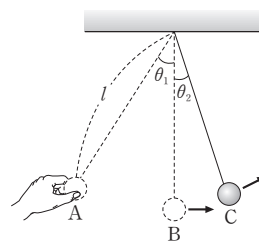


실의 길이를 l , 중력 가속도를 g 라 하면, 단진자의 주기는 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 이다.



10 [22027-0110]

그림과 같이 길이가 l 인 실에 연결한 물체를 점 A에서 가만히 놓았다니 물체가 최하점 B를 지나 점 C를 통과한다. 물체가 A와 C에 있을 때 실과 연직선이 이루는 각은 각각 θ_1, θ_2 이다. 물체가 A에서 B까지 운동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 C에서의 운동 에너지의 $\frac{5}{4}$ 배이고, $\tan\theta_1 = \frac{3}{4}$ 이다.



물체가 A에서 B까지 운동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 B에서 물체의 운동 에너지와 같다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, B에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 0이고, 실의 질량과 물체의 크기, 공기 저항은 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. 물체가 A에서 B까지 운동하는 동안 중력이 물체에 한 일은 B에서 물체의 운동 에너지와 같다.
 - ㄴ. B에서 물체의 운동 에너지는 C에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지의 4배이다.
 - ㄷ. $\tan\theta_2 = \frac{7}{24}$ 이다.

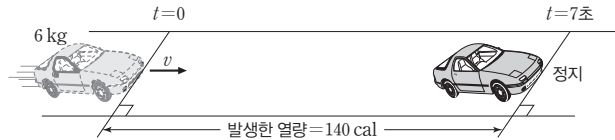
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

마찰에 의해 발생한 열에너지는 자동차의 운동 에너지 변화량과 같다.

비열 c , 질량 m 인 물체가 열량 Q 를 받아 온도가 ΔT 만큼 변할 때, $Q=cm\Delta T$ 이다.

11 [2027-0111]

그림과 같이 수평면에서 직선 운동하는 질량이 6 kg 인 장난감 자동차가 시간 $t=0$ 부터 크기가 F 로 일정한 마찰력을 운동 방향과 반대 방향으로 받아 $t=7$ 초일 때 정지하였다. $t=0$ 일 때, 자동차의 속력은 v 이고, $0\sim 7$ 초 동안 마찰에 의해 발생한 열량은 140 cal 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 열의 일당량은 4.2 J/cal 이고, 자동차의 크기와 마찰에 의해 발생하는 열에너지 이외의 에너지 손실은 무시한다.)

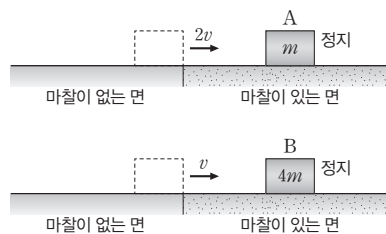
보기

- ㄱ. $v=14\text{ m/s}$ 이다.
- ㄴ. $F=12\text{ N}$ 이다.
- ㄷ. 자동차의 운동 에너지는 $t=3$ 초일 때가 $t=5$ 초일 때의 4배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

12 [2027-0112]

그림은 질량이 각각 $m, 4m$ 인 물체 A, B가 마찰이 없는 수평면에서 $2v, v$ 의 일정한 속력으로 운동하다가 마찰이 있는 면에서 정지한 모습을 나타낸 것이다. 표는 A, B의 비열과 온도 변화를 나타낸 것이다. A, B의 운동 에너지는 각각 A, B의 온도를 높이는 데 일부 사용되며 그 비율은 A에서와 B에서가 같다.



물체	비열	온도 변화
A	c	T_A
B	$2c$	T_B

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

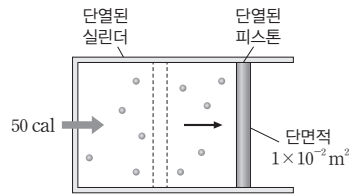
보기

- ㄱ. 마찰이 있는 면에서 마찰력이 A에 한 일은 $-mv^2$ 이다.
- ㄴ. B가 마찰이 있는 면에서 운동하는 동안, B를 구성하는 분자들의 내부 에너지는 감소한다.
- ㄷ. $T_A > T_B$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

13 [22027-0113]

그림은 일정량의 이상 기체가 들어 있는 실린더에 50 cal의 열을 서서히 공급하였더니 정지해 있던 피스톤이 이동하여 평형을 이루며 정지한 모습을 나타낸 것이다. 피스톤이 이동하는 동안 실린더 안 기체의 압력은 $1 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 로 일정하고, 이때 부피 변화량은 $0.8 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ 이다. 피스톤의 단면적은 $1 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 열의 일당량은 4 J/cal 이고, 모든 마찰은 무시한다.)

보기

- ㄱ. 기체가 피스톤에 작용하는 힘의 크기는 $1 \times 10^2 \text{ N}$ 이다.
 ㄴ. 기체가 한 일은 80 J이다.
 ㄷ. 기체의 내부 에너지 증가량은 100 J이다.

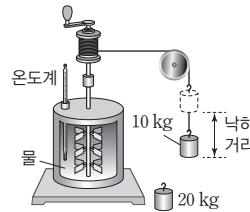
- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

14 [22027-0114]

다음은 열의 일당량에 대한 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 질량이 0.5 kg이고 비열이 $1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ 인 물을 열량계에 가득 채우고 질량이 10 kg인 추를 낙하시킨다.
 (나) 추가 일정한 속력으로 거리 $s=1.26 \text{ m}$ 만큼 낙하한 구간의 물의 온도 변화 ΔT 를 측정한다.
 (다) (가)에서 추를 질량이 20 kg인 추로 바꾸고 낙하 거리를 달리하여 추를 일정한 속력으로 낙하시키면서 물의 온도 변화 ΔT 를 측정한다.
 (라) 측정된 값들을 이용하여 열의 일당량을 구한다.



[실험 결과]

- (나), (다)의 결과

	추의 질량(kg)	s (m)	ΔT ($^\circ\text{C}$)
(나)	10	1.26	㉠
(다)	20	㉡	0.24

- (라)의 결과: 열의 일당량은 4.2 J/cal 이다.

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

보기

- ㄱ. (나)에서 물이 얻은 열량은 30 cal이다.
 ㄴ. ㉠은 0.06이다.
 ㄷ. ㉡은 2.52이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

외부에서 계에 가해 준 열량 (Q)은 계의 내부 에너지 변화량(ΔU)과 계가 외부에 해 준 일(W)의 합과 같다. 즉, $Q = \Delta U + W$ 이다.

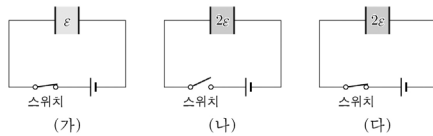
추가 낙하하는 동안 중력이 추에 한 일 W 와 열량계 속에서 발생한 열량 Q 사이에는 $W = JQ$ 의 관계가 성립하고, 이때 비례 상수 J 가 열의 일당량이다.

II

전자기장

2022학년도 대학수학능력시험 6번

6. 그림 (가)는 전압이 일정한 전원, 유전율이 ϵ 인 유전체로 채워진 평행판 축전기, 스위치로 구성된 회로에서 스위치를 닫은 후 축전기가 완전히 충전된 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 스위치를 연 후 축전기의 유전체를 유전율이 2ϵ 인 유전체로 바꾼 것을, (다)는 (나)에서 스위치를 닫은 후 축전기가 완전히 충전된 것을 나타낸 것이다.



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

<보 기>

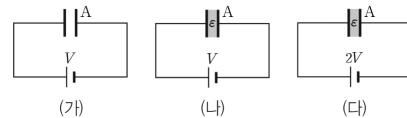
- ㄱ. 축전기의 전기 용량은 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.
- ㄴ. 축전기에 저장된 전하량은 (다)에서와 (나)에서가 서로 같다.
- ㄷ. 축전기에 저장된 전기 에너지는 (다)에서가 (나)에서의 2배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

2022학년도 EBS 수능특강 118쪽 11번

[21027-0163]

11 그림 (가)는 전압이 V 로 일정한 전원에 평행판 축전기 A 를 연결한 회로를, (나)는 (가)에서 A 의 극판 사이를 유전체로 모두 채운 모습을, (다)는 (나)에서 A 를 전압이 $2V$ 로 일정한 전원에 연결한 회로를 나타낸 것이다. (나), (다)의 A 에 채워진 유전체의 유전율 ϵ 는 2이다.



(가), (나), (다)의 A 에 저장된 전기 에너지를 각각 $U_{(가)}$, $U_{(나)}$, $U_{(다)}$ 라 할 때, $U_{(가)} : U_{(나)} : U_{(다)}$ 는? (단, 유전체 이외의 공간은 진공이며, 진공의 유전율은 1이다.)

- ① 1 : 2 : 4 ② 1 : 2 : 6 ③ 1 : 2 : 8
- ④ 1 : 3 : 6 ⑤ 1 : 3 : 8

연계 분석

수능 6번 문항은 수능특강 118쪽 11번 문항과 연계하여 출제되었다. 두 문제 모두 전압이 일정한 전원 장치에 연결된 축전기가 제시되었고, 유전율 변화에 따른 축전기의 전기 용량 변화와 이에 따른 전기적 특성을 비교하는 능력이 요구된다. 수능 문항은 전원 장치와 축전기의 연결이 끊어진 상태에서 전기 용량이 변할 때 축전기에 저장된 전하량과 전기 에너지를 구해야 하고, 수능특강 문항은 전원 장치와 축전기가 연결된 상태에서 전기 용량이 변할 때 전기 에너지를 구해야 한다는 차이가 있다. 그러나 두 문항 모두 유전율 변화에 따른 전기 용량의 변화를 구한 후, 축전기에 저장된 전기 에너지를 구해야 문제를 해결할 수 있다는 점에서 매우 높은 유사성을 보인다.

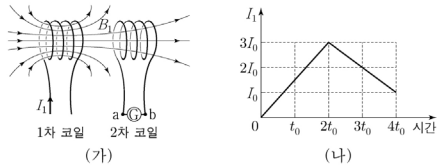
학습 대책

평행판 축전기에서 유전체의 유전율에 따른 축전기의 전기 용량을 구할 수 있어야 한다. 또한, 축전기와 연결된 전원 장치의 전압이 변할 때, 축전기에 저장된 전하량과 전기 에너지의 변화를 정성적, 정량적으로 설명할 수 있어야 한다. 전원 장치와 축전기가 연결되거나 연결이 끊어질 때 또는 전원 장치의 전압이 변하거나 축전기의 전기 용량이 변할 때 축전기에 저장된 전하량과 전기 에너지 변화를 분석해 보면 많은 도움이 될 것이다.

수능 _ EBS 교재 연계 사례

2022학년도 6월 모의평가 12번

12. 그림 (가)와 같이 전류 I_1 이 흐르는 1차 코일과 검류계가 연결된 2차 코일이 있다. I_1 에 의한 자기장 B_1 이 2차 코일을 통과하고, B_1 에 의한 2차 코일의 자기 선속은 ϕ 이다. 그림 (나)는 I_1 을 시간에 따라 나타낸 것이다.



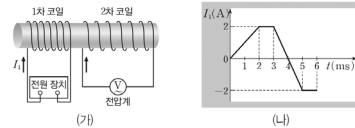
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

- <보기>
- ㄱ. ϕ 는 $3t_0$ 일 때가 t_0 일 때보다 크다.
 - ㄴ. t_0 일 때, 상호 유도에 의해 2차 코일에 흐르는 전류의 방향은 $b \rightarrow \text{㉔} \rightarrow a$ 이다.
 - ㄷ. 상호 유도에 의해 2차 코일에 흐르는 전류의 세기는 t_0 일 때가 $3t_0$ 일 때보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

2022학년도 EBS 수능특강 149쪽 10번

10. [21027-0214] 그림 (가)는 철심에 1차 코일과 2차 코일을 감은 것을 나타낸 것이고, (나)는 1차 코일에 흐르는 전류 I_1 을 시간 t 에 따라 나타낸 것이다. $t=1$ ms일 때와 $t=4$ ms일 때 2차 코일에 유도되는 유도 기전력의 크기는 각각 V_1 , V_2 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 1차 코일에 흐르는 전류의 방향은 화살표 방향이 (+)이다.)

- <보기 >
- ㄱ. 0~2 ms 동안 1차 코일에 흐르는 전류에 의해 1차 코일의 단면을 통과하는 자기 선속의 시간 변화율은 일정하다.
 - ㄴ. 4 ms일 때 2차 코일에 유도되는 유도 전류의 방향은 화살표 방향이다.
 - ㄷ. $V_2=2V_1$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

연계 분석

6월 모의평가 12번 문항은 수능특강 149쪽 10번 문항과 연계하여 출제되었다. 두 문제 모두 1차 코일과 2차 코일이 제시되었고, 1차 코일에 흐르는 전류가 변할 때 상호유도에 의해 2차 코일에 흐르는 유도 전류를 정성적으로 설명할 수 있는 능력이 요구된다. 6월 모의평가 문항은 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장에 의한 2차 코일을 통과하는 자기 선속을 비교해야 하고, 수능특강 문항은 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장에 의한 1차 코일을 통과하는 자기 선속을 비교해야 한다는 차이가 있다. 그러나 두 문항 모두 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 방향을 찾고, 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기를 비교해야 문제를 해결할 수 있다는 점에서 매우 높은 유사성을 보인다.

학습 대책

1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 시간에 따라 변할 때, 코일을 통과하는 자기 선속과 자기 선속의 변화에 따른 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 방향과 세기를 설명할 수 있어야 한다. 코일을 통과하는 자기장의 세기가 변하는 다양한 상황을 구성하여 코일에 유도되는 기전력의 크기를 구한 후 코일에 흐르는 유도 전류의 방향과 세기를 구하는 연습을 하면 많은 도움이 될 것이다.

개념 체크

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

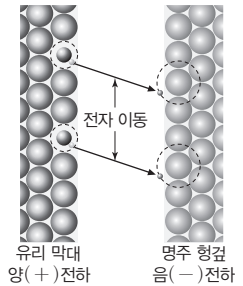
1. 모든 전기적 현상의 근원은 ()이고, 전하의 흐름을 ()라고 한다.
2. 서로 다른 두 물체를 마찰시키면 전자의 이동에 의해 마찰 전기가 발생한다. 이때 전자를 잃은 물체는 ()전하를 띠고, 전자를 얻은 물체는 ()전하를 띤다.
3. 전하와 전하 사이에 상호 작용 하는 힘을 ()이라고 하며, () 종류의 전하 사이에는 끌어당기는 방향으로, () 종류의 전하 사이에는 밀어내는 방향으로 전기력이 작용한다.

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.



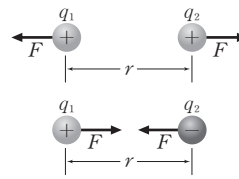
과학 돋보기 전기 현상과 자기 현상의 발견 및 발전 과정

- 중국 문헌에 따르면 자기 현상은 이미 기원전 2000년경에 관찰되었으며, 고대 그리스에서도 기원전 700년경에 전기와 자기 현상을 관찰하였고, 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. 전하, 전류
2. 양(+), 음(-)
3. 전기력, 다른, 같은

- ⑦ 쿨롱 법칙: 두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 점전하의 전하량의 곱에 비례하고, 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.

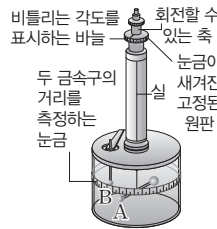


$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

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

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, 중력을 구한다. 프랑스의 물리학자 쿨롱은 전하 A를 저울 축에 매달아 평형을 이루게 한 후, 다른 전하 B를 가까이 할 때 전기력을 측정하였다. A, B 사이의 거리, A, B의 전하량에 따라 저울 축이 비틀어지는 각도를 측정하여 전기력을 구하였다. 한편, 영국의 물리학자인 캐번디시는 비틀림 저울을 이용하여 중력 상수를 측정하는 데 성공하였다.



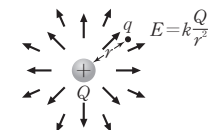
- (2) 전기장: 전하 주위에 다른 전하를 놓으면 두 전하 사이에는 전기력이 작용한다. 이는 전하가 주변 공간에 전기장을 만들기 때문이다. 전기장은 전하뿐만 아니라 시간에 따라 변하는 자기장에 의해서도 생성된다.

- 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.

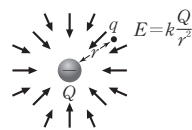
$$E = \frac{F}{q} \text{ (단위: N/C)}$$

- 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.

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



양(+)-전하 주위의 전기장



음(-)-전하 주위의 전기장

개념 체크

- 쿨롱 법칙: 전하를 가진 두 물체 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하량의 곱에 비례하고, 두 물체 사이 거리의 제곱에 반비례한다.
- 전기장: 전하 주변에는 전기장이 형성되어 다른 전하에 전기력이 작용한다.

1. 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하량의 곱에 ()하고, 두 전하가 떨어진 거리의 제곱에 ()한다.
2. 전기장이 형성된 공간에 놓여 있는 단위 양전하(+1 C)에 작용하는 전기력의 크기를 ()의 세기라고 한다.
3. 전기장 내에서 양(+)-전하는 전기장의 방향과 () 방향으로, 음(-)-전하는 전기장의 방향과 () 방향으로 전기력을 받는다.

정답

1. 비례, 반비례
2. 전기장
3. 같은, 반대

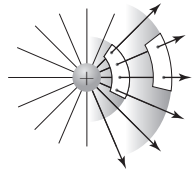
개념 체크

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

1. 전기력선은 () 전하에서 나와서 () 전하로 들어간다.
2. 전기장에 수직인 단위 면적을 지나는 ()는 전기장의 세기에 비례한다.
3. 두 전하의 종류가 () 때 전기장이 0인 지점은 두 전하 사이에 있다.

(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.

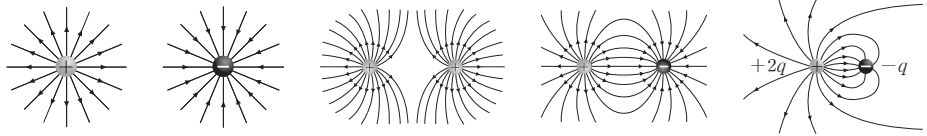


② **전기력선의 특징**

- 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.

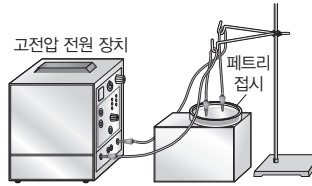
정답

1. 양(+), 음(-)
2. 전기력선의 수
3. 같을

탐구자료 살펴보기 전기장의 모양 알아보기

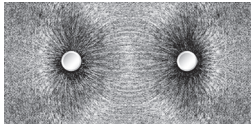
과정

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

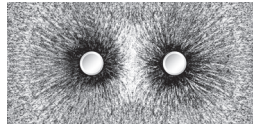


결과

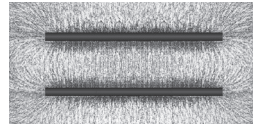
- (+), (-)전극 사이의 털실 조각은 두 극을 연결하는 모양으로 배열된다.
- (+), (+)전극 사이의 털실 조각은 두 극 사이에서 서로 밀어내는 모양으로 배열된다.
- 평행한 (+), (-)극판 사이에서 털실 조각은 균일하게 두 극판에 수직으로 배열된다.



(+), (-)전극 사이의 털실 조각



(+), (+)전극 사이의 털실 조각



(+), (-)극판 사이의 털실 조각

point

- 털실 조각들은 전기력선의 모양으로 배열된다.

2 정전기 유도과 유전 분극

(1) 도체와 절연체

- ① 도체: 비저항이 작아 전류가 잘 흐르는 물질을 도체라고 한다.
 - 예 구리, 알루미늄, 금과 같은 금속, 전해질 수용액 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 유도과 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.

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. ()에는 자유 전자가 많아서 전류가 잘 흐르고, ()에는 자유 전자가 거의 없어서 전류가 잘 흐르지 못한다.
2. 대전되지 않은 도체에 대전체를 가까이하였을 때 대전체에 가까운 쪽은 대전체와 () 종류의 전하가 유도되고, 먼 쪽은 대전체와 () 종류의 전하가 유도되는 현상을 정전기 유도라고 한다.

정답

1. 도체, 절연체
2. 다른, 같은

개념 체크

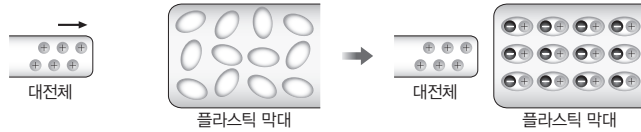
● **유전 분극:** 절연체에는 자유 전자가 없지만 원자나 분자에 속박되어 있는 전자가 전기력을 받아 분극되는 현상이다.

1. 절연체에 대전체를 가까이 하면 대전체에 가까운 쪽은 대전체와 () 종류의 전하가 배열되고, 먼 쪽은 대전체와 () 종류의 전하가 배열되는데, 이를 유전 분극이라고 한다.

2. 음(-)전하로 대전된 검전기에 ()전하로 대전된 대전체를 가까이하면 금속박이 더 벌어진다.



② **절연체에서의 유전 분극:** 절연체 내부에는 자유 전자가 없기 때문에 도체와 같은 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 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.

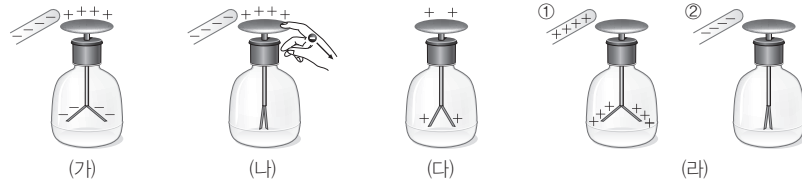
(가) 금속판에 음(-)전하를 띤 대전체를 접근시키면 금속박에 음(-)전하가 유도되어 금속박이 벌어진다.

(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 멀리 하면, 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.

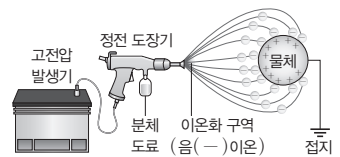


(3) 정전기 현상의 이용

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 접지시키고 페인트를 뿌리는 분무 장치에 강한 음극을 걸어 페인트 입자를 음(-)전하로 대전시킨다. 음(-)전하로 대전된 페인트의 정전기 유도 효과로 접지된 물체는 양(+)전하로 대전되고 전기적 인력이 작용하여 페인트가 물체 뒷면까지 달라붙는다.



정답

- 1. 다른, 같은
- 2. 음(-)

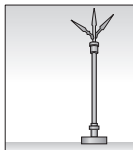
- ③ **음식물 포장 랩**: 음식물을 포장할 때 사용하는 랩을 분리하는 과정에서 랩이 대전되는데, 이때 대전된 전하는 그릇이나 다른 랩에 유전 분극에 의한 표면 전하를 유도한다. 따라서 랩끼리 또는 랩과 그릇을 서로 잘 달라붙게 한다. 전하를 띤 랩은 손가락에도 정전기 유도에 의한 반대 전하를 유도하므로 랩이 손가락에도 잘 달라붙는다.

(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(+)**전하**를 띠고, 아래쪽은 음(-)**전하**를 띤다. 지면과 가까운 구름의 아래쪽이 음(-)**전하**를 띠기 때문에 정전기 유도에 의해 지표면이 양(+)**전하**로 대전되어 구름 아래쪽의 음(-)**전하**가 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

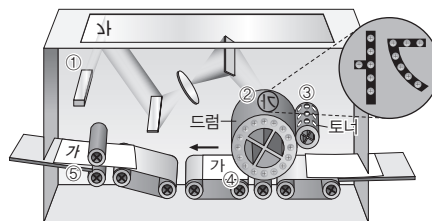
개념 체크

- **방전**: 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. ()는 대전된 구름과 지표 사이의 방전 현상이다.
2. ()은 건물이 직접 번개에 맞아 피해를 입지 않도록 건물의 높은 지점에 끝이 뾰족한 금속 막대를 설치하고 도선으로 지면에 연결한 것이다.

과학 돋보기 복사기의 원리

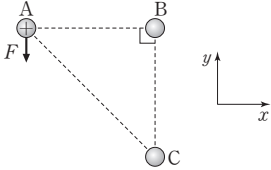
- ① 종이에 빛을 비추면 종이의 검은 글자 부분에서는 빛을 흡수하고, 흰 여백 부분에서는 빛을 반사한다.
- ② 종이에서 반사된 빛이 양(+)**전하**로 대전된 드럼을 비추면 빛이 닿은 부분은 전하를 띠지 않고 빛이 닿지 않은 부분은 그대로 양(+)**전하**를 띤다.
- ③ 드럼이 회전하면 음(-)**전하**를 띤 토너가 드럼의 양(+)**전하**로 대전된 부분에 달라붙는다.
- ④ 드럼이 접촉하여 지나가는 종이에 토너가 달라붙는다.
- ⑤ 종이에 묻은 토너가 뜨거운 롤러를 지나가면서 녹는다.



정답

1. 번개
2. 피뢰침

01 [22027-0115] 그림과 같이 직각 이등변삼각형의 꼭짓점에 점전하 A, B, C가 고정되어 있다. A는 양(+)
전하이고, A에 작용하는 전기력은 $-y$ 방향으로 크기가 F 이다.

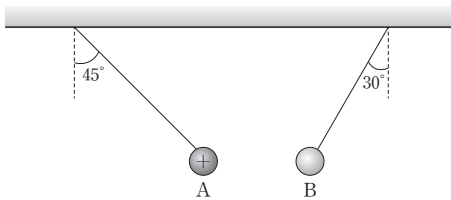


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, A, B를 연결한 직선은 x 축에 나란하다.)

- 보기
- ㄱ. B는 음(-)전하이다.
 - ㄴ. A가 C로부터 받는 전기력의 크기는 $\sqrt{2}F$ 이다.
 - ㄷ. 전하량의 크기는 C가 B의 2배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

02 [22027-0116] 그림과 같이 대전된 물체 A, B가 절연된 실에 매달려 같은
높이에 정지해 있다. A는 양(+)
전하를 띠고, A, B를 연결한 실이
연직 방향과 이루는 각은 각각 45° , 30° 이다.

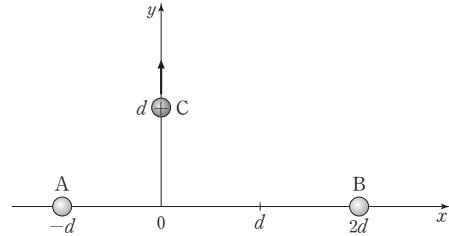


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, 실의 질량은 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. B는 음(-)전하를 띤다.
 - ㄴ. A에 작용하는 전기력의 크기가 B에 작용하는 전기력의 크기보다 크다.
 - ㄷ. 질량은 B가 A의 $\sqrt{3}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 [22027-0117] 그림과 같이 점전하 A, B는 각각 x 축의 $x = -d$ 와
 $x = 2d$ 에, 점전하 C는 y 축의 $y = d$ 에 고정되어 있다. 양(+)
전하인 C에 작용하는 전기력의 방향은 $+y$ 방향이다.

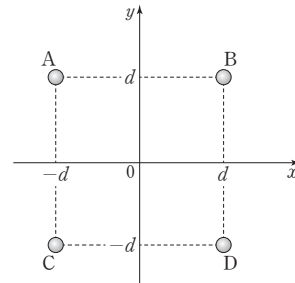


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. B와 C 사이에는 서로 당기는 방향으로 전기력이 작용한다.
 - ㄴ. y 축상에서 원점과 $y = d$ 사이에 전기장이 0인 지점이 존재한다.
 - ㄷ. C가 A로부터 받는 전기력의 크기는 C가 B로부터 받는 전기력의 크기보다 크다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

04 [22027-0118] 그림과 같이 xy 평면의 $(-d, d)$, (d, d) , $(-d, -d)$,
 $(d, -d)$ 에 점전하 A, B, C, D가 고정되어 있다. A, B의 전하량은
같고 $(0, d)$ 와 $(d, 0)$ 에서 전기장의 방향은 $+y$ 방향이다.

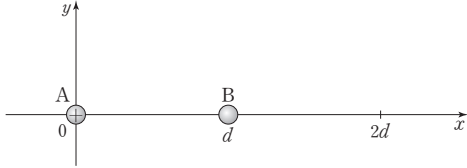


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. B는 음(-)전하이다.
 - ㄴ. $(0, -d)$ 에서 전기장의 방향은 $-y$ 방향이다.
 - ㄷ. 전기장의 세기는 $(0, d)$ 에서가 $(d, 0)$ 에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

05 [22027-0119] 그림과 같이 x 축의 $x=0$ 과 $x=d$ 에 점전하 A, B가 고정되어 있다. A는 양(+)전하이고, x 축의 $x=2d$ 에서 전기장은 0이다.



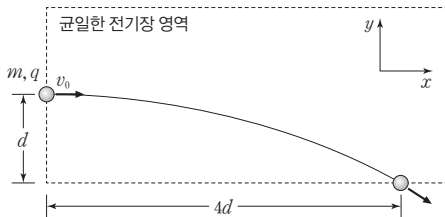
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. A와 B 사이에는 당기는 방향으로 전기력이 작용한다.
- ㄴ. 전하량의 크기는 A가 B의 2배이다.
- ㄷ. 1사분면에 전기장이 $+y$ 방향인 지점이 존재한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

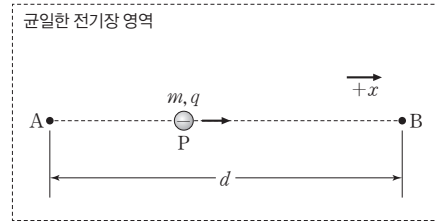
06 [22027-0120] 그림과 같이 질량이 m 이고 전하량이 q 인 입자가 $-y$ 방향으로 형성된 균일한 전기장 영역에 $+x$ 방향으로 속력 v_0 으로 입사한 후 빠져 나간다. 균일한 전기장 영역에서 운동하는 동안 변위의 x, y 성분은 각각 $4d, -d$ 이다.



균일한 전기장의 세기는? (단, 입사에는 전기력만 작용하고, 입자의 크기는 무시한다.)

- ① $\frac{mv_0^2}{qd}$ ② $\frac{2mv_0^2}{qd}$ ③ $\frac{4mv_0^2}{qd}$
 ④ $\frac{mv_0^2}{4qd}$ ⑤ $\frac{mv_0^2}{8qd}$

07 [22027-0121] 그림과 같이 균일한 전기장 내의 점 A에 질량이 m 이고 전하량의 크기가 q 인 음(-)전하 P를 가만히 놓았더니, P가 $+x$ 방향으로 직선 운동하여 A로부터 거리 d 만큼 떨어진 점 B를 속력 v 로 통과한다.



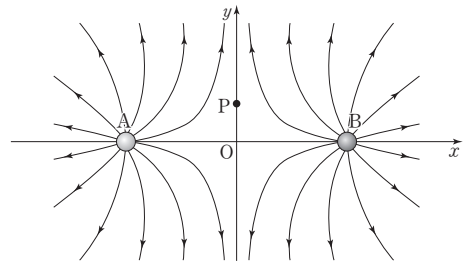
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, P에는 균일한 전기장에 의한 전기력만 작용한다.)

보기

- ㄱ. 균일한 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다.
- ㄴ. 균일한 전기장의 세기는 $\frac{mv^2}{qd}$ 이다.
- ㄷ. A에서 B까지 P의 가속도의 크기는 점점 증가한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

08 [22027-0122] 그림은 x 축에 고정된 점전하 A, B에 의한 전기장을 전기력선으로 나타낸 것이다. 전기력선은 y 축에 대하여 대칭이고, 점 P는 y 축 위의 점이다.



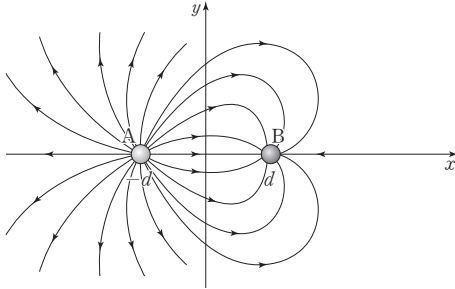
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. A는 양(+)전하이다.
- ㄴ. P에서 전기장의 방향은 $+y$ 방향이다.
- ㄷ. 전기장의 세기는 원점 O에서 P에서보다 크다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

09 [22027-0123] 그림은 x 축의 $x=-d$ 와 $x=d$ 에 고정된 전하 A, B에 의한 전기장을 전기력선으로 나타낸 것이다. 전하량의 크기는 A가 B의 2배이다.



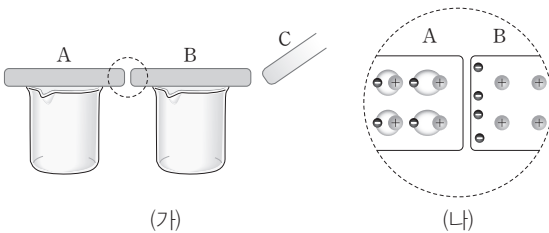
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. A는 음(-)전하이다.
- ㄴ. x 축의 $x=3d$ 에서 전기장은 $+x$ 방향이다.
- ㄷ. y 축상에서 전기장의 세기가 최대인 지점에서 전기장의 방향은 $+x$ 방향이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

10 [22027-0124] 그림 (가)는 대전되지 않은 막대 A, B를 가까이 놓은 후, 대전된 막대 C를 B의 오른쪽에 가까이 가져간 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 ○ 부분의 전하 분포를 나타낸 것이다.



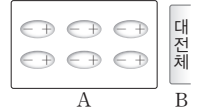
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. C는 음(-)전하로 대전되어 있다.
- ㄴ. 전기 전도도는 B가 A보다 크다.
- ㄷ. (가)에서 A와 B 사이에는 밀어내는 방향으로 전기력이 작용한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

11 [22027-0125] 그림은 물체 A에 대전체 B를 가까이 가져갔을 때, A 내부의 전하 배치를 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



보기

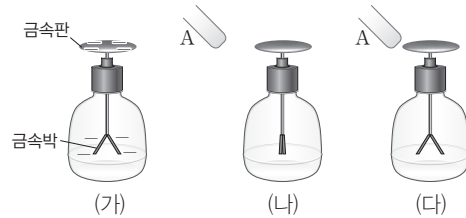
- ㄱ. A는 금속이다.
- ㄴ. B는 음(-)전하로 대전되어 있다.
- ㄷ. A와 B 사이에는 끌어당기는 방향으로 전기력이 작용한다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

12 [22027-0126] 다음은 금속박 검전기를 이용한 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 금속박 검전기의 금속판과 금속박을 음(-)전하로 대전시켜 금속박이 벌어지게 한다.
- (나) 금속판에 대전된 막대 A를 가까이 가져간다.
- (다) 막대 A를 더 가까이 가져간다.



[실험 결과]

- (나)의 결과: 금속박이 오므라든다.
- (다)의 결과: 금속박이 다시 벌어진다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

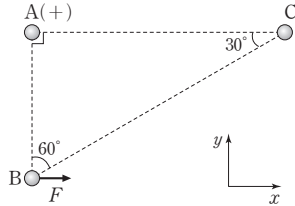
보기

- ㄱ. A는 양(+)전하로 대전되어 있다.
- ㄴ. (다)에서 금속박은 음(-)전하로 대전되어 있다.
- ㄷ. 금속판에 대전된 전하량의 크기는 (다)에서가 (나)에 서보다 크다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

01 [22027-0127]

그림과 같이 직각 삼각형의 꼭짓점에 점전하 A, B, C가 고정되어 있다. A는 양(+)
전하이 고, B, C의 전하량의 크기는 q 로 같으며, B에는 $+x$ 방향으로 크기가 F 인 전기력이 작용한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, C를 연결한 직선은 x 축에 나
란하다.)

보기

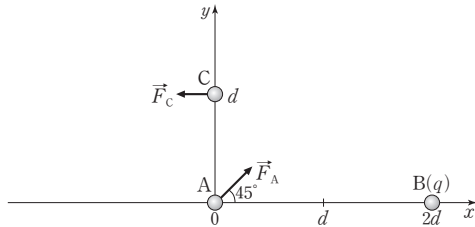
- ㄱ. B는 양(+)
전하이 다.
- ㄴ. A의 전하량의 크기는 $\frac{1}{8}q$ 이다.
- ㄷ. B와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기는 $\frac{2\sqrt{3}}{3}F$ 이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

B가 A로부터 받는 전기력의 방향은 y 방향에 나란하다. 따라서 B에 작용하는 전기력의 x 성분은 C로부터 받는 전기력의 x 성분과 같다.

02 [22027-0128]

그림과 같이 xy 평면의 원점과 x 축의 $x=2d$, y 축의 $y=d$ 에 점전하 A, B, C가 고정되어 있다. B의 전하량의 크기는 q 이고, A에 작용하는 전기력 \vec{F}_A 의 방향이 x 축과 이루는 각은 45° 이며, C에 작용하는 전기력 \vec{F}_C 의 방향은 $-x$ 방향이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

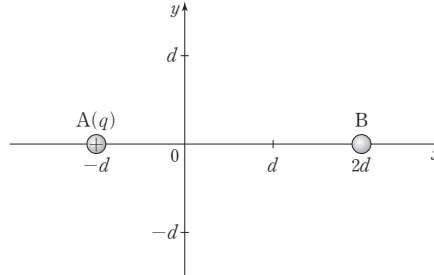
- ㄱ. $|\vec{F}_A| > |\vec{F}_C|$ 이다.
- ㄴ. C의 전하량의 크기는 $\frac{1}{4}q$ 이다.
- ㄷ. B에 작용하는 전기력의 방향은 $-y$ 방향이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

C가 B로부터 받는 전기력의 방향은 B, C를 연결한 직선에 나란하다. 따라서 C가 B로부터 받는 전기력의 x, y 성분의 크기를 각각 F_x, F_y 라고 하면 $\frac{F_y}{F_x} = \frac{1}{2}$ 이다.

A, B가 x 축에 고정되어 있으므로, A에 의한 전기장도 x 축에 대칭이고, B에 의한 전기장도 x 축에 대칭이다. 따라서 A, B에 의한 전기장도 x 축에 대칭이다.

03 [22027-0129] 그림과 같이 x 축의 $x = -d$ 와 $x = 2d$ 에 점전하 A, B가 고정되어 있다. A는 전하량의 크기가 q 인 양(+)
전하이고, y 축의 $y = d$ 와 $y = -d$ 에서 전기장의 방향은 같고 세기는 E 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

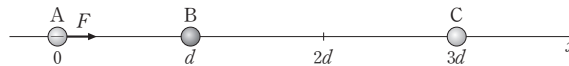
보기

- ㄱ. B는 음(-)전하이다.
- ㄴ. 전하량의 크기는 A가 B보다 크다.
- ㄷ. 원점에서 전기장의 세기는 E 보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

B에 작용하는 전기력이 0이므로 A가 B에 작용하는 전기력의 크기와 C가 B에 작용하는 전기력의 크기가 같다.

04 [22027-0130] 그림과 같이 x 축의 $x = 0$, $x = d$, $x = 3d$ 에 점전하 A, B, C가 고정되어 있다. 음(-)전하인 A에는 $+x$ 방향으로 크기가 F 인 전기력이 작용하고 B에 작용하는 전기력은 0이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

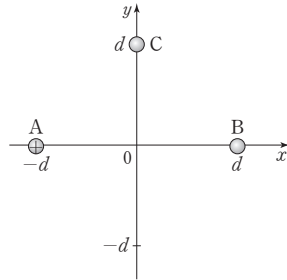
보기

- ㄱ. B는 양(+)
전하이다.
- ㄴ. 전하량의 크기는 C가 A의 2배이다.
- ㄷ. $x = 2d$ 에서 전기장의 방향은 $+x$ 방향이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

05 [22027-0131]

그림과 같이 x 축의 $x = -d$ 와 $x = d$, y 축의 $y = d$ 에 점전하 A, B, C가 고정되어 있다. A는 양(+)전하이므로, 원점과 y 축의 $y = -d$ 에서 전기장의 세기는 E 로 같고 전기장의 방향은 y 축에 나란한 방향으로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. C는 음(-)전하이므로.

ㄴ. 전하량의 크기는 C가 A의 $\frac{2\sqrt{2}}{3}$ 배이다.

ㄷ. y 축의 $y = -d$ 에서 A, B에 의한 전기장의 세기는 $\frac{3}{4}E$ 이다.

① ㄴ

② ㄷ

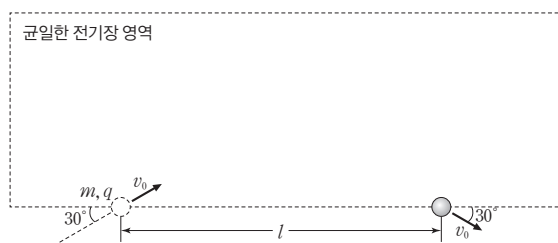
③ ㄱ, ㄴ

④ ㄱ, ㄷ

⑤ ㄴ, ㄷ

06 [22027-0132]

그림과 같이 질량이 m 이고 전하량이 q 인 입자가 균일한 전기장 영역에 속력 v_0 으로 입사하여 운동하다가 속력 v_0 으로 빠져나갔다. 입자가 균일한 전기장 영역에 입사하는 순간, 전기장의 경계와 입자의 운동 방향이 이루는 각은 30° 이고, 입자가 균일한 전기장에서 운동하는 동안 변위의 크기는 l 이다.



균일한 전기장의 세기는? (단, 입자에는 전기력만 작용하고 입자의 크기는 무시한다.)

① $\frac{mv_0^2}{2ql}$

② $\frac{3mv_0^2}{2ql}$

③ $\frac{\sqrt{2}mv_0^2}{2ql}$

④ $\frac{\sqrt{3}mv_0^2}{2ql}$

⑤ $\frac{\sqrt{6}mv_0^2}{2ql}$

A, B의 전하량의 크기와 관계없이 원점에서 A, B에 의한 전기장은 x 축에 나란하다. 그런데 원점에서 전기장이 y 축에 나란한 방향이므로 원점에서 A, B에 의한 전기장은 0이다.

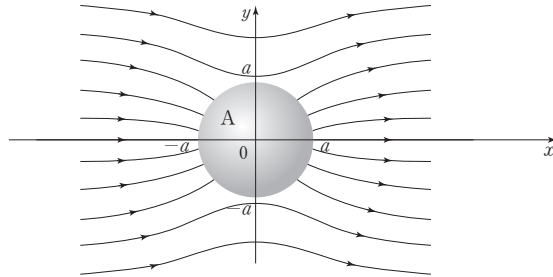
전기장이 균일하므로 입자에 작용하는 전기력이 일정하고, 힘이 일정하므로 입자는 가속도가 일정한 등가속도 운동을 한다. 따라서 입자는 포물선 경로를 따라 운동한다.

금속 구 내의 자유 전자는 전기장과 반대 방향으로 전기력을 받아 이동한다. 따라서 금속 구의 왼쪽 부분은 음(-)전하로, 오른쪽 부분은 양(+)전하로 대전된다.

분자의 왼쪽 부분이 양(+)전하, 오른쪽 부분이 음(-)전하를 띠므로, B를 가까이 가져갈 때 A에서 유전 분극이 일어났다.

07 [22027-0133]

그림은 세기가 E 인 균일한 전기장 내에 전기적으로 중성이고 반지름이 a 인 구형의 금속 구 A를 고정시켰을 때의 전기장을 전기력선으로 나타낸 것이다. 전기력선의 모양은 x 축과 y 축에 대하여 대칭이고, A 내부의 모든 지점에서 전기장은 0이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

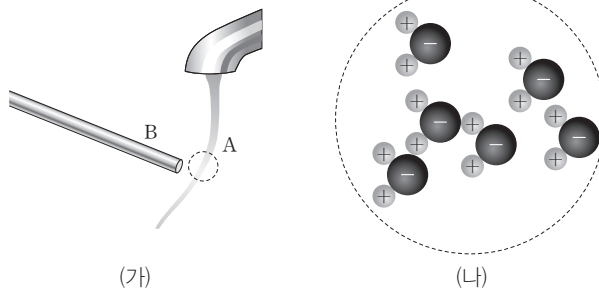
보기

- ㄱ. A에서 유전 분극이 일어났다.
- ㄴ. A의 중심에서 A의 전하 분포에 의한 전기장은 $-x$ 방향이다.
- ㄷ. x 축의 $x=2a$ 에서 전기장의 세기는 E 보다 작다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

08 [22027-0134]

그림 (가)는 액체 A에 막대 B를 가까이 가져갔을 때 A가 B에 끌리는 방향으로 휘는 모습을, (나)는 (가)의 점선으로 된 부분에서 A의 전하 분포를 나타낸 것이다.



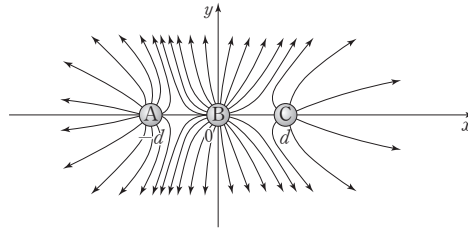
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. A는 도체이다.
- ㄴ. B는 음(-)전하로 대전되어 있다.
- ㄷ. (가)에서 B를 B와 반대 부호의 전하로 대전된 막대 C로 바꾸면 A는 C로부터 밀리는 방향으로 휨다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

09 [22027-0135]
그림은 xy 평면의 원점과 x 축의 $x = \pm d$ 에 고정된 점전하 A, B, C에 의한 전기장을 전기력선으로 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



점전하로부터 나오거나 들어가는 전기력선의 개수가 많을수록 점전하의 전하량의 크기가 크다.

보기

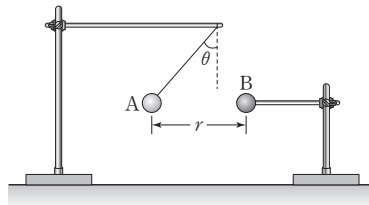
- ㄱ. A는 양(+전하)이다.
- ㄴ. 전하량의 크기는 B가 A보다 크다.
- ㄷ. y 축의 $y=d$ 와 $y=-d$ 에서 전기장의 방향은 반대이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10 [22027-0136]
다음은 쿨롱 힘에 대해 알아보기 위한 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 대전되지 않은 동일한 금속 구 A, B, C, D, E를 준비한 후, A를 전하량 Q 로 대전시킨다.
(나) 순차적으로 B를 A에, C를 B에, D를 C에, E를 D에 접촉했다가 떼낸다.
(다) A를 절연된 실에 매단 후, A와 B의 중심이 수평 방향으로 거리 r 만큼 떨어지도록 B의 위치를 조절한 후, 실이 기울어진 각 θ 를 측정한다.
(라) r 를 일정하게 유지하고, B를 C, D로 바꾸어서 과정 (다)를 반복한다.



A에 작용하는 알짜힘이 0이므로, A에 작용하는 중력, A에 작용하는 전기력, 실이 A를 당기는 힘이 평형을 이룬다. 따라서 A에 작용하는 중력과 전기력의 합력의 방향은 실의 방향과 나란한 방향이다.

[실험 결과]

	θ	㉠
B	38.7°	0.8
C	21.8°	0.4
D	11.3°	0.2

▶ 결론: ㉡

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. (다)에서 B의 전하량은 $\frac{1}{4}Q$ 이다.
- ㄴ. ㉠에는 $\sin\theta$ 가 적절하다.
- ㄷ. ㉡에는 '두 점전하 사이에 작용하는 쿨롱 힘의 크기는 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다.'가 적절하다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

개념 체크

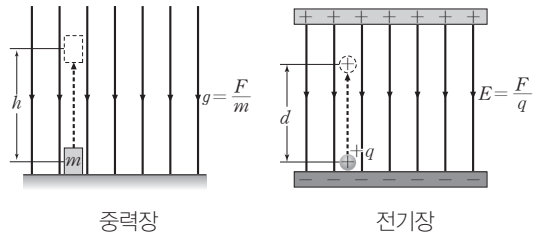
- **전위:** 전기장 내의 기준점으로부터 측정된 단위 양(+)전하가 가지는 전기력에 의한 퍼텐셜 에너지
- **전위차:** 두 지점 사이의 전위의 차

1. 전위는 양(+)전하 주위가 (), 음(-)전하 주위가 ()이다.
2. 전하량이 $+q$ 인 전하를 전기장 내의 한 점에서 다른 점까지 이동시키는 데 필요한 일이 W 일 때, 전위차는 ()이다.
3. 전하량이 $+q$ 인 전하를 세기가 E 인 균일한 전기장 영역에서 전기장과 반대 방향으로 거리 d 만큼 이동시키는 데 필요한 일은 ()이다.

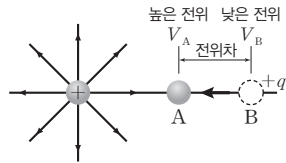
1 전압(전위차)과 전류

(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.

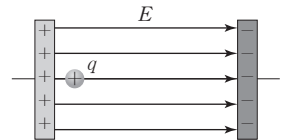


$$V = V_A - V_B = \frac{W}{q} \quad (\text{단위: J/C 또는 V})$$

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.



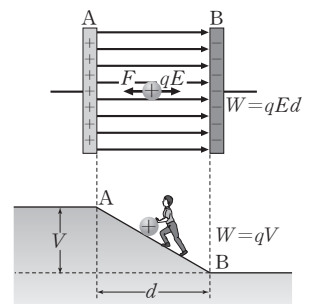
(2) **균일한 전기장에서의 일:** 균일한 전기장(E) 내에서 전하량이 $+q$ 인 전하를 극판 B에서 거리 d 만큼 떨어진 극판 A까지 옮기는 데 필요한 일 W 는 다음과 같다.

$$W = Fd = qEd$$

$$W = qV \quad (\text{단위: J})$$

$$qV = qEd \Rightarrow E = \frac{V}{d} \quad (\text{단위: V/m})$$

그림에서 전기장의 세기는 각 지점의 위치에 대한 전위의 기울기를 의미한다.

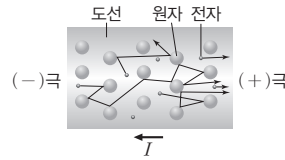


정답

1. 높고, 낮다
2. $\frac{W}{q}$
3. qEd

(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(-)전하가 이동하는 방향의 반대 방향이다.
- ③ 도선에서의 전류: 도선에 전지를 연결하면 전지 양단의 전위차에 의해 전자는 (-)극에서 (+)극 방향으로 도선을 따라 이동한다. 따라서 전류는 전지의 (+)극에서 (-)극 방향으로 도선을 따라 흐른다.
- 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.



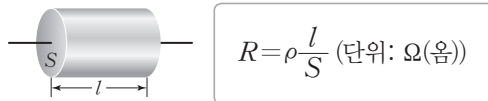
전지를 연결한 도선의 내부

$$I = \frac{Q}{t} \quad (\text{단위: A(암페어) 또는 C/s})$$

2 저항과 옴의 법칙

(1) 저항: 전류의 흐름을 방해하는 정도이다.

- ① 전기 저항(R): 물질이 전류의 흐름을 방해하는 정도를 수치로 나타낸 값으로 물질의 전기 저항은 물질의 길이 l 에 비례하고, 물질의 단면적 S 에 반비례한다.



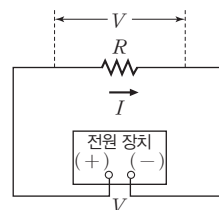
- ② 비저항(ρ): 비례 상수 ρ 를 그 물질의 비저항이라고 한다. 비저항은 길이가 1 m, 단면적이 1 m^2 인 물질의 저항으로, 물질마다 고유한 값을 갖는 물질의 특성이다.

- 단위: $\Omega \cdot \text{m}$
- 물질의 종류와 온도에 따라 다르므로 물질의 특성이 될 수 있다.
- 길이와 단면적이 같으면 비저항이 클수록 물질의 저항이 크다.
- 비저항에 따라 도체, 반도체, 절연체로 구분된다.

(2) 옴의 법칙

- 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.
- ③ 저항에 흐르는 전류의 세기 I 는 저항 양단의 전위차 V 에 비례하고,

전기 저항 R 에 반비례한다. $\Rightarrow I = \frac{V}{R}$



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. 전하를 띤 입자의 흐름을 ()라고 한다.
2. 전류의 방향은 () 전하가 이동하는 방향이다.
3. 전기 저항은 물질의 길이에 ()하고, 물질의 단면적에 ()한다.
4. 길이와 단면적이 같으면 비저항이 클수록 저항의 전기 저항이 ()한다.
5. 저항에 같은 전압을 걸어 주었을 때, 저항의 전기 저항이 클수록 저항에 흐르는 전류의 세기는 ()진다.

정답

1. 전류
2. 양(+)
3. 비례, 반비례
4. 크다
5. 작아

개념 체크

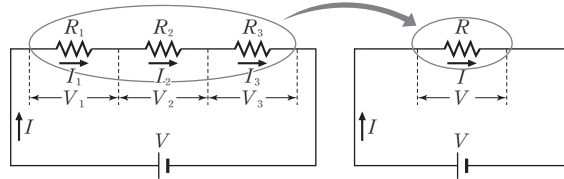
● 저항의 직렬연결: 여러 개의 저항을 한 줄로 이어서 연결하는 방법이다.

1. 전기 저항이 각각 2 Ω, 4 Ω인 두 저항을 직렬로 연결하였을 때, 합성 전기 저항은 ()이다.
2. 여러 개의 저항을 직렬로 연결하면 합성 전기 저항은 가장 큰 저항의 전기 저항보다 ()이다.

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 과 같다. $I = I_1 = I_2 = I_3 \dots \text{㉠}$
 - 전체 전압 V 는 각각의 저항에 걸리는 전압의 합과 같다. $V = V_1 + V_2 + V_3 \dots \text{㉡}$
 - 위의 식 ㉡에 옴의 법칙을 적용하고 식 ㉠을 활용하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

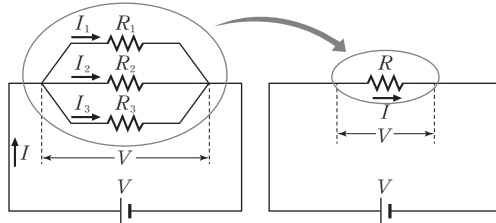
$$V = V_1 + V_2 + V_3 = I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3 = I(R_1 + R_2 + R_3) = IR \dots \text{㉢}$$
 - 위의 식 ㉢에서 합성 전기 저항 R 는 다음과 같다. $\Rightarrow R = R_1 + R_2 + R_3$
- ② 여러 개의 저항을 직렬로 연결할 때의 합성 전기 저항은 각각의 전기 저항을 모두 더한 값과 같다.

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

- 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 과 같다. $V = V_1 = V_2 = V_3 \dots \text{㉠}$
- 전하량 보존 법칙에 따라 회로에 흐르는 전체 전류의 세기 I 는 각 저항에 흐르는 전류의 세기의 합과 같다. $I = I_1 + I_2 + I_3 \dots \text{㉡}$
- 위의 식 ㉡에 옴의 법칙을 적용하고, 식 ㉠을 활용하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \rightarrow \frac{V}{R} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \dots \text{㉢}$$

- 위의 식 ㉢에서 합성 전기 저항 R 의 역수는 다음과 같다. $\Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

정답

1. 6 Ω
2. 크다

- ② 여러 개의 저항을 병렬로 연결할 때의 합성 전기 저항의 역수는 각각의 전기 저항의 역수를 모두 더한 값과 같다.

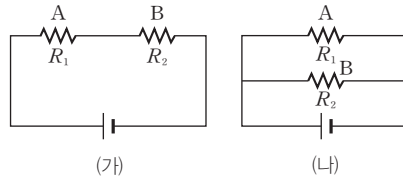
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

- ③ 여러 개의 저항을 병렬로 연결하면 합성 전기 저항은 가장 작은 저항의 전기 저항보다 작다.

탐구자료 살펴보기 저항의 직렬연결과 병렬연결 비교

과정

- (1) 그림 (가), (나)와 같이 전기 저항이 각각 R_1 , R_2 인 저항 A, B를 직렬, 병렬로 연결하여 회로를 구성한다.
 (2) (가)와 (나)에서 저항 A, B의 양단에 걸리는 전압과 각 저항에 흐르는 전류의 세기를 측정한다.



결과

- (가)에서 전기 저항이 큰 저항에 더 큰 전압이 걸린다.
- (가)에서 저항 A, B에 흐르는 전류의 세기는 같다.
- (나)에서 저항 A, B에 걸리는 전압은 같다.
- (나)에서 전기 저항이 작은 저항에 더 큰 전류가 흐른다.

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.

$$W = qV = VIt = I^2Rt \quad (\text{단위: J(줄)})$$

(2) 소비 전력

- ① **전력(P)**: 단위 시간 동안 공급하거나 소모되는 전기 에너지의 양으로 공급 전력 또는 소비 전력이라고도 한다.
 ② 전기 저항이 R 이고, 걸린 전압이 V 인 저항체에 t 초 동안 세기가 I 인 전류가 흘렀다면 저항체에서의 소비 전력은 다음과 같다.

$$P = \frac{W}{t} = VI = I^2R = \frac{V^2}{R} \quad (\text{단위: J/s=W(와트)})$$

- ③ **전력량(W)**: 시간 t 동안 저항에서 소모된 전기 에너지를 전력량이라고 한다.

$$W = Pt \quad (\text{단위: J(줄), Wh(와트시)})$$

개념 체크

● **저항의 병렬연결**: 여러 개의 저항을 나란하게 놓고 양 끝을 연결하는 방법이다.

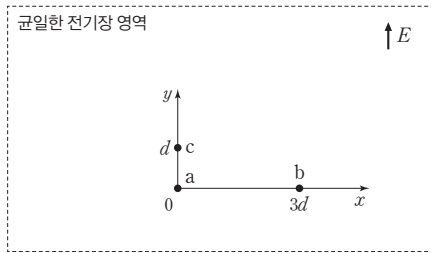
● **전력**: 단위 시간 동안 공급하거나 소비하는 전기 에너지이다.

1. 전기 저항이 각각 2 Ω, 4 Ω인 두 저항을 병렬로 연결할 때, 합성 전기 저항은 ()이다.
2. 저항을 병렬로 연결할수록 합성 전기 저항은 ()한다.
3. 전기 저항이 R 인 저항에 전압 V 를 걸어 주었을 때 저항의 소비 전력은 ()이다.

정답

1. $\frac{4}{3}$ Ω
2. 감소
3. $\frac{V^2}{R}$

01 [22027-0137] 그림은 $+y$ 방향으로 형성된 세기가 E 인 균일한 전기장 내부의 점 a, b, c 를 나타낸 것이다.

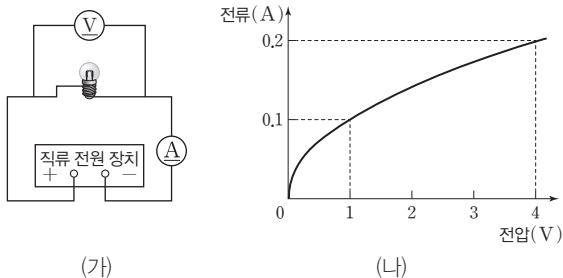


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 전위는 a에서가 c에서보다 높다.
 - ㄴ. a와 c 사이의 전위차는 Ed 이다.
 - ㄷ. a와 b 사이의 전위차는 a와 c 사이의 전위차보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

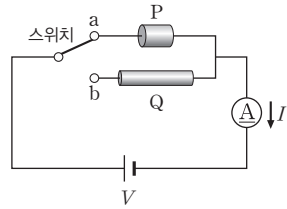
02 [22027-0138] 그림 (가)와 같이 회로를 구성하고 꼬마 전구 양단에 걸린 전압을 변화시키면서 꼬마 전구에 흐르는 전류를 측정하였다. 그림 (나)는 실험 결과를 그래프로 나타낸 것이다.



꼬마 전구에 걸린 전압이 1 V일 때와 4 V일 때, 꼬마 전구의 전기 저항을 각각 R_1, R_2 라고 하면 $\frac{R_1}{R_2}$ 은?

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

03 [22027-0139] 그림은 원통형 막대 P, Q, 스위치, 전류계를 전압이 V 로 일정한 직류 전원에 연결한 것을 나타낸 것이다. 스위치를 단자 a에 연결할 때 전류계의 측정값은 I 이다. 표는 P, Q의 비저항, 길이, 단면적을 나타낸 것이다.

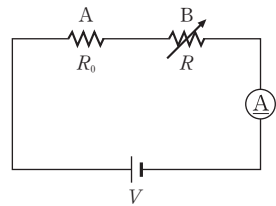


	P	Q
비저항	ρ	2ρ
길이	l	$2l$
단면적	$2A$	A

스위치를 단자 b에 연결할 때, 전류계의 측정값은?

- ① $\frac{1}{8}I$ ② $\frac{1}{4}I$ ③ $\frac{1}{2}I$ ④ $2I$ ⑤ $4I$

04 [22027-0140] 그림과 같이 전기 저항이 R_0 인 저항 A와 가변 저항 B를 전압이 V 인 직류 전원에 연결하였다. 표는 B의 전기 저항 R 를 변화시킬 때, A, B 각각에 걸리는 전압 V_A, V_B 의 비 $V_A : V_B$ 와 전류계의 측정값 I 를 나타낸 것이다.



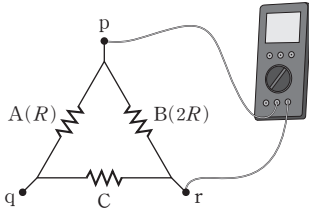
R	$V_A : V_B$	I
R_0	1 : 1	㉠
$2R_0$	㉡	I_0

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. ㉠은 $1.5I_0$ 이다.
 - ㄴ. ㉡은 1 : 2이다.
 - ㄷ. B에서의 소비 전력은 $R=R_0$ 일 때가 $R=2R_0$ 일 때보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

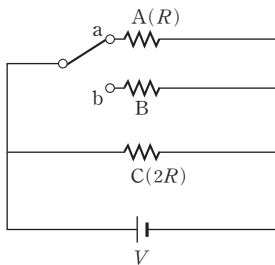
05 [22027-0141] 그림과 같이 저항 A, B, C를 연결하고, 멀티미터를 이용하여 단자 p, q, r 사이의 합성 전기 저항을 측정하였다. A, B의 전기 저항은 각각 R , $2R$ 이고, p, r 사이의 합성 전기 저항과 q, r 사이의 합성 전기 저항이 같다.



p, q 사이의 합성 전기 저항은?

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

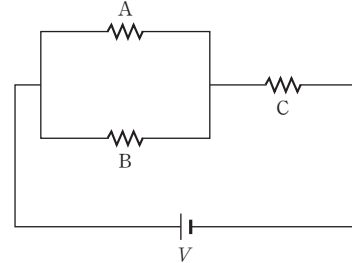
06 [22027-0142] 그림은 저항 A, B, C, 스위치를 전압이 V 로 일정한 직류 전원에 연결한 것을 나타낸 것이다. A, C의 전기 저항은 각각 R , $2R$ 이고, 회로의 전체 소비 전력은 스위치를 단자 a에 연결할 때가 단자 b에 연결할 때의 2배이다.



B의 전기 저항은?

- ① $2R$ ② $2.5R$ ③ $3R$ ④ $3.5R$ ⑤ $4R$

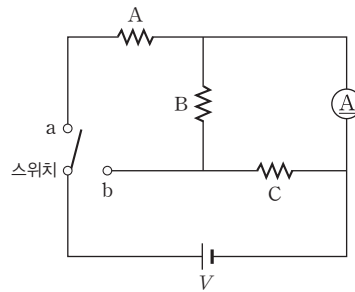
07 [22027-0143] 그림과 같이 저항 A, B, C를 전압이 V 인 직류 전원에 연결하였다. 전기 저항은 A가 C의 $\frac{9}{4}$ 배이고, A와 C의 소비 전력은 P 로 같다.



B의 소비 전력은?

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

08 [22027-0144] 그림은 전기 저항이 R 인 저항 A, B, C와 스위치, 전류계를 전압이 V 인 직류 전원에 연결한 회로를 나타낸 것이다. 스위치를 단자 a에 연결할 때, A의 소비 전력은 P 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. $P = \frac{V^2}{2R}$ 이다.

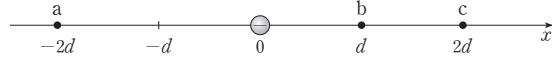
ㄴ. 스위치를 b에 연결할 때, 회로 전체의 소비 전력은 $2P$ 이다.

ㄷ. 전류계의 측정값은 스위치를 a에 연결할 때가 스위치를 b에 연결할 때보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

전위는 양(+전하에 가까울수록 높고, 음(-)전하에 가까울수록 낮으며, 고정되어 있는 점전하에 의한 전위는 점전하로부터 떨어진 거리에 의해 결정된다.

01 [22027-0145] 그림과 같이 x 축의 원점에 음(-)의 점전하가 고정되어 있다. a, b, c는 각각 x 축의 $x = -2d$, $x = d$, $x = 2d$ 의 점이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

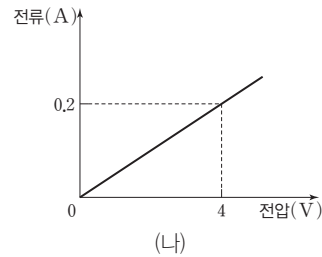
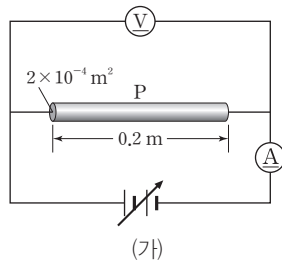
보기

- ㄱ. 전기장의 세기는 b에서가 c에서보다 크다.
- ㄴ. 전위는 b에서가 c에서보다 높다.
- ㄷ. a, c 사이의 전위차는 b, c 사이의 전위차보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

세로축이 전류이고 가로축이 전압이면, 직선의 기울기는 전류가 된다. 따라서 직선의 기울기는 $\frac{1}{\text{저항}}$ 과 같다.

02 [22027-0146] 그림 (가)는 원통형 막대 P에 걸리는 전압을 변화시키면서 P에 흐르는 전류를 측정하는 것을 나타낸 것이다. P의 길이는 0.2 m이고 단면적은 $2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ 이다. 그림 (나)는 측정 결과를 나타낸 것이다.

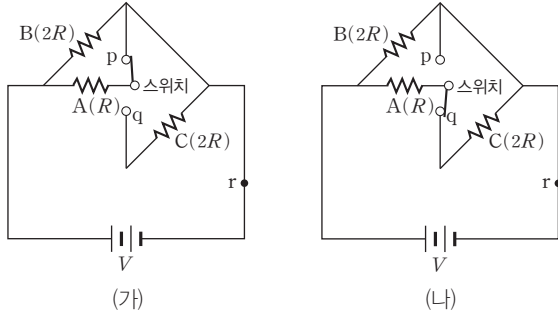


P의 비저항으로 옳은 것은?

- ① $5 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{m}$ ② $2 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{m}$ ③ $5 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{m}$
 ④ $5 \times 10 \Omega \cdot \text{m}$ ⑤ $2 \times 10^4 \Omega \cdot \text{m}$

03 [22027-0147]

그림 (가), (나)는 전기 저항이 R 인 저항 A와 전기 저항이 $2R$ 인 저항 B, C를 이용한 회로를 나타낸 것이다. (가), (나)에서 스위치는 각각 단자 p, q에 연결되어 있다.



전기 저항과 관계없이 전압이 같도록 연결하면 병렬연결, 전류가 같도록 연결하면 직렬연결이라고 한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

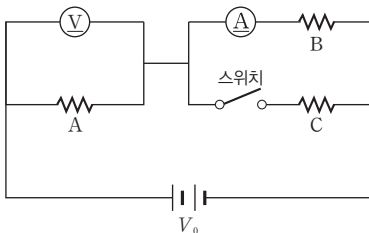
보기

- ㄱ. A에 걸린 전압은 (가)에서가 (나)에서의 3배이다.
- ㄴ. B에 흐르는 전류의 세기는 (가)와 (나)에서 같다.
- ㄷ. r에 흐르는 전류의 세기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

04 [22027-0148]

그림과 같이 저항 A, B, C, 전압계, 전류계, 스위치를 전압이 V_0 인 직류 전원에 연결하였다. 표는 스위치를 닫을 때와 열 때, 전압계의 측정값 V 와 전류계의 측정값 I 를 나타낸 자료이다.



스위치	V	I
열림	$\frac{1}{4}V_0$	㉠
닫힘	$\frac{1}{2}V_0$	I_0

스위치를 열면 A와 B가 직렬로 연결되고, 스위치를 닫으면 B와 C가 병렬로 연결되며 B, C 전체가 A에 직렬로 연결된다.

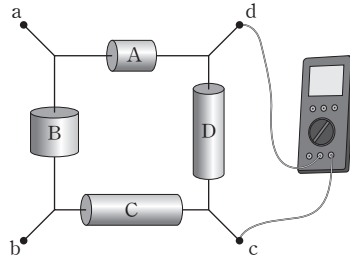
㉠으로 옳은 것은?

- ① $\frac{1}{2}I_0$ ② $\frac{2}{3}I_0$ ③ $\frac{4}{3}I_0$ ④ $\frac{3}{2}I_0$ ⑤ $2I_0$

멀티미터를 단자 a와 b에 연결하면, A, D, C가 직렬로 연결되고, A, D, C 전체가 B에 병렬로 연결된다.

05 [22027-0149]

그림과 같이 원통형 모양의 저항 A, B, C, D를 연결하고 멀티미터를 이용하여 두 단자 사이의 합성 전기 저항을 측정하였다. 단자 a, b 사이의 합성 전기 저항과 단자 c, d 사이의 합성 전기 저항이 R 로 같았다. 표는 A, B, C, D의 비저항, 길이, 단면적을 나타낸 것이다.



	A	B	C	D
비저항	ρ	4ρ	1.5ρ	\ominus
길이	l	l	$2l$	$2l$
단면적	S	$2S$	S	S

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

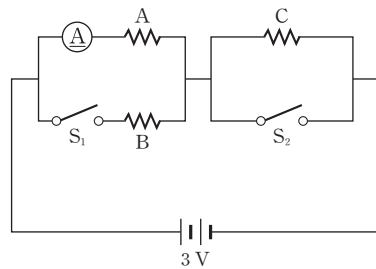
ㄱ. \ominus 은 ρ 이다.
 ㄴ. 전기 저항은 B가 A의 2배이다.
 ㄷ. 두 단자 사이의 합성 전기 저항의 최댓값은 $\frac{5}{4}R$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

S_1, S_2 가 모두 닫혀 있으면 C에 걸리는 전압은 0이고 A, B에 걸리는 전압은 3V이며, S_1 은 열려 있고 S_2 만 닫혀 있으면 A에 걸리는 전압은 3V이고 B, C에 걸리는 전압은 0이다.

06 [22027-0150]

그림은 저항 A, B, C, 전류계, 스위치 S_1, S_2 를 전압이 3V인 직류 전원에 연결한 것을 나타낸 것이다. 표는 S_1, S_2 의 상태에 따른 전류계의 측정값 I 를 나타낸 것이다.



과정	S_1	S_2	I (A)
I	○	○	1
II	○	×	0.4
III	×	○	\ominus
IV	×	×	0.5

○: 스위치 닫힘
 ×: 스위치 열림

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. \ominus 은 1이다.
 ㄴ. 전기 저항은 B가 A의 2배이다.
 ㄷ. C의 소비 전력은 IV에서가 II에서보다 크다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

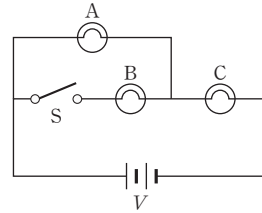
07 [22027-0151] 다음은 소비 전력에 대해 알아보기 위한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 전기 저항이 R 인 동일한 전구 A, B, C와 스위치 S를 전압이 V 인 직류 전원에 연결한다.

(나) S가 열려 있는 상태에서 A와 C의 소비 전력을 측정하여 비교한다.

(다) S를 닫고, A, C의 소비 전력의 증감을 측정한다.



[실험 결과]

(나)의 결과

(다)의 결과

- A의 소비 전력은
- C의 소비 전력은 증가한다.

스위치를 닫으면 B에도 전류가 흐르므로 회로 전체의 합성 전기 저항이 감소하여 C에 흐르는 전류가 증가한다.

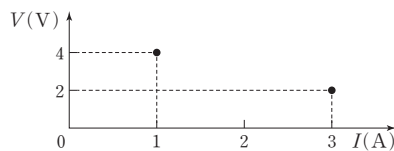
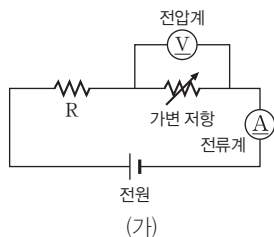
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. ㉠에는 '소비 전력은 A가 C보다 크다.'가 적절하다.
- ㄴ. ㉡에는 '감소한다.'가 적절하다.
- ㄷ. (다)에서 A, B 전체의 소비 전력은 C의 소비 전력의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 [22027-0152] 그림 (가)는 저항 R, 가변 저항, 전압계, 전류계를 전압이 일정한 전원에 연결한 회로를, (나)는 가변 저항의 전기 저항을 변화시킬 때, 전류계의 측정값 I 에 따른 전압계의 측정값 V 를 점으로 표시한 것이다.



R에 걸리는 전압과 가변 저항에 걸리는 전압의 합이 전원 전압과 같다.

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

보기

- ㄱ. 전원의 전압은 6 V이다.
- ㄴ. R의 전기 저항은 1 Ω 이다.
- ㄷ. $I=3$ A일 때 소비 전력은 R가 가변 저항의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

개념 체크

- **트랜지스터**: p형과 n형 불순물 반도체를 p형, n형, p형 또는 n형, p형, n형 순으로 접합하여 만들며, 이미터(E), 베이스(B), 컬렉터(C)라고 부르는 3개의 단자가 있다.
- **전류 증폭률**: 전류의 증폭 정도는 베이스 전류(I_B)와 컬렉터 전류(I_C)의 세기를 비교하여 결정한다.

1. 트랜지스터에는 p-n-p형과 ()형이 있다.
2. p-n-p형 트랜지스터가 증폭 작용을 할 때, 이미터와 베이스 사이에 걸여 준 () 전압과 베이스와 컬렉터 사이에 걸여 준 () 전압에 의해 이미터의 양공은 대부분 ()에 도달한다.
3. 이미터와 베이스 사이의 미세한 전압의 변화가 컬렉터의 커다란 변화로 나타나는 것을 트랜지스터의 () 작용이라고 한다.
4. 베이스에 흐르는 전류의 세기를 I_B , 컬렉터에 흐르는 전류의 세기를 I_C 라 할 때, 전류 증폭률은 ()이다.

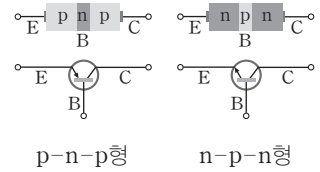
정답

1. n-p-n
2. 순방향, 역방향, 컬렉터
3. 증폭
4. $\frac{I_C}{I_B}$

1 트랜지스터

(1) 트랜지스터

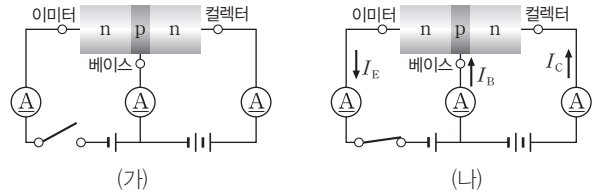
- ① 종류: p형과 n형 불순물 반도체를 p형, n형, p형 또는 n형, p형, n형 순으로 접합하여 만들며, p-n-p형과 n-p-n형이 있다.
- ② 구조: 이미터(E), 베이스(B), 컬렉터(C)라고 부르는 3개의 단자가 있고, 이미터와 컬렉터 사이의 베이스는 두께가 수 μm 정도로 매우 얇게 제작된다.



(2) 증폭 작용과 스위칭 작용

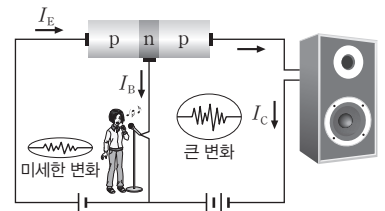
① 트랜지스터의 작동 원리

- 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 비율 전류 증폭률이라고 한다.

$$\text{전류 증폭률} = \frac{I_C}{I_B}$$

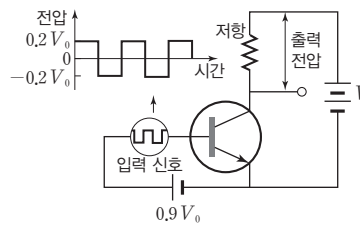
③ 트랜지스터의 스위칭 작용

- 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.



개념 체크

● 바이어스 전압: 트랜지스터를 정상적으로 작동시키기 위해 이미터와 베이스 사이에 걸어 주는 전압이다.

1. 트랜지스터를 이용하여 1초에 천 회 이상 전류를 단속할 수 있는데, 트랜지스터의 이러한 작용을 () 작용이라고 한다.

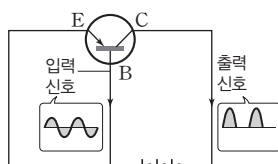
2. 트랜지스터를 정상적으로 작동시키기 위해 이미터와 베이스 사이에 걸어 주는 직류 전압을 () 전압이라고 한다.

(3) 바이어스 전압

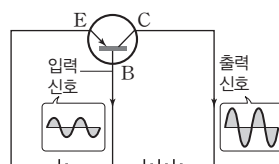
① 바이어스 전압: 트랜지스터를 정상적으로 작동시키기 위해서는 이미터와 베이스 사이에 적절한 전압을 걸어 주어야 하는데, 이 전압을 바이어스 전압이라고 한다.

② 증폭 회로에서 바이어스 전압의 역할

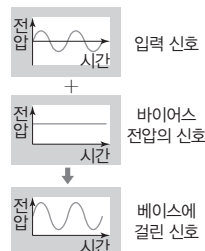
- 바이어스 전압을 걸지 않았을 때: p-n-p형 트랜지스터에서 베이스 단자에 전압이 걸리지 않은 상태에서는 입력된 교류 신호의 (+)쪽 신호에만 반응하여 (-)쪽 신호가 나오지 않는다. 그 까닭은 (+), (-)가 교대로 되어 있는 교류 형태의 신호에서 스위칭 작용 때문에 (-)부분에서는 컬렉터 쪽으로 전류가 흐르지 않아 신호가 출력되지 않기 때문이다.
- 바이어스 전압을 걸었을 때: 적절한 바이어스 전압을 걸어 주면 신호를 제대로 증폭할 수 있다. 예를 들어 베이스에 공급되는 신호 전압의 진폭이 0.1 V라고 할 때 이미터와 베이스 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. 스위칭
2. 바이어스

개념 체크

● 전하량: 축전기에 충전되는 전하량은 두 극판 사이의 전위차에 비례한다.

$$Q = CV$$

● 전기 용량: 축전기에 1 V의 전압을 걸었을 때 충전되는 전하량이다.

1. 축전기에 충전되는 전하량은 두 극판 사이의 전위차에 ()한다.

2. 평행판 축전기의 전기 용량은 극판의 면적에 ()하고, 극판 사이의 거리에 ()한다.

③ 전압 분할로 바이어스 전압 결정하기

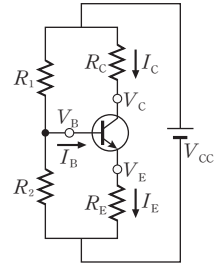
• n-p-n형 트랜지스터를 전원에 연결하여 일정한 전류 증폭률로 작동시킬 때 베이스와 이미터 사이의 전압을 일정한 값 V_{BE} 로, 컬렉터와 이미터 사이의 전압을 일정한 값 V_{CE} 로 정해 놓고 이때 이미터 단자 전위를 V_E 로 정하면, 트랜지스터의 세 단자의 전위는 각각 다음과 같다.

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.

$$R_E = \frac{V_E}{I_E} \doteq \frac{V_E}{I_C}, R_C = \frac{V_{CC} - V_C}{I_C}$$

트랜지스터의 각 단자에 적절한 저항을 추가하는 방법으로 전압을 분할하여 바이어스 전압을 결정할 수 있다.



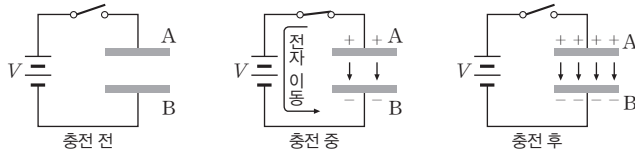
2 축전기

(1) 축전기

- ① 전하를 저장할 수 있는 장치를 축전기, 축전기에 전하를 저장하는 과정을 충전이라고 한다.
- ② 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

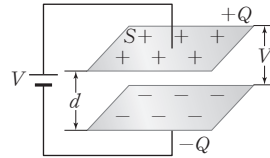
- 축전기에 걸리는 전압이 1 V일 때, 충전되는 전하량을 전기 용량이라고 한다.
- 축전기 극판의 면적, 두 극판 사이의 거리, 극판 사이에 있는 물질의 종류에 따라 다르다.
- 축전기에 전압 V 인 전지를 연결하면, 축전기에 걸리는 전압이 V 가 될 때까지 전하가 충전된다.
- 같은 전하량을 충전시킬 때 전기 용량이 큰 축전기일수록 축전기에 걸리는 전압이 더 낮다.
- 전기 용량의 단위: F(패럿)
 - \Rightarrow 1 F은 1 V의 전압을 걸어 줄 때 1 C의 전하량이 충전되는 전기 용량이다.
 - \Rightarrow 1 F은 매우 큰 단위이므로 일상생활에서는 $1 \mu F (= 10^{-6} F)$ 또는 $1 pF (= 10^{-12} F)$ 을 사용한다.

정답

- 1. 비례
- 2. 비례, 반비례

- ② 평행판 축전기의 전기 용량 C 는 극판의 면적 S 에 비례하고, 극판 사이의 간격 d 에 반비례한다.

$$C = \epsilon \frac{S}{d} \quad (\epsilon: \text{유전율})$$



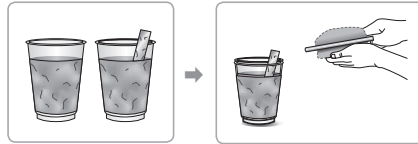
개념 체크

- **유전체와 유전 분극:** 유전체에서의 정전기 유도 현상을 유전 분극이라고 한다. 유전 분극은 외부 전기장에 의해 각 분자의 양(+)전하와 음(-)전하가 반대쪽으로 치우치기 때문에 나타나는 현상이다.
- **유전체와 전기 용량:** 유전체를 축전기의 두 극판 사이에 넣으면 유전 분극이 일어나 전기 용량이 증가한다.
- **축전기에 저장된 전기 에너지:** 대전된 축전기에 저장된 에너지는 그 축전기를 대전시키기 위해 필요한 일 W 이다.

탐구자료 살펴보기 레이던 병(간이 축전기) 만들기

과정

- (1) 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 박에 동시에 손을 대어 본다.

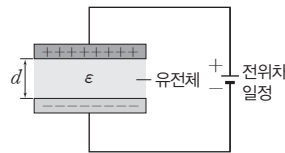
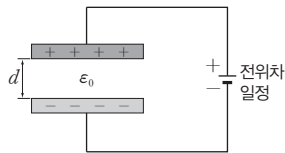


결과 • 손을 통해 전류가 흐르는 것을 느낄 수 있다.

point • 전하를 정전기 유도의 원리로 저장할 수 있다.

(3) 유전체의 역할

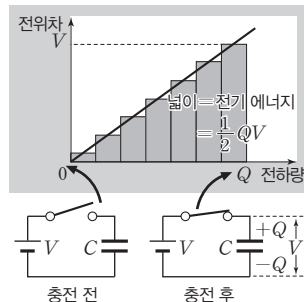
- ① **유전체:** 유리, 종이, 나무, 플라스틱과 같은 부도체이다.
- ② **유전율:** 전기장 내에서 유전 분극되는 정도와 관련 있는 물리량이다. 유전 분극이 잘 될수록 유전율이 크며, 진공의 유전율은 일반적으로 ϵ_0 으로 나타낸다.
- ③ **유전체와 전기 용량:** 유전율이 ϵ 인 유전체를 축전기 속에 넣으면 전기 용량은 진공 상태일 때의 $\frac{\epsilon}{\epsilon_0}$ 배가 된다.
- ④ 축전기 속에 유전체를 넣으면 유전체의 유전 분극에 의해 축전기에 전하를 더 많이 모을 수 있다.



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.

$$W = U = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$



정답

1. $\frac{\epsilon}{\epsilon_0}$
2. $\frac{1}{2} CV^2$

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 F, 2 F 인 축전기가 병렬로 연결되어 있으면 각 축전기 양단에 걸린 전압은 (), 합성 전기 용량은 () 이다.

2. 축전기가 병렬로 연결되었을 때, 각 축전기에 충전된 전하량의 합은 전체 전하량과 () .

3. 전기 용량이 각각 1 F, 2 F 인 축전기가 직렬로 연결되어 있으면 각 축전기에 충전된 전하량은 (), 합성 전기 용량은 () 이다.

4. 축전기가 직렬로 연결되었을 때, 각 축전기에 걸리는 전압은 전기 용량에 () 한다.

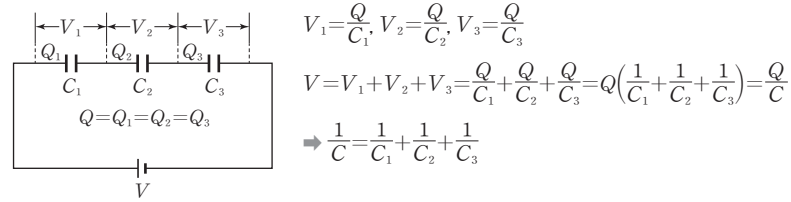
정답

1. 같고, 3 F
2. 같다
3. 같고, $\frac{2}{3}$ F
4. 반비례

과학 돋보기 축전기의 연결

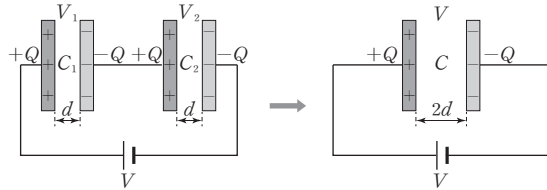
1. 직렬연결

① 각 축전기에 충전되는 전하량이 같고, 각 축전기에 걸린 전압의 합은 전원의 전압과 같다.



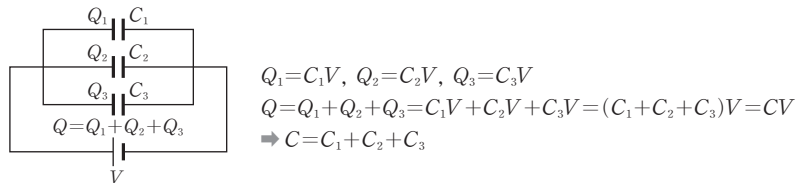
② 합성 전기 용량은 전기 용량이 가장 작은 축전기의 전기 용량보다 작다.

③ 면적이 같은 축전기를 직렬로 연결할 때, 두 극판 사이의 거리가 증가하는 효과가 나타나 합성 전기 용량은 감소한다.



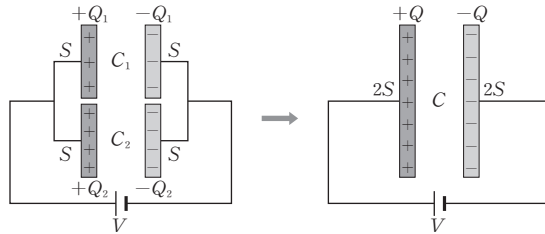
2. 병렬연결

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 거리가 같은 축전기를 병렬로 연결할 때, 극판의 면적이 넓어지는 효과가 나타나 합성 전기 용량은 증가한다.

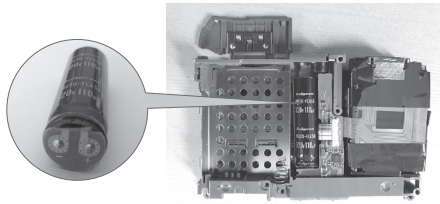


4 축전기의 이용

(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.

- 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.



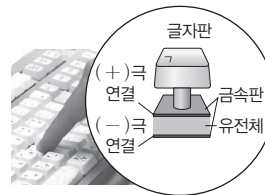
카메라 내부의 축전기



자동심장충격기

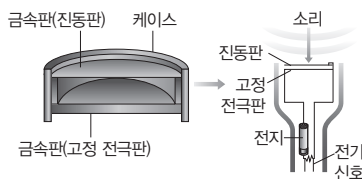
(2) 전기 용량의 차이로서의 축전기 활용 사례

- 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 줄어 전기 용량이 증가하고 컴퓨터가 이 변화를 인식하여 글자를 입력한다.

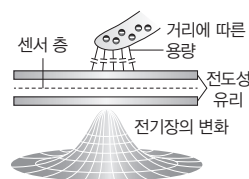


키보드

- 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.



콘덴서 마이크



터치스크린

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 줄어 전기 용량이 증가하고 컴퓨터가 이 변화를 인식하여 글자가 입력된다.

1. 카메라 플래시에서는 축전기에 저장된 () 에너지가 강한 빛에너지로 전환된다.
2. 콘덴서 마이크에서 진동판이 고정판에 가까워질 때 금속판에는 전하가 () 되는 방향으로 전류가 흐르고, 멀어질 때 금속판에는 전하가 ()되는 방향으로 전류가 흐른다.

과학 돋보기 축전기의 원리를 이용하는 회전 사진

파노라마 사진 기능을 이용하여 회전하면서 촬영을 하면 스마트 기기가 자동으로 회전을 감지하여 촬영을 멈추고 영상을 저장하는 과정을 반복한다. 이때 사용되는 센서가 미세 전자 기계 시스템(MEMS, Microelectromechanical System) 기술을 이용하여 만든 회전 센서나 가속도 센서이다. 이 센서는 수 mm 크기의 아주 작은 칩인데 이 칩 자체가 초소형 축전기에 해당된다. 스마트 기기가 회전하거나 가속하면 칩을 구성하는 축전기의 전기 용량의 변화를 감지하여 회전이나 가속 정도를 알 수 있다.



정답

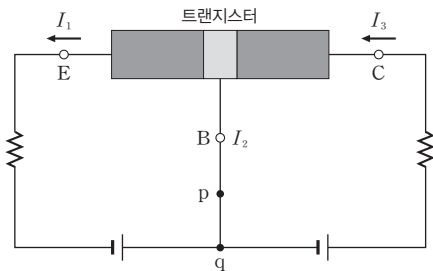
1. 전기
2. 충전, 방전

01 [22027-0153] 다음은 학생 A, B, C가 p형 반도체와 n형 반도체를 접합하여 만든 전기 소자 ㉠에 대해 대화하는 모습을 나타낸 것이다.

옳은 내용을 제시한 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A ② B ③ C ④ A, B ⑤ B, C

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.



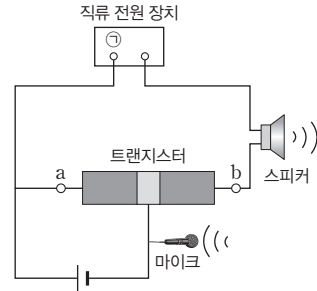
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

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

03 [22027-0155] 그림은 트랜지스터에 연결된 마이크에 입력된 소리 신호가 스피커로 출력되는 것을 나타낸 것이다. a, b는 트랜지스터의 단자이다.



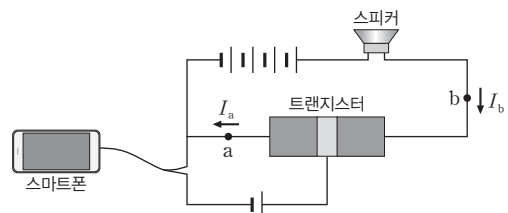
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. ㉠은 (-)극이다.
- ㄴ. a는 이미터 단자이다.
- ㄷ. 전류의 세기는 a에서가 b에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

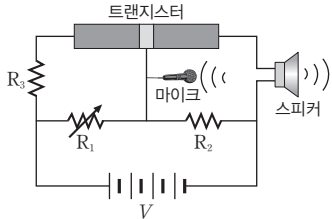
04 [22027-0156] 그림과 같이 스마트폰에서 나오는 신호가 이미터 단자를 공통으로 사용하는 트랜지스터에 의해 증폭되어 스피커로 출력된다. 회로의 점 a, b에는 화살표 방향으로 세기가 각각 I_a , I_b 인 전류가 흐른다.



트랜지스터의 전류 증폭률은?

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

05 [2027-0157] 그림은 트랜지스터를 이용하여 마이크에 입력된 신호를 스피커로 출력하는 회로를 나타낸 것이다. R_1 은 가변 저항이고, R_2 , R_3 은 전기 저항이 일정한 저항이다.



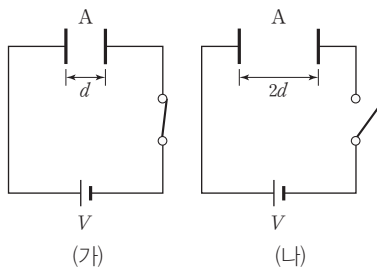
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 트랜지스터는 n-p-n형이다.
- ㄴ. 트랜지스터는 스위칭 작용을 한다.
- ㄷ. R_1 의 전기 저항을 증가시키면, 이미터와 베이스 사이에 걸리는 바이어스 전압이 증가한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

06 [2027-0158] 그림 (가)와 같이 극판 사이의 간격이 d 인 평행판 축전기 A를 전압이 V 인 직류 전원에 연결하여 완전히 충전하였다. A에 충전된 전하량이 Q 이다. 그림 (나)는 (가)의 상태에서 스위치를 연 후, A의 극판 사이의 간격을 $2d$ 로 증가시킨 것을 나타낸 것이다.



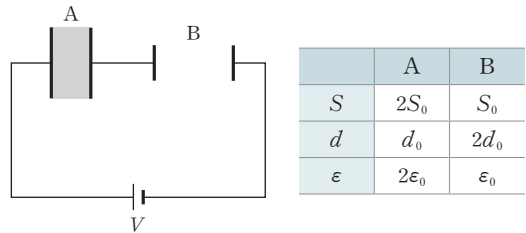
(나)의 A에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 전기 용량은 $\frac{Q}{V}$ 이다.
- ㄴ. 충전된 전하량은 Q 이다.
- ㄷ. 두 극판 사이의 전위차는 V 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

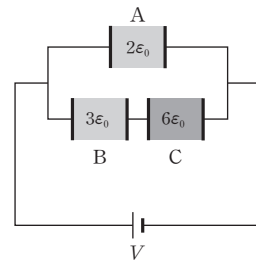
07 [2027-0159] 그림과 같이 축전기 A, B를 전압이 V 인 직류 전원에 연결하여 완전히 충전하였다. 표는 A, B의 극판의 면적 S , 두 극판 사이의 간격 d , 두 극판 사이에 채워진 물질의 유전율 ϵ 을 나타낸 것이다.



A, B에 걸린 전압을 각각 V_A , V_B 라고 할 때, $\frac{V_A}{V_B}$ 는?

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

08 [2027-0160] 그림과 같이 판의 면적과 판 사이의 간격이 같은 축전기 A, B, C를 전압이 V 인 직류 전원에 연결하여 완전히 충전하였다. A, B, C의 두 극판 사이에 채워진 물질의 유전율은 각각 $2\epsilon_0$, $3\epsilon_0$, $6\epsilon_0$ 이다.



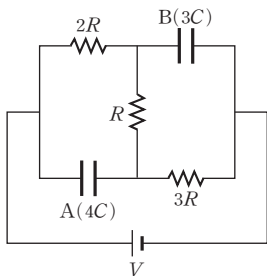
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 전기 용량은 C가 A의 3배이다.
- ㄴ. A에 걸린 전압이 B에 걸린 전압보다 크다.
- ㄷ. A에 충전된 전하량이 B에 충전된 전하량보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

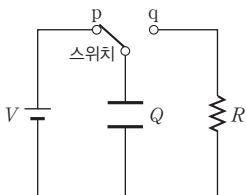
09 [22027-0161] 그림과 같이 전기 용량이 각각 $4C$, $3C$ 인 축전기 A, B를 전기 저항이 R , $2R$, $3R$ 인 저항과 전압이 V 인 전원에 연결하여 완전히 충전하였다.



A, B에 저장된 전기 에너지를 각각 E_A , E_B 라고 할 때, $\frac{E_A}{E_B}$ 는?

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

10 [22027-0162] 그림은 전압이 V 인 직류 전원, 축전기, 전기 저항이 R 인 저항, 스위치를 이용한 회로를 나타낸 것이다. 스위치를 단자 p에 연결하고 축전기를 완전히 충전시켰더니, 축전기에 충전된 전하량이 Q 이다.



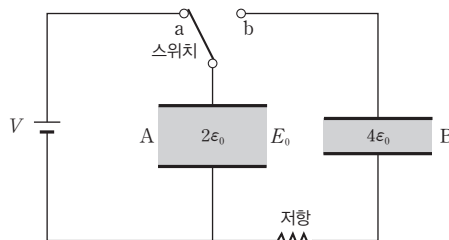
스위치를 단자 q에 연결할 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 전자기파 발생은 무시한다.)

보기

- ㄱ. 축전기의 전기 용량은 $\frac{Q}{V}$ 이다.
- ㄴ. 축전기에 충전된 전하량이 $\frac{Q}{2}$ 인 순간 저항의 소비 전력은 $\frac{V^2}{4R}$ 이다.
- ㄷ. 축전기가 완전히 방전될 때까지 저항에서 소비하는 전기 에너지는 $\frac{1}{2}QV$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

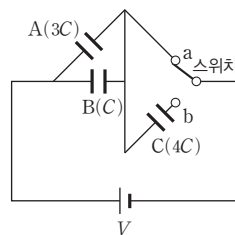
11 [22027-0163] 그림은 전압이 V 인 직류 전원, 축전기 A, B, 스위치, 저항을 이용한 회로를 나타낸 것이다. A, B의 극판의 면적은 같고, 판 사이의 간격은 A가 B의 2배이며, A, B에는 유전율이 각각 $2\epsilon_0$, $4\epsilon_0$ 인 물질이 채워져 있다. 스위치를 단자 a에 연결하여 A를 완전히 충전시켰을 때, A에 저장된 전기 에너지는 E_0 이다.



a에 연결되어 있던 스위치를 단자 b에 연결한 후, 저항에 전류가 흐르지 않을 때까지 저항에서 소비하는 전기 에너지는? (단, 전자기파 발생은 무시한다.)

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

12 [22027-0164] 그림과 같이 전압이 V 인 직류 전원에 축전기 A, B, C를 설치하고, 스위치를 단자 a에 연결하여 A, B를 완전히 충전하였다. A, B, C의 전기 용량은 각각 $3C$, C , $4C$ 이고, A에 저장된 전기 에너지는 E 이다.



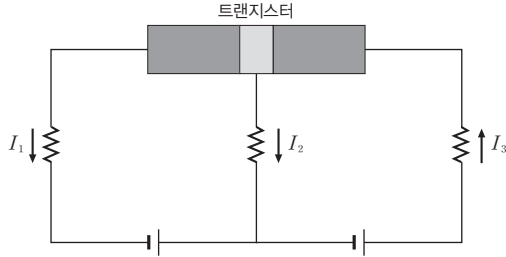
스위치를 단자 b에 연결하여 완전히 충전할 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 충전되는 전하량은 A가 B의 3배이다.
- ㄴ. 양단에 걸리는 전압은 B가 C보다 크다.
- ㄷ. C에 저장되는 전기 에너지는 $\frac{1}{3}E$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

01 [22027-0165] 그림은 p형 반도체와 n형 반도체를 접합하여 만든 트랜지스터에 저항과 전원을 연결한 것을 나타낸 것이다. 저항에는 화살표 방향으로 세기가 각각 I_1 , I_2 , I_3 인 전류가 흐른다.



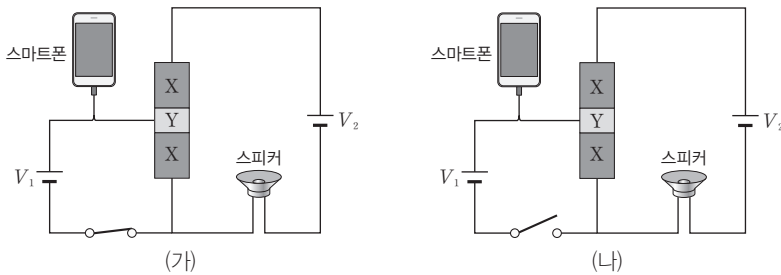
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 트랜지스터는 p-n-p형이다.
 - ㄴ. $I_1 + I_2 = I_3$ 이다.
 - ㄷ. 전류 증폭률은 $\frac{I_1}{I_2}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

베이스에서 전류가 나오므로, 이미터로 전류가 들어가야 한다. 따라서 트랜지스터의 오른 쪽이 이미터이다.

02 [22027-0166] 그림 (가)는 스마트폰에서 발생한 음악을 트랜지스터로 증폭하여 스피커로 출력하는 것을 나타낸 것이다. 회로에 연결된 직류 전원의 전압은 각각 V_1 , V_2 이고, X, Y는 n형 반도체와 p형 반도체를 순서 없이 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 상태에서 스위치를 연 것을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. X에서는 주로 전자가 전류를 흐르게 한다.
 - ㄴ. 이미터와 베이스 사이의 바이어스 전압은 V_1 이다.
 - ㄷ. (나)의 스피커에서는 음악이 정상적으로 출력된다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

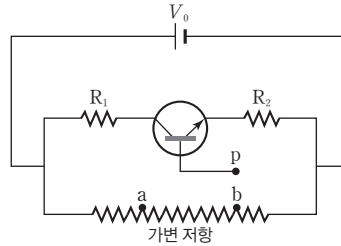
스위치를 열면 V_2 의 전압에 의해 컬렉터의 전자가 컬렉터 위쪽에 모이고, 베이스의 양공이 베이스의 아래쪽에 모인다. 따라서 컬렉터와 베이스의 p-n 접합면에서 전류가 흐르지 않는다.

전류가 베이스에서 이미터 방향으로 흐른다. 따라서 베이스는 p형 반도체이고 이미터는 n형 반도체이다.

P와 Q에는 전류가 흐르지 않으므로, 전류는 '전원 → A → B → C → 전원' 방향으로 흐른다.

03 [22027-0167]

그림과 같이 트랜지스터, 저항 R_1 , R_2 , 가변 저항을 전압이 V_0 인 직류 전원에 연결하였다. a, b는 가변 저항에 고정된 점이고, 베이스에 연결된 단자 p는 가변 저항에 접촉하는 지점을 변화시킨다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

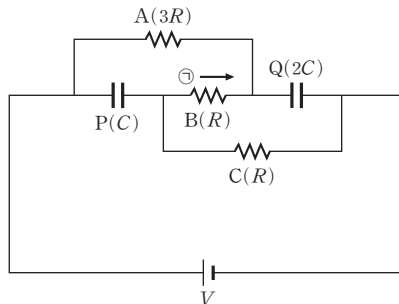
보기

- ㄱ. 트랜지스터는 p-n-p형이다.
- ㄴ. R_1 에 전류가 흐를 때, 전류의 세기는 R_1 에서가 R_2 에서보다 크다.
- ㄷ. 이미터와 베이스 사이의 바이어스 전압은 p를 a에 접촉할 때가 b에 접촉할 때보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

04 [22027-0168]

그림과 같이 전기 용량이 각각 C , $2C$ 인 축전기 P, Q를 전기 저항이 각각 $3R$, R , R 인 저항 A, B, C와 전압이 V 인 직류 전원에 연결하여 완전히 충전하였다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

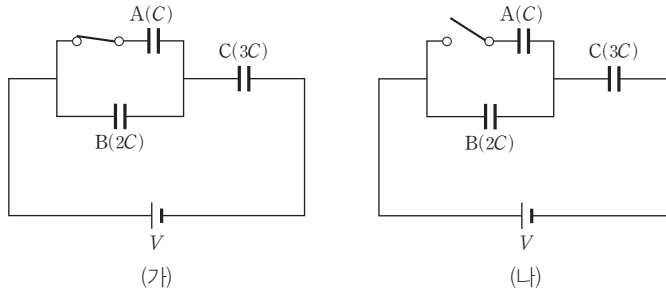
보기

- ㄱ. P와 Q에 걸린 전압은 같다.
- ㄴ. P에 충전된 전하량은 $\frac{4}{5}CV$ 이다.
- ㄷ. B에는 ㉠ 방향으로 전류가 흐른다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

05 [22027-0169]

그림 (가)와 같이 전기 용량이 각각 C , $2C$, $3C$ 인 축전기 A, B, C를 전압이 V 인 직류 전원에 연결하여 완전히 충전하였다. 그림 (나)는 (가)의 상태에서 스위치를 열고 충분한 시간이 지난 후, 전하의 이동이 없는 상태를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

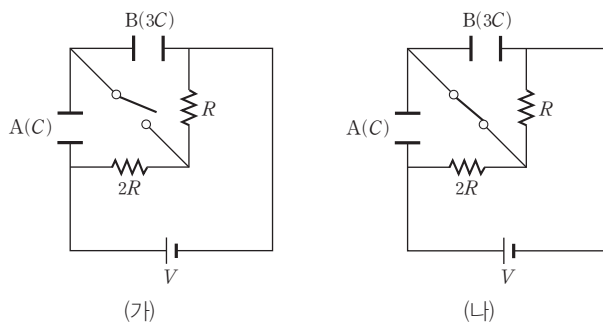
보기

- ㄱ. (가)에서 극판 사이의 전위차는 A가 C보다 크다.
- ㄴ. (가)에서 저장된 전기 에너지는 C가 A의 3배이다.
- ㄷ. B에 충전된 전하량은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 [22027-0170]

그림 (가)와 같이 전기 용량이 각각 C , $3C$ 인 축전기 A, B를 스위치를 연 상태로 전기 저항이 각각 $2R$, R 인 저항과 전압이 V 인 직류 전원에 연결하여 완전히 충전하였다. 그림 (나)는 (가)의 상태에서 스위치를 닫아 A, B를 완전히 충전한 것을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. A에 걸린 전압은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
- ㄴ. B에 충전된 전하량은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
- ㄷ. A, B에 저장된 전기 에너지의 총합은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

축전기가 직렬로 연결되면 충전된 전하량이 같으므로 $V = \frac{Q}{C}$ 에서 걸린 전압은 전기 용량에 반비례한다.

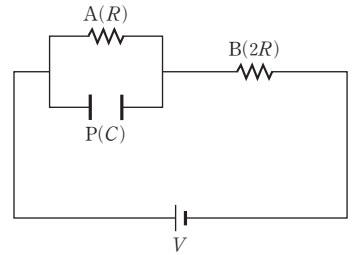
스위치를 닫으면 A와 $2R$ 인 저항이 병렬로 연결되고, B와 R 인 저항이 병렬로 연결된다.

전기 저항이 R_0 인 저항에 걸린 전압이 V_0 이면, 저항에서 소비하는 전력 P_0 은 $P_0 = \frac{V_0^2}{R_0}$ 이다.

전기 용량이 C 인 축전기에 걸린 전압이 V 이고 충전된 전하량이 Q 이면, 축전기에 저장된 전기 에너지 E 는 다음과 같다.
 $E = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{Q^2}{2C}$

07 [22027-0171]

그림과 같이 전기 저항이 각각 R , $2R$ 인 저항 A, B, 전기 용량이 C 인 축전기 P를 전압이 V 인 직류 전원에 연결하여 P를 완전히 충전하였다. 충전 후 B에서 시간 t 동안 소비하는 전기 에너지와 P에 저장된 전기 에너지가 같았다. t 는?



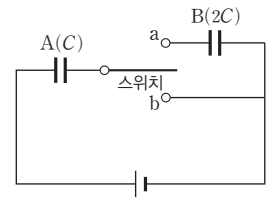
- ① $\frac{RC}{4}$ ② $\frac{RC}{2}$ ③ RC ④ $2RC$ ⑤ $3RC$

08 [22027-0172]

다음은 축전기를 이용한 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 그림과 같이 전기 용량이 각각 C , $2C$ 인 축전기 A, B와 스위치를 전압이 일정한 직류 전원에 연결한다.
- (나) 스위치를 단자 a에 연결하여 A, B를 완전히 충전시킨 후 A, B에 충전된 전하량, 걸린 전압, 저장된 전기 에너지를 측정한다.
- (다) 스위치를 단자 b에 연결하고, A가 완전히 충전된 후 A에 저장된 전기 에너지를 측정한다.



[실험 결과]

• (나)의 결과

	전하량	전압	전기 에너지
A	Q_0	V_0	$2E_0$
B	Q_0	㉠	E_0

• (다)의 결과

A에 저장된 전기 에너지:

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

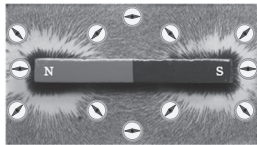
- ㄱ. $E_0 = \frac{1}{2}Q_0V_0$ 이다.
- ㄴ. ㉠은 $\frac{1}{2}V_0$ 이다.
- ㄷ. ㉡은 $\frac{9}{2}E_0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

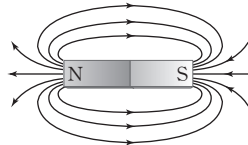
1 자기장과 자기력선

(1) **자기장**: 자석 주위에 쇠붙이나 다른 자석을 가까이하면 서로 당기거나 미는 힘이 작용하는데 이렇게 자석이 다른 물체와 상호 작용하는 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.



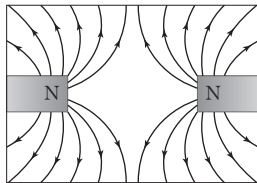
막대자석 주위의 자기장



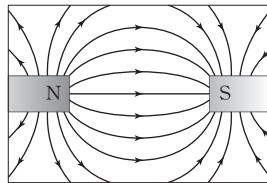
막대자석 주위의 자기력선

(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 자기력선



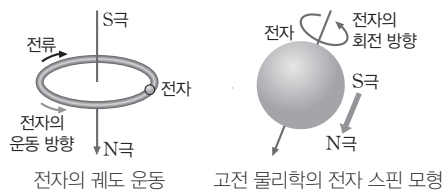
같은 극 사이에서의 자기력선



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.



개념 체크

- **자기장**: 자기력이 미치는 공간이다.
- **자기력선**: 자기장 내에서 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향을 연속적으로 이은 선이다.

1. ()은 자석의 N극에서 나와서 S극으로 들어간다.
2. 자석의 N극과 ()극 사이에는 서로 미는 자기력이 작용하고, N극과 S극 사이에는 서로 () 자기력이 작용한다.
3. 자기력선 위의 한 점에서 그은 접선 방향이 그 점에서 ()의 방향이다.

정답

1. 자기력선
2. N, 당기는
3. 자기장

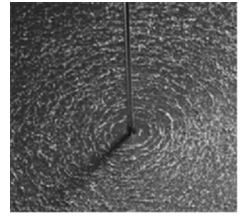
개념 체크

● 직선 전류에 의한 자기장의 세기: 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터의 거리에 반비례한다.

1. 무한히 긴 직선 도선에 전류가 흐르면 도선을 중심으로 동심원 모양의 ()이 생긴다.
2. 직선 도선에 전류가 흐를 때 오른손의 엄지손가락을 ()의 방향으로 향하게 하고, 나머지 네 손가락으로 감아줄 때 네 손가락으로 감아주는 방향이 ()의 방향이다.
3. 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 ()에 비례하고, 직선 도선으로부터의 거리에 ()한다.

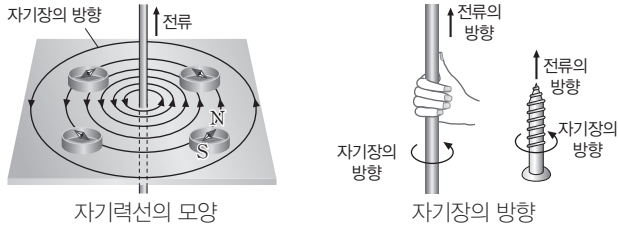
2 직선 전류에 의한 자기장

- (1) 전류의 자기 작용의 발견: 외르스테드는 전류가 흐르는 도선 주위에 놓인 자침이 움직이는 것으로부터 전류에 의해 자기장이 발생한다는 결론을 도출하였다.
- (2) 자기장의 세기: 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 주위에 만들어진 자기장의 세기 B 는 전류의 세기 I 에 비례하고, 도선으로부터의 거리 r 에 반비례한다.



$$B = k \frac{I}{r} \quad (\text{단위: T, N/A} \cdot \text{m}, k = 2 \times 10^{-7} \text{ N/A}^2)$$

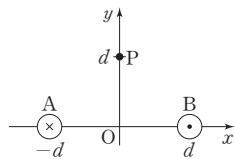
- (3) 자기장의 방향: 무한히 긴 직선 도선에 전류가 흐르면 도선을 중심으로 동심원 모양의 자기장이 만들어진다. 자기장의 방향은 오른손의 엄지손가락을 전류의 방향으로 향하게 할 때 나머지 네 손가락으로 감아주는 방향이다. 이것을 앙페르 법칙 또는 오른나사 법칙이라고 한다. 이는 오른나사가 전류의 방향으로 진행할 때 나사가 회전하는 방향과 일치한다.



탐구자료 살펴보기 무한히 긴 두 직선 전류에 의한 합성 자기장 구하기

자료

그림은 xy 평면에 수직으로 고정된 무한히 긴 직선 도선 A, B와 y 축상의 점 P를 나타낸 것이다.



[조건]

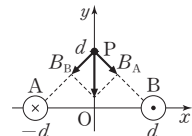
- A, B에 흐르는 전류의 세기는 I 로 같다.
- ×: xy 평면에 수직으로 들어가는 방향
- : xy 평면에서 수직으로 나오는 방향
- O에서 자기장의 세기는 $2B_0$ 이다.

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 $B_A = B_B = k \frac{I}{\sqrt{2}d} = \frac{B_0}{\sqrt{2}}$ 이다. 따라서 P에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0 이고, 방향은 $-y$ 방향이다.

point

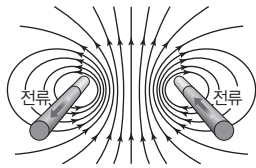
- 그림과 같이 B_A, B_B 를 화살표로 표시하고, 그 합을 벡터 합을 통해 구할 수 있어야 한다.
- A, B에 흐르는 전류의 방향이 같을 때 P에서 자기장의 세기와 방향도 구해 보자.



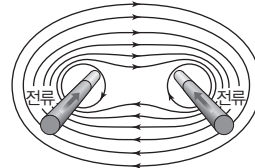
정답

1. 자기장
2. 전류, 자기장
3. 세기, 반비례

(4) 나란한 두 직선 도선에 전류가 흐를 때 자기력선의 모양: 세기가 같은 전류가 흐르는 두 직선 도선이 종이면에 수직으로 고정되어 있는 경우 각각의 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장이 서로 중첩된다. 이때 도선 주위에서 자기력선의 모양은 그림과 같다.



서로 반대 방향으로 전류가 흐를 때



서로 같은 방향으로 전류가 흐를 때

개념 체크

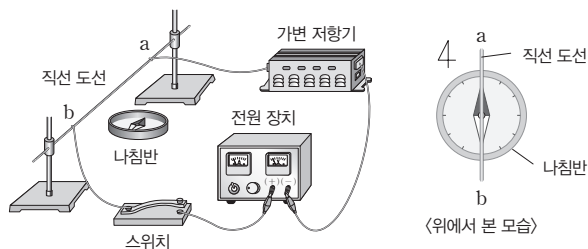
● 두 직선 전류에 의한 자기장의 세기: 나란한 두 직선 도선에 전류가 흐를 때 두 도선의 중앙에서 자기장의 세기는 자기장의 방향이 같으면 더해 주고, 반대이면 빼 준다.

1. 나란히 고정되어 있는 무한히 긴 직선 도선에 일정한 세기의 전류가 () 방향으로 흐르면 자기장이 0인 지점은 두 도선 사이에 있고, () 방향으로 흐르면 자기장이 0인 지점은 두 도선 바깥에 있다.
2. 남쪽에서 북쪽 방향으로 일정한 세기의 전류가 흐르는 직선 도선 위에 나침반을 놓으면 자침의 N극은 () 방향으로 회전한다.

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)에서가 (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, 반대
2. 동쪽

개념 체크

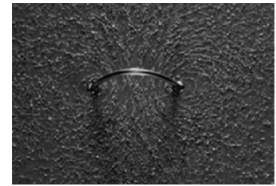
○ 원형 전류의 중심에서 자기장의 세기: 전류의 세기에 비례하고, 도선이 만드는 원의 반지름에 반비례한다.

1. 일정한 세기의 전류가 흐르는 원형 도선의 중심에서 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 (비례, 반비례)하고 도선의 반지름에 (비례, 반비례)한다.

2. 원형 도선에 전류가 흐를 때, 오른손 엄지손가락을 ()의 방향으로 향하게 하고 나머지 네 손가락으로 도선을 감아칠 때 네 손가락이 향하는 방향이 ()의 방향이다.

3 원형 전류에 의한 자기장

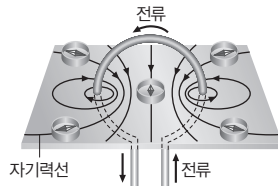
(1) 자기장의 모양: 원형 도선의 각 부분을 직선 도선으로 생각하면 도선 근처에서 원 모양이지만 도선에서 멀어지면 타원 모양이 되다가 원형 도선의 중심에서는 직선 모양이 된다.



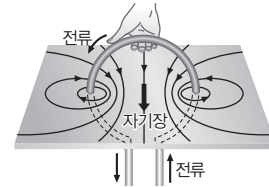
(2) 자기장의 세기: 원형 전류 중심에서 자기장의 세기는 전류의 세기 I 에 비례하고, 도선이 만드는 원의 반지름 r 에 반비례한다.

$$B = k' \frac{I}{r} \quad (\text{단위: T, N/A} \cdot \text{m}, k' = 2\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2)$$

(3) 자기장의 방향: 원형 도선에 전류가 흐르면 원형 도선 중심에 생성되는 자기장의 방향은 오른손의 엄지손가락을 전류의 방향으로 향하게 하고 나머지 네 손가락으로 도선을 감아칠 때 네 손가락이 향하는 방향이다.



자기력선의 모양

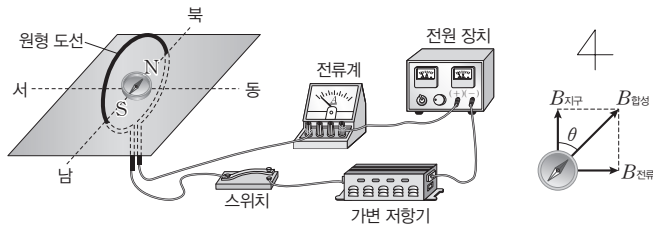


자기장의 방향

탐구자료 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

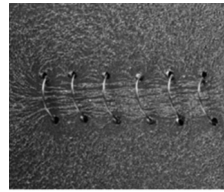
- 전류가 2배, 3배, 4배 증가함에 따라 나침반 자침의 회전각이 북쪽에서 동쪽 방향인 시계 방향으로 점점 증가한다. 하지만 회전각이 전류에 비례하여 2배, 3배, 4배로 증가하지는 않는다.
- 자침의 N극이 가리키는 방향은 지구에 의한 자기장 $B_{지구}$ 와 전류에 의한 자기장 $B_{전류}$ 의 합성 방향이다.
- 원형 도선에 흐르는 전류의 방향을 반대로 하여 전류를 증가시키면 나침반 자침의 회전각은 북쪽에서 서쪽 방향인 시계 반대 방향으로 점점 증가한다.

정답

- 비례, 반비례
- 전류, 자기장

4 솔레노이드에 의한 자기장

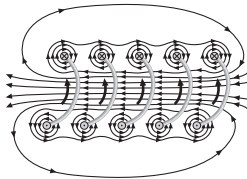
(1) **자기장의 모양:** 긴 원통에 원형 도선을 촘촘하고 균일하게 감은 것을 솔레노이드라고 하며, 원형 도선을 여러 개 포개놓은 것과 같다. 솔레노이드 내부에는 축에 나란하고 균일한 자기장이 형성되고, 솔레노이드 외부에는 막대자석이 만드는 자기장과 비슷한 모양의 자기장이 형성된다.



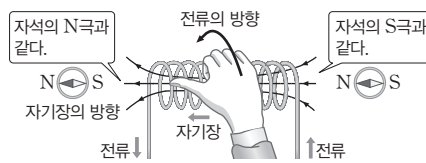
(2) **자기장의 세기:** 솔레노이드 내부에는 균일한 자기장이 형성된다. 이때 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기 I 에 비례하고, 단위 길이당 도선의 감은 수 n 에 비례한다.

$$B = k''nI \quad (\text{단위: T, N/A} \cdot \text{m, } k'' = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2)$$

(3) **자기장의 방향:** 전류가 흐르는 방향으로 오른손 네 손가락을 감아쥐고 엄지손가락을 세울 때, 엄지손가락의 방향이 솔레노이드 내부에서의 자기장의 방향이므로 그 방향이 N극의 방향이 된다.



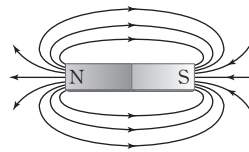
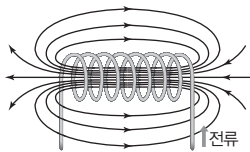
자기력선의 모양



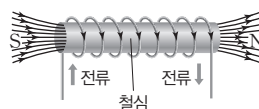
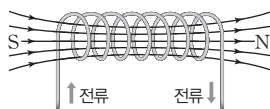
자기장의 방향

(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.



개념 체크

● **솔레노이드 내부에서의 자기장:** 솔레노이드 내부에서는 자기력선이 평행하고, 자기장은 균일하다.

1. 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 단위 길이당 도선의 ()에 비례하고, ()의 세기에 비례한다.
2. 솔레노이드에 흐르는 ()의 방향으로 오른손 네 손가락을 감아줄 때 엄지손가락 방향이 () 방향이다.
3. 솔레노이드 내부에 철심을 넣어 만든 ()은 도선만 감았을 때보다 큰 자기장을 얻을 수 있어서 무거운 쇠붙이를 옮기는 장치에 이용된다.

정답

1. 감은 수, 전류
2. 전류, 자기장
3. 전자석

개념 체크

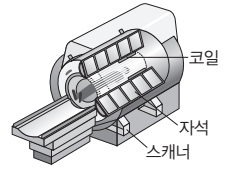
● **전자석의 이용:** 전류의 세기나 자기장의 세기를 조절하여 전기 기구에 다양하게 쓰인다.

1. 전자석은 전류의 세기를 조절하여 ()의 세기를 조절할 수 있다.

2. ()는 솔레노이드에서 강한 자기장을 발생시켜 인체 물 분자의 수소 원자핵을 공명시켜 얻은 신호를 이용하여 질병을 진단한다.

• 전자석은 도선에 흐르는 전류의 세기를 조절하여 자기장의 세기를 조절할 수 있으므로, 폐차장에서 무거운 쇠붙이를 들어 올릴 때 각종 전기 기구에 다양하게 쓰인다.

예 자기 공명 영상(MRI) 장치: 의료 장비 중 하나로, 솔레노이드에서 강한 자기장을 발생시키면 이 자기장이 인체 속 물 분자의 수소 원자핵을 공명시켜 얻은 신호를 영상으로 나타낸다.

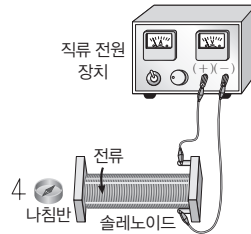


자기 공명 영상 장치

탐구자료 살펴보기 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장

과정

- (1) 그림과 같이 동서 방향으로 놓인 솔레노이드 끝에 나침반을 놓는다.
- (2) 전원 장치를 연결하여 솔레노이드에 일정한 전류가 흐를 때 나침반 자침의 움직임을 관찰한다.
- (3) 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기를 증가시키면서 나침반 자침의 움직임을 관찰한다.
- (4) 전원 장치의 극을 바꾸어 연결하고 나침반 자침의 움직임을 관찰한다.



결과

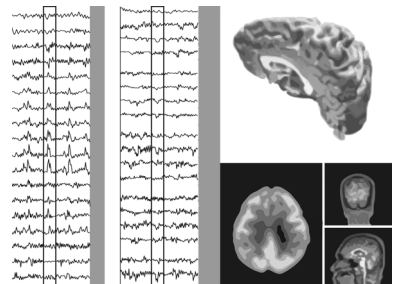
• 자침의 N극은 북쪽에서 동쪽으로 회전하며, 전류의 세기를 증가시키면 동쪽으로 더 많이 회전한다. 전원 장치의 극을 바꾸어 연결하면 자침의 N극은 서쪽 방향으로 회전한다.

point

- 자침의 N극이 가리키는 방향은 지구 자기장 $B_{지구}$ 와 전류에 의한 자기장 $B_{전류}$ 의 합성 자기장의 방향이다.
- 솔레노이드에 전류가 흐르면 방향이 동쪽인 $B_{전류}$ 에 의해 자침의 N극은 동쪽으로 회전한다.
- 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기를 증가시키면 $B_{전류}$ 의 세기가 증가하므로 자침의 N극은 동쪽으로 더 많이 회전한다.
- 전원 장치의 극을 바꾸어 연결하면 $B_{전류}$ 의 방향이 서쪽이므로 자침의 N극은 서쪽으로 회전한다.

과학 돋보기 뇌자도(腦磁圖, MEG, Magnetoencephalography)

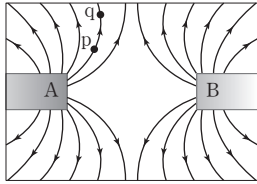
뇌의 신경 세포들이 활성화되면서 발생한 미세한 전류에 의한 자기장을 측정하는 장치를 뇌자도라고 한다. 자기장의 세기를 측정하는 스쿼드(SQUID) 센서가 측정 가능한 자기장의 세기는 10^{-15} T 정도이다. 일반 냉장고의 자석의 자기장 세기는 0.01 T, 사람의 심장에 의한 자기장의 세기는 10^{-11} T, 뇌에 의한 자기장의 세기는 10^{-12} T ~ 10^{-15} T 정도로 작다. 뇌자도 장치를 사용하면 간질과 뇌종양, 뇌졸중 같은 뇌 관련 수술의 부위를 정확하게 진단할 수 있으며, 파킨슨병, 치매 등 신경계 질환의 진단이 가능하다.



정답

1. 자기장
2. 자기 공명 영상(MRI) 장치

01 [22027-0173] 그림은 종이면에 고정되어 있는 막대자석 A, B 주위의 자기력선을 나타낸 것이다. 점 p, q는 자기력선상의 지점이다.

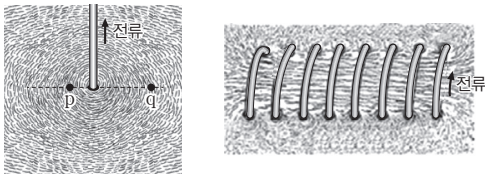


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. A와 B 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다.
 - ㄴ. 자기장의 방향은 p에서와 q에서가 같다.
 - ㄷ. 자기장의 세기는 p에서가 q에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 [22027-0174] 그림 (가), (나)는 일정한 세기의 전류가 흐르는 직선 도선과 솔레노이드 주위에 철가루가 배열된 모습을 각각 나타낸 것이다. (가)에서 점 p, q는 도선에 수직인 평면의 동일 직선상에 있고, 도선으로부터의 거리는 p가 q보다 작다.



(가)

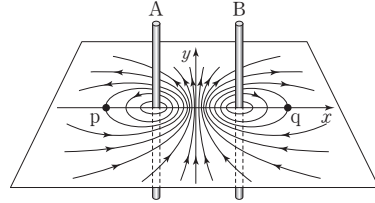
(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. (가)에서 도선에 흐르는 전류의 세기를 증가시키면 p에서 전류에 의한 자기장의 세기는 증가한다.
 - ㄴ. (가)에서 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 p에서와 q에서가 같다.
 - ㄷ. (나)의 솔레노이드 내부에서 전류에 의한 자기장의 방향은 왼쪽 방향이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

03 [22027-0175] 그림은 xy 평면에 수직으로 고정된 무한히 긴 직선 도선 A, B에 같은 세기의 전류가 각각 흐를 때 도선 주위의 자기력선을 나타낸 것이다. 점 p, q는 x 축상의 지점이다.

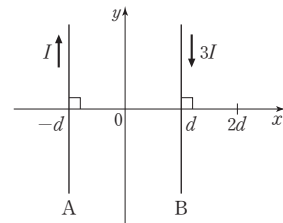


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 도선에 흐르는 전류의 방향은 A에서와 B에서가 같다.
 - ㄴ. A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 p에서와 q에서가 서로 같다.
 - ㄷ. x 축상의 A와 B 사이에는 자기장이 0인 지점이 있다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

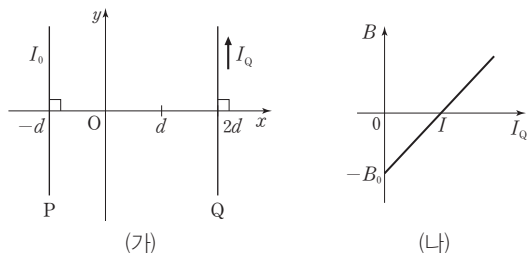
04 [22027-0176] 그림과 같이 xy 평면에 고정된 무한히 긴 직선 도선 A, B에 일정한 세기의 전류가 서로 반대 방향으로 흐른다. A, B에 흐르는 전류의 세기는 각각 $I, 3I$ 이다.



$x=0, x=2d$ 에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 B_1, B_2 라 할 때, $\frac{B_2}{B_1}$ 는?

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

05 [22027-0177] 그림 (가)와 같이 무한히 긴 직선 도선 P, Q가 xy 평면에 고정되어 있다. P에는 세기가 I_0 으로 일정한 전류가 흐르고, Q에는 $+y$ 방향으로 전류가 흐른다. 그림 (나)는 원점 O에서 P, Q에 흐르는 전류에 의한 자기장 B 를 Q에 흐르는 전류 I_Q 에 따라 나타낸 것이다. 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이 (+)이다.

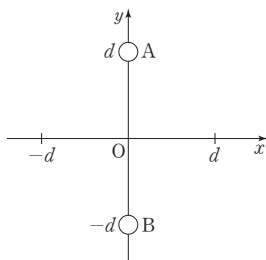


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. P에 흐르는 전류의 방향은 $-y$ 방향이다.
 - ㄴ. $I = 2I_0$ 이다.
 - ㄷ. $I_Q = I$ 일 때, $x = d$ 에서 P, Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{3}{2}B_0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 [22027-0178] 그림은 xy 평면에 수직으로 고정된 무한히 긴 직선 도선 A, B를 나타낸 것이다. A, B는 각각 y 축상의 $y = d$, $y = -d$ 에 있다. x 축상의 $x = -d$ 인 점에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$ 방향이고, 세기는 B_0 이다.

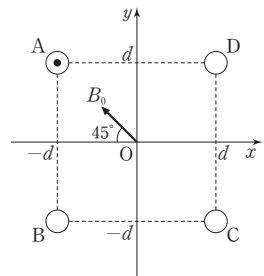


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 전류의 방향은 A에서와 B에서가 서로 반대이다.
 - ㄴ. x 축상의 $x = d$ 인 점에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$ 방향이다.
 - ㄷ. 원점 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $2B_0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 [22027-0179] 그림은 세기가 I_0 인 일정한 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 A, B, C, D가 xy 평면에 수직으로 고정된 것을 나타낸 것이다. A에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 원점 O에서 A, B, C, D에 흐르는 전류에 의한 자기장은 방향이 x 축과 45° 의 각을 이루고, 세기가 B_0 이다.

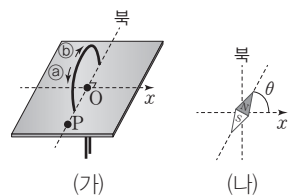


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. C에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.
 - ㄴ. O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{1}{2}B_0$ 이다.
 - ㄷ. A에 흐르는 전류의 방향만 반대가 되면 O에서 A, B, C, D에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $2B_0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 [22027-0180] 그림 (가)와 같이 중심이 점 O인 원형 도선에 일정한 세기의 전류가 흐른다. 원형 도선의 중심축은 x 축과 일치한다. 그림 (나)는 (가)의 O에 나침반을 놓았을 때 자침의 N극이 x 축에 대해 θ 만큼 기울어져 있는 것을 나타낸 것이다.

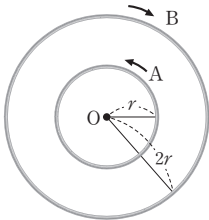


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 자침의 크기는 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. 도선에 흐르는 전류의 방향은 ㉠ 방향이다.
 - ㄴ. 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 O에서와 점 P에서가 서로 같다.
 - ㄷ. 도선에 흐르는 전류의 세기만 증가하면 O에서 자침의 N극은 x 축에 대해 θ 보다 큰 각으로 기울어진다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

09 [22027-0181] 그림과 같이 중심이 점 O인 원형 도선 A, B가 종이면에 고정되어 있다. A, B에 흐르는 전류의 방향은 화살표 방향과 같고, A, B의 반지름은 각각 r , $2r$ 이다. 표는 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 나타낸 것이다.



실험	전류의 세기		O에서 자기장의 세기
	A	B	
I	I_0	I	B_0
II	$2I_0$	I	0
III	$2I_0$	$3I$	\ominus

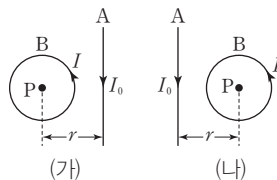
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. $I = I_0$ 이다.
- ㄴ. 실험 I의 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.
- ㄷ. \ominus 은 $3B_0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

10 [22027-0182] 그림 (가), (나)와 같이 일정한 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 A와 원형 도선 B가 종이면에 고정되어 있다. A, B에 흐르는 전류의 방향은 화살표 방향과 같고, 전류의 세기는 각각 I_0 , I 이다. (가), (나)의 원형 도선의 중심 P에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 반대이고, 세기는 각각 B_0 , $3B_0$ 이다.



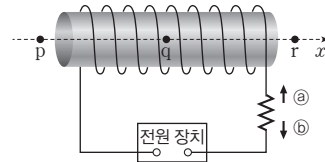
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. (가)의 P에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.
- ㄴ. P에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0 이다.
- ㄷ. (나)의 P에서 A까지의 거리만 $2r$ 로 증가시킬 때 P에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $2B_0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

11 [22027-0183] 그림은 솔레노이드에 세기가 I_0 인 전류가 흐르는 것을 나타낸 것이다. 점 p, q, r는 솔레노이드 내부 중심을 지나는 x축상에 있고, q에서 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장은 방향이 $+x$ 방향이고, 세기는 B_0 이다.



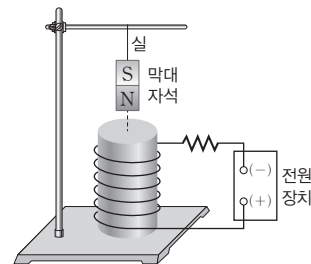
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 저항에 흐르는 전류의 방향은 ⊗ 방향이다.
- ㄴ. 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 p에서와 r에서가 서로 반대이다.
- ㄷ. 솔레노이드에 세기가 $2I_0$ 인 전류가 흐르면 q에서 자기장의 세기는 B_0 보다 커진다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

12 [22027-0184] 그림과 같이 수평면에 수직으로 고정된 솔레노이드의 연직 위에 실과 연결된 막대자석을 놓은 후, 솔레노이드에 일정한 세기의 전류를 흘렸더니 막대자석이 정지해 있다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 솔레노이드 내부에서 전류에 의한 자기장의 방향은 연직 아래 방향이다.
- ㄴ. 솔레노이드와 자석 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다.
- ㄷ. 실이 자석에 작용하는 힘의 크기는 자석에 작용하는 중력의 크기보다 작다.

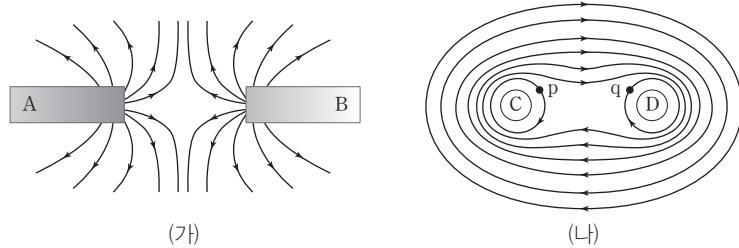
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

종이면에 나란히 놓인 고정된 두 직선 도선에 같은 방향으로 전류가 흐를 때, 자기장이 0인 지점은 두 도선 사이에 있다.

직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기가 클수록, 도선으로부터 떨어진 거리가 작을수록 크다.

01 [22027-0185]

그림 (가)는 종이면에 고정된 막대자석 A, B 주위의 자기력선을 나타낸 것이고, (나)는 종이면에 수직으로 고정된 일정한 세기의 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 C, D 주위의 자기력선을 나타낸 것이다. (나)에서 점 p, q는 자기력선 위의 한 점이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

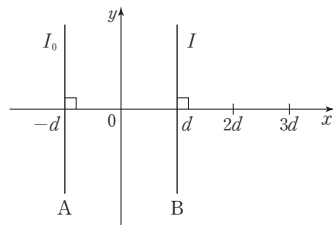
보기

- ㄱ. (가)에서 A와 B 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다.
- ㄴ. (나)에서 전류의 방향은 C에서와 D에서가 반대이다.
- ㄷ. 자기장의 방향은 p에서와 q에서가 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 [22027-0186]

그림과 같이 일정한 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 A, B가 xy 평면의 $x = -d, x = d$ 에 각각 고정되어 있다. A, B에 흐르는 전류의 세기는 각각 I_0, I 이다. 표는 $x = 0, x = 3d$ 에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 세기를 나타낸 것이다.



	A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장	
	방향	세기
$x = 0$	⊙	B_0
$x = 3d$	×	$2B_0$

⊙: xy 평면에서 수직으로 나오는 방향
 ×: xy 평면에 수직으로 들어가는 방향

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

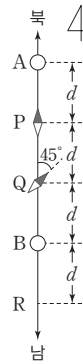
보기

- ㄱ. A에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.
- ㄴ. $I = 2I_0$ 이다.
- ㄷ. $x = 2d$ 에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{7}{3}B_0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 [22027-0187]

그림과 같이 종이면에 수직으로 고정되어 있는 무한히 긴 직선 도선 A, B에 일정한 세기의 전류를 흘렸더니 점 P에 놓인 나침반 자침의 N극은 북쪽을 향해 정지해 있고, 점 Q에 놓인 나침반 자침의 N극은 동쪽으로 45°만큼 회전하여 정지해 있다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 자침의 크기는 무시한다.)



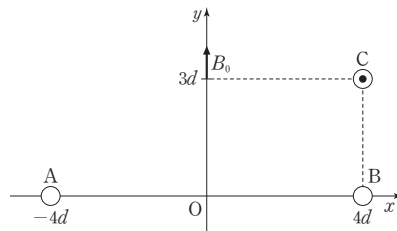
P에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이다.

- 보기
- ㄱ. 전류의 세기는 A에서가 B에서의 2배이다.
 - ㄴ. B에 흐르는 전류의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.
 - ㄷ. 점 R에 나침반을 놓으면 자침의 N극은 서쪽으로 45°보다 큰 각으로 회전한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 [22027-0188]

그림과 같이 xy 평면에 일정한 세기의 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가 수직으로 고정되어 있다. A, B, C에 흐르는 전류의 세기는 같고, C에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. y 축상의 $y=3d$ 에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 방향이 $+y$ 방향이고, 세기가 B_0 이다.



y 축상의 $y=3d$ 에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$ 방향이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. A에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.
 - ㄴ. y 축상의 $y=3d$ 에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{25}{7}B_0$ 이다.
 - ㄷ. B에 흐르는 전류의 방향만 반대가 되면 원점 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{15}{7}B_0$ 이다.

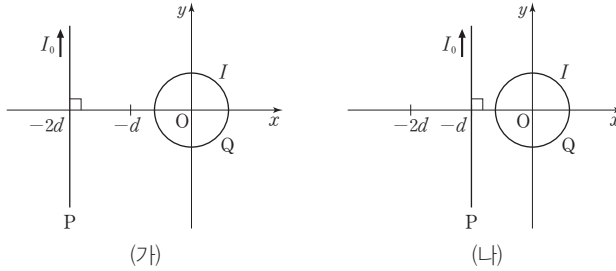
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

P, Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 반대이므로 Q에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

나란히 흐르는 두 직선 전류의 방향이 같을 때 자기장이 0이 되는 지점은 두 도선 사이에 있다.

05 [22027-0189]

그림 (가)는 xy 평면의 $x = -2d$ 에 고정된 무한히 긴 직선 도선 P와 중심이 원점 O인 고정된 원형 도선 Q에 일정한 전류가 흐르는 것을 나타낸 것이다. P, Q에 흐르는 전류의 세기는 각각 I_0, I 이고, P에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다. 그림 (나)는 (가)에서 P를 $x = -d$ 에 고정시킨 것을 나타낸 것이다. (가), (나)의 O에서 P, Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 각각 $2B_0, B_0$ 이고, 자기장의 방향은 서로 반대이다.

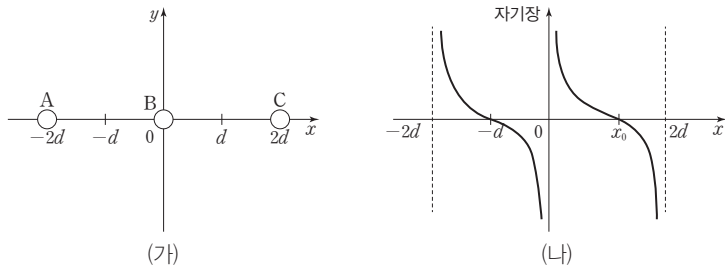


(가)의 O에서 P, Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 B_P, B_Q 라 할 때, $\frac{B_Q}{B_P}$ 는?

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

06 [22027-0190]

그림 (가)는 일정한 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가 xy 평면에 수직으로 고정되어 있는 것을 나타낸 것이다. A, B, C는 각각 x 축상의 $x = -2d, x = 0, x = 2d$ 에 있고, B와 C에 흐르는 전류의 세기와 방향은 서로 같다. 그림 (나)는 (가)의 x 축상($-2d < x < 2d$)에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장을 x 에 따라 나타낸 것이다. 자기장의 방향은 $+y$ 방향이 (+)이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

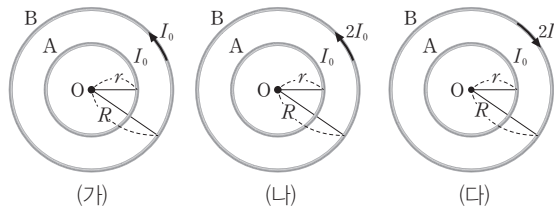
보기

- ㄱ. 전류의 방향은 A에서와 B에서가 서로 같다.
- ㄴ. 전류의 세기는 A에서가 C에서의 $\frac{4}{3}$ 배이다.
- ㄷ. $x_0 = \frac{6}{5}d$ 이다.

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

07 [22027-0191]

그림 (가)는 중심이 점 O이고 반지름이 각각 r, R 인 원형 도선 A, B가 종이면에 고정되어 있는 것을 나타낸 것이다. A, B에 흐르는 전류의 세기는 각각 I_0 이고, B에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이다. 그림 (나)는 (가)에서 B에 흐르는 전류의 세기만 $2I_0$ 로 변화시킨 것을, (다)는 (나)에서 B에 흐르는 전류의 방향만 시계 방향으로 변화시킨 것을 나타낸 것이다. (가), (나)의 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0 로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. A에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.
- ㄴ. $R = \frac{3}{2}r$ 이다.
- ㄷ. (다)의 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $3B_0$ 이다.

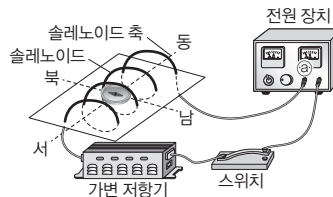
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

08 [22027-0192]

다음은 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장 실험이다.

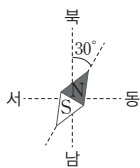
[실험 과정]

- (가) 그림과 같이 수평면에 설치된 솔레노이드 내부에 나침반을 놓고 실험 장치를 구성한다.
- (나) 스위치를 닫고 나침반 자침의 방향을 관찰한다.
- (다) (가)에서 가변 저항기의 전기 저항을 ㉠ 시킨 후, 나침반 자침의 방향을 관찰한다.

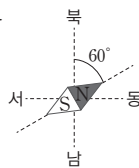


[실험 결과]

(나)의 결과



(다)의 결과



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 전원 장치의 단자 ㉡는 (-)극이다.
- ㄴ. '감소'는 ㉠으로 적절하다.
- ㄷ. 나침반 자침의 위치에서 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 (나)에서가 (다)에서의 $\frac{1}{3}$ 배이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

(가), (나)의 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 반대이다.

솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기에 비례한다.

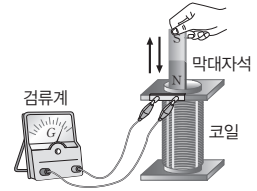
개념 체크

● **전자기 유도:** 코일을 통과하는 자기 선속이 변할 때 코일에 유도 전류가 흐르는 현상

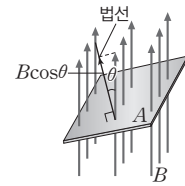
1. 코일을 통과하는 자기 선속이 변할 때 코일에 전류가 흐르는 현상을 () 라고 한다.
2. 면적이 S 인 금속 고리를 통과하는 자기장의 세기가 $2B_0$, 고리 면의 법선과 자기장 방향이 이루는 각이 60° 일 때, 고리를 통과하는 자기 선속은 ()이다.
3. 유도 전류는 코일을 통과하는 ()의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다. 이를 렌츠 법칙이라고 한다.

1 전자기 유도

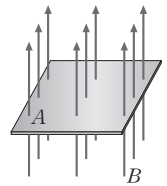
(1) **전자기 유도:** 코일 주위에서 자석을 움직이면 코일에 전류가 흐른다. 이것은 자석의 운동에 의해 코일을 통과하는 자기 선속이 변하기 때문이다. 이와 같이 코일을 통과하는 자기 선속이 변할 때 코일에 전류가 흐르는 현상을 전자기 유도라고 하고, 이때 흐르는 전류를 유도 전류라고 한다.



(2) **자기 선속(자속):** 자기장의 세기와 자기장이 수직으로 통과하는 닫힌 면의 면적의 곱을 자기 선속이라고 한다. 자기 선속은 자기장의 세기 B 가 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 자기장 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

$$\Phi = BA \cos\theta \text{이고, } \theta = 0^\circ \text{일 때 } \Phi = BA \text{ (단위: Wb(웨버))}$$

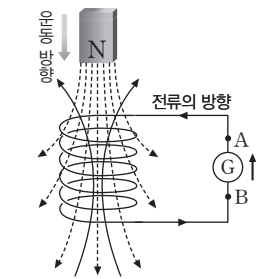
(3) 유도 전류와 유도 기전력

- 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.

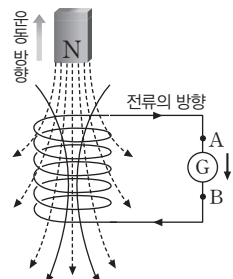
(4) **렌츠 법칙:** 유도 전류는 코일을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐르며, 이를 렌츠 법칙이라고 한다.

(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 $B \rightarrow \text{㉔} \rightarrow A$ 방향으로 흐른다.



(가) 자기 선속이 증가하는 경우



(나) 자기 선속이 감소하는 경우

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 $A \rightarrow \text{㉔} \rightarrow B$ 방향으로 흐른다.

정답

1. 전자기 유도
2. $B_0 S$
3. 자기 선속

(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 비례하고, 유도 기전력의 방향은 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다. 유도 기전력 V 는 다음과 같다.

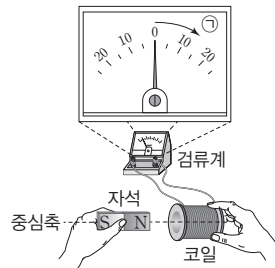
$$V = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \text{ (단위: V(볼트))}$$

여기서 (-) 부호는 렌츠 법칙을 나타낸다.

탐구자료 살펴보기 **전자기 유도 현상**

과정

- (1) 그림과 같이 코일을 검류계와 도선으로 연결한다.
- (2) 막대자석의 N극을 코일에 가까이할 때 검류계의 눈금 변화를 관찰한다.
- (3) 과정 (2)에서보다 막대자석을 더 빠르게 코일에 가까이할 때 검류계의 눈금 변화를 관찰한다.
- (4) 막대자석의 S극을 코일에 가까이할 때 검류계의 눈금 변화를 관찰한다.



결과

- (2), (3)에서 검류계의 눈금은 ㉠ 방향으로 움직이고, (4)에서 검류계의 눈금은 ㉠ 반대 방향으로 움직인다.
- (2)에서보다 (3)에서 눈금이 더 많이 이동한다.

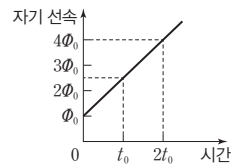
point

- 코일을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다.
- 자석이 빠르게 움직일수록 코일을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율이 커지므로 유도 전류의 세기가 증가한다.

개념 체크

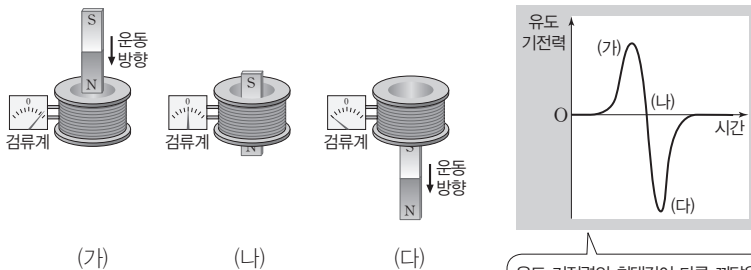
● **유도 기전력:** 유도 기전력은 코일의 감은 수 N 과 자기 선속의 시간에 따른 변화율 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 에 비례하고, 유도 기전력의 방향은 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다.

1. 그림은 감은 수가 N 인 코일을 통과하는 자기 선속을 시간에 따라 나타낸 것이다. t_0 일 때, 코일에 유도되는 기전력의 크기는?



2. 자석이 코일에 가까워지면 자석과 코일 사이에는 서로 () 자기력이 작용하고, 멀어지면 자석과 코일 사이에는 서로 () 자기력이 작용한다.

(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 때에는 솔레노이드에 아래쪽 방향의 자기장을 유도하는 기전력이 발생한다.



유도 기전력의 최대값이 다른 까닭은 중력에 의해 가속된 자석의 속력이 달라 자기 선속의 시간에 따른 변화율이 다르기 때문이다.

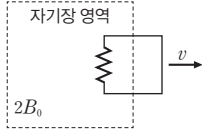
정답

1. $N \frac{3\Phi_0}{2t_0}$
2. 미는, 당기는

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.

[1~2] 그림은 전기 저항이 R 인 저항이 연결된 한 변의 길이 l 인 정사각형 도선이 v 의 속력으로 균일한 자기장 영역에서 나오는 것을 나타낸 것이다. 자기장 영역에서 자기장의 세기는 $2B_0$ 이다.



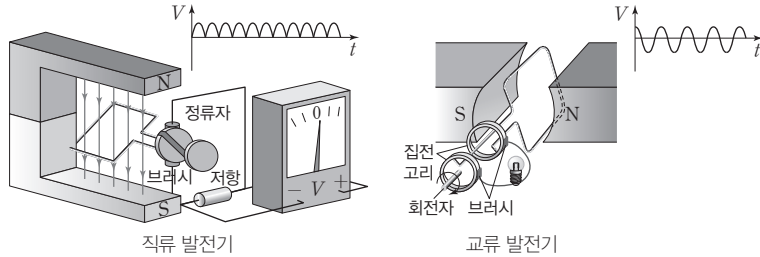
1. 도선에 유도되는 유도 기전력의 크기는?
2. 저항에 흐르는 유도 전류의 세기는?

정답

1. $2B_0Lv$
2. $\frac{2B_0Lv}{R}$

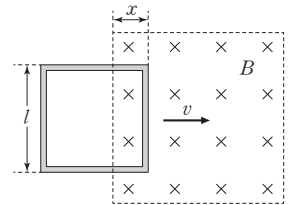
과학 돋보기 직류 발전기와 교류 발전기

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 유도의 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.



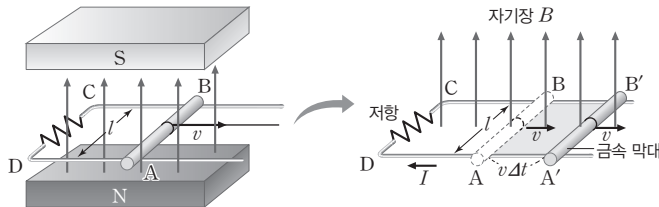
① 유도 전류의 방향: 정사각형 도선을 통과하는 자기 선속이 증가하므로 렌츠 법칙에 의해 정사각형 도선에는 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.

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) ㄷ자형 도선에서의 전자기 유도: 세기가 B 인 균일한 자기장 영역에 수직으로 놓인 전기 저항이 R 인 저항이 연결된 ㄷ자형 도선에서 금속 막대를 일정한 속력 v 로 화살표 방향으로 운동시킨다.



① 유도 전류의 방향: ㄷ자형 도선 위에 금속 막대를 올려놓고 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.

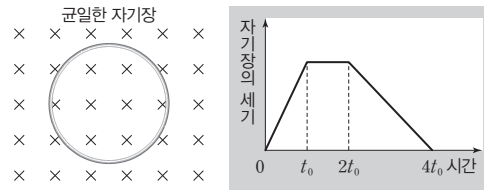
(3) 자기장의 변화에 의한 전자기 유도: 도선 내부를 통과하는 자기장의 세기가 시간에 따라 변할 때 도선에 유도 전류가 흐른다.

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.

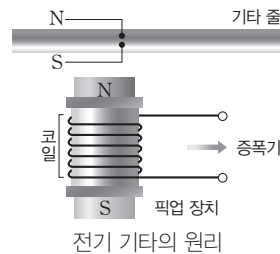
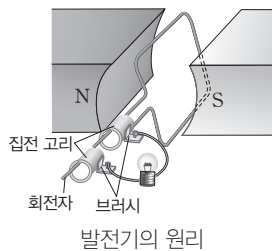
④ 원형 도선에 발생하는 유도 기전력의 크기는 0부터 t_0 까지가 $2t_0$ 부터 $4t_0$ 까지보다 크다.



(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.



3 상호유도

(1) 상호유도: 한쪽 코일에 흐르는 전류의 변화에 의한 자기 선속의 변화로 근처에 있는 다른 코일에서 유도 기전력이 발생하는 현상이다.

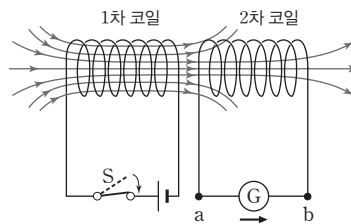
(2) 상호 인덕턴스(M): 2차 코일의 감은 수가 N_2 이고 Δt 동안 1차 코일에 흐르는 전류가 ΔI_1 만큼 변할 때, 2차 코일에 생기는 유도 기전력 V 는 다음과 같다.

$$V = -N_2 \frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t} = -N_2 \frac{\Delta\Phi_2}{\Delta I_1} \cdot \frac{\Delta I_1}{\Delta t} = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \quad (M: \text{상호 인덕턴스, 단위: H(헨리)})$$

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.



개념 체크

● **자기장의 변화에 의한 전자기 유도:** 도선 내부의 자기장의 세기가 변할 때 도선에는 유도 전류가 흐른다.

1. ()는 1차 코일과 2차 코일의 모양, 감은 수, 위치, 코일 주위의 물질 등에 의해 결정된다.

2. 1차 코일에 흐르는 전류가 0.3초 동안 6 A 증가하였다. 상호 인덕턴스가 0.2 H 일 때 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는?

정답

- 상호 인덕턴스
- 4 V

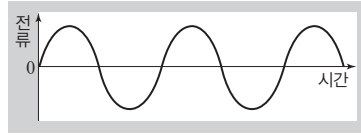
개념 체크

상호유도: 한쪽 코일에 흐르는 전류의 변화에 의한 자기 선속의 변화로 근처에 있는 다른 코일에서 유도 기전력이 발생하는 현상이다.

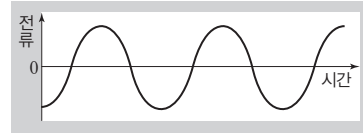
[1~2] 변압기에서 전압이 V_1 인 전원 장치와 연결된 1차 코일과 전기 저항이 R 인 저항이 연결된 2차 코일의 감은 수가 각각 N_1, N_2 이다.

1. 2차 코일에 걸리는 전압은?
2. 2차 코일에 흐르는 전류의 세기는?

(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

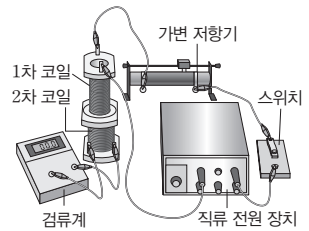


2차 코일에 유도된 전류

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

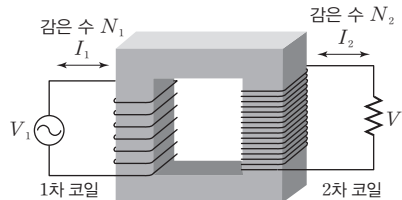
- 스위치를 닫는 순간과 여는 순간 2차 코일에는 서로 반대 방향의 유도 전류가 흐르고, 스위치를 닫고 있을 때에는 2차 코일에 유도 전류가 흐르지 않는다.
- 저항의 전기 저항을 증가시킬 때와 감소시킬 때 2차 코일에는 서로 반대 방향의 유도 전류가 흐른다.

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.

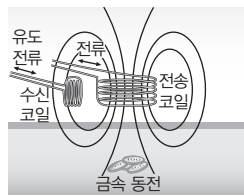
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

정답

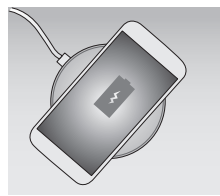
1. $V_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)$
2. $\left(\frac{N_2}{N_1} \right) \left(\frac{V_1}{R} \right)$

5 상호유도의 이용

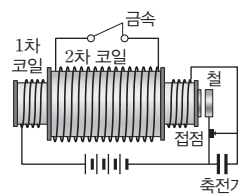
- (1) **금속 탐지기**: 금속 탐지기에서 1차 코일에 의해 생성된 자기 선속이 주변에 있는 금속에 의해 변하기 때문에 2차 코일에 흐르는 전류가 변한다. 이것을 감지하여 금속을 찾을 수 있다.
- (2) **스마트폰 무선 충전기**: 충전 패드에 있는 1차 코일에 교류 전원이 연결되면 스마트폰에 있는 2차 코일에서 유도 기전력이 발생하여 충전한다.
- (3) **고압 방전 장치**: 자동차에서 연료에 불을 붙이는 데 사용되는 고압 방전 장치는 두 금속 사이에 순간적으로 큰 전압을 걸어 방전이 일어나도록 하는 장치로, 1차 코일에 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**: 1차 코일에 의해 생성된 자기 선속이 주변에 있는 금속에 의해 변하기 때문에 2차 코일에 유도 전류가 흐르는 상호유도를 이용한 것이다.

1. 스마트폰 무선 충전기의 충전 패드에 있는 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 증가하면 2차 코일에 유도 전류가 (흐른다 , 흐르지 않는다).

2. 고압 방전 장치에서 1차 코일에 흐르는 전류를 갑자기 끊으면 2차 코일에 ()이 발생한다.

과학 돋보기 상호유도의 활용

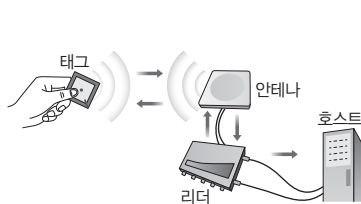
■ RFID(Radio Frequency Identification)

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.

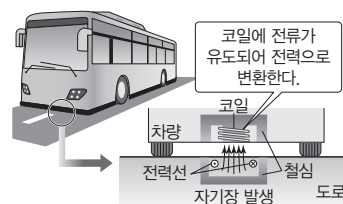
RFID의 이용 분야는 계속 넓어지고 있다. 대형 상점의 경우 각각의 물건에 태그를 부착하여 재고량을 관리하고 편리하게 물건값을 계산할 수 있으며, 공항이나 항구 등에서는 화물에 태그를 부착하여 물류 이동을 관리할 수 있다. 최근 EU에서는 화폐에 태그를 부착하여 위조 방지, 빠른 판별, 유통 과정 등을 파악하는 방안을 고려하고 있다. 식품에 부착되는 인체에 무해한 태그, 특이한 금속 제품에 사용되는 인식률이 높은 태그, 싼 물건에 붙일 수 있는 저렴한 가격의 태그 등이 일반화되면 우리 생활에는 큰 변화가 일어날 것으로 예상된다.

■ 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 집전장치의 상호유도 현상에 의해 전기 에너지가 충전된다.



RFID의 원리

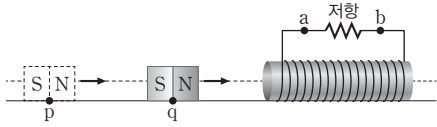


전기 버스 충전의 원리

정답

1. 흐른다
2. 유도 기전력

01 [22027-0193] 그림과 같이 마찰이 없는 수평면에서 막대자석이 고정되어 있는 슬레노이드를 향해 운동하여 점 p, q를 지난다.

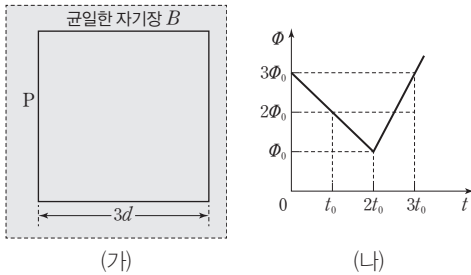


자석이 p에서 q까지 이동하는 동안 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 슬레노이드를 통과하는 자석에 의한 자기 선속은 증가한다.
 - ㄴ. 슬레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향은 a → 저항 → b이다.
 - ㄷ. 자석의 속력은 p에서가 q에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 [22027-0194] 그림 (가)는 시간에 따라 변하는 균일한 자기장 B 가 있는 영역에 고정된 한 변의 길이가 $3d$ 인 정사각형 도선 P를 나타낸 것이다. 자기장의 방향은 P가 이루는 면에 수직으로 들어가는 방향이다. 그림 (나)는 (가)에서 P를 통과하는 B 에 의한 자기 선속 Φ 를 시간 t 에 따라 나타낸 것이다.

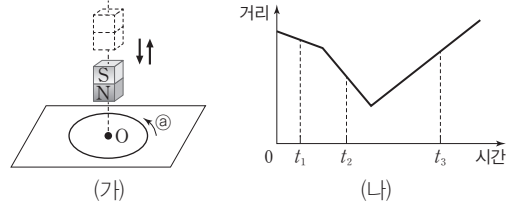


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. t_0 일 때 B 의 세기는 $\frac{2\Phi_0}{3d}$ 이다.
 - ㄴ. t_0 일 때 P에 유도되는 기전력의 크기는 $\frac{\Phi_0}{2t_0}$ 이다.
 - ㄷ. P에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_0 일 때가 $3t_0$ 일 때보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 [22027-0195] 그림 (가)와 같이 지면에 고정된 원형 도선 위에서 도선의 중심축을 따라 막대자석을 운동시켰다. 그림 (나)는 도선의 중심 O에서 자석의 N극까지의 거리를 시간에 따라 나타낸 것이다.

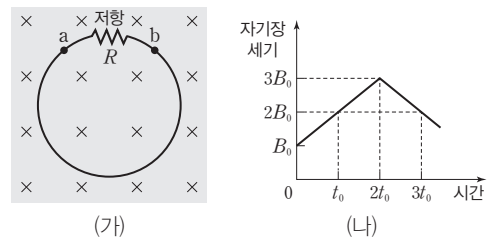


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. t_1 일 때 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 ㉠이다.
 - ㄴ. 도선에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_1 일 때가 t_2 일 때보다 크다.
 - ㄷ. 지면에 도선에 작용하는 힘의 크기는 t_1 일 때가 t_3 일 때보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 [22027-0196] 그림 (가)와 같이 전기 저항이 R 인 저항이 연결된 원형 도선이 균일한 자기장 영역에 고정되어 있다. 자기장의 방향은 도선이 이루는 면에 수직으로 들어가는 방향이고, 자기장이 통과하는 도선이 이루는 면적은 S 이다. 그림 (나)는 (가)에서 자기장의 세기를 시간에 따라 나타낸 것이다.

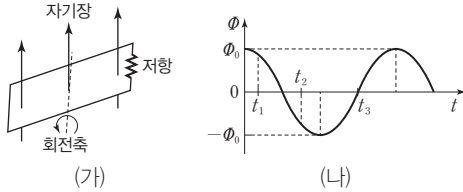


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 도선을 통과하는 균일한 자기장에 의한 자기 선속은 t_0 일 때가 $2t_0$ 일 때보다 작다.
 - ㄴ. t_0 일 때, 유도 전류는 a → 저항 → b 방향으로 흐른다.
 - ㄷ. $3t_0$ 일 때, 저항에 흐르는 유도 전류의 세기는 $\frac{2B_0 S}{Rt_0}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 [22027-0197] 그림 (가)는 연직 위 방향의 균일한 자기장 속에 놓인 직사각형 도선이 자기장 방향에 수직인 회전축을 중심으로 일정한 각속도로 회전할 때, 시간 $t=t_1$ 인 순간의 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 직사각형 도선을 통과하는 자기 선속 Φ 를 시간 t 에 따라 나타낸 것이다.



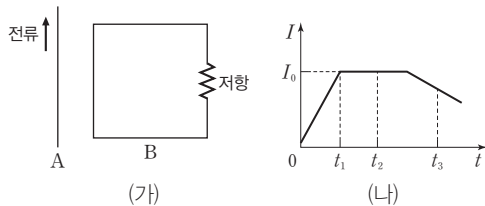
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 저항에 흐르는 유도 전류의 방향은 t_1 일 때와 t_2 일 때가 같다.
- ㄴ. t_2 일 때, 도선에 유도되는 기전력은 0이다.
- ㄷ. 저항에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_1 일 때가 t_3 일 때보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 [22027-0198] 그림 (가)는 종이면에 고정된 무한히 긴 직선 도선 A와 저항이 연결된 사각형 도선 B를 나타낸 것이다. A에 흐르는 전류의 방향은 화살표 방향이다. 그림 (나)는 A에 흐르는 전류의 세기 I 를 시간 t 에 따라 나타낸 것이다.



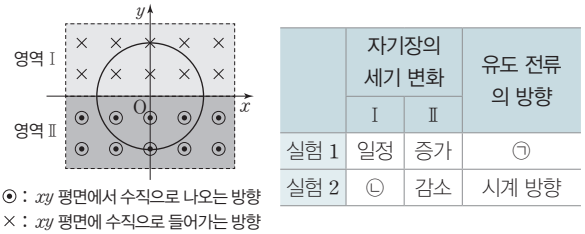
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 0부터 t_1 까지 B를 통과하는 A에 의한 자기 선속은 증가한다.
- ㄴ. t_2 일 때, B에 유도되는 기전력은 0이다.
- ㄷ. t_3 일 때, 저항에 흐르는 유도 전류의 방향은 A에 흐르는 전류의 방향과 같다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 [22027-0199] 그림은 xy 평면에 고정되어 있는 중심이 원점 O인 원형 도선이 자기장 영역 I, II에 놓인 것을 나타낸 것이다. 표는 I, II에서 단위 시간 동안 자기장의 세기 변화에 따른 도선에 흐르는 유도 전류의 방향을 나타낸 것이다. I, II에서 자기장이 통과하는 고리의 면적은 같다.



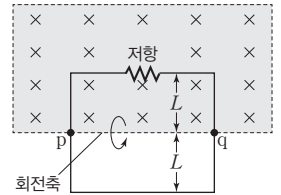
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. ⓐ는 '시계 방향'이다.
- ㄴ. ⓑ는 '감소'이다.
- ㄷ. 실험 2에서 단위 시간 동안 자기장의 세기 변화량은 I에서가 II에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 [22027-0200] 그림은 균일한 자기장 영역에서 저항이 연결된 도선을 일정한 각속도로 회전시킬 때 시간 $t=0$ 인 순간의 모습을 나타낸 것이다. $t=0$ 일 때 자기장의 방향은 도선이 이루는 면에 수직으로 들어가는 방향이다. 도선은 점 p, q를 잇는 직선을 회전축으로 회전하고 주기는 T 이다.



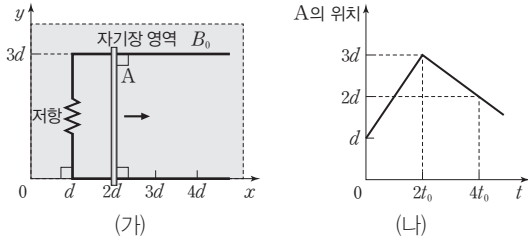
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 도선을 통과하는 균일한 자기장에 의한 자기 선속은 $t=0$ 일 때가 $t=\frac{1}{4}T$ 일 때보다 크다.
- ㄴ. $t=\frac{1}{8}T$ 일 때, 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 q → 저항 → p이다.
- ㄷ. 저항에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t=\frac{1}{2}T$ 일 때가 $t=\frac{3}{4}T$ 일 때보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

09 [22027-0201] 그림 (가)와 같이 균일한 자기장 영역에서 xy 평면에 고정된 \square 자형 도선에 놓인 도체 막대 A가 x 축과 나란한 방향으로 운동한다. 자기장 영역에서 자기장은 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, 세기는 B_0 이다. 그림 (나)는 (가)에서 A의 위치 x 를 시간 t 에 따라 나타낸 것이다.

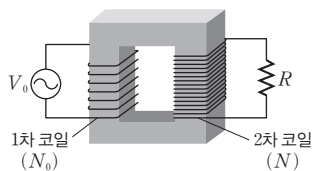


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. t_0 일 때, 저항에 흐르는 전류의 방향은 $-y$ 방향이다.
 - ㄴ. t_0 일 때, 저항에 유도되는 기전력의 크기는 $\frac{9B_0d^2}{2t_0}$ 이다.
 - ㄷ. 저항에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_0 일 때가 $3t_0$ 일 때의 2배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10 [22027-0202] 그림은 전압이 V_0 인 교류 전원과 전기 저항이 R 인 저항이 연결된 변압기를 나타낸 것이다. 1차 코일, 2차 코일의 감은 수는 각각 N_0 ,



N 이고, 저항의 소비 전력은 $\frac{4V_0^2}{R}$ 이다.

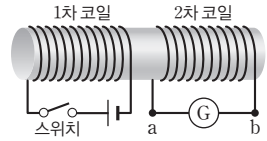
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 변압기에서의 에너지 손실은 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. 저항에 걸린 전압은 $2V_0$ 이다.
 - ㄴ. $N_0 = \frac{1}{2}N$ 이다.
 - ㄷ. 2차 코일의 감은 수만 증가시키면 저항의 소비 전력은 $\frac{4V_0^2}{R}$ 보다 커진다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

11 [22027-0203] 다음은 상호유도에 대한 설명이다.

그림과 같이 감은 수가 각각 N_1, N_2 인 1차 코일, 2차 코일로 구성된 회로에서 스위치를 닫으면 1차 코일에 흐르는 전류 I_1 에 의한 자기장이 2차 코일을 통과한다. Δt 동안 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 증가하면 2차 코일을 통과하는 자기 선속 Φ_2 는 (가) 하고, 2차 코일에 생기는 유도 기전력에 의해 ㉠ 2차 코일에 유도 전류 I_2 가 흐른다. 상호 인덕턴스가 M 일 때 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 $V = N_2 \frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t} =$ (나) 이다.



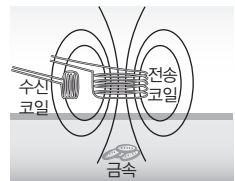
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. '증가'는 (가)로 적절하다.
 - ㄴ. ㉠은 $a \rightarrow b$ 방향으로 흐른다.
 - ㄷ. (나)는 $M \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

12 [22027-0204] 다음은 금속 탐지기에 대한 설명이다.

금속 탐지기는 (가) 현상을 이용하여 금속을 찾아내는 장치이다. 금속 탐지기의 ㉠ 전송 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장이 금속을 통과하면 금속에 유도 전류가 흐른다. 이때, 금속 탐지기의 수신 코일에서는 금속에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장에 의해 전류가 흐르고, 이를 전기 신호로 변환한다.

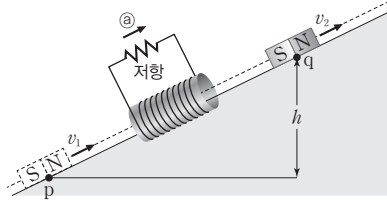


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. '상호유도'는 (가)로 적절하다.
 - ㄴ. ㉠은 교류 전류이다.
 - ㄷ. 금속에 유도 전류가 흐를 때, 금속을 통과하는 자기 선속은 일정하다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

01 [22027-0205]
 그림은 마찰이 없는 빗면에서 점 p를 v_1 의 속력으로 지난 자석이 솔레노이드의 중심축을 따라 운동하여 점 q를 v_2 의 속력으로 지나는 것을 나타낸 것이다. p와 q 사이의 높이 차는 h 이다.

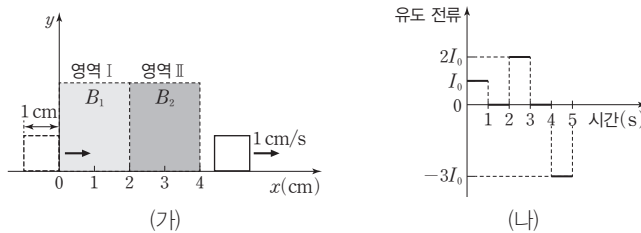


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g 이고, 자석의 크기, 공기 저항은 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. 자석이 p를 지날 때, 저항에 흐르는 유도 전류의 방향은 ㉠ 방향이다.
 - ㄴ. $v_1 > \sqrt{v_2^2 + 2gh}$ 이다.
 - ㄷ. 솔레노이드가 자석에 작용하는 자기력의 방향은 자석이 p를 지날 때와 q를 지날 때가 서로 반대이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 [22027-0206]
 그림 (가)와 같이 한 변의 길이가 1 cm인 정사각형 금속 고리가 1 cm/s의 속력으로 x 축에 나란하게 등속도 운동하여 xy 평면에 수직인 방향의 균일한 자기장 영역 I, II를 통과한다. I, II에서 자기장의 세기는 각각 B_1, B_2 로 일정하다. 그림 (나)는 고리에 흐르는 유도 전류를 시간에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 자기장의 방향은 I에서와 II에서가 서로 반대이다.
 - ㄴ. $B_2 = 3B_1$ 이다.
 - ㄷ. 고리를 통과하는 I과 II에 의한 자기 선속은 2초일 때가 $\frac{5}{2}$ 초일 때의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

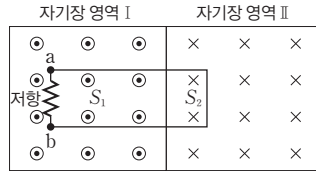
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

자석이 솔레노이드에 가까워지면 솔레노이드를 통과하는 자기 선속이 증가하고, 멀어지면 솔레노이드를 통과하는 자기 선속이 감소한다.

0초부터 1초, 2초부터 3초까지 고리를 통과하는 자기 선속은 증가하고, 4초부터 5초까지 고리를 통과하는 자기 선속은 감소한다.

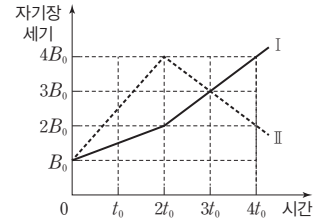
t_0 일 때 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

03 [22027-0207] 그림 (가)와 같이 종이면에 고정된 직사각형 도선이 시간에 따라 변하는 균일한 자기장 영역 I, II에 놓여 있다. I, II에서 자기장이 통과하는 도선의 면적은 각각 S_1, S_2 이고, 점 a, b는 도선에 고정된 점이다. 그림 (나)는 I, II에서의 자기장 세기를 시간에 따라 나타낸 것이다. t_0 일 때 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 a → 저항 → b 방향이다.



⊙ : 종이면에서 수직으로 나오는 방향
 × : 종이면에 수직으로 들어가는 방향

(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

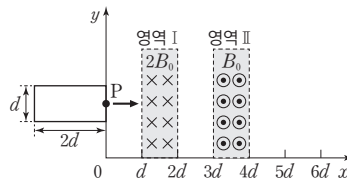
보기

- ㄱ. $S_1 < 3S_2$ 이다.
- ㄴ. $3t_0$ 일 때 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 a → 저항 → b이다.
- ㄷ. 도선에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_0 일 때가 $3t_0$ 일 때보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

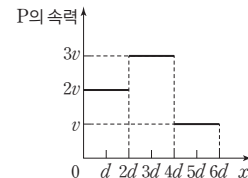
고리에 유도되는 기전력의 크기는 $V = B \frac{dS}{dt}$ (S: 자기장이 통과하는 면적)이다.

04 [22027-0208] 그림 (가)와 같이 xy 평면에 놓인 직사각형 금속 고리가 자기장 영역 I, II를 향해 $+x$ 방향으로 운동한다. I, II에서 자기장의 세기는 각각 $2B_0, B_0$ 이고, 점 P는 금속 고리의 한 점이다. 그림 (나)는 P의 속력을 위치 x 에 따라 나타낸 것이다.



⊙ : 종이면에서 수직으로 나오는 방향
 × : 종이면에 수직으로 들어가는 방향

(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

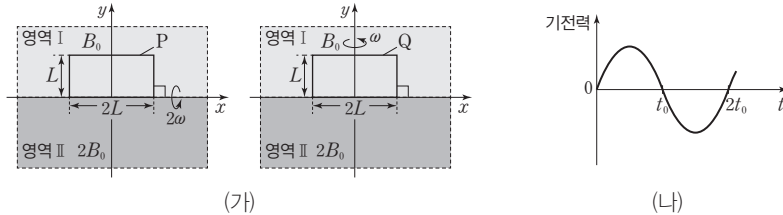
보기

- ㄱ. P가 $x=1.5d$ 를 지날 때, 고리 중심에서 고리에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.
- ㄴ. 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 P가 $x=1.5d$ 를 지날 때가 $x=3.5d$ 를 지날 때의 $\frac{2}{7}$ 배이다.
- ㄷ. P가 $x=4.5d$ 를 지날 때, 고리에 유도되는 기전력의 크기는 $B_0 d v$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 [22027-0209]

그림 (가)는 xy 평면에 놓인 동일한 사각형 도선 P, Q를 자기장 영역 I, II에서 일정한 각속도로 회전시킬 때 시간 $t=0$ 인 순간의 모습을 나타낸 것이다. I, II에서 자기장은 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, 세기는 각각 $B_0, 2B_0$ 이다. P, Q는 회전축이 각각 x 축, y 축이고, 각속도는 $2\omega, \omega$ 이다. 그림 (나)는 Q에 유도되는 기전력을 시간 t 에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

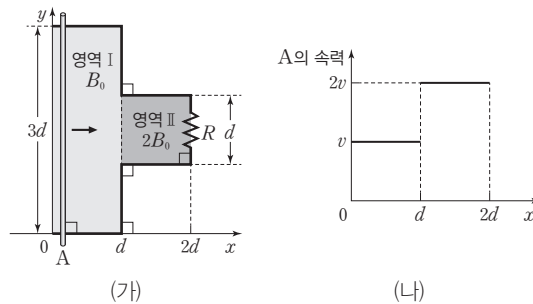
보기

- ㄱ. $\frac{1}{2}t_0$ 일 때, P에 흐르는 유도 전류는 0이다.
 ㄴ. $\frac{1}{3}t_0$ 일 때, Q를 통과하는 I과 II에 의한 자기 선속은 B_0L^2 이다.
 ㄷ. $\frac{3}{8}t_0$ 일 때 P에 유도되는 기전력의 크기는 $\frac{3}{4}t_0$ 일 때 Q에 유도되는 기전력의 크기의 4배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 [22027-0210]

그림 (가)와 같이 전기 저항이 R 인 저항이 연결된 도선을 xy 평면에 고정시키고, 도선 위에 놓인 도체 막대 A를 세기가 각각 $B_0, 2B_0$ 으로 균일한 자기장 영역 I, II에서 $+x$ 방향으로 이동시킨다. I, II에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 그림 (나)는 (가)에서 A의 속력을 위치 x 에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. A가 $x=0.5d$ 를 지날 때, 저항에 흐르는 유도 전류의 방향은 $-y$ 방향이다.
 ㄴ. 도선에 유도되는 기전력의 크기는 A가 $x=0.5d$ 를 지날 때가 $x=1.5d$ 를 지날 때의 3배이다.
 ㄷ. A가 $x=1.5d$ 를 지날 때, 저항의 소비 전력은 $\frac{v^2 B_0^2 d^2}{R}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

단위 시간 동안 자기장의 세기 변화량은 P가 Q보다 크다.

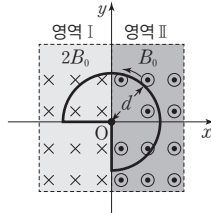
단위 시간 동안 도선을 통과하는 자기 선속의 변화량은 A가 $x=0.5d$ 를 지날 때가 $x=1.5d$ 를 지날 때보다 작다.

도선에 유도되는 기전력의 크기는 $V = B \frac{\Delta S}{\Delta t}$ (B : 자기장의 세기, ΔS : 자기장이 통과하는 면적)이다.

스위치를 닫고 충분한 시간이 지날 때까지 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 증가한다.

07 [22027-0211]

그림은 xy 평면에 놓인 전기 저항이 R , 반지름이 d , 중심각이 270° 인 부채꼴 모양의 도선이 원점 O 를 중심으로 시계 반대 방향으로 회전할 때, 시간 $t=0$ 인 순간의 모습을 나타낸 것이다. 도선은 일정한 각속도로 회전하고, 회전 주기는 T 이다. 균일한 자기장 영역 I, II에서 자기장의 세기는 각각 $2B_0$, B_0 이다.



o : xy 평면에서 수직으로 나오는 방향
x : xy 평면에 수직으로 들어가는 방향

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

ㄱ. $t = \frac{1}{8}T$ 일 때, 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

ㄴ. $t = \frac{3}{8}T$ 일 때, 도선에 유도된 기전력은 0이다.

ㄷ. $t = \frac{5}{8}T$ 일 때, 도선에 흐르는 유도 전류의 세기는 $\frac{3\pi B_0 d^2}{RT}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 [22027-0212]

다음은 코일을 이용한 상호유도에 대한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 코일 A에 직류 전원 장치, 가변 저항기, 스위치를 연결하고, 코일 B에 검류계를 연결한다.

(나) (가)에서 스위치를 닫을 때, 스위치를 닫고 충분한 시간이 지났을 때, 스위치를 열 때 검류계에 전류가 흐르는지 관찰한다.

(다) (가)에서 스위치를 닫고 충분한 시간이 지난 상태에서 가변 저항기의 전기 저항을 연속적으로 증가시킬 때 검류계에 전류가 흐르는지 관찰한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

ㄱ. (나)에서 스위치를 닫을 때, A와 B 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다.

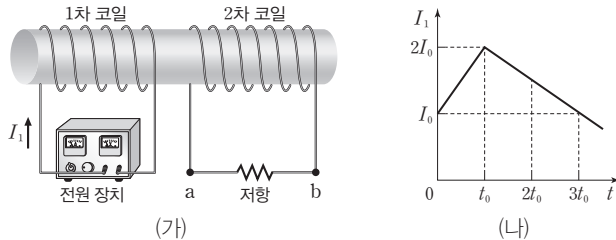
ㄴ. (나)에서 스위치를 닫고 충분한 시간이 지났을 때 B를 통과하는 자기 선속은 일정하다.

ㄷ. B에 흐르는 유도 전류의 방향은 (나)에서 스위치를 열 때와 (다)에서가 서로 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

09 [22027-0213]

그림은 전원 장치에 연결된 1차 코일과 저항이 연결된 2차 코일을 나타낸 것이다. 1차 코일과 2차 코일의 감은 수는 각각 N_1, N_2 이고, 1차 코일과 2차 코일 사이의 상호 인덕턴스는 M 이다. 그림 (나)에서 1차 코일에 화살표 방향으로 흐르는 전류 I_1 을 시간 t 에 따라 나타낸 것이다.



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

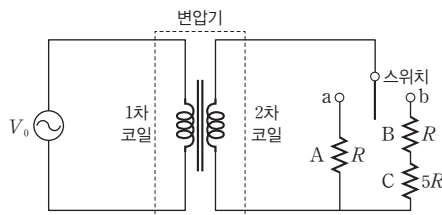
보기

- ㄱ. 0부터 t_0 까지 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 2차 코일을 통과하는 자기 선속의 변화량은 $\frac{MI_0}{N_2}$ 이다.
- ㄴ. $2t_0$ 일 때, 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 a → 저항 → b이다.
- ㄷ. $2t_0$ 일 때, 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 $\frac{MI_0}{2t_0}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10 [22027-0214]

그림은 전압이 V_0 인 교류 전원, 스위치, 전기 저항이 각각 $R, R, 5R$ 인 저항 A, B, C가 연결된 변압기를 나타낸 것이다. 스위치를 단자 a에 연결할 때 A의 소비 전력은 스위치를 단자 b에 연결할 때 B의 소비 전력보다 $\frac{35V_0^2}{4R}$ 만큼 크다.



1차 코일, 2차 코일의 감은 수를 각각 N_1, N_2 라 할 때, $\frac{N_2}{N_1}$ 는? (단, 변압기에서의 에너지 손실은 무시한다.)

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

2차 코일에 유도되는 기전력은 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율에 비례한다.

1차 코일, 2차 코일의 감은 수를 각각 N_1, N_2 , 1차 코일, 2차 코일에 걸리는 전압을 각각 V_1, V_2 라 할 때, $\frac{N_2}{N_1} = \frac{V_2}{V_1}$ 이다.

III

파동과 물질의 성질

2022학년도 9월 모의평가 5번

5. 다음은 도플러 효과에 대한 설명이다.

파장이 λ 이고 진동수가 f 인 음파를 발생시키는 음원이 v_s 의 속력으로 정지해 있는 음파 측정기를 향해 등속도 운동을 한다. 이때 음파 측정기에서 측정된 음파의 파장 λ' 은 λ 보다 만큼 짧다. 따라서 음파 측정기에서 측정된 음파의 진동수 f' 은 이다.

A, B로 옳은 것은? (단, 음속은 v 이고, $v_s < v$ 이다.)

- | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| ① $\frac{v}{f}$ | ② $\frac{v_s}{f}$ | ③ $\frac{v}{f}$ | ④ $\frac{v_s}{f}$ |
| ② $\left(\frac{v+v_s}{v}\right)f$ | ③ $\left(\frac{v}{v-v_s}\right)f$ | ④ $\left(\frac{v-v_s}{v}\right)f$ | ⑤ $\left(\frac{v}{v-v_s}\right)f$ |

2022학년도 EBS 수능특강 175쪽 1번

01 [2107-0249] 다음은 도플러 효과에 대한 설명이다.

파장이 λ 이고 진동수가 f 인 음파를 발생하는 음원이 정지한 관찰자로부터 v 의 속력으로 멀어지면 관찰자가 듣는 음파의 파장 λ' 은 λ 보다 길다. 음파의 속력을 V 라 할 때, $\lambda = \frac{V}{f}$ 이므로 관찰자가 측정된 음파의 파장 $\lambda' = \frac{V}{f'}$ 이다. 따라서 관찰자가 측정된 음파의 진동수 $f' = \frac{V}{\lambda'}$ 이다.

(가), (나), (다)에 들어갈 것으로 옳은 것은?

- | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| ① $\frac{v}{f}$ | ② $\frac{v}{f}$ | ③ $\frac{V}{f}$ | ④ $\frac{V}{f}$ | ⑤ $\frac{V}{f}$ |
| ② $\frac{V}{f} + \frac{v}{f}$ | ③ $\frac{V}{f} + \frac{v}{f}$ | ④ $\frac{V}{f} + \frac{v}{f}$ | ⑤ $\frac{V}{f} - \frac{v}{f}$ | ⑥ $\frac{V-v}{V}$ |

연계 분석

9월 모의평가 5번 문항은 수능특강 175쪽 1번 문항과 연계하여 출제되었다. 두 문항 모두 음원의 움직임에 따라 음파 측정기(또는 관찰자)가 측정된 음파의 진동수가 어떻게 달라지는지에 대해 정량적으로 묻고 있다. 9월 모의평가 문항은 음원이 음파 측정기를 향해 가까워지고 있는 상황을 묻고 있는 반면, 수능특강 문항은 음원이 관찰자와 멀어지는 상황을 묻고 있다는 차이가 있다. 하지만 두 문항 모두 음원의 움직임에 따른 파장 변화와 진동수 변화를 정량적으로 묻고 있다는 점에서 매우 높은 유사성을 보인다.

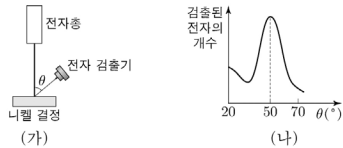
학습 대책

음원이 움직이는 상황에서 음파의 파장은 한 주기 동안 음원이 이동한 거리만큼 길어지거나 짧아진다는 사실을 이해해야 한다. 음원이 관찰자로부터 멀어지면 관찰자가 측정된 음파의 파장은 길어지고, 음원이 관찰자를 향해 가까워지면 관찰자가 측정된 음파의 파장은 짧아지는 것을 정량적으로 분석하여, 파장 변화에 따른 진동수 변화를 계산할 수 있어야 한다. 이 과정에서 파장과 속력의 관계로부터 진동수 변화를 정량적으로 이끌어 낼 수 있다.

수능 _ EBS 교재 연계 사례

2022학년도 대학수학능력시험 3번

3. 그림 (가)는 데이비슨·거머 실험에서 전자가 니켈 결정의 표면에 입사하여 산란되는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 검출된 전자의 개수를 산란각 θ 에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

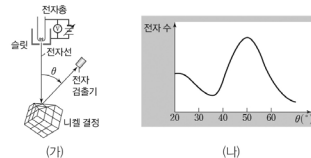
- ◁보기▷
- ㄱ. (나)는 전자의 입자성을 보여 주는 실험 결과이다.
 - ㄴ. $\theta = 50^\circ$ 로 산란된 전자의 물질파는 보강 간섭 조건을 만족한다.
 - ㄷ. 니켈 결정에 입사된 전자의 속력이 커질수록 전자의 물질파 파장은 길어진다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

2022학년도 EBS 수능특강 200쪽 7번

07 [21027-0291] 다음은 데이비슨·거머 실험에 대해 정리한 내용이다.

- 데이비슨과 거머는 니켈 결정에 54 V의 전압으로 가속된 전자선을 입사시켰더니 50° 의 각으로 산란된 전자의 수가 가장 많은 것을 발견하였다.
- 이들은 54 V로 가속된 전자선의 드브로이 파장은 1.7×10^{-10} m라는 것을 구한 후 50° 의 각으로 산란된 전자가 (㉠) 조건을 만족하는 것을 확인하여 ㉠ 드브로이 물질파 이론을 검증하였다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- ▷보기◁
- ㄱ. ㉠은 '보강 간섭'이다.
 - ㄴ. ㉠에 따른 전자의 파장은 이 실험의 결과와 일치한다.
 - ㄷ. 54 V보다 큰 전압으로 가속시키면 드브로이 파장은 1.7×10^{-10} m보다 길어진다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

연계 분석

수능 3번 문항은 수능특강 200쪽 7번 문항과 연계하여 출제되었다. 두 문항 모두 니켈 결정에 입사한 전자가 산란되는 상황과 전자 검출기의 각도에 따라 검출된 전자의 수를 제시하였고, 실험 결과를 전자의 파동성 및 보강 간섭으로 설명할 수 있는지 묻고 있다. 수능 문항은 ㄷ에서 전자의 속력과 물질파 파장의 관계를 물었는데, 수능특강 문항은 전자의 가속 전압의 증가로부터 전자의 속력이 빨라져 드브로이 파장이 짧아지는 과정을 올바르게 유추할 수 있는지 묻고 있다. 두 문항은 데이비슨·거머 실험 결과의 해석을 묻고 있다는 점에서 매우 높은 유사성을 보인다.

학습 대책

데이비슨·거머 실험에서 각도에 따라 검출되는 전자 수가 달라지는 까닭이 전자의 파동성 때문임을 이해하고, 보강 간섭하는 특정한 각도에서 전자가 많이 검출된다는 사실을 명확하게 인식하고 문제에 접근해야 한다. 또한 입자가 갖는 물질파 파장은 입자의 운동량과 반비례하기 때문에 입자의 속력이 커질수록 입자의 물질파 파장이 짧아지는 현상을 이해하고, 문제 상황에 적용할 수 있어야 한다.

개념 체크

- **중첩**: 두 개 이상의 파동이 진행 중에 만나 파동들의 변화가 합성되는 현상
- **이중 슬릿 실험**: 이중 슬릿을 지나기 전에 단일 슬릿을 지나게 하는 것은 이중 슬릿에 입사하는 두 파동의 위상을 같게 맞추기 위함이다.

1. 두 파동이 중첩될 때, 위상이 같으면 진폭이 () 하고, 위상이 반대이면 진폭이 () 한다.
2. 이중 슬릿을 지난 두 파동이 중첩되면 보강 간섭과 상쇄 간섭이 연속적으로 나타나 밝고 어두운 간섭 무늬를 만든다. 이것은 빛의 ()으로 설명할 수 있다.

1 전자기파의 간섭

(1) **파동의 간섭**: 두 개 이상의 파동이 중첩될 때 진폭이 커지거나 작아지는 현상

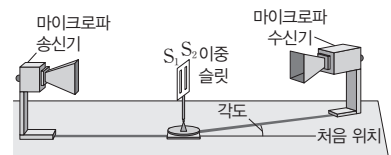
- ① **보강 간섭**: 두 파동이 같은 위상으로 중첩되어 합성파의 진폭이 커지는 현상
- ② **상쇄 간섭**: 두 파동이 반대 위상으로 중첩되어 합성파의 진폭이 작아지는 현상

(2) **전자기파의 간섭**: 전자기파도 파동이므로 간섭 현상이 일어난다.

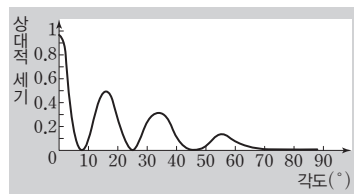
탐구자료 살펴보기 마이크로파를 이용한 간섭 현상 설명하기

과정

- (1) 마이크로파 송신기와 수신기를 설치한 후, 간격이 10.6 cm인 이중 슬릿을 설치한다.
- (2) 송신기는 파장이 2.85 cm인 마이크로파를 발생시킨다.
- (3) 수신기의 각도를 0°부터 증가시킨다.



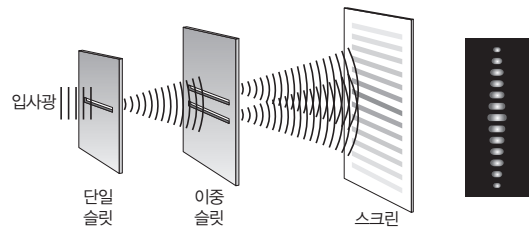
결과 및 point



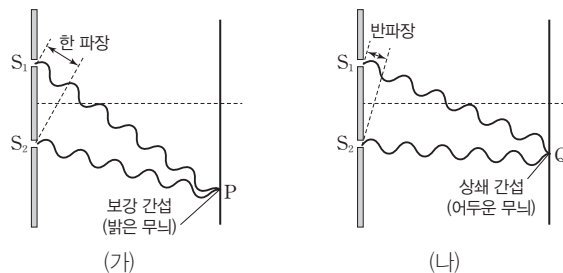
→ 수신기의 각도에 따라 마이크로파의 세기가 강해지는 보강 간섭과 마이크로파의 세기가 약해지는 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 교대로 나타나는 것을 확인할 수 있다.

(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.



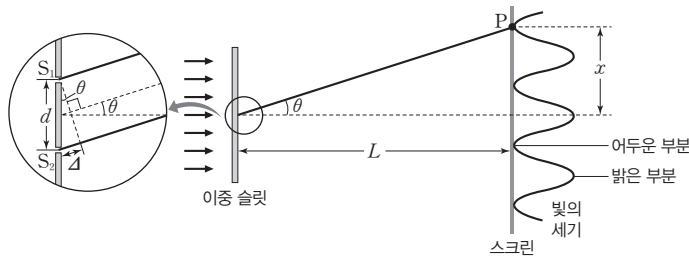
② 그림 (가)와 같이 스크린의 P점에서는 슬릿 S₁과 S₂로부터 경로차가 한 파장만큼 나므로 두 파동이 같은 위상으로 만나게 된다. 따라서 보강 간섭이 일어나 밝은 무늬가 만들어진다. 그런데 (나)와 같이 Q점에서는 슬릿 S₁과 S₂로부터 경로차가 반파장만큼 나므로 두 파동이 반대 위상으로 만나게 된다. 따라서 상쇄 간섭이 일어나 어두운 무늬가 만들어진다.



정답

1. 증가, 감소
2. 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 간격에 비해 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리가 매우 멀다고 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 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.

$$\Delta = d \frac{x}{L} = \begin{cases} \frac{\lambda}{2}(2m) & \text{보강 간섭 } (m=0, 1, 2, 3, \dots) \\ \frac{\lambda}{2}(2m+1) & \text{상쇄 간섭 } (m=0, 1, 2, 3, \dots) \end{cases}$$

개념 체크

- $d \ll L$: 이중 슬릿의 간격 d 에 비해 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리 L 이 매우 크면 θ 가 아주 작아진다. θ 가 아주 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. 이중 슬릿을 지난 두 파동의 경로차가 λ 의 정수배일 때는 () 간섭이, $\frac{\lambda}{2}$ 의 홀수 배일 때는 () 간섭이 나타난다.
2. 이중 슬릿을 이용한 빛의 간섭 실험에서 이중 슬릿의 두 슬릿 S_1 , S_2 로부터 같은 거리에 있는 스크린 위의 점은 경로차가 ()이고, () 간섭이 나타난다.

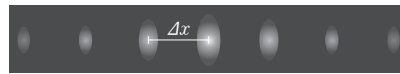
탐구자료 살펴보기 이중 슬릿을 이용한 빛의 간섭 실험

과정

- (1) 스크린과 이중 슬릿, 적색 레이저를 일렬로 설치한다.
- (2) 적색 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) 적색 레이저 대신 녹색 레이저를 이용하여 위의 과정을 반복한다.



이중 슬릿 간섭 실험



간섭무늬의 확대

결과

	슬릿의 간격(d)	슬릿과 스크린 사이의 거리(L)	간섭무늬 사이의 간격(Δx)	레이저 파장 ($\lambda = \frac{d \Delta x}{L}$)
적색 레이저	0.50 mm	1.0 m	1.3 mm	650 nm
녹색 레이저	0.50 mm	1.0 m	1.1 mm	550 nm

point

- 레이저의 파장이 길수록 간섭무늬 사이의 간격이 넓어진다.

정답

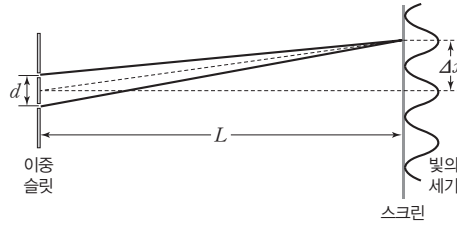
1. 보강, 상쇄
2. 0, 보강

개념 체크

• Δx : 파장이 λ 인 단색광의 이중 슬릿에 의한 간섭무늬에서 중앙의 밝은 무늬가 나타나는 지점을 O, 첫 번째 밝은 무늬가 나타나는 지점을 P라 할 때, 이중 슬릿에 의한 O에서의 경로차는 0, P에서의 경로차는 λ 이다. 따라서 O와 P 사이의 거리를 Δx 라 할 때, $d \sin \theta \approx d \tan \theta = d \frac{OP}{L} = d \frac{\Delta x}{L} = \lambda$ 이므로 $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ 이다.

1. 이중 슬릿에 의한 간섭무늬에서 파장이 (), 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리가 (), 이중 슬릿의 간격이 () 밝은 무늬 사이의 간격이 넓어진다.
2. 이중 슬릿에 의한 간섭무늬에서 밝은 무늬 사이의 간격 Δx , 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리 L , 이중 슬릿의 간격 d 를 측정하면 실험에 사용하는 빛의 ()을 계산할 수 있다.

④ 이중 슬릿의 간섭을 이용한 빛의 파장 측정: 이중 슬릿으로 간섭 실험을 하면 빛의 파장을 구할 수 있다. 앞의 간섭 조건을 이용하면 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 Δx 는 다음과 같다.



$$\Delta x = \frac{L}{d} \lambda$$

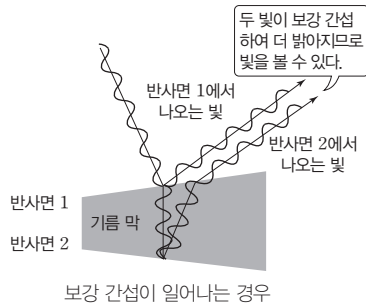
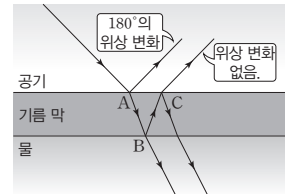
간섭무늬의 간격은 슬릿 사이의 간격이 좁을수록, 파장이 길수록, 슬릿과 스크린 사이의 거리가 멀수록 커진다. 이를 이용하여 빛의 파장 λ 를 나타내면 다음과 같다.

$$\lambda = \frac{d}{L} \Delta x$$

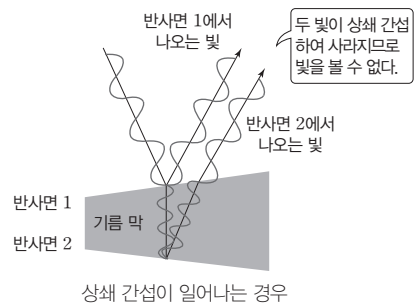
- 슬릿의 간격에 따른 간섭무늬의 간격: 슬릿 사이의 간격이 좁으면 간섭무늬의 간격이 넓게 나타나고, 슬릿 사이의 간격이 넓으면 간섭무늬의 간격이 좁게 나타난다.
- 빛의 파장에 따른 간섭무늬의 간격: 빛의 파장이 길면 간섭무늬의 간격이 넓게 나타나고, 빛의 파장이 짧으면 간섭무늬의 간격이 좁게 나타난다.

과학 돋보기 얇은 막에 의한 간섭

그림과 같이 물 위에 얇은 기름 막이 형성되어 있을 때 빛이 점 A에 도달하면 일부는 반사하고 일부는 투과한다. 점 A에서 반사한 빛과 점 B에서 반사하여 점 C로 나온 빛이 중첩되어 간섭을 일으킨다.



보강 간섭이 일어나는 경우



상쇄 간섭이 일어나는 경우

- 막의 두께에 따라서 보강 간섭을 하는 빛의 파장이 달라져 여러 가지 색의 빛이 보이게 된다.
- 기름 막의 윗면(반사면 1)과 아랫면(반사면 2)에서 반사된 빛이 보강 간섭을 일으키면 밝게 보이고 상쇄 간섭을 일으키면 어둡게 보인다.

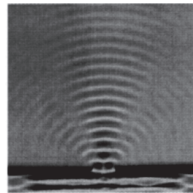
정답

1. 길수록, 멀수록, 좁을수록
2. 파장

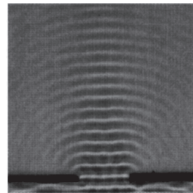
2 전자기파의 회절

(1) 파동의 회절: 파동이 진행하다가 장애물을 만났을 때 장애물의 뒤쪽으로 돌아 들어가거나, 좁은 틈을 통과한 후에 퍼져 나가는 현상

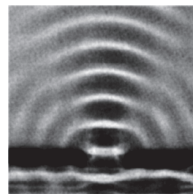
① 파동의 회절은 슬릿의 폭이 좁을수록, 파동의 파장이 길수록 잘 나타난다.



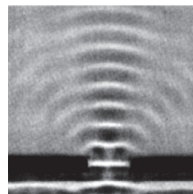
슬릿의 폭이 좁을 때



슬릿의 폭이 넓을 때



파장이 길 때



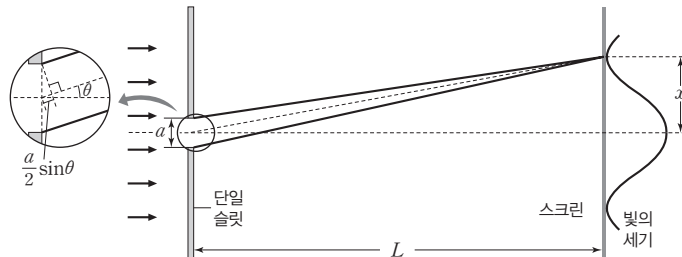
파장이 짧을 때

② 전자기파도 파동이므로 회절 현상이 일어난다.

(2) 전자기파의 회절

① 전자기파도 파동이므로 단일 슬릿을 이용하면 빛의 회절 무늬를 쉽게 관찰할 수 있다.

② 단일 슬릿을 이용한 빛의 회절: 빛이 단일 슬릿을 통과하면 스크린에 밝은 부분이 나타난 후 어두운 부분을 지나 다시 밝은 부분이 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 무늬의 간격은 슬릿의 폭에 반비례하고, 슬릿과 스크린 사이의 거리에 비례하고, 파장에 비례한다.

- 슬릿의 폭에 따른 회절 무늬의 간격: 슬릿의 폭이 좁으면 회절 무늬의 간격이 넓게 나타나고, 슬릿의 폭이 넓으면 회절 무늬의 간격이 좁게 나타난다.
- 빛의 파장에 따른 회절 무늬의 간격: 빛의 파장이 길면 회절 무늬의 간격이 넓게 나타나고, 빛의 파장이 짧으면 회절 무늬의 간격이 좁게 나타난다.

개념 체크

● 회절: 파동이 진행하다가 좁은 틈을 통과한 후 퍼져 나가는 현상으로, 파동이 전파될 때 파면 위의 모든 점이 새로운 점파원이 되어 파동을 발생시키기 때문에 회절 현상이 나타난다.

1. 회절 현상이 잘 일어난다는 것은 좁은 틈을 통과한 파동이 더 () 퍼져 나간다는 것을 의미한다. 이것은 스크린 중앙에서 첫 번째 어두운 무늬가 생기는 지점까지의 거리가 ()는 것을 의미한다.

2. 단일 슬릿에 의한 회절 무늬에서 회절 무늬의 간격은 슬릿의 폭에 ()하고, 슬릿과 스크린 사이의 거리에 ()한다.

정답

1. 넓게, 길다
2. 반비례, 비례

개념 체크

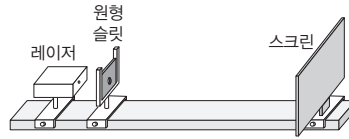
● **회절에 의한 현상:** CD의 뒷면이나 전복 컵테기의 안쪽 면에서는 미세하게 분포하는 홀무늬에 의한 빛의 회절 때문에 보는 각도에 따라 다양한 색으로 관찰된다.

1. 단일 슬릿에 레이저를 비추면 () 무늬가 나타난다. 레이저의 파장이 (), 슬릿의 폭이 () 회절 무늬 사이의 간격은 넓어진다.
2. 담 너머 소리는 들리지만 사람은 보이지 않는 까닭은 소리의 파장이 빛의 파장보다 () 소리가 빛보다 ()이 잘 일어나기 때문이다.

탐구자료 살펴보기 단일 슬릿을 이용한 회절 실험

과정

- (1) 적색 레이저, 원형 슬릿, 스크린을 일렬로 설치한다.
- (2) 적색 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) 적색 레이저 대신 녹색 레이저를 이용하여 원형 슬릿, 사각형 슬릿의 회절 무늬를 관찰한다.

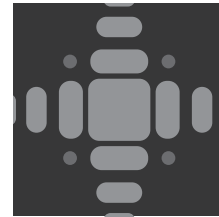


결과

< 적색 레이저를 이용한 회절 무늬 >



원형 슬릿의 회절 무늬



사각형 슬릿의 회절 무늬

< 녹색 레이저를 이용한 회절 무늬 >



원형 슬릿의 회절 무늬



사각형 슬릿의 회절 무늬

point

- 레이저의 파장이 길수록 회절 무늬 사이의 간격이 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 소리가 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 경로 차이로 인해 간섭 현상이 나타난다.	CD의 뒷면에 입사한 빛이 규칙적인 홈에서 회절하고 서로 간섭하여 다양한 색으로 보이게 된다.

정답

1. 회절, 길수록, 좁을수록
2. 길어서, 회절

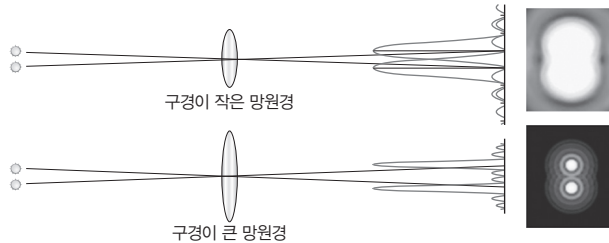
3 전자기파의 간섭과 회절의 이용

(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 파장을 이용하는 FM 방송보다 긴 파장을 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 회절 현상이 나타나 두 별의 상이 겹쳐서 마치 하나의 별처럼 보이므로, 회절의 영향을 줄여 분해능을 높이려면 구경이 큰 망원경을 사용해야 한다.



개념 체크

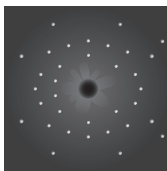
● X선 회절 무늬: X선을 결정에 쏘면 결정의 규칙적인 구조로 인하여 회절 무늬가 나타난다. 이를 분석하여 결정의 구조를 알아낼 수 있다.

1. 파장이 () 회절이 잘 일어나기 때문에, 산속에서는 짧은 파장을 이용하는 () 방송보다 긴 파장을 이용하는 () 방송이 더 잘 들린다.
2. 두 별이 가까이 있을 때에는 () 현상이 나타나 두 별이 겹쳐서 하나의 별처럼 보이게 된다. 회절의 영향을 줄여 ()을 높이려면 구경이 () 망원경을 사용해야 한다.

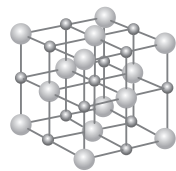
탐구자료 살펴보기 X선 회절 현상의 이용

자료

그림 (가), (나)는 물질에 X선을 비추어 나오는 회절 무늬를 이용하여 눈으로 볼 수 없는 미세 구조를 확인하는 모습을 나타낸 것이다.



염화 나트륨 결정의 X선 회절 무늬



염화 나트륨 결정 구조



DNA의 X선 회절 무늬

(가)

(나)

분석

(가) 염화 나트륨에 X선을 비췄을 때 나타나는 회절 무늬로부터 염화 나트륨의 결정 구조를 알아내었다.

(나) DNA가 삼중 나선 구조일 것으로 추측하고 있던 왓슨과 크릭은 DNA의 X선 회절 무늬 분석을 통해 DNA가 이중 나선 구조임을 알아내었다.

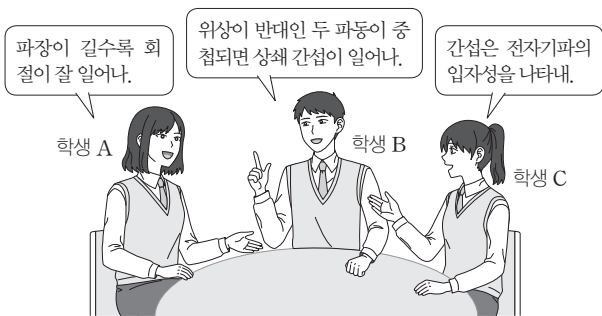
point

- X선과 같이 매우 짧은 파장의 전자기파에 의한 회절 무늬는 원자 사이의 간격, 결정 구조 등 아주 작은 물체의 내부 구조에 대한 정보를 제공한다.

정답

1. 길수록, FM, AM
2. 회절, 분해능, 큰

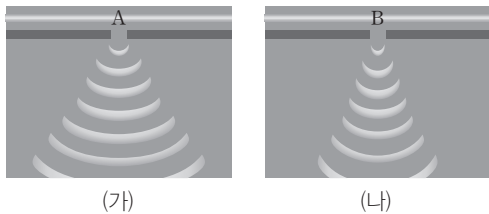
01 [22027-0215] 그림은 학생 A, B, C가 전자기파의 회절과 간섭에 대해 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



옳은 내용을 제시한 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A ② C ③ A, B ④ B, C ⑤ A, B, C

02 [22027-0216] 그림 (가), (나)는 속력과 파장이 같은 수면파가 폭이 다른 슬릿 A, B를 각각 통과한 후 진행되는 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 수면파가 슬릿을 통과한 후 퍼져 나가는 것은 회절 현상이다.
 ㄴ. 회절은 (가)에서가 (나)에서보다 잘 일어난다.
 ㄷ. 슬릿의 폭은 A가 B보다 좁다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

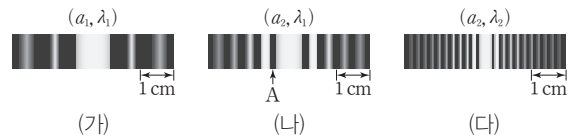
03 [22027-0217] 다음은 회절에 대한 설명이다.

파동이 진행하다가 좁은 틈을 통과한 후에 퍼져 나가는 현상을 ㉠ 이라 하고, ㉡ 은 슬릿의 폭이 ㉢, 파동의 파장이 ㉣ 잘 일어난다.

㉠~㉣에 들어갈 내용으로 적절한 것은?

- | | | |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <input type="checkbox"/> ㉠ | <input type="checkbox"/> ㉡ | <input type="checkbox"/> ㉢ |
| ① 회절 | 좁을수록 | 길수록 |
| ② 회절 | 넓을수록 | 길수록 |
| ③ 회절 | 좁을수록 | 짧을수록 |
| ④ 간섭 | 넓을수록 | 길수록 |
| ⑤ 간섭 | 좁을수록 | 짧을수록 |

04 [22027-0218] 그림 (가)~(다)는 폭이 각각 a_1, a_2, a_2 인 단일 슬릿에 파장이 각각 $\lambda_1, \lambda_1, \lambda_2$ 인 레이저를 비추었을 때 스크린에 나타난 회절 무늬를 나타낸 것이다. (나)의 A는 중앙의 밝은 무늬로부터 첫 번째 어두운 무늬가 생긴 지점이다.



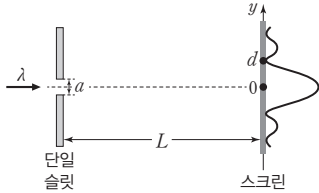
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 단일 슬릿과 스크린 사이의 거리는 일정하다.)

보기

ㄱ. $a_1 > a_2$ 이다.
 ㄴ. $\lambda_1 > \lambda_2$ 이다.
 ㄷ. A는 상쇄 간섭이 일어난 지점이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 [22027-0219] 그림은 파장이 λ 인 단색광이 폭이 a 인 단일 슬릿을 통과한 후 단일 슬릿으로부터 L 만큼 떨어진 스크린에 회절 무늬를 만든 것을 나타낸 것이다. 스크린은 y 축상에 놓여 있고, $y=0$ 인 지점에 중앙의 밝은 무늬가, $y=d$ 인 지점에 첫 번째 어두운 무늬가 생긴다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, $a \ll L$ 이다.)

보기

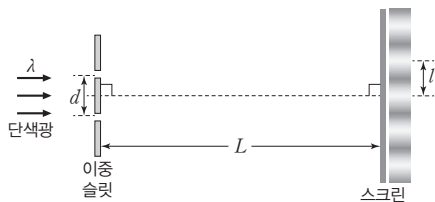
ㄱ. $d = \frac{L\lambda}{2a}$ 이다.

ㄴ. 단일 슬릿의 폭이 $\frac{1}{2}a$ 가 되면 $y=d$ 인 지점에서 중앙의 밝은 무늬로부터 두 번째 어두운 무늬가 나타난다.

ㄷ. 파장이 2λ 인 단색광을 이용하면 $y=2d$ 인 지점에 중앙의 밝은 무늬로부터 첫 번째 어두운 무늬가 나타난다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 [22027-0220] 그림과 같이 파장이 λ 인 단색광이 간격이 d 인 이중 슬릿을 통과하여 L 만큼 떨어진 스크린에 간섭무늬를 만들었다. 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 l 이다.



이웃한 밝은 무늬 사이의 간격이 $2l$ 이 되기 위한 조건으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, $d \ll L$ 이다.)

보기

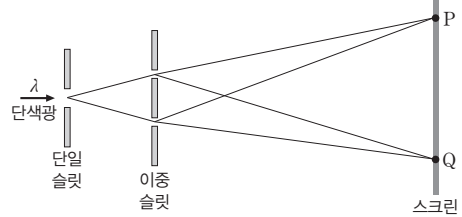
ㄱ. 이중 슬릿의 간격을 $2d$ 로 증가시킨다.

ㄴ. 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 $2L$ 로 증가시킨다.

ㄷ. 파장이 2λ 인 단색광을 사용한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

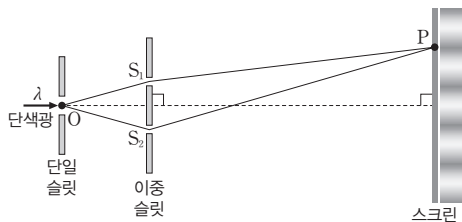
07 [22027-0221] 그림은 파장이 λ 인 단색광이 단일 슬릿과 이중 슬릿을 통과한 후 스크린에 도달한 것을 나타낸 것이다. 이중 슬릿으로부터 스크린 위의 점 P, Q에 도달한 단색광의 경로차는 2λ 로 같다.



단색광의 파장만을 2λ 로 증가시킬 때, P와 Q 사이에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 개수는?

- ① 2 ② 3 ③ 4 ④ 5 ⑤ 6

08 [22027-0222] 그림은 파장이 λ 인 단색광이 단일 슬릿과 이중 슬릿의 S_1, S_2 를 통과하여 스크린에 간섭무늬를 만든 것을 나타낸 것이다. 단일 슬릿의 중심점 O로부터 S_1, S_2 까지의 거리는 같고, P는 스크린 중앙의 가장 밝은 무늬로부터 두 번째 어두운 무늬가 생기는 지점이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

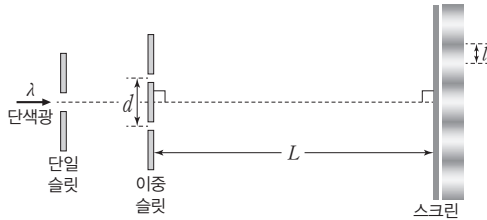
ㄱ. P에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

ㄴ. S_1 에서 P까지의 거리는 S_2 에서 P까지의 거리보다 λ 만큼 작다.

ㄷ. O에서 S_1 을 지나 P에 도달한 빛과 O에서 S_2 를 지나 P에 도달한 빛이 중첩되는 순간, 두 빛의 위상이 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

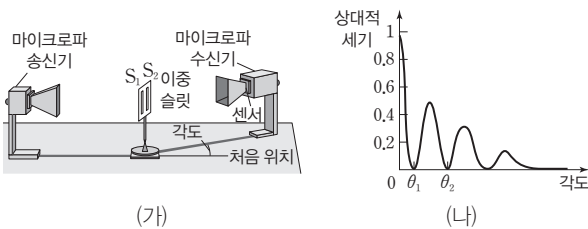
09 [22027-0223] 그림은 파장이 λ 인 단색광이 슬릿의 간격이 d 인 이중 슬릿을 통과하여 이중 슬릿으로부터 L 만큼 떨어진 스크린에 간섭무늬를 만든 것을 나타낸 것이다. 첫 번째 밝은 무늬로부터 두 번째 어두운 무늬 사이의 거리는 l 이다.



l 은? (단, $d \ll L$ 이다.)

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

10 [22027-0224] 그림 (가)와 같이 이중 슬릿 S_1, S_2 를 지나 수신기의 센서에 도달한 파장이 λ 인 마이크로파의 세기를 수신기의 각도를 변화시키며 측정하였다. 그림 (나)는 수신기에서 측정한 마이크로파의 상대적 세기를 각도에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

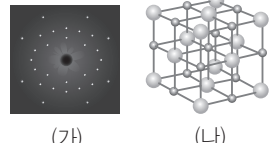
보기

- ㄱ. 각도가 0일 때 마이크로파는 수신기에서 상쇄 간섭한다.
- ㄴ. 각도가 θ_1 일 때 마이크로파의 상대적 세기는 마이크로파의 파동성으로 설명할 수 있다.
- ㄷ. 이중 슬릿으로부터 수신기 센서까지의 경로차는 각도가 θ_1 일 때가 각도가 θ_2 일 때보다 λ 만큼 작다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

11 [22027-0225] 다음은 전자기파를 이용하여 물질의 구조를 알아내는 것에 대한 설명이다.

그림 (가)는 전자기파 중 하나인 ㉠을(를) 염화 나트륨 결정에 비췌할 때 형광관에 나타나는 ㉡을(를), (나)는 (가)를 통해 알아낸 염화 나트륨의 결정 구조를 나타낸 것이다.



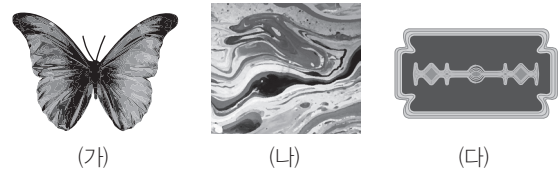
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. ㉠은 'X선'이 적절하다.
- ㄴ. ㉡은 '회절 무늬'가 적절하다.
- ㄷ. (가)를 분석하면 원자 사이의 간격을 알 수 있다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

12 [22027-0226] 그림 (가)는 모르포 나비의 날개에 입사한 빛이 여러 층으로부터 반사되어 파랗게 보이는 것을, (나)는 기름 막에서 보이는 다양한 색깔의 무늬를, (다)는 면도날에 빛을 비추었을 때 보이는 그림자 가장자리의 밝고 어두운 패턴을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

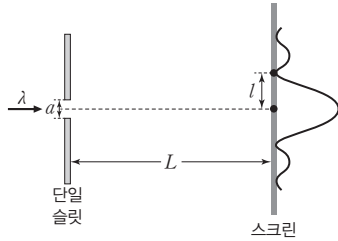
보기

- ㄱ. (가)에서 파란색 빛은 상쇄 간섭한다.
- ㄴ. (나)에서 기름막의 두께에 따라 보강 간섭이 일어나는 파장이 달라진다.
- ㄷ. (다)에서 그림자 가장자리에 밝고 어두운 패턴이 나타나는 것은 빛이 물체의 가장자리를 지날 때 회절이 일어났기 때문이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

01 [22027-0227]

그림과 같이 파장이 λ 인 단색광이 폭이 a 인 단일 슬릿을 통과한 후 단일 슬릿으로부터 L 만큼 떨어진 스크린에 만든 회절 무늬에서 중앙의 밝은 무늬로부터 첫 번째 어두운 무늬가 생기는 지점까지의 거리 l 를 측정하였다. 파는 a 와 λ 를 변화시키며 측정한 l 의 일부를 나타낸 것으로, $a=2a_0$, $\lambda=\lambda_0$ 일 때 $l=l_0$ 이다.



λ	λ_0	$2\lambda_0$	$3\lambda_0$
a			
a_0	l_1		
$2a_0$	l_0		l_2
$3a_0$		l_3	

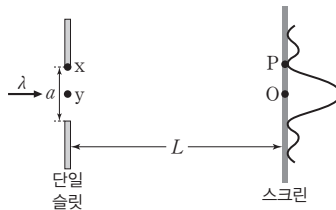
l_1, l_2, l_3 중 l_0 보다 큰 것만을 있는 대로 고른 것은? (단, $a \ll L$ 이다.)

- ① l_1 ② l_3 ③ l_1, l_2 ④ l_2, l_3 ⑤ l_1, l_2, l_3

단일 슬릿에 의한 회절 무늬에서 스크린의 중앙에서 첫 번째 어두운 무늬가 나타나는 지점까지의 거리는 단일 슬릿의 폭에 반비례, 단일 슬릿과 스크린 사이의 거리에 비례, 단색광의 파장에 비례한다.

02 [22027-0228]

그림은 파장이 λ 인 단색광이 폭이 a 인 단일 슬릿을 통과한 후 단일 슬릿으로부터 L 만큼 떨어진 스크린에 회절 무늬를 만드는 것을 나타낸 것이다. 스크린상의 점 O에는 가장 밝은 무늬가 생기고, 점 P에는 O로부터 첫 번째 어두운 무늬가 생긴다. 점 x는 슬릿의 한쪽 끝이고, 점 y는 슬릿의 중심이다.



단일 슬릿의 한쪽 끝을 지난 단색광과 단일 슬릿의 중심을 지난 단색광이 한 점에서 서로 반대 위상으로 만날 때, 그 점에서는 상쇄 간섭이 나타난다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, $a \ll L$ 이다.)

보기

ㄱ. O에서는 보강 간섭이 일어난다.

ㄴ. x에서 P까지의 거리는 y에서 P까지의 거리보다 $\frac{1}{2}\lambda$ 만큼 작다.

ㄷ. P와 O 사이의 거리는 $\frac{L\lambda}{a}$ 이다.

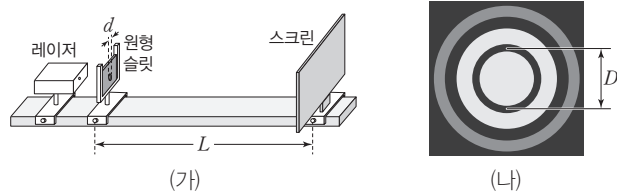
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

파동의 회절은 파동의 파장이 길수록, 슬릿의 폭이 좁을수록 잘 나타난다.

이중 슬릿을 통과한 단색광의 경로차가 반파장의 짝수 배인 지점에서는 밝은 무늬가, 홀수 배인 지점에서는 어두운 무늬가 나타난다.

03 [22027-0229]

그림 (가)는 파장이 λ 인 레이저 빛이 지름이 d 인 원형 슬릿을 통과하여 L 만큼 떨어진 스크린에 회절 무늬를 만드는 모습을, (나)는 (가)의 스크린에 생긴 회절 무늬를 나타낸 것이다. 첫 번째 어두운 무늬의 지름은 D 이다.



스크린에 생기는 회절 무늬의 첫 번째 어두운 무늬의 지름이 증가하는 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

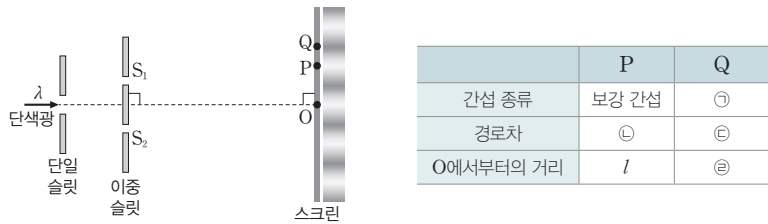
보기

- ㄱ. 파장이 2λ 인 레이저를 사용한다.
- ㄴ. 지름이 $2d$ 인 원형 슬릿을 사용한다.
- ㄷ. 원형 슬릿과 스크린 사이의 거리를 $2L$ 로 증가시킨다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 [22027-0230]

그림은 파장이 λ 인 단색광이 단일 슬릿과 이중 슬릿의 S_1 과 S_2 를 통과하여 스크린에 간섭무늬를 만든 것을 나타낸 것이다. 스크린상의 점 O는 S_1 과 S_2 로부터 같은 거리에 있다. 점 P에는 O로부터 첫 번째 밝은 무늬가, 점 Q에는 O로부터 두 번째 어두운 무늬가 생겼다. 표는 P, Q에서 나타나는 간섭 종류, S_1 과 S_2 로부터의 경로차, O에서부터의 거리를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

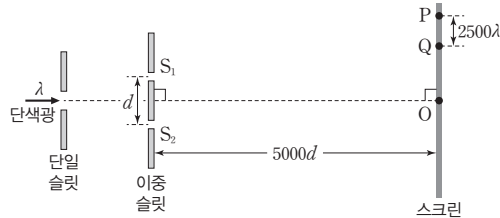
보기

- ㄱ. ①은 상쇄 간섭이다.
- ㄴ. ㉡-㉠ = $\frac{1}{2}\lambda$ 이다.
- ㄷ. ㉢은 $\frac{3}{2}l$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 [22027-0231]

그림은 파장이 λ 인 단색광이 슬릿의 간격이 d 인 이중 슬릿을 통과하여 이중 슬릿으로부터 $5000d$ 만큼 떨어진 스크린에 도달하는 것을 나타낸 것이다. 스크린상의 점 O는 두 슬릿 S_1, S_2 로부터 같은 거리에 있고, 점 P에는 O로부터 두 번째 어두운 무늬가 생긴다. 점 Q는 P로부터 2500λ 만큼 떨어져 있다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

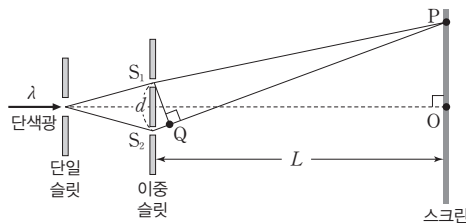
보기

- ㄱ. S_1, S_2 로부터 P까지의 경로차는 2λ 이다.
- ㄴ. O에서 P까지의 거리는 7500λ 이다.
- ㄷ. Q에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 [22027-0232]

그림은 파장이 λ 인 단색광이 단일 슬릿과 이중 슬릿 S_1, S_2 를 통과하여 스크린상의 점 P에 도달하는 것을 나타낸 것이다. 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리는 L 이다. 점 Q는 S_1 에서 선분 S_2P 에 내린 수선의 발이고, 스크린상의 점 O는 S_1, S_2 로부터 같은 거리에 있다. S_1, S_2 사이의 거리는 d 이고, P에는 O로부터 두 번째 밝은 무늬가 생긴다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, $d \ll L$ 이다.)

보기

- ㄱ. P에서는 보강 간섭이 나타난다.
- ㄴ. S_2 에서 Q까지의 거리는 λ 이다.
- ㄷ. O에서 P까지의 거리는 $\frac{2L\lambda}{d}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

중앙의 밝은 무늬로부터 m 번째 어두운 무늬가 생기는 지점까지의 거리 l 은 다음을 만족한다.

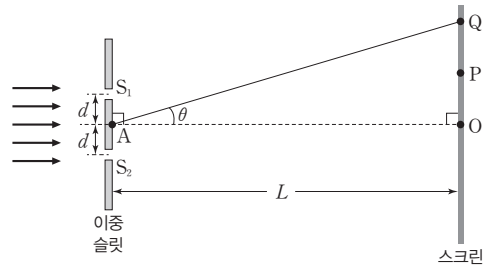
$$d \sin \theta \approx d \tan \theta = d \frac{l}{L} = \frac{\lambda}{2}(2m-1), (m=1, 2, \dots)$$

이중 슬릿 S_1, S_2 로부터 스크린 위의 점 P까지의 경로차가 2λ 이면 P에서는 두 번째 밝은 무늬가 생긴다. S_1 에서 P까지의 거리는 Q에서 P까지의 거리와 같다.

이중 슬릿을 통과한 빛이 보강 간섭하면 밝은 무늬가 나타나고 상쇄 간섭하면 어두운 무늬가 나타난다. 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 빛의 파장, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리에 비례하고, 이중 슬릿의 간격에 반비례한다.

수신기의 각도에 따라 마이크로파의 세기가 강해지는 보강 간섭과 세기가 약해지는 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 교대로 나타난다.

07 [22027-0233] 그림은 레이저가 간격이 $2d$ 인 이중 슬릿을 통과하여 L 만큼 떨어진 스크린에 간섭무늬를 만드는 것을 나타낸 것이다. 스크린상의 점 O 는 두 슬릿 S_1, S_2 로부터 같은 거리에 있고, 점 P 에는 O 로부터 두 번째 어두운 무늬가, 점 Q 에는 O 로부터 세 번째 밝은 무늬가 생긴다. O 와 P 사이의 거리는 $\frac{1}{100}L$ 이다.



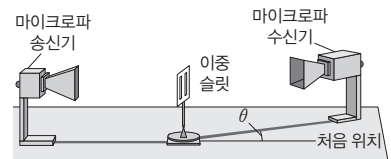
이중 슬릿의 중심 A 와 O 를 지나는 직선과 A 와 Q 를 지나는 직선이 이루는 각을 θ 라 할 때, $\sin\theta$ 는? (단, $d \ll L$ 이다.)

- ① $\frac{1}{100}$ ② $\frac{1}{50}$ ③ $\frac{3}{100}$ ④ $\frac{1}{25}$ ⑤ $\frac{1}{20}$

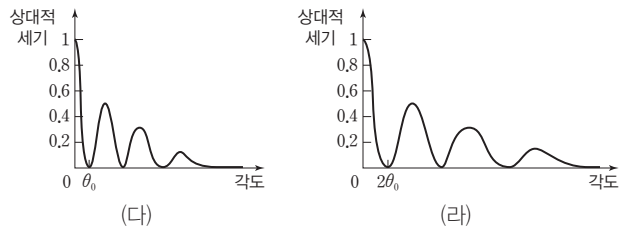
08 [22027-0234] 다음은 마이크로파를 이용하여 간섭을 확인하는 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 마이크로파 송신기와 수신기, 이중 슬릿을 그림과 같이 설치한다.
- (나) 송신기에서 파장이 λ_1 인 마이크로파를 발생시킨다.
- (다) 수신기의 각도 θ 를 0° 부터 증가시키며 마이크로파의 상대적 세기를 측정한다.
- (라) 송신기에서 파장이 λ_2 인 마이크로파를 발생시킨 후, 과정 (다)를 반복한다.



[실험 결과]



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

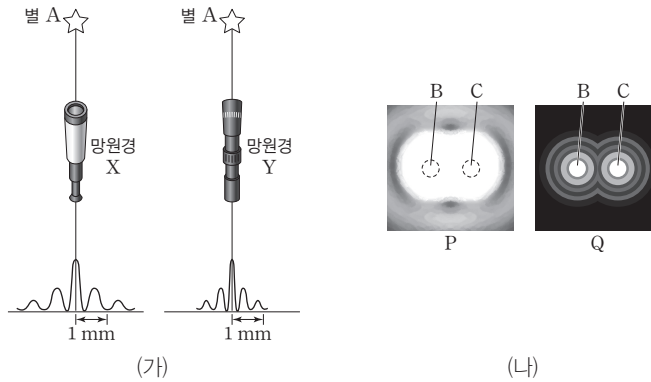
보기

- ㄱ. $\lambda_1 < \lambda_2$ 이다.
- ㄴ. 상쇄 간섭이 나타나는 지점에서 전자기파의 상대적 세기는 최대가 된다.
- ㄷ. 이중 슬릿을 지나 수신기에 도달한 마이크로파의 경로차는 (다)의 θ_0 에서와 (라)의 $2\theta_0$ 에서가 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

09 [22027-0235]

그림 (가)는 망원경 X, Y를 이용하여 별 A를 관측할 때 나타나는 회절 무늬를, (나)의 P, Q는 X, Y로 두 별 B, C를 관측한 결과를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

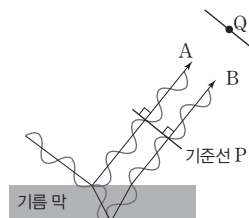
보기

- ㄱ. 분해능은 X가 Y보다 좋다.
- ㄴ. P는 X로 관측한 결과이다.
- ㄷ. (나)의 P에서 두 별의 상이 겹쳐 보이는 것은 빛의 회절에 의한 현상이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10 [22027-0236]

그림은 기름 막에 반사된 빛 A, B가 기준선 P를 수직으로 지나 진행하는 모습을 나타낸 것이다. P에서 A, B의 변위는 0으로 같고, A, B는 거의 평행하게 진행하여 Q에서 중첩된다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 기준선 P를 지나는 순간, A, B의 위상은 서로 같다.
- ㄴ. Q에서는 보강 간섭이 일어난다.
- ㄷ. 기름 막의 두께에 따라 보강 간섭이 일어나는 빛의 파장이 달라진다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

두 별이 가까이 있을 때에는 회절 현상이 나타나 두 별의 상이 겹쳐서 마치 하나의 별 처럼 보이므로, 두 별을 구분 하기 위해서는 회절의 영향을 줄여 분해능을 높여야 한다.

반사한 두 파동이 한 점에서 만날 때, 같은 위상으로 중첩 되면 보강 간섭이 일어나고, 반대 위상으로 중첩되면 상쇄 간섭이 일어난다.

개념 체크

● **소방차의 사이렌 소리:** 소방차에서 발생하는 사이렌 소리는 소방차의 움직임에 따라 다른 진동수로 관찰된다. 소방차가 관찰자를 향해 다가올 때는 사이렌 소리가 높음으로 들리고, 소방차가 관찰자와 멀어지는 방향으로 움직일 때는 사이렌 소리가 낮음으로 들린다.

1. 음원이 관찰자를 향해 다가올 때, 음원에서 발생하는 음파의 파장은 (), 관찰자가 측정하는 음파의 진동수는 ().
2. 음원이 관찰자로부터 멀어질 때, 음원에서 발생하는 음파의 파장은 (), 관찰자가 측정하는 음파의 진동수는 ().

1 도플러 효과

(1) **도플러 효과:** 파원이나 관찰자가 움직이게 되면 정지해 있을 때와는 다른 진동수의 파동을 관측하게 되는데, 이를 도플러 효과라고 한다. 파원과 관찰자가 서로 가까워지면 파동의 진동수가 커지고, 서로 멀어지면 파동의 진동수가 작아진다.



물결파의 도플러 효과

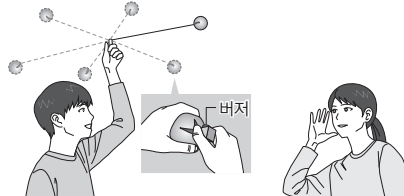
음파의 도플러 효과

전자기파의 도플러 효과

탐구자료 살펴보기 버저를 돌릴 때 들리는 소리 비교하기

과정

- (1) 공 안에 건전지를 연결한 버저를 넣는다.
- (2) 공을 줄에 매달아 지면에 나란한 방향으로 돌린다.
- (3) 버저가 다가올 때와 멀어질 때, 빠르게 다가올 때와 느리게 다가올 때 소리의 높낮이를 비교해 보자.



결과

- 버저가 가까이 다가올 때 높은 소리가 들리고, 멀어질 때 낮은 소리가 들린다.
- 버저가 빠르게 다가올 때가 느리게 다가올 때보다 더 높은 소리가 들린다.

point

• 음원에서 발생한 진동수는 일정하지만 음원의 운동에 따라 관찰자에게 진동수가 다른 소리, 즉 높낮이가 다른 소리로 들리는 도플러 효과를 직접 경험해 볼 수 있다.

(2) **음원이 움직일 때:** 파동의 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. 음원이 관찰자 쪽으로 가까이 다가오면 소리의 파장이 λ' 로 짧아진다. 소리의 속력은 음원이 정지해 있을 때와 동일하므로, 관찰자가 듣는 소리의 진동수가 커져서 더 높은 소리를 듣게 된다.

정답

1. 짧아지고, 커진다
2. 길어지고, 작아진다

개념 체크

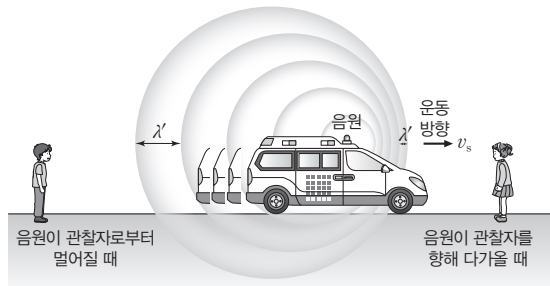
● 구급차의 사이렌 소리: 정지해 있는 구급차에서 발생하는 사이렌 소리는 관찰자의 움직임에 따라 다른 진동수로 관찰된다. 관찰자가 구급차를 향해 다가갈 때는 사이렌 소리가 높은음으로 들리고, 관찰자가 구급차와 멀어지는 방향으로 움직일 때는 사이렌 소리가 낮은음으로 들린다.

1. 관찰자가 음원을 향해 다가갈 때, 관찰자가 듣는 소리의 주기가 (), 관찰자가 측정하는 음파의 진동수는 ().
2. 관찰자가 음원으로부터 멀어질 때, 관찰자가 듣는 소리의 주기가 (), 관찰자가 측정하는 음파의 진동수는 ().

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{\lambda - \frac{v_s}{f}} = \frac{v}{\frac{v}{f} - \frac{v_s}{f}} = \left(\frac{v}{v - v_s} \right) f$$

② 음원이 정지해 있는 관찰자로부터 멀어질 때: 관찰자가 듣는 소리의 진동수 f' 는 다음과 같다. 음원이 관찰자로부터 멀어지면 소리의 파장이 λ' 로 길어진다. 소리의 속력은 음원이 정지해 있을 때와 동일하므로, 관찰자가 듣는 소리의 진동수가 작아져서 더 낮은 소리를 듣게 된다.

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{\lambda + \frac{v_s}{f}} = \frac{v}{\frac{v}{f} + \frac{v_s}{f}} = \left(\frac{v}{v + v_s} \right) f$$



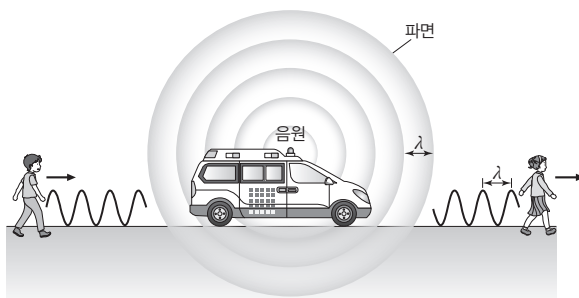
과학 돋보기 관찰자가 속력 v_0 로 움직일 때 도플러 효과

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

$$f' = \left(\frac{v \pm v_0}{v \mp v_s} \right) f \quad \left(\begin{array}{l} f': \text{관찰자가 듣는 소리의 진동수, } f: \text{소리의 진동수} \\ v: \text{소리의 속력, } v_s: \text{음원의 속력, } v_0: \text{관찰자의 속력} \end{array} \right)$$

정답

1. 짧아지고, 커진다
2. 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. 스피드건에서 발사한 전파가 야구공에 ()되어 되돌아올 때, 반사된 전파의 () 변화를 측정하면 야구공의 ()을 측정할 수 있다.

2. 지구로부터 멀어지고 있는 은하에서 방출된 빛의 흡수 스펙트럼은 ()이 일어나고, 지구로 다가오고 있는 은하에서 방출된 빛의 흡수 스펙트럼은 ()이 일어난다.

2 도플러 효과의 이용

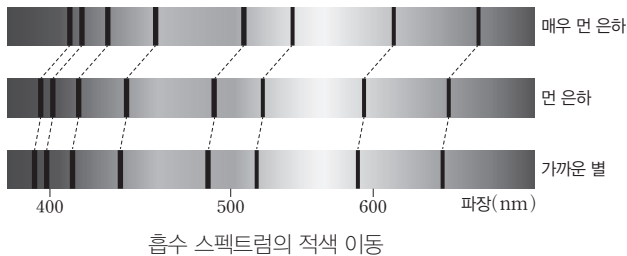
(1) **속력 측정**: 속력 측정 장치에서는 마이크로파나 적외선, 초음파를 내보내는데, 이 전자기파나 초음파가 다가오는 공이나 자동차에 부딪쳐 되돌아오면서 진동수가 커진다. 이러한 진동수 변화를 측정하여 도플러 효과로 투수가 던진 공의 속력이나 자동차의 속력을 알아낸다.



(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.

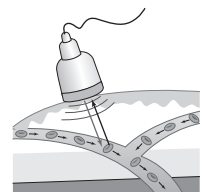


(3) **천체 관측**: 대부분의 은하에서 나오는 빛의 흡수 스펙트럼이 적색 이동(적색 편이)한다는 것으로부터 우주가 팽창하고 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 은하가 멀리 있을수록 적색 이동이 더 많이 나타난다.



흡수 스펙트럼의 적색 이동

이 외에도 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

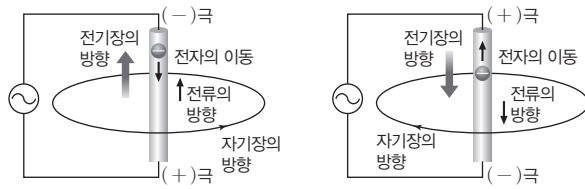
(1) **전기장에 의한 자기장의 변화**: 전원이 연결된 직선 도선 주위에 전기장이 생기고, 도선 내부의 전자가 전기력을 받아 이동하면 도선 주위에 자기장이 발생한다. 이때, 직선 도선에 연결하는 전원이 교류이면 전기장이 계속 변하게 되어 자기장도 계속 변하게 된다.

정답

1. 반사, 진동수, 속력
2. 적색 이동(편이), 청색 이동(편이)

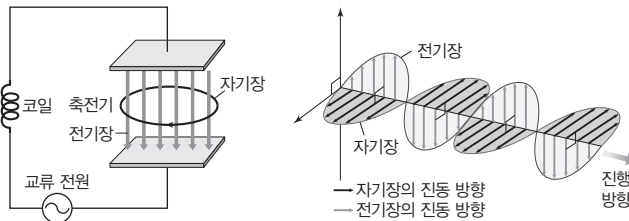
개념 체크

- **전자기파:** 전기장과 자기장의 진동이 주변 공간으로 퍼져 나가는 것을 전자기파라고 한다. 이때 전기장, 자기장, 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.

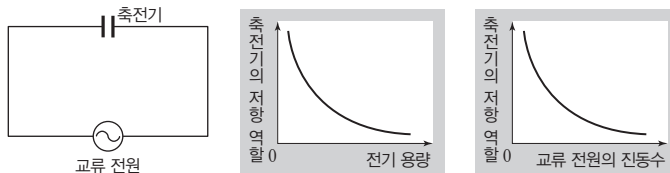
(3) **전자기파의 발생:** 그림과 같이 평행판 축전기를 교류 전원에 연결하면 평행판 사이에는 시간에 따라 변하는 전기장이 만들어진다. 전기장이 시간에 따라 변하면 진동하는 자기장이 유도되고, 다시 진동하는 자기장이 전기장을 유도하면서 공간으로 퍼져 나간다. 이렇게 발생한 전자기파는 공간으로 전파된다. 이때 전기장과 자기장은 진행 방향에 대하여 서로 수직으로 진동하며, 빛의 속력으로 전파된다.



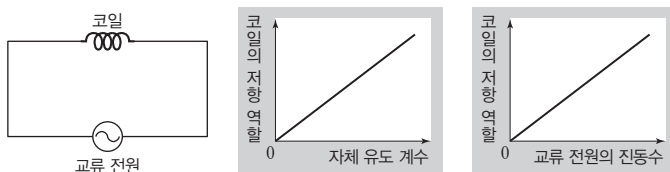
1. 전기장과 자기장의 진동 방향은 서로 ()이고, 전기장의 진동 방향과 전자기파의 진행 방향은 서로 ()이다.
2. 교류 전원의 진동수가 클수록 축전기의 저항 역할은 (), 코일의 저항 역할은 ()이다.

4 교류에서 코일과 축전기의 전기적 특성

(1) **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.



(2) **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.



정답

1. 수직, 수직
2. 작아지고, 커진다

개념 체크

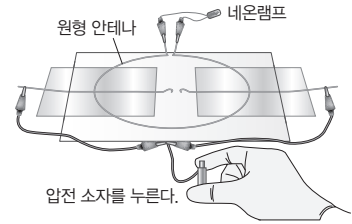
● 교류 회로에서의 공명: 교류 전원의 진동수가 공명 진동수일 때, 코일의 저항 역할과 축전기의 저항 역할이 같아진다. 이때 코일과 축전기가 함께 만들어내는 저항 역할이 최소가 되고, 회로에는 최대의 전류가 흐른다.

1. RLC 회로에서 최대 전류가 흐르는 교류 전원의 진동수를 ()라고 한다.
2. RLC 회로의 공명 진동수는 코일의 자체 유도 계수의 제곱근에 ()하고, 축전기의 전기 용량의 제곱근에 ()한다.

탐구자료 살펴보기 헤르츠의 전자기파 실험하기

과정

- (1) 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 두 장에 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

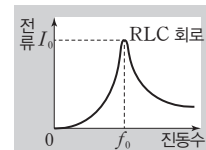
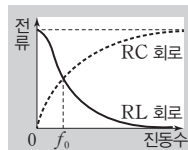
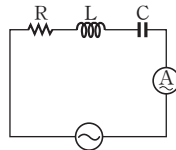
- 압전 소자를 누를 때 구리선 사이에서는 불꽃이 발생한다.
- 압전 소자를 누를 때 전자기파가 안테나에 수신되어 전류가 흐르게 되므로 네온램프에 빛이 난다.

point

- 구리선 사이에서 고전압에 의해 불꽃 방전이 일어나면서 전자기파가 발생한다.
- 안테나에서 전파를 수신하면 유도 전류가 흘러 네온램프에 불이 켜진다.
- 알루미늄 포일과 안테나 사이의 거리가 멀수록 네온램프의 불빛은 약해진다.

(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

코일의 저항 요소를 유도 리액턴스(X_L)라 부르며 그 값은 $X_L = 2\pi fL$ (f : 교류 전원의 진동수, L : 코일의 자체 유도 계수)이다. 즉, 코일의 저항 요소는 교류 전원의 진동수에 비례하고, 코일의 자체 유도 계수에 비례한다.

축전기의 저항 요소를 용량 리액턴스(X_C)라 부르며 그 값은 $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ (f : 교류 전원의 진동수, C : 축전기의 전기 용량)이다. 즉, 축전기의 저항 요소는 교류 전원의 진동수에 반비례하고, 축전기의 전기 용량에 반비례한다.

RLC 회로의 공명 진동수에서 코일의 저항 요소와 축전기의 저항 요소가 크기가 같고 위상이 반대이므로 서로 상쇄된다. $X_L = X_C$, 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 진동

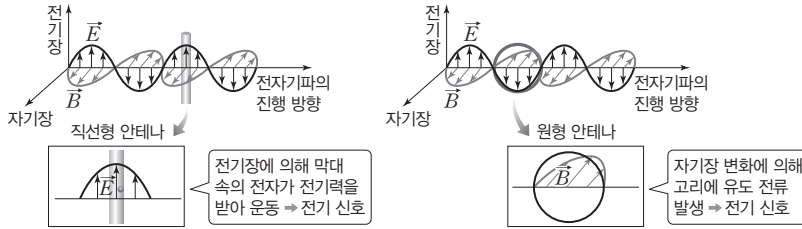
수는 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 이다.

정답

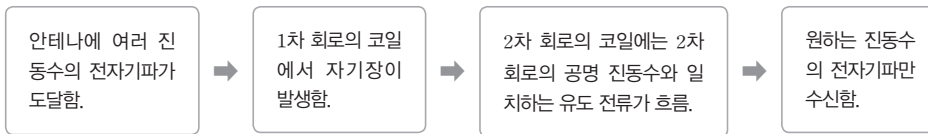
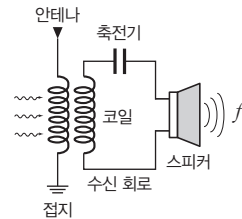
1. 공명 진동수
2. 반비례, 반비례

5 전자기파의 수신

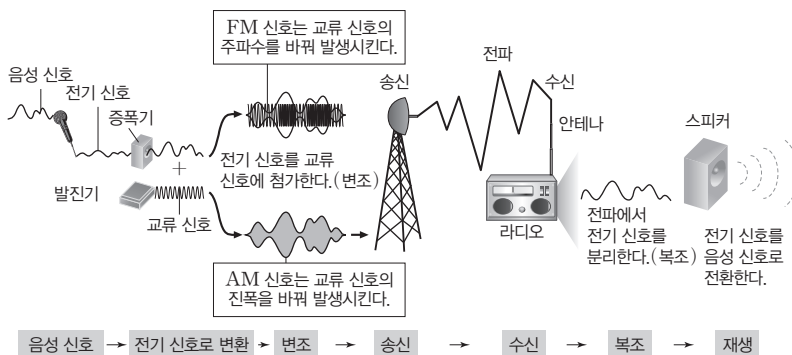
(1) **전자기파의 수신**: 안테나의 전자는 전자기파의 전기장으로부터 전기력을 받는다. 안테나에 들어오는 전자기파의 전기장은 시간에 따라 진동하기 때문에 안테나 속의 전자도 진동하게 된다. 따라서 안테나 속에는 교류가 흐르게 된다.



(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, (-)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 진동수나 진폭을 변화시키는 과정은 변조라 하고, 변조된 전파로부터 원래의 전기 신호를 분리하는 과정을 복조라 한다.


1. 직선형 안테나는 전자기파의 ()에 의해 전자가 진동하고, 원형 안테나는 전자기파의 ()의 변화에 의해 전자가 진동한다.
2. 라디오 송수신 과정: 소리 → () → 변조 → ()로 송신 → 복조 → 전기 신호 → 소리
3. 전기 신호에 교류 신호를 첨가하여 주파수를 변화시키는 과정을 (), 진폭을 변화시키는 과정을 ()라 한다.

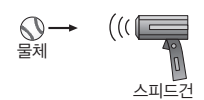
정답

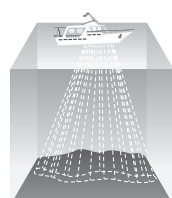
1. 전기장, 자기장
2. 전기 신호, 전파
3. 주파수 변조(FM), 진폭 변조(AM)

01 [22027-0237] 도플러 효과를 이용한 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

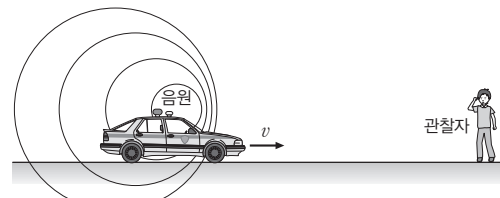
ㄱ.  초음파를 이용하여 먹이의 속력을 알아내는 박쥐

ㄴ.  전파를 이용하여 공의 속력을 측정하는 스피드건

ㄷ.  초음파를 이용하여 해저 지형을 측정하는 해저 지형 탐사기

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 [22027-0238] 다음은 도플러 효과에 대한 설명이다.



파장이 λ , 진동수가 f , 속력이 V 인 음파를 발생하는 음원이 정지한 관찰자를 향해 v 의 속력으로 가까워지면 관찰자가 듣는 음파의 파장 λ' 는 λ 보다 ㉠ ㉡, 즉, $\lambda' =$ ㉢ 이다. 따라서 관찰자가 듣는 음파의 진동수 f' 는 $f' =$ ㉣ 이다.

㉠~㉣에 들어갈 내용으로 옳은 것은?

- | | | | |
|--------|-------------------------|-------------------|---|
| | ㉠ | ㉡ | ㉢ |
| ① 길어진다 | $\frac{v}{f} - \lambda$ | $\frac{V+v}{v} f$ | |
| ② 길어진다 | $\lambda + \frac{v}{f}$ | $\frac{V}{V+v} f$ | |
| ③ 짧아진다 | $\lambda - \frac{v}{f}$ | $\frac{V+v}{v} f$ | |
| ④ 짧아진다 | $\frac{v}{f} - \lambda$ | $\frac{V}{V-v} f$ | |
| ⑤ 짧아진다 | $\lambda - \frac{v}{f}$ | $\frac{V}{V-v} f$ | |

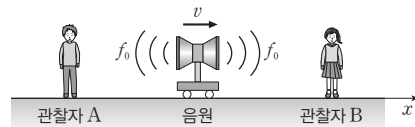
03 [22027-0239] 그림과 같이 음원 A는 음파 측정기를 향해, 음원 B는 음파 측정기와 멀어지는 방향으로 v 의 속력으로 각각 등속 직선 운동한다. A, B는 같은 진동수의 음파를 발생시키고, 음파 측정기는 정지해 있다.



음파 측정기가 측정하는 A, B의 진동수가 각각 $2f, f$ 일 때, v 는? (단, 음속은 V 이다.)

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

04 [22027-0240] 그림은 $+x$ 방향으로 v 의 속력으로 등속 직선 운동을 하는 음원과 정지해 있는 관찰자 A, B가 x 축상에 있는 모습을 나타낸 것이다. 음원은 진동수가 f_0 인 음파를 발생시킨다. A, B가 측정한 음파의 진동수는 $2f_0, f'$ 중 하나이다.



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

보기

ㄱ. A가 측정한 음파의 진동수는 $2f_0$ 이다.

ㄴ. $v = \frac{1}{4}V$ 이다.

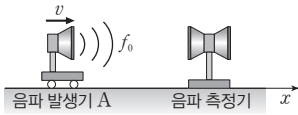
ㄷ. $f' = \frac{2}{3}f_0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

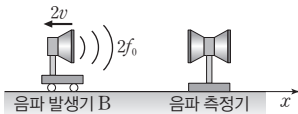
05 [22027-0241] 다음은 도플러 효과에 대한 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 음파 발생기 A에서 진동수가 f_0 인 음파를 발생시킨다.
- (나) A를 $+x$ 방향으로 속력 v 로 등속도 운동시킨 후, 정지해 있는 음파 측정기로 음파의 진동수를 측정한다.



- (다) 음파 발생기 B에서 진동수가 $2f_0$ 인 음파를 발생시킨다.
- (라) B를 $-x$ 방향으로 속력 $2v$ 로 등속도 운동시킨 후, 정지해 있는 음파 측정기로 음파의 진동수를 측정한다.



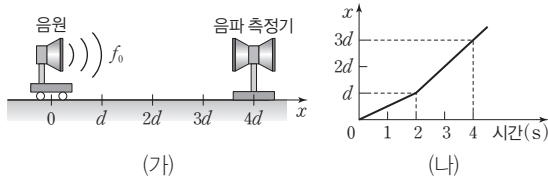
[실험 결과]

	음파 측정기로 측정한 음파의 진동수
(나)	f
(라)	f

f 는?

- ① $\frac{7}{6}f_0$ ② $\frac{6}{5}f_0$ ③ $\frac{5}{4}f_0$ ④ $\frac{4}{3}f_0$ ⑤ $\frac{3}{2}f_0$

06 [22027-0242] 그림 (가)는 $x=4d$ 인 지점에 고정되어 있는 음파 측정기와 진동수가 f_0 인 음파를 발생시키는 음원의 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 음원의 위치 x 를 시간에 따라 나타낸 것이다. 1초, 3초일 때 음파 측정기에서 측정한 음파의 진동수는 각각 $f, \frac{3}{2}f$ 이다.

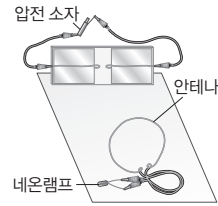


f 는?

- ① $\frac{6}{5}f_0$ ② $\frac{5}{4}f_0$ ③ $\frac{4}{3}f_0$ ④ $\frac{3}{2}f_0$ ⑤ $2f_0$

07 [22027-0243] 다음은 헤르츠의 전자기파 실험에 대한 설명이다.

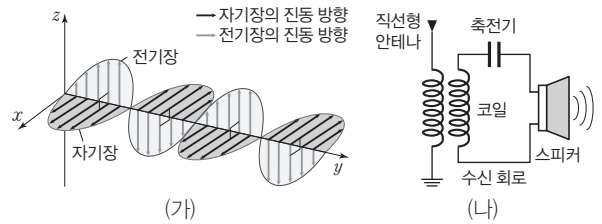
압전 소자를 눌러 전기 불꽃 방전을 일으키면 ㉠가 발생한다. 이 ㉠는 원형 안테나에서 ㉡되어 ㉢를 발생시키고, 이 ㉢에 의해 네온램프에서는 빛이 방출된다.



㉠~㉢에 들어갈 것으로 옳은 것은?

- | | | | |
|--------|----|-------|---|
| | ㉠ | ㉡ | ㉢ |
| ① 전자기파 | 수신 | 직류 전류 | |
| ② 전자기파 | 송신 | 교류 전류 | |
| ③ 전자기파 | 수신 | 교류 전류 | |
| ④ 음파 | 송신 | 직류 전류 | |
| ⑤ 음파 | 수신 | 직류 전류 | |

08 [22027-0244] 그림 (가)는 전기장과 자기장의 진동으로 전파되는 전자기파를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 전자기파를 수신하여 스피커에서 소리가 나오는 모습을 나타낸 것이다. (가)의 전자기파의 진동수와 (나)의 수신 회로의 공명 진동수는 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 (보기)에서 있는 대로 고른 것은?

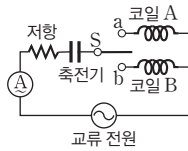
- 【 보기 】
- ㄱ. (가)에서 전기장과 자기장은 서로 수직이다.
 - ㄴ. (나)에서 안테나의 전자는 전기력을 받아 진동한다.
 - ㄷ. (나)에서 축전기의 전기 용량을 증가시키면 수신 회로에 흐르는 전류의 세기가 증가한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

09 [22027-0245] 다음은 교류 회로의 공명 진동수를 측정하는 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 그림과 같이 회로를 구성하고, 스위치 S를 단자 a에 연결한다.
- (나) 교류 전원의 진동수를 변화시키며, 전류의 세기가 최대가 되는 교류 전원의 진동수를 찾는다.
- (다) S를 단자 b에 연결하고, 과정 (나)를 반복한다.



[실험 결과]

스위치 S	최대 전류가 흐르는 교류 전원의 진동수	전류계에 측정된 최대 전류의 세기
a에 연결	f_0	I_a
b에 연결	$2f_0$	I_b

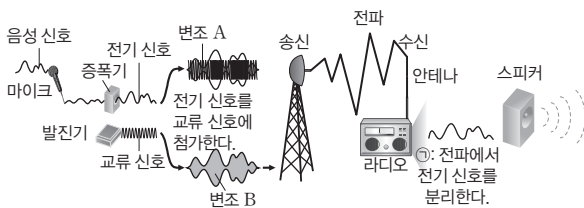
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 코일은 진동수가 큰 교류 전류를 잘 흐르지 못하게 하는 성질이 있다.
- ㄴ. 코일의 자체 유도 계수는 A가 B보다 크다.
- ㄷ. $I_a < I_b$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10 [22027-0246] 그림은 라디오 방송 통신의 송수신 과정을 나타낸 것이다. 변조 A, B는 주파수 변조와 진폭 변조를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 마이크는 소리 신호를 전기 신호로 전환시킨다.
- ㄴ. A는 주파수 변조이다.
- ㄷ. 과정 ㉠은 복조이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

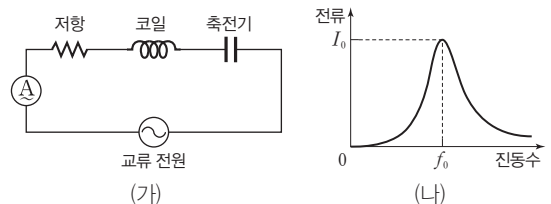
11 [22027-0247] 다음은 전자기파를 수신하는 직선형 안테나와 수신 회로에 대한 설명이다.

안테나에서는 전자기파를 수신하여 ㉠가 흐른다. 이때 1차 코일에 흐르는 전류에 의해 형성된 ㉡이 2차 코일에 영향을 준다. 2차 코일에서 발생하는 유도 전류의 세기는 수신 회로의 공명 진동수와 전자기파의 진동수가 일치할 때 가장 ㉢.

㉠~㉢에 들어갈 것으로 옳은 것은?

- | | | | |
|---------|-----|----|---|
| | ㉠ | ㉡ | ㉢ |
| ① 교류 전류 | 자기장 | 크다 | |
| ② 교류 전류 | 전기장 | 크다 | |
| ③ 교류 전류 | 자기장 | 작다 | |
| ④ 직류 전류 | 전기장 | 작다 | |
| ⑤ 직류 전류 | 자기장 | 크다 | |

12 [22027-0248] 그림 (가)와 같이 전압의 최댓값이 일정한 교류 전원, 저항, 코일, 축전기로 회로를 구성하였다. 그림 (나)는 (가)에서 회로에 흐르는 전류의 세기를 교류 전원의 진동수에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

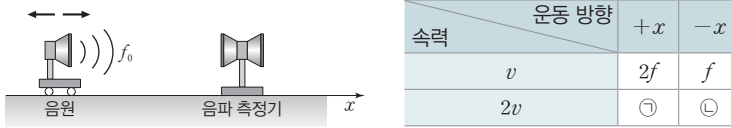
보기

- ㄱ. 축전기는 진동수가 작은 교류 전류를 잘 흐르지 못하게 하는 성질이 있다.
- ㄴ. (가)에서 코일의 자체 유도 계수만을 증가시키면 회로의 공명 진동수는 f_0 보다 커진다.
- ㄷ. (가)에서 저항값만을 감소시키면, 교류 전원의 진동수가 f_0 일 때 전류계에 측정되는 전류의 세기는 I_0 보다 커진다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

01 [22027-0249]

그림은 x 축상에서 진동수가 f_0 인 음파를 발생시키며 등속 직선 운동을 하는 음원과 정지해 있는 음파 측정기를 나타낸 것이다. 표는 음원의 운동 방향과 속력에 따라 음파 측정기에서 측정된 음파의 진동수를 나타낸 것이다.



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

보기

ㄱ. $v = \frac{1}{3}V$ 이다.

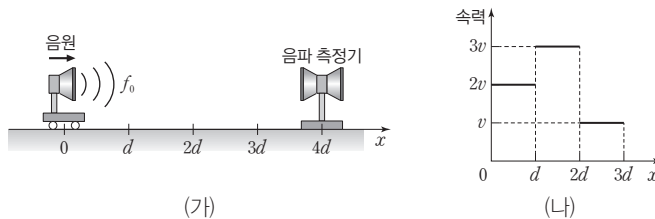
ㄴ. $f = \frac{3}{4}f_0$ 이다.

ㄷ. $\frac{\text{㉡}}{\text{㉠}} = \frac{1}{5}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 [22027-0250]

그림 (가)는 $x = 4d$ 인 지점에 고정되어 있는 음파 측정기와 일정한 진동수 f_0 인 음파를 발생시키며 $x = 0$ 인 지점을 속력 $2v$ 로 통과하는 음원의 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 음원의 속력을 x 에 따라 나타낸 것이다.



음파 측정기가 측정된 음파의 진동수를 음원의 위치에 따라 나타낸 것으로 가장 적절한 것은? (단, 음원은 $+x$ 방향으로 움직이고, 음원의 속력은 소리의 속력보다 작다.)

- ① 진동수 vs x graph: f_0 from 0 to d, f_0 from d to 2d, f_0 from 2d to 3d.
- ② 진동수 vs x graph: f_0 from 0 to d, f_0 from d to 2d, f_0 from 2d to 3d.
- ③ 진동수 vs x graph: f_0 from 0 to d, f_0 from d to 2d, f_0 from 2d to 3d.
- ④ 진동수 vs x graph: f_0 from 0 to d, f_0 from d to 2d, f_0 from 2d to 3d.
- ⑤ 진동수 vs x graph: f_0 from 0 to d, f_0 from d to 2d, f_0 from 2d to 3d.

속력이 V , 진동수가 f_0 인 음파를 발생하는 음원이 속력 v 로 운동하는 경우, 정지해 있는 관찰자가 측정된 음파의 진동수 f 는 다음과 같다.

$$f = \frac{V}{V \mp v} f_0$$

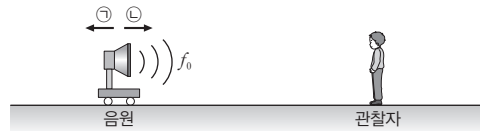
(- : 음원이 관찰자에 가까워지는 경우)

(+ : 음원이 관찰자로부터 멀어지는 경우)

음원이 관찰자에게로 다가오는 속력이 빠를수록 음원이 발생하는 음파의 진동수는 더 크게 측정된다. 음원이 관찰자로부터 멀어지는 속력이 빠를수록 음원이 발생하는 음파의 진동수는 더 작게 측정된다.

음원이 관찰자 쪽으로 운동하면 음원에서 발생하는 음파의 진동수는 원래보다 크게 측정되고, 음원이 관찰자로부터 멀어지는 방향으로 운동하면 음원에서 발생하는 음파의 진동수는 원래보다 작게 측정된다.

03 [22027-0251] 그림은 정지해 있는 관찰자와 동일 직선상에서 속력 v 로 등속 직선 운동을 하는 음원의 모습을 나타낸 것이다. 음원에서 발생하는 음파의 진동수는 f_0 이고, 관찰자가 측정한 음파의 진동수는 f_1 이다. 음원의 운동 방향은 유지한 채 음원의 속력만을 $2v$ 로 변화시킬 때, 관찰자가 측정한 음파의 진동수는 $\frac{3}{2}f_1$ 이다.



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

보기

ㄱ. 음원의 운동 방향은 ㉠이다.
 ㄴ. $v = \frac{1}{4}V$ 이다.
 ㄷ. $f_1 = \frac{4}{3}f_0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

버스 안에 앉아 있는 관찰자 A에 대해 음파 발생기는 정지해 있다. 따라서 A가 측정 한 음파의 진동수는 f_0 이다.

04 [22027-0252] 그림과 같이 동일 직선상에서 관찰자 A가 탄 버스가 일정한 속력으로 관찰자 B를 향해 운동한다. 버스에 붙어 있는 음파 발생기는 A, B를 향해 진동수 f_0 인 음파를 발생시킨다. A, B는 각각 버스, 지면에 대해 정지해 있다.



A가 측정한 음파의 진동수는 B가 측정한 음파의 진동수의 $\frac{4}{5}$ 배일 때, B가 측정한 버스의 속력은? (단, 음속은 V 이다.)

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

[22027-0253]

05 그림과 같이 음원 A, B가 각각 진동수 f_A, f_B 인 음파를 발생시키며 동일 직선상에서 각각 $2v, v$ 의 속력으로 운동하고 있다. A, B에서 발생한 음파의 진동수를 같은 직선상에 정지해 있는 음파 측정기로 측정했을 때 f' 로 같다.

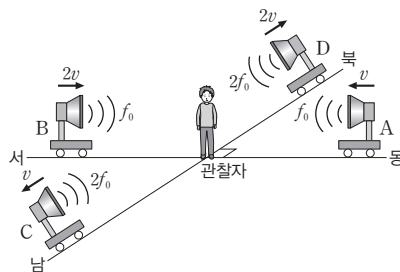


f_A, f_B, f' 의 크기를 옳게 비교한 것은?

- ① $f_A < f' < f_B$ ② $f_B < f' < f_A$ ③ $f_A < f_B < f'$
 ④ $f_B < f_A < f'$ ⑤ $f' < f_A < f_B$

[22027-0254]

06 그림과 같이 음원 A, B, C, D는 관찰자의 동쪽, 서쪽, 남쪽, 북쪽에서 각각 $v, 2v, v, 2v$ 의 속력으로 운동한다. A와 B에서 발생하는 음파의 진동수는 f_0 , C와 D에서 발생하는 음파의 진동수는 $2f_0$ 이다. A와 B는 관찰자와 가까워지는 방향으로, C와 D는 관찰자와 멀어지는 방향으로 등속 직선 운동을 한다. 정지해 있는 관찰자가 측정한 A, B, C, D에서 발생하는 음파의 진동수는 각각 f_A, f_B, f_C, f_D 이다. 음속은 V 이고, $v < \frac{V}{2}, f_A > f_C$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

| 보기 |

- ㄱ. $f_A > f_0$ 이다.
 ㄴ. $f_B > f_D$ 이다.
 ㄷ. $v > \frac{1}{3}V$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

음원이 관찰자 쪽으로 운동하면 음원에서 발생하는 음파의 진동수는 원래보다 크게 측정되고, 음원이 관찰자로부터 멀어지는 방향으로 운동하면 음원에서 발생하는 음파의 진동수는 원래보다 작게 측정된다.

속력이 V , 진동수가 f_0 인 음파를 발생하는 음원이 속력 v 로 운동하는 경우, 정지해 있는 관찰자가 측정한 음파의 진동수 f 는 다음과 같다.

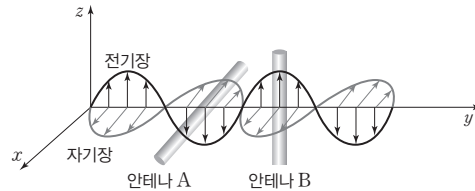
$$f = \frac{V}{V \mp v} f_0$$

(- : 음원이 관찰자에 가까워지는 경우)

(+ : 음원이 관찰자로부터 멀어지는 경우)

전자기파의 전기장과 자기장의 진동 방향은 전자기파의 진행 방향에 대하여 서로 수직이다. 직선형 안테나의 전자는 전기장과 반대 방향으로 전기력을 받아서 진동한다.

07 [22027-0255] 그림은 시간 $t=t_0$ 일 때, 직선형 안테나 A, B가 전자기파를 수신하는 모습을 나타낸 것이다. 전기장, 자기장의 진동 방향은 각각 z 축, x 축과 나란하고, 전자기파의 진행 방향은 $+y$ 방향이다. A, B는 각각 x 축, z 축과 나란하게 놓여 있다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

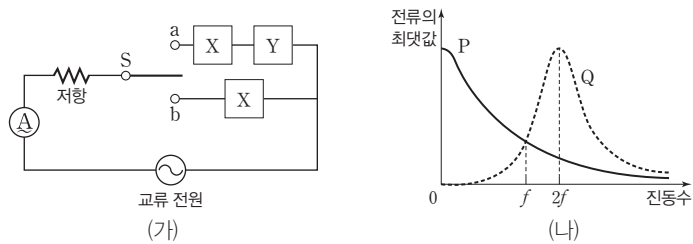
보기

- ㄱ. 전기장과 자기장은 서로를 유도하며 퍼져 나간다.
- ㄴ. $t=t_0$ 일 때, 안테나 A에서 전자는 x 축과 나란한 방향으로 운동한다.
- ㄷ. $t=t_0$ 일 때, 안테나 B에서 전자는 $+z$ 방향으로 전기력을 받는다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

교류 전원에 저항, 코일, 축전기가 연결될 때 교류 전원의 진동수가 공명 진동수일 때 회로에는 최대의 전류가 흐른다.

08 [22027-0256] 그림 (가)와 같이 전압의 최댓값이 일정한 교류 전원에 저항, 스위치 S, 전기 소자 X, Y를 이용하여 회로를 구성하였다. X, Y는 코일, 축전기 중 하나이다. 그림 (나)는 (가)에서 회로에 흐르는 전류의 최댓값을 교류 전원의 진동수에 따라 나타낸 것이다. P, Q는 S를 단자 a, b에 연결했을 때의 결과를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

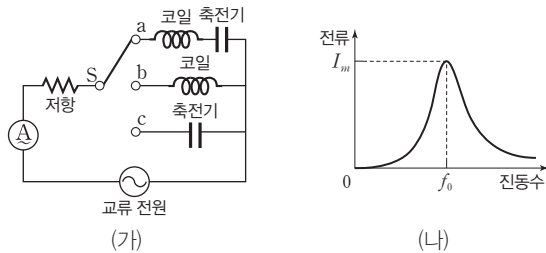
보기

- ㄱ. Q는 S를 b에 연결했을 때의 결과이다.
- ㄴ. X는 코일이다.
- ㄷ. S를 a에 연결한 상태에서 교류 전원의 진동수가 f 일 때, 전기 소자에 걸리는 전압의 최댓값은 X에서 Y에서보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

09 [22027-0257]

그림 (가)와 같이 전압의 최댓값이 일정한 교류 전원, 저항, 코일, 축전기를 이용하여 구성한 회로에서 스위치 S를 단자 a에 연결하였다. 두 축전기의 전기 용량은 C로 같고, 두 코일의 자체 유도 계수는 L로 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.



교류 전원에는 저항, 코일, 축전기가 연결될 때, 전류의 세기가 최대가 되는 공명 진동수는 다음과 같다.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

(L: 코일의 자체 유도 계수, C: 축전기의 전기 용량)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 이다.

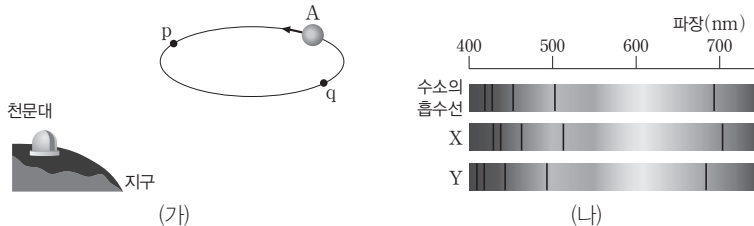
ㄴ. S를 단자 b에 연결하고 교류 전원의 진동수가 $\frac{1}{2}f_0$ 일 때, 전류계로 측정된 전류의 세기는 I_m 보다 크다.

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

10 [22027-0258]

그림 (가)는 별 A가 점 p를 지나며 지구와 가까워지고, 점 q를 지나며 지구와 멀어지는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 수소 흡수 스펙트럼을 나타낸 것으로, X, Y는 A가 p, q를 지나는 순간 A의 수소 흡수 스펙트럼을 순서 없이 나타낸 것이다.



별이 지구로부터 멀어지고 있으면 별의 수소 흡수 스펙트럼이 붉은색 쪽으로 이동하고, 가까워지고 있으면 청색 쪽으로 이동한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. X는 청색 편이가 일어난 것이다.

ㄴ. Y는 A가 p를 지나는 순간 A의 수소 흡수 스펙트럼이다.

ㄷ. (가)에서 A가 p, q를 지나는 속력이 클수록 (나)에서 편이가 일어나는 정도가 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

개념 체크

- **볼록 렌즈의 초점:** 렌즈의 초점은 2개이며, 렌즈와 각 초점 사이의 거리는 같다.
- **실상과 허상:** 빛이 실제로 모여서 생기는 상은 실상, 빛의 연장선이 모여서 생기는 상은 허상이다.

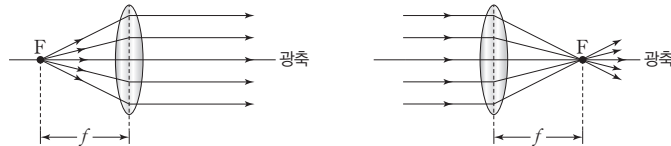
1. 광축에 ()하게 입사한 광선은 렌즈를 통과한 후 초점을 지난다.
2. 볼록 렌즈의 중심을 지나는 광선은 그대로 ()한다.
3. 렌즈를 통과한 빛이 진행하여 스크린에 모여 만든 상을 ()이라 하고, 렌즈를 지난 광선의 연장선이 모여서 생기는 상을 ()이라고 한다.
4. 렌즈에 의해 생긴 상의 방향이 물체의 방향과 () 상을 정립상이라고 하고, 상의 방향이 물체의 방향과 ()인 상을 도립상이라고 한다.

1 볼록 렌즈에 의한 상

(1) **볼록 렌즈:** 가장자리보다 가운데 부분이 더 두꺼워 입사 광선을 광축 방향으로 모으는 렌즈

① 볼록 렌즈의 초점(F)

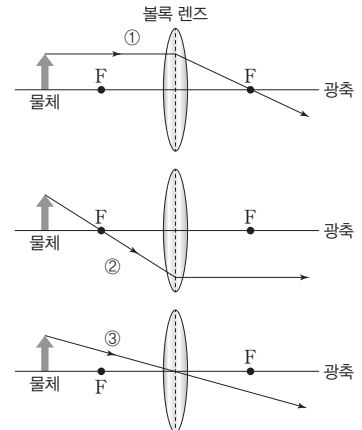
- 초점에서 퍼져 나가는 빛은 렌즈에서 굴절된 후 광축에 나란하게 진행한다.
- 광축에 나란하게 입사한 빛은 렌즈에서 굴절된 후 초점에 모인다.



② **초점 거리(f):** 렌즈의 중심에서 초점(F)까지의 거리로, 볼록 렌즈의 초점은 양쪽에 같은 초점 거리로 하나씩 있다.

(2) 볼록 렌즈에 의한 광선의 경로(광선 추적)

- ① 광축에 나란하게 입사한 광선은 초점(F)을 지난다.
- ② 초점(F)을 지나 입사한 광선은 볼록 렌즈에서 굴절된 후 광축과 나란하게 진행한다.
- ③ 볼록 렌즈의 중심을 지나는 광선은 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 연장선을 그어 상의 위치를 찾을 수 있다.

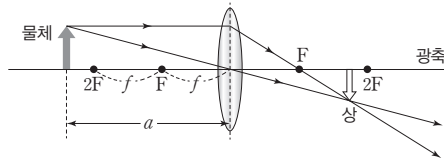
정답

1. 나란
2. 직진
3. 실상, 허상
4. 같은, 반대

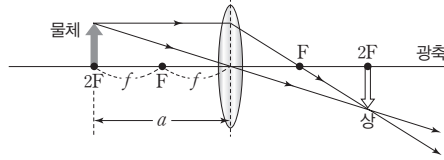
(4) 볼록 렌즈에 의한 물체의 상

① 물체가 초점보다 멀리 있을 때: 물체의 한 점에서 퍼져 나간 빛이 렌즈를 통과한 후 다시 한 점으로 모이므로 거꾸로 선 실상이 생긴다.

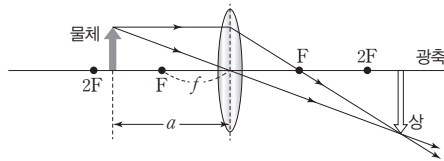
- 물체와 렌즈 사이의 거리가 초점 거리의 두 배보다 길 때($a > 2f$): 물체보다 작은 상이 생긴다.



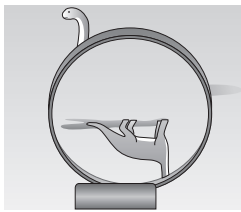
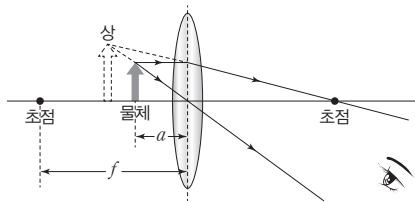
- 물체와 렌즈 사이의 거리가 초점 거리의 두 배일 때($a = 2f$): 물체와 같은 크기의 상이 생긴다.



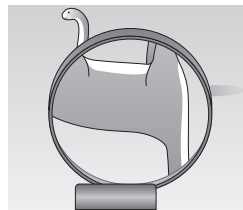
- 물체와 렌즈 사이의 거리가 초점 거리의 두 배보다 짧을 때($f < a < 2f$): 물체보다 큰 상이 생긴다.



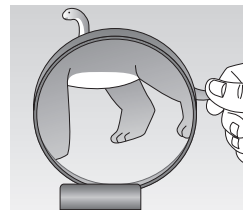
② 물체가 초점보다 가까이 있을 때($a < f$): 렌즈를 통과한 빛이 서로 퍼져 나가므로 렌즈의 뒤 쪽에는 상이 맺히지 않지만, 렌즈를 통해 눈으로 물체를 바라볼 때 광선의 연장선의 교점, 즉 렌즈의 앞쪽에 물체보다 크고 바로 선 허상이 생긴다.



축소 도립 실상
($a > 2f$ 일 때)



확대 도립 실상
($f < a < 2f$ 일 때)



확대 정립 허상
($a < f$ 일 때)

개념 체크

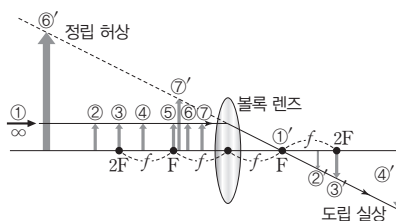
● 볼록 렌즈에 의한 상

- 물체가 초점보다 멀리 있을 때: 거꾸로 선 실상이 생긴다.
- 물체가 초점보다 가까이 있을 때: 렌즈의 앞쪽에 물체보다 크고 바로 선 허상이 생긴다.

1. 물체가 볼록 렌즈의 중심에서부터 초점 거리의 2배보다 멀리 있을 때 렌즈에 의한 상은 () 도립 실상이다.
2. 물체와 렌즈 사이 거리가 초점 거리 () 배일 때 물체와 같은 크기의 도립 실상이 생긴다.
3. 물체를 볼록 렌즈의 () 에 놓으면 상이 생기지 않는다.
4. 물체가 볼록 렌즈의 중심으로부터 초점보다 (가까이, 멀리) 있을 때 렌즈에 의한 상은 확대 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 렌즈로 가까워지고 상의 크기는 점점 작아진다.



정답

1. 축소
2. 2
3. 초점
4. 가까이

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. 렌즈와 물체 사이의 거리가 20 cm, 렌즈와 상 사이의 거리가 20 cm이면 렌즈의 초점 거리는 () cm이다.

2. 케플러식 굴절 망원경에서 () 렌즈에 의한 상은 실상이고, () 렌즈에 의한 상은 허상이다.

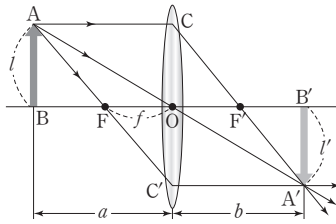
3. 광학 현미경에서 대물렌즈에 의해 확대된 ()이, 접안렌즈에 의해 더욱더 확대된 ()이 보인다.

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.

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

위의 방정식에서 물체가 렌즈 앞에 있을 때, a 의 부호를 (+)로 정하면 b 의 부호는 상의 종류에 따라 정해진다. 상이 렌즈 뒤에 생기는 실상의 경우 b 는 (+)값을, 상이 렌즈 앞에 생기는 허상의 경우 b 는 (-)값으로 나타난다.



(2) 배율(M): 물체의 크기와 상의 크기의 비율을 배율이라고 한다. 위의 그림과 같이 상이 생길 때, $\triangle ABO$ 와 $\triangle A'B'O$ 는 닮음이므로 배율 M 은 다음과 같다.

$$M = \frac{l'}{l} = \left| \frac{b}{a} \right|$$

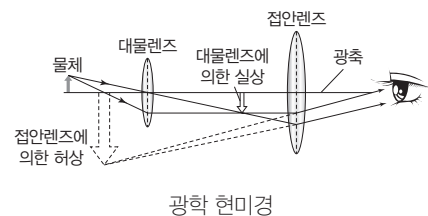
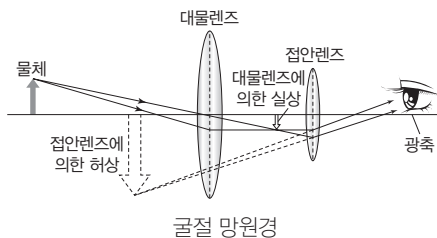
과학 돋보기 렌즈 방정식의 유도

위의 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 이용하여 멀리 있는 물체를 관측하는 장치로, 초점 거리가 긴 대물렌즈는 물체에서 나오는 빛을 모아 실상을 만들고, 이 실상은 초점거리가 짧은 접안렌즈에 의해 확대된 허상으로 보인다.

(2) 광학 현미경: 두 개의 볼록 렌즈를 이용하여 가까운 곳의 작은 물체를 관측하는 장치로, 대물렌즈에 의해 확대된 실상이, 접안렌즈에 의해 더욱 확대된 허상으로 보인다.



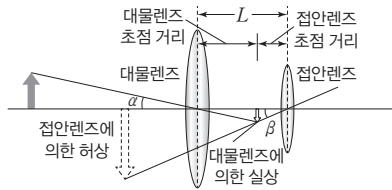
정답

1. 10
2. 대물, 접안
3. 실상, 허상

과학 돋보기 **두 개의 볼록 렌즈를 이용한 망원경 배율 구하기**

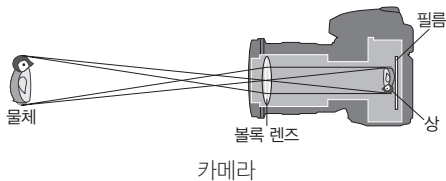
- L 은 대물렌즈의 초점 거리 $f_{\text{대물}}$ 과 접안렌즈의 초점 거리 $f_{\text{접안}}$ 의 합이다.
- 물체의 크기를 A , 대물렌즈에 의한 실상의 크기를 B , 접안렌즈에 의한 허상의 크기를 C 라고 할 때 물체의 위치가 두 렌즈로부터 먼 곳에 있으므로 망원경의 배율은 다음과 같다.

$$\frac{C}{A} = \frac{\tan\beta}{\tan\alpha} = \frac{\frac{B}{f_{\text{접안}}}}{\frac{B}{f_{\text{대물}}}} = \frac{f_{\text{대물}}}{f_{\text{접안}}}$$



(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.



개념 체크

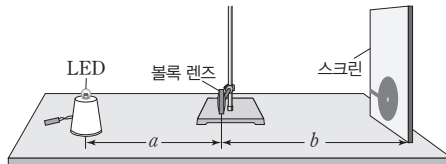
- **카메라:** 볼록 렌즈에서 굴절된 빛이 필름 또는 CCD에 도달하여 상이 맺힌다.
- **볼록 렌즈를 이용한 태양 전지:** 볼록 렌즈 아래에 태양 전지를 설치하면, 렌즈가 빛을 모아 태양 전지에 보내게 되어 에너지 전환 효율이 높아진다.

1. 광원에서 렌즈까지 거리를 a , 렌즈에서 상까지 거리를 b 라 할 때 렌즈의 초점 거리 f 는 ()이다.
2. 볼록 렌즈의 초점 거리 구하기 실험에서 스크린에 맺히는 상은 (도립, 정립) 실상이다.
3. 볼록 렌즈의 초점 거리 구하기 실험에서 LED와 렌즈 사이의 거리가 15 cm, 렌즈의 초점 거리가 10 cm이면 렌즈와 상 사이 거리는 () cm이다.

탐구자료 살펴보기 **볼록 렌즈의 초점 거리 구하기**

과정

(1) 그림과 같이 LED, 볼록 렌즈, 스크린을 설치하고, 다른 조명을 차단하여 교실을 어둡게 만든다.



- (2) 스크린에 선명한 상이 맺히도록 렌즈와 스크린 사이의 거리를 조절한다.
- (3) 스크린에 선명한 상이 맺혔을 때, LED와 렌즈 사이의 거리 a 와 렌즈와 스크린 사이의 거리 b 를 측정한다.
- (4) 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	$f = \frac{30 \times 30}{30 + 30} = 15 \text{ (cm)}$

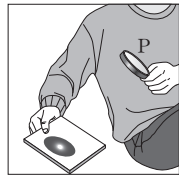
point

- 광원과 렌즈 사이의 거리(a)를 렌즈의 초점 거리(f)보다 더 크게 하였을 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 가까이 하였을 때는 허상이 생기므로 스크린에 상이 맺히지 않는다.

정답

1. $\frac{ab}{a+b}$
2. 도립
3. 30

01 [22027-0259] 그림은 렌즈 P를 통해 종이에 빛을 모으는 것을 보고 학생 A, B, C가 대화하는 것을 나타낸 것이다.



P는 볼록 렌즈야.

P에 의해 만들어지는 도립상은 허상이지.

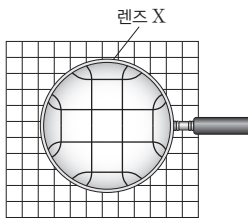
P에 의해 물체보다 작은 상을 만들 수 있어.



옳은 내용을 제시한 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A ② C ③ A, B ④ A, C ⑤ B, C

02 [22027-0260] 그림은 렌즈 X를 통해 모눈종이를 위에서 내려다 보았더니, 확대된 상이 보인 것을 나타낸 것으로 모눈종이는 X의 초점 거리 안쪽에 있다.



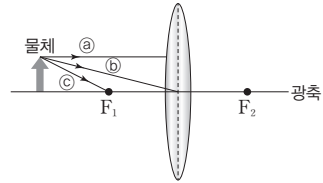
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. X는 오목 렌즈이다.
 ㄴ. X에 의한 상은 실상이다.
 ㄷ. X로는 실상과 허상을 모두 얻을 수 있다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

03 [22027-0261] 다음은 볼록 렌즈를 향해 입사하는 광선의 진행 경로를 나타낸 것으로 물체는 렌즈의 초점 거리 밖에 있다.



- ㉑: 광축에 나란하게 입사한 광선이다.
 - ㉒: 렌즈의 중심을 향해 입사한 광선이다.
 - ㉓: 초점을 향해 입사한 광선이다.
- ※ F_1, F_2 는 초점이다.

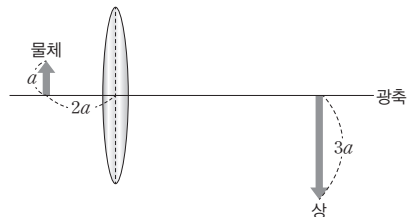
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. F_2 를 지나는 빛은 ㉑이다.
 ㄴ. ㉒는 렌즈를 통과한 후 광축에 나란하게 진행한다.
 ㄷ. 실상이 생긴다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

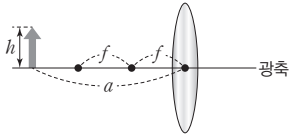
04 [22027-0262] 그림과 같이 크기가 a 인 물체를 볼록 렌즈로부터 $2a$ 만큼 떨어진 지점의 광축에 놓았더니 크기가 $3a$ 인 상이 생겼다.



초점 거리는?

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

05 [22027-0263] 그림은 초점 거리가 f 인 볼록 렌즈 왼쪽에 크기가 h 인 물체가 놓여 있는 것을, 표는 물체와 렌즈 사이 거리 a 와 볼록 렌즈에 의한 상의 크기를 나타낸 것이다.

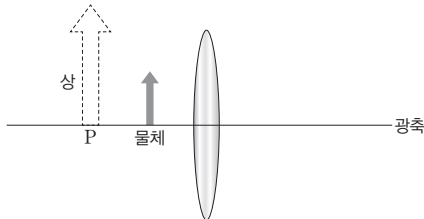


a	상의 크기
$a > 2f$	h_A
$f < a < 2f$	h_B
$a < f$	h_C

$h_A \sim h_C$ 중 볼록 렌즈에 의한 상의 크기가 h 보다 큰 경우만을 있는 대로 고른 것은?

- ① h_A ② h_B ③ h_A, h_C ④ h_B, h_C ⑤ h_A, h_B, h_C

06 [22027-0264] 그림은 물체를 볼록 렌즈 앞에 놓았더니 볼록 렌즈에 의해 상 P가 생기는 것을 나타낸 것이다.



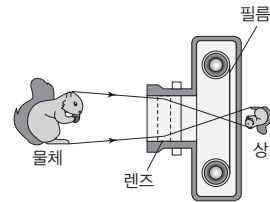
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 물체는 렌즈의 초점 거리 밖에 있다.
 - ㄴ. P 위치에 스크린을 놓으면 스크린에 상이 나타난다.
 - ㄷ. 볼록 렌즈를 물체 쪽으로 이동하면 상은 렌즈에 가까워진다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 [22027-0265] 다음은 카메라의 필름에 상이 기록되는 과정에 대한 설명이다.

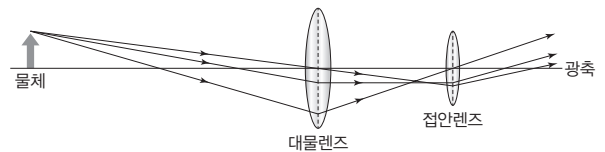
물체에서 나온 빛이 카메라의 렌즈를 통과하면서 굴절하여 필름에 상이 생긴다. 카메라의 렌즈는 **㉠ 볼록 / 오목** 렌즈이다. 물체에서 나온 빛이 렌즈를 통과한 후 필름 뒤에 상이 생길 경우 렌즈를 초점 거리가 **㉡ 긴 / 짧은** 것으로 교체하거나 렌즈를 굴절률이 **㉢ 큰 / 작은** 경우로 교체하면 물체의 상이 필름에 정확하게 맺힐 수 있다.



㉠~㉢으로 옳은 것은?

- | | | | |
|---|----|----|----|
| | ㉠ | ㉡ | ㉢ |
| ① | 볼록 | 긴 | 큰 |
| ② | 오목 | 긴 | 큰 |
| ③ | 볼록 | 짧은 | 작은 |
| ④ | 오목 | 짧은 | 작은 |
| ⑤ | 볼록 | 짧은 | 큰 |

08 [22027-0266] 그림은 물체의 한 점에서 나온 빛이 두 개의 볼록 렌즈를 사용하는 망원경에서 진행하는 경로를 나타낸 것이다.



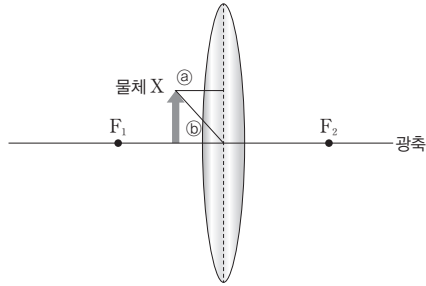
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 도립상이 보인다.
 - ㄴ. 접안렌즈에 의한 상은 허상이다.
 - ㄷ. 대물렌즈에 의한 상은 허상이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

광축에 나란하게 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 초점을 지나고, 렌즈의 중심을 향해 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 그대로 직진한다.

01 [22027-0267] 그림은 물체 X에서 나온 빛이 볼록 렌즈까지 진행하는 경로를 나타낸 것으로 ㉓는 광축과 나란하게 진행하는 빛이고, ㉔는 렌즈의 중심을 향해 진행하는 빛이다. F_1 과 F_2 는 각각 렌즈의 초점이며, X는 F_1 과 렌즈 사이에 위치한다.

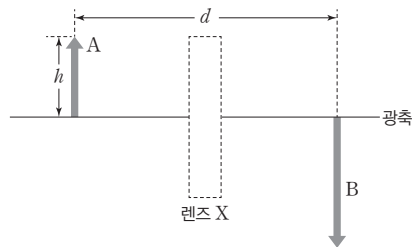


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. ㉓는 렌즈를 통과한 후 F_2 를 지난다.
 - ㄴ. 정립상이 생긴다.
 - ㄷ. X를 왼쪽 방향으로 이동시키는 순간, 상은 오른쪽 방향으로 이동한다.
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 $2f$ 보다 클 때는 축소된 실상이, f 와 $2f$ 사이일 때는 확대된 실상이 생긴다.

02 [22027-0268] 그림은 크기가 h 인 물체 A를 렌즈 X의 왼쪽에 놓았더니 X의 오른쪽에 실상 B가 만들어지는 것을 나타낸 것이다. B의 크기는 h 보다 크고, A와 B 사이의 거리는 d 이다.

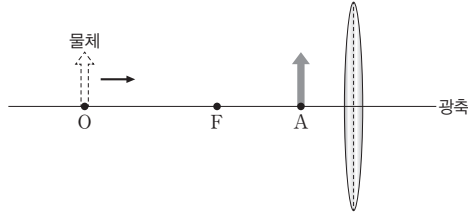


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. X는 볼록 렌즈이다.
 - ㄴ. A와 X 사이의 거리는 $\frac{d}{2}$ 보다 작다.
 - ㄷ. X를 B 쪽으로 이동시키면 상의 크기는 B의 크기보다 작아진다.
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 [22027-0269]

그림은 볼록 렌즈로부터의 거리가 초점 거리 2배인 점 O에 놓인 물체를 점 A까지 광축을 따라 이동시키는 것을 나타낸 것으로 볼록 렌즈의 초점은 F이다.



물체의 위치가 $a=2f$ 일 때 상의 위치는 $b=2f$ 이고 같은 크기의 도립 실상이 생긴다.

물체가 O에서 A까지 이동하는 동안, 상의 변화에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

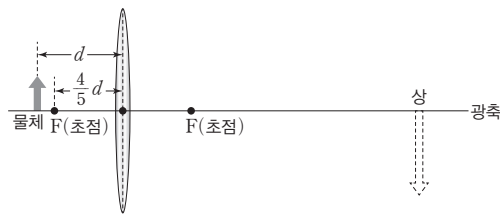
보기

- ㄱ. 도립상에서 정립상으로 변한다.
- ㄴ. 실상에서 허상으로 바뀐다.
- ㄷ. F를 통과한 후 상의 크기는 점점 커진다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 [22027-0270]

그림은 볼록 렌즈의 중심으로부터 d 만큼 떨어진 지점에 물체를 놓은 것을 나타낸 것으로 초점 거리는 $\frac{4}{5}d$ 이다.



렌즈 방정식 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ 에서 a 는 물체와 렌즈 사이의 거리이고, b 는 렌즈와 상 사이의 거리이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 상은 실상이다.
- ㄴ. 렌즈와 상 사이의 거리는 $3d$ 이다.
- ㄷ. 상의 배율은 4이다.

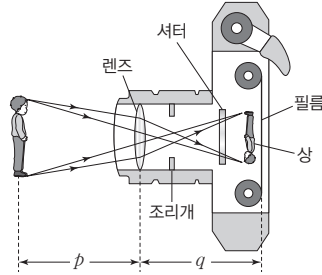
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

렌즈와 물체 사이의 거리가 증가하면 렌즈와 필름 사이의 거리가 감소해야 필름에 선명한 상이 맺힌다.

물체가 초점 거리 안쪽에 있으면 정립 허상이, 물체가 초점 거리 밖에 있으면 도립 실상이 생긴다.

05 [22027-0271] 다음은 카메라의 구조에 대한 설명이다.

- 볼록 렌즈는 빛을 굴절시켜 필름에 상을 맺게 한다. 물체와 렌즈 사이의 거리 p 가 달라지면 렌즈와 필름 사이의 거리 q 를 조절하여 필름에 선명한 상을 맺게 한다.
- 조리개는 빛의 양을 조절하고, 셔터가 열릴 때만 빛이 필름에 도달한다.



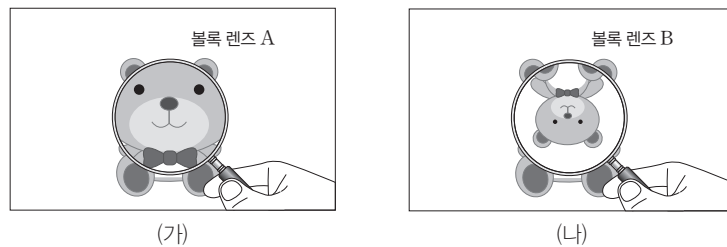
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 필름에는 실상이 맺힌다.
- ㄴ. p 는 렌즈의 초점 거리보다 작다.
- ㄷ. p 가 증가하면 q 를 증가시켜야 필름에 선명한 상이 맺힌다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

06 [22027-0272] 그림 (가)와 (나)는 동일한 물체로부터 같은 거리에서 물체를 초점 거리가 각각 f_A, f_B 인 볼록 렌즈 A, B로 관찰한 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

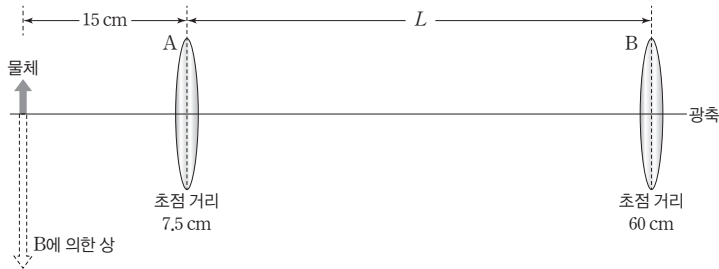
보기

- ㄱ. (가)에서 A를 통해 보이는 상은 실상이다.
- ㄴ. (나)에서 B를 물체 쪽으로 이동하는 순간 상의 크기는 커진다.
- ㄷ. $f_A > f_B$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 [22027-0273]

그림은 초점 거리가 각각 7.5 cm, 60 cm인 볼록 렌즈 A, B가 일직선상에서 L 만큼 떨어져 있는 것을 나타낸 것이다. 물체는 A로부터 15 cm 떨어져 있고, B에 의한 상은 물체와 같은 위치에 만들어진다.



L 은?

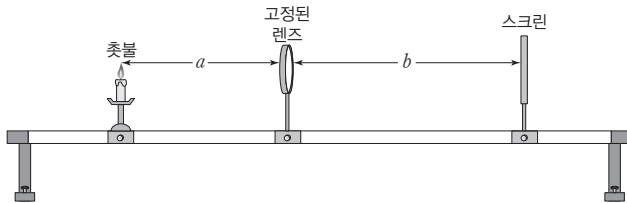
- ① 40 cm ② 45 cm ③ 50 cm ④ 55 cm ⑤ 60 cm

08 [22027-0274]

다음은 볼록 렌즈의 초점 거리를 측정하는 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 그림과 같이 촛불, 초점 거리가 f 인 고정된 볼록 렌즈, 스크린을 설치한다.
 (나) 스크린에 선명한 상이 맺히도록 촛불과 스크린의 위치를 조절한다.
 (다) 렌즈 중심으로부터 촛불까지의 거리 a 와 스크린까지의 거리 b 를 측정한다.
 (라) 초점 거리가 $2f$ 인 볼록 렌즈로 교체하고, (나), (다)의 과정을 반복한다.



[실험 결과]

과정	a	b	상의 배율
(다)	30 cm	㉠	$\frac{1}{2}$
(라)		60 cm	㉡

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. ㉠은 60 cm이다.
 ㄴ. 렌즈의 초점 거리 f 는 10 cm이다.
 ㄷ. ㉡은 $\frac{3}{2}$ 이다.

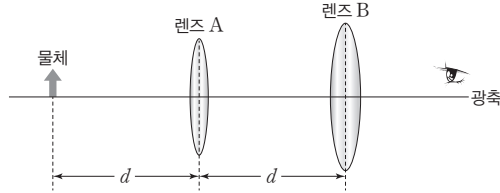
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

A에 의한 물체의 상은 A로부터 오른쪽으로 15 cm 떨어진 곳에 생긴다.

렌즈에 의한 상의 배율 $M = \left| \frac{b}{a} \right|$ 이다.

A의 초점 거리는 $\frac{d}{4}$ 이고, B의 초점 거리는 $\frac{3}{4}d$ 이다.

09 [22027-0275] 그림은 볼록 렌즈 A, B로 물체를 관찰하는 것을 나타낸 것으로, 물체와 A 사이의 거리와 A와 B 사이의 거리는 각각 d 이다. 초점 거리는 B가 A의 3배이고, A, B 사이에서 A, B 초점의 위치는 같다.

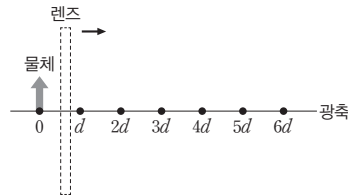


A에 의한 상의 크기를 h_1 , A, B에 의한 최종 상의 크기를 h_2 라 할 때, $\frac{h_2}{h_1}$ 는?

- ① 9
- ② 15
- ③ 21
- ④ 27
- ⑤ 33

물체가 볼록 렌즈의 초점 거리 안쪽에 있을 때 물체가 렌즈에서 멀어지면 상의 크기는 증가하고, 물체가 볼록 렌즈의 초점 거리 바깥쪽에 있을 때 물체가 렌즈에서 멀어지면 상의 크기는 감소한다.

10 [22027-0276] 그림은 초점 거리가 f 인 렌즈가 광축에 놓여있는 물체에서 멀어지는 것을 나타낸 것이고, 표는 렌즈의 위치가 변할 때 렌즈에 의한 상의 크기와 상의 종류를 나타낸 것이다.



렌즈 위치	$0 \rightarrow 2d$	$3d \rightarrow 4d$	$5d \rightarrow 6d$
상의 크기	증가	감소	㉠
상의 종류	㉡	㉢	실상

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

㉠ 보기 ㉡

㉢ 가. ㉠은 '감소'이다.
 나. $2d \leq f \leq 3d$ 이다.
 다. ㉡, ㉢은 상의 종류가 같다.

- ① 가
- ② 나
- ③ 가, 나
- ④ 나, 다
- ⑤ 가, 나, 다

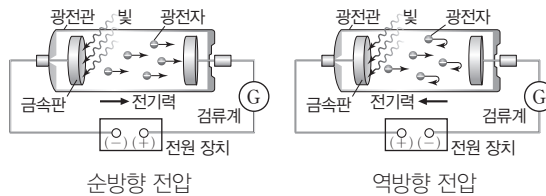
1 광전 효과

(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

- 광전관에서 빛을 비추어주는 금속판에 전원의 (-)극을 연결하여 순방향 전압을 걸어 주면 광전자는 (+)극 쪽으로 전기력을 받고, 빛을 비추어주는 금속판에 전원의 (+)극을 연결하여 역방향 전압을 걸어 주면 광전자는 금속판 쪽으로 전기력을 받는다.

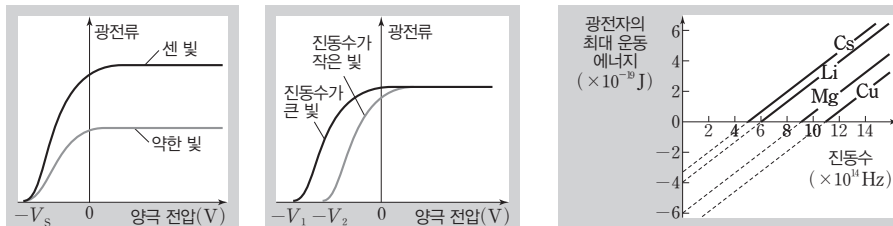


② 광전류와 광전자

- 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. 하지만 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 걸어 주어 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. $\rightarrow E_k = eV_s$ (e : 기본 전하량)

(3) 광전 효과 실험 결과



- 광전자는 특정한 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비출 때 방출된다. 이 특정한 진동수를 한계(문턱) 진동수라고 하며, 한계(문턱) 진동수는 금속의 종류에 따라 다르다.
- 한계(문턱) 진동수보다 작은 진동수의 빛은 아무리 센 빛을 비춰도 광전류가 흐르지 않는다. 하지만 한계(문턱) 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 비추어주는 금속판에 (-)극을 연결하면 광전자는 ()극 쪽으로 전기력을 받는다.
- 광전관에 역전압을 걸어 주어 광전류가 0이 되는 순간의 전압은 광전자의 ()에 비례한다.
- 광전 효과가 일어날 때, 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 ()에 관계가 있고, 방출되는 광전자의 수는 빛의 ()에만 관계가 있다.
- () 진동수보다 작은 진동수의 빛은 아무리 센 빛을 비춰도 광전류가 흐르지 않는다.

정답

- (+)
- 최대 운동 에너지
- 진동수, 세기
- 한계(문턱)

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. 광자 1개의 에너지는 진동수에 ()하고, 파장에 ()한다.
2. 한계(문턱) 진동수가 f_0 인 금속에 진동수 $2f_0$ 인 빛을 금속 표면에 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 ()이다.
3. 금속에 비추어진 빛의 진동수와 광전자의 최대 운동 에너지 관계 그래프에서 기울기는 금속의 종류에 관계없이 ()이다.

- 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 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. 하지만 한계(문턱) 진동수보다 작은 진동수의 빛을 아무리 세게, 오래 비추어도 광전자는 방출되지 않고, 한계(문턱) 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. 하지만 광전자의 최대 운동 에너지(E_k)는 빛의 진동수에만 관계가 있다.

2 아인슈타인의 광양자설

(1) 광양자설

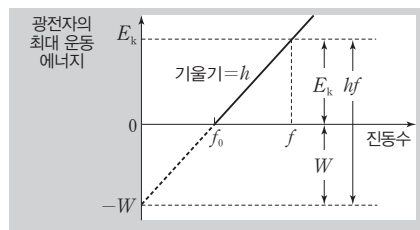
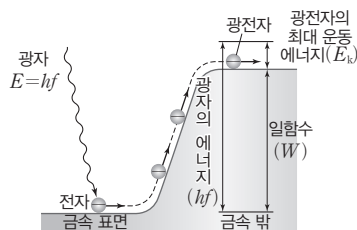
- ① 1905년 아인슈타인은 플랑크가 제안한 양자설을 이용하여 '빛은 연속적인 파동 에너지의 흐름이 아니라 광자(광양자)라고 부르는 불연속적인 에너지를 가진 입자의 흐름이다.'라는 광양자설로 광전 효과를 설명하였다.
- ② 광양자설에 의하면 진동수 f 인 광자 1개의 에너지 E 는 다음과 같다.

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad (\text{플랑크 상수 } h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}, \text{ 빛의 속도 } c = 3 \times 10^8 \text{ m/s})$$

(2) 광양자설에 의한 광전 효과 해석

- ① 한계(문턱) 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 한계(문턱) 진동수(f_0)라고 한다.
- ② 광전자의 최대 운동 에너지와 빛의 진동수: 한계(문턱) 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. 비례, 반비례
2. hf_0
3. h (플랑크 상수)

탐구자료 살펴보기 **조도 센서를 이용한 광전 효과 실험**

과정

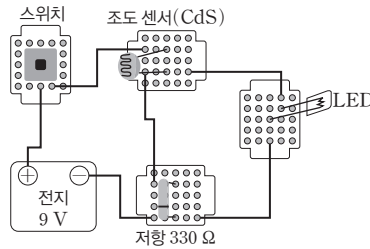
- (1) 조도 센서(CdS), LED, 전기 회로판, 저항(330 Ω), 9 V 전지를 그림과 같이 연결하여 회로를 구성한다.
- (2) 실험실을 어둡게 한 후, 조도 센서에 빛의 파장을 변화시키며 비춘다.

결과

• 조도 센서에 빛을 비추다 보면 LED에 불이 켜진다.

point

- 조도 센서 CdS는 빛을 쬐어주면 전도성이 생기는 반도체이다.
- 센서의 에너지갭이 2.4eV이므로 그 이상의 에너지를 갖는 빛을 쬐어주어야 전류가 흐른다.
- 조도 센서에 빛을 쬐어주면 센서에 전류가 흐르게 되고 그 전류가 LED로 흘러 불이 켜진다.



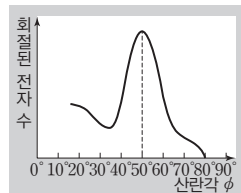
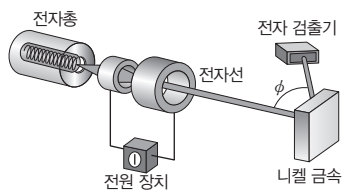
3 물질파

(1) 드브로이 물질파

- ① 1924년 드브로이는 파장 λ 인 광자의 운동량이 $p = \frac{h}{\lambda}$ 인 것처럼, 속력 v 로 움직이는 질량 m 인 입자의 파장은 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ 를 만족한다고 제안하였다.
- 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.



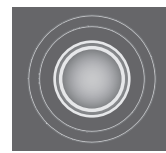
실험 결과: 54 V의 전위차로 전자를 가속한 경우 입사한 전자선과 50°의 각을 이루는 곳에서 튀어나오는 전자의 수가 가장 많았다. 이는 파동인 X선을 사용할 때와 동일한 결과이다.

• 실험 결과에 대한 해석: 실험 결과와 같은 각도에서 보강 간섭이 일어나는 X선의 파장과 드브로이 물질파 이론을 적용하여 구한 전자의 파장이 일치한다는 사실로 드브로이의 물질파 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 물질파의 파장이 짧아져 전자선에 의한 회절 무늬의 간격이 좁아진다.



X선의 회절 무늬



전자선의 회절 무늬

개념 체크

- **물질파(드브로이파):** 물질 입자가 파동의 성질을 나타낼 때, 이 파동을 물질파 또는 드브로이파라고 한다.
- **데이비슨 · 거머 실험:** 니켈 결정면에 전자선을 입사시켜 전자선의 회절을 발견하여 전자선의 파동성을 증명하였다.
- **톰슨의 전자 회절 실험:** X선의 회절 무늬와 전자선의 회절 무늬를 비교하여 전자의 파동성을 증명하였다.

1. 물질인 입자가 ()성을 가질 때, 이 파동을 물질파 또는 ()라고 한다.
2. 운동량이 p 인 입자의 드브로이 파장은 ()이다.
3. 드브로이 물질파 이론은 톰슨의 전자 () 실험으로 증명되었다.
4. 얇은 금속박에 전자선을 입사시킬 때, 전자의 속력이 빨라질수록 물질파의 파장은 ()지고, 전자선에 의한 회절 무늬의 간격은 ()진다.

정답

1. 파동, 드브로이파
2. $\frac{h}{p}$
3. 회절
4. 짧아, 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. 전자의 질량 m , 전자의 속력 v , 전자가 회전하는 원 궤도 반지름 r 일 때 양자 조건은 ()이다.
2. 전자가 궤도 운동하는 원의 ()가 드브로이 파장의 정수배가 되어 정상파를 이룰 때만 안정한 궤도를 이룬다.
3. 보어의 양자 가설을 수소 원자에 적용하여 이론적으로 얻은 양자수 n 인 전자 궤도의 반지름은 n^2 에 ()한다.
4. 정상 상태에서의 전자의 드브로이 파장은 양자수 $n=1$ 일 때가 $n=3$ 일 때의 ()배이다.

정답

1. $2\pi r m v = nh$
2. 둘레
3. 비례
4. $\frac{1}{3}$

4 보어 원자 모형과 물질파

(1) 보어 원자 모형: 러더퍼드의 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.

$$2\pi r m v = nh \quad (n=1, 2, 3, \dots: \text{양자수})$$

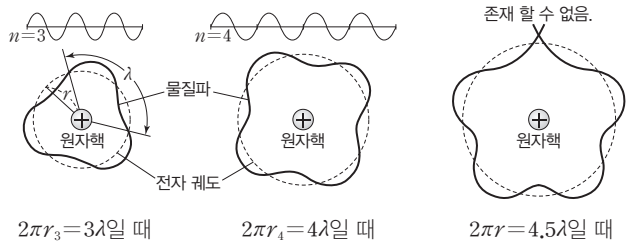
- ② 제2가설(진동수 조건): 전자가 양자 조건을 만족하는 원 궤도 사이에서 전이할 때는 두 궤도의 에너지 차에 해당하는 에너지($E_n - E_m = hf$)를 갖는 전자기파를 방출하거나 흡수한다.

(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.

$$r_n = a_0 n^2 \quad (a_0: \text{보어 반지름}, a_0 = 0.53 \times 10^{-10} \text{ m} = 0.53 \text{ \AA})$$

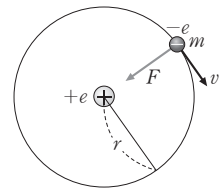
과학 돋보기 보어 원자 모형에서 전자 궤도의 반지름 유도

원자핵의 전하량을 $+e$, 전자의 질량과 전하량을 각각 m , $-e$ 라고 하면 뉴턴 운동 제 2법칙으로부터 다음 식이 성립한다. $m \frac{v^2}{r} = k \frac{e^2}{r^2} \dots \text{①}$

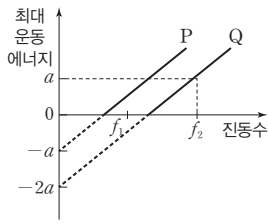
양자수가 n 일 때 전자의 속력을 v_n , 궤도 반지름을 r_n 이라고 하고 보어의 양자 가설 ($2\pi r = n \left(\frac{h}{mv} \right) = n\lambda$)과 식 ①을 이용하면 수소 원자 내의 전자의 속력과 궤도 반지름은

다음과 같다. $v_n = \frac{2\pi k e^2}{nh} \dots \text{②}, r_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 k m e^2} \dots \text{③}$

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.



01 [22027-0277] 그림은 금속판 P, Q에 단색광을 비추었을 때 금속판에서 나온 광전자의 최대 운동 에너지와 빛의 진동수에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 것을 나타낸 것이다.



일함수는 P가 Q보다 작아.

P, Q에 진동수가 f_1 인 빛을 각각 비추면 P에서만 광전자가 방출돼.

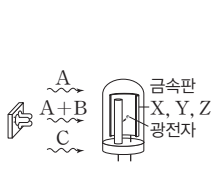
진동수가 f_2 인 광자 한 개의 에너지는 $3a$ 야.



옳은 내용을 제시한 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A ② C ③ A, B ④ B, C ⑤ A, B, C

02 [22027-0278] 그림은 단색광 A, B, C를 이용하여 광전관의 금속판 X, Y, Z에 빛을 비추는 것을 나타낸 것이다. 표는 금속판에 단색광을 비추었을 때 X, Y, Z에서 광전자 방출 여부를 나타낸 것이다.



단색광 금속판	단색광		
	A	A+B	C
X	×	○	○
Y	×	×	○
Z	○	○	○

(○: 방출됨, ×: 방출 안 됨)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

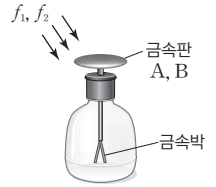
- 보기
- ㄱ. X, Y, Z 중 일함수가 가장 큰 금속은 Y이다.
 - ㄴ. A, B, C 중 진동수가 가장 작은 단색광은 A이다.
 - ㄷ. 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 Z에 C를 비출 때가 가장 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 [22027-0279] 그림은 광전 효과 실험을 나타낸 것이다.

[실험 과정]

- (가) 대전되지 않은 검전기에 대전되지 않은 금속판 A를 올려 놓는다.
- (나) 진동수가 f_1 인 빛을 비추고 금속박의 변화를 관찰한다.
- (다) (가)의 A에 진동수가 f_2 인 빛을 비추고 금속박의 변화를 관찰한다.
- (라) 대전되지 않은 검전기에 대전되지 않은 금속판 B를 올려놓는다.
- (마) 진동수가 f_1 인 빛을 비추고 금속박의 변화를 관찰한다.
- (바) (라)의 B에 진동수가 f_2 인 빛을 비추고 금속박의 변화를 관찰한다.



※ 금속판 A, B의 한계(문턱) 진동수는 각각 f_A, f_B 이다.

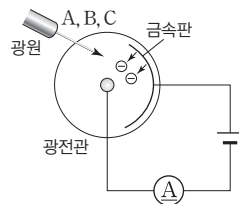
[실험 결과]

실험	(나)	(다)	(마)	(바)
금속박의 변화	벌어짐	변화없음	벌어짐	벌어짐

f_1, f_2, f_A, f_B 의 크기를 비교한 것으로 옳은 것은?

- ① $f_1 > f_A > f_2 > f_B$
- ② $f_1 > f_2 > f_A > f_B$
- ③ $f_1 > f_B > f_A > f_2$
- ④ $f_A > f_1 > f_2 > f_B$
- ⑤ $f_A > f_B > f_1 > f_2$

04 [22027-0280] 그림은 단색광 A, B, C를 금속판에 각각 비추었을 때 금속판에서 방출되는 광전자를 나타낸 것이고, 표는 광전자의 정지 전압과 광전자의 물질파 파장의 최솟값을 나타낸 것이다.

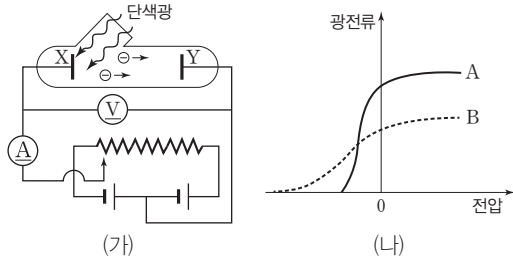


광원	정지 전압	물질파 파장의 최솟값
A	V_A	$6\lambda_0$
B	V_B	$3\lambda_0$
C	V_C	$2\lambda_0$

$V_A : V_B : V_C$ 는?

- ① 1 : 2 : 3 ② 1 : 4 : 9 ③ 2 : 3 : 6
- ④ 3 : 2 : 1 ⑤ 6 : 3 : 2

05 [22027-0281] 그림 (가)는 광전관의 금속판 X에 단색광을 비추면서 X와 Y 사이의 전압을 조절하는 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 X에 단색광 A, B를 비추었을 때 결과를 나타낸 것이다.

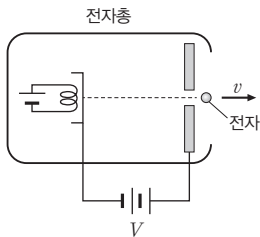


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 단색광의 진동수는 A가 B보다 크다.
 - ㄴ. 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 A를 비출 때가 B를 비출 때보다 작다.
 - ㄷ. 전압이 0인 상태에서 같은 시간 동안 빛을 비추면 방출되는 광전자 수는 A를 비출 때가 B를 비출 때보다 많다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 [22027-0282] 그림은 전자 현미경의 전자총에서 전자가 가속되는 것을 나타낸 것으로, 질량, 전하량이 각각 m , e 인 전자는 정지 상태에서 전압 V 로 가속된 후 슬릿을 통과한다.

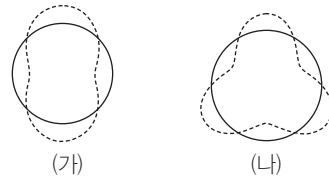


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 플랑크 상수는 h 이다.)

- 보기
- ㄱ. 슬릿을 통과한 전자의 운동 에너지는 eV 이다.
 - ㄴ. 슬릿을 통과한 전자의 드브로이 파장은 $\frac{h}{\sqrt{2meV}}$ 이다.
 - ㄷ. 전자를 $2V$ 로 가속시키면 전자 현미경의 분해능은 좋아진다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 [22027-0283] 그림 (가)와 (나)는 보어 수소 원자 모형에서 양자수 n 이 서로 다른 전자의 원운동 궤도와 드브로이 물질파가 만든 정상파를 모식적으로 나타낸 것이다. 실선과 점선은 각각 원운동 궤도와 정상파를 나타낸 것이다.

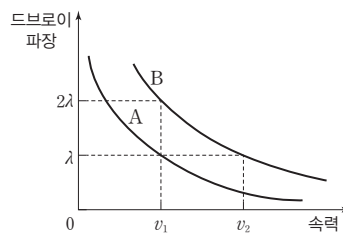


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. (가)에서 $n=2$ 이다.
 - ㄴ. (나)에서 원운동 궤도의 둘레는 전자의 드브로이 파장의 3배이다.
 - ㄷ. 전자의 드브로이 파장은 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{2}{3}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 [22027-0284] 그림은 질량이 m_A , m_B 인 입자 A, B의 드브로이 파장을 입자의 속력에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 입자의 속력이 증가할수록 드브로이 파장은 짧아진다.
 - ㄴ. $v_2=2v_1$ 이다.
 - ㄷ. $m_A : m_B=2 : 1$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

01 [22027-0285] 다음은 검전기를 이용한 광전 효과 실험이다.

[실험 과정]

(가) 검전기의 금속판에 대전체를 가까이하고 금속판에 손을 댄다.

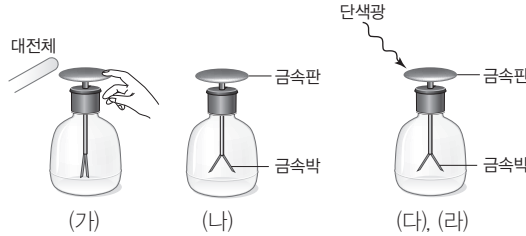
(나) 금속판에서 손을 떼고 대전체를 멀리 치워 검전기를 대전시킨다.

(다) (나)의 대전된 검전기에 파장이 λ_A 인 단색광을 금속판에 비추고 금속박의 움직임을 관찰한다.

(라) (나)의 대전된 검전기에 파장이 λ_B 인 단색광을 금속판에 비추고 금속박의 움직임을 관찰한다.

[실험 결과]

실험 과정	(다)	(라)
금속박의 움직임	오므라든다.	변화없다.



금속판에 한계(문턱) 진동수 이상의 빛을 비추면 전자가 방출된다. 대전체는 양(+)
전하로 대전되어 있다.

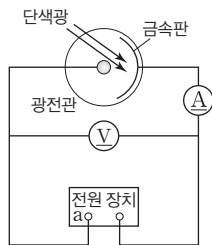
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. (가)에서 대전체는 양(+)
전하로 대전되어 있다.
- ㄴ. $\lambda_A > \lambda_B$ 이다.
- ㄷ. (라)에서 파장이 λ_B 인 단색광의 세기를 증가시키면 금속박이 오므라든다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

02 [22027-0286] 그림은 일함수가 1.5 eV인 금속판에 단색광을 비추며 광전류를 측정하는 장치를 나타낸 것이고, 표는 광전관에 가해지는 전압을 변화시켰을 때 광전류의 세기를 나타낸 것이다.



전압	광전류의 세기
3 V	I_0
4 V	0
5 V	㉠

전압이 4 V일 때 광전류의 세기가 0이므로 정지 전압은 3 V보다 크고 4 V보다 작거나 같다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 전원 장치의 a는 (+)
극이다.
- ㄴ. ㉠은 I_0 보다 크다.
- ㄷ. 단색광의 광자 1개의 에너지는 4.5 eV보다 크고 5.5 eV보다 작거나 같다.

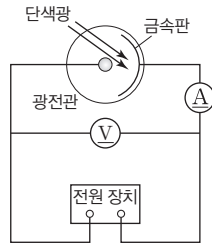
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

광전류의 세기가 0이 되기 시작하는 전압이 정지 전압이다.

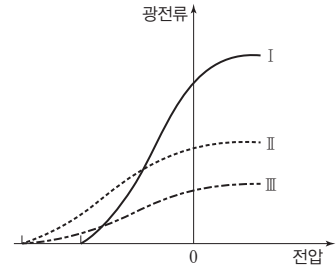
광전자의 최대 운동 에너지는 광자의 에너지에서 금속판의 일함수를 뺀 값과 같다.

03 [22027-0287]

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.



실험	단색광의 진동수	단색광의 세기
I	f_I	I_I
II	f_{II}	I_{II}
III	f_{III}	I_{III}



(가) (나)

단색광의 진동수와 세기를 옳게 비교한 것은?

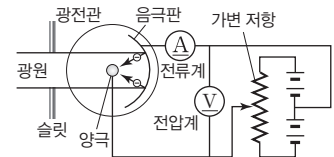
- | | | | | | |
|---|--------------------------|--------------------|---|--------------------------|--------------------|
| | <u>진동수</u> | <u>세기</u> | | <u>진동수</u> | <u>세기</u> |
| ① | $f_I > f_{II} = f_{III}$ | $I_{II} < I_{III}$ | ② | $f_I = f_{III} > f_{II}$ | $I_{II} = I_{III}$ |
| ③ | $f_I < f_{II} = f_{III}$ | $I_{II} > I_{III}$ | ④ | $f_I < f_{II} = f_{III}$ | $I_{II} < I_{III}$ |
| ⑤ | $f_I > f_{III} > f_{II}$ | $I_{II} > I_{III}$ | | | |

04 [22027-0288]

다음은 광전 효과에 대한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 회로를 구성한 후, 슬릿을 통하여 광전관의 음극판에 빛을 비추는 상태에서 가변 저항을 조절하면서 전류와 전압을 측정한다. 음극판의 일함수는 ㉠ 이다.



(나) (가)에서 파장이 λ 인 빛을 비출 때 전류계의 눈금이 0이 되는 순간의 전압(정지 전압)을 측정한다.

(다) 파장이 $\frac{2}{3}\lambda$ 인 빛을 비추면서 (나)를 반복한다.

(라) 파장이 $\frac{1}{3}\lambda$ 인 빛을 비추면서 (나)를 반복한다.

[실험 결과]

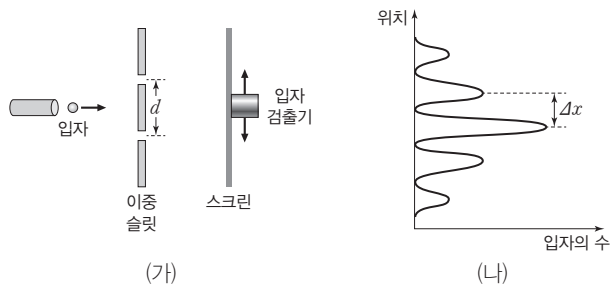
실험 과정	(나)	(다)	(라)
정지 전압	V_0	$2V_0$	㉡

㉠과 ㉡으로 옳은 것은? (단, 전자의 전하량은 e 이다.)

- | | | |
|--------------------|--------------------|----------|
| ① $\frac{eV_0}{3}$ | ② $\frac{eV_0}{3}$ | ③ eV_0 |
| ④ eV_0 | ⑤ eV_0 | |

05 [22027-0289]

그림 (가)는 이중 슬릿에 입자 A, B를 바꿔가면서 입사시켰을 때 스크린의 각 지점에 도달하는 입자의 수를 측정하는 장치, (나)는 스크린의 위치에 따라 검출되는 입자의 수를 나타낸 것이다. 입자의 수가 최댓값을 갖는 인접한 두 지점 사이의 간격은 Δx 이다. A의 질량과 운동 에너지는 각각 $m, 2E$ 이고, B의 질량과 운동 에너지는 각각 $4m, E$ 이다.



운동량이 p 인 입자의 물질파 파장은 $\frac{h}{p}$ 이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

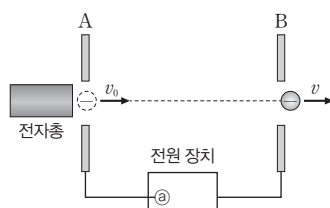
- ㄱ. 운동량의 크기는 A가 B보다 작다.
- ㄴ. 물질파 파장은 A가 B의 2배이다.
- ㄷ. Δx 는 A를 입사시킬 때가 B를 입사시킬 때보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 [22027-0290]

그림은 전자총에서 방출된 질량 m , 전하량이 e 인 전자가 전압이 V 로 일정한 평행한 두 금속판 A, B의 A에 속력 v_0 으로 입사한 후 가속도 운동하여 B를 통과한 후 속력이 v 가 되는 것을 나타낸 것이다. 전자의 드브로이 파장은 A에서 B를 통과한 후의 $\frac{1}{2}$ 배이고, ㉓는 전원 장치의 전극이다.

음극판과 양극판 사이에 전압이 걸려 있을 경우 전자에는 전기력이 작용한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

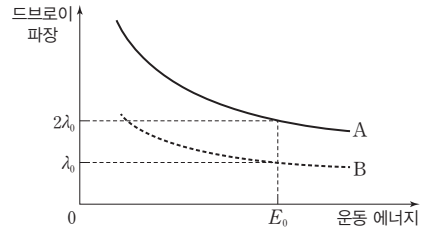
- ㄱ. $v = 2v_0$ 이다.
- ㄴ. ㉓는 (+)극이다.
- ㄷ. A에서 B까지 운동하는 동안 전자의 운동 에너지는 eV 만큼 감소한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

운동 에너지가 같을 때 파장이 길수록 질량은 작다.

전위차가 V 인 두 금속판 내에서 전기력이 전자에 하는 일은 $W=eV$ 이고, 전압 V 에 의해 가속된 전자가 갖는 운동 에너지 변화량은 전기력이 한 일과 같다.

07 [22027-0291] 그림은 입자 A, B의 운동 에너지에 따른 드브로이 파장을 나타낸 것이다. A가 B보다 큰 물리량만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



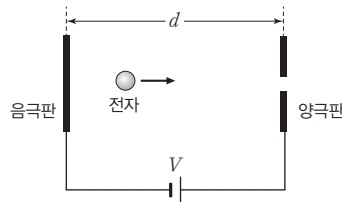
- [보기]
- ㄱ. 질량
 - ㄴ. 운동 에너지가 같을 때 속력
 - ㄷ. 파장이 같을 때 운동량의 크기

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 [22027-0292] 다음은 전자의 운동 에너지를 측정하는 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 그림과 같이 음극판과 양극판 사이 간격 d , 전압 V , 질량이 m , 전하량 e 인 전자를 음극판에서 정지 상태에서 가속시키고 양극판을 지날 때 전자의 운동 에너지를 측정한다.
- (나) (가)에서 극판 사이 간격만 $2d$ 로 변화시키고 (가)의 과정을 반복한다.
- (다) (가)에서 전압만 $4V$ 로 변화시키고 (가)의 과정을 반복한다.



[실험 결과]

실험 과정	(가)	(나)	(다)
운동 에너지	E_0	㉠	

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

- [보기]
- ㄱ. ㉠은 $2E_0$ 이다.
 - ㄴ. 양극판을 통과할 때 전자의 운동량은 (다)에서가 (나)에서의 2배이다.
 - ㄷ. (다)에서 양극판을 통과하는 순간 전자의 드브로이 파장은 $\frac{h}{2\sqrt{meV}}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

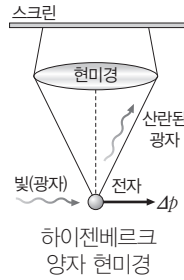
1 불확정성 원리

(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.

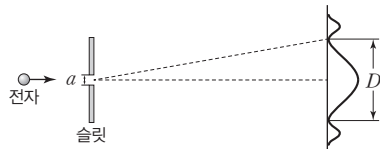
$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2} \quad (\text{단, } \hbar = \frac{h}{2\pi}, h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s})$$

탐구자료 살펴보기 전자의 회절과 불확정성 원리

자료

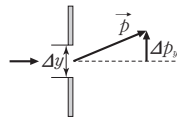
그림과 같이 전자가 폭이 a 인 단일 슬릿을 통과할 때, 슬릿을 통한 전자는 형광 스크린에 밝고 어두운 무늬를 만든다.

- 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.

- () 역학에서는 어떤 물리량을 무한히 정밀하게 측정이 가능한 것으로 보지만 () 역학에서는 무한히 정밀하게 측정하는 것은 불가능한 것으로 본다.
- 입자성과 () 을 모두 띠고 있는 물체의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다. 이러한 원리를 하이젠베르크의 () 원리라고 한다.
- 입자를 관측하기 위해 사용한 빛의 (진동수, 파장) 를 증가시키면 입자의 운동량 불확정성은 증가한다.
- 전자의 회절 실험을 불확정성 원리에 의해 해석하면 () 의 폭은 위치의 불확정성, () 의 폭은 운동량 불확정성을 의미한다.

정답

- 고전, 양자
- 파동성, 불확정성
- 진동수
- 슬릿, 회절 무늬

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. () 함수는 직접 측정되거나 관찰할 수 (있다 , 없다).
2. 파동 함수의 절댓값의 제곱은 특정 위치에서 전자를 발견할 () 밀도를 알려준다.
3. 파동 함수의 절댓값의 제곱을 전 공간에 대해 적분한 값은 ()이다.

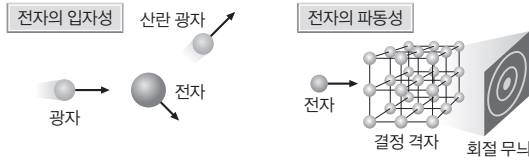
정답

1. 파동, 없다.
2. 확률
3. 1

과학 돋보기 불확정성 원리와 상보성 원리

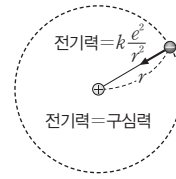
전자의 위치를 보다 정확히 알기 위해서는 짧은 파장(또는 큰 운동량)의 빛을 이용한 현미경을 사용해야 하지만, 이 때문에 전자의 운동량 측정은 더욱 부정확해진다. 하이젠베르크는 관측 행위가 관측 대상에 영향을 준다는 새로운 사고의 틀을 찾아내었다.

보이는 양자 역학이 적용되는 미시 세계의 물체는 어떤 실험을 하느냐에 따라 입자 또는 파동의 성질을 보인다고 주장하였다. 이를 보어의 상보성 원리라고 한다. 예를 들면, 전자는 광자와 충돌할 때는 입자의 성질을 보이지만 결정 격자를 통한 회절 실험에서는 파동처럼 행동한다.

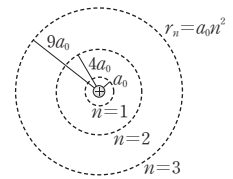


(3) 불확정성 원리와 보어 원자 모형의 한계

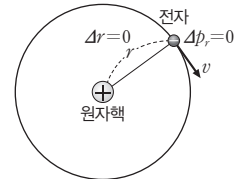
- ① 보어의 수소 원자 모형에 양자 가설을 적용하여 전자는 원자핵으로부터 반지름이 r 인 원 궤도를 속력 v 로 운동한다고 유도하였다. 이때 r 는 약 $0.5 \times 10^{-10} \text{ m}$, v 는 약 10^6 m/s 정도이다. 또한 보어의 원자 모형에서는 양자수 n 에 따른 전자의 궤도가 $r_n = a_0 n^2$ 으로 n 에 따라 정확히 주어진다.
- ② 보어의 원자 모형에 따른 전자가 원자핵으로부터 떨어진 거리의 불확정성 $\Delta r = 0$ 이고, 중심 방향의 운동량의 불확정성 $\Delta p_r = 0$ 이다. 따라서 $\Delta r \Delta p_r = 0$ 이 되어 $\Delta r \Delta p_r \geq \frac{\hbar}{2}$ 라는 하이젠베르크의 불확정성 원리에 위배된다.



전자의 운동에 대한 보어의 가정



보어 모형에 따른 전자의 궤도



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.

(2) **원자의 양자수**: 슈뢰딩거 방정식으로 전자의 파동 함수를 결정하는 값으로 3개의 양자수 n, l, m 으로 나타낸다.

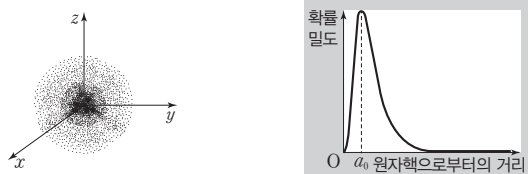
양자수	명칭	허용된 값
n	주 양자수	1, 2, 3, ..., ∞
l	궤도 양자수	0, 1, 2, ..., $n-1$
m	자기 양자수	$-l, -l+1, \dots, 0, \dots, l-1, l$

• 주 양자수가 2인 경우 양자수(n, l, m): (2, 0, 0), (2, 1, -1), (2, 1, 0), (2, 1, 1)

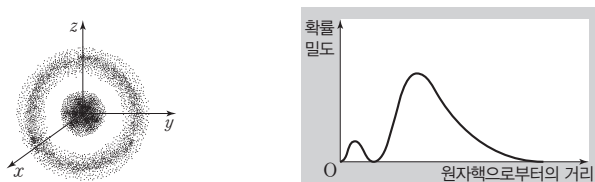
(3) 현대적 원자 모형

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 (주, 궤도) 양자수에 따라 (연속, 불연속)적으로 존재한다.
2. 주 양자수가 2인 경우, 수소 원자의 양자수는 (, ,), (2, 1, -1), (2, 1, 0), (2, 1, 1)이다.
3. 현대적 원자 모형에서 전자가 다른 에너지 준위로 전이할 때 두 에너지 준위의 ()에 해당하는 빛을 흡수하거나 방출한다.

정답

1. 주, 불연속
2. 2, 0, 0
3. 차

01 [22027-0293] 다음은 미시적 세계의 측정에 대한 설명이다.

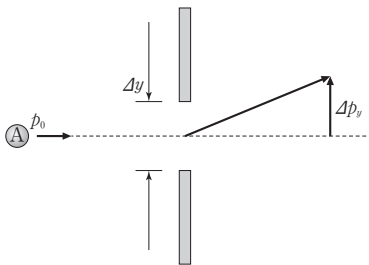
- 파장이 긴 빛을 사용하면 입자의 ㉠ 을/를 더 정확하게 측정할 수 있다.
- 진동수가 ㉡ 빛을 사용하면 입자의 위치를 더 정확하게 측정할 수 있다.
- ㉢ 미시적 세계에서는 어느 한계 이상으로는 입자의 물리량을 정확하게 측정할 수 없다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. '속도'는 ㉠ 으로 적절하다.
 - ㄴ. ㉡ 은 '큰'이다.
 - ㄷ. ㉢ 의 까닭은 물리량을 측정하는 것 자체가 입자의 상태에 영향을 미치기 때문이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 [22027-0294] 그림은 운동량의 크기가 p_0 인 입자 A가 폭이 Δy 인 단일 슬릿을 통과하여 회절하는 것을 나타낸 것으로, Δp_y 는 A의 y 방향 운동량 불확정성이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, h 는 플랑크 상수이다.)

- 보기
- ㄱ. 슬릿을 통과하기 전 A의 드브로이 파장은 $\frac{h}{p_0}$ 이다.
 - ㄴ. 슬릿을 통과할 때, 입자의 위치 불확정성은 Δy 에 비례한다.
 - ㄷ. Δy 를 증가시키면 Δp_y 는 감소한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 [22027-0295] 다음은 파동 함수와 확률 밀도 함수에 대한 설명이다.

- 파동 함수(ψ): 입자의 운동 상태나 에너지에 관한 정보를 가지고 있다.
- 확률 밀도 함수(㉠): 특정 위치에서 입자를 발견할 확률의 밀도를 알려준다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. ψ 는 측정할 수 없다.
 - ㄴ. ㉠ 은 $|\psi|^2$ 이 적절하다.
 - ㄷ. 전 공간에서 입자를 발견할 확률의 합은 1보다 작다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

04 [22027-0296] 다음은 현대적 원자 모형에서 수소 원자의 에너지 준위에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다

- 수소 원자에서 전자의 에너지는 자기 양자수에 의해 결정돼.
- 전자가 낮은 에너지 준위에서 높은 에너지 준위로 전이할 때 빛을 흡수해.
- 전자가 원자핵으로부터 멀어질수록 인접한 에너지 준위 사이 간격은 증가해.



옳은 내용을 제시한 학생만을 있는 대로 고른 것은?

① A ② B ③ A, C ④ B, C ⑤ A, B, C

05 [22027-0297] 다음은 양자수에 대한 설명이다.

- **A** 는 수소 원자에서 전자의 에너지를 결정하는 양자수이다. **A** 가 커질수록 원자핵으로부터 평균 거리가 멀어진다.
- **B** 는 원자에 존재하는 전자의 각운동량의 크기를 나타내는 양자수로, 0에서 **A** - 1의 정수를 가질 수 있다.

A, B에 해당하는 것으로 옳은 것은?

- | <u>A</u> | <u>B</u> |
|----------|----------|
| ① 궤도 양자수 | 자기 양자수 |
| ② 궤도 양자수 | 주 양자수 |
| ③ 주 양자수 | 궤도 양자수 |
| ④ 주 양자수 | 자기 양자수 |
| ⑤ 자기 양자수 | 주 양자수 |

06 [22027-0298] 다음 (가), (나)는 각각 보어 수소 원자 모형과, 현대적 원자 모형을 순서 없이 나타낸 것이다.

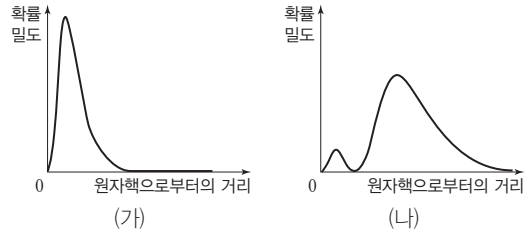
- **(가)** 전자의 정확한 위치는 알 수 없으며 전자가 존재할 확률만 알 수 있다.
- **(나)** 전자는 특정한 궤도에서만 원자핵 주위를 원운동할 수 있다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- ┌ 보기 ─┘
- ㄱ. (가)에서 수소 원자의 에너지 준위는 불연속적이다.
 - ㄴ. (나)는 불확정성 원리에 위배된다.
 - ㄷ. (가), (나) 중 (나)에서만 원자핵과 전자 사이에 전기력이 작용한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

07 [22027-0299] 그림 (가)와 (나)는 주 양자수 $n=1$, 궤도 양자수 $l=0$ 인 상태와 주 양자수 $n=2$, 궤도 양자수 $l=0$ 인 상태에서 전자가 발견될 확률 밀도를 거리에 따라 순서 없이 나타낸 것이다.

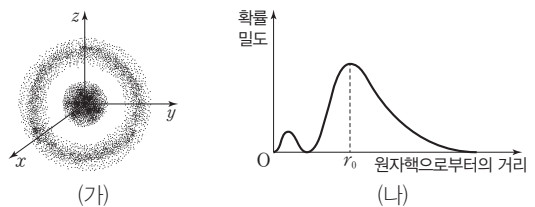


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- ┌ 보기 ─┘
- ㄱ. (가)는 $n=1, l=0$ 인 상태이다.
 - ㄴ. 전자의 에너지 준위는 (가)일 때보다 (나)일 때보다 크다.
 - ㄷ. (나)의 자기 양자수는 0이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 [22027-0300] 그림 (가)는 수소 원자의 주 양자수가 $n=2$ 일 때 전자구름의 형태를 모식적으로 나타낸 것이고, (나)는 원자핵으로부터 거리에 따라 전자를 발견할 확률 밀도를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- ┌ 보기 ─┘
- ㄱ. (가)에서 궤도 양자수 $l=0$ 이다.
 - ㄴ. (나)에서 확률 밀도가 가장 큰 r_0 에서는 전자가 반드시 발견된다.
 - ㄷ. (나)는 (가)일 때의 확률 밀도를 나타낸 것이다.

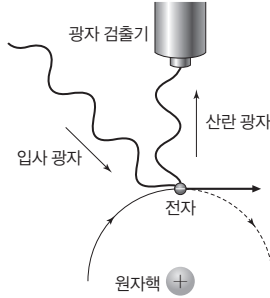
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

불확정성 원리에 따르면 위치와 운동량은 동시에 정확하게 측정할 수 없다.

슬릿의 폭이 좁아지면 슬릿을 통과할 때 위치 불확정성은 감소하고, 운동량 불확정성은 증가한다.

01 [22027-0301] 다음은 광자 검출기로 전자의 위치를 측정하는 사고 실험에 대한 설명이다.

전자의 운동을 관찰하기 위해 전자에 광자를 비추고 산란된 광자를 광자 검출기로 측정한다.



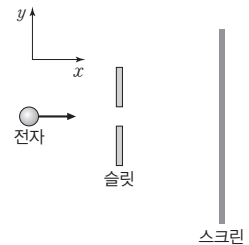
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 입사 광자의 파장이 길어질수록 전자의 위치 불확정성은 증가한다.
 - ㄴ. 입사 광자의 진동수가 커질수록 전자의 운동량 불확정성은 증가한다.
 - ㄷ. 전자의 위치 불확정성이 커질수록 운동량 불확정성은 감소한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 [22027-0302] 다음은 슬릿을 통과하는 전자의 운동을 설명한 것이다.

- (가) 슬릿의 폭이 좁아지면 슬릿을 통과하는 전자의 ㉠ 위치의 y 성분 불확정성은 한다.
- (나) (가)의 전자의 ㉡ 운동량의 y 성분 불확정성은 한다.
- (다) 슬릿의 폭이 좁을수록 전자는 거의 직진하지 못해 전자는 회절이 잘 일어난다.



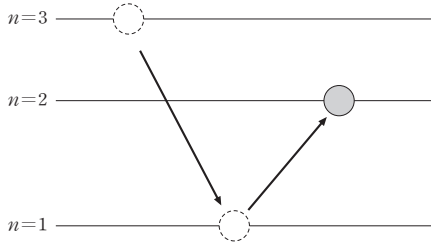
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. ㉠은 '감소', ㉡은 '증가'이다.
 - ㄴ. 위치에 대한 불확정성은 전자의 운동 방향에 나란한 방향으로의 위치이다.
 - ㄷ. ㉠×㉡는 0보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 [22027-0303]

그림은 수소 원자에서 주 양자수 $n=3$ 인 궤도에 있던 전자가 $n=1$ 인 궤도로 전이한 후 다시 $n=2$ 인 궤도로 전이하는 것을 나타낸 것이다. 전자가 $n=3$ 에서 $n=1$ 로 전이할 때 방출하는 광자의 파장은 λ_1 , $n=1$ 에서 $n=2$ 로 전이할 때 흡수하는 광자의 파장은 λ_2 이다.



$\lambda_1 : \lambda_2$ 는?

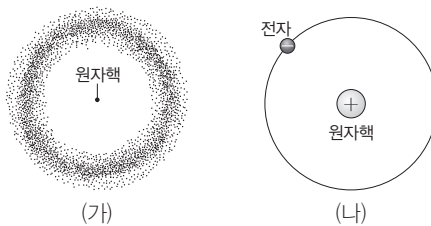
- ① 1 : 4
- ② 2 : 5
- ③ 8 : 9
- ④ 16 : 27
- ⑤ 27 : 32

전자가 다른 에너지 준위로 전이할 때 두 에너지 준위의 차에 해당하는 빛을 흡수하거나 방출한다.

$$E_n - E_m = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

04 [22027-0304]

그림 (가)와 (나)는 수소 원자의 전자가 바닥 상태에 있을 때 보여 수소 원자 모형과, 현대적 수소 원자 모형을 순서 없이 나타낸 것이다.



현대적 원자 모형은 전자를 발견할 확률로 나타내며, 전자 구름의 형태를 보인다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

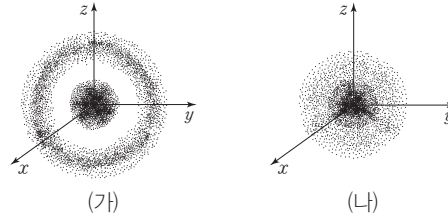
보기

- ㄱ. (가)는 현대적 수소 원자 모형이다.
- ㄴ. (가)에서 수소 원자의 에너지 준위는 연속적이다.
- ㄷ. (나)에서 전자의 궤도 반지름은 정확한 값을 가진다.

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

현대적 원자 모형에서 전자를 발견할 확률은 3차원으로 분포된 전자 구름의 형태를 보이고 3개의 양자수 n, l, m 으로 전자의 파동 함수를 나타낸다.

05 [22027-0305] 그림 (가)와 (나)는 수소 원자에서 주 양자수가 각각 $n=1, n=2$ 일 때의 확률 분포를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 바닥상태에서 수소 원자의 에너지 준위는 $-E_0$ 이다.)

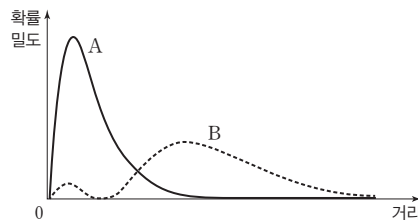
보기

- ㄱ. (가)의 에너지 준위는 $-\frac{E_0}{4}$ 이다.
- ㄴ. 에너지 준위는 (가)에서 (나)에서보다 높다.
- ㄷ. (나)에서 전자는 정해진 운동 궤도가 존재한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

원자 내에서 전자가 발견될 확률의 합은 A에서와 B에서가 같다.

06 [22027-0306] 그림은 수소 원자의 전자가 발견될 확률 밀도를 원자핵으로부터의 거리에 따라 나타낸 것이다. A와 B는 각각 $n=1$ 일 때(1, 0, 0)인 상태, $n=2$ 일 때(2, 0, 0)인 상태 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. A는 $n=1$ 인 상태의 확률 밀도이다.
- ㄴ. 전자의 에너지 준위는 B에서가 A에서보다 크다.
- ㄷ. 그래프 아래의 전체 면적은 A에서가 B에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ