2027

물리학I 비역학

CONNECT



수능에 필요한 모든 것을 담은 수능 공략서

UNOVA

Contents

1. 전기력

· 개념편 02
· 문제편 10

2. 보어의 원자 모형

· 개념편 19
· 문제편 25

3. 에너지 준위

· 개념편 33
· 문제편 39

4. 반도체와 다이오드

· 개념편 42
· 문제편 49

Contents

5. 전류에 의한 자기장

· 개념편 60
· 문제편 68

6. 물질의 자성

· 개념편 77
· 문제편 79

7. 전자기 유도

· 개념편 89
· 문제편 105

Contents

1. 파동의 진행

· 개념편 117
· 문제편 126

2. 굴절

· 개념편 132
· 문제편 140

3. 전반사

· 개념편 143
· 문제편 159

4. 파동의 간섭

· 개념편 170
· 문제편 183

Contents

5. 전자기파

· 개념편 192

· 문제편 194

6. 빛과 물질의 이중성

· 개념편 202

· 문제편 211

PART 1
전기력

개념 유형

(1) 기본 개념
(2) 두 점전하의 성질
(3) 세 점전하의 성질

기출 유형

(1) 전기력

THEME

1 — 기본 개념

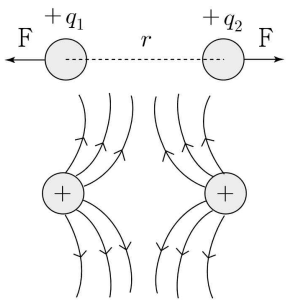
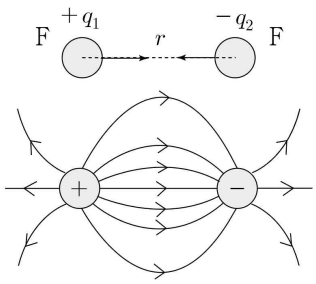
정리1 전기력

개념1 개념 정리

① 전하는 음(−)전하와 양(+)전하가 있다.
② 전하량은 $-2Q$, $3Q$와 같이 전하와 값이 있다.
③ 전하량의 크기는 $-2Q$와 $+2Q$가 $2Q$로 동일하다.

개념2 전기력의 방향

① 같은 종류의 전하끼리 작용하는 힘은 척력이다.
② 다른 종류의 전하끼리 작용하는 힘은 인력이다.

같은 종류의 전하	다른 종류의 전하
	

TIP 전기력선 추론하는 방법

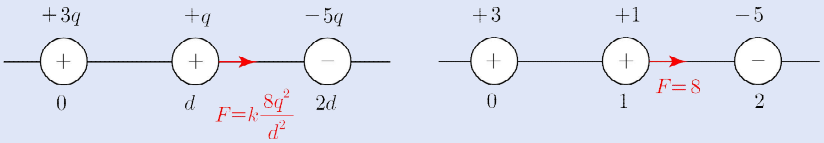
① 서로 인력을 받으면 가운데 연결된 선이 있다. (좋아하니까 연결이 된다!)
② 서로 척력을 받으면 가운데 연결된 선이 없다. (싫어하니까 연결이 안된다!)

개념3 전기력의 세기 (쿨롱 법칙)

진공에서 전기력의 세기는 $F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$이다. (단, k는 진공에서의 쿨롱 상수이다.)

TIP 변수 단순화

전하량이 $+3q$인 전하가 $x=0$에 고정되어 있고, 전하량이 $-5q$인 전하가 $x=2d$에 고정되어 있다.
$x=d$에 고정되어 있는 전하량이 $+q$인 전하가 받는 전기력의 크기에 대해서 구해보자.
$q=1$, $d=1$로 잡으면 $F=8$이라고 쓸 수 있다.



THEME

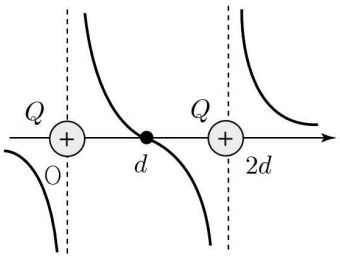
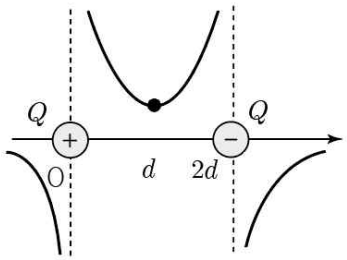
2 — 두 점전하의 성질

정리1 두 점전하가 만드는 성질

개념1 전하량의 크기가 동일함

① 전하 동일 : 내부에서 전기장이 0이 되는 지점($x=d$)이 있다.

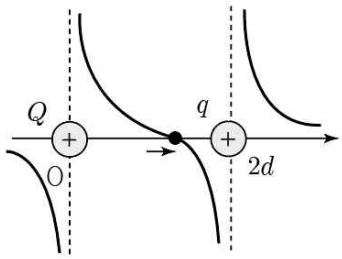
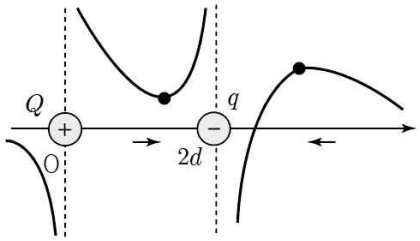
② 전하 반대 : 내부에서 전기장의 세기가 최소가 되는 지점($x=d$)이 있다. (전기장이 0이 되는 지점은 없다.)

전하 동일	전하 반대
	

개념2 전하량의 크기가 다름

① 전하 동일 : 내부에서 전기장이 0이 되는 지점이 전하량이 작은 쪽으로 당겨진다.

② 전하 반대 : 내부에서 전기장이 최소가 되는 지점이 전하량이 작은 쪽으로 당겨진다.

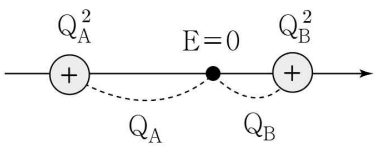
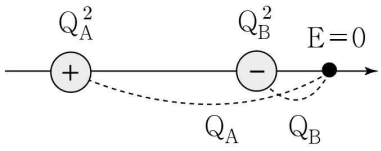
전하 동일	전하 반대
	

개념3 비율 정리

① 전하량의 비 제시 : $Q_A : Q_B$가 제시되면 $r_A : r_B = \sqrt{Q_A} : \sqrt{Q_B}$이다.

② 거리의 비 제시 : $r_A : r_B$가 제시되면 $Q_A : Q_B = r_A^2 : r_B^2$이다.

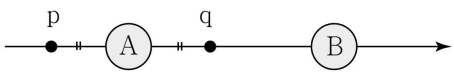
(만약 전기장이 0이 되는 점으로부터 떨어진 거리의 비가 3 : 1이라면 두 점전하의 전하량 크기의 비는 9 : 1이다.)

전하 동일	전하 반대
	

정리2 절대 크기 비교법

개념1 절대 크기 비교법

한 점전하 A로부터 동일하게 떨어져 있는 두 점 p, q에 대해서 전기장(또는 전기력)의 크기 조건이 나와있을 때
두 점전하 A, B의 부호 관계를 추론할 수 있다.
(엄밀한 내용은 아니지만, 평가원에서 해설지를 작성할 때 "내부가 외부보다 전기장이 커서 전하가 반대이다." 라는 표현을 쓴다.)

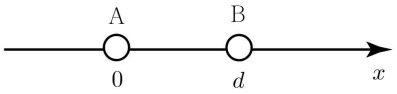


① $|E_p| > |E_q|$ 조건 제시: 외부 전기장의 세기가 내부 전기장의 세기보다 크다.
⇒ 두 점전하의 부호가 동일하군! (대부분의 경우 참이나, 항상 성립하지는 않음)

② $|E_p| < |E_q|$ 조건 제시: 외부 전기장의 세기가 내부 전기장의 세기보다 작다.
⇒ 두 점전하의 부호가 반대이군! (항상 참, 증명 가능)

예제1 두 전하가 만드는 전기장

그림과 같이 점전하 A와 B가 각각 $x=0$, $x=d$에 고정되어 있고 전하량은 차례로 Q, $4Q$이다.

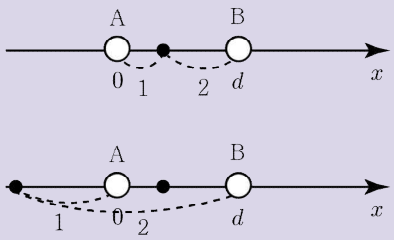


양(+)전하 C를 x축 상에서 움직일 때, C에 작용하는 전기력이 0이 되는 두 지점 사이의 거리를 구하시오. (단, A와 B의 전하가 같을 때와 반대일 때를 모두 고려하시오.)

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

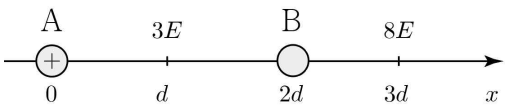
해설

- A와 B의 부호가 같을 때 내부에 1 : 2로 내분되는 지점에 전기장이 0이 되는 지점이 존재한다.
  따라서 $x=\frac{1}{3}d$에서 전기장이 0이 된다.
- A와 B의 부호가 반대일 때 외부에 1 : 2로 외분되는 지점에 전기장이 0이 되는 지점이 존재한다.
  1에 대응하는 거리가 d이므로 따라서 $x=-d$에서 전기장이 0이 된다.
- 따라서 두 지점 사이의 거리는 $\frac{4}{3}d$이다.



예제2 절대 크기 비교법

그림과 같이 점전하 A와 B가 각각 $x=0$, $x=2d$에 고정되어 있다. $x=d$에서 전기장의 세기는 $3E$이고, $x=3d$에서 전기장의 세기는 $8E$이다. A는 양(+)전하이고, 전하량의 크기는 Q이다.



점전하 B의 전하량의 크기를 구하시오.

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

해설

- 외부의 전기장이 내부의 전기장보다 세기가 더 크므로 B의 전하는 양(+)전하이다. (절대 크기 비교법)
  또한 외부의 전기장이 더 크므로 전하량이 B > A라고 생각하자.
- $x=d$에서 $Q_B-Q_A=3E$를 만족한다.
  $x=3d$에서 $Q_B+\frac{Q_A}{9}=8E$를 만족한다.
- 두 식을 연립하면 $8Q_B-8Q_A=3Q_B+\frac{1}{3}Q_A$에서
  $Q_B=\frac{5}{3}Q$가 된다.

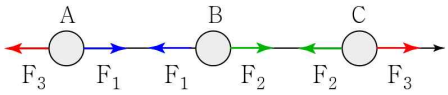
THEME

3 세 점전하의 성질

정리1 세 점전하가 만드는 성질

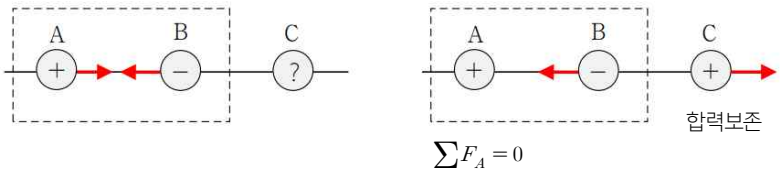
개념1 합력 보존

그림과 같이 세 개의 점전하 A, B, C가 고정되어 있을 때 각각의 점전하가 받는 힘들을 전부 더하게 되면 0이 된다.
(다 더하면 $F_A+F_B+F_C=(F_1-F_3)+(F_2-F_1)+(F_3-F_2)=0$이 되기 때문이다.)



개념2 내부 전하의 전기력 방향이 모아진다.

내부의 두 전하의 합력의 방향이 모아지는 모양이라면 두 전하의 부호가 서로 반대이다.
특수하게 외부의 전하에 작용하는 합력이 0을 만족하더라도 모아짐의 성질을 만족한다. (내부의 전하의 합력이 0이 되는 것은 안된다.)



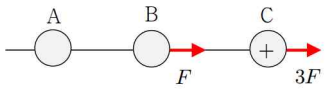
개념3 외부 전하의 전기력 방향이 벌어진다.

외부의 두 전하의 합력의 방향이 벌어지는 방향이라면 두 전하의 부호가 서로 같다.
특수하게 외부의 전하에 작용하는 합력이 0을 만족하더라도 벌어짐의 성질을 만족한다. (개념2 참조)



예제1 합력 보존

점전하 B에 작용하는 힘이 오른쪽으로 F, 점전하 C에 작용하는 힘이 오른쪽으로 $3F$일 때, 점전하 A에 작용하는 힘과 A의 전하를 구하시오.



해설

합력 보존으로 인하여 왼쪽으로 $4F$의 힘이 A에 작용한다. 가장자리에 있는 점전하 A와 C에 작용하는 힘이 벌어짐을 만족하므로 서로의 부호는 동일하다. 따라서 A는 양(+)전하이다.

예제2 전하 동일

그림과 같이 점전하 A, B, C가 각각 $x=-d$, $x=0$, $x=2d$에 고정되어 있다. A와 C가 B에 작용하는 전기력은 0이고, B가 A에 작용하는 전기력의 크기는 C가 A에 작용하는 전기력의 크기보다 작다. A, B, C는 양(+)전하이다.



A, B, C의 전하량을 각각 Q_A, Q_B, Q_C라 할 때, Q_A, Q_B, Q_C를 옳게 비교한 것은?

① $Q_A > Q_B > Q_C$ ② $Q_A > Q_C > Q_B$ ③ $Q_B > Q_A > Q_C$
④ $Q_C > Q_A > Q_B$ ⑤ $Q_C > Q_B > Q_A$

해설

STEP1 내부에 0이 되는 점

A, C의 내부에서 전기력이 0이므로 A와 C의 부호는 동일하고, 전하량의 크기는 C가 A의 4배이다. $Q_C = 4Q_A$

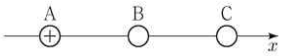
STEP2 전기력 조건

전기력 조건은 $\frac{Q_B}{1^2} < \frac{Q_C}{9} = \frac{4Q_A}{9}$이다.

그러므로 $Q_A > \frac{9}{4}Q_B$이다. 따라서 $\therefore Q_C > Q_A > Q_B$이다.

예제3 전하 반대

그림과 같이 x축상에 점전하 A, B, C가 같은 거리만큼 떨어져 고정되어 있다. 양(+)전하 A에 작용하는 전기력은 0이고, B에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$방향이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. B는 음(−)전하이다.
ㄴ. 전하량의 크기는 C가 A보다 크다.
ㄷ. C에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$방향이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

STEP1 외부에 0이 되는 점

B와 C의 부호는 반대이고, 전하량의 크기는 C가 B의 4배이다.

STEP2 B의 조건

B가 A쪽으로 힘을 받으므로 모아짐의 성질에 의해서 A와 B의 전하는 반대이다. 따라서 B는 (−)이고, C는 (+)이다.

ㄱ. B는 음(−)전하이다. (O)

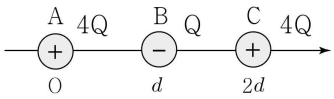
ㄴ. 전하량의 크기는 A가 C보다 크다. (X)

ㄷ. 계의 합력은 0이 되어야 하므로 C에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$방향이다. (X)

정리3 특수한 성질

개념1 전체 합력이 0을 만족

그림과 같이 세 점전하 A, B, C가 같은 거리만큼 떨어져 있고, A, B, C 각각의 합력은 0을 만족한다.

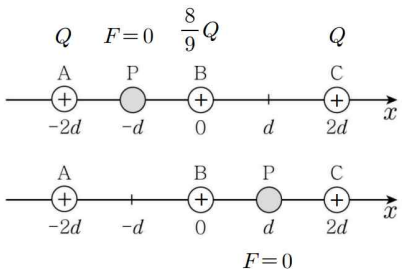


① 외부끼리 부호와 전하량이 같다.

② 내부와 외부는 부호가 다르고 내부의 전하량은 $\frac{1}{4}$배이다.

개념2 한 개의 전하로부터 떨어진 거리가 동일한 점에 대해 합력이 0을 만족

그림과 같이 세 점전하 A, B, C가 같은 거리만큼 떨어져 있고, 점 P가 A와 B의 중간, B와 C의 중간에 놓여있을 때 합력이 0을 만족한다.

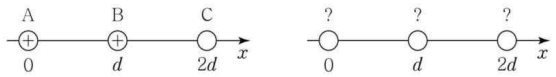


① A, B, C는 전하의 부호가 같다.

② 전하량은 AC(외부)는 B(내부)보다 크다.

예제4 전체 합력이 0을 만족

그림 (가)는 점전하 A, B, C를 x축상에 고정시킨 모습을, (나)는 (가)에서 점전하의 위치만 서로 바꾼 모습을 나타낸 것이다. A, B는 모두 양(+)전하이며, (나)에서 A, B, C에 작용하는 전기력은 모두 0이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. C는 음(-)전하이다.
ㄴ. 전하량의 크기는 A와 B가 같다.
ㄷ. (가)에서 A에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$방향이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

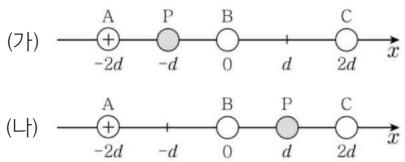
ㄱ. (나)에서 A, B, C에 작용하는 전기력은 모두 0이므로 $+4Q$, $-Q$, $+4Q$조합이다. ((가)에서 (+)가 2개임을 참조) 따라서 C는 음(-)전하이다. (O)

ㄴ. 전하량의 크기는 A와 B가 $4Q$로 동일하다. (O)

ㄷ. B에 의한 전기력이 C에 의한 전기력 다 더 크므로 A에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$방향이다. (O)

예제5 대칭성이 있는 상황

그림 (가), (나)와 같이 점전하 A, B, C를 x축상에 고정시키고, 점전하 P를 각각 $x=-d$와 $x=d$에 놓았다. (가)와 (나)에서 P가 받는 전기력은 모두 0이다. A는 양(+)전하이고, A와 C는 전하량의 크기가 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A와 C가 P에 작용하는 전기력의 합력의 방향은 (가)에서와 (나)에서가 같다.
ㄴ. C는 양(+)전하이다.
ㄷ. 전하량의 크기는 A가 B보다 작다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. B가 P에게 작용하는 전기력의 방향은 (가)에서와 (나)에서가 반대이므로 A와 C가 P에 작용하는 전기력의 합력의 방향은 (가)에서와 (나)에서가 반대이다. (X)

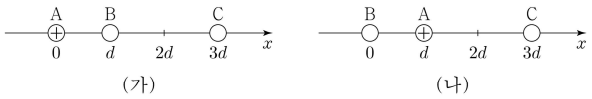
ㄴ. C는 양(+)전하이다. (O)

ㄷ. 전하량의 크기는 A > B이다. (X)

유형 01 전기력

01 2022학년도 6월 19번 정답률 43%

19. 그림 (가)는 x축상에 고정된 점전하 A, B, C를 나타낸 것으로 B에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$방향이고, C에 작용하는 전기력은 0이다. 그림 (나)는 (가)에서 A, B의 위치만 바꾸어 고정시킨 것을 나타낸 것이다. A는 양(+)전하이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 전하량의 크기는 B가 C보다 작다.
ㄴ. A에 작용하는 전기력의 방향은 (가)에서와 (나)에서가 같다.
ㄷ. (나)에서 A에 작용하는 전기력의 크기는 B에 작용하는 전기력의 크기보다 크다.

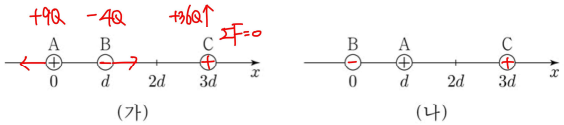
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

(가)의 분석

- 외부의 점 C에서 전기력이 0이므로 $Q_A = +9Q$, $Q_B = -4Q$이다.
- 점전하 BC가 모아짐의 성질을 만족하고 있으므로 서로의 부호는 반대이다. 따라서 $Q_C = (+)$이다.
- 합력 보존으로 점전하 A에 작용하는 힘의 방향은 왼쪽이다. 이를 만족하려면 Q_C는 $36Q$보다 크다.



ㄱ. 전하량의 크기는 B가 C보다 작다 (O)

ㄴ. (가) : A에 작용하는 전기력은 왼쪽이다.
(나) : B와 C가 A에게 왼쪽으로 힘을 가하므로 전기력은 왼쪽이다. (O)

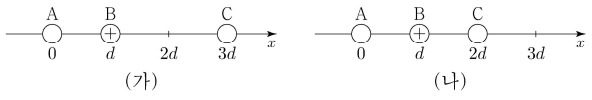
ㄷ. A에 작용하는 힘은 $F_A = f_{AB} + \frac{1}{4}f_{AC}$이고,

B에 작용하는 힘은 $F_B = f_{AB} + \frac{1}{9}f_{BC}$이다.

따라서 $\frac{1}{4}f_{AC}$와 $\frac{1}{9}f_{BC}$를 비교하면 되는데, 이때 C의 전하량은 공통이므로 무시하면, $\frac{1}{4}f_{AC} = \frac{9}{4} > \frac{1}{9}f_{BC} = \frac{4}{9}$이다. (O)

02 2022학년도 9월 19번 정답률 30%

19. 그림 (가)는 점전하 A, B, C를 x축상에 고정시킨 것으로 C에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$방향이다. 그림 (나)는 (가)에서 C의 위치만 $x = 2d$로 바꾸어 고정시킨 것으로 A에 작용하는 전기력의 크기는 0이고, C에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$방향이다. B는 양(+)전하이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A는 음(−)전하이다.
ㄴ. 전하량의 크기는 A가 C보다 크다.
ㄷ. B에 작용하는 전기력의 방향은 (가)에서와 (나)에서가 같다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

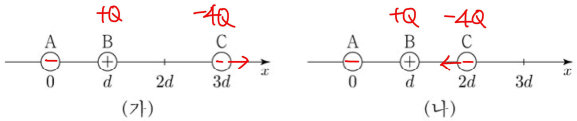
해 설

STEP1 (나)

A에 작용하는 전기력이 0이므로 B와 C의 부호는 반대이고, 크기는 C가 B의 4배이다. $Q_B = +Q$, $Q_C = -4Q$이다.

STEP2 (가)

C가 멀어졌을 때 C에 작용하는 힘의 방향이 변하므로 C에 작용하는 힘의 크기가 0인 지점이 있다. 즉 A와 B의 외부의 지점에서 전기력이 0인 지점이 있음을 의미하므로 A와 B의 부호는 반대여서 A는 음(−)전하이다. 또한 C가 $+x$방향으로 힘을 받을 때 A의 영향력으로 인한 것이므로 C는 음(−)전하이다.



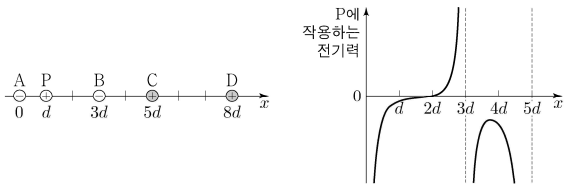
ㄱ. A는 음(−)전하이다. (O)

ㄴ. C의 주어진 전기력 조건을 통해 A의 전하량 크기의 조건은 $\frac{9}{4}Q < Q_A < 4Q$이다. 따라서 $Q_A = -3Q$라고 셋팅하자.
그러면 전하량의 크기는 A가 C보다 작다. (X)

ㄷ. (나)에서 B에 작용하는 힘은 오른쪽이다.
(가)에서 B에 작용하는 힘은 계산해보면 A에 의한 힘이 C에 의한 힘보다 크다. 그러므로 힘의 방향은 왼쪽이다.
따라서 (가), (나)에서 B에 작용하는 힘의 방향은 반대이다. (X)

03 2022학년도 수능 19번 정답률 30%

19. 그림 (가)와 같이 x 축상에 점전하 A~D를 고정하고 양(+)전하인 점전하 P를 옮기며 고정한다. A, B는 전하량이 같은 음(−)전하이고 C, D는 전하량이 같은 양(+)전하이다. 그림 (나)는 P의 위치 x가 $0 < x < 5d$인 구간에서 P에 작용하는 전기력을 나타낸 것이다.



(가)

(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. $x = d$에서 P에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$방향이다.
ㄴ. 전하량의 크기는 A가 C보다 작다.
ㄷ. $5d < x < 6d$인 구간에 P에 작용하는 전기력이 0이 되는 위치가 있다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

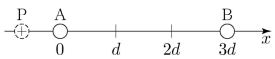
ㄱ. 전기력 그래프를 보면 $x = d$에서 P에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$라고 나와있다. (O)

ㄴ. A, B의 전하량을 q, C, D의 전하량의 크기를 Q라고 하자. 이때 $q = Q$라면 전기력이 최소가 되는 지점은 $x = 4d$에 있어야 한다. 하지만 왼쪽으로 최소가 되는 지점이 있으므로 $q < Q$이다. (O)

ㄷ. A, B의 전하량의 크기가 같으므로 중앙인 $x = 1.5d$에서 전기력이 0이 되야한다. 하지만 C, D의 영향력으로 인해서 전기력이 0이 되는 지점은 $0.5d$만큼 밀려나 $x = 2d$가 되있다. C, D의 전하량의 크기도 동일하므로 중앙인 $x = 6.5d$에서 전기력이 0이 되는 지점이 생겨야 한다. 하지만 A, B의 영향력으로 $6d < x < 6.5d$에서 전기력이 0이 되는 위치가 있다. (X)

04 2023학년도 6월 20번 정답률 43%

20. 그림과 같이 x축상에 점전하 A, B를 각각 $x = 0$, $x = 3d$에 고정한다. 양(+)전하인 점전하 P를 x축상에 옮기며 고정할 때, $x = d$에서 P에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$방향이고, $x > 3d$에서 P에 작용하는 전기력의 방향이 바뀌는 위치가 있다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A는 양(+)전하이다.
ㄴ. 전하량의 크기는 A가 B보다 작다.
ㄷ. $x < 0$에서 P에 작용하는 전기력의 방향이 바뀌는 위치가 있다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

STEP1 외부($x > 3d$)

A, B의 부호는 반대이고 전하량의 크기는 A > B이다.

STEP2 내부($x = d$)

- 양(+)전하에 작용하는 힘의 방향은 전기장의 방향과 같다. 따라서 전기장의 방향은 $+x$방향이다.
- 위 조건을 만족하려면 A는 양(+)전하, B는 음(−)전하이다.

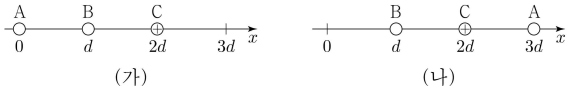
ㄱ. A는 양(+)전하이다. (O)

ㄴ. 전하량의 크기는 A > B이다. (X)

ㄷ. A쪽에는 없다. (X)

05 2023학년도 9월 19번 정답률 41%

19. 그림 (가)는 점전하 A, B, C를 x축상에 고정시킨 것으로 양(+)전하인 C에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$방향이다. 그림 (나)는 (가)에서 A의 위치만 $x=3d$로 바꾸어 고정시킨 것으로 B, C에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$방향으로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

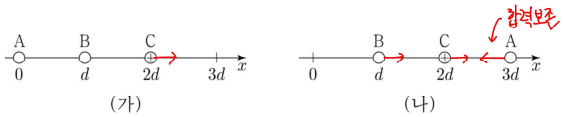
<보 기>

ㄱ. A에 작용하는 전기력의 방향은 (가)에서와 (나)에서가 서로 같다.
ㄴ. 전하량의 크기는 B가 C보다 크다.
ㄷ. (가)에서 B에 작용하는 전기력의 크기는 (나)에서 C에 작용하는 전기력의 크기보다 크다.

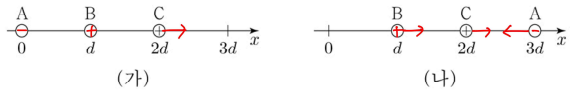
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설



(나)에서 A, B가 모아지고 있으므로 A는 음(−)전하이다.
따라서 (가)에서 C가 오른쪽으로 힘을 받으려면 B는 양(+)전하이다.

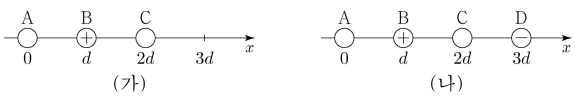


ㄱ. A에 작용하는 힘은 (가)에서는 $+x$이고, (나)에서는 $-x$이다. (X)
ㄴ. (가) AB 외부의 C를 조사 → A를 3, B를 1로 가정하자.
(나) AC 외부의 B를 조사 → C를 0.5로 가정하자.
따라서 전하량의 크기는 B가 C보다 크다. (O)
ㄷ. (가) B) $F_{B,가}=f_{AB}+f_{BC}$
(나) C) $F_{C,나}=f_{AC}+f_{BC}$
를 통하여 f_{AB}와 f_{AC}만 비교하면 된다.
$Q_B>Q_C$이므로 $F_{B,가}>F_{C,나}$이다. (O)

TIP 부호 추론
- 부호가 같은 전하량 사이의 내부 시험 전하 조사
- 부호가 다른 전하량 사이의 외부 시험 전하 조사

06 2023학년도 수능 19번 정답률 32%

19. 그림 (가)는 점전하 A, B, C를 x축상에 고정시킨 것으로 A, B에 작용하는 전기력의 방향은 같고, B는 양(+)전하이다. 그림 (나)는 (가)에서 $x=3d$에 음(−)전하인 점전하 D를 고정시킨 것으로 B에 작용하는 전기력은 0이다. C에 작용하는 전기력의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

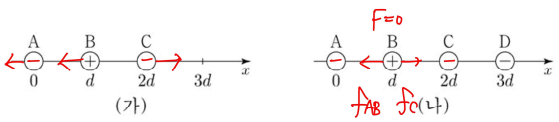
<보 기>

ㄱ. (가)에서 C에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$방향이다.
ㄴ. A는 음(−)전하이다.
ㄷ. 전하량의 크기는 A가 C보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

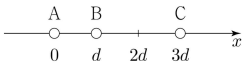
해 설
- 조건에 의해 (나)에서 B에 작용하는 합력이 0이다.
D가 B를 오른쪽으로 당기므로 A, C가 B에 작용하는 힘의 방향은 왼쪽이다.
- (가)에서 B는 위의 이유로 왼쪽으로 힘을 받는다.
조건에 의해 A와 B의 합력의 방향이 동일하므로 A도 왼쪽으로 힘을 받고 있다. 합력 보존에 의하여 C는 오른쪽으로 힘을 받는다.
즉, A와 C가 벌어짐을 만족하므로 서로의 부호는 동일하다.
- (나)에서 D가 추가되어 C의 힘이 약해지기에 C는 음(−)전하이다.
따라서 A는 음(−)전하이다.



ㄱ. (가)에서 C에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$이다. (O)
ㄴ. A는 음(−)전하이다. (O)
ㄷ. (가)에서 A, C의 부호가 같으므로 내부의 B를 이용하자.
그러면 인력은 A가 C보다 더 크므로 전하량의 크기도 A가 C보다 크다. (O)

07 2024학년도 6월 10번 정답률 66%

10. 그림과 같이 점전하 A, B, C를 x 축상에 고정하였다. 전하량의 크기는 B가 A의 2배이고, B와 C가 A로부터 받는 전기력의 크기는 F로 같다. A와 B 사이에는 서로 밀어내는 전기력이, A와 C 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.



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

<보 기>

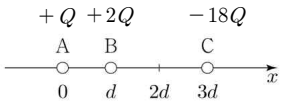
ㄱ. 전하량의 크기는 C가 가장 크다.
ㄴ. B와 C 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.
ㄷ. B와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기는 F보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

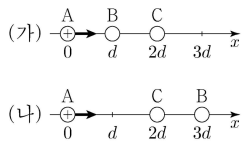
조건1: 전하량의 크기는 B가 A의 2배이므로 $Q_B = 2Q$, $Q_A = Q$이다.
조건2: B와 C가 A로부터 받는 전기력의 크기는 F로 동일.
이를 통해 $Q_C = 18Q$ 임을 알 수 있다.
조건3: A와 B 사이에는 서로 밀어내는 전기력 → 부호 동일
A와 C 사이에는 서로 당기는 전기력 → 부호 반대
따라서 A의 부호를 양(+)전하로 가정하면 그림과 같다.



ㄱ. 전하량의 크기는 C가 가장 크다. (O)
ㄴ. 부호가 다르므로 서로 당기는 전기력이 작용한다. (O)
ㄷ. 힘의 방향성을 모르니 계산으로 해결하자.
F는 A와 B 사이에 작용하는 힘이다.
$F = 2$라고 한다면 $f_{BC} = 9$이다.
따라서 $F < f_{BC}$이다. (O)

08 2024학년도 9월 18번 정답률 38%

18. 그림 (가)는 점전하 A, B, C를 x 축상에 고정시킨 것을, (나)는 (가)에서 B의 위치만 $x = 3d$로 옮겨 고정시킨 것을 나타낸 것이다. (가)와 (나)에서 양(+)전하인 A에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$ 방향으로 같고, C에 작용하는 전기력의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.



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

<보 기>

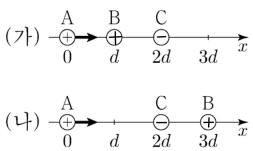
ㄱ. (가)에서 B에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이다.
ㄴ. 전하량의 크기는 C가 B보다 크다.
ㄷ. A에 작용하는 전기력의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

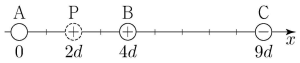
(가) or (나)를 통해 BC가 전부 (+)이면 모순이다.
또한 A와 B의 부호가 다르면 C는 상쇄인 점에서 보강인 점으로 바뀌므로 조건을 만족하지 않는다.
따라서 A와 B의 부호는 같아야하므로 B는 (+)이고, C는 (−)이다.



ㄱ. AC의 내부에서 보강이므로 오른쪽으로 힘을 받는다. (X)
ㄴ. BC의 부호가 다르므로 외부의 점 A를 통하여 전하량의 크기를 비교해야만 한다. (가)에서 C에 의한 힘이 더 세므로 전하량의 크기는 C가 B보다 크다. (O)
ㄷ. (가)에서 약하게 밀고 있던 힘이 감소했으므로 전기력의 크기는 (나)>(가)이다. (O)

09 2024학년도 수능 15번 정답률 64%

15. 그림과 같이 x 축상에 점전하 A, B, C를 고정하고, 양(+)전하인 점전하 P를 옮기며 고정한다. P가 $x=2d$에 있을 때, P에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이다. B, C는 각각 양(+)전하, 음(−)전하이고, A, B, C의 전하량의 크기는 같다.



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

<보 기>

ㄱ. A는 양(+)전하이다.
ㄴ. P가 $x=6d$에 있을 때, P에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이다.
ㄷ. P에 작용하는 전기력의 크기는 P가 $x=d$에 있을 때가 $x=5d$에 있을 때보다 작다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

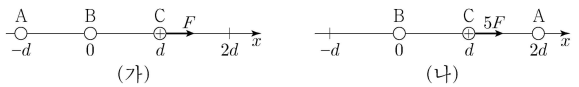
ㄱ. ABC의 전하량의 크기가 같다고 나와 있다.
A가 (+)이면 $x=2d$에 대해서 AB에 의한 전기장이 상쇄된다.
C에 의해서 P는 오른쪽으로 잡아당겨진다.
조건을 만족하므로 A는 (+)이다. (O)

ㄴ. B와 C의 내부에서 전기장의 방향은 $+x$ 방향이다.
P는 양(+)전하이므로 $+x$방향으로 전기력을 받는다. (O)

ㄷ. A와 B의 전하량이 동일하므로 오른쪽으로 둘 다 P를 F로 민다.
$x=d$에서 BC에 의한 것은 상쇄된다. → F보다 감소
$x=5d$에서 AC에 의한 것은 보강된다. → F보다 증가
따라서 전기력은 $x=d<x=5d$이다. (O)

10 2025학년도 6월 12번 정답률 32%

12. 그림 (가)는 점전하 A, B, C를 x 축상에 고정시킨 모습을, (나)는 (가)에서 A의 위치만 $x=2d$로 옮겨 고정시킨 모습을 나타낸 것이다. 양(+)전하인 C에 작용하는 전기력의 크기는 (가), (나)에서 각각 F, $5F$이고, 방향은 $+x$ 방향으로 같다. (나)에서 B에 작용하는 전기력의 크기는 $4F$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A와 C 사이에는 서로 밀어내는 전기력이 작용한다.
ㄴ. (가)에서 A와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기는 $2F$보다 작다.
ㄷ. (나)에서 B에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설

ㄱ. A가 오른쪽으로 움겼을 때 C에 작용하는 힘이 증가했으므로 A는 음(−)전하이다. 따라서 A와 C는 당기는 힘이다. (X)

ㄴ. (가)에서 C는 오른쪽으로 힘을 받고 있으므로 B의 부호는 양(+)전하이다.

변화량) C) $4F=\frac{5}{4}f_{AC}$ 에서 $f_{AC}=\frac{16}{5}F$이다.

따라서 A와 C사이에 작용하는 전기력의 크기는 $\frac{4}{5}F$이다. (O)

ㄷ. (가) C) $f_{BC}-\frac{1}{4}f_{AC}=F$ 에서 $f_{BC}=\frac{9}{5}F$이다.

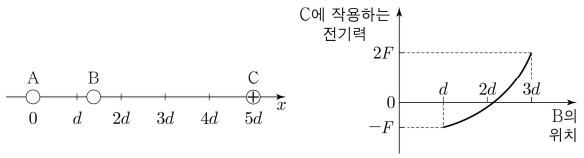
(나)의 B에 작용하는 전기력의 크기가 $4F$이고,

B와 C사이에 작용하는 힘은 왼쪽으로 $f_{BC}=\frac{9}{5}F$이다.

A는 B를 오른쪽으로 잡아당기므로 왼쪽으로 $\frac{9}{5}F$보다 커질 수 없다. 따라서 B에 작용하는 전기력의 방향은 $+4F$이다. (X)

11 2025학년도 9월 17번 정답률 62%

17. 그림 (가)와 같이 x축상에 점전하 A, 양(+)전하인 점전하 C를 각각 $x=0$, $x=5d$에 고정하고, 점전하 B를 x축상의 $d \le x \le 3d$인 구간에서 옮기며 고정한다. 그림 (나)는 (가)에서 C에 작용하는 전기력을 B의 위치에 따라 나타낸 것이고, 전기력의 방향은 $+x$방향이 양(+)이다.



(가) (나)

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

<보 기>

ㄱ. A는 음(−)전하이다.
ㄴ. 전하량의 크기는 A가 B보다 작다.
ㄷ. B가 $x=3d$에 있을 때, B에 작용하는 전기력의 크기는 $2F$보다 작다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

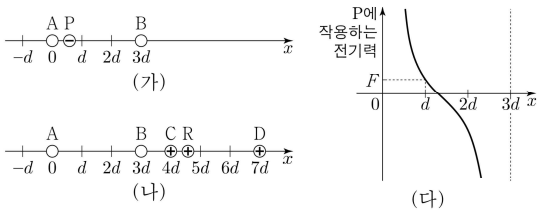
ㄱ. B가 $x=2d$부근에 있을 때 C에 작용하는 전기력이 0이므로 A와 B는 부호가 반대이고, 크기는 A > B이다.
또한 B가 C 근처로 갔을 때 C가 받는 힘의 방향이 오른쪽이므로 B는 양(+)전하이고, A는 음(−)전하이다. (O)

ㄴ. 전하량의 크기는 A가 B보다 크다. (X)

ㄷ. B가 $x=3d$에 있을 때 C에 작용하는 힘은 $+2F$이고, A에 작용하는 힘은 +방향이다.
따라서 B에 작용하는 힘은 $-2F$보다 크다. (X)

12 2025학년도 수능 13번 정답률 40%

13. 그림 (가)는 점전하 A, B를 x축상에 고정하고 음(−)전하 P를 옮기며 x축상에 고정하는 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 점전하 A ~ D를 x축상에 고정하고 양(+)전하 R를 옮기며 x축상에 고정하는 것을 나타낸 것이다. A와 D, B와 C, P와 R는 각각 전하량의 크기가 같고, C와 D는 양(+)전하이다. 그림 (다)는 (가)에서 P의 위치 x가 $0<x<3d$인 구간에서 P에 작용하는 전기력을 나타낸 것으로, 전기력의 방향은 $+x$방향이 양(+)이다.



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

<보 기>

ㄱ. (가)에서 P의 위치가 $x=-d$일 때, P에 작용하는 전기력의 크기는 F보다 크다.
ㄴ. (나)에서 R의 위치가 $x=d$일 때, R에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$방향이다.
ㄷ. (나)에서 R의 위치가 $x=6d$일 때, R에 작용하는 전기력의 크기는 F보다 작다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

ㄱ. (다)의 정보를 통해 A와 B는 모두 음(−)전하이고, 전하량의 크기는 A < B이다.

다시 문제로 돌아와서 P의 위치가 $x=d$에서 $f_A-\frac{1}{4}f_B=F$

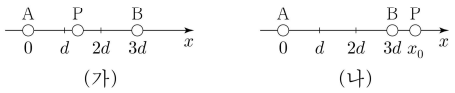
이고, $x=-d$에서 $f_A+\frac{1}{16}f_B$이므로 F보다 크다. (O)

ㄴ. R이 $x=d$에 있으면 작용하는 힘의 크기는 F이다.
이때 A는 R을 왼쪽으로 잡아당긴다.
이 상황에서 CD를 추가하면 R을 왼쪽으로 밀기 때문에 이는 A의 전하량이 증가했다고 생각할 수 있다.
따라서 전기력의 방향은 여전히 왼쪽이다. (X)

ㄷ. ㄴ과 동일하게 생각해보면 F보다 크다. (X)

13 2026학년도 6월 19번 정답률 31%

19. 그림 (가)와 같이 x축상에서 점전하 A, B를 각각 $x=0$, $x=3d$에 고정하고 점전하 P를 옮기며 고정한다. 그림 (나)와 같이 P의 위치가 $x=x_0$일 때, B에 작용하는 전기력과 P에 작용하는 전기력은 0이다.



(가) (나)

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

<보 기>

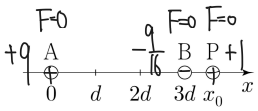
ㄱ. 전하의 종류는 A와 P가 같다.
ㄴ. 전하량의 크기는 B가 P보다 작다.
ㄷ. P에 작용하는 전기력의 크기는 P의 위치가 $x=d$일 때가 $x=2d$일 때보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

(나)에서 합력 보존을 이용하면 A에 작용하는 전기력은 0이다. 모든 전기력이 0일 때 부호는 +, −, +, −, +, − 구조이다. (부호 조건이 없으므로 +, −, +로 풀자.)

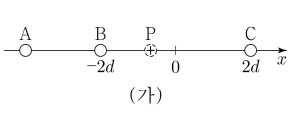


또한 B에서 $F=0$이고, A와 P의 거리의 비가 3 : 1이므로 전하량의 비는 9 : 1이다. P에서 $F=0$이고, A와 B의 거리의 비가 4 : 1이므로 B의 전하량은 $\frac{9}{16}$이다.

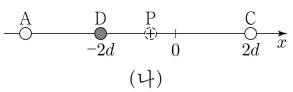
ㄱ. 전하의 종류는 A와 P가 같다. (O)
ㄴ. 전하량의 크기는 B가 P보다 작다. (O)
ㄷ. 전하량이 큰 쪽에서 받는 전기력의 크기가 크다. (O)

14 2026학년도 9월 20번 정답률 42%

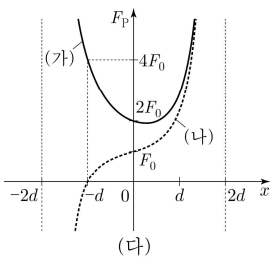
20. 그림 (가)와 같이 점전하 A, B, C가 x축상에 고정되어 있다. B와 C의 위치는 각각 $x=-2d$, $x=2d$이다. 그림 (나)는 (가)에서 B를 점전하 D로 바꾸어 고정한 것이다. B, C, D의 전하량의 크기는 같다. 그림 (다)는 (가)와 (나)에서 양(+)전하 P의 위치를 x축상에서 옮기며 고정할 때, $-2d<x<2d$인 구간에서 P에 작용하는 전기력 F_P를 나타낸 것이다. 전기력의 방향은 $+x$방향이 양(+)이다.



(가)



(나)



(다)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

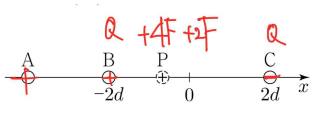
ㄱ. 전하량의 크기는 A가 C보다 크다.
ㄴ. (가)에서 P가 $x=0$에 있을 때, A가 P에 작용하는 전기력의 크기는 B가 P에 작용하는 전기력의 크기의 2배이다.
ㄷ. (나)에서 P가 $x=-d$에 있을 때, D가 P에 작용하는 전기력의 크기는 $2F_0$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

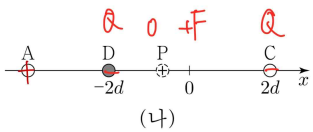
정 답 ⑤

해 설

문제에 주어진 정보 (다)를 이용하여 (가), (나)에서 점전하들의 부호와 전기력들을 체크하면 다음과 같다.



(가)



(나)

ㄱ. (나) $x=-d$) $\frac{Q_A}{(r-1)^2}=\frac{8}{9}$

(나) $x=0$) $\frac{Q_A}{r^2}=F_0=\frac{1}{2}$ ((가)-(나)) $\frac{1}{2}=F$)

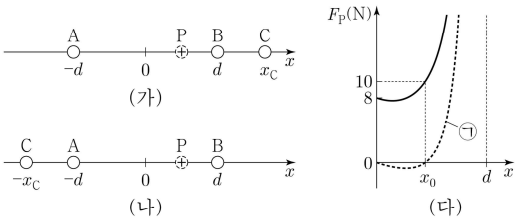
두 식을 연립하면 $\frac{(r-1)^2}{r^2}=\frac{1}{2}\times\frac{9}{8}=\frac{9}{16}$이므로 $Q_A=8Q$, $r=4d$이다. 따라서 전하량의 크기는 A가 C보다 크다. (O)

ㄴ. $F_{AP}=\frac{1}{2}$, $F_{BP}=\frac{1}{4}$이므로 2배이다. (O)

ㄷ. $F_{DP}=1=2F_0$이다. (O)

15 2026학년도 수능 20번 정답률 33%

20. 그림 (가)와 같이 x축상에서 점전하 A, B, C가 각각 $x=-d$, $x=d$, $x=x_C$에 고정되어 있다. 그림 (나)는 (가)에서 C의 위치를 $x=-x_C$로 옮겨 고정한 것이다. A와 B는 전하량의 크기가 같다. 그림 (다)는 (가), (나)에서 양(+)전하 P의 위치를 x축상에서 옮기며 고정할 때, $0 \le x < d$인 구간에서 P에 작용하는 전기력 F_P를 각각 나타낸 것이다. 전기력의 방향은 $+x$방향이 양(+)이다.



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

<보 기>

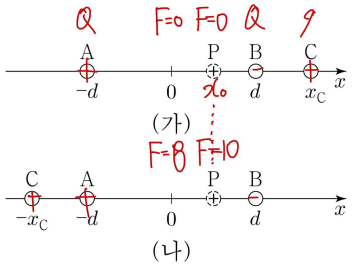
ㄱ. 전하량의 크기는 A가 C보다 작다.
ㄴ. (다)의 ㉠은 (나)에서 P에 작용하는 전기력이다.
ㄷ. P가 $x=x_0$에 있을 때, A와 B로부터 받는 전기력의 크기는 6N보다 작다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

(나)의 그래프에서 $x=d$ 근처에서 P는 오른쪽으로 힘을 받으므로 B는 음(-)전하이다. 또한 그래프의 개형이 내부에서 최소가 되는 지점이 있으므로 A와 B는 부호가 반대이다. 따라서 A는 양(+)전하이다. 또한 ㉠은 (가)이고, C는 양(+)전하이다.



ㄱ. (가)에서 P가 $x=0$에 있을 때 C가 작용하는 힘과 AB가 작용하는 힘의 크기가 같으므로 전하량의 크기는 $Q_A < Q_C$이다. (O)

ㄴ. ㉠은 (가)에 의한 그래프이다. (X)

ㄷ. (가)에서 P가 $x=0$에 있을 때 $F_{AB}-F_C=0$
(나)에서 $F_{AB}+F_C=8$이므로 $F_{AB}=F_C=4$이다.
또한 (가)에서 P의 위치가 $x=x_0$일 때, A, B가 P에 작용하는 전기력의 크기와 C가 P에 작용하는 전기력의 크기의 합은 10이다. 이때 C가 P에 작용하는 전기력의 크기는 P의 위치가 $x=0$일 때의 4보다 작으므로 P가 A와 B로부터 받는 전기력의 크기는 6보다 크다. (X)

PART 2
보어의 원자 모형

개념 유형

(1) 스펙트럼

(2) 보어의 원자 모형

기출 유형

(1) 전자의 에너지 준위

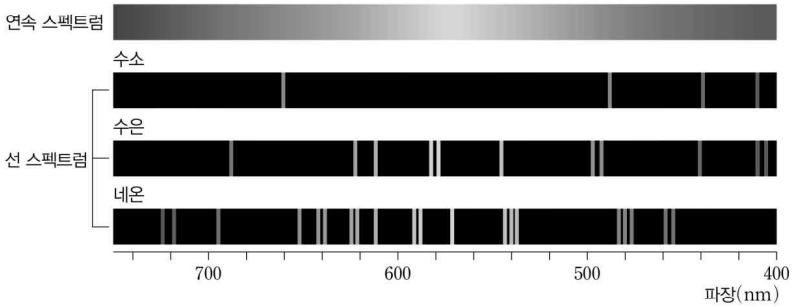
THEME

1 — 스펙트럼

정리1 스펙트럼

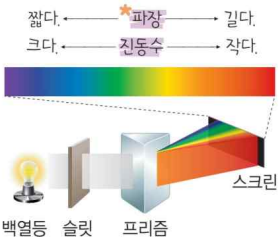
개념1 스펙트럼

스펙트럼은 빛이 파장에 따라 분리되어 나타나는 색의 띠이다.



개념2 연속 스펙트럼

연속 스펙트럼은 주로 두 가지 메커니즘을 통해 생성된다.



① 흑체 복사 (Black-body Radiation)

모든 물체는 자신의 온도에 따라 전자기파를 방출한다. 흑체는 자신에게 들어오는 모든 복사 에너지를 흡수하고, 오직 온도에 의해서만 복사 에너지를 방출하는 이상적인 물체이다.
고온의 고체나 액체, 또는 밀도가 매우 높은 기체는 흑체와 유사하게 행동한다. 이러한 물체 내부의 원자들은 매우 촘촘하게 상호작용하며, 개별 원자의 뚜렷한 에너지 준위가 사실상 의미를 잃고 수많은 에너지 상태가 겹쳐진 에너지 띠(energy band)를 형성한다. 이 에너지 띠 내에서는 전자가 가질 수 있는 에너지 값이 거의 연속적이다. 따라서 전자가 이 띠 내에서 에너지를 잃고 전이할 때, 방출할 수 있는 에너지의 크기 또한 연속적인 값을 갖게 된다. 그 결과, 방출되는 빛의 파장 역시 연속적인 분포를 가지게 되어 무지개와 같은 연속 스펙트럼이 나타난다. 태양이나 백열전구에서 나오는 빛이 대표적인 예이다.

② 자유-자유 전이 (Free-Free Transition)

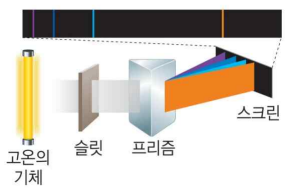
이온화된 기체, 즉 플라즈마(plasma) 상태에서 자유 전자가 이온의 전기장 근처를 지나갈 때 발생한다.
전자는 이온에 속박되지 않은 자유 상태(free state)이며, 이온과 상호작용하는 동안에도 여전히 자유 상태를 유지한다.
이 과정에서 전자는 가속(또는 감속) 운동을 하게 되고, 전자기학 이론에 따라 가속하는 전하는 전자기파를 방출한다.
이때 전자가 잃는 에너지의 양은 양자화되어 있지 않고, 전자의 초기 속도와 이온과의 거리 등 다양한 요인에 따라 연속적인 값을 가질 수 있다. 따라서 방출되는 전자기파의 스펙트럼 역시 넓은 범위에 걸쳐 연속적으로 나타난다.
이 과정을 제동 복사(Bremsstrahlung)라고도 한다.

개념3 방출 스펙트럼

원자나 분자가 높은 에너지 상태(E_2)에서 낮은 에너지 상태(E_1)로 전이하면서,
두 에너지 준위의 차이에 해당하는 에너지($\Delta E = E_2 - E_1$)를 가진 광자를 방출한다.

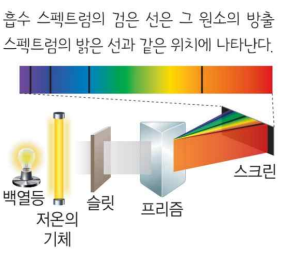
이때 방출되는 빛의 주파수는 $f = \frac{\Delta E}{h}$ (h는 플랑크 상수)로 정확히 결정되므로,

특정 주파수에서만 밝은 선이 나타나는 선 스펙트럼(line spectrum)이 형성됩니다.



개념4 흡수 스펙트럼

연속적인 빛(백색광)이 저온의 기체를 통과할 때, 기체 원자들은 자신의 에너지 준위 차이와 정확히 일치하는 에너지를 가진 광자만을 흡수하여 더 높은 에너지 상태로 들뜨게 된다.
그 결과, 연속적인 스펙트럼 배경에 특정 주파수의 빛만 사라진 검은 흡수선이 나타난다.



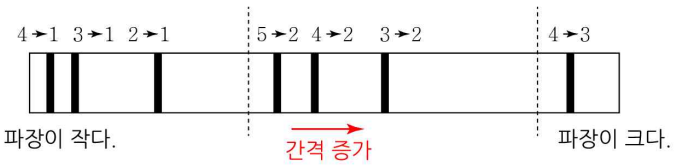
정리2 스펙트럼의 관찰

개념1 스펙트럼의 해석

① 간격에 대한 해석

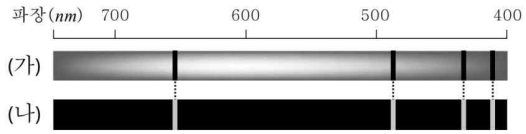
전자의 전이에 대해서 방출되거나 흡수하는 빛에 대해서 스펙트럼을 관측해보자.

광자의 에너지($E=\frac{hc}{\lambda}$)가 클수록 스펙트럼 선의 간격이 좁아지는 것을 알 수 있다.



② 동일한 원소의 조건

'선이 전부 같다'면 (가)와 (나)는 동일한 원소이다. 이때 단 1개의 선이라도 다르면 동일한 원소가 아니다.



개념2 스펙트럼의 계열

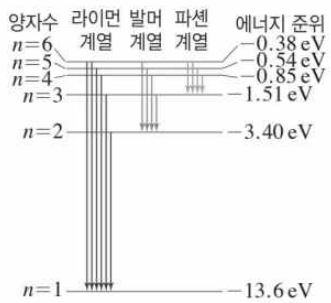
스펙트럼의 계열은 크게 3가지의 계열이 있다.

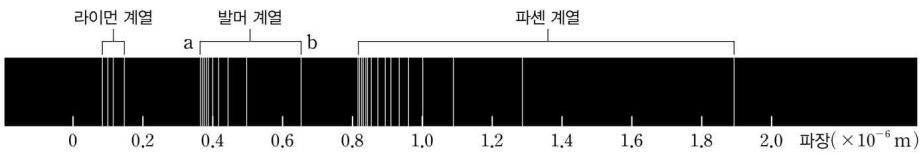
① 라이먼 계열은 전자가 $n \geq 2$인 궤도에서 $n=1$인 궤도로 전이할 때 나오는 빛의 계열이다.
라이먼 계열의 빛은 항상 자외선이다.

② 발머 계열은 전자가 $n \geq 3$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때 나오는 빛의 계열이다.
발머 계열에서 $n \geq 7$인 궤도에서 전자가 전이하면 자외선이 나오고, $n=3\sim6$인 궤도에서 전자가 전이하면 가시광선가 나온다.

③ 파센 계열은 전자가 $n \geq 4$인 궤도에서 $n=3$인 궤도로 전이할 때 나오는 빛의 계열이다.
라이먼 계열의 빛은 항상 적외선이다.







계열의 종류	전자의 전이	발생되는 빛의 종류
라이먼 계열	전자가 $n \geq 2$인 궤도에서 $n=1$인 궤도로 전이	자외선
발머 계열	전자가 $n \geq 3$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이	자외선($n \geq 7$), 가시광선($n=3\sim6$)
파센 계열	전자가 $n \geq 4$인 궤도에서 $n=3$인 궤도로 전이	적외선

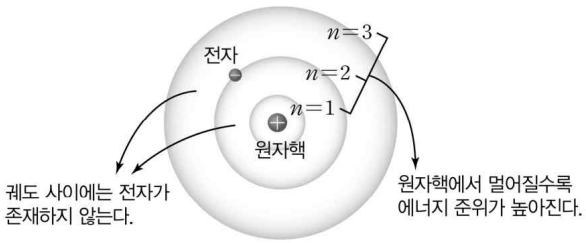
THEME

2 — 보어의 원자 모형

정리1 보어의 수소 원자 모형

개념1 보어의 수소 원자 모형

원자의 중심에 있는 원자핵을 중심으로 전자가 특정한 궤도에서 원운동한다.
정확하게는 전자는 궤도를 정상파의 궤도로 $2\pi r \times mv = n\hbar$를 만족하며 진동하며 원운동한다.
즉, 전자는 공명을 통하여 전자기파를 방출하지 않고 안정하게 존재한다. (러더퍼드 원자 모형의 문제점 해결)

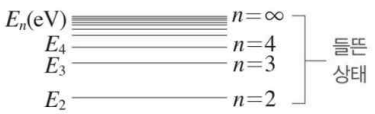


개념2 보어 원자 모형의 특징

① 궤도와 양자수
원자핵에서 가장 가까운 궤도부터 $n=1$, $n=2$, $n=3$, …인 궤도라고 하며, n을 양자수(Quantum number)라고 한다.

② 에너지의 양자화 (양자화 : 물리량이 띄엄띄엄하게 불연속적으로 존재하는 것)
전자는 양자수와 관련된 특정한 에너지 값만 갖는다. (즉, $n=1$과 $n=2$사이에 전자가 존재할 수 없다.)

③ 에너지 준위(Energy level)
원자에 속박된 전자가 가지는 에너지 값 또는 에너지 상태
양자수 n에 따라 불연속적인 값을 가지며, n이 커질수록 에너지 준위도 커진다.
에너지 준위는 전자의 역학적 에너지이다.





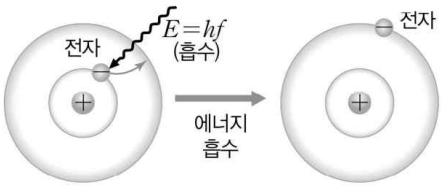
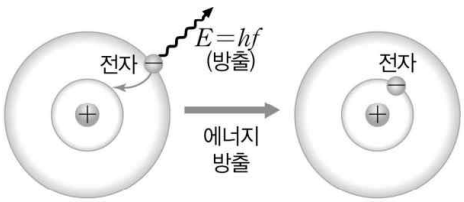
- 바닥상태($n=1$) : 전자들이 낮은 에너지 준위에 놓여 있어 가장 안정적인 상태
- 첫 번째 들뜬상태($n=2$) : 바닥 상태보다 전자의 에너지가 커서 불안정한 상태
- 들뜬상태($n \geq 2$) : 바닥상태의 전자가 에너지를 흡수해 높은 에너지 준위로 이동한 상태

정리2 전자가 전이할 때 광자의 에너지

개념1 전자가 전이할 때 광자의 에너지

전자는 두 에너지 준위의 차이에 해당하는 에너지(빛에너지 또는 광자)를 흡수하거나 방출하며 에너지 준위 사이를 이동한다.

① 에너지를 흡수할 때 : 낮은 에너지 준위에 있는 전자가 높은 에너지 준위로 전이한다.
② 에너지를 방출할 때 : 높은 에너지 준위에 있는 전자가 낮은 에너지 준위로 전이한다.

에너지를 흡수할 때	에너지를 방출할 때
	
전자가 낮은 에너지 준위에서 높은 에너지 준위로 전이한다. → 전자가 바깥쪽 궤도로 이동한다.	전자가 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 전이한다. → 전자가 안쪽 궤도로 이동한다.

③ 전자가 양자수 m, n인 에너지 준위 E_m, E_n사이를 전이할 때 방출하거나 흡수하는 빛, 즉 광자 1개의 에너지 $E_{광자}$는 다음과 같다.

$$|E_m - E_n| = hf = \frac{hc}{\lambda} = E_{광자}$$

전자 ↲ ↳ 광자

개념2 전자가 전이할 때 나오는 광자의 파장

$$\text{광자의 파장 : } \lambda = \frac{hc}{|E_m - E_n|}$$

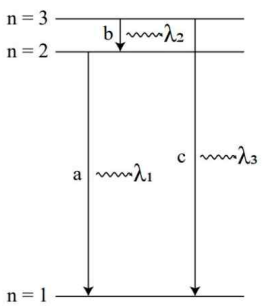
개념3 전자가 전이 할 때의 특징

① $f_c = f_b + f_a = (\frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_1})c = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\lambda_1 \lambda_2}c = \frac{E_b + E_a}{h} = \frac{E_3 - E_1}{h}$

진동수 파장1 파장2 에너지1 에너지2

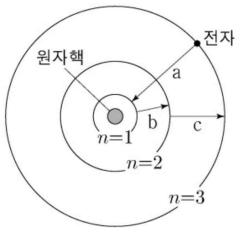
② $\frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{\lambda_b} + \frac{1}{\lambda_a}$ 또는 $\lambda_c = \frac{\lambda_a \lambda_b}{\lambda_a + \lambda_b} = \frac{hc}{E_3 - E_1}$

파장 에너지



예제1 전자의 궤도

그림은 보어의 수소 원자 모형에서 양자수 n에 따른 전자의 궤도와 전자의 전이 a, b, c를 나타낸 것이다. a, b, c에서 흡수하거나 방출하는 빛의 파장은 각각 λ_a, λ_b, λ_c이며, n에 따른 에너지 준위는 E_n이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. a에서 빛을 흡수한다.

ㄴ. $\frac{1}{\lambda_a}=\frac{1}{\lambda_b}+\frac{1}{\lambda_c}$이다.

ㄷ. $\frac{\lambda_a}{\lambda_c}=\frac{E_3-E_1}{E_3-E_2}$이다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

해설

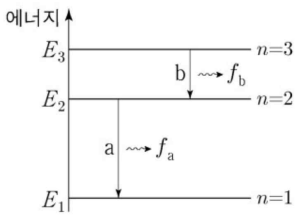
ㄱ. a에서는 빛을 방출한다. (X)

ㄴ. 파장은 병렬 덧셈으로써 $\frac{1}{\lambda_a}=\frac{1}{\lambda_b}+\frac{1}{\lambda_c}$이다. (O)

ㄷ. 파장은 에너지에 반비례하므로 $\frac{\lambda_a}{\lambda_c}=\frac{E_3-E_2}{E_3-E_1}$이다. (X)

예제2 에너지 준위

그림은 보어의 수소 원자 모형에서 양자수 n에 따른 에너지 준위의 일부와 전자의 전이 a, b를 나타낸 것이다. a, b에서 방출되는 빛의 진동수는 각각 f_a, f_b이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 전자가 원자핵으로부터 받는 전기력의 크기는 $n=1$인 궤도에서가 $n=2$인 궤도에서보다 크다.

ㄴ. b에서 방출되는 빛은 가시광선이다.

ㄷ. $f_a+f_b=\frac{|E_3-E_1|}{h}$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

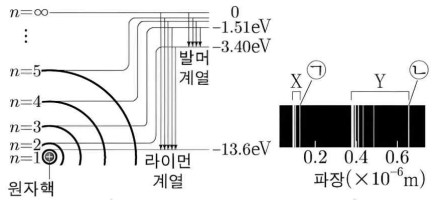
ㄱ. 전자가 받는 전기력의 크기는 $n=1$인 궤도가 더 크다. (O)

ㄴ. b는 $n=3$에서 $n=2$로 전이되는 빛이므로 가시광선이다. (O)

ㄷ. 진동수는 직렬 덧셈이다. 따라서 $f_a+f_b=\frac{|E_3-E_1|}{h}$이다. (O)

예제3 전자의 궤도와 스펙트럼

그림 (가)는 보어의 수소 원자 모형에서 양자수 n에 따른 에너지 준위와 전자의 전이에 따른 스펙트럼 계열 중 라이먼 계열, 발머 계열을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 방출되는 빛의 스펙트럼 계열을 파장에 따라 나타낸 것으로 X, Y는 라이먼 계열, 발머 계열 중 하나이고, ㉠과 ㉡은 각 계열에서 파장이 가장 긴 빛의 스펙트럼선이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. X는 라이먼 계열이다.
ㄴ. 광자 1개의 에너지는 ㉠에서가 ㉡에서보다 작다.
ㄷ. ㉡은 전자가 $n=\infty$에서 $n=2$로 전이할 때 방출되는 빛의 스펙트럼선이다.

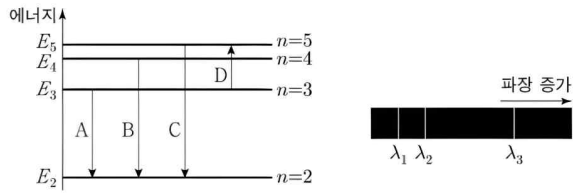
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 파장이 클수록 에너지가 작다. 따라서 X는 라이먼 계열이고, Y는 발머 계열이다. (O)
ㄴ. 광자 1개의 에너지는 ㉠>㉡이다. (X)
ㄷ. 파장이 제일 크므로 에너지는 제일 작다.
발머 계열에서 에너지가 제일 작으려면 $n=3$에서 $n=2$로 전이할 때 방출되는 빛의 스펙트럼이다. (X)

예제4 에너지 준위와 스펙트럼

그림 (가)는 보어의 수소 원자 모형에서 양자수 n에 따른 에너지 준위의 일부와 전자의 전이 A~D를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 A, B, C에서 방출되는 빛의 스펙트럼을 파장에 따라 나타낸 것이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. B에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 $|E_4-E_2|$이다.
ㄴ. C에서 방출되는 빛의 파장은 λ_1이다.
ㄷ. D에서 흡수되는 빛의 진동수는 $\left(\frac{1}{\lambda_1}+\frac{1}{\lambda_3}\right)c$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

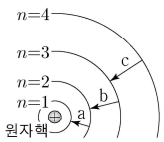
해설

ㄱ. B에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 $|E_4-E_2|$이다. (O)
ㄴ. C는 에너지가 가장 큰 빛으로 파장은 제일 작다. (O)
ㄷ. λ_1은 C에 대응하고, λ_3는 A에 대응한다.
D는 $\left(\frac{1}{\lambda_1}-\frac{1}{\lambda_3}\right)c$이다. (X)

유형 01 전자의 에너지 준위

01 2022학년도 6월 7번 정답률 72%

7. 그림은 보어의 수소 원자 모형에서 양자수 n에 따른 전자의 궤도 일부와 전자의 전이 a, b, c를, 표는 n에 따른 에너지를 나타낸 것이다. a, b, c에서 방출되는 빛의 진동수는 각각 f_a, f_b, f_c이다.



양자수	에너지(eV)
$n=1$	-13.6
$n=2$	-3.40
$n=3$	-1.51
$n=4$	-0.85

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 방출되는 빛의 파장은 a에서가 b에서보다 짧다.
ㄴ. $f_a < f_b + f_c$이다.
ㄷ. 전자가 원자핵으로부터 받는 전기력의 크기는 $n=2$일 때가 $n=3$일 때보다 작다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

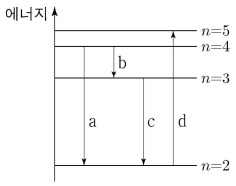
정 답 ①

해 설

ㄱ. 에너지는 a > b이므로 파장은 $a < b$이다. (O)
ㄴ. $E_{2\to1}$은 약 10이고, $E_{4\to2}$는 약 2이다. (X)
ㄷ. 가까울 때 전기력이 크다. (X)

02 2022학년도 9월 6번 정답률 62%

6. 그림은 보어의 수소 원자 모형에서 양자수 n에 따른 에너지 준위의 일부와 전자의 전이 a~d를 나타낸 것이다. a~d에서 흡수 또는 방출되는 빛의 파장은 각각 λ_a, λ_b, λ_c, λ_d이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. d에서는 빛이 방출된다.
ㄴ. $\lambda_a > \lambda_d$이다.
ㄷ. $\frac{1}{\lambda_a} - \frac{1}{\lambda_b} = \frac{1}{\lambda_c}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

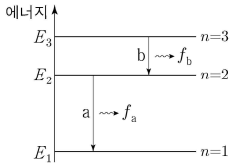
정 답 ④

해 설

ㄱ. d에서는 빛을 흡수한다. (X)
ㄴ. 에너지는 d > a이므로 파장은 d < a이다. (O)
ㄷ. 파장은 병렬 관계이다. (O)

03 2022학년도 수능 5번 정답률 73%

5. 그림은 보어의 수소 원자 모형에서 양자수 n에 따른 에너지 준위의 일부와 전자의 전이 a, b를 나타낸 것이다. a, b에서 방출되는 빛의 진동수는 각각 f_a, f_b이다.



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

<보 기>

ㄱ. 전자가 원자핵으로부터 받는 전기력의 크기는 $n=1$인 궤도에서가 $n=2$인 궤도에서보다 크다.
ㄴ. b에서 방출되는 빛은 가시광선이다.
ㄷ. $f_a+f_b=\dfrac{|E_3-E_1|}{h}$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

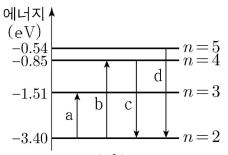
정 답 ⑤

해 설

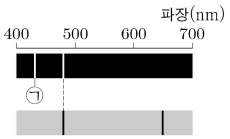
ㄱ. 전기력의 크기는 가까울수록 더 크므로 $n=1>n=2$이다. (O)
ㄴ. $n=3$에서 $n=2$로 전이하므로 가시광선이다. (O)
ㄷ. $f_a+f_b=f_{3\to1}=\dfrac{|E_3-E_1|}{h}$이다. (O)

04 2023학년도 6월 7번 정답률 68%

7. 그림 (가)는 보어의 수소 원자 모형에서 양자수 n에 따른 에너지 준위 일부와 전자의 전이 a~d를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 a~d에서 방출과 흡수되는 빛의 스펙트럼을 파장에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. ㉠은 a에 의해 나타난 스펙트럼선이다.
ㄴ. b에서 흡수되는 광자 1개의 에너지는 2.55 eV이다.
ㄷ. 방출되는 빛의 진동수는 c에서가 d에서보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

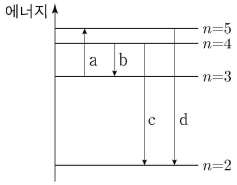
정 답 ②

해 설

ㄱ. ㉠은 파장이 제일 작으므로 에너지가 가장 크다.
따라서 ㉠은 d에 의해 나타난 스펙트럼선이다. (X)
ㄴ. b에서 흡수되는 광자 1개의 에너지는 2.55eV이다. (O)
ㄷ. 방출되는 빛의 진동수는 d>c이다. (X)

05 2023학년도 수능 5번 정답률 73%

5. 그림은 보어의 수소 원자 모형에서 양자수 n에 따른 에너지 준위의 일부와 전자의 전이 a~d를, 표는 a~d에서 흡수 또는 방출되는 광자 1개의 에너지를 나타낸 것이다.



전이	흡수 또는 방출되는 광자 1개의 에너지(eV)
a	0.97
b	0.66
c	㉠
d	2.86

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. a에서는 빛이 방출된다.
ㄴ. 빛의 파장은 b에서가 d에서보다 길다.
ㄷ. ㉠은 2.55이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

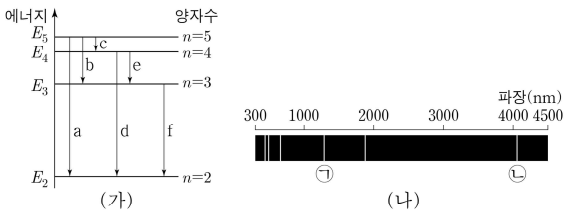
정 답 ④

해 설

ㄱ. a는 빛을 흡수한다. (X)
ㄴ. 에너지는 b < d 이므로 파장은 b > d이다. (O)
ㄷ. c의 에너지는 d − a + b이므로 2.55이다. (O)

06 2024학년도 6월 3번 정답률 60%

3. 그림 (가)는 보어의 수소 원자 모형에서 양자수 n에 따른 에너지 준위의 일부와 전자의 전이 a~f를 나타낸 것이고, (나)는 a~f에서 방출되는 빛의 스펙트럼을 파장에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, h는 플랑크 상수이다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. 방출된 빛의 파장은 a에서가 f에서보다 길다.
ㄴ. ㉠은 b에 의해 나타난 스펙트럼선이다.
ㄷ. ㉡에 해당하는 빛의 진동수는 $\frac{|E_5 - E_2|}{h}$이다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

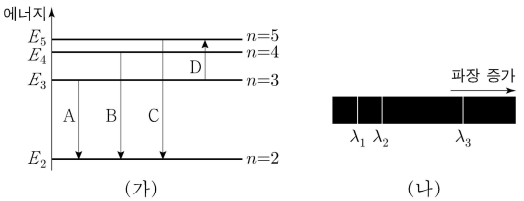
정 답 ①

해 설

ㄱ. 에너지는 a > f이므로 파장은 a < f이다. (X)
ㄴ. 파장이 크면 에너지가 작다.
따라서 ㉡은 c이고, ㉠은 b이다. (O)
ㄷ. ㉡은 c이므로 $E_c = E_{5\to4} = \frac{|E_5 - E_4|}{h}$이다. (X)

07 2024학년도 9월 4번 정답률 73%

4. 그림 (가)는 보어의 수소 원자 모형에서 양자수 n에 따른 에너지 준위의 일부와 전자의 전이 A~D를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 A, B, C에서 방출되는 빛의 스펙트럼을 파장에 따라 나타낸 것이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 빛의 속력은 c이다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. B에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 $|E_4-E_2|$이다.
ㄴ. C에서 방출되는 빛의 파장은 λ_1이다.
ㄷ. D에서 흡수되는 빛의 진동수는 $\left(\frac{1}{\lambda_1}+\frac{1}{\lambda_3}\right)c$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. b에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 $|E_4-E_2|$이다. (O)

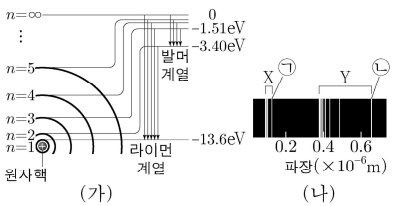
ㄴ. 에너지가 크면 파장이 작다. 따라서 C에서 방출되는 빛의 파장은 λ_1 이다. (O)

ㄷ. D에서 흡수되는 빛의 진동수는 $(\frac{1}{\lambda_1}-\frac{1}{\lambda_3})c$이다. (X)

(답이 에너지 형태가 아니므로 $E=hf$가 아닌 $c=f\lambda$ 이용!)

08 2024학년도 수능 4번 정답률 48%

4. 그림 (가)는 보어의 수소 원자 모형에서 양자수 n에 따른 에너지 준위와 전자의 전이에 따른 스펙트럼 계열 중 라이먼 계열, 발머 계열을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 방출되는 빛의 스펙트럼 계열을 파장에 따라 나타낸 것으로 X, Y는 라이먼 계열, 발머 계열 중 하나이고, ㉠과 ㉡은 각 계열에서 파장이 가장 긴 빛의 스펙트럼선이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. X는 라이먼 계열이다.
ㄴ. 광자 1개의 에너지는 ㉠에서가 ㉡에서보다 작다.
ㄷ. ㉡은 전자가 $n=\infty$에서 $n=2$로 전이할 때 방출되는 빛의 스펙트럼선이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

빛의 파장이 작으면 진동수가 크다.
X=라이먼 계열 (라이먼 **일병** → $n=1$로 전이)
Y=발머 계열 (발은 **2개** → $n=2$로 전이)

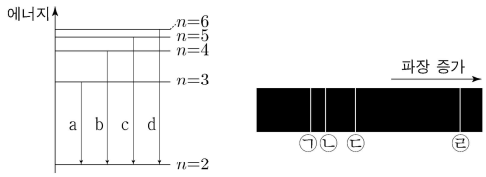
ㄱ. X=라이먼 계열 (O)

ㄴ. 광자 1개의 에너지는
항상 라이먼 계열(㉠) > 발머 계열이다.㉡ (X)

ㄷ. ㉡은 파장이 최대이므로 에너지가 작다.
따라서 $n=3$ → $n=2$로 전이할 때 방출되는 빛의 스펙트럼이다. (X)

09 2025학년도 6월 3번 정답률 86%

3. 그림 (가)는 보어의 수소 원자 모형에서 양자수 n에 따른 에너지 준위의 일부와 전자의 전이 a~d를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 a~d에서 방출되는 빛의 스펙트럼을 파장에 따라 나타낸 것이다.



(가)

(나)

(나)의 ㉠~㉣에 해당하는 전자의 전이로 옳은 것은?

	㉠	㉡	㉢	㉣
①	a	b	c	d
②	a	c	b	d
③	d	a	b	c
④	d	b	c	a
⑤	d	c	b	a

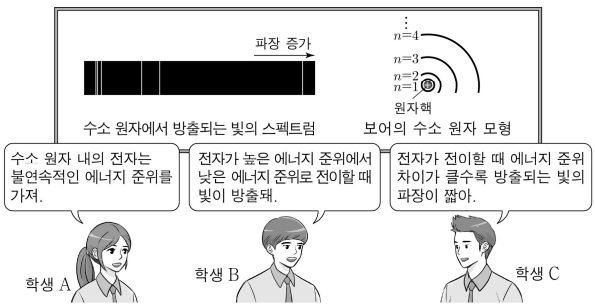
정 답 ⑤

해 설

광자의 파장이 크면 에너지가 작다.
따라서 d, c, b, a순이다.

10 2025학년도 9월 3번 정답률 80%

3. 그림은 수소 원자에서 방출되는 빛의 스펙트럼과 보어의 수소 원자 모형에 대한 학생 A, B, C의 대화를 나타낸 것이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

① A ② C ③ A, B ④ B, C ⑤ A, B, C

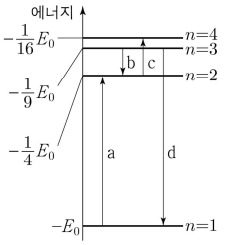
정 답 ⑤

해 설

A. 수소 원자 내의 전자는 불연속적인 에너지 준위를 가진다. (O)
B. 전자가 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 전이할 때 빛이 방출된다. (O)
C. 에너지 준위의 차이가 클수록 빛의 파장은 짧아진다. (O)

11 2025학년도 수능 3번 정답률 78%

3. 그림은 보어의 수소 원자 모형에서 양자수 n에 따른 에너지 준위의 일부와 전자의 전이 a~d를 나타낸 것이다. a에서 흡수되는 빛의 진동수는 f_a이다.



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

<보 기>

ㄱ. a에서 흡수되는 광자 1개의 에너지는 $\frac{3}{4}E_0$이다.
ㄴ. 방출되는 빛의 파장은 b에서가 d에서보다 짧다.
ㄷ. c에서 흡수되는 빛의 진동수는 $\frac{1}{8}f_a$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

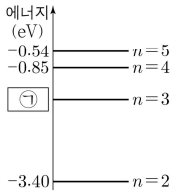
정 답 ①

해 설

ㄱ. a에서 흡수되는 광자 1개의 에너지는 $\frac{3}{4}E_0$이다. (O)
ㄴ. 방출되는 빛의 파장은 b > d이다. (X)
ㄷ. $\frac{3}{4}E_0 = f_a$이고, $\frac{3}{16}E_0 = \frac{1}{4}f_a$이다. (X)

12 2026학년도 6월 7번 정답률 74%

7. 그림은 보어의 수소 원자 모형에서 양자수 n에 따른 에너지 준위의 일부를, 표는 전자의 전이 a, b, c에서 방출되는 광자 1개의 에너지를 나타낸 것이다.



전자의 전이		방출되는 광자 1개의 에너지(eV)
a	$n=4 \rightarrow$ ㉡	2.55
b	$n=5 \rightarrow n=2$	2.86
c	$n=5 \rightarrow n=3$	0.97

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. ㉠은 −1.51이다.
ㄴ. ㉡은 $n=2$이다.
ㄷ. 방출되는 빛의 파장은 b에서가 c에서보다 길다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

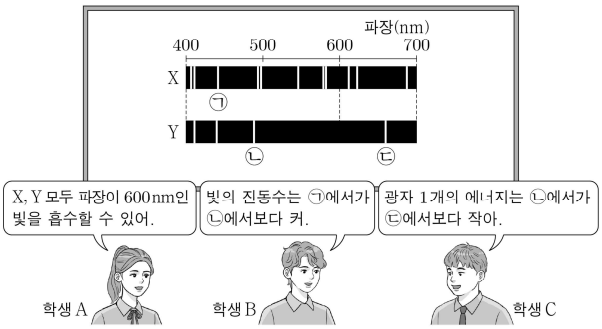
ㄱ. $E_2 = \frac{E_0}{4} = 3.4$이므로 $E_0 = 13.6$이다.

따라서 $E_3 = \frac{E_0}{9} = 1.51$이다. (O)

ㄴ. 에너지를 빼면 2.55가 나온다. (O)
ㄷ. 에너지는 b > c이므로 파장은 b < c이다. (X)

13 2026학년도 9월 4번 정답률 84%

4. 그림은 원자 X, Y에서 방출되는 빛의 스펙트럼에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다. ㉠은 X의 스펙트럼선, ㉡과 ㉢은 Y의 스펙트럼선이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

① A ② B ③ A, C ④ B, C ⑤ A, B, C

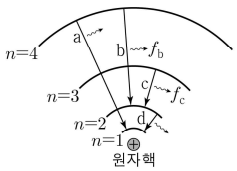
정 답 ②

해 설

A. 흡수할 수 없다. (X)
B. 빛의 진동수는 ㉠>㉡이다. (O)
C. 광자 1개의 에너지는 ㉡>㉢이다. (X)

14 2026학년도 수능 4번 정답률 79%

4. 그림은 보어의 수소 원자 모형에서 양자수 n에 따른 전자의 궤도 일부와 전자의 전이 a~d를, 표는 n에 따른 에너지 준위를 나타낸 것이다. b, c에서 방출되는 빛의 진동수는 각각 f_b, f_c이다.



양자수	에너지(eV)
$n=1$	-13.6
$n=2$	-3.40
$n=3$	-1.51
$n=4$	-0.85

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

<보 기>

ㄱ. 방출되는 빛의 파장은 a에서가 b에서보다 길다.
ㄴ. $f_b > f_c$이다.
ㄷ. d에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 10.2eV이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

ㄱ. 에너지는 a>b이므로 파장은 a<b이다. (X)
ㄴ. 에너지는 b>c이다. 따라서 $f_a > f_c$이다. (O)
ㄷ. d에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 10.2eV이다. (O)

PART 3
에너지 준위

개념 유형

(1) 에너지 준위

기출 유형

(1) 에너지 준위

THEME

1 — 에너지 준위

정리1 원자의 에너지 준위

개념1 기체 원자의 에너지 준위

원자들이 멀리 떨어져 있어 한 원자가 다른 원자의 에너지 준위에 영향을 주지 않으므로 기체 상태일 때 원자들은 동일한 에너지 준위를 갖는다.

개념2 고체 원자의 에너지 준위

원자 사이의 거리가 매우 가까워 인접한 원자들의 전자 궤도가 겹쳐서 에너지 준위가 겹친다.

① 에너지 준위의 변화

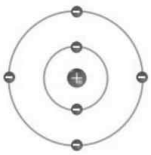
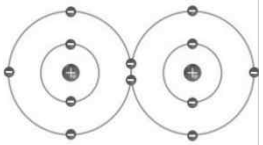
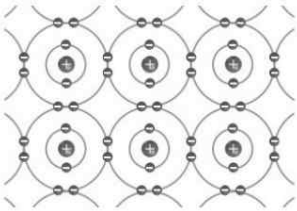
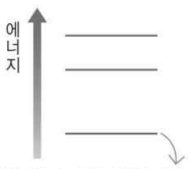
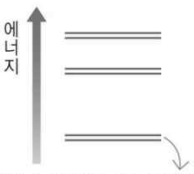
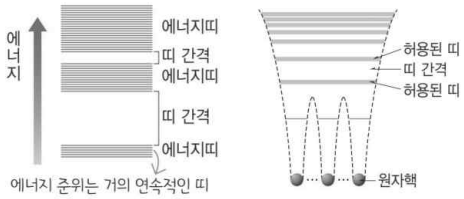
파울리 배타 원리에 의하여 하나의 양자 상태에 동일한 전자 2개가 있을 수 없다.

따라서 전자의 에너지 준위는 미세한 차를 두면서 존재한다. (인접한 원자의 원자핵과 전자 사이의 전기력 때문이다.)

② 에너지 띠

전자의 에너지 준위가 매우 가까워 연속적인 것으로 취급할 수 있는 에너지 준위 영역이다.

전자의 에너지가 연속적이긴 하지만, 에너지띠 안의 전자는 모두 같은 에너지를 갖진 않는다

구분	원자가 1개일 때	원자가 2개일 때	원자가 매우 많을 때
원자 구조			
에너지 준위	 1개의 원자는 불연속적인 여러 개의 에너지 준위를 갖는다.	 두 원자의 에너지 준위가 미세한 차이를 두며 존재한다.	 에너지 준위는 거의 연속적인 띠 (에너지띠)를 이룬다.

정리2 띠의 종류

개념1 허용된 띠(Allowed band)

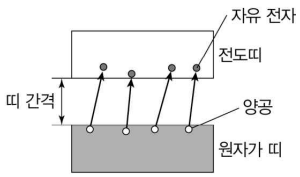
① 전자가 존재할 수 있는 영역이다. (전자가 가질 수 있는 에너지 영역)
② 절대 온도가 0K일 때 고체 원자 내부의 전자들은 허용된 띠의 에너지가 낮은 부분부터 채워진다

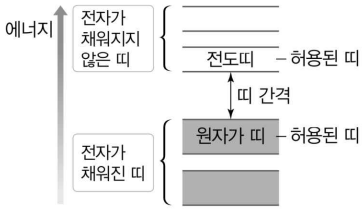
개념2 원자가 띠(Valence band)

① 전자가 채워진 에너지띠 중 맨 위의 띠
② 원자가 전자에 있는 전자는 띠 간격 이상의 열 에너지나 빛 에너지를 흡수하여 전도띠로 전이할 수 있다.
③ 원자가 띠에 전자의 빈자리가 없다면, 전자는 자유롭게 움직이지 못한다. (속박 전자)
④ 원자가 띠에 전자의 빈자리가 있다면, 양공과 전자의 움직임은 반대이다.

개념3 전도띠(Conduction band)

① 원자가 띠의 바로 위에 있는 에너지띠로 전자가 채워지지 않은 에너지띠이다.
② 전자가 채워져 있지 않기 때문에 전자는 자유롭게 이동할 수 있다. (자유 전자)
③ 전도 띠에서 전류의 방향은 전자의 이동 방향과 반대 방향과 반대이다. (전류의 성질)





개념4 띠 간격(Band gap)

① 원자가 띠와 전도띠 사이의 간격으로, 전자는 이 영역의 에너지 준위를 가질 수 없다.
② 원자가 띠의 가장 높은 에너지 준위와 전도띠의 가장 낮은 에너지 준위의 에너지 차이다.
③ 고체 물질의 전기 전도도를 결정하는 중요한 요인이다.

정리3 전기 전도성

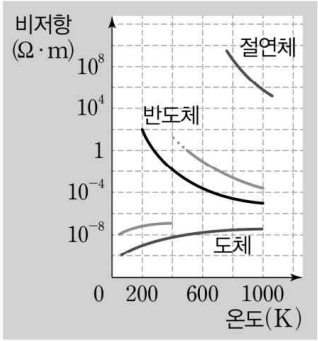
개념1 전기 전도성

① 전기 전도성은 물질에 전류가 얼마나 잘 흐르는지를 나타내는 성질이다.
전기 전도성이 좋으면 물질에 전류가 잘 흐른다.

② 물질의 띠 간격이 좁을수록 전기 전도성이 좋다.

③ 온도에 따라 전기 전도성이 달라진다.
- 절연체와 반도체 : 온도 증가 → 자유 전자의 수 증가 → 비저항 감소
- 도체 : 온도 증가 → 자유 전자와 충돌 증가 → 비저항 증가

④ 전기 전도성을 값으로 표현한 것이 전기 전도도(σ)이다.
전기 전도도는 비저항과 반비례 관계($\sigma = \frac{1}{\rho}$)에 있다.

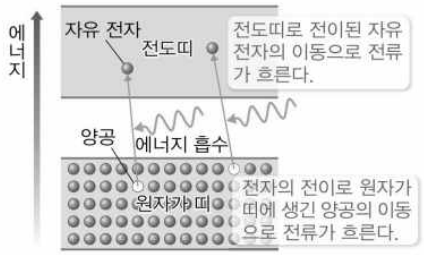


개념2 자유 전자와 양공

① 자유 전자(Free electron)
원자가 띠에 있던 전자가 띠 간격 이상의 에너지를 얻어 전도띠로 전이된 전자로, 작은 에너지만을 얻어도 자유롭게 움직일 수 있다.
자유전자가 생기면 작은 에너지 만으로도 전자가 쉽게 이동하므로 전류가 생긴다.

② 양공(정공, 홀, Electron hole)
전자의 전이로 인해 원자가 띠에 생기는 빈자리로, 이웃한 전자가 채워지면서 움직일 수 있기 때문에 양(+)전하를 띤 입자와 같은 역할을 한다.

③ 전하 나르개
자유 전자와 양공을 전하를 나르는 원인이 되므로 전하 나르개라고 한다.

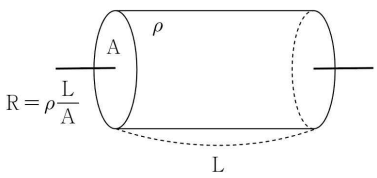


TIP 전도띠와 원자가띠에서 전류의 방향
① 전도띠에서 전류의 방향 : 전자의 이동 방향과 반대 방향
② 원자가띠에서 전류의 방향 : 양공의 이동 방향

개념3 원통형 도선의 저항

원통형 도선의 저항은 $R = \rho\frac{l}{A}$ [Ω] 이다.

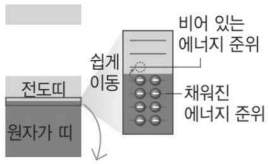
- R : 원통형 도선의 저항
- ρ : 비저항 (물질의 특성)
- l : 원통의 길이
- A : 원통의 단면적



정리4 고체의 종류와 전기 전도성

개념1 도체 (Conductor)

① 도체는 전류가 잘 흐르는 물질이다. 원자가 띠가 일부만 차 있거나 원자가 띠와 전도띠가 서로 겹쳐져 있어서 띠 간격이 없다.
② 띠 간격이 없어서 약간의 에너지만 흡수해도 전자가 쉽게 전도띠로 이동하여 고체 안을 자유롭게 이동하므로 전류가 잘 흐른다.
③ 전하 나르개는 자유 전자이다.
④ 예시로는 금, 은, 구리, 철, 알루미늄 등의 금속 물질이 있다.



개념2 절연체, 부도체 (Insulator)

① 절연체는 전류가 흐르기 어려운 물질이다. 원자가 띠가 완전히 채워져 있으며 띠 간격이 넓다.
② 띠 간격이 매우 넓어서 전자가 전도띠로 올라갈 수 없기 때문에 전류가 거의 흐르지 않는다.
③ 예시로는 다이아몬드, 유리, 나무, 고무 등의 비금속 물질이 있다.



개념3 반도체 (Semiconductor)

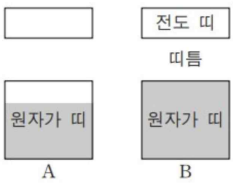
① 반도체는 도체와 절연체의 중간 정도의 물질이다. 원자가 띠가 완전히 채워져 있으며 띠 간격이 좁다.
② 띠 간격이 좁아서 전자가 일정량의 에너지를 흡수하면 전도띠로 이동하여 전류가 흐를 수 있다.
③ 순수한 반도체에서 전도 띠에서 전하 나르개는 자유 전자이고, 원자가 띠에서 전하 나르개는 양공이다.
 · 도핑한 반도체(p형)에서 주된 전하 나르개는 양공이다.
 · 도핑한 반도체(n형)에서 주된 전하 나르개는 자유 전자이다.
④ 예시로는 규소(Si), 저마늄(Ge) 등이 있다.



물질		전하 나르개
도체		· 원자가띠: 전도띠와 겹쳐 있어 전자가 자유롭게 이동하므로 특정 전하 나르개를 규정하기 어렵다. · 전도띠: 자유 전자 (개수가 매우 많다.)
절연체		· 원자가띠: 전자로 완전히 채워져 있으나, 이 전자들은 이동할 수 없어 전하 나르개 역할을 하지 못함. · 전도띠: 없음.
반도체	순수 반도체	· 원자가띠: 양공 (소량) · 전도띠: 전자 (소량, 전자의 수와 양공의 수가 같다.)
	p형 반도체	· 원자가띠: 양공 (많음, 다수 나르개) · 전도띠: 전자 (매우 적음, 소수 나르개) ⇒ 따라서 p형 반도체에서는 양공이 주된 전하 나르개이다. (양공의 수 >> 전자의 수)
	n형 반도체	· 원자가띠: 양공 (적음, 소수 나르개) · 전도띠: 전자 (많음, 다수 나르개) ⇒ 따라서 n형 반도체에서는 전자가 주된 전하 나르개이다. (전자의 수 >> 양공의 수)

예제1 고체의 에너지띠 구조

그림은 고체 A와 B의 에너지띠 구조를 모식적으로 나타낸 것이다. A와 B는 각각 도체와 반도체 중 하나이고, 색칠한 부분은 전자가 차 있는 에너지 준위를 나타낸다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A는 도체이다.
ㄴ. B에서 전자가 원자가 띠에서 전도 띠로 전이하면 양공이 생긴다.
ㄷ. B에서 원자가 띠에 있던 전자가 에너지를 방출하며 전도 띠로 전이한다.

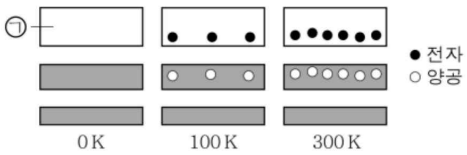
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. A는 전도 띠와 원자가 띠가 붙어있으므로 도체이다. (O)
ㄴ. B에서 전자가 원자가 띠에서 전도 띠로 전이하면 양공이 생긴다. (O)
ㄷ. B에서 원자가 띠에 있던 전자가 에너지를 흡수해야만 전도 띠로 전이한다. (X)

예제2 온도에 따른 에너지띠 구조

그림은 고체 A의 에너지띠 구조를 절대 온도에 따라 나타낸 것이다. 색칠한 부분은 0K에서 전자가 차 있는 에너지띠를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. ㉠은 전도 띠이다.
ㄴ. A는 도체이다.
ㄷ. 온도가 높을수록 A의 전기 전도성이 낮아진다

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. ㉠은 전도 띠이다. (O)
ㄴ. 전도 띠와 원자가 띠가 연결되어 있지 않으므로 도체가 아니다. (X)
ㄷ. 도체가 아닌이상 온도가 높아지면 전기 전도성은 높아진다. (X)

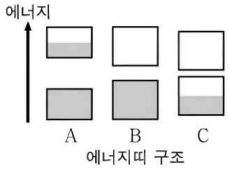
예제3 고체의 전기 전도도

다음은 물질 A, B, C의 전기 전도도를 알아보기 위한 탐구이다

[자료 조사 결과]

○ A, B, C는 각각 도체와 반도체 중 하나이다.

○ 에너지띠의 색칠된 부분까지 전자가 채워져 있다.

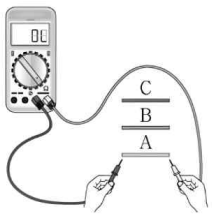


에너지띠 구조

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 저항 측정기에 A, B, C에 연결하여 저항을 측정한다.

(나) 측정한 저항값을 이용하여 A, B, C의 전기 전도도를 구한다.



[실험 결과]

물질	A	B	C
전기 전도도 $(1/\Omega \cdot m)$	6.0×10^{7}	2.2	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. ㉠에 해당하는 값은 2.2보다 작다.
ㄴ. A에서는 주로 양공이 전류를 흐르게 한다.
ㄷ. B에 도핑을 하면 전기 전도도가 커진다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

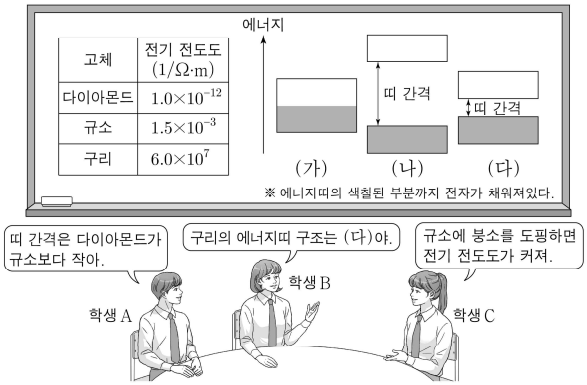
A는 도체, B는 반도체, C는 도체이다.

ㄱ. C는 도체이므로 ㉠은 2.2보다 크다. (X)
ㄴ. 도체는 자유 전자가 전류를 흐르게 한다. (X)
ㄷ. 반도체는 도핑을 하면 전기 전도도가 커진다. (O)

유형 01 고체의 에너지띠

01 2022학년도 6월 3번 정답률 85%

3. 그림은 학생 A, B, C가 도체, 반도체, 절연체를 각각 대표하는 세 가지 고체의 전기 전도도와 에너지띠 구조에 대해 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



고체	전기 전도도 ($1/\Omega\cdot m$)
다이아몬드	1.0×10^{-12}
규소	1.5×10^{-3}
구리	6.0×10^{7}

제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은? [3점]

① A ② B ③ C ④ A, B ⑤ B, C

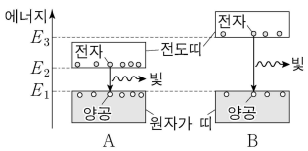
정 답 ③

해 설

A. 띠 간격은 다이아몬드>규소이다. (X)
B. 구리는 도체이기에 (가)이다. (X)
C. 반도체에 도핑하면 전기 전도도가 커진다. (O)

02 2023학년도 6월 5번 정답률 69%

5. 그림은 고체 A, B의 에너지띠 구조를 나타낸 것이다. A, B에서 전도띠의 전자가 원자가 띠로 전이하며 빛이 방출된다.



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

<보 기>

ㄱ. A에서 방출된 광자 1개의 에너지는 E_2-E_1보다 작다.
ㄴ. 띠 간격은 A가 B보다 작다.
ㄷ. 방출된 빛의 파장은 A에서가 B에서보다 짧다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

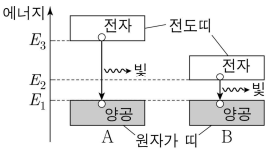
정 답 ②

해 설

ㄱ. A에서 방출된 광자 1개의 에너지는 E_2-E_1 이상이다. (X)
ㄴ. 띠간격은 A<B이다. (O)
ㄷ. 에너지는 A<B이므로 파장은 A>B이다. (X)

03 2026학년도 6월 9번 정답률 73%

9. 그림은 고체 A, B의 에너지띠 구조를 나타낸 것이다. 전도띠의 전자가 원자가 띠로 전이할 때 빛이 방출된다. A, B는 반도체, 절연체를 순서 없이 나타낸 것이다.



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

<보 기>

ㄱ. 전기 전도도는 A가 B보다 작다.
ㄴ. A에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 E_3이다.
ㄷ. B에서 방출되는 빛을 A에 비추면 A의 원자가 띠에 있는 전자가 전도띠로 전이한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

ㄱ. 띠 틈이 A > B이므로 전기 전도도는 A < B이다. (O)
ㄴ. A에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 $E_3 - E_1$이다. (X)
ㄷ. 에너지가 작아서 전이할 수 없다. (X)

PART 4
반도체와 다이오드

개념 유형

(1) 반도체
(2) 다이오드

기출 유형

(1) 다이오드

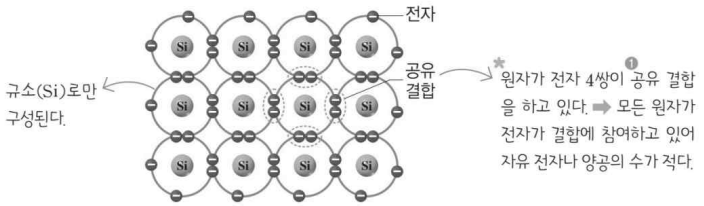
THEME

1 — 반도체

정리1 반도체의 종류

개념1 고유 반도체

① 불순물 없이 완벽한 결정 구조를 갖는 반도체로, 낮은 온도에서 양공이나 자유 전자의 수가 매우 적어 절연체에 가깝다.
② 순수한 규소(SI)는 양성자수와 전자수가 같으므로(14개) 전기적으로 중성이며 원자가 전자는 4개이다.
③ 원자가 전자는 원자의 에너지 준위를 전자 껍질로 나타낼 때 가장 바깥쪽 전자 껍질에 존재하여 화학 결합에 관여하는 전자의 합이다.
④ 공유 결합은 원자의 가장 바깥쪽 전자 껍질에 전자 8개가 배치되어 형성된 결합이다.



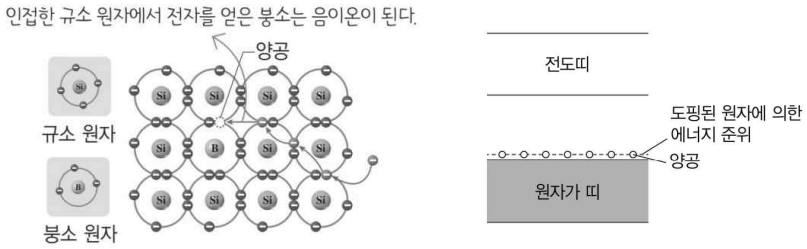
개념2 불순물 반도체

① 고유 반도체에 특정한 불순물을 넣어 전기 전도성을 증가시킨 반도체
② 도핑이란 반도체에 특정한 불순물을 섞는 과정으로, 띠 간격 사이에 새로운 에너지 준위를 삽입하는 것과 같다.

정리2 불순물 반도체의 종류

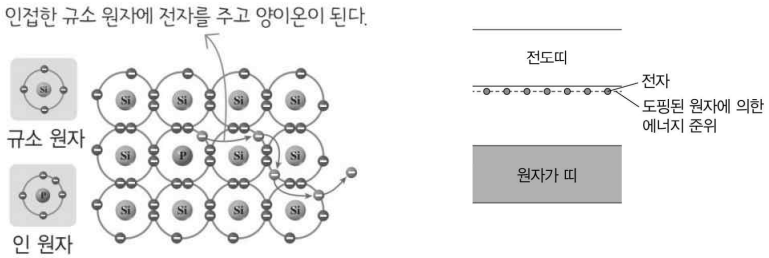
개념1 p형 반도체

① 원자가 전자가 3개인 원소(13족 원소) (예) 붕소(B), 알루미늄(Al), 갈륨(Ga), 인듐(In) 등
② 원자가 전자가 4개인 규소(Si)에 원자가 전자가 3개인 붕소(B)를 첨가하면 3개의 전자는 공유 결합을 하지만 전자 1개가 부족하여 빈자리인 양공이 생긴다.
③ 주변의 전자가 양공을 채우면 전자가 빠져나간 자리에 새로운 양공이 생긴다. ➡ 양공이 전하 나르개 역할을 한다.
④ 불순물에 의해 원자가 띠 바로 위에 새로운 에너지 준위가 만들어진다.
➡ 새로운 에너지 준위가 비어 있으므로 원자가 띠의 전자가 쉽게 전이할 수 있다.
➡ 원자가 띠에는 양공이 발생한다.



개념2 n형 반도체

① 원자가 전자가 5개인 원소(15족 원소) (예) 인(P), 질소(N), 비소(As), 안티모니(Sb) 등
② 원자가 전자가 4개인 규소(Si)에 원자가 전자가 5개인 인(P)을 첨가하면 4개의 전자가 공유 결합을 하고 전자 1개가 남는다.
③ 남는 전자는 원자에 약하게 속박되어 자유롭게 이동할 수 있다. ➡ 전자가 전하 나르개 역할을 한다.
④ 불순물에 의해 전도띠 바로 아래에 새로운 에너지 준위가 만들어진다.
➡ 원자가 띠가 완전히 채워져 있으므로 전자는 새롭게 만들어진 준위부터 채워진다.
➡ 전자가 쉽게 전도띠로 전이할 수 있다.

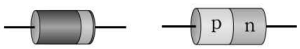
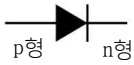


THEME
2 — 다이오드

정리1 다이오드

개념1 다이오드

다이오드는 전류를 한쪽 방향으로만 흐르게 하는 반도체 부품이다. 마치 물의 흐름을 한쪽으로만 허용하는 체크 밸브와 같은 역할을 전기 회로에서 수행한다. 가장 기본적인 다이오드는 p형 반도체와 n형 반도체를 접합해서 만든다.

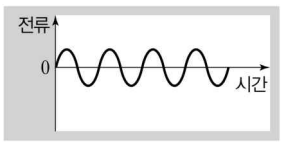
다이오드의 모습	다이오드의 기호
	

개념2 정류 작용

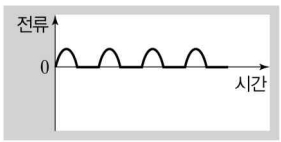
다이오드는 순방향 전압이 걸리면 전류가 흐르고, 역방향 전압이 걸리면 전류가 흐르지 않는다.
즉, 다이오드는 전류를 한쪽 방향으로만 흐르게 하는 특성이 있는데, 이를 정류 작용이라고 한다.
정류 작용을 이용하여 교류를 직류(한쪽 방향으로만 흐르는 전류를 직류라고 한다.)로 변환시킨다.

① 순방향 전압
P형에는 (+)극을, N형에는 (−)극을 연결하면 각 반도체의 다수 전하 운반자(P형의 정공, N형의 전자)가 접합부로 모여들어 쉽게 이동할 수 있는 통로가 생긴다. 이로 인해 전류가 원활하게 흐른다.
(일반적으로 실리콘 다이오드는 약 0.7V 이상의 전압이 걸려야 켜진다.)

② 역방향 전압
역방향 전압: P형에 (−)극을, N형에 (+)극을 반대로 연결하면 다수 전하 운반자들이 접합부에서 멀어지면서 '공핍층'이라는 장벽이 넓어진다. 이 장벽이 전류의 흐름을 막아 전류가 거의 흐르지 않게 된다.



[입력 전류]



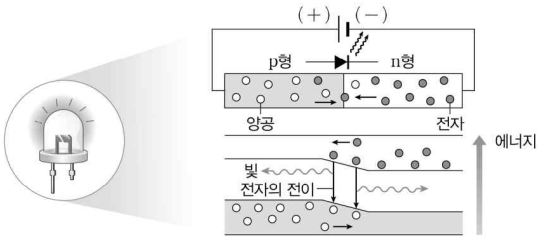
[출력 전류]

정리2 다이오드의 활용

개념1 발광 다이오드

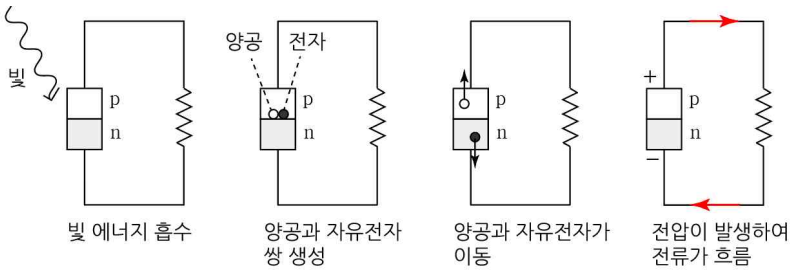
발광 다이오드는 전류가 흐를 때 빛이 나는 다이오드로, 신호등, 조명 장치, 전조등, 영상 표시 장치 등에 이용된다.

① LED = 전구 + 다이오드라고 생각하면 된다. 전구는 전류가 흐르면 빛이 나온다.
② LED에 전압(V)을 크게 걸어주면 전자와 양공의 결합이 많아지므로 더 밝은 빛이 나온다.
③ 에너지 갭은 일정(물질의 특성)하므로 전압을 크게 걸어줘도 색이 변하진 않는다.
④ 원리 : 전자와 양공이 결합하면 띠 간격에 해당하는 에너지만큼의 빛을 방출한다.
⑤ 특징 : 반도체의 띠 간격에 따라 방출되는 빛의 색이 다르다. (재료로 사용하는 화합물에 따라 띠 간격이 달라진다.)
도핑 농도를 높이면 자유 전자와 양공 수가 증가하므로 다이오드의 밝기가 증가한다.



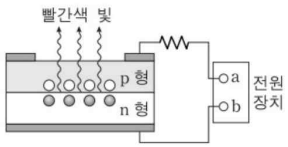
개념2 광 다이오드

① 광 다이오드는 발광 다이오드와는 반대로, 빛을 비추면 전류가 발생하는 다이오드이다.
빛을 비추면 접합면에서 양공과 전자가 생성된다. p형 쪽으로 양공이 이동하고, n형 쪽으로 전자가 이동한다.
따라서 p형을 (+)극, n형을 (−)극으로 생각할 수 있다.
② 광 다이오드에 도달하는 빛의 세기가 셀수록 형성되는 전자와 양공의 쌍의 개수가 많다.



예제1 발광 다이오드

그림은 p형, n형 반도체를 접합하여 만든 발광 다이오드를 직류 전원 장치에 연결했을 때, 빨간색 빛이 나오고 있는 것을 모식적으로 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 전원 장치의 단자 a는 (+)극이다.
ㄴ. n형 반도체의 전도띠에 있는 전자가 접합면으로 이동한다.
ㄷ. 띠틈이 더 큰 발광 다이오드를 연결하면 파장이 더 긴 빛이 나온다.

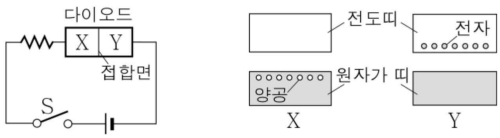
① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 전원 장치의 단자 a는 p형과 연결되어 있으므로 (+)극이다. (O)
ㄴ. n형 반도체의 전도띠에 있는 전자는 접합면으로 이동한다. (O)
ㄷ. 띠틈이 커지면 에너지가 커지므로 파장이 더 짧은 빛이 나온다. (X)

예제2 다이오드

그림 (가)는 직류 전원 장치, 저항, p−n 접합 다이오드, 스위치 S로 구성한 회로를, (나)는 (가)의 다이오드를 구성하는 반도체 X와 Y의 에너지띠 구조를 나타낸 것이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. X는 p형 반도체이다.
ㄴ. S를 닫으면 저항에 전류가 흐른다.
ㄷ. S를 닫으면 Y의 전자는 p−n 접합면에서 멀어진다

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

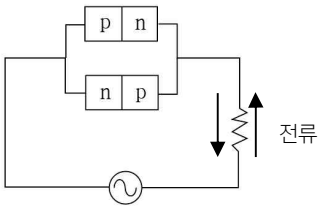
해설

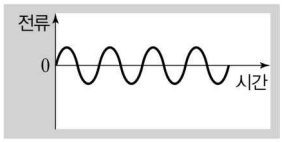
ㄱ. X는 P형 반도체이다. (O)
ㄴ. S를 닫으면 저항에 전류가 흐른다. (O)
ㄷ. S를 닫으면 Y의 전자는 접합면으로 이동한다. (X)

정리3 다중 다이오드

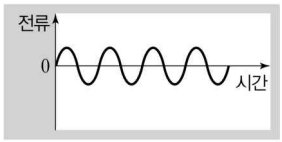
개념1 2중 다이오드

2중 다이오드는 둘 다 같은 방향의 다이오드면 문제를 출제한 의미가 없다. (한 개의 다이오드랑 똑같은 역할을 하기 때문이다.)
서로 반대 방향의 다이오드가 되면 교류 전원을 연결했을 때 저항에는 연속적인 교류 전류가 흐른다.
(전류 방향이 계속 바뀌므로 차량용 와이퍼에 쓸 수 있다.)





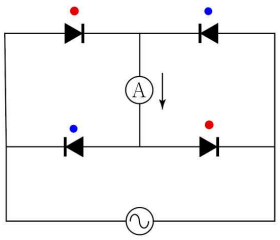
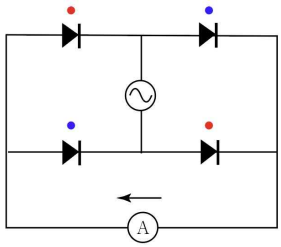
[입력 전류]



[출력 전류]

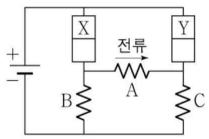
개념2 4중 다이오드

① 4중 다이오드에서는 전류계에 계속 연속적인 교류 전류가 흐르고, 전류의 방향은 일정하다.
이때 전류의 방향을 쉽게 찾는 방법에 대해서 설명하자면 다이오드를 기호로 바꿔서 화살표처럼 생각해보면,
전류가 흐르는 방향을 가리킨다.
② 외부에 전원이 있을 때는 근처 다이오드끼리 반대의 모양을 띄고 있고, 내부에 전원이 있을 때는 근처 다이오드끼리
동일한 모양을 띄고 있다.
③ 회로가 동작할 때 대각선의 관계에 있는 다이오드가 동작한다.
이후 기전력의 방향이 반대가 되었을 때 스위칭 작용으로 반대 경로의 다이오드가 동작한다.

	외부의 전원	내부의 전원
회로의 모양		

예제3 2중 다이오드

그림은 동일한 p−n 접합 다이오드 2개, 동일한 저항 A, B, C와 전지를 이용하여 구성한 회로를 나타낸 것이다. X와 Y는 p형 반도체와 n형 반도체를 순서 없이 나타낸 것이다. A에는 화살표 방향으로 전류가 흐른다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. X에서는 주로 양공이 전류를 흐르게 한다.
ㄴ. Y는 p형 반도체이다.
ㄷ. 전류의 세기는 B에서가 C에서보다 크다

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

해설

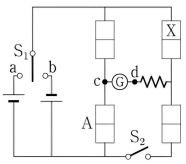
ㄱ. A에 흐르는 전류의 방향을 토대로 왼쪽 다이오드는 순방향으로 연결되고, 오른쪽 다이오드는 역방향으로 연결되어 있음을 알 수 있다. 따라서 X는 p형 반도체이고 주로 양공이 전류를 흐르게 한다. (O)
ㄴ. X가 p형 반도체이므로 Y는 n형 반도체이다. (X)
ㄷ. 합성 저항의 비가 1 : 2이므로 전류의 세기는 B에서가 더 크다. (O)

예제4 4중 다이오드 (외부의 전원)

다음은 p−n 접합 다이오드의 특성을 알아보는 실험이다

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 직류 전원 2개, 스위치 S_1, S_2, p−n 접합 다이오드 A, A와 동일한 다이오드 3개, 저항, 검류계로 회로를 구성한다. X는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다.



(나) S_1을 a 또는 b에 연결하고, S_2를 열고 닫으며 검류계를 관찰한다.

[실험 결과]

S_1	S_2	전류 흐름
㉠	열기	흐르지 않는다.
	닫기	c→Ⓖ→d로 흐른다.
㉡	열기	c→Ⓖ→d로 흐른다.
	닫기	c→Ⓖ→d로 흐른다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

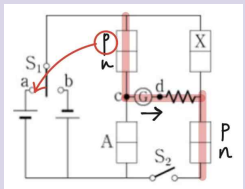
<보 기>

ㄱ. X는 n형 반도체이다.
ㄴ. 'b에 연결'은 ㉠에 해당한다.
ㄷ. S_1을 a에 연결하고 S_2를 닫으면 A에는 순방향 전압이 걸린다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

전류의 방향을 통해 다이오드의 모습을 추론하자.
전류가 c→Ⓖ→d로 흐르고 있으므로 다이오드들의 방향은 다이오드를 기호로 바꿔서 생각해보면 쉽게 찾을 수 있다. 또한 S_1을 ㉠에 연결하고 S_2를 열었을 때 동작하지 않으므로 전류의 흐름은 아래 그림과 같아야만 한다.



ㄱ. X는 n형 반도체이다. (O)
ㄴ. 'b에 연결'은 ㉡에 해당한다. (X)
ㄷ. A에는 역방향 전압이 걸린다. (X)

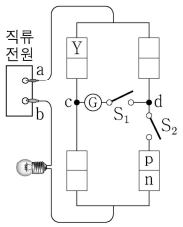
유형 01 다이오드

01 2022학년도 수능 10번 정답률 53%

10. 다음은 p-n 접합 다이오드의 특성을 알아보는 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 그림과 같이 동일한 p-n 접합 다이오드 4개, 스위치 S_1, S_2, 집게 전선 a, b가 포함된 회로를 구성한다. Y는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다.



(나) S_1, S_2를 열고 전구와 검류계를 관찰한다.

(다) (나)에서 S_1만 닫고 전구와 검류계를 관찰한다.

(라) a, b를 직류 전원의 (+), (−) 단자에 서로 바꾸어 연결한 후, S_1, S_2를 닫고 전구와 검류계를 관찰한다.

〔실험 결과〕

과정	전구	전류의 방향
(나)	×	해당 없음
(다)	○	c → S_1 → d
(라)	○	㉠

(○: 켜짐, ×: 켜지지 않음)

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

<보 기>

ㄱ. Y는 p형 반도체이다.
ㄴ. (나)에서 a는 (+) 단자에 연결되어 있다.
ㄷ. ㉠은 'd→S_1→c'이다.

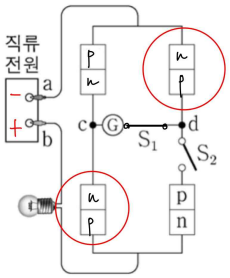
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

ㄱ. 전원이 외부에 있으므로 모든 다이오드의 방향은 반대이다.
따라서 Y는 p형 반도체이다. (O)

ㄴ. (다)에서 S_1는 닫혀있고, S_2는 열려있으므로
그림에 체크된 다이오드가 작동한다.
(스위치가 열려있는 쪽의 다이오드는 작동을 안한다.)
따라서 a는 (−) 단자에 연결되어 있다.



ㄷ. 저항에 흐르는 전류의 방향은 변하지 않는다. (암기사항) (X)

02 2023학년도 9월 17번 정답률 29%

17. 다음은 p-n 접합 다이오드를 이용한 회로에 대한 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 그림 I과 같이 p-n 접합 다이오드 X, X와 동일한 다이오드 3개, 전원 장치, 스위치, 검류계, 저항, 오실로스코프가 연결된 회로를 구성한다.

(나) 스위치를 닫는다.

(다) 전원 장치에서 그림 II와 같은 전압을 발생시키고, 저항에 걸리는 전압을 오실로스코프로 관찰한다.

(라) 스위치를 열고 (다)를 반복한다.

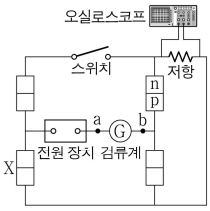


그림 I

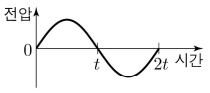
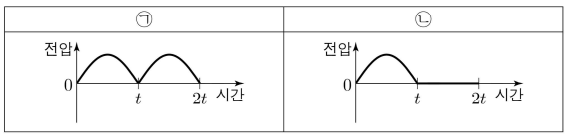


그림 II

〔실험 결과〕



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

<보 기>

ㄱ. ㉠은 (다)의 결과이다.
ㄴ. (다)에서 $0 \sim t$일 때, 전류의 방향은 b → Ⓖ → a이다.
ㄷ. (라)에서 $t \sim 2t$일 때, X에는 순방향 전압이 걸린다.

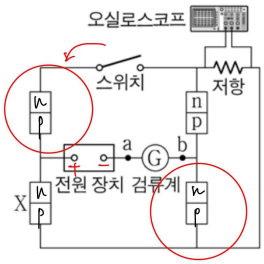
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

ㄱ. 스위치를 열었을 때 불완전한 파동이 나옴을 예측할 수 있고, (라)에서 스위치를 열었으므로 (라)는 ㉡이고, (다)는 ㉠이다. (O)

ㄴ. 스위치가 열려있을 때(㉡) 시간 $t \sim 2t$에서 회로에 전류가 흐르지 않는 것을 볼 수 있다. 이는 그림에 색칠한 다이오드가 동작하기 때문이다. 그러면 전원 장치의 극은 왼쪽이 (+), 오른쪽이 (-)이다.



따라서 시간 $0 \sim t$에는 전압의 방향이 반대가 되므로 a→Ⓖ→b로 전류가 흐른다. (X)

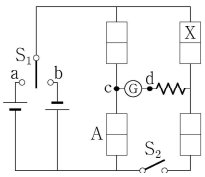
ㄷ. 시간 $t \sim 2t$에서 X는 동작하지 않으므로 역방향 전압이 걸린다. (X)

03 2023학년도 수능 15번 정답률 53%

15. 다음은 p-n 접합 다이오드의 특성을 알아보는 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 그림과 같이 직류 전원 2개, 스위치 S_1, S_2, p-n 접합 다이오드 A, A와 동일한 다이오드 3개, 저항, 검류계로 회로를 구성한다. X는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다.



(나) S_1을 a 또는 b에 연결하고, S_2를 열고 닫으며 검류계를 관찰한다.

〔실험 결과〕

S_1	S_2	전류 흐름
㉠	열기	흐르지 않는다.
	닫기	c → Ⓖ → d로 흐른다.
㉡	열기	c → Ⓖ → d로 흐른다.
	닫기	c → Ⓖ → d로 흐른다.

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

<보 기>

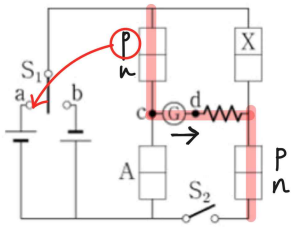
ㄱ. X는 n형 반도체이다.
ㄴ. 'b에 연결'은 ㉠에 해당한다.
ㄷ. S_1을 a에 연결하고 S_2를 닫으면 A에는 순방향 전압이 걸린다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

스위치의 위치에 따라서 망로가 스위칭이 된다.
S_1이 ㉠에 연결되고, S_2를 열거나 닫았을 때 전류의 변화가 있으니, 스위치를 포함하는 망로이다. 다이오드 방향은 그림과 같이 된다.
위쪽이 p형 반도체이므로 스위치는 a에 연결되어 있어야 한다.



ㄱ. 외부의 스위치에서는 다이오드의 방향이 전부 반대이므로 X는 n형 반도체이다. (O)
ㄴ. 'b에 연결은' ㉡에 해당한다. (X)
ㄷ. A는 망로가 아니므로 역방향 전압이 걸린다. (X)

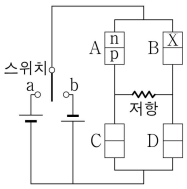
04 2024학년도 6월 11번 정답률 67%

11. 다음은 p-n 접합 발광 다이오드(LED)의 특성을 알아보기 위한 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 그림과 같이 동일한 LED A~D, 저항, 스위치, 직류 전원으로 회로를 구성한다. X는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다.

(나) 스위치를 a 또는 b에 연결하고, C, D에서 빛의 방출 여부를 관찰한다.



〔실험 결과〕

스위치	C에서 빛의 방출 여부	D에서 빛의 방출 여부
a에 연결	방출됨	방출되지 않음
b에 연결	방출되지 않음	방출됨

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

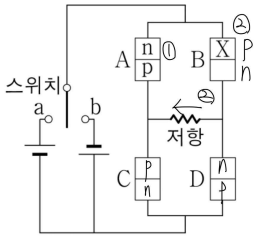
ㄱ. 스위치를 a에 연결하면 A에는 역방향 전압이 걸린다.
ㄴ. B의 X는 n형 반도체이다.
ㄷ. 스위치를 b에 연결하면 D의 p형 반도체에 있는 양공이 p-n 접합면에서 멀어진다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

A가 나와있으므로 나머지 다이오드는 전부 서로에 대해 반대이다.



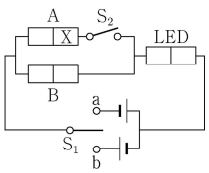
ㄱ. 스위치를 a에 연결하면 A에는 역방향이 걸린다. (O)
ㄴ. B의 X는 p형 반도체이다. (X)
ㄷ. D는 순방향 전압이 걸린다. (X)

05 2024학년도 9월 11번 정답률 59%

11. 다음은 p-n 접합 다이오드의 특성을 알아보는 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 그림과 같이 직류 전원, 동일한 p-n 접합 다이오드 A, B, p-n 접합 발광 다이오드(LED), 스위치 S_1, S_2를 이용하여 회로를 구성한다. X는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다.



(나) S_1을 a 또는 b에 연결하고, S_2를 열고 닫으며 LED에서 빛의 방출 여부를 관찰한다.

〔실험 결과〕

S_1	S_2	LED에서 빛의 방출 여부
a에 연결	열림	방출되지 않음
	닫힘	방출됨
b에 연결	열림	방출되지 않음
	닫힘	㉠

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

<보 기>

ㄱ. A의 X는 주로 양공이 전류를 흐르게 하는 반도체이다.
ㄴ. S_1을 a에 연결하고 S_2를 열었을 때, B에는 순방향 전압이 걸린다.
ㄷ. ㉠은 '방출됨'이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

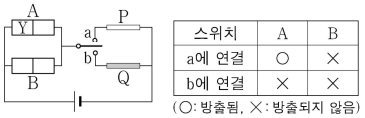
정 답 ①

해 설

ㄱ. S_1을 a에 연결하고 S_2를 닫았을 때 LED에 빛이 방출되므로 LED는 n|p 이고, B는 p|n이다. 그러면 A는 n|p이다. (O)
ㄴ. S_1을 b에 연결했을 때는 LED에 의해서 전류가 안흐른다. (X)
ㄷ. 방출되지 않는다. (X)

06 2024학년도 수능 13번 정답률 72%

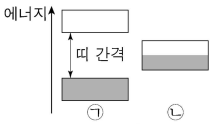
13. 그림 (가)는 동일한 p-n 접합 발광 다이오드(LED) A와 B, 고체 막대 P와 Q로 회로를 구성하고, 스위치를 a 또는 b에 연결할 때 A, B의 빛의 방출 여부를 나타낸 것이다. P, Q는 도체와 절연체를 순서 없이 나타낸 것이고, Y는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다. 그림 (나)의 ㉠, ㉡은 각각 P 또는 Q의 에너지띠 구조를 나타낸 것으로 음영으로 표시된 부분까지 전자가 채워져 있다.



스위치	A	B
a에 연결	○	×
b에 연결	×	×

(○: 방출됨, ×: 방출되지 않음)

(가)



(나)

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

<보 기>

ㄱ. Y는 주로 양공이 전류를 흐르게 하는 반도체이다.
ㄴ. (나)의 ㉠은 Q의 에너지띠 구조이다.
ㄷ. 스위치를 a에 연결하면 B의 n형 반도체에 있는 전자는 p-n 접합면으로 이동한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. 스위치를 a에 연결했을 때 전류가 흐르므로 P는 도체이다.
A는 p|n이고, B는 n|p이다.
따라서 Y는 양공이 전류를 흐르게 한다. (O)

ㄴ. (나)의 ㉠은 절연체로 Q이다. (O)

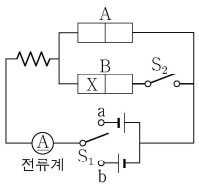
ㄷ. 역방향 전압이 걸려있으므로 전자는 접합면으로부터 멀어진다. (X)

07 2025학년도 6월 16번 정답률 74%

16. 다음은 p-n 접합 다이오드를 이용한 회로에 대한 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 그림과 같이 전압이 같은 직류 전원 2개, 저항, 동일한 p-n 접합 다이오드 A와 B, 스위치 S_1과 S_2, 전류계를 이용하여 회로를 구성한다. X는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다.



(나) S_1과 S_2의 연결 상태를 바꾸어 가며 전류계에 흐르는 전류의 세기를 측정한다.

〔실험 결과〕

S_1	S_2	전류의 세기
a에 연결	열림	㉠
	닫힘	I_0
b에 연결	열림	0
	닫힘	I_0

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. X는 p형 반도체이다.
ㄴ. S_1을 b에 연결했을 때, A에는 순방향 전압이 걸린다.
ㄷ. ㉠은 I_0이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

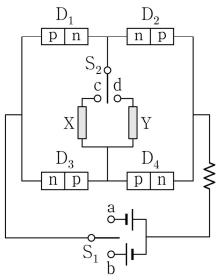
ㄱ. S_1을 b에 연결했을 때 전류의 세기를 통하여 A는 n|p, B는 p|n이므로 X는 p형 반도체이다. (O)
ㄴ. 역방향 전압이 걸린다. (X)
ㄷ. 계속 전류가 흐르므로 전류의 세기는 I_0이다. (O)

08 2025학년도 9월 13번 정답률 79%

13. 다음은 p-n 접합 발광 다이오드(LED)와 고체 막대를 이용한 회로에 대한 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 그림과 같이 전압이 같은 직류 전원 2개, 저항, 동일한 LED D_1~D_4, 고체 막대 X와 Y, 스위치 S_1과 S_2를 이용하여 회로를 구성한다. X와 Y는 도체와 절연체를 순서 없이 나타낸 것이다.



(나) S_1을 a 또는 b에 연결하고 S_2를 c 또는 d에 연결하며 D_1~D_4에서 빛의 방출 여부를 관찰한다.

〔실험 결과〕

S_1	S_2	빛이 방출된 LED
a에 연결	c에 연결	없음
	d에 연결	D_2, D_3
b에 연결	c에 연결	없음
	d에 연결	㉠

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

<보 기>

ㄱ. X는 절연체이다.
ㄴ. ㉠은 D_1, D_4이다.
ㄷ. S_1을 a에 연결하고 S_2를 d에 연결했을 때, D_1에는 순방향 전압이 걸린다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

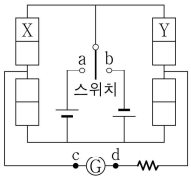
ㄱ. S_1을 a에 연결하고, d에 연결했을 때 전류가 흐르므로 Y는 도체이다. 그러면 X는 절연체이다. (O)
ㄴ. 반대 전압을 걸면 D_1, D_4가 켜진다. (O)
ㄷ. 역방향 전압이 걸린다. (X)

09 2025학년도 수능 12번 정답률 64%

12. 다음은 p-n 접합 다이오드의 특성을 알아보는 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 그림과 같이 전압이 같은 직류 전원 2개, 스위치, 동일한 p-n 접합 다이오드 4개, 저항, 검류계를 이용하여 회로를 구성한다. X, Y는 p형 반도체와 n형 반도체를 순서 없이 나타낸 것이다.



(나) 스위치를 a 또는 b에 연결하고, 검류계를 관찰한다.

〔실험 결과〕

스위치	전류의 흐름	전류의 방향
a에 연결	흐른다.	c → Ⓖ → d
b에 연결	흐른다.	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

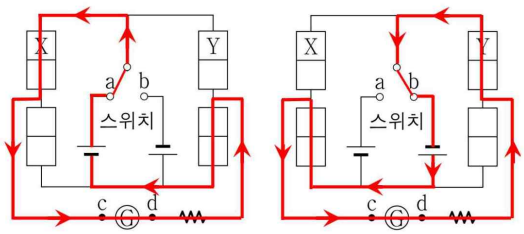
<보 기>

ㄱ. X는 p형 반도체이다.
ㄴ. ㉠은 'd → Ⓖ → c'이다.
ㄷ. 스위치를 b에 연결하면 Y에서 전자는 p-n 접합면으로부터 멀어진다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

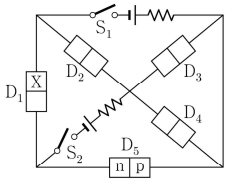


[스위치를 a에 연결할 때] [스위치를 b에 연결할 때]

ㄱ. 스위치를 a에 연결하고 전류의 흐름을 통해 X는 p형 반도체이다. (O)
ㄴ. 정류 회로의 전류의 방향은 변하지 않는다. (X)
ㄷ. 전압을 반대로 걸어주면 반대편 다이오드가 작동한다. 따라서 Y에서 전자는 p−n접합면으로 이동한다. (X)

10 2026학년도 9월 11번 정답률 70%

11. 그림은 동일한 전지 2개, 동일한 p-n 접합 발광 다이오드(LED) D_1~D_5, 동일한 저항 2개, 스위치 S_1과 S_2로 구성한 회로를 나타낸 것이다. 표는 S_1, S_2의 연결 상태에 따라 빛이 방출되는 LED를 나타낸 것이다. X는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다.



S_1	S_2	빛이 방출되는 LED
닫힘	열림	D_2, D_4
열림	닫힘	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

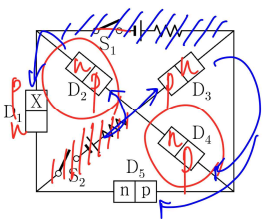
ㄱ. X는 주로 양공이 전류를 흐르게 하는 반도체이다.
ㄴ. S_1은 단혀 있고 S_2는 열려 있을 때, D_4의 p형 반도체에서 양공은 p-n 접합면으로부터 멀어진다.
ㄷ. ㉠은 D_1, D_2, D_3, D_5이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. S_1이 닫히고, S_2가 열려있을 때 D_2, D_4만 켜져있기 위해서는 다이오드는 아래와 같이 배열되어 있다. 따라서 X는 p형 반도체이다. (O)



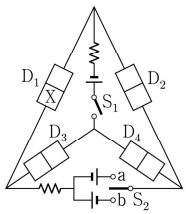
ㄴ. D_4는 동작하므로 양공은 접합면으로 이동한다. (X)
ㄷ. S_1이 열려있고, S_2가 닫혀있을 때는 D_4빼고 모든 LED가 동작한다. (O)

11 2026학년도 수능 13번 정답률 73%

13. 다음은 p-n 접합 발광 다이오드(LED)의 특성을 알아보는 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 그림과 같이 전압이 같은 직류 전원 3개, 동일한 저항 2개, 동일한 LED D_1~D_4, 스위치 S_1, S_2를 이용하여 회로를 구성한다. X는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다.



(나) S_1과 S_2의 연결 상태를 바꾸어 가며 D_1~D_4에서 빛의 방출 여부를 관찰한다.

〔실험 결과〕

S_1	S_2	빛이 방출되는 LED
닫힘	열림	D_2, D_4
열림	a에 연결	없음
열림	b에 연결	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. X는 p형 반도체이다.
ㄴ. S_1이 닫혀 있고 S_2가 열려 있을 때, D_3에는 역방향 전압이 걸린다.
ㄷ. ㉠은 D_3, D_4이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

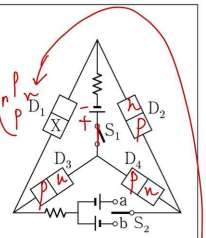
정 답 ⑤

해 설

첫 번째 실험을 통해 전반적인 다이오드들의 방향을 알 수 있고, 다만 D_1의 방향은 어떤 것인지 유추하기 어렵다. 하지만 두 번째 실험을 통해 D_1에서 X는 p형 반도체임을 알 수 있다.

〔실험 과정〕

(가) 그림과 같이 전압이 같은 직류 전원 3개, 동일한 저항 2개, 동일한 LED D_1~D_4, 스위치 S_1, S_2를 이용하여 회로를 구성한다. X는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다.



(나) S_1과 S_2의 연결 상태를 바꾸어 가며 D_1~D_4에서 빛의 방출 여부를 관찰한다.

〔실험 결과〕

S_1	S_2	빛이 방출되는 LED
닫힘	열림	D_2, D_4
열림	a에 연결	없음
열림	b에 연결	㉠

ㄱ. X는 p형 반도체이다. (O)
ㄴ. D_3는 빛이 방출되지 않으므로 역방향 전압이 걸린다. (O)
ㄷ. D_1은 D_2에 의해 빛이 방출되지 않고, D_3, D_4만 빛이 방출된다. (O)

PART 5
전류에 의한 자기장

개념 유형

(1) 기본 자기장

(2) 두 도선에 의한 자기장

기출 유형

(1) 전류에 의한 자기

THEME

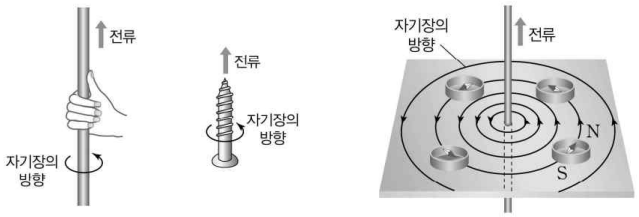
1 — 기본 자기장

정리1 자기장

개념1 무한 직선 전류에 의한 자기장

① 자기장의 세기 : $B=\frac{\mu_0 I}{2\pi r} \rightarrow B\propto\frac{I}{r}$ (단, r은 도선으로부터 떨어진 거리)

② 자기장의 방향 : 길이가 무한히 긴 직선 전류의 근처에서는 원형 자기장이 생긴다.



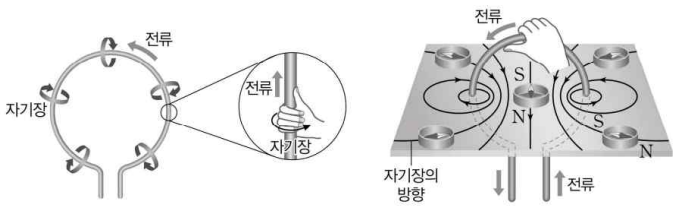
개념2 원형 전류에 의한 자기장

① 자기장의 세기 : $B=\frac{\mu_0}{2}\frac{I}{R} \rightarrow B\propto\frac{I}{R}$ (단, R는 도선의 반지름)

(참고로 원형 도선의 중앙에서가 내부에서 자기장이 가장 최소인 점이다.)

② 자기장의 방향 : 원형 도선의 중심에서는 직선의 자기장이 생긴다.

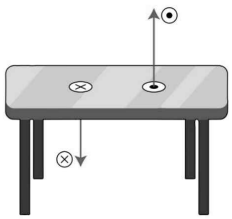
③ 무한 직선 전류와 전류의 세기가 같고, 떨어진 거리가 R로 동일한 점에 대해서 자기장의 세기가 π배만큼 크다.



개념3 기출 문제에서 자기장의 방향

① ⊗은 수평면에 들어가는 방향의 자기장이다.

② ⊙은 수평면에 나오는 방향의 자기장이다.



THEME

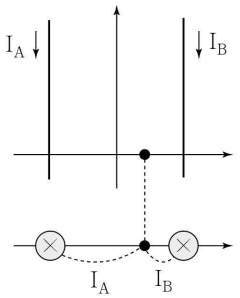
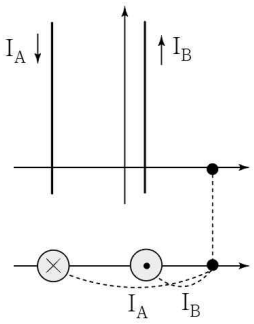
2 — 두 도선에 의한 자기장

정리1 자기장이 0이 되는 지점

개념1 직선 도선에서 자기장이 0이 되는 지점

두 개의 직선 도선에서 자기장이 0이 되는 지점에 대한 성질은 전기장에서와 동일하게 생각하면 좋다.

직선 도선으로부터 r만큼 떨어진 지점에서 자기장은 $B \propto \frac{I}{r}$을 만족하므로 거리의 비는 전류의 비를 만족한다.

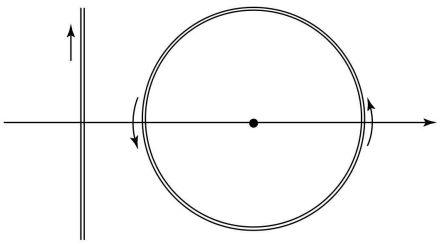
전류의 방향이 동일한 경우	전류의 방향이 반대인 경우
	

개념2 원형 도선과 직선 도선에서 자기장이 0이 되는 지점

원형 도선의 중심에서 자기장이 0이 되는 것에 대해 원형 도선의 전류 방향을 생각해보자. 원형 도선의 왼쪽 부분으로 생각해 면 직선 도선과 전류의 방향이 반대가 되어야 외부에서 합성 자기장이 0이 될 수 있다.

원형 도선의 오른쪽 부분으로 생각해보면 직선 도선과 전류의 방향이 동일해야 내부에서 합성 자기장이 0이 될 수 있다.

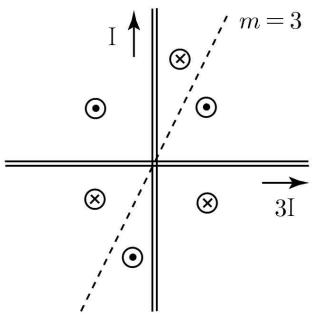
어떤 형식으로 생각해도 정답이 되니 취향 껏 생각해서 전류의 방향을 구하자.



개념3 크로스형 도선에서 자기장이 0이 되는 지점

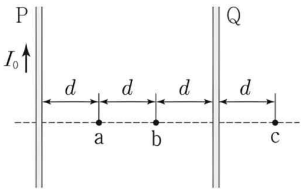
두 개의 도선이 서로 벌어짐을 만족할 때 내부의 자기장은 0이 된다.

또한 각 영역별로 합성 자기장의 방향은 반대가 된다.



예제1 두 도선에 의한 자기장

그림과 같이 무한히 가늘고 긴 평행한 직선 도선 P, Q와 점 a, b, c는 같은 간격 d만큼 떨어져 종이에 고정되어 있다. P에 흐르는 전류 I_0의 세기와 방향은 일정하다. 표는 Q에 흐르는 전류가 각각 I_1, I_2일 때 a, b, c 중에서 P와 Q에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이 되는 지점을 나타낸 것이다.



Q에 흐르는 전류	자기장이 0이 되는 지점
I_1	a
I_2	c

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 전류의 세기는 I_1이 I_0다 크다.
ㄴ. 전류의 방향은 I_1과 I_2가 서로 같다.
ㄷ. b에서 P와 Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 I_1일 때와 I_2일 때가 같다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

해설

Q에 I_1의 전류가 흐를 때 P와 Q로부터 점 a의 거리의 비가 1 : 2이므로 전류의 세기 비도 1 : 2이므로 $I_1 = +2I_0$이다. I_2의 전류가 흐를 때 c로부터 거리의 비는 4 : 1이므로 $I_2 = -\frac{1}{4}I_0$이다.

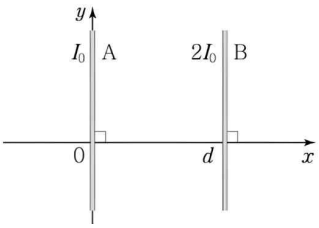
ㄱ. $I_1 = 2I_0$이다. (O)

ㄴ. 전류의 방향은 I_1과 I_2이 반대이다. (X)

ㄷ. I_1이 흐를 때 b에 나오는 자기장이 만들어진다. I_2가 흐를 때 내부는 보강이므로 들어가는 자기장이 만들어진다. (X)

예제2 두 도선에 의한 자기장

그림과 같이 전류가 흐르는 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B가 xy 평면의 $x = 0$, $x = d$에 각각 고정되어 있다. A, B에는 각각 세기가 I_0, $2I_0$인 전류가 흐르고 있다.



A, B에 흐르는 전류의 방향이 같을 때와 서로 반대일 때 x축상에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 0인 점을 각각 p, q라고 할 때, p와 q 사이의 거리는?

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

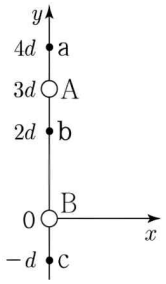
해설

2 : 1의 비율을 통하여 전류의 방향이 동일할 때 자기장이 0이 되는 점은 $+\frac{1}{3}d$인 점이고, 전류의 방향이 반대일 때 자기장이 0이 되는 점은 $-d$인 점이다.

따라서 p와 q 사이의 거리는 $\frac{4}{3}d$이다.

예제3 두 도선에 의한 자기장

그림과 같이 일정한 세기의 전류가 각각 흐르는 무한히 긴 두 직선 도선 A, B가 xy평면에 수직으로 y축에 고정되어 있다. 점 a, b, c는 y축 상에 있다. A와 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 a에서가 b에서 다 크고, 방향은 a와 b에서 서로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 전류의 방향은 A와 B에서 서로 같다.
ㄴ. 전류의 세기는 B가 A보다 크다.
ㄷ. A와 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 c에서가 a에서 보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

$B_a > B_b$이므로 외부에서 자기장이 보강, 내부에서 자기장은 상쇄라고 생각할 수 있다. 그러면 두 도선에 의한 자기장의 방향은 동일하고, 딱히 방향이 나와있지는 않으니까 나오는 전류가 발생한다고 해보자.
이때 전류의 세기가 $I_A > I_B$라고 가정해보고 각 점에 대해서 자기장을 작도해보면 $B_a > B_b$임을 만족하는 것을 알 수 있다.

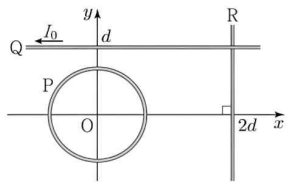
ㄱ. 전류의 방향은 같다. (O)

ㄴ. $I_A > I_B$ (X)

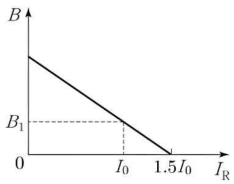
ㄷ. A와 근접한 곳이 더 크다. (X)

예제4 원형 도선과 직선 도선에 의한 자기장

그림 (가)와 같이 중심이 원점 O인 원형 도선 P와 무한히 긴 직선 도선 Q, R가 xy평면에 고정되어 있다. P에는 세기가 일정한 전류가 흐르고, Q에는 세기가 I_0인 전류가 $-x$방향으로 흐르고 있다. 그림 (나)는 (가)의 O에서 P, Q, R의 전류에 의한 자기장의 세기 B를 R에 흐르는 전류의 세기 I_R에 따라 나타낸 것으로, $I_R = I_0$일 때 O에서 자기장의 방향은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이고, 세기는 B_1이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. R에 흐르는 전류의 방향은 $-y$방향이다.
ㄴ. O에서 P의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이다.
ㄷ. O에서 P의 전류에 의한 자기장의 세기는 B_1이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. I_R의 증가로 O에서 나오는 자기장이 감소한다.
즉, I_R이 만드는 자기장은 들어가는 자기장이다.
따라서 R에 흐르는 전류의 방향은 $-y$방향이다. (O)

ㄴ. $1.5I_0$일 때 $+B_0 - \frac{3}{4}B_0 + B_P = 0$이므로

$B_P = -\frac{1}{4}B_0$이므로 들어가는 자기장이다. (X)

ㄷ. I_0와 $1.5I_0$일 때 변화량을 생각해보면 도선 P와 Q에 의한 것은 날려버릴 수 있다.
따라서 R에 의한 것만 변화량을 고려하면

$B_1 = \frac{1}{4}B_0$이다. 따라서 $B_P = B_1$이다. (O)

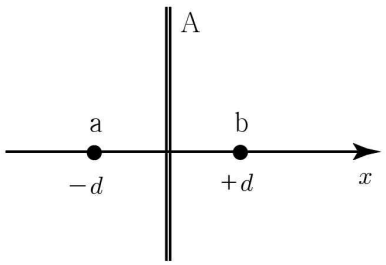
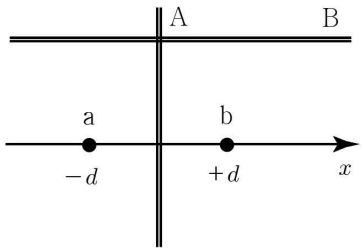
THEME

3 — 변화합, 변화차, 변화량

정리2 변화합

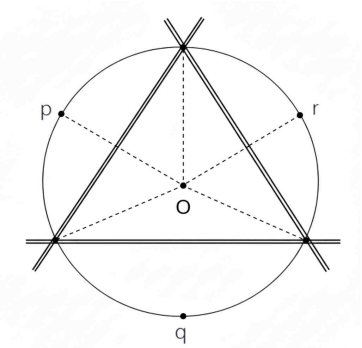
개념1 직선 도선에서 자기장이 0이 되는 지점

한 직선 도선에 대해서 방향이 반대이고, 거리가 같은 두 점에서의 자기장의 합은 0이다.
한 도선에 대해서 대칭인 두 점의 자기장을 더하면 0이 되고, 빼면 덧셈이 된다.

단일 도선($B_a + B_b = 0$)	이중 도선($B_a + B_b = 2B_B$)
	

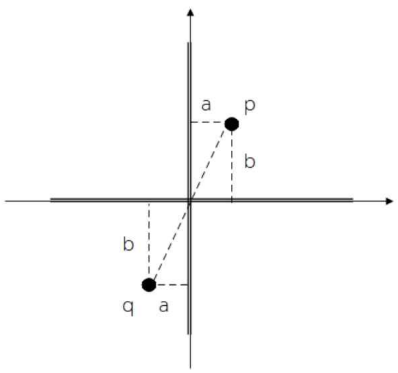
개념2 삼각형 도선

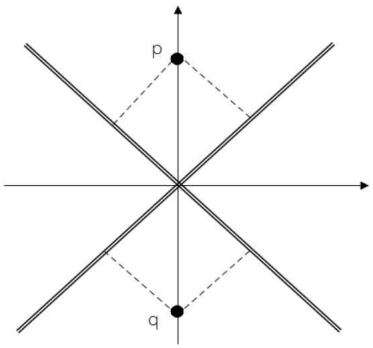
그림과 같이 삼각형 도선에 대해서 원을 그렸을 때 $B_p + B_q + B_r = 0$을 만족한다.
(도선의 전류 방향 상관X)



개념3 크로스형 도선

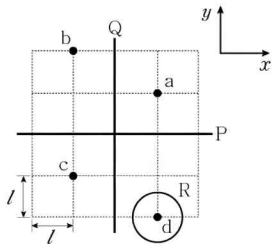
원점에 대칭적인 두 점에 대해서 $B_p + B_q = 0$을 만족한다.





예제1 변화합

그림과 같이 무한히 가늘고 긴 직선 도선 P, Q를 각각 xy평면의 x축과 y축에 나란하게 고정하고, 같은 평면에 원형 도선 R를 놓았다. P, Q, R에는 각각 방향과 세기가 일정한 전류가 흐른다. 표는 R의 중심을 점 a, b, c, d로 했을 때 R의 중심에서 P, Q, R에 의한 자기장의 방향과 세기를 나타낸 것이다.



중심의 위치	자기장의 방향	자기장의 세기
a	⊙	B
b	없음	0
c	⊙	$3B$
d	⊙	㉠

㉠은? (단, ⊙는 xy평면에 수직으로 나오는 방향이다.)

① B ② $2B$ ③ $3B$ ④ $4B$ ⑤ $5B$

해설

STEP1 ac

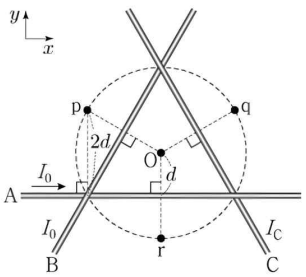
두 점에 대해서 각 도선이 ac로부터 떨어진 거리가 같다. 따라서 변화합을 이용하자. $B_a + B_c = +4B = 2B_d$가 된다. 즉, $B_d = +2B$이다.

STEP2 bd

위와 같은 이유로 b와 d의 자기장 합은 $2B_d = 4B$이다. (단, b의 자기장이 0이므로 $2B_d$만 생각해도 된다.)

예제2 변화합

그림과 같이 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가 정삼각형을 이루며 xy평면에 고정되어 있다. A, B, C에는 방향이 일정하고 세기가 각각 I_0, I_B, I_C인 전류가 흐른다. A에 흐르는 전류의 방향은 $+x$방향이다. 점 O는 A, B, C가 교차하는 점을 지나는 반지름이 $2d$인 원의 중심이고, 점 p, q, r은 원 위의 점이다. O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0이고, p, q에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 각각 0, $3B_0$이다.



r에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는?

① 0 ② $\frac{1}{2}B_0$ ③ B_0 ④ $2B_0$ ⑤ $3B_0$

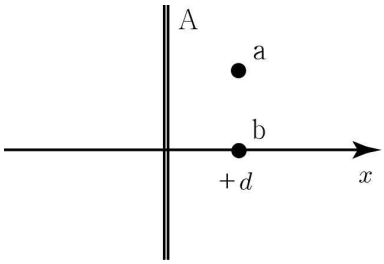
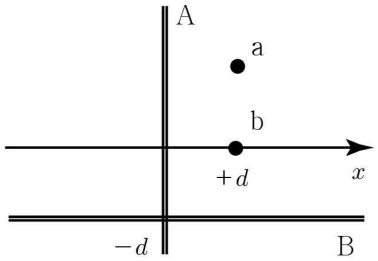
해설

A에 대해서 생각해보면 p+q=r이다. (변화합=0 생각) 모든 도선에 대해서 변화합=0이 성립하므로 $B_p + B_q = B_r$이다. 따라서 r에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $3B_0$이다.

정리2 변화차

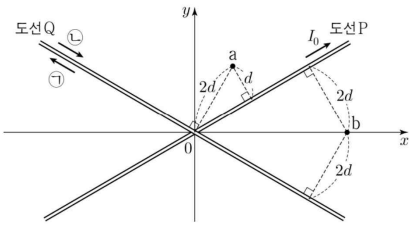
개념1 변화차

한 직선 도선에 대해서 방향이 같고, 거리가 같은 두 점에서의 자기장의 차는 0이다.

단일 도선($B_a - B_b = 0$)	이중 도선($B_a - B_b = \frac{1}{2}B_B$) (단, $B_b = B_B$이다.)
	

예제3 변화차

그림과 같이 가늘고 무한히 긴 직선 도선 P, Q가 일정한 각을 이루고 xy평면에 고정되어 있다. P에는 세기가 I_0인 전류가 화살표 방향으로 흐른다. 점 a에서 P에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0이고, P와 Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 0이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 점 a, b는 xy평면 상의 점이다.)

<보 기>

ㄱ. Q에 흐르는 전류의 방향은 ㉠이다.
ㄴ. Q에 흐르는 전류의 세기는 $2I_0$이다.
ㄷ. b에서 P와 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

해설

ㄱ. 두 도선으로부터 자기장이 0이면 벌어짐을 만족해야 하므로 Q에 흐르는 전류의 방향은 ㉠이다. (O)

ㄴ. 두 도선으로부터 거리의 비가 1 : 2이므로 전류의 세기의 비도 1 : 2이므로 $2I_0$이다. (O)

ㄷ. b에서 자기장의 차를 생각해보면 도선 Q에 의한 자기장은 사라진다. 또한 도선에 대해서 대칭인 두 점의 차이는 덧셈이므로 $B_0 + \frac{1}{2}B_0 = \frac{3}{2}B_0$가 된다. (O)

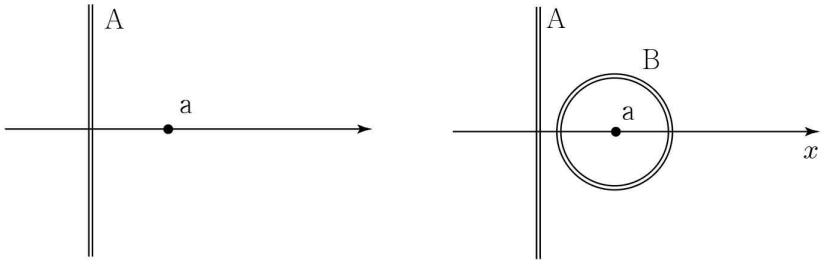
정리3 변화량

개념1 변화량

한 점에 작용하는 자기장의 세기가 변화하는 것은 전류 변화 때문이다.

그림 (가)의 상황에서 a에 작용하는 자기장은 $+B$이다.
그림 (나)의 상황에서 a에 작용하는 자기장은 $-3B$이다.

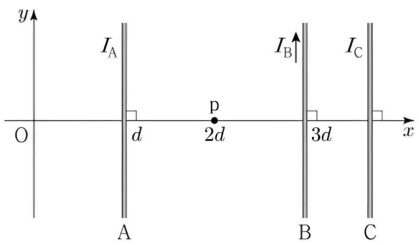
도선 B가 a에 작용하는 자기장의 세기를 구하자면 $-4B$이다.



(가) (나)

예제4 변화량

그림과 같이 xy평면에 고정된 무한히 긴 직선 도선 A, B, C에 세기가 각각 I_A, I_B, I_C로 일정한 전류가 흐르고 있다. B에 흐르는 전류의 방향은 $+y$방향이고, x축상의 점 p에서 세 도선의 전류에 의한 자기장은 0이다. C에 흐르는 전류의 방향을 반대로 바꾸었더니 p에서 세 도선의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이 되었다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A에 흐르는 전류의 방향은 $+y$방향이다.
ㄴ. $I_A < I_B + I_C$이다.
ㄷ. 원점 O에서 세 도선의 전류에 의한 자기장의 방향은 C에 흐르는 전류의 방향을 바꾸기 전과 후가 같다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 변화) C에 흐르는 전류의 방향을 바꾸었을 때 p에는 들어가는 자기장으로 형성된다. 따라서 초기의 C에 흐르는 전류의 방향은 나오는 자기장을 만드는 $+y$방향이다.

초기) B와 C가 나오는 자기장을 만드므로 A는 들어가는 자기장을 만든다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 $+y$방향이다. (O)

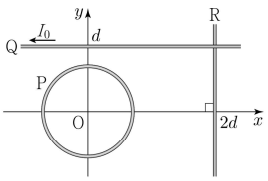
ㄴ. 초기) $I_A = I_B + \frac{I_C}{x} < I_B + I_C$이다. (O)

ㄷ. 점 p에서 $B_A = B_B + B_C$였다. 점 O로 넘어가자. C의 자기장 영향력은 A의 자기장 영향력을 넘을 수 없다. O에서 자기장의 방향은 바뀌기 전과 후가 같다. (O)

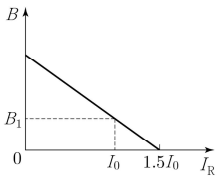
유형 01 전류에 의한 자기장

01 2022학년도 6월 18번 정답률 31%

18. 그림 (가)와 같이 중심이 원점 O인 원형 도선 P와 무한히 긴 직선 도선 Q, R가 xy평면에 고정되어 있다. P에는 세기가 일정한 전류가 흐르고, Q에는 세기가 I_0인 전류가 $-x$방향으로 흐르고 있다. 그림 (나)는 (가)의 O에서 P, Q, R의 전류에 의한 자기장의 세기 B를 R에 흐르는 전류의 세기 I_R에 따라 나타낸 것으로, $I_R = I_0$일 때 O에서 자기장의 방향은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이고, 세기는 B_1이다.



(가)



(나)

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

<보 기>

ㄱ. R에 흐르는 전류의 방향은 $-y$방향이다.
ㄴ. O에서 P의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이다.
ㄷ. O에서 P의 전류에 의한 자기장의 세기는 B_1이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

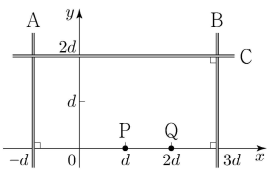
ㄱ. I_R의 증가로 O에서 나오는 자기장이 감소한다.
즉, I_R이 만드는 자기장은 들어가는 자기장이다.
따라서 R에 흐르는 전류의 방향은 $-y$방향이다. (O)

ㄴ. Q가 만드는 자기장은 나오는 방향이므로 P가 만드는 자기장은 들어가는 방향이다. (X)

ㄷ. $I_R = 1.5I_0$일 때 O에서 $-B_0 + \frac{3}{4}B_0 + B_P = 0$을 만족하므로
P에 의한 자기장은 $B_P = \frac{1}{4}B_0$이다.
I_R이 I_0일 때와 $1.5I_0$일 때 O에서 자기장의 변화량은
$B_1 = \frac{1}{4}B_0$을 만족한다.
따라서 두 식을 통하여 $B_P = B_1$이다. (O)

02 2022학년도 9월 16번 정답률 50%

16. 그림과 같이 xy평면에 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가 고정되어 있다. A, B에는 서로 반대 방향으로 세기 I_0인 전류가, C에는 세기 I_C인 전류가 각각 일정하게 흐르고 있다. xy 평면에서 수직으로 나오는 자기장의 방향을 양(+)으로 할 때, x 축상의 점 P, Q에서 세 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 각각 양(+), 음(−)이다.



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

<보 기>

ㄱ. A에 흐르는 전류의 방향은 $+y$방향이다.
ㄴ. C에 흐르는 전류의 방향은 $-x$방향이다.
ㄷ. $I_C < 2I_0$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

A, B에 흐르는 전류의 방향이 반대이고 세기가 동일하므로
P에는 최소의 자기장이 AB로부터 생긴다.
따라서 C에 의해서 P의 자기장 방향이 변하는 것이다.

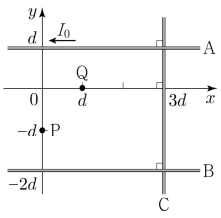
ㄱ. 들어가는 자기장을 만들어야 하므로 A에 흐르는 전류의 방향은 $+y$방향이다. (O)

ㄴ. C에 흐르는 전류의 방향은 나오는 자기장을 만들어야 하므로 $-x$방향이다. (O)

ㄷ. P점을 참고하면 $I_C > 2I_0$이다. (X)

03 2022학년도 수능 18번 정답률 34%

18. 그림과 같이 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가 xy 평면에 고정되어 있다. A, B, C에는 방향이 일정하고 세기가 각각 I_0, I_B, $3I_0$인 전류가 흐르고 있다. A의 전류의 방향은 $-x$ 방향이다. 표는 점 P, Q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기를 나타낸 것이다. P에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0이다.



위치	A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기
P	B_0
Q	$3B_0$

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

<보 기>

ㄱ. $I_B = I_0$이다.
ㄴ. C의 전류의 방향은 $-y$ 방향이다.
ㄷ. Q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설

C에 의한 전류의 세기가 나와 있으므로 A와 C가 만드는 자기장을 생각해보자.

	AC자기장 방향 동일	AC자기장 방향 반대
P	$+3B_0$	$-B_0$
Q	$+5B_0$	$-B_0$

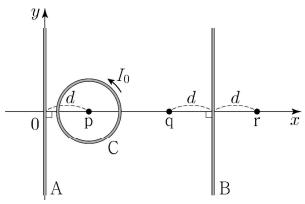
CASE1 AC가 만드는 자기장 방향이 반대
자기장이 P에서 +1이 되려면 Q에서는 0이된다.

CASE2 AC가 만드는 자기장 방향 동일
P의 자기장이 1이고, Q의 자기장이 3이 되려면
P의 자기장은 −1이고, Q의 자기장은 +3이면 된다.
즉, B가 P에 만드는 자기장은 2이므로 B에 전류의 세기는 $2I_0$이다.

ㄱ. $I_B = 2I_0$이다. (X)
ㄴ. 도선 A, C가 만드는 자기장 방향이 동일하려면 C의 전류의 방향은 $+y$방향이다. (X)
ㄷ. Q의 자기장은 나오는 방향이다. (O)

04 2023학년도 6월 18번 정답률 50%

18. 그림과 같이 무한히 긴 직선 도선 A, B와 원형 도선 C가 xy 평면에 고정되어 있다. A, B에는 같은 세기의 전류가 흐르고, C에는 세기가 I_0인 전류가 시계 반대 방향으로 흐른다. 표는 C의 중심 위치를 각각 점 p, q에 고정할 때, C의 중심에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기와 방향을 나타낸 것이다.



C의 중심 위치	C의 중심에서 자기장	
	세기	방향
p	0	해당 없음
q	B_0	⊙

⊙ : xy 평면에서 수직으로 나오는 방향
× : xy 평면에 수직으로 들어가는 방향

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

<보 기>

ㄱ. A에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.
ㄴ. C의 중심에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0보다 작다.
ㄷ. C의 중심 위치를 점 r로 옮겨 고정할 때, r에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 '×'이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. C에 흐르는 전류에 의한 원형 도선 중심에서의 자기장의 방향은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이다.
C의 중심 위치가 p일 때 A와 가까이 있으므로 p에서 A,B,C의 전류에 의한 자기장이 0이 되기 위해서는 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이어야 한다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 $+y$방향이다. (O)

ㄴ. B에 흐르는 전류의 방향은 A와 반대가 되면 (자기장 그래프를 생각해보면) 두 점 p, q에서 자기장의 세기와 방향이 같다.
따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 $+y$방향이다.
점 p, q에 작용하는 자기장에 대해서 식을 써보자.
(단, 가까운 자기장은 B이고, 먼 자기장은 B'이다.)

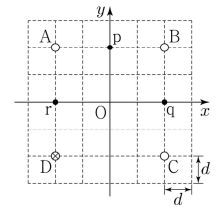
점 p) $-B+B'+B_C=0$
점 q) $-B'+B+B_C=+B_0$

두 식을 더하면 $B_C=\frac{B_0}{2}$이다. (O)

ㄷ. 점 p와 r에 대해서 자기장을 쓰면
점 p) $-B+B'+B_C=0$
점 r) $-B''-B+B_C=B_r$
두 식을 빼면 $-B''-B'=B_r$이므로 자기장의 방향은 들어가는 방향이다. (O)

05 2023학년도 9월 18번 정답률 47%

18. 그림과 같이 세기와 방향이 일정한 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 A~D가 xy평면에 수직으로 고정되어 있다. D에는 xy평면에 수직으로 들어가는 방향으로 전류가 흐른다. 원점 O에서 B, D의 전류에 의한 자기장은 0이다. 표는 xy평면의 점 p, q, r에서 두 도선의 전류에 의한 자기장의 방향을 나타낸 것이다.



×: xy평면에 수직으로 들어가는 방향

도선	위치	두 도선의 전류에 의한 자기장 방향
A, B	p	$+y$
B, C	q	$+x$
A, D	r	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

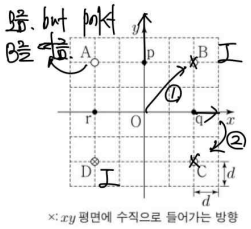
<보 기>

ㄱ. ㉠은 '$+x$'이다.
ㄴ. 전류의 세기는 B에서가 C에서보다 크다.
ㄷ. 전류의 방향이 A, C에서가 서로 같으면, 전류의 세기는 A~D 중 C에서가 가장 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

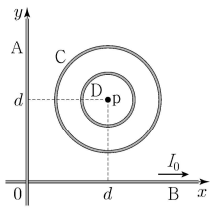


×: xy평면에 수직으로 들어가는 방향

ㄱ. p에서 B를 따르므로 r에서도 D를 따른다. $+x$방향이다. (O)
ㄴ. 전류의 세기는 C > B이다. (X)
ㄷ. A에 들어가는 전류가 흐르면 B, D보다 작다.
따라서 C가 가장 크다. (O)

06 2023학년도 수능 18번 정답률 45%

18. 그림과 같이 무한히 긴 직선 도선 A, B와 점 p를 중심으로 하는 원형 도선 C, D가 xy평면에 고정되어 있다. C, D에는 같은 세기의 전류가 일정하게 흐르고, B에는 세기가 I_0인 전류가 $+x$방향으로 흐른다. p에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0이다. 표는 p에서 A~D의 전류에 의한 자기장의 세기를 A에 흐르는 전류에 따라 나타낸 것이다.



A에 흐르는 전류		p에서 A~D의 전류에 의한 자기장의 세기
세기	방향	
0	해당 없음	0
I_0	$+y$	㉠
I_0	$-y$	B_0

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

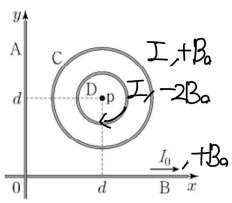
<보 기>

ㄱ. ㉠은 B_0이다.
ㄴ. p에서 C의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이다.
ㄷ. p에서 D의 전류에 의한 자기장의 세기는 B의 전류에 의한 자기장의 세기보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

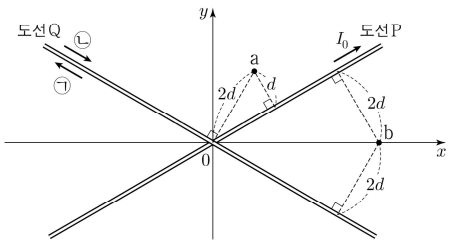


A에 흐르는 전류		p에서 A~D의 전류에 의한 자기장의 세기
세기	방향	
0	해당 없음	0
I_0	$+y$	$-B_0$ ㉠
I_0	$-y$	$+B_0$

ㄱ. 변화량에 의해서 ㉠$=-B_0$이다. (O)
ㄴ. B가 만드는 자기장은 나오는 자기장이다.
D가 만드는 자기장은 xy평면에서 수직으로 들어가는 방향이다. (X)
ㄷ. p에서 D의 전류에 의한 자기장의 세기는 B의 전류에 의한 자기장의 세기보다 크다. (O)

07 2024학년도 6월 12번 정답률 50%

12. 그림과 같이 가늘고 무한히 긴 직선 도선 P, Q가 일정한 각을 이루고 xy 평면에 고정되어 있다. P에는 세기가 I_0인 전류가 화살표 방향으로 흐른다. 점 a에서 P에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0이고, P와 Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 0이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 점 a, b는 xy 평면상의 점이다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. Q에 흐르는 전류의 방향은 ㉠이다.
ㄴ. Q에 흐르는 전류의 세기는 $2I_0$이다.
ㄷ. b에서 P와 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

정 답 ③

해 설

ㄱ. 점 a에서 자기장이 0이므로 도선 PQ에 대해서 벌어짐의 성질을 만족한다. 따라서 도선 Q에 흐르는 전류의 방향은 ㉠이다. (O)

ㄴ. 점 a에서 도선 P와 Q로부터 거리의 비가 1 : 2를 만족하므로 Q에 흐르는 전류의 세기는 $2I_0$이다. (O)

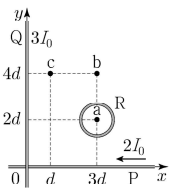
ㄷ. 점 a) $B_Q + B_P = 0$

점 b) $B_Q - \frac{1}{2}B_P = B_b$

이다. 두 식을 빼면(변화차) $B_b = \frac{3}{2}B_p = \frac{3}{2}B_0$이다. (O)

08 2024학년도 9월 12번 정답률 33%

12. 그림은 무한히 가늘고 긴 직선 도선 P, Q와 원형 도선 R가 xy 평면에 고정되어 있는 모습을 나타낸 것이다. 표는 R의 중심이 점 a, b, c에 있을 때, R의 중심에서 P, Q, R에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기와 방향을 나타낸 것이다. P, Q에 흐르는 전류의 세기는 각각 $2I_0$, $3I_0$이고, P에 흐르는 전류의 방향은 $-x$ 방향이다. R에 흐르는 전류의 세기와 방향은 일정하다.



R의 중심	R의 중심에서 P, Q, R에 의한 자기장	
	세기	방향
a	0	해당 없음
b	B_0	㉠
c	㉡	×

×: xy 평면에 수직으로 들어가는 방향

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

<보 기>

ㄱ. Q에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.
ㄴ. ㉠은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.
ㄷ. ㉡은 $3B_0$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. Q에 흐르는 전류의 방향이 $-y$방향이 되면 점 a에서 PQ에 의한 자기장이 상쇄되어 R을 고려하면 무조건 점 a에서 자기장이 존재한다. 이는 모순이다. 따라서 Q에 흐르는 전류의 방향은 $+y$방향이다. (O)

ㄴ. a에 비해 b는 P에 의한 영향력(들어가는 자기장)이 감소하므로 자기장은 수직으로 나오는 방향이 된다. (O)

ㄷ. 점 a에서 $-B - B + B_R = 0$이므로 $B_R = 2B$이다.

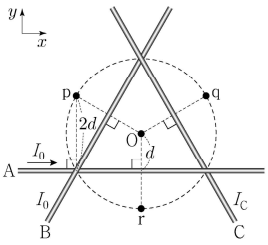
점 b에서 P에 의한 자기장이 $-\frac{B}{2}$만큼 감소했으므로

$B_0 = \frac{B}{2}$를 만족하고, $B = 2B_0$이 된다.

점 c에서 $-3B - \frac{1}{2}B + B_R = \frac{3}{2}B = 3B_0$이다. (O)

09 2024학년도 수능 18번 정답률 30%

18. 그림과 같이 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가 정삼각형을 이루며 xy평면에 고정되어 있다. A, B, C에는 방향이 일정하고 세기가 각각 I_0, I_0, I_C인 전류가 흐른다. A에 흐르는 전류의 방향은 $+x$방향이다. 점 O는 A, B, C가 교차하는 점을 지나는 반지름이 $2d$인 원의 중심이고, 점 p, q, r는 원 위의 점이다. O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0이고, p, q에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 각각 0, $3B_0$이다.



r에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는? [3점]

① 0 ② $\frac{1}{2}B_0$ ③ B_0 ④ $2B_0$ ⑤ $3B_0$

정 답 ⑤

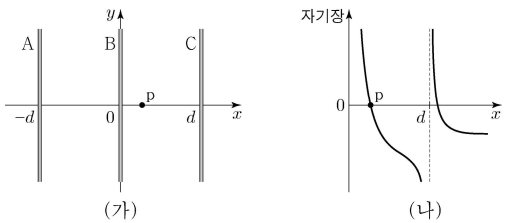
해 설

예를 들어 도선 A에 대해 $B_{Ap}+B_{Aq}=B_{Ar}$를 만족한다.
따라서 도선 ABC입장으로 생각을 확장해보면
$B_p+B_q+B_r=0$을 만족한다.

r에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $3B_0$이다.

10 2025학년도 6월 17번 정답률 50%

17. 그림 (가)와 같이 xy평면에 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가 각각 $x=-d$, $x=0$, $x=d$에 고정되어 있다. 그림 (나)는 (가)의 $x>0$인 영역에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장을 나타낸 것으로, x축상의 점 p에서 자기장은 0이다. 자기장의 방향은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이 양(+)이다.



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

<보 기>

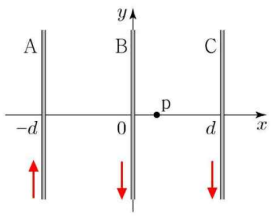
ㄱ. A에 흐르는 전류의 방향은 $-y$방향이다.
ㄴ. A, B, C 중 A에 흐르는 전류의 세기가 가장 크다.
ㄷ. p에서, C의 전류에 의한 자기장의 세기가 B의 전류에 의한 자기장의 세기보다 크다.

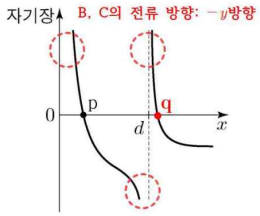
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설

ㄱ. $x=d$를 통해 C에 흐르는 전류의 방향은 $-y$이다.
$x=0$을 통해 B에 흐르는 전류의 방향은 $-y$이다.
$x=d$보다 큰 점에 대해서 $B=0$이므로 A에 흐르는 전류의 방향은 $+y$이다. (X)

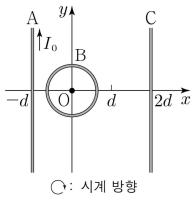




ㄴ. BC를 합친 외부에서 $B=0$이 되므로 A에 흐르는 전류의 세기가 가장 크다. (O)
ㄷ. p에서 $B_A+B_C=B_B$이므로 $B_B>B_C$이다. (X)

11 2025학년도 9월 16번 정답률 58%

16. 그림과 같이 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, C와 중심이 원점 O인 원형 도선 B가 xy평면에 고정되어 있다. A에는 세기가 I_0인 전류가 $+y$방향으로 흐르고, B와 C에는 각각 세기가 일정한 전류가 흐른다. 표는 B, C에 흐르는 전류의 방향에 따른 O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기를 나타낸 것이다.



전류의 방향		O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기
B	C	
시계 방향	$+y$ 방향	0
시계 방향	$-y$ 방향	$4B_0$
시계 반대 방향	$-y$ 방향	$2B_0$

C에 흐르는 전류의 세기는? [3점]

① I_0 ② $2I_0$ ③ $4I_0$ ④ $6I_0$ ⑤ $8I_0$

정 답 ③

해 설

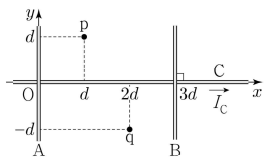
조건을 정리하면 아래와 같다.

식1) $B_A+B_B-B_C=0$
식2) $B_A+B_B+B_C=+4B_0$
식3) $B_A-B_B+B_C=2B_0$

식1와 식2를 빼면 $B_C=+2B_0$임을 알 수 있다.
식1) $B_A+B_B=+2B_0$
식3) $B_A-B_B=0$ 또는 $B_A-B_B=-4B_0(B_A<0$이므로 모순)
따라서 $B_A=B_0$이므로 C에 흐르는 전류의 세기는 $4I_0$이다.

12 2025학년도 수능 17번 정답률 41%

17. 그림과 같이 xy평면에 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가 고정되어 있다. C에는 세기가 I_C로 일정한 전류가 $+x$방향으로 흐른다. 표는 A, B에 흐르는 전류의 세기와 방향을 나타낸 것이다. 점 p, q는 xy평면상의 점이고, p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 (가)일 때가 (다)일 때의 2배이다.



	A의 전류		B의 전류	
	세기	방향	세기	방향
(가)	I_0	$-y$	I_0	$+y$
(나)	I_0	$+y$	I_0	$+y$
(다)	I_0	$+y$	$\frac{1}{2}I_0$	$+y$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. $I_C=3I_0$이다.
ㄴ. (나)일 때, A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 p에서와 q에서가 같다.
ㄷ. (다)일 때, q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. p에서 자기장의 세기 조건을 생각해보자.

(가) $B+\frac{1}{2}B+B_C=2 \rightarrow \frac{3}{2}B+B_C=2$

(다) $-B+\frac{1}{4}B+B_C=1 \rightarrow -\frac{3}{4}B+B_C=1$

연립하면 $\frac{3}{2}B+B_C=-\frac{3}{2}B+2B_C$에서 $B_C=3B$이다. (O)

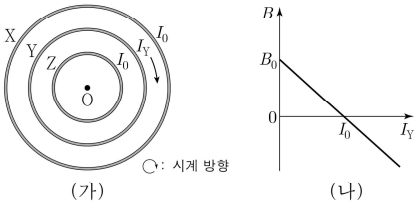
ㄴ. 점 p와 q는 A와 B에 대해서 자기장의 세기는 같고 방향은 반대이다. 이때 C에 의해서 p는 나오는 자기장, q는 들어가는 자기장을 만들게 되므로 자기장의 세기는 동일해지고, 방향은 반대이다. (O)

ㄷ. (다) q에서 AB에 의한 자기장은 상쇄된다.
C에 의한 자기장은 들어가는 방향이다. (O)

계산, 대칭성, 내부상쇄 모두 이용한 복잡한 문제였다.

17 2026학년도 6월 17번 정답률 44%

17. 그림 (가)와 같이 중심이 점 O인 원형 도선 X, Y, Z가 종이면에 고정되어 있다. X와 Z에는 세기가 I_0인 전류가 흐르고, Y에는 세기가 I_Y인 전류가 시계 방향으로 흐른다. 그림 (나)는 O에서 X, Y, Z의 전류에 의한 자기장 B를 I_Y에 따라 나타낸 것으로, $I_Y=0$일 때 자기장은 방향이 종이면에서 수직으로 나오는 방향이고 세기가 B_0이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. X에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이다.
ㄴ. O에서 Z의 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.
ㄷ. O에서 Z의 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

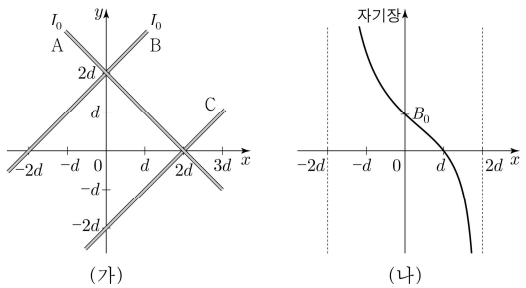
ㄱ. $I_Y=I_0$일 때 자기장이 0이 되려면 Z에 흐르는 전류의 방향은 반시계 방향이고, X에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이다. (O)

ㄴ. Y에 흐르는 전류가 만드는 자기장의 방향이 종이면에 들어가는 방향이므로 Z에 흐르는 전류가 만드는 자기장의 방향은 종이면에 나오는 방향이다. (X)

ㄷ. O에서 Z의 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0보다 크다. (O)

18 2026학년도 9월 18번 정답률 40%

18. 그림 (가)와 같이 xy평면에 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가 고정되어 있다. A와 B에는 각각 세기가 I_0인 전류가 흐르고, C에는 세기가 I_0보다 큰 전류가 흐른다. 그림 (나)는 x축상의 $-2d<x<2d$인 구간에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장을 나타낸 것으로, $x=0$과 $x=d$에서 자기장의 세기는 각각 B_0, 0이다. 자기장의 방향은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이 양(+)이다.



(가) (나)

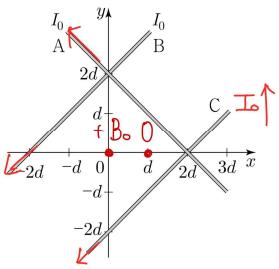
x축상의 $x=3d$에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는? [3점]

① $\frac{4}{3}B_0$ ② $\frac{8}{5}B_0$ ③ $\frac{5}{3}B_0$ ④ $\frac{9}{5}B_0$ ⑤ $2B_0$

정 답 ②

해 설

(나)에서 $-2d$로 갈 때 나오는 자기장이 형성되므로 B에 흐르는 전류의 방향은 아래쪽 방향이다. $+2d$로 갈 때 들어가는 자기장이 형성되므로 C에 흐르는 전류의 방향은 아래쪽 방향이다.
또한 C가 B보다 전류의 세기가 크고, 거리가 더 가까운 $x=d$인 지점에 대해서 자기장이 0이 되려면 A에 흐르는 전류의 방향은 위쪽 방향이다.



$x=d$) $+1+\frac{1}{3}-I_C=0$이므로 (계산을 위해 $\frac{\sqrt{2}}{2}d=1$로 보자.)

$I_C=+\frac{4}{3}$이다.

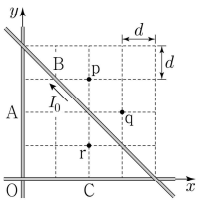
$x=0$) $B_0=+\frac{1}{2}+\frac{1}{2}-\frac{2}{3}=\frac{1}{3}$ $\Rightarrow$ $1=3B_0$

$x=d+x=3d$) 변화합에 의하여 A, C에 의한 자기장은 대칭성에 의하여 0이 된다. 따라서 B에 의한 자기장만 고려하면 된다.

$B_{3d}=\frac{1}{3}+\frac{1}{5}=\frac{8}{15}=\frac{8}{5}B_0$이다.

19 2026학년도 수능 15번 정답률 42%

15. 그림과 같이 xy 평면에 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가 고정되어 있다. B에는 세기가 I_0인 전류가 화살표 방향으로 흐르고, A와 C에는 각각 세기가 I인 전류가 흐른다. 표는 xy 평면의 점 p, q, r에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기를 나타낸 것이다.



점	A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기
p	B_0
q	0
r	㉠

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

<보 기>

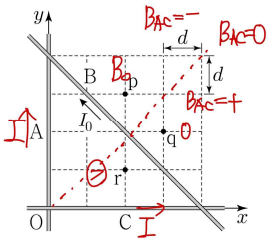
ㄱ. C에 흐르는 전류의 방향은 $+x$방향이다.
ㄴ. $I=4\sqrt{2}I_0$이다.
ㄷ. ㉠은 B_0이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

p, q에서 자기장이 다르기 위해서는 A와 C에 흐르는 전류는 벌어짐의 성질을 만족해야 한다.



ㄱ. C에 흐르는 전류의 방향은 $+x$방향이다. (O)

ㄴ. q에 대해서 식을 세워보면 $\underset{\text{A}}{\frac{I}{3}}+\underset{\text{B}}{\sqrt{2}I_0}=\underset{\text{C}}{\frac{I}{2}}$이다.

따라서 $I=6\sqrt{2}I_0$이다. (X)

ㄷ. p에 대해서 식을 세우면 $\frac{1}{6}I+\frac{1}{6}I=\frac{1}{3}I=B_0$이다.

q+r에 대해서 식을 세우면

$㉠=\underset{\text{C}}{\left(I+\frac{1}{2}I\right)}+\underset{\text{A}}{\left(-\frac{1}{2}I-\frac{1}{3}I\right)}=\frac{2}{3}I=2B_0$이다. (X)

PART 6
물질의 자성

개념 유형

(1) 물질의 자성

기출 유형

(1) 물질의 자성

THEME

1 — 물질의 자성

정리 물질의 자성

개념1 물질의 자성

① 자기화(자화) (Magnetization)

외부 자기장의 영향으로 물질 내부의 원자 자석들이 일정한 방향으로 정렬되어 물질 전체가 자석의 성질을 갖게 되는 현상

② 자성(magnetism)

물질이 자석에 반응하는 성질, 물질이 가지는 자기적인 성질을 자성이라고 한다. 물질을 구성하는 원자 내부의 전자의 운동은 전류가 흐르는 효과를 나타낼 수 있으므로 원자 하나하나가 자석의 성질을 가질 수 있다. 따라서 전자의 궤도 운동과 스핀에 따라 물질의 자성이 달라진다.

③ 자성체(Magnetic substance)

자기화 정도에 따라 강자성, 상자성, 반자성으로 구분하며, 자성을 띠는 물질을 자성체라고 한다.

개념2 강자성체

① 자기화가 되지 않은 강자성체 근처에 자석을 두면 강자성체는 외부 자기장과 동일한 방향으로 내부 자기장이 유도되어 무조건 자석에 인력을 받는다.

② 자기화가 된 강자성체 근처에 자석을 둘 때 현재의 자기화보다 더 강한 자기장, 높은 온도, 큰 충격을 줘야지만 자화가 풀린다. 따라서 약한 자석을 강자성체 근처에 두면 극에 따라 강자성체는 인력 또는 척력을 받는다.

③ 강자성체의 종류로는 철, 니켈, 코발트 등이 있다.

개념3 상자성체

① 상자성체는 외부 자기장과 동일한 방향으로 내부 자기장이 유도되어 무조건 자석에 인력을 받는다. 이후 자석을 치우면 자성이 사라진다.

② 상자성체의 종류로는 종이, 알루미늄, 나트륨, 마그네슘, 텅스텐, 산소 등이 있다.

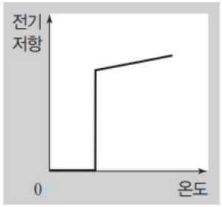
개념4 반자성체

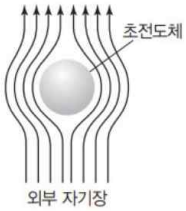
① 반자성체는 외부 자기장과 반대 방향으로 내부 자기장이 유도되어 무조건 자석에 척력을 받는다. 이후 자석을 치우면 자성이 사라진다.

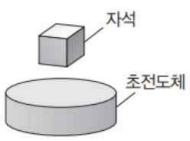
② 반자성체의 종류로는 구리, 금, 유리, 수소, 탄소, 물 등이 있다.

개념5 초전도체 (전기적 성질: 전기저항=0, 자기적 성질: 반자성체처럼 행동)

초전도체는 특정 온도 이하에서 전기 저항이 0이 되는 물질로, 이 온도를 임계 온도라고 한다.
임계 온도 이하로 냉각된 초전도체는 전기저항이 0이 되며 완전한 반자성체가 된다.
즉, 초전도체 외부의 자기장이 변하면 초전도체 표면에 외부 자기장의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흘러 외부 자기장과 반대 방향으로 자기장이 생성된다. 이때 초전도체 내부의 자기장 세기는 0이 되는데,
이처럼 초전도체가 외부 자기장을 밀어내는 현상을 마이스너 효과라고 한다.
초전도체를 특정 온도 이하로 냉각한 후 그 위에 자석을 올려놓으면 반자성이 강하게 나타나 공중에 뜬다.

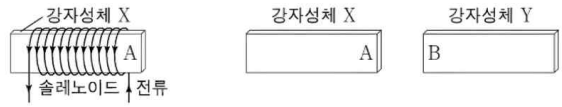






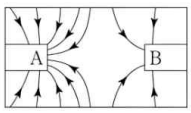
예제1

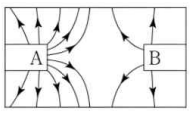
그림 (가)는 강자성체 X가 솔레노이드에 의해 자기화된 모습을, (나)는 (가)의 X를 자기화되어 있지 않은 강자성체 Y에 가져간 모습을 나타낸 것이다.

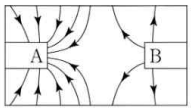


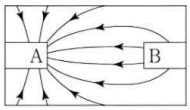
(가) (나)

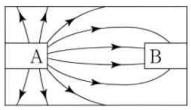
(나)에서 자기장의 모습을 나타낸 것으로 가장 적절한 것은?

① 

② 

③ 

④ 

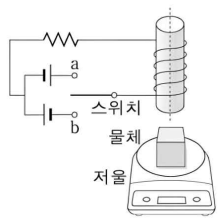
⑤ 

해설

- (가)에서 전류를 통해 솔레노이드를 하나의 자석처럼 본다면 솔레노이드의 오른쪽은 N극이다.
- 강자성체 X는 외부 자석과 모습이 동일하므로 A는 N극이다.
- 강자성체 Y도 이와 같은 방법으로 왼쪽은 S극이다.
- 서로 인력을 받고 있으므로 서로 중간의 자기력선은 연결되어 있어야 하고 (④, ⑤번 중 하나) N에서 S극으로 자기력선은 그려지므로 답은 ⑤이다.

예제2

그림은 저울에 무게가 W_0으로 같은 물체 P 또는 Q를 놓고 전자와 스위치에 연결된 코일을 가까이한 모습을 나타낸 것이다. P, Q는 강자성체, 상자성체를 순서 없이 나타낸 것이다. 표는 스위치를 a, b에 연결했을 때 저울의 측정값을 비교한 것이다.



위치 연결	저울의 측정값	
	P	Q
a	W_0 보다 큼	W_0 보다 작음
b	W_0 보다 작음	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. P는 강자성체이다.
ㄴ. ㉠은 'W_0보다 작음'이다.
ㄷ. Q는 스위치를 a에 연결했을 때와 b에 연결했을 때 같은 방향으로 자기화 된다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

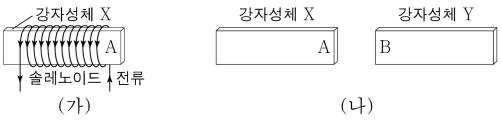
해설

ㄱ. 스위치 위치에 따라 저울의 측정값이 변화하므로 P는 자기화된 강자성체이다. (O)
ㄴ. Q는 상자성체이므로 스위치 위치에 상관없이 W_0보다 작다. (O)
ㄷ. Q는 스위치 위치에 따라 자기화 된 방향이 변한다. (X)

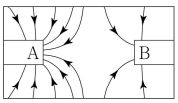
유형 01 물질의 자성

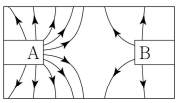
01 2022학년도 6월 9번 정답률 69%

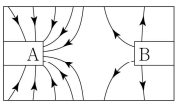
9. 그림 (가)는 강자성체 X가 솔레노이드에 의해 자기화된 모습을, (나)는 (가)의 X를 자기화되어 있지 않은 강자성체 Y에 가져간 모습을 나타낸 것이다.

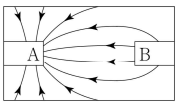


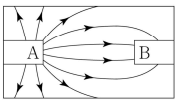
(나)에서 자기장의 모습을 나타낸 것으로 가장 적절한 것은? [3점]

① 

② 

③ 

④ 

⑤ 

정 답 ⑤

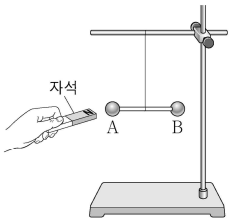
해 설

- (가)에서 전류를 통해 솔레노이드를 하나의 자석처럼 본다면 솔레노이드의 오른쪽은 N극이다.
- 강자성체 X는 외부 자석과 모습이 동일하므로 A는 N극이다.
- 강자성체 Y도 이와 같은 방법으로 왼쪽은 S극이다.
- 서로 인력을 받고 있으므로 서로 중간의 자기력선은 연결되어 있어야 하고 (④, ⑤번 중 하나) N에서 S극으로 자기력선은 그려지므로 답은 ⑤이다.

02 2022학년도 9월 5번 정답률 75%

5. 다음은 물질의 자성에 대한 실험이다.

〔실험 과정〕
(가) 나무 막대의 양 끝에 물체 A와 B를 고정하고 수평을 이루며 정지해 있도록 실로 매단다. A와 B는 반자성체와 상자성체를 순서 없이 나타낸 것이다.
(나) 자석을 A에 서서히 가져가며 자석과 A 사이에 작용하는 힘의 방향을 찾는다.
(다) (나)에서 자석의 극을 반대로 하여 (나)를 반복한다.
(라) 자석을 B에 서서히 가져가며 자석과 B 사이에 작용하는 힘의 방향을 찾는다.



〔실험 결과〕
○ (나)에서 자석과 A 사이에 작용하는 힘의 방향은 서로 미는 방향이다.

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

<보 기>
ㄱ. (나)에서 A는 외부 자기장과 반대 방향으로 자화된다.
ㄴ. (다)에서 자석과 A 사이에 작용하는 힘의 방향은 서로 당기는 방향이다.
ㄷ. (라)에서 자석과 B 사이에 작용하는 힘의 방향은 서로 미는 방향이다.

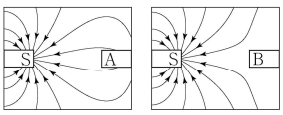
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설
ㄱ. (나)에서 자석과 A는 서로 미는 힘이므로 A는 반자성체이고 그러면 B는 상자성체가 된다. A는 반자성체이므로 외부 자기장과 반대 방향으로 자화된다. (O)
ㄴ. 자석과 A 사이에 작용하는 힘의 방향은 서로 민다. (X)
ㄷ. B는 상자성체이므로 서로 당기는 방향이다. (X)

03 2022학년도 수능 6번 정답률 83%

6. 그림은 자석의 S극을 물체 A, B에 각각 가져갔을 때 자기장의 모습을 나타낸 것이다. A와 B는 상자성체와 반자성체를 순서 없이 나타낸 것이다.



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

<보 기>
ㄱ. A는 자기화되어 있다.
ㄴ. A와 자석 사이에는 서로 미는 힘이 작용한다.
ㄷ. B는 상자성체이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설
ㄱ. A는 자기화되어 있다. (O)
ㄴ. A는 N극이다. A는 상자성체이고 서로 인력을 받는다. (X)
ㄷ. B는 S극이다. B는 반자성체이다. (X)

04 2023학년도 6월 2번 정답률 69%

2. 그림은 자성체에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은? [3점]

① A ② C ③ A, B ④ B, C ⑤ A, B, C

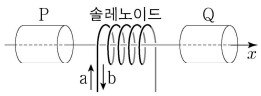
정 답 ①

해 설

학생A 강자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다. (O)
학생B 반자성체는 자석을 가까이하면 척력을 받는다. (X)
학생C 철은 강자성체이다. (X)

05 2023학년도 수능 7번 정답률 45%

7. 그림은 자성체 P와 Q, 솔레노이드가 x 축상에 고정되어 있는 것을 나타낸 것이다. 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향이 a일 때, P와 Q가 솔레노이드에 작용하는 자기력의 방향은 $+x$방향이다. P와 Q는 상자성체와 반자성체를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. P는 반자성체이다.
ㄴ. Q가 자기화되는 방향은 전류의 방향이 a일 때와 b일 때가 같다.
ㄷ. 전류의 방향이 b일 때, P와 Q가 솔레노이드에 작용하는 자기력의 방향은 $-x$방향이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

ㄱ. 상자성체와 반자성체이므로 내부에서는 힘의 보강이다.
또한 솔레노이드가 받는 자기력의 방향이 $+x$방향이므로
P는 반자성체이고, Q는 상자성체이다. (O)
ㄴ. 전류의 방향에 따라 자기화된 방향은 달라진다. (O)
ㄷ. 전류의 방향과 힘의 방향은 상관 관계가 없다. (X)

06 2024학년도 6월 4번 정답률 67%

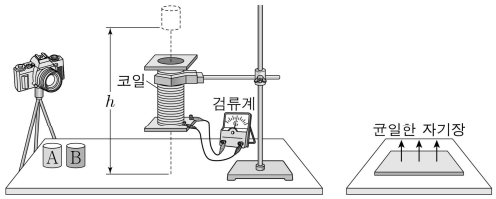
4. 다음은 자성체의 성질을 알아보기 위한 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 그림과 같이 코일을 고정시키고, 자기화되어 있지 않은 자성체 A, B를 준비한다. A, B는 강자성체, 상자성체를 순서 없이 나타낸 것이다.

(나) 바닥으로부터 같은 높이 h에서 A, B를 각각 가만히 놓아 코일의 중심을 통과하여 바닥에 닿을 때까지의 낙하 시간을 측정한다.

(다) A, B를 강한 외부 자기장으로 자기화시킨 후 꺼내, (나)와 같이 낙하 시간을 측정한다.



〔실험 결과〕

○ A의 낙하 시간은 (나)에서와 (다)에서가 같다.

○ B의 낙하 시간은 [㉠].

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A는 강자성체이다.

ㄴ. '(나)에서보다 (다)에서 길다'는 ㉠에 해당한다.

ㄷ. (다)에서 B가 코일과 가까워지는 동안, 코일과 B 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

ㄱ. A의 낙하 시간이 동일하므로 A는 상자성체이다. (X)

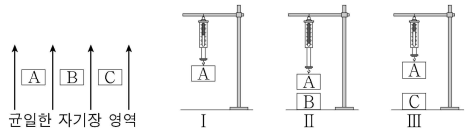
ㄴ. B는 강자성체로 자석이되면 척력으로 인해서 걸린 시간이 늘어난다. (O)

ㄷ. 가까워지면 척력을 받는다. (O)

07 2024학년도 9월 5번 정답률 58%

5. 다음은 물체 A, B, C의 자성을 알아보기 위한 실험이다. A, B, C는 강자성체, 상자성체, 반자성체를 순서 없이 나타낸 것이다.

〔실험 과정〕
(가) 자기화되어 있지 않은 A, B, C를 자기장에 놓아 자기화시킨다.
(나) 그림 Ⅰ과 같이 자기장에서 A를 꺼내 용수철저울에 매단 후, 정지된 상태에서 용수철저울의 측정값을 읽는다.
(다) 그림 Ⅱ와 같이 자기장에서 꺼낸 B를 A의 연직 아래에 놓은 후, 정지된 상태에서 용수철저울의 측정값을 읽는다.
(라) 그림 Ⅲ과 같이 자기장에서 꺼낸 C를 A의 연직 아래에 놓은 후, 정지된 상태에서 용수철저울의 측정값을 읽는다.



〔실험 결과〕

	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
용수철저울의 측정값	w	$1.2w$	$0.9w$

A, B, C로 옳은 것은?

	A	B	C
①	강자성체	상자성체	반자성체
②	강자성체	반자성체	상자성체
③	반자성체	강자성체	상자성체
④	상자성체	강자성체	반자성체
⑤	상자성체	반자성체	강자성체

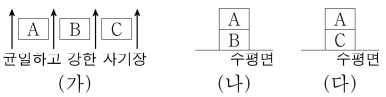
정 답 ①

해 설

A에 의해서 힘이 작용하므로 A는 강자성체이다.
B는 인력을 받으므로 상자성체이다.
C는 척력을 받으므로 반자성체이다.

08 2024학년도 수능 3번 정답률 59%

3. 그림 (가)와 같이 자기화되어 있지 않은 자성체 A, B, C를 균일하고 강한 자기장 영역에 놓아 자기화시킨다. 그림 (나), (다)는 (가)의 A, B, C를 각각 수평면 위에 올려놓았을 때 정지한 모습을 나타낸 것이다. A에 작용하는 중력과 자기력의 합력의 크기는 (나)에서가 (다)에서보다 크다. A는 강자성체이고, B, C는 상자성체, 반자성체를 순서 없이 나타낸 것이다.



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

<보 기>
ㄱ. B는 상자성체이다.
ㄴ. (가)에서 A와 C는 같은 방향으로 자기화된다.
ㄷ. (나)에서 B에 작용하는 중력과 자기력의 방향은 같다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

Think 1.
(나), (다)에서 A라는 물체가 공통으로 존재한다. → A=강자성체

Think 2.
A에 작용하는 합력이 (나)>(다)이므로 (나)에서 인력임.
→ B=상자성체, C=반자성체

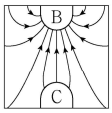
ㄱ. B=상자성체 (O)
ㄴ. 반대 방향으로 자기화 된다. (X)
ㄷ. 중력과 자기력의 방향은 반대이다. (X)

09 2025학년도 6월 8번 정답률 85%

8. 그림 (가)는 자기화되지 않은 물체 A, B, C를 균일하고 강한 자기장 영역에 놓아 자기화시키는 모습을, (나)는 (가)의 B와 C를 자기장 영역에서 꺼내 가까이 놓았을 때 자기장의 모습을 나타낸 것이다. A, B, C는 강자성체, 상자성체, 반자성체를 순서 없이 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A는 반자성체이다.
ㄴ. (가)에서 A와 C는 같은 방향으로 자기화된다.
ㄷ. (나)에서 B와 C 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

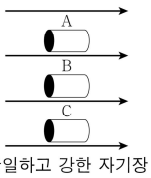
정 답 ①

해 설

ㄱ. (나)를 통해 B와 C는 서로 인력을 받고 있다.
따라서 C는 강자성체, B는 상자성체이다.
그러므로 A는 반자성체이다. (O)
ㄴ. (가)에서 A와 C는 반대 방향으로 자기화된다. (X)
ㄷ. (나)에서 B와 C사이에는 서로 인력이다. (X)

10 2025학년도 9월 6번 정답률 87%

6. 그림은 한 면만 검게 칠한 자기화되어 있지 않은 자성체 A, B, C를 균일하고 강한 자기장 영역에 놓아 자기화시킨 모습을 나타낸 것이다. 표는 그림의 자기장 영역에서 꺼낸 A, B, C 중 2개를 마주 보는 면을 바꾸며 가까이 놓았을 때, 자성체 사이에 작용하는 자기력을 나타낸 것이다. A, B, C는 강자성체, 상자성체, 반자성체를 순서 없이 나타낸 것이다.



자성체의 위치	자기력
A B	없음
A C	서로 미는 힘
B C	서로 당기는 힘

A, B, C로 옳은 것은? [3점]

	A	B	C
①	강자성체	상자성체	반자성체
②	상자성체	강자성체	반자성체
③	상자성체	반자성체	강자성체
④	반자성체	상자성체	강자성체
⑤	반자성체	강자성체	상자성체

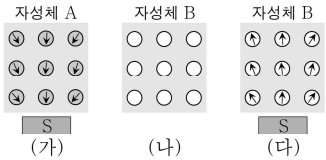
정 답 ④

해 설

C는 A와 B에 힘을 작용하므로 강자성체이다.
A는 반자성체, B는 상자성체이다.

11 2025학년도 수능 7번 정답률 88%

7. 그림 (가)는 자석의 S극을 가까이 하여 자기화된 자성체 A를, (나)는 자기화되지 않은 자성체 B를, (다)는 (나)에서 S극을 가까이 하여 자기화된 B를 나타낸 것이다. (다)에서 B와 자석 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다. A, B는 상자성체와 반자성체를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. (가)에서 A와 자석 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.
ㄴ. (다)에서 S극 대신 N극을 가까이 하면, B와 자석 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.
ㄷ. (다)에서 자석을 제거하면, B는 (나)의 상태가 된다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

A는 상자성체이고, B는 반자성체이다.

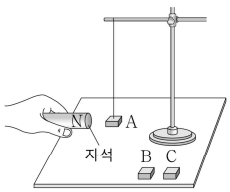
ㄱ. A와 자석은 서로 당기는 자기력이 작용한다. (O)
ㄴ. 밀어내는 자기력이 작용한다. (X)
ㄷ. (다)에서 자석을 제거하면 (나)의 상태가 된다. (O)

12 2026학년도 6월 5번 정답률 84%

5. 다음은 물질의 자성에 대한 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 질량이 같고 자화되지 않은 서로 다른 자성체 A, B, C를 준비한다.
(나) 그림과 같이 A를 실에 매단 후 자석의 N극을 가까이 했을 때, A의 움직임을 관찰한다.
(다) A를 B 또는 C로 바꾸어 (나)를 반복한다.
(라) A, B, C를 자화되지 않은 상태로 만든다.
(마) 자석의 극을 반대로 하여 (나), (다)를 수행한다.
(바) 관찰 결과를 바탕으로 A, B, C가 자석으로부터 받는 힘의 크기와 방향을 화살표를 이용하여 비교한다.

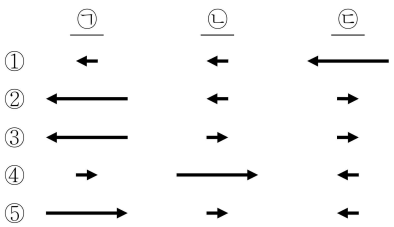


〔실험 결과〕

실험	A	B	C
N극을 가까이 했을 때	←	←	→
S극을 가까이 했을 때	㉠	㉡	㉢

←: 자석에 끌려가는 방향 →: 자석에서 밀려나는 방향

㉠, ㉡, ㉢으로 가장 적절한 것은?



정 답 ②

해 설

N극을 가까이 했을 때 힘의 방향과 크기를 통하여
A는 강자성체, B는 상자성체, C는 반자성체이다.

사실 자성체들은 극에 상관없이 작용하는 힘의 방향이 동일하므로 답은 ②이다.

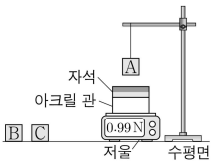
13 2026학년도 9월 5번 정답률 82%

5. 다음은 물체 A, B, C의 자성을 알아보기 위한 실험이다. A, B, C는 강자성체, 상자성체, 반자성체를 순서 없이 나타낸 것이다.

〔실험 과정〕

(가) 아크릴 관에 자석을 고정하여 저울 위에 놓고 무게를 측정한다.

(나) 자기화되지 않은 A, B, C를 각각 자석으로부터 같은 높이에 매단 후 저울의 측정값을 기록한다.



〔실험 결과〕

매단 물체	없음	A	B	C
저울의 측정값(N)	1.00	0.99	㉠	0.90

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

<보 기>

ㄱ. A는 상자성체이다.
ㄴ. ㉠ < 0.90이다.
ㄷ. (나)에서 C를 매달았을 때, C와 자석 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

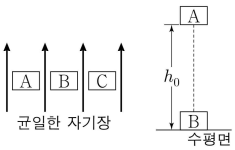
정 답 ④

해 설

ㄱ. A는 상자성체이고, C는 강자성체이다. (O)
ㄴ. B는 반자성체가 되므로 1.00보다 크다. (X)
ㄷ. 강자성체이므로 인력이 작용한다. (O)

14 2026학년도 수능 2번 정답률 86%

2. 그림과 같이 균일한 자기장에 의해 자기화된 상태에 있는 크기와 모양이 같은 물체 A, B, C 중 2개를 꺼내어 하나는 수평면에 놓고 다른 하나는 높이 h_0에서 가만히 놓아 떨어뜨린다. 표는 두 물체가 닿을 때까지 걸린 시간 T를 나타낸 것이다. A, B, C는 강자성체, 상자성체, 반자성체를 순서 없이 나타낸 것이고, 균일한 자기장 영역에서 B와 C가 자기화된 방향은 서로 같다.



수평면에 놓은 물체	떨어뜨린 물체	T(s)
B	A	0.230
C	A	0.203

A, B, C로 옳은 것은?

	A	B	C
①	강자성체	상자성체	반자성체
②	강자성체	반자성체	상자성체
③	상자성체	강자성체	반자성체
④	반자성체	강자성체	상자성체
⑤	반자성체	상자성체	강자성체

정 답 ④

해 설

수평면 놓은 물체가 B일 때 걸린 시간은 C일 때보다 크다.
이는 척력이 더 큰 것이므로 B는 강자성체, C는 상자성체이다.
그러면 A는 반자성체이다.

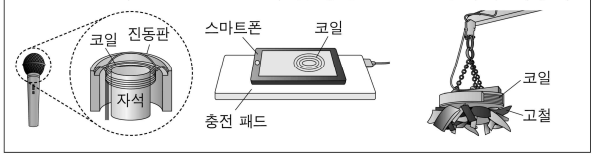
유형 02 자기장과 전자기유도의 예시

01 2022학년도 6월 2번 정답률 54%

2. 전자기 유도 현상을 활용하는 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 마이크 ㄴ. 무선 충전 ㄷ. 전자석 기중기



① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

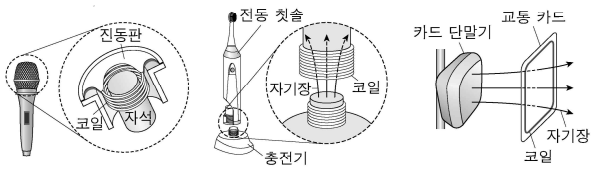
해 설

전기를 만든 현상이 전자기 유도를 이용한 것이다.

ㄱ. 마이크는 전기를 만든다. (O)
ㄴ. 무선 충전은 스마트폰에 전기를 만든다. (O)
ㄷ. 전자석 기중기는 자석이다. (X)

02 2023학년도 6월 1번 정답률 81%

1. 그림 A, B, C는 자기장을 활용한 장치의 예를 나타낸 것이다.



A. 마이크 B. 무선 충전 칫솔 C. 교통 카드

전자기 유도 현상을 활용한 예만을 있는 대로 고른 것은?

① A ② C ③ A, B ④ B, C ⑤ A, B, C

정 답 ⑤

해 설

A 마이크는 전기를 만든다. (O)
B 무선 충전 칫솔에 전기를 만든다. (O)
C 교통카드에 전류를 흐르게 한다. (O)

03 2023학년도 9월 2번 정답률 85%

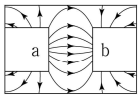
2. 그림 (가)는 막대자석의 모습을, (나)는 (가)의 자석의 가운데를 자른 모습을 나타낸 것이다.

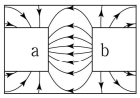


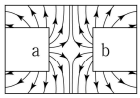
(가)

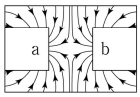
(나)

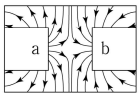
(나)에서 a, b 사이의 자기장 모습으로 가장 적절한 것은?

① 

② 

③ 

④ 

⑤ 

정 답 ①

해 설

a는 N극, b는 S극이므로
서로 종아하는 힘이 있으므로 중앙이 연결되야 한다.
따라서 답은 ①이다.

PART 7
전자기 유도

개념 유형

(1) 균일한 자기장
(2) 변하는 자기장

기출 유형

(1) 전자기 유도

THEME

1 — 유도 전류의 발생

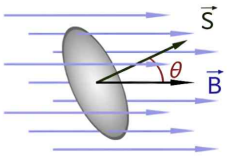
정리1 전자기 유도

개념1 자기선속

① 자기선속은 자기 다발이라는 의미이며, 자기장에 수직인 단면을 지나는 자기력선의 수에 비례한다.

② 자기선속은 $\Phi_B = BS\cos\theta$ 이다. [Wb] (웨버)

③ 자기선속은 스칼라 물리량이다. 단순히 폐면적에 몇 개의 선이 통과하는 지를 센 것이다.
하지만 면에 따른 자기장의 방향에 따라 양(+) 또는 음(−)의 값을 가질 수 있다.
만약에 면벡터에 동일한 방향의 자기장이 통과하면 자기선속은 양의 값을 갖고,
면벡터에 반대 방향의 자기장이 통과하면 자기선속은 음의 값을 갖는다.



개념2 렌츠 법칙

1834년, 독일계 러시아인 물리학자 하인리히 렌츠가 발견했으며, 어떤 폐회로에 유입되는 자기선속(magnetic flux)이 변할 때, 유도되는 기전력은 그 자기선속의 변화를 방해하게 만드는 자기장을 형성하게끔 생성된다는 법칙이다.
간단하게 설명하면, 자석과 가까워지면 코일은 자석을 밀어내려고 하고, 자석이 멀어지려고 하면 끌어당기려고 한다.

개념3 패러데이 법칙

① 자기 선속의 변화가 기전력을 발생시킨다는 법칙이다. 1831년 영국의 물리학자 마이클 패러데이가 발견하였다.
맥스웰 방정식 중 하나이며, 패러데이 법칙에서 자기선속의 양자화가 유도되기도 한다.

② 유도 기전력은 $\varepsilon = -N\frac{d\Phi_B}{dt}$ (여기서 '−'가 붙은 이유는 렌츠의 법칙 때문이다. N은 코일의 감은 횟수이다.)

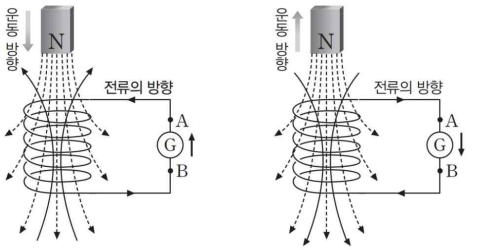
정리2 유도 전류의 세기와 방향

개념1 유도 전류의 방향을 찾는 방법

STEP1 자석이 다가오면 척력이 생긴다. (자연은 변화를 싫어해!)

STEP2 척력에 대해서 솔레노이드에 가상의 자극(자석의 극)을 만든다.

STEP3 엄지 손가락이 N극을 향하도록 한다음 오른손을 감아 유도 전류의 방향을 찾는다.

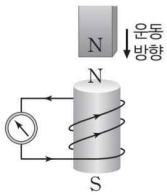
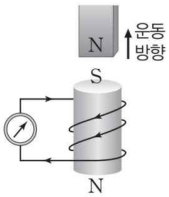
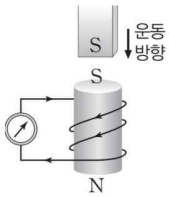
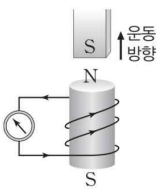


(가) 자기 선속이 증가하는 경우 (나) 자기 선속이 감소하는 경우

개념2 자석의 방향에 따른 유도 전류 방향 정리

① 자석의 N극일 때와 S극일 때 유도 전류의 반대이다.

② 자석의 운동 방향이 반대가 되면 유도 전류의 방향은 반대가 된다.

구분	N극이 가까워질 때	N극이 멀어질 때	S극이 가까워질 때	S극이 멀어질 때
코일을 통과하는 자기선속의 변화				
자기력	밀어냄(척력)	끌어당김(인력)	밀어냄(척력)	밀어냄(척력)
코일의 극	위: N극 아래: S극	위: S극 아래: N극	위: S극 아래: N극	위: N극 아래: S극
유도 전류의 방향	B→Ⓖ→A	A→Ⓖ→B	A→Ⓖ→B	B→Ⓖ→A

개념3 유도 전류가 커지는 방법

① 자석의 세기를 크게 한다.

② 자석의 속도를 빠르게 한다.

③ 코일의 단위 길이당 감은 수를 늘린다.

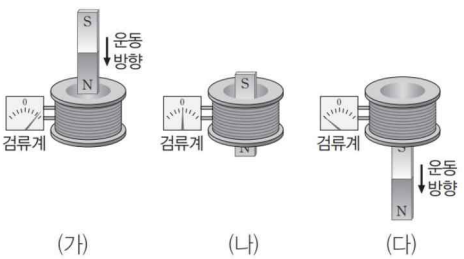
④ 코일과 자석이 가까울수록 유도 전류의 세기가 커진다.

⑤ 전자기 유도가 발생하면 자석의 역학적 에너지가 솔레노이드의 전기적 에너지로 전환되므로 자석의 에너지는 감소한다.
(자기력은 보존력[중력, 전기력, 탄성력]이 아니기에 역학적 에너지를 보존시키지 않는다.)

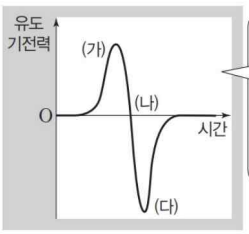
개념4 유도 전류가 0이 되는 방법

① 자석이 코일의 중심에 있을 때 유도 전류는 0이다. (이후 유도 전류의 방향이 바뀐다.)

② 코일과 자석의 상대 속도가 0이면 유도 전류는 0이다.



(가) (나) (다)



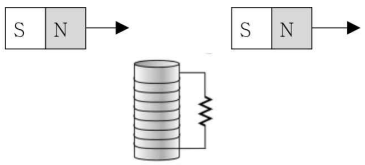
유도 기전력의 최댓값이 다른 이유는 중력에 의해 가속된 자석의 속력이 달라 자기 선속의 시간 변화율이 다르기 때문이다.

정리3 한 개의 자석

개념1 솔레노이드 윗부분을 자석이 지나가는 상황

① 자석에 작용하는 자기력
- 자석이 왼쪽에 있을 때 솔레노이드는 자석을 왼쪽으로 민다.
- 자석이 오른쪽에 있을 때 솔레노이드는 자석을 왼쪽으로 당긴다.

따라서 자석에 작용하는 자기력의 방향은 동일하다.



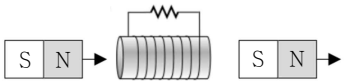
② 솔레노이드에 흐르는 유도 전류
- 자석이 왼쪽에 있을 때 솔레노이드의 위쪽은 N극이다.
- 자석이 왼쪽에 있을 때 솔레노이드의 위쪽은 N극이다.

따라서 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향은 동일하다.

개념2 솔레노이드를 자석이 통과하는 상황

① 자석에 작용하는 자기력
- 자석이 위에 있을 때 솔레노이드는 자석을 위쪽으로 민다.
- 자석이 아래에 있을 때 솔레노이드는 자석을 위쪽으로 당긴다.

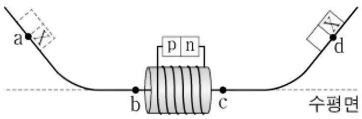
따라서 자석에 작용하는 자기력의 방향은 동일하다.



② 솔레노이드에 흐르는 유도 전류
- 자석이 위에 있을 때 솔레노이드의 위쪽은 N극이다.
- 자석이 아래에 있을 때 솔레노이드의 위쪽은 S극이다.

따라서 자석이 솔레노이드를 통과할 때 유도 전류의 방향은 반대이다.

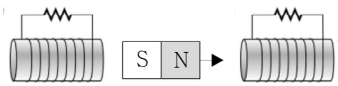
③ 저항 대신에 다이오드가 있는 경우
- 역방향 전압일 때는 유도 전류가 발생하지 않아 자석의 역학적 에너지 손실X
- 순방향 전압일 때만 유도 전류가 발생하므로 자석의 역학적 에너지 손실O
- 만약 그림과 같은 상황에서 a에서 b로 진행할 때 유도 전류가 발생한다면 d에서 c로 진행할 때 유도 전류가 발생한다. (대칭성!)



개념3 두 개의 솔레노이드 사이에서 자석이 움직이는 상황

① 자석에 작용하는 자기력
- 위쪽의 솔레노이드는 자석을 위쪽으로 당긴다.
- 아래쪽의 솔레노이드는 자석을 위로 민다.

따라서 자석에 작용하는 자기력의 방향은 동일하다.

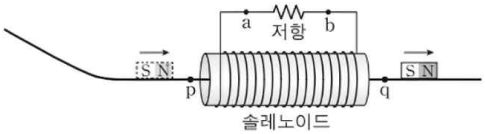


② 솔레노이드에 흐르는 유도 전류
- 위쪽 솔레노이드는 위쪽이 S극이다.
- 아래쪽 솔레노이드는 위쪽이 N극이다.

따라서 두 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향은 반대이다.

예제1 자석의 저항-솔레노이드 통과

그림은 빗면을 따라 내려온 자석이 솔레노이드의 중심축에 놓인 마찰이 없는 수평 레일을 따라 운동하는 모습을 나타낸 것이다. 점 p, q는 레일 위에 있다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 자석이 p를 지날 때, 유도 전류는 a→저항→b방향으로 흐른다.
ㄴ. 자석의 속력은 p에서가 q에서보다 작다.
ㄷ. 자석이 q를 지날 때, 솔레노이드 내부에서 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 q→p 방향이다.

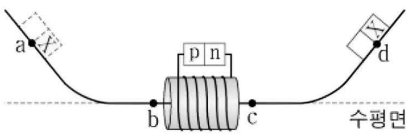
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 자석이 p를 지날때 솔레노이드의 왼쪽이 N극이 유도된다. 따라서 유도 전류는 a→저항→b방향으로 흐른다. (O)
ㄴ. 솔레노이드를 통과하면 저항에 전류가 흘러 전력 손실이 발생한다. 따라서 자석의 속력은 p > q이다. (X)
ㄷ. 자석이 q를 지나면 솔레노이드의 오른쪽은 N극이 된다. 내부 자기장은 p→q 방향이다. (X)

예제2 자석의 다이오드-솔레노이드 통과

그림과 같이 p-n 접합 발광 다이오드(LED)가 연결된 솔레노이드의 중심축에 마찰이 없는 레일이 있다. a, b, c, d는 레일 위의 지점이다. a에 가만히 놓은 자석은 솔레노이드를 통과하여 d에서 운동 방향이 바뀌고, 자석이 d로부터 내려와 c를 지날 때 LED에서 빛이 방출된다. X는 N극과 S극 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. X는 N극이다.
ㄴ. a로부터 내려온 자석이 b를 지날 때 LED에서 빛이 방출된다.
ㄷ. 자석의 역학적 에너지는 a에서와 d에서가 같다.

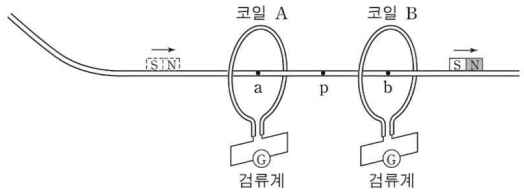
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. d에서 c로 갈 때 솔레노이드에 전류가 흘러야하므로 $+x$방향으로 전류가 흘러야한다. 따라서 솔레노이드의 오른쪽은 s극이고, X는 N극이다. (O)
ㄴ. a로부터 내려올 때는 d→c와 같다. 따라서 LED에서 빛이 방출된다. (O)
ㄷ. 자석의 역학적 에너지는 a > d이다. 왜냐하면 다이오드에서 빛이 방출되니까 일부의 에너지는 전기 에너지로 전환된다. (X)

예제3 자석이 두 개의 코일을 통과하는 경우

그림은 빗면을 따라 내려온 자석이 마찰이 없고 수평인 직선 레일을 따라 운동하여 동일한 두 원형 코일 A와 B를 통과하는 것을 나타낸 것이다. 점 a, p, b는 레일 상에 있고, a, b는 각각 A, B의 중심이며, p는 a와 b로부터 같은 거리에 있다. A와 B는 서로 나란하게 놓여 있고, 움직이지 않는다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 자석이 p를 지날 때 자석에 작용하는 합력은 0이다.
ㄴ. 자석이 p를 지날 때 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.
ㄷ. 자석이 a를 지날 때 B에 흐르는 전류의 세기와 자석이 b를 지날 때 A에 흐르는 전류의 세기는 서로 같다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

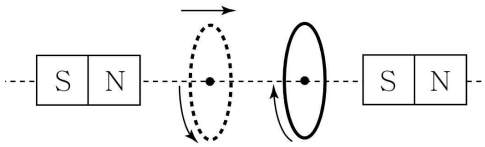
해설

ㄱ. 왼쪽으로 힘을 받는다. (X)
ㄴ. 전류의 방향은 서로 반대이다. (O)
ㄷ. 전류의 세기는 다르다. (X)

정리4 두 개의 자석 사이를 금속 고리가 움직임

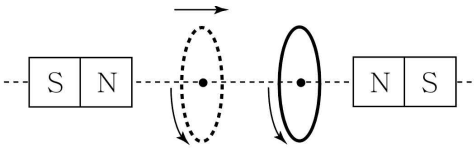
개념1 동일한 자석 사이에 금속 고리가 움직임

동일한 자석 사이에서 금속 고리가 통과하면 자석의 중앙을 통과할 때 유도 전류의 방향이 반대가 된다.



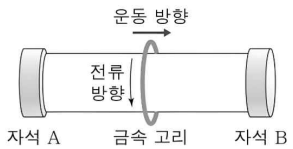
개념2 반대 자석 사이에 금속 고리가 움직임

반대 자석 사이에서 금속 고리가 통과하면 유도 전류의 방향은 일정하게 유지된다.



예제4 두 개의 자석 사이를 금속 고리가 움직임

그림은 동일한 원형 자석 A, B를 플라스틱 통의 양 쪽에 고정하고 플라스틱 통 바깥쪽에서 금속 고리를 오른쪽 방향으로 등속 운동시키는 모습을 나타낸 것이다. 금속 고리가 플라스틱 통의 왼쪽 끝에서 오른쪽 끝까지 운동하는 동안 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 화살표 방향으로 일정하다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A의 오른쪽 면은 N극이다.
ㄴ. B의 오른쪽 면은 N극이다.
ㄷ. 금속 고리를 통과하는 자기 선속은 일정하다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 금속 고리가 A와 멀어질 때 고리는 왼쪽이 s극이다. 따라서 자석 A의 오른쪽 극은 N극이다. (O)
ㄴ. 유도 전류의 방향이 일정하므로 A와 B는 반대 자석이다. 따라서 B의 오른쪽 면은 S극이다. (X)
ㄷ. 금속 고리를 통과하는 자기 선속은 변화해야 고리에 유도 전류가 발생한다. (X)

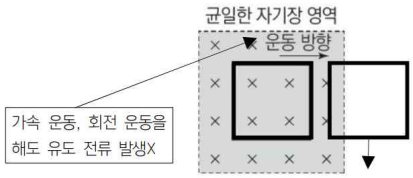
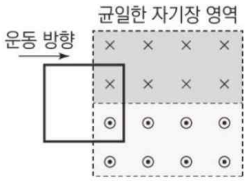
THEME

2 균일한 자기장

정리1 균일한 자기장 영역을 도선이 통과

개념1 도선에 전류가 흐르지 않는 상황

자기 선속의 시간에 대한 변화량($\frac{d\Phi_B}{dt}$)이 0이 되면 유도 전류가 흐르지 않는다.

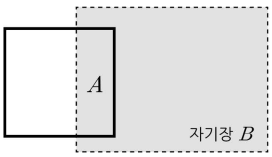
CASE 1. 균일한 자기장 내부를 통과	CASE 2. 세기가 같고 방향이 반대인 자기장 통과
	
① 면적과 자기장의 변화가 없어 유도 전류는 없다. ② 자기 선속은 $\Phi_B = BA$로 있다.	① $\varepsilon = Blv$가 상쇄되어 유도 전류는 없다. ② 자기 선속은 $\Phi_B = +BA - BA = 0$으로 없다.

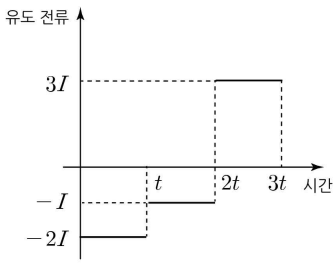
개념2 도선에 전류가 흐르는 상황

① 자기 선속의 세기

방법1 정의에 의하여 $\Phi_B = BA$이다. (단, A는 자기장 영역에 있는 면적)

방법2 $\frac{d\Phi_B}{dt} = IR$을 통하여 $\Phi_B(t) = R\int_0^t I(t)dt$을 만족한다. $2t$에서의 자기선속은 $\Phi_B = -RIt - 2RIt = -3RIt$이다.



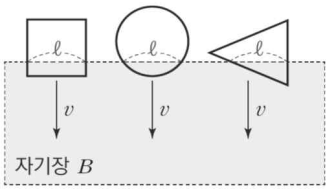


② 유도 전류의 세기

$|\varepsilon| = \frac{d\Phi_B}{dt} = B\frac{dA}{dt} = Bl\frac{dx}{dt} = Blv$에 의해 $Blv = IR$이다. (고리의 저항은 R이다.)

유도 전류에서 l은 자기장의 면에 접하는 도선의 길이를 의미한다.

그림에서 $t = T$일 때 도선의 유도 기전력은 Blv로 전부 동일하다.

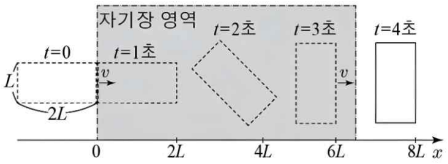


③ 유도 전류의 방향

- 들어가는 자기장(−)에 대한 자기선속이 증가하면(+) 반시계 전류(−)가 흐른다. (곱 연산)
- 들어가는 자기장(−)에 대한 자기선속이 감소하면(−) 시계 전류(+)가 흐른다.
- 나오는 자기장(+)에 대한 자기선속이 증가하면(+) 시계 전류(+)가 흐른다.
- 나오는 자기장(+)에 대한 자기선속이 감소하면(−) 반시계 전류(−)가 흐른다.

예제1 유도 기전력의 발생의 예제

그림은 직사각형 금속 고리가 $t=0$일 때 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 균일한 자기장 영역에 $+x$방향으로 들어가는 순간부터 고리의 위치를 1초 간격으로 나타낸 것이다. 금속 고리는 0부터 1초까지와 3초부터 4초까지 각각 속력이 v인 등속도 운동을 하고, 1초에서 3초 사이에는 고리면이 자기장에 수직인 상태를 유지하면서 자기장 영역에서 90° 만큼 회전하면서 이동한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. $t=0.5$초일 때 금속 고리에는 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.
ㄴ. $t=2$초일 때 금속 고리에는 유도 전류가 흐른다.
ㄷ. 금속 고리에 흐르는 전류의 세기는 $t=0.5$초일 때가 $t=3.5$초일 때보다 크다.

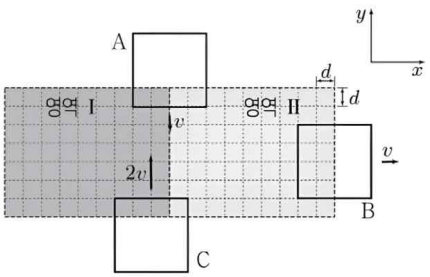
① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 들어가는 자기장에 들어가므로 반시계 전류가 흐른다. (X)
ㄴ. 내부에는 유도 전류가 흐르지 않는다. (O)
ㄷ. 접면의 길이는 3.5초>0.5초이므로 유도 전류의 세기는 3.5초>0.5초이다. (X)

예제2 유도 기전력의 계산의 예제

그림은 xy평면에서 수직인 방향의 균일한 자기장 영역 I, II의 경계에서 한 변의 길이가 $4d$인 동일한 정사각형 도선 A, B, C가 각각 일정한 속력 v, v, $2v$로 직선 운동하는 어느 순간의 모습을 나타낸 것이다. A, B, C는 각각 $-y$, $+x$, $+y$방향으로 운동한다. I과 II에서 자기장의 방향은 서로 반대이고 A와 B에 흐르는 유도 전류의 세기는 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 자기장의 세기는 I에서가 II에서의 3배이다.
ㄴ. 유도 전류의 방향은 A에서와 B에서가 같다.
ㄷ. 유도 전류의 세기는 C에서가 A에서의 4배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

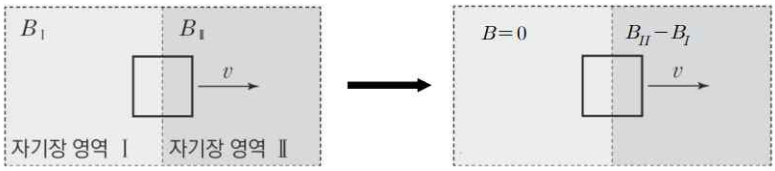
ㄱ. 영역 II가 B에 만드는 전류를 $-4I$라고 하자.
영역 II가 A에 만드는 전류는 $+2I$이다.
A, B의 전류의 세기가 동일해지려면 영역 I가 만드는 전류는 A에 $-6I$를 만들어야 한다. (O)
ㄴ. 유도 전류의 방향은 A와 B가 '-'로 같다. (O)
ㄷ. A는 $6-2=4$이고, C는 $18-2=16$이다. (O)

정리2 상대 자기장

개념1 상대 자기장

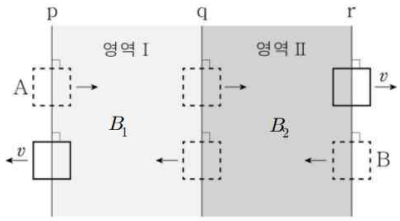
두 개의 자기장 영역을 통과할 때 다음과 같이 치환이 가능하다.

① 상대 자기장 : $B_{I,II} = B_{II} - B_I$ (쉽게 접근하는 법: 상대 속도로 생각하면 좋다! 너의 것 - 나의 것)
② 상대 자기장의 부호 : 전기장, 자기장과 동일하게 부호가 같으면 내부 상쇄, 부호가 다르면 내부 보강이다.
③ 자기장 영역 사이를 통과할 때 서로의 자기장이 다르다면 무조건 유도 전류가 발생한다.



개념2 역으로 통과

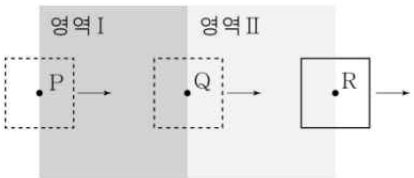
각각의 도선이 느끼기에 상대 자기장의 방향이 반대이고, 둘 다 도선이 자기장으로 들어가므로 유도 전류의 방향은 서로 반대이다.



개념3 유도 전류의 방향이 유지됨

P, Q에 대해서 유도 전류의 방향이 유지가 된다고 해보자.

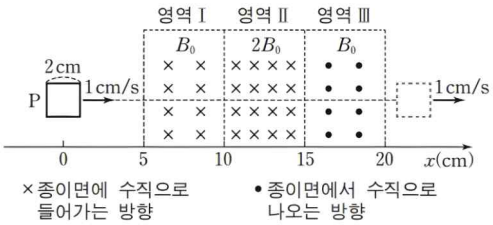
① 자기장 방향은 같다.
② 세기는 영역 I < II이다.



최소 조건을 생각해보면 이해가 빠르다.
유도 전류가 발생하지 않는다고 하면, 영역 I, II의 자기장의 세기와 방향이 동일해야한다.
하지만, 이때 유도 전류의 방향이 유지가 된다고 하면 위의 조건 ①, ②을 만족해야한다.

예제3 상대 자기장

그림과 같이 정사각형 금속 고리 P가 $1cm/s$의 속력으로 x축과 나란하게 등속도 운동하여 자기장 영역 I, II, III을 통과한다. $t=0$일 때, P의 중심의 위치는 $x=0$이다. I, II, III에서 자기장의 세기는 각각 B_0, $2B_0$, B_0으로 균일하다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. $t=5$일 때, P에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.
ㄴ. $t=13$초일 때, P에 흐르는 유도 전류는 0이다.
ㄷ. P에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t=10$초일 때가 $t=15$초일 때보다 작다.

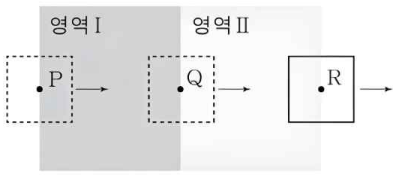
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 반시계 방향이다. (X)
ㄴ. 균일한 자기장을 통과하므로 유도 전류는 0이다. (O)
ㄷ. 10초(빨셈)<15초(덧셈)이다. (O)

예제4 유도 전류의 방향이 변하지 않음

그림과 같이 정사각형 도선이 종이면에 수직인 방향으로 각각 균일한 자기장이 형성된 영역 I, II를 일정한 속도로 지나간다. 점 P, Q, R는 영역의 경계에 있고, 도선의 중심이 P, Q를 지날 때 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 모두 반시계 방향이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. I에서 자기장의 방향은 종이면으로 들어가는 방향이다.
ㄴ. 자기장의 세기는 I에서가 II에서보다 크다.
ㄷ. 유도 전류의 세기는 도선의 중심이 P를 지날 때가 R를 지날 때보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

해설

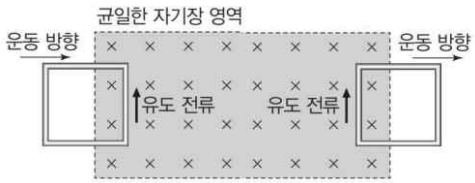
ㄱ. 반시계 전류가 흐르므로 영역 I는 들어가는 자기장이다. (O)
ㄴ. 유도 전류의 방향이 유지가 됐으므로 자기장 영역 I, II의 방향은 동일하고 세기는 I<II이다. (X)
ㄷ. 유도 전류의 세기는 P>R이다. (X)

정리3 유도 전류의 합

개념1 유도 전류의 변화 합

전류가 흐르는 직선 도선이 만드는 자기장에서 본 개념과 동일하다.

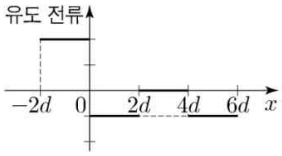
균일한 자기장 영역에 들어가고, 나올 때 양 끝에 대한 유도 전류의 합은 0이다.



개념2 유도 전류의 적분 정리

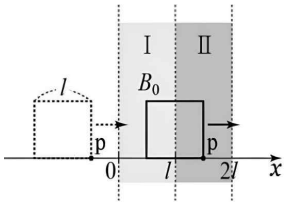
변화합의 개념을 확장하면 균일한 자기장 영역을 통과할 때 발생되는 유도 전류의 값들을 전부 더하면 0이 된다는 원리이다.

즉, 아래 그림을 보면 유도 전류의 합이 0을 만족하므로 이는 가능한 유도 전류의 그래프이다.



예제5 유도 전류의 합

그림은 종이면에 수직인 방향으로 각각 균일한 자기장이 형성된 영역 I, II를 한 변의 길이가 l인 정사각형 도선이 $+x$방향으로 일정한 속력으로 통과하는 모습을 나타낸 것이다. I에서 자기장의 세기는 B_0이다. 표는 도선의 p점의 위치 x에 따른 도선에 흐르는 전류의 세기와 방향을 나타낸 것이다.



위치	전류의 세기	전류의 방향
$x=0.5l$	I_0	시계 방향
$x=1.5l$	$2I_0$	반시계 방향

II에서의 자기장의 방향과 세기를 옳게 나타낸 것은?

	자기장의 방향	자기장의 세기
①	종이면에 들어가는 방향	B_0
②	종이면에 들어가는 방향	$2B_0$
③	종이면에 들어가는 방향	$3B_0$
④	종이면에 나오는 방향	B_0
⑤	종이면에 나오는 방향	$2B_0$

해설

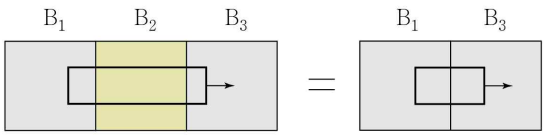
$x=0.5l$과 $x=1.5l$을 더하면 반시계 방향의 I_0이다.

따라서 II에는 $-B_0$이다.

정리4 자기장 상쇄 효과

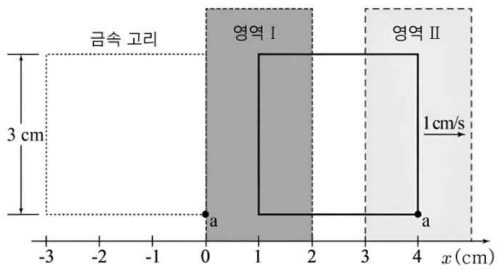
개념1 자기장 상쇄 효과

상대 자기장의 관점으로 왼쪽과 오른쪽에 대해서 생각해보자.
왼쪽 부분에 대해서 $\varepsilon_l = (B_2 - B_1)lv$, 오른쪽 부분에 대해서 $\varepsilon_r = (B_3 - B_2)lv$를 만족하므로
내부 자기장은 상쇄되어 전체적으로 봤을 때 없는 것과 같다.



예제6 자기장 상쇄 효과

그림과 같이 정사각형 금속 고리가 $1cm/s$의 속력으로 x축에 나란하게 등속도 운동하면서 종이면에 수직인 방향의 균일한 자기장 영역 I, II를 지나고 있다. $t=0$일 때, 금속 고리의 a점의 위치는 $x=0$이다. $t=1$초일 때와 $t=4$초일 때, 금속 고리에 흐르는 전류의 방향은 같고, 전류의 세기는 $t=4$초일 때가 $t=1$초일 때보다 크다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 자기장의 방향은 I에서와 II에서가 서로 같다.
ㄴ. 자기장의 세기는 II에서가 I에서보다 크다.
ㄷ. $t=2.5$초일 때 금속 고리에 유도 기전력이 생긴다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 1초와 4초에서 전류의 방향이 동일하므로 영역 I와 II의 자기장의 방향은 동일하고 세기는 I < II이다. (O)
ㄴ. 자기장의 세기는 II에서가 I에서보다 크다. (O)
ㄷ. 내부 상쇄 효과로 유도 기전력은 없다. (X)

THEME

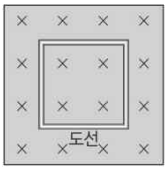
2 변하는 자기장

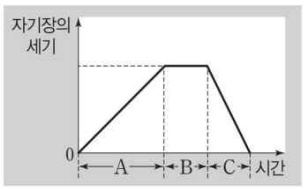
정리1 변하는 자기장에 고정된 도선

개념1 변하는 자기장에 고정된 도선

① 변하는 자기장에서 유도 전류의 세기는 $|\varepsilon| = \frac{d\Phi_B}{dt} = A\frac{dB}{dt}$이다.

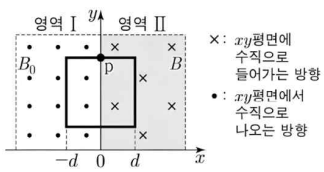
② 유도 전류의 방향을 쉽게 구하는 방법
만약에 균일한 자기장의 세기가 점점 증가하는 상황이라고 해보자.
그러면 도선의 입장에서는 자기선속의 크기가 증가하는 것과 같으므로 도선이 자기장으로 들어가는 것과 비슷하다.
따라서 A과정은 자기장 속에 들어감으로 해석해도 무방하다.



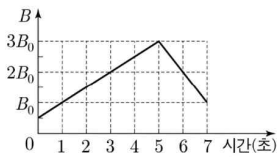


예제1 변하는 자기장

그림 (가)는 균일한 자기장 영역 I, II가 있는 xy평면에 한 변의 길이가 $2d$인 정사각형 금속 고리가 고정되어 있는 것을 나타낸 것이다. I의 자기장의 세기는 B_0으로 일정하고, II의 자기장의 세기 B는 그림 (나)와 같이 시간에 따라 변한다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 1초일 때, 고리에 유도 전류가 흐르지 않는다.
ㄴ. 2초일 때, 고리의 점 p에서 유도 전류의 방향은 $-x$방향이다.
ㄷ. 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 3초일 때와 6초일 때가 같다.

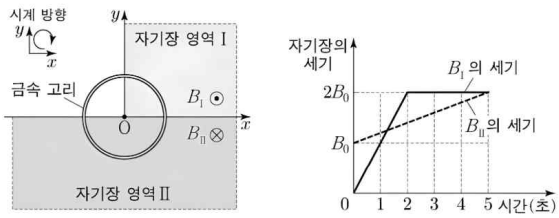
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 영역 I의 자기장은 변하지 않으므로 생각하지 않아도 좋다. 1초일 때 들어가는 방향의 자기장의 세기가 증가하므로 유도 전류가 흐른다. (X)
ㄴ. 2초일 때 들어가는 방향의 자기장의 세기가 증가하므로 반시계 방향의 전류가 흐른다. 점 p에서 유도 전류의 방향은 $-x$방향이다. 이다. (O)
ㄷ. 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 3초<6초이다. (X)

예제2 유도 기전력의 계산의 예제

그림 (가)는 xy평면에 고정된 원형 금속 고리와 균일한 자기장 영역 I, II를 나타낸 것이다. 고리의 중심은 원점 O이고, I에서 자기장 B_I의 방향은 xy평면에 수직으로 나오는 방향이며, II에서 자기장 B_{II}의 방향은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 그림 (나)는 B_I, B_{II}의 세기를 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 고리면을 통과하는 B_I과 B_{II}에 의한 자기 선속의 크기는 1초일 때가 4초일 때보다 작다.
ㄴ. 고리에 유도되는 기전력의 크기는 1초일 때가 4초일 때보다 크다.
ㄷ. 1초일 때 유도 전류는 시계 방향으로 흐른다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 1초) $(+1\times1)-(2\times\frac{6}{5})=-\frac{7}{5}$

4초) $(+1\times2)-(2\times\frac{9}{5})=-\frac{8}{5}$

따라서 1초일 때가 4초일 때보다 작다. (O)

ㄴ. 1초) $(+1\times1)-(2\times\frac{1}{5})=+\frac{3}{5}$

4초) $(+1\times0)-(2\times\frac{1}{5})=-\frac{2}{5}$

따라서 1초일 때가 4초일 때보다 크다. (O)

ㄷ. 나오는 방향의 자기장이 증가하는 영향력이 더 크다. 따라서 시계 방향의 유도 전류가 생긴다. (O)

THEME

3 움직이는 금속 막대

정리1 움직이는 금속 막대

개념1 금속 막대의 평행 운동

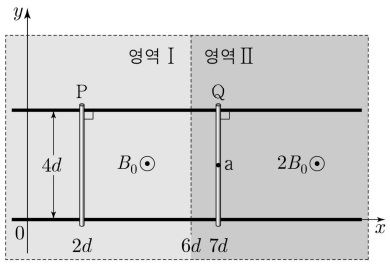
그림은 영역 I와 영역 II의 자기장 방향이 동일하고, 금속 막대 P와 Q가 있는 상황이다.

① 전류의 방향

P가 왼쪽으로 진행하면 자기장이 통과하는 면적이 증가하고,
Q가 오른쪽으로 진행하면 자기장이 통과하는 면적이 증가한다.
따라서 P는 왼쪽으로, Q는 오른쪽으로 진행할 때 시계 전류가 발생한다.

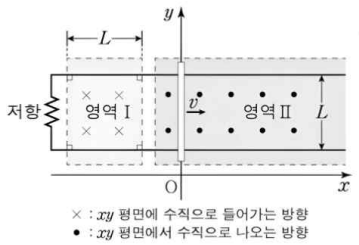
② 전류의 세기

전류의 세기는 $\varepsilon = Blv$공식을 만족한다.

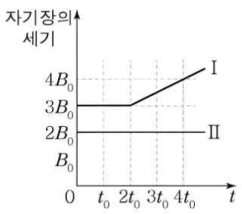


예제1 움직이는 금속 막대

그림 (가)와 같이 xy평면에 고정된 ㄷ자형 금속 레일과 균일한 자기장 영역 I, II가 있다. 레일의 폭은 L로 일정하고 금속 막대는 레일 위에서 $+x$방향의 일정한 속력 v로 운동하며 시간 $t=0$일 때 y축을 지난다. 그림 (나)는 I, II에서 자기장의 세기를 t에 따라 나타낸 것이다. 저항에 흐르는 전류의 방향은 $t=t_0$일 때와 $t=3t_0$일 때가 같고, 전류의 세기는 $t=t_0$일 때가 $t=3t_0$일 때의 3배이다.



(가)



(나)

v는? (단, 금속 레일, 금속 막대의 저항은 무시한다.)

① $\frac{L}{8t_0}$ ② $\frac{L}{4t_0}$ ③ $\frac{3L}{8t_0}$ ④ $\frac{L}{2t_0}$ ⑤ $\frac{5L}{8t_0}$

해설

$t_0 \sim 3t_0$에 대한 변화량: $2IR = A\frac{dB}{dt} = L^2\frac{B_0}{2t_0}$

t_0일 때: $3IR = 2B_0Lv$

계수만 따져서 생각해보자.

$I = \frac{1}{4}$이므로 $v = \frac{3}{8}$이다.

THEME

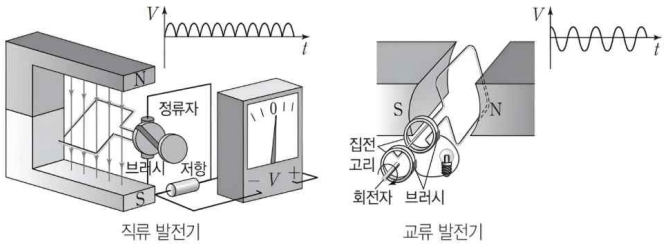
4 — 발전기

정리1 발전기

개념1 발전기의 종류

① 직류 발전기
정류자를 연결하여 한쪽 방향으로만 전류가 흐르는 발전기

② 교류 발전기
방향이 변하는 전류가 흐르는 발전기



직류 발전기 교류 발전기

개념2 코일의 회전에 따른 유도 전류

STEP1 정사영된 면적 (처음의 면적을 $A=0$이라고 가정)
코일이 회전하므로 자기장이 통과하는 면적은 $A=A_0\sin wt$을 만족한다.

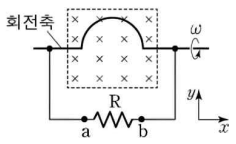
STEP2 유도 전류의 관계식

$I=\frac{\varepsilon}{R}=N\times\frac{B}{R}\times\frac{dA}{dt}=\frac{NBA_0w}{R}\cos wt$이므로 전류는 코사인에 비례한다. 즉, $I\propto\cos wt$이다.

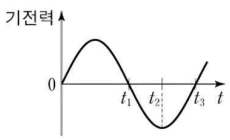
① 사각 도선과 자기장이 수직일 때 자기선속의 값은 최대이다.
② 사각 도선과 자기장이 수직일 때 도선에 흐르는 유도 전류는 0이다.
③ 사각 도선과 자기장이 수직일 때 도선에 흐르는 유도 전류의 방향이 변한다.

예제1 발전기

그림 (가)는 균일한 자기장 영역에서 xy평면에 고정된 저항 R와 반원형 도선으로 회로를 구성하고, 반원형 도선을 일정한 각속도 w로 회전시킬 때 시간 $t=0$인 순간의 모습을 나타낸 것이다. 자기장의 방향은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 그림 (나)는 (가)의 회로에 유도되는 기전력을 시간 t에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. $w=\frac{2\pi}{t_1}$이다.
ㄴ. t_2일 때, R에 흐르는 전류의 방향은 a→R→b이다.
ㄷ. t_3일 때, R에 흐르는 전류의 세기는 최대이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. $w=\frac{2\pi}{T}=\frac{2\pi}{t_3}$ (X)

ㄴ. 기전력의 그래프와 전류의 그래프와 동일하다.
$0\sim t_1$) 들어가는 자기장에 면적이 감소하는 중이다.
따라서 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.
$t_1\sim t_3$) t_1에서 유도 전류의 방향이 변하므로 반시계 전류이다. 따라서 a→R→b이다. (O)

ㄷ. t_3일 때 R에 흐르는 전류의 세기는 최소이다. (O)

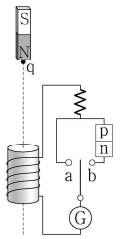
유형 01 자석을 통과시킴

01 2022학년도 9월 17번 정답률 50%

17. 다음은 전자기 유도에 대한 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 그림과 같이 플라스틱 관에 감긴 코일, 저항, p-n 접합 다이오드, 스위치, 검류계가 연결된 회로를 구성한다.



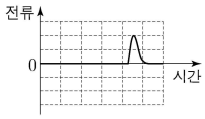
(나) 스위치를 a에 연결하고, 자석의 N극을 아래로 한다.

(다) 관의 중심축을 따라 통과하도록 자석을 점 q에서 가만히 놓고, 자석을 놓은 순간부터 시간에 따른 전류를 측정한다.

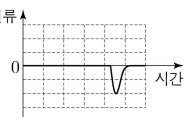
(라) 스위치를 b에 연결하고, 자석의 S극을 아래로 한다.

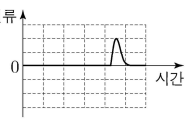
(마) (다)를 반복한다.

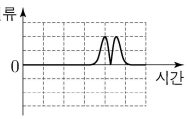
〔실험 결과〕

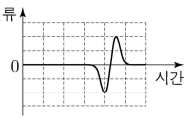
(다)의 결과	(마)의 결과
㉠	

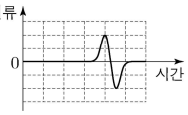
㉠으로 가장 적절한 것은? [3점]

① 

② 

③ 

④ 

⑤ 

정 답 ⑤

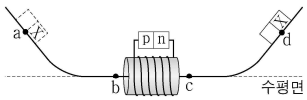
해 설

자석의 방향을 반대로하고 a로 바꾸면 다음과 같다.



02 2022학년도 수능 12번 정답률 71%

12. 그림과 같이 p-n 접합 발광 다이오드(LED)가 연결된 솔레노이드의 중심축에 마찰이 없는 레일이 있다. a, b, c, d는 레일 위의 지점이다. a에 가만히 놓은 자석은 솔레노이드를 통과하여 d에서 운동 방향이 바뀌고, 자석이 d로부터 내려와 c를 지날 때 LED에서 빛이 방출된다. X는 N극과 S극 중 하나이다.



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

<보 기>

ㄱ. X는 N극이다.
ㄴ. a로부터 내려온 자석이 b를 지날 때 LED에서 빛이 방출된다.
ㄷ. 자석의 역학적 에너지는 a에서와 d에서가 같다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. d에서 c로 갈 때 솔레노이드에 전류가 흘러야하므로 $+x$방향으로 전류가 흘러야한다. 따라서 솔레노이드의 오른쪽은 s극이고, X는 N극이다. (O)

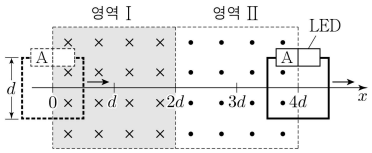
ㄴ. a로부터 내려올 때는 d→c랑 같다. 따라서 LED에서 빛이 방출된다. (O)

ㄷ. 자석의 역학적 에너지는 a > d이다. 왜냐하면 다이오드에서 빛이 방출되니까 일부의 에너지는 전기 에너지로 전환된다. (X)

유형 02 도선을 통과시킴

01 2023학년도 9월 12번 정답률 73%

12. 그림과 같이 p-n 접합 발광 다이오드(LED)가 연결된 한 변의 길이가 d인 정사각형 금속 고리가 종이면에 수직인 균일한 자기장 영역 Ⅰ, Ⅱ를 $+x$방향으로 등속도 운동하여 지난다. 고리의 중심이 $x=4d$를 지날 때 LED에서 빛이 방출된다. A는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다.



×: 종이면에 수직으로 들어가는 방향
•: 종이면에서 수직으로 나오는 방향

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

<보 기>

ㄱ. A는 n형 반도체이다.
ㄴ. 고리의 중심이 $x=d$를 지날 때, 유도 전류가 흐른다.
ㄷ. 고리의 중심이 $x=2d$를 지날 때, LED에서 빛이 방출된다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

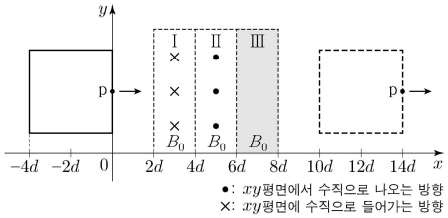
정 답 ①

해 설

ㄱ. $x=4d$에서 나오는 자기장에 나오면 반시계 전류가 흐른다. 따라서 A는 n형 반도체이다. (O)
ㄴ. 내부에서는 유도 전류가 없다. (X)
ㄷ. 상대 자기장이 나오는 방향이다. 나오는 방향에 들어가면 시계 전류가 흐르므로 LED에서 빛이 방출되지 않는다. (X)

02 2023학년도 수능 10번 정답률 51%

10. 그림과 같이 한 변의 길이가 $4d$인 정사각형 금속 고리가 xy평면에서 $+x$방향으로 등속도 운동하며 자기장의 세기가 B_0으로 같은 균일한 자기장 영역 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ을 지난다. 금속 고리의 점 p가 $x=7d$를 지날 때, p에는 유도 전류가 흐르지 않는다. Ⅲ에서 자기장의 방향은 xy평면에 수직이다.



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

<보 기>

ㄱ. 자기장의 방향은 Ⅰ에서와 Ⅲ에서가 같다.
ㄴ. p가 $x=3d$를 지날 때, p에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$방향이다.
ㄷ. p에 흐르는 유도 전류의 세기는 p가 $x=5d$를 지날 때가 $x=3d$를 지날 때보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

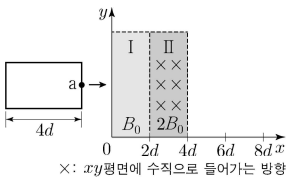
정 답 ③

해 설

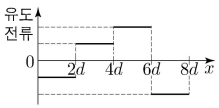
ㄱ. $x=7d$에서 유도 전류가 흐르지 않는다.
따라서 Ⅲ의 자기장은 Ⅰ과 같은 들어가는 자기장이다. (O)
ㄴ. 들어가는 자기장에 들어가므로 유도 전류의 방향은 반시계 방향이므로 $+y$방향으로 유도 전류가 흐른다. (O)
ㄷ. 동일하다. (X)

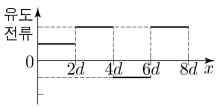
03 2024학년도 9월 13번 정답률 65%

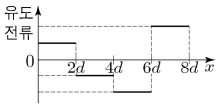
13. 그림과 같이 한 변의 길이가 $4d$인 직사각형 금속 고리가 xy평면에서 자기장 세기가 각각 B_0, $2B_0$인 균일한 자기장 영역 Ⅰ, Ⅱ를 $+x$방향으로 등속도 운동을 하며 지난다. 금속 고리의 점 a가 $x=d$와 $x=7d$를 지날 때, a에 흐르는 유도 전류의 방향은 같다. Ⅰ, Ⅱ에서 자기장의 방향은 xy평면에 수직이다.

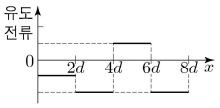


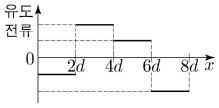
a의 위치에 따른 a에 흐르는 유도 전류를 나타낸 그래프로 가장 적절한 것은? (단, a에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$방향이 양(+)이다.)

① 

② 

③ 

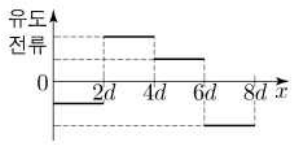
④ 

⑤ 

정 답 ⑤

해 설

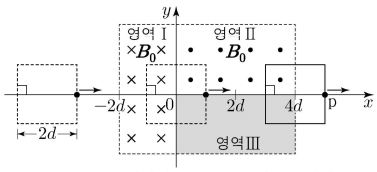
$x=d$와 $x=7d$에서 유도 전류의 방향이 같으므로 Ⅰ는 나오는 자기장이다.



Ⅰ Ⅱ −Ⅰ −Ⅱ

04 2024학년도 수능 17번 정답률 64%

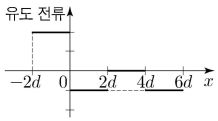
17. 그림과 같이 한 변의 길이가 $2d$인 정사각형 금속 고리가 xy 평면에서 균일한 자기장 영역 Ⅰ~Ⅲ을 $+x$ 방향으로 등속도 운동을 하며 지난다. 금속 고리의 한 변의 중앙에 고정된 점 p가 $x=d$와 $x=5d$를 지날 때, p에 흐르는 유도 전류의 세기는 같고 방향은 $-y$ 방향이다. Ⅰ, Ⅱ에서 자기장의 세기는 각각 B_0이고, Ⅲ에서 자기장의 세기는 일정하고 방향은 xy 평면에 수직이다.



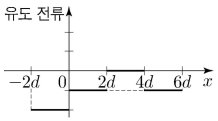
•: xy평면에서 수직으로 나오는 방향
×: xy평면에 수직으로 들어가는 방향

p에 흐르는 유도 전류를 p의 위치에 따라 나타낸 그래프로 가장 적절한 것은? (단, p에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$ 방향이 양(+)이다.) [3점]

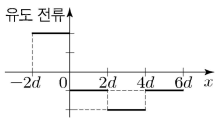
① 유도 전류



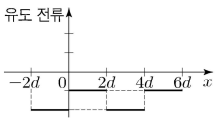
② 유도 전류



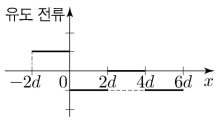
③ 유도 전류



④ 유도 전류



⑤ 유도 전류



정 답 ⑤

해 설

STEP1 $x=d$ + $x=5d$

직선 도선에 대해서 두 점을 더하면 자기장이 0이다. (변화합)

$x=d$ + $x=5d$를 하면 시계 방향의 $2I$의 전류가 흐른다.

(영역 Ⅱ, 영역 Ⅲ 삭제됨.)

(단, $x=d$와 $x=5d$에서 전류의 세기를 I라고 가정하자.)

STEP2 $x=d$

Ⅰ, Ⅱ에 의해서 $-3I$가 형성된다. 전류가 $-I$이어야 하므로 영역 Ⅲ에 의한 전류는 $+2I$이고, $B_{III}=-2B$이다.

STEP3 문제 분석

$-2d$~0 : $+2I$ (들+들=반시계)

0~$2d$: $-I$ (조건)

$2d$~$4d$: 0 (내부 통과)

$4d$~$6d$: $-I$ (조건)

[다른 풀이]

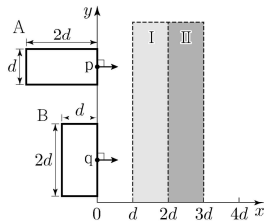
모든 자기 선속의 변화 합은 0이 되어야 한다.

모든 유도 전류의 합은 0이 되어야 한다.

를 만족하는 답은 ①밖에 없다.

05 2025학년도 6월 18번 정답률 52%

18. 그림과 같이 두 변의 길이가 각각 d, $2d$인 동일한 직사각형 금속 고리 A, B가 xy 평면에서 $+x$ 방향으로 등속도 운동하며 균일한 자기장 영역 Ⅰ, Ⅱ를 지난다. Ⅰ, Ⅱ에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직이고 세기는 각각 일정하다. A, B의 속력은 같고, 점 p, q는 각각 A, B의 한 지점이다. 표는 p의 위치에 따라 p에 흐르는 유도 전류의 세기와 방향을 나타낸 것이다.



p의 위치	p에 흐르는 유도 전류	
	세기	방향
$x=1.5d$	I_0	$+y$
$x=2.5d$	$2I_0$	$-y$

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

<보 기>

ㄱ. p의 위치가 $x=3.5d$일 때, A에 흐르는 유도 전류의 세기는 I_0이다.

ㄴ. q의 위치가 $x=2.5d$일 때, B에 흐르는 유도 전류의 세기는 $3I_0$보다 크다.

ㄷ. p와 q의 위치가 $x=3.5d$일 때, p와 q에 흐르는 유도 전류의 방향은 서로 반대이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

p의 위치가 $x=1.5d$일 때 반시계 방향의 전류(−)가 흐른다.
따라서 영역 Ⅰ의 자기장은 $-B$라고 생각할 수 있다.
(단, $I_0=B_0dv$를 만족함)

p의 위치가 $x=2.5d$일 때 시계 방향의 전류(+)가 흐른다.
이때 영역 Ⅰ는 내부 상쇄가 일어나기 때문에 고려하지 않는다.
따라서 영역 Ⅱ의 자기장은 $+2B$라고 생각할 수 있다.

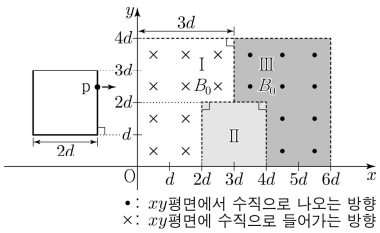
ㄱ. 영역 Ⅱ는 내부 상쇄가 일어나므로 영역 Ⅰ에 대해서만 고려하면 유도 전류의 세기는 I_0이다. (O)

ㄴ. q의 위치가 $x=2.5d$일 때, Ⅰ와 Ⅱ의 자기장 방향이 반대이므로 보강의 자기장을 느껴진다. 상대 자기장은 $3B$이므로 유도 전류의 세기는 $(3B)(2d)v=6I_0$이다. (O)

ㄷ. p의 위치가 $x=3.5d$일 때, 유도 전류의 방향은 영역 Ⅰ만 고려하여 들어가는 자기장(−)에서 빠져나오므로(−) 시계 방향 전류(+)이다.
q의 위치가 $x=3.5d$일 때, 유도 전류의 방향은 영역 Ⅱ만 고려하여 나오는 자기장(+)에서 빠져나오므로(−) 반시계 방향 전류(−)이다. 따라서 p와 q에 흐르는 유도 전류의 방향은 서로 반대이다. (O)

06 2025학년도 수능 19번 정답률 55%

19. 그림과 같이 한 변의 길이가 $2d$인 정사각형 금속 고리가 xy 평면에서 균일한 자기장 영역 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ을 $+x$ 방향으로 등속도 운동하며 지난다. 금속 고리의 점 p가 $x=2.5d$를 지날 때, p에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$ 방향이다. Ⅰ, Ⅲ에서 자기장의 세기는 각각 B_0이고, Ⅱ에서 자기장의 세기는 일정하고 방향은 xy 평면에 수직이다.



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

<보 기>

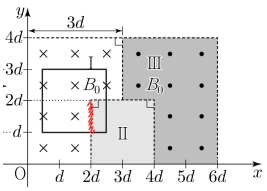
ㄱ. 자기장의 방향은 Ⅰ에서와 Ⅱ에서가 같다.
ㄴ. p가 $x=4.5d$를 지날 때, p에 흐르는 유도 전류의 방향은 $-y$ 방향이다.
ㄷ. p에 흐르는 유도 전류의 세기는 p가 $x=5.5d$를 지날 때가 $x=2.5d$를 지날 때보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

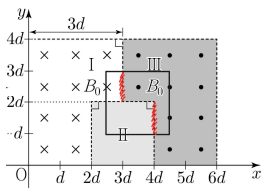
해 설

p가 $x=2.5d$를 지날 때, 유도 전류의 방향은 반시계 방향이다. 라는 조건을 해석해보자.

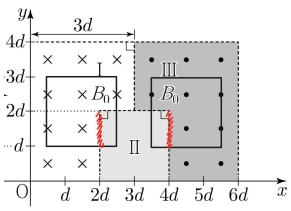


색칠된 면에 대해서만 고려하면 된다.
유도 전류의 방향이 반시계 방향이므로 Ⅱ에 작용하는 자기장은 들어가는 방향이며 B_0보다 크다.

ㄱ. 자기장의 방향은 Ⅰ에서와 Ⅱ에서가 같다. (O)
ㄴ. 아래 그림에서 색칠된 면에 대해서만 고려하면 된다.
위쪽에 의한 유도 전류는 $+2B_0$의 자기장 영향을 받는다.
아래쪽에 의한 유도 전류는 $+2B_0$보다 큰 자기장 영향을 받는다. 둘 다 시계 전류를 만든다. (O)

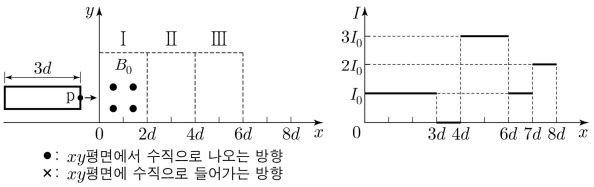


ㄷ. $x=2.5d$에서 유도 전류는 상쇄이지만, $x=5.5d$에서의 유도 전류는 보강이다. (O)



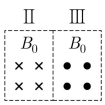
07 2026학년도 6월 18번 정답률 40%

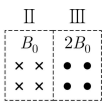
18. 그림 (가)와 같이 한 변의 길이가 $3d$인 직사각형 금속 고리가 xy평면에서 $+x$방향으로 등속도 운동하며 균일한 자기장 영역 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ을 지난다. 그림 (나)는 금속 고리의 점 p에 흐르는 유도 전류의 세기 I를 p의 위치에 따라 나타낸 것이다. Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ에서 자기장의 방향은 xy평면에 수직이다.

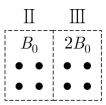


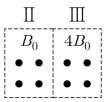
(가) (나)

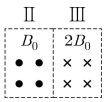
Ⅱ, Ⅲ에서 자기장의 세기와 방향을 나타낸 것으로 가장 적절한 것은? [3점]

① 

② 

③ 

④ 

⑤ 

정 답 ⑤

해 설

$x=3d\sim4d$를 통하여 II에서 자기장은 $+B_0$이다.

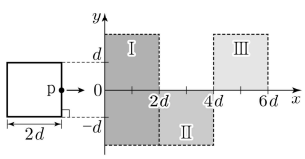
$x=4d\sim6d$를 통하여 III에서 자기장은 $+4B_0$ 또는 $-2B_0$이다.

이때 $x=8d$에서 전류의 세기가 $2I_0$이므로 $-2B_0$이다.

따라서 정답은 ⑤이다.

08 2026학년도 9월 15번 정답률 58%

15. 그림과 같이 한 변의 길이가 $2d$인 정사각형 금속 고리가 xy평면에서 $+x$방향으로 등속도 운동을 하며 균일한 자기장 영역 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ을 지난다. Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ에서 자기장의 방향은 xy평면에 수직이고, Ⅱ와 Ⅲ에서 자기장의 세기는 같다. 표는 금속 고리의 점 p에 흐르는 유도 전류의 세기와 방향을 p의 위치에 따라 나타낸 것이다.



p의 위치	p에 흐르는 유도 전류	
	세기	방향
$x=d$	I_0	$-y$
$x=3d$	㉠	㉡
$x=5d$	I_0	$+y$

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

<보 기>

ㄱ. 자기장의 세기는 Ⅰ에서와 Ⅱ에서가 같다.

ㄴ. ㉠은 $\frac{1}{2}I_0$이다.

ㄷ. ㉡은 $+y$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. $x=d$를 통과할 때 시계 방향의 전류가 발생하므로

$B_I=+\frac{1}{2}$라고 가정할 수 있다.

또한 구간 II와 III에서 자기장의 세기가 같음에도 유도 전류가 $x=5d$에서 반시계 방향으로 발생하므로 $B_{II}=+\frac{1}{2}$,

$B_{III}=-\frac{1}{2}$이다. (O)

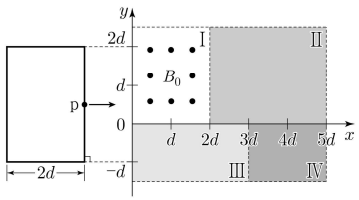
ㄴ. $x=3d$를 지날 때 아래쪽 부분에 대해서 유도 전류는 발생하지 않는다. 위쪽 부분에 대해서 상대 자기장은 $-\frac{1}{2}$이므로

전류의 세기는 $\frac{1}{2}I_0$이고, 반시계 방향 전류가 발생한다. (O)

ㄷ. 반시계 방향 전류가 발생하므로 $+y$이다. (O)

09 2026학년도 수능 17번 정답률 47%

17. 그림과 같이 두 변의 길이가 각각 $2d$, $3d$인 직사각형 금속 고리가 xy 평면에서 $+x$ 방향으로 등속도 운동을 하며 세기가 각각 균일하고 방향이 xy 평면에 수직인 자기장 영역 Ⅰ ~ Ⅳ를 지난다. 표는 금속 고리의 점 p에 흐르는 유도 전류 I_p의 세기와 방향을 p의 위치에 따라 나타낸 것이다. Ⅰ에서 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 자기장의 세기는 Ⅰ에서 B_0이고, Ⅳ에서가 Ⅱ에서의 1.5배이다.



•: xy평면에서 수직으로 나오는 방향

p의 위치	I_p	
	세기	방향
$x=1.5d$	0	없음
$x=2.5d$	$2I_0$	$-y$
$x=3.5d$	I_0	$-y$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 자기장의 세기는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 작다.
ㄴ. 자기장의 방향은 Ⅲ에서와 Ⅳ에서가 서로 같다.
ㄷ. p의 위치가 $x=5.5d$일 때, I_p의 세기는 I_0이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. $x=1.5d$를 지날 때 유도 전류가 발생하지 않는다. 따라서 Ⅲ에는 $-\frac{1}{2}B_0$의 자기장이 형성된다.

$x=2.5d$를 지날 때 Ⅲ에서는 유도 전류가 발생하지 않고, 위쪽 부분에서 유도 전류가 발생하는데 시계 방향의 전류가 발생하므로 Ⅱ는 나오는 자기장이 형성된다.
또한 $(B_{II}-B_0)2d \propto 2I_0$이다. $\Rightarrow$ $B_{II}=2B_0$

$x=3.5d$를 지날 때 $x=2.5d$와의 변화량으로 생각을 해보면 반시계 방향으로 전류가 I_0만큼 증가하는 이유는 Ⅳ와 Ⅲ 때문인 것을 알 수 있다. 반시계 방향의 전류를 만들기 위해서는 Ⅳ에 의한 자기장은 $-$이고, 크기는 $3B_0$이다.
따라서 자기장의 세기는 Ⅰ < Ⅱ이다. (O)

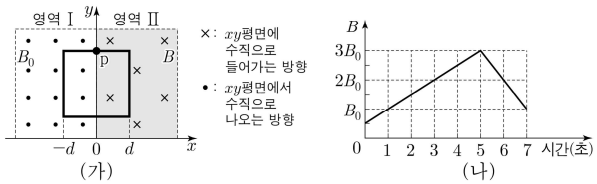
ㄴ. 자기장의 방향은 서로 들어가는 방향으로 같다. (O)

ㄷ. $B_{II} \cdot 2d + B_{IV} \cdot d = (2B_0)2d - (3B_0)d \rightarrow I_0$이다. (O)

유형 03 자기장의 세기가 변함

01 2024학년도 6월 13번 정답률 63%

13. 그림 (가)는 균일한 자기장 영역 Ⅰ, Ⅱ가 있는 xy 평면에 한 변의 길이가 $2d$인 정사각형 금속 고리가 고정되어 있는 것을 나타낸 것이다. Ⅰ의 자기장의 세기는 B_0으로 일정하고, Ⅱ의 자기장의 세기 B는 그림 (나)와 같이 시간에 따라 변한다.



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

<보 기>

ㄱ. 1초일 때, 고리에 유도 전류가 흐르지 않는다.
ㄴ. 2초일 때, 고리의 점 p에서 유도 전류의 방향은 $-x$ 방향이다.
ㄷ. 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 3초일 때와 6초일 때가 같다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설

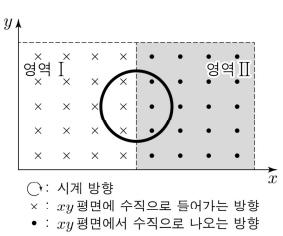
ㄱ. 영역 Ⅰ의 자기장은 변하지 않으므로 생각하지 않아도 좋다. 1초일 때 들어가는 방향의 자기장의 세기가 증가하므로 고리에 유도 전류가 흐른다. (X)

ㄴ. 2초일 때 들어가는 방향의 자기장의 세기가 증가하므로 반시계 방향의 전류가 생긴다. 점 p에서 유도 전류의 방향은 $-x$방향이다. (O)

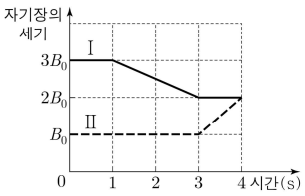
ㄷ. 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 3초$<$6초이다. (X)

02 2025학년도 9월 18번 정답률 74%

18. 그림 (가)와 같이 균일한 자기장 영역 Ⅰ과 Ⅱ가 있는 xy 평면에 원형 금속 고리가 고정되어 있다. Ⅰ, Ⅱ의 자기장이 고리 내부를 통과하는 면적은 같다. 그림 (나)는 (가)의 Ⅰ, Ⅱ에서 자기장의 세기를 시간에 따라 나타낸 것이다.

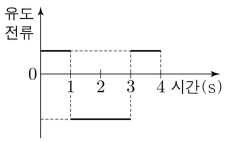


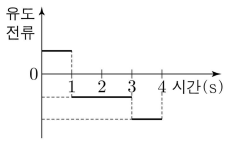
(가)

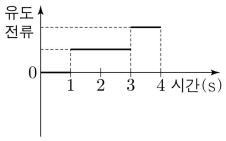


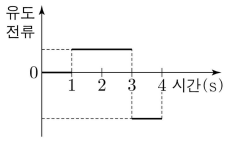
(나)

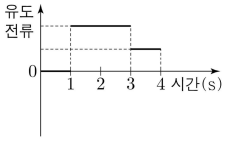
고리에 흐르는 유도 전류를 시간에 따라 나타낸 그래프로 가상 적절한 것은? (단, 유도 전류의 방향은 시계 방향이 양(+)이다.)

① 

② 

③ 

④ 

⑤ 

정 답 ③

해 설

$I \propto A\dfrac{dB}{dt}$에서 면적이 왼쪽과 오른쪽에 대하여 동일하므로 기울기만 확인을 하자.

0~1초) 기울기가 0이므로 유도 전류는 이이다.

1~3초) Ⅰ의 기울기가 $-\dfrac{1}{2}$이므로 유도 전류는 $+\dfrac{1}{2}$라고 하자.

(들어가는 자기장(-) × 기울기(-) = 유도 전류(+))

3~4초) Ⅱ의 기울기가 +1이므로 유도 전류는 +1라고 하자.

(나오는 자기장(+) × 기울기(+) = 유도 전류(+))

이를 만족하는 답은 ③이다.

PART 1
파동의 진행

개념 유형

(1) 기본 개념

기출 유형

(1) 파동의 진

THEME
1 — 기본 개념

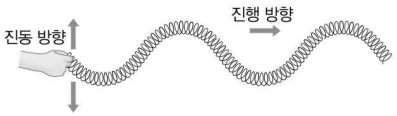
정리1 파동

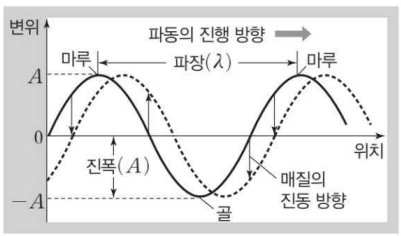
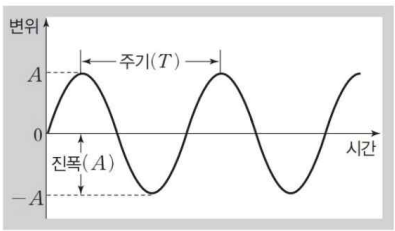
개념1 파동의 개념

① 파동 : 한 곳에서 생긴 진동이 주위로 퍼져 나가며 에너지를 전달하는 현상
② 파원 : 파동이 시작된 지점 (지진파의 진원, 음파의 음원, 빛의 광원)
③ 매질 : 진동을 통해 파동이 전파되도록 도와주는 물질 ⇒ 매질은 제자리에서 진동만 하고 직접 이동하지 않음
④ 수면파의 파면 : 파원에서 동시에 출발한 파동의 각 지점을 연결한 선(마루를 이은 선) 또는 면 ⇒ 파동의 진행 방향과 수직
⑤ 파동의 진행 : 파동이 전파할 때에는 에너지가 이동하고, 매질은 제자리에서 상-하 진동만 할 뿐 파동과 함께 이동하지 않는다.

파동	매질
용수철 파동	용수철
물결파	물
소리(음파)	고체, 액체, 기체

개념2 파동의 종류

구분	횡파	종파
정의	파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 수직인 파동 	파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 나란한 파동 
예	물결파, 전자기파, 지진파의 S파 등	음파, 지진파의 P파 등음파, 지진파의 P파 등

구분	변위-위치 그래프	변위-시간 그래프
그래프	어떤 순간의 파동의 모습을 위치에 따라 나타낸 그래프로, 진폭과 파장을 알 수 있다. 	매질의 한 지점이 진동하는 모습을 시간에 따라 나타낸 그래프로, 진폭, 주기, 진동수를 알 수 있다. 

정리2 파동의 요소

개념1 마루와 골

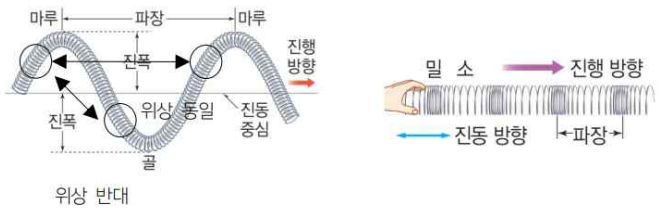
① 마루는 횡파에서 파동의 가장 높은 곳이다.
② 골은 횡파에서 파동의 가장 낮은 곳이다.

개념2 진폭

① 진폭(A)은 매질의 최대 변위의 크기, 진동의 중심에서 마루 또는 골까지의 거리이다.
② 진폭은 매질이 진동 중심에서 최대로 이동한 거리이다.

개념3 파장

① 파장(λ)은 매질이 1회 진동하는 동안 이동한 거리이다. (파동의 속력을 구할 때 사용하는 정의이다.)
② 파장은 변위-위치 그래프에서 구할 수 있다.



개념4 주기

① 주기(T)는 매질이 1회 진동 하는 동안 걸린 시간이다.
② 주기는 변위-시간 그래프에서 구할 수 있다.

개념5 진동수

① 진동수(f)의 정의는 매질의 한 점이 1초 동안 진동하는 횟수이다. 따라서 주기와 역수 관계에 있다. $f=\frac{1}{T}$
② 주기와 진동수는 파동을 발생시키는 파원에서 결정된다.
파동이 진행할 때 매질이 달라져도 주기와 진동수는 변하지 않는다.
③ 매질 A와 매질 B에서 파동의 파장의 비가 1 : 2라고 하면 속력의 비도 1 : 2가 된다

개념6 위상

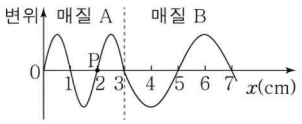
① 위상은 매질의 각 점들의 1. 위치와 2. 진동(운동) 상태를 나타내는 물리량이다.
② 마루들은 위상이 서로 같고, 마루와 골은 위상이 서로 반대이다.

개념7 파동의 속력

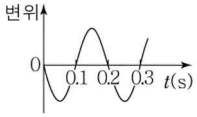
① 파동의 속력은 $v=\frac{s}{t}=\frac{\lambda}{T}$을 통해 $v=f\lambda$를 만족한다.
② 파동이 진행할 때 물리적 성질(매질의 변화, 깊이의 변화)의 변화가 없으면 파동의 속력은 변하지 않는다.
③ 매질 A에서 진동수를 2배로 늘리면 파장은 $\frac{1}{2}$배가 된다.

예제1 파동의 진행

그림 (가)는 매질 A와 매질 B에서 $+x$방향으로 진행하는 파동의 어느 순간 변위를 위치 x에 따라 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 순간부터 매질 위의 점 P의 변위를 시간 t에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

B에서 파동의 속력은?

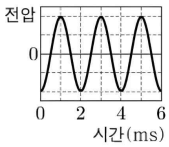
① $5cm/s$ ② $10cm/s$ ③ $15cm/s$
④ $20cm/s$ ⑤ $30cm/s$

해설

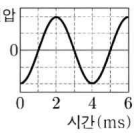
(나)에서 파동의 주기는 0.2초이므로 진동수는 5Hz이다.
B의 주기는 $4cm$이므로 파동의 속력은 $20cm/s$이다.

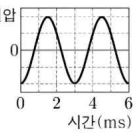
예제2 진동수의 변화

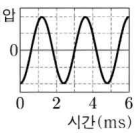
그림은 소리 분석기로 분석한 소리 A의 파형을 나타낸 것이다.

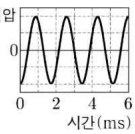


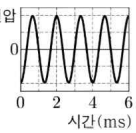
진동수가 A의 $\frac{3}{2}$배인 소리의 파형으로 가장 적절한 것은?

① 

② 

③ 

④ 

⑤ 

해설

진동수가 증가하면 시간에 따른 파형이 빽빽해진다.
원래 6초동안 3개의 파동이 있다면 진동수를 변화시키면 4.5개의 파동이 들어있어야 한다.

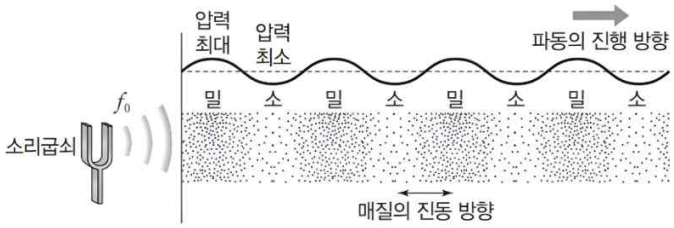
THEME

2 — 파동별 특성

정리1 소리의 속력

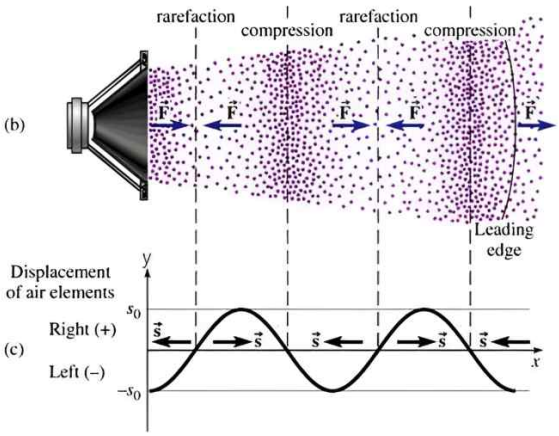
개념1 소리의 발생

① 그림과 같이 굽쇠가 진동을 하면 소리굽쇠 주변의 매질(공기)도 함께 진동하게 되고, 매질을 통해 소리가 전달된다.
② 소리굽쇠의 진동수(f_0) = 공기의 진동수 = 사람이 듣게 되는 소리의 진동수
③ 초음파의 진동수는 사람이 듣는 진동수 보다 크다.



개념2 소리의 표현

① 소리는 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 나란한 종파이다.
② 매질에 작용하는 압력과 위치를 이용하면 소리(종파)를 사인파로 분석할 수 있다.
- 소리의 높이: 사인파의 진동수(f)가 증가하면 소리의 높이가 커진다.
- 소리의 세기: 사인파의 진폭(A)가 증가하면 소리의 세기가 커진다.



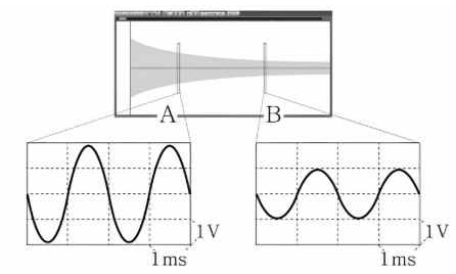
예제1 소리의 분석

다음은 소리를 분석하는 실험이다.

[실험 과정]
(가) 실험실의 온도를 일정하게 유지한다.
(나) 소리굽쇠에서 발생하는 소리를 녹음한다.
(다) 소리 분석기로 서로 다른 시간 A, B에서의 소리굽쇠의 소리를 분석한다.



[실험 결과]



A에서가 B에서보다 큰 물리량만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 소리의 높이 ㄴ. 소리의 세기 ㄷ. 소리의 파장

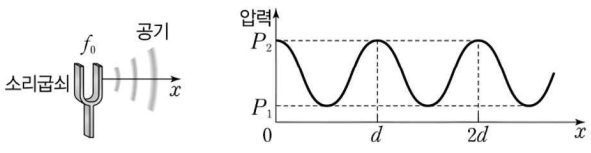
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 소리의 높이는 진동수에 비례한다.
진동수는 동일하다. (X)
ㄴ. 진폭이 클수록 소리의 세기가 크다. (O)
ㄷ. 진동수와 속력이 같으므로 파장도 같다. (X)

예제2 소리의 분석

그림 (가)는 진동수 f_0으로 진동하는 소리굽쇠에서 발생한 소리가 진행하는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 시간 $t=0$일 때 (가)의 소리에 의해 공기에 작용하는 압력을 x축 상의 위치에 따라 나타낸 것이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 소리의 진동수는 f_0이다.
ㄴ. 소리의 속력은 df_0이다.
ㄷ. $t=\frac{1}{f_0}$일 때, $x=d$에서의 압력은 P_1이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 소리굽쇠의 진동수가 f_0이므로 소리의 진동수도 f_0이다. (O)
ㄴ. 소리의 파장은 d이므로 소리의 속력은 df_0이다. (O)
ㄷ. $t=\frac{1}{f_0}$는 1주기이다. 따라서 $x=d$에서 압력은 P_2이다. (X)

개념2 줄에서 파동의 속력

개념1 줄에서 파동의 속력

줄에서 파동의 속력은 $v=\sqrt{\frac{T}{\mu}}$이다.

즉, 파동의 속력은 오직 장력(T)과 선밀도(μ)에만 의존한다.

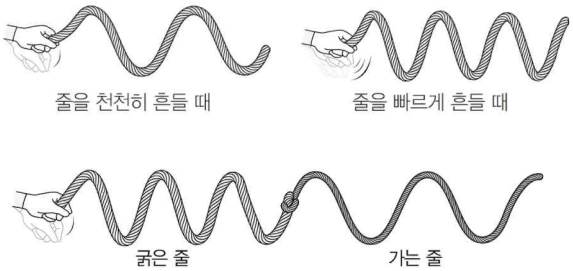
개념2 줄에서 물리량의 변화

① 줄을 빠르게 흔들 때

줄을 빠르게 흔들면 줄의 속력은 동일하므로 $v=f\lambda$에서 진동수가 커지므로 파장은 짧아진다.

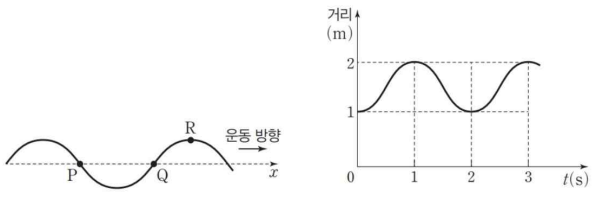
② 줄의 재질은 같고 굵기가 다를 때

굵은 줄에서 가는 줄로 바뀌면 선밀도가 작아져 파동의 속력이 빨라진다. 이때 매질이 변하더라도 진동수의 변화가 없으므로 파장은 증가한다.



예제3 줄에서의 속력

그림 (가)는 $+x$방향으로 진행하는 횡파의 시간 $t=0$인 순간의 모습을 위치 x에 따라 나타낸 것으로 P, Q, R는 매질에 고정된 점이다. 그림 (나)는 (가)에서 P, Q 사이의 직선 거리를 t에 따라 나타낸 것이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 파동의 진폭은 $1m$이다.

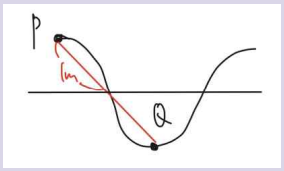
ㄴ. $t=\frac{5}{2}$초일 때 Q와 R의 운동 방향은 같다.

ㄷ. 파동의 진행 속력은 $1m/s$이다.

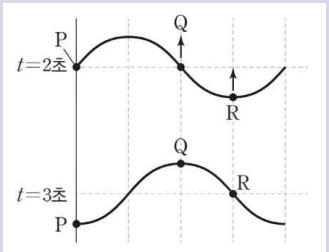
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 1초일 때 P와 Q 사이의 직선 거리가 $2m$이므로 파동의 높이인 진폭은 대각선 길이는 $1m$보다 작다. (X)



ㄴ. Q와 R은 모두 위쪽 방향으로 운동한다. (O)



ㄷ. 0초일 때 직선 거리가 $1m$이므로 파장은 $2m$이다. 주기는 4초이므로 파동의 진행 속력은 $0.5m/s$이다. (X)

예제4 줄에서의 속력

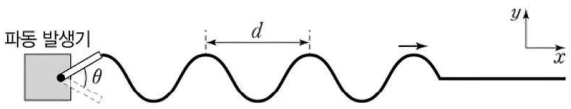
다음은 파동에 대한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 파동 발생기가 연결된 줄을 y축 방향으로 진동시켜 x축 방향으로 진행하는 파동을 발생시킨다.

(나) 파동 발생기의 진동 주기 T와 진동 각도 θ를 변화시킨다.

(다) 파동의 마루와 마루 사이의 간격 d를 측정한다.



[실험 결과]

실험	T	θ	d
I	T_0	θ_0	d_0
II	$2T_0$	$2\theta_0$	$2d_0$
III	T_0	$2\theta_0$	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 파동의 진행 속력은 II에서가 I에서의 2배이다.
ㄴ. 파동의 진동수는 III에서가 II에서의 2배이다.
ㄷ. ㉠은 d_0보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. $v_I = \frac{d_0}{T_0}$, $v_{II} = \frac{2d_0}{2T_0}$ 이므로 동일하다. (X)

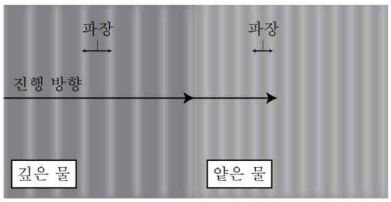
ㄴ. 주기는 진동수와 역수배이므로 III에서가 II에서의 2배이다. (O)

ㄷ. 파동의 진행 속력은 진폭과 무관하다. $v = f\lambda$에 의하여 ㉠ $= d_0$이다. (X)

개념4 물결파의 속력

개념1 물결파의 속력

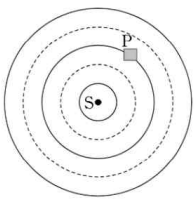
① 물결파의 속력은 $v=\sqrt{gh}$이다. (단, h는 물의 깊이)
② 물 위에 있는 물체는 앞으로 진행하지 않고 위 아래로 진동한다.
③ 해안가로 갈수록 깊이가 얕아지므로 파동의 속력이 느려진다. 즉, 얕은 물에서 파장이 작아진다.



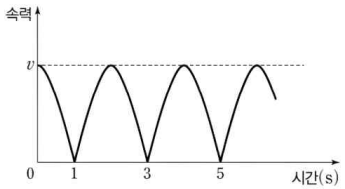


예제5 물결파의 속력

그림 (가)는 점 S에서 일정한 진동수로 물결파가 발생한 것을 나타낸 것으로, 수면에 떠 있는 물체 P는 물결파에 의해 진동한다. 그림 (나)는 P의 속력을 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. P의 속력이 v일 때, P는 물결파의 마루에 위치한다.
ㄴ. 1초일 때와 3초일 때 P의 위상은 같다.
ㄷ. 물결파의 진동수는 0.25Hz이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. P의 속력이 최대일 때는 진동 중심에 있을 때이다. (X)
ㄴ. 1초일 때 위치가 마루이면 3초일 때 위치는 골이다. (X)
ㄷ. (ㄴ)을 토대로 주기는 4초이다. 따라서 진동수는 0.25Hz이다. (O)

예제6 물결파의 속력

다음은 물결파에 대한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 물결파 실험 장치의 한쪽에 유리판을 넣어 물의 깊이를 다르게 한다.

(나) 일정한 진동수의 물결파를 발생시켜 스크린에 투영된 물결파의 무늬를 관찰한다.



[실험 결과]



Ⅰ: 유리판을 넣은 영역
Ⅱ: 유리판을 넣지 않은 영역

[결론]

물결파의 속력은 물이 ㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 파장은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 짧다.
ㄴ. 진동수는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크다.
ㄷ. '깊은 곳에서가 얕은 곳에서보다 크다.'는 ㉠에 해당한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

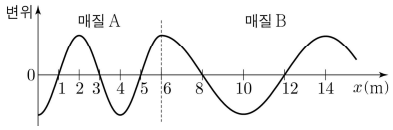
해설

ㄱ. [실험 결과]를 보면 파장은 Ⅰ < Ⅱ이다. (O)
ㄴ. 진동수는 변하지 않는다. (X)
ㄷ. 깊을수록 파동의 속력이 빠르다. (O)

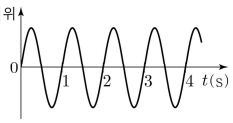
유형 01 파동의 진행

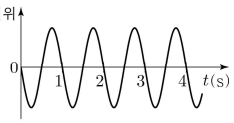
01 2022학년도 6월 10번 정답률 60%

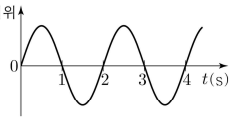
10. 그림은 시간 $t=0$일 때, 매질 A에서 매질 B로 x축과 나란하게 진행하는 파동의 변위를 위치 x에 따라 나타낸 것이다. A에서 파동의 진행 속력은 2m/s이다.

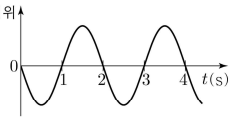


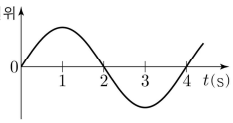
$x=12\,\mathrm{m}$에서 파동의 변위를 t에 따라 나타낸 것으로 가장 적절한 것은? [3점]

① 

② 

③ 

④ 

⑤ 

정 답 ④

해 설

파동을 통과할 때 진동수의 변화는 없다.

A에서 진동수는 $\frac{1}{2}Hz$이므로 주기는 $2s$이다.

매질 A에서 B를 향해 진행하는 파동이므로 $x=12m$에 맞는 파동은 ④이다.

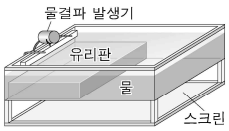
02 2022학년도 수능 3번 정답률 76%

3. 다음은 물결파에 대한 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 그림과 같이 물결파 실험 장치의 한쪽에 유리판을 넣어 물의 깊이를 다르게 한다.

(나) 일정한 진동수의 물결파를 발생시켜 스크린에 투영된 물결파의 무늬를 관찰한다.



〔실험 결과〕



Ⅰ: 유리판을 넣은 영역
Ⅱ: 유리판을 넣지 않은 영역

〔결론〕

물결파의 속력은 물이 ㉠

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

<보 기>

ㄱ. 파장은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 짧다.
ㄴ. 진동수는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크다.
ㄷ. '깊은 곳에서가 얕은 곳에서보다 크다.'는 ㉠에 해당한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

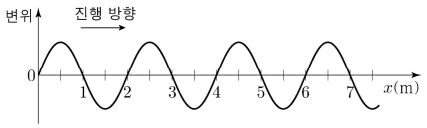
정 답 ③

해 설

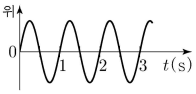
ㄱ. [실험 결과]를 보면 파장은 Ⅰ < Ⅱ이다. (O)
ㄴ. 진동수는 변하지 않는다. (X)
ㄷ. 깊을수록 파동의 속력이 빠르다. (O)

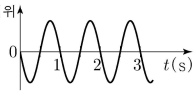
03 2023학년도 6월 10번 정답률 68%

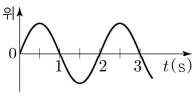
10. 그림은 시간 $t=0$일 때 $2\,\mathrm{m/s}$의 속력으로 x축과 나란하게 진행하는 파동의 변위를 위치 x에 따라 나타낸 것이다.

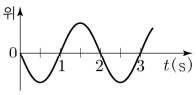


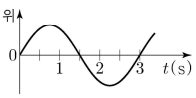
$x=7\,\mathrm{m}$에서 파동의 변위를 t에 따라 나타낸 것으로 가장 적절한 것은? [3점]

① 

② 

③ 

④ 

⑤ 

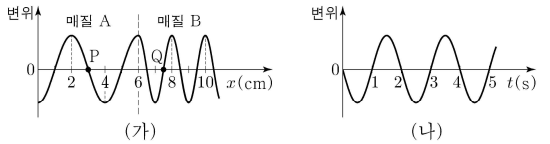
정 답 ①

해 설

파동의 진동수는 $1Hz$이므로 주기는 $1s$이다.
따라서 $x=7m$에서의 1초이면서 위쪽을 향하는 파동이 와야한다. 이를 만족하는 답은 ①이다.

04 2023학년도 수능 8번 정답률 73%

8. 그림 (가)는 시간 $t=0$일 때, x 축과 나란하게 매질 A에서 매질 B로 진행하는 파동의 변위를 위치 x에 따라 나타낸 것이다. 점 P, Q는 x 축상의 지점이다. 그림 (나)는 P, Q 중 한 지점에서 파동의 변위를 t에 따라 나타낸 것이다.



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

<보 기>

ㄱ. 파동의 진동수는 2Hz이다.
ㄴ. (나)는 Q에서 파동의 변위이다.
ㄷ. 파동의 진행 속력은 A에서가 B에서의 2배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

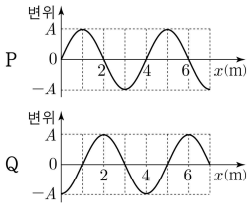
ㄱ. (나)에서 파동의 주기는 $2s$이다. 따라서 진동수는 $\frac{1}{2}Hz$이다. (X)

ㄴ. 파동은 A에서 B를 향해 진행하고, (나)에서 파동의 변위가 아래를 향하므로 Q점이다. (O)

ㄷ. 파장의 비가 $4:2=2:1$이므로 파동의 진행 속력은 A에서가 B에서의 2배이다. (O)

05 2024학년도 6월 14번 정답률 72%

14. 그림은 10m/s의 속력으로 x 축과 나란하게 진행하는 파동의 변위를 위치 x에 따라 나타낸 것으로, 어떤 순간에는 파동의 모양이 P와 같고, 다른 어떤 순간에는 파동의 모양이 Q와 같다. 표는 파동의 모양이 P에서 Q로, Q에서 P로 바뀌는 데 걸리는 최소 시간을 나타낸 것이다.



구분	최소 시간(s)
P에서 Q	0.3
Q에서 P	0.1

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

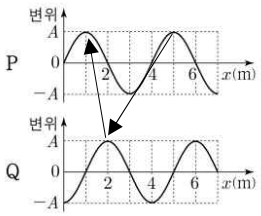
<보 기>

ㄱ. 파장은 4m이다.
ㄴ. 주기는 0.4s이다.
ㄷ. 파동은 $+x$ 방향으로 진행한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설



조건을 토대로 해석해보면 파동의 이동 방향은 $-x$방향이다.

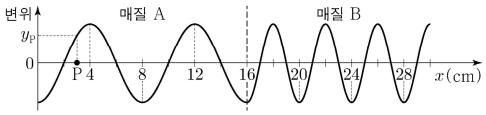
ㄱ. 파장은 $4m$이다. (O)

ㄴ. 0.1초 동안 파동의 이동 거리는 $1m$이다.
따라서 파동의 속력은 $10m/s$이다.
파동의 파장은 $4m$이므로 진동수는 $\frac{5}{2}Hz$이고,
주기는 $0.4s$이다. (O)

ㄷ. 파동은 $-x$방향으로 진행한다. (X)

06 2024학년도 9월 3번 정답률 78%

3. 그림은 시간 $t=0$일 때, x 축과 나란하게 매질 A에서 매질 B로 진행하는 파동의 변위를 위치 x에 따라 나타낸 것이다. $x=3\,\mathrm{cm}$인 지점 P에서 변위는 y_P이고, A에서 파동의 진행 속력은 $4\,\mathrm{cm/s}$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 파동의 주기는 2초이다.
ㄴ. B에서 파동의 진행 속력은 $8\,\mathrm{cm/s}$이다.
ㄷ. $t=0.1$초일 때, P에서 파동의 변위는 y_P보다 작다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

ㄱ. A에서 파동의 속력이 $4cm/s$이고, 파장은 $8cm$이므로 파동의 주기는 $2s$이다. (O)
ㄴ. 파장의 비는 $8:4=2:1$이므로 파동의 속력 비는 $2:1$이다. A에서 파동의 속력이 $4cm/s$이므로 B에서 파동의 속력은 $2cm/s$이다. (X)
ㄷ. 파동이 A에서 B로 진행한다. $t=0.1$초 일 때, P에서 파동의 변위는 y_p보다 작다. (O)

07 2024학년도 수능 5번 정답률 60%

5. 그림은 주기가 2초인 파동이 x 축과 나란하게 매질 I에서 매질 II로 진행할 때, 시간 $t=0$인 순간과 $t=3$초인 순간의 파동의 모습을 각각 나타낸 것이다. 실선과 점선은 각각 마루와 골이다.



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

<보 기>

ㄱ. I에서 파동의 파장은 1m이다.
ㄴ. II에서 파동의 진행 속력은 $\frac{3}{2}\,\mathrm{m/s}$이다.
ㄷ. $t=0$부터 $t=3$초까지, $x=7\,\mathrm{m}$에서 파동이 마루가 되는 횟수는 2회이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

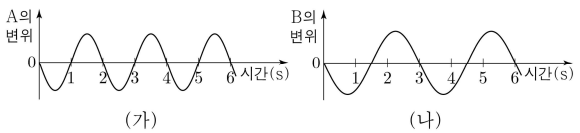
해 설

매질 I, II의 파장 비가 $2:3$이다.

ㄱ. 파장은 $2m$이다. (X)
ㄴ. 매질 I에서 속력이 $1m/s$이고, 파장 비가 $2:3$이므로 매질 II에서 파동의 진행 속력은 $\frac{3}{2}m/s$이다. (O)
ㄷ. $x=7m$의 위상이 확실하게 나와 있지가 않다. 따라서 주기로 생각하면 귀찮을 것 같으니, 이동하는 것으로 해보자.
$0\sim3$초 동안 파동은 $4.5m$를 이동한다.
가장 가까운 마루는 $x=7m$에서 왼쪽으로 $1m$인 점에 있다.
파장이 $3m$이므로 $x=7m$에서 왼쪽으로 $4m$인 점에 있다.
따라서 파동이 마루가 되는 횟수는 2회이다. (O)

08 2025학년도 9월 5번 정답률 97%

5. 그림 (가)와 (나)는 같은 속력으로 진행하는 파동 A와 B의 어느 지점에서의 변위를 각각 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가) (나)

A, B의 파장을 각각 λ_A, λ_B라 할 때, $\frac{\lambda_A}{\lambda_B}$는?

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

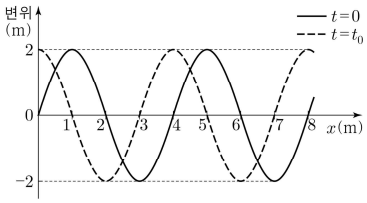
정 답 ②

해 설

$\frac{\lambda_A}{\lambda_B}=\frac{2}{3}$

09 2026학년도 6월 10번 정답률 70%

10. 그림은 진동수가 0.75Hz이고 $+x$방향으로 진행하는 파동의 변위를 위치 x에 따라 나타낸 것이다. 실선과 점선은 각각 시간 $t=0$, $t=t_0$일 때 파동의 모습이다. $x=0$에서 파동의 변위는 $t=0$ 이후 $t=t_0$일 때 처음으로 2m가 된다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 파동의 진행 속력은 3m/s이다.
ㄴ. $t_0=1$초이다.
ㄷ. $t=2$초일 때, $x=3$m에서 파동의 변위는 2m이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

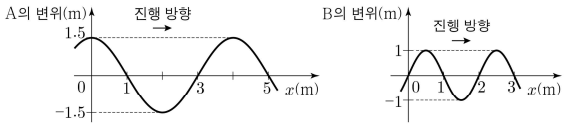
ㄱ. 파동의 파장은 $\lambda=4$m이고, 진동수는 $f=0.75$Hz이므로 파동의 진행 속력은 3m/s이다. (O)

ㄴ. 파동은 실선에서 점선이 되려고 3m만큼 진행했으므로 걸린 시간은 $t_0=1$초이다. (O)

ㄷ. 파동의 주기는 $T=\frac{4}{3}$s이므로 $t=2\text{s}=\frac{3}{2}T=\frac{1}{2}T$이다.
반주기 후의 모습은 위상이 반대이므로 변위는 2m이다. (O)

10 2026학년도 9월 6번 정답률 79%

6. 그림은 속력이 같고 $+x$방향으로 진행하는 파동 A, B의 시간 $t=0$일 때의 변위를 위치 x에 따라 나타낸 것이다. $t=0$ 이후, $x=1$m에서 A의 변위가 처음으로 1.5m가 되는 때는 $t=1$초이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 주기는 A가 B의 2배이다.
ㄴ. B의 진동수는 0.5Hz이다.
ㄷ. $t=1.5$초일 때, $x=1$m에서 B의 변위는 1m이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

A의 파장은 $\lambda_A=4$이고, 조건의 정보를 통해 $\frac{T}{4}=1$이므로 주기는 $T_A=4$이다. 따라서 파동의 속력은 1이다.
B의 파장은 $\lambda_B=2$이고, 속력이 A와 동일하므로 주기는 $T_B=2$이다.

ㄱ. 주기는 A가 B의 2배이다. (O)
ㄴ. 진동수는 0.5Hz이다. (O)
ㄷ. 변위는 $-1m$이다. (X)

PART 2
굴절

개념 유형

(1) 빛의 굴절

(2) 물결파의 굴절

기출 유형

(1) 파동의 굴절

THEME

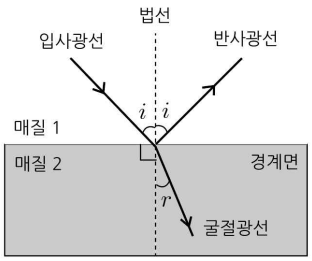
1 빛의 굴절

정리1 파동의 굴절

개념1 빛의 굴절

① 빛이 서로 다른 매질의 경계면에 입사하면, 굴절 광선과 반사 광선으로 나뉘게 된다.
반사 광선은 입사 광선과 동일한 각도로 반사되어 이동하고, 굴절 광선은 굴절률이 더 큰 매질 쪽으로 꺾이게 된다. ($\theta_i > \theta_r$이라면 $n_1 < n_2$이다. 반비례 관계!)
그림에서는 굴절률이 더 큰 매질이 빛을 법선 방향으로 끌어당기면서 굴절 광선이 법선 쪽으로 향하게 된다. 이후 입사 매질의 굴절률이 굴절 매질보다 더 커지면 굴절 광선이 사라지게 되고, 빛은 전부 반사되게 된다.

② 두 매질은 스넬 법칙 $n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_r$을 만족한다.
따라서 굴절률이 변하지 않는다면 입사각이 감소하면 굴절각도 감소하는 것을 알 수 있다.

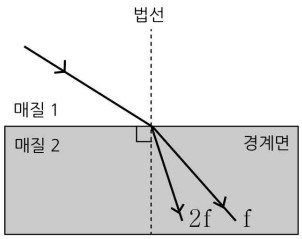


개념2 굴절률 (빛에서 정의가 된다.)

① $v = \frac{c}{n}$ (단, 진공에서 $n = 1$이다.)

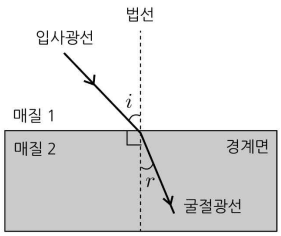
② 매질 사이의 굴절률(n)의 비는 속력(v), 파장(λ), 각도(θ)의 비에 반비례한다.

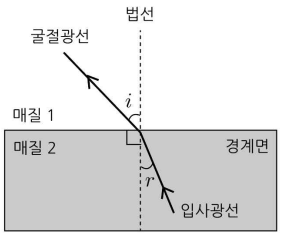
③ 매질의 종류는 동일하더라도 빛의 진동수에 따라 빛이 체감하는 매질의 진동수는 다를 수 있다. 매질의 종류가 동일할 때 빛의 진동수(f)가 증가하면 매질과 충돌이 많아져 속력이 느려져 빛이 느끼는 굴절률(n)이 커진다. 예시에서 매질 1에서 입사 광선의 진동수를 높이면 매질 2의 법선방향으로 더 꺾인다.



개념3 역진의 원리

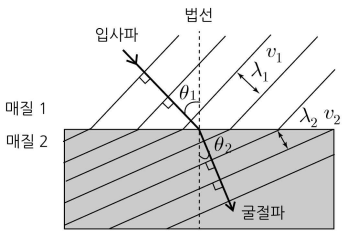
빛의 경로의 한 지점에서 빛을 역행시키면 지나온 경로를 그대로 역진한다는 기하광학의 원리이다.





개념4 물결파의 굴절

① 개념의 확장
물결파에서 굴절률은 빛에서만 정의가 되는 것이라고 했다.
하지만 물결파에서도 굴절률 아이디어를 확장해서 생각을 할 수 있다.
아래와 같이 입사파가 접면에 대해서 아래쪽으로 꺾였으므로
굴절률은 매질 1보다 매질 2가 더 크고 생각하자.



② 파면
파면은 물결파에서만 있는 용어이고, 마루(같은 위상)를 연결한 선으로써 파면 사이의 거리가 물결파의 파장이다.
또한 파면은 파동의 진행 방향과 수직의 관계성에 있다.
그러므로 입사파와 법선이 이루는 각이 i라면, 파면과 경계면이 이루는 각은 i이다.
또한 파면이 접선과 이루는 각은 굴절률은 비례 관계에 있다.

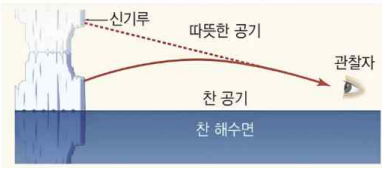
정리2 온도에 따른 파동의 속력

개념1 빛(횡파)

온도가 높아질수록 분자의 밀도는 작아진다. 따라서 빛의 진행에 방해하는 요소가 사라지므로 온도가 증가하게되면 빛의 속도는 증가하게 된다. → $v_{고온} > v_{저온}$



[뜨거운 곳에서 빛의 굴절]



[추운 곳에서 빛의 굴절]

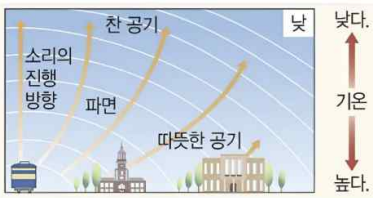
개념2 소리(종파)

소리는 매질을 타고 진행한다. 따라서 공기의 온도가 올라가면 공기분자의 속력이 열역학 법칙에 따라서 빨라지기 때문에 소리의 속력은 빨라진다. → $v_{고온} > v_{저온}$

$$v \simeq 331.5 + 0.6 \times T_C$$

- T_C: 섭씨 온도

따라서 빛과 소리는 온도에 대한 성질이 동일한 것을 알 수 있다.



[낮의 소리의 굴절]



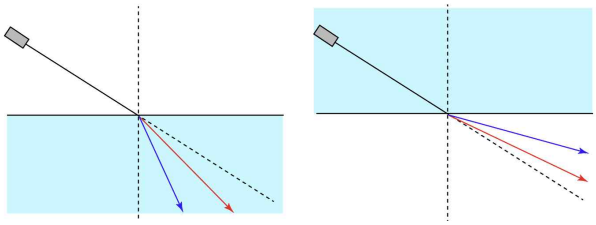
[밤의 소리의 굴절]

정리3 진동수에 따른 빛의 속력

개념1 진동수에 따른 빛의 속력

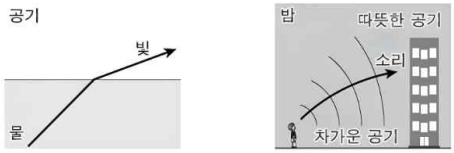
빛의 진동수를 증가시키면 빛이 느끼는 매질의 방해 정도가 증가한다. 그러면 속력이 느려지므로 상대적으로 굴절률이 크게 느껴질 수 있다. 그림을 보면 파란 빛이 빨간 빛보다 더 꺾여있는 것을 알 수 있다.
따라서 다음과 같은 스킬을 생각해 볼 수 있다.

진동수가 커지면 굴절률이 큰 쪽으로 더 꺾인다.



예제1 파동의 굴절

그림 (가)는 물에서 공기로 진행하는 빛의 진행 방향을, (나)는 밤에 발생한 소리의 진행 방향을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. (가)에서 빛의 파장은 물에서가 공기에서보다 짧다.
ㄴ. (가)에서 빛의 진동수는 물에서가 공기에서보다 크다.
ㄷ. (나)에서 소리의 속력은 차가운 공기에서가 따뜻한 공기에서 보다 크다.

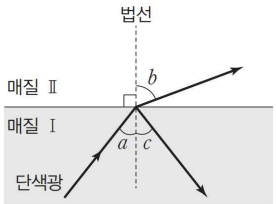
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 빛이 느끼는 굴절률은 물>공기이다.
따라서 빛의 파장은 물<공기이다. (O)
ㄴ. 빛의 진동수는 변하지 않는다. (X)
ㄷ. 소리의 속력은 차가운 곳에서 작다. (X)

예제2 빛의 굴절

그림은 단색광이 매질 I에서 매질 II로 진행할 때의 경로를 나타낸 것으로, a, b, c는 단색광의 진행 경로와 법선 사이의 각이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. a와 c는 같다.
ㄴ. 단색광의 파장은 I에서가 II에서보다 길다.
ㄷ. a와 b가 변해도 $\sin\left(\frac{a}{b}\right)$의 값은 일정하다.

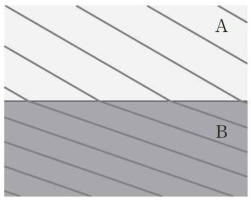
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

해설

ㄱ. 입사각과 반사각은 동일하다. (O)
ㄴ. 입사각<반사각이므로 굴절률은 $\mathrm{I} > \mathrm{II}$이다.
파동의 속력은 $\mathrm{I} < \mathrm{II}$이므로 파장은 $\mathrm{I} < \mathrm{II}$이다. (X)
ㄷ. 스넬법칙 $n_I \sin a = n_{II} \sin b$를 정리하면 $\frac{\sin a}{\sin b}$의 값이 일정하다. (X)

예제3 물결파의 굴절

그림은 매질 A에서 매질 B로 경계면에 비스듬하게 진행하는 파동의 파면을 나타낸 것이다. 이웃한 파면 사이의 거리는 A에서가 B에서보다 크다.



A에서가 B에서보다 큰 물리량만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 매질의 굴절률
ㄴ. 파동의 진동수
ㄷ. 파동의 진행 속력

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 파면이 법선에 대해서 꺾이는 각도를 보면 $\theta_A < \theta_B$이다. 따라서 굴절률은 $n_A < n_B$이다. (X)
ㄴ. 파동의 진동수는 동일하다. (X)
ㄷ. 파동의 진행 속력은 파면 사이의 거리를 보면 A > B이다. (O)

THEME

2 물결파의 굴절

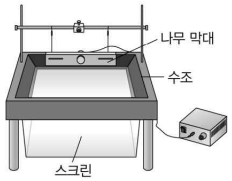
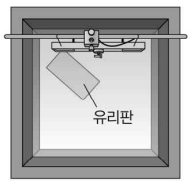
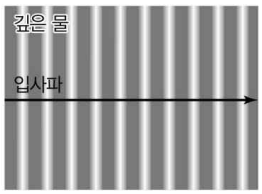
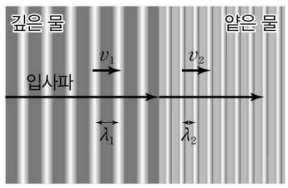
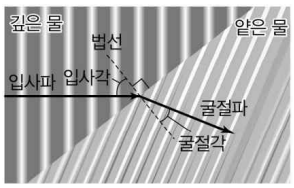
정리1 물결파의 굴절

개념1 물결파의 굴절

① 물의 깊이가 변하지 않을 때 물결파의 속력은 일정하다.

② 물결파의 진동수는 일정하므로 물결파의 속력은 깊은 곳에서가 얕은 곳에서보다 크다. ($v_1 > v_2$, $\lambda_1 > \lambda_2$)

③ 물결파는 깊은 곳에서 얕은 곳으로 진행할 때 입사각이 굴절각보다 크다.

1. 수조에 물을 넣는다.	2. 수조에 유리를 넣는다.	3. 수조에 유리를 비스듬히 넣는다.
		
		

개념2 진동수의 증가

물결파의 진동수가 증가하더라도 입사각과 굴절각은 변하지 않는다.

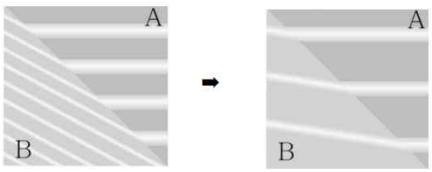
진동수를 2배만큼 증가시키면 파장은 2배만큼 감소한다.

(소리와 빛도 동일한 성질을 갖지만, 물결파는 눈으로 파장이 보이므로 많이 물어본다.)

	얕은 물		깊은 물	
진동수	파장	입사각	파장	굴절각
f_0	λ_0	θ_A	$\frac{3}{2}\lambda_0$	θ_B
$2f_0$	$\frac{1}{2}\lambda_0$	θ_A	$\frac{3}{4}\lambda_0$	θ_B

개념3 깊이의 증가

물의 깊이가 증가하면 파동의 속력이 증가하므로 파장이 증가한다.

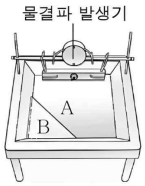


예제1 물결파의 굴절

다음은 물결파에 대한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 물결파 실험 장치의 한쪽에 삼각형 모양의 유리판을 놓은 후 물을 채우고 일정한 진동수의 물결파를 발생시킨다.



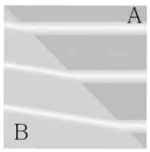
(나) 유리판이 없는 영역 A와, 있는 영역 B에서의 물결파의 무늬를 관찰한다.

(다) (가)에서 물의 양만을 증가시킨 후 (나)를 반복한다.

[실험 결과 및 결론]



(나)의 결과



(다)의 결과

○ (다)에서가 (나)에서보다 큰 물리량

- A에서 이웃한 파면 사이의 거리
- B에서 물결파의 굴절각
- ㉠

㉠에 해당하는 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A에서 물결파의 속력
ㄴ. B에서 물결파의 진동수
ㄷ. 물결파의 입사각과 굴절각의 차이

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

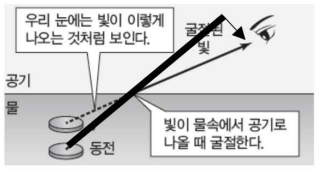
해설

ㄱ. 물을 넣으면 물결파의 속력은 증가한다. (O)
ㄴ. 진동수는 일정하다. (X)
ㄷ. 실험 결과에서 파면이 이루는 각도를 토대로 파면 각도의 차이는 (나)>(다)이므로 파동의 진행 방향에 대한 입사각과 굴절각의 차이도 (나)>(다)이다. (X)

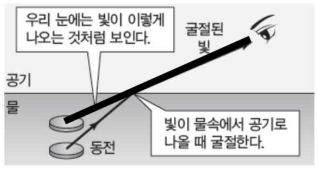
정리2 수심이 얕아 보이는 현상

개념1 수심이 얕아 보이는 현상

물 속에 잠긴 물체의 깊이가 실제보다 얕아 보이고, 일부분만 잠긴 물체는 꺾여 보인다.
공기 중에 있는 관측자는 물체가 굴절 광선의 연장선상에 있는 것으로 인식하므로 물체가 실제와 다른 위치에 있는 것으로 보게 된다.

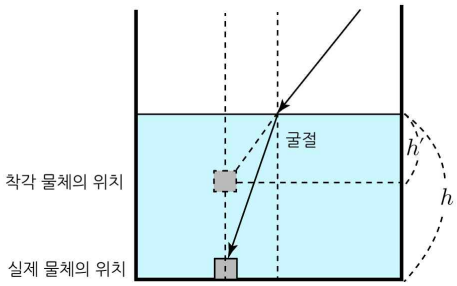


동전을 광원이라고 생각하자.
동전에서 나온 빛을 물이 잡아당긴다.



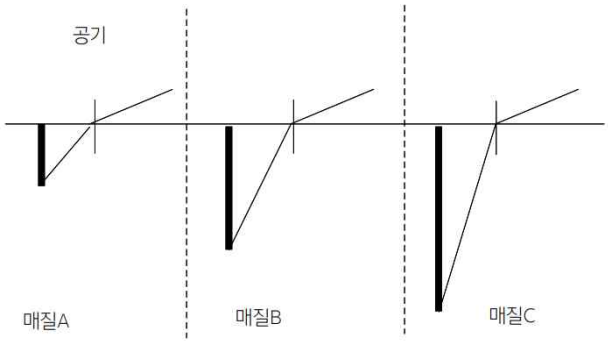
눈에 들어오는 빛은 직진으로 온 것이라고
착각해서 생각한다.

이때 물체의 잠긴 높이는 $h' = \frac{h}{n}$ 이다.



개념2 눈에 보이는 막대의 길이가 동일한 상황

아래와 같이 매질 ABC에 대해 물체의 끝부분이 눈에 동일하게 보이려면 굴절률의 관계를 생각해보자.
막대의 깊이가 C > B > A라고 하자. 그러면 눈으로 빛이 올 때 꺾이는 정도가 C > B > A므로 굴절률은 C > B > A이다.

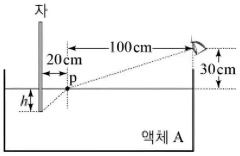


예제2 수심이 얕아 보이는 현상

다음은 액체의 굴절률을 알아보기 위한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 수조에 액체 A를 채우고 액체 표면 위 $30cm$ 위치에서 액체 표면 위의 점 p를 본다.



(나) (가)에서 자를 액체의 표면에 수직으로 넣으면서 p와 자의 끝이 겹쳐 보이는 순간, 자의 액체에 잠긴 부분의 길이 h를 측정한다.

(다) (가)에서 액체 A를 다른 액체로 바꾸어 (나)를 반복한다.

[실험 결과]

액체의 종류	h (cm)
A	17
물	19
B	21
C	24

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 굴절률은 A가 물보다 크다.
ㄴ. 빛의 속력은 B에서가 C에서보다 빠르다.
ㄷ. 액체와 공기 사이의 임계각은 A가 B보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

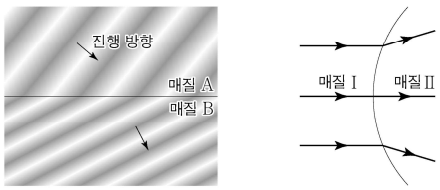
해설

ㄱ. 액체의 굴절률이 클수록 h가 커진다.
따라서 굴절률은 A < 물이다. (X)
ㄴ. 굴절률은 B < C이므로 빛의 속력은 B > C이다. (O)
ㄷ. 굴절률은 B > A > 공기이므로 임계각은 A > B이다. (O)

유형 01 파동의 굴절

01 2022학년도 9월 9번 정답률 75%

9. 그림 (가)는 파동이 매질 A에서 매질 B로 진행하는 모습을, (나)는 (가)의 파동이 매질 Ⅰ에서 매질 Ⅱ로 진행하는 경로를 나타낸 것이다. Ⅰ, Ⅱ는 각각 A, B 중 하나이다.



(가) (나)

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

<보 기>

ㄱ. (가)에서 파동의 속력은 B에서가 A에서보다 크다.
ㄴ. Ⅱ는 B이다.
ㄷ. (나)에서 파동의 파장은 Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 길다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

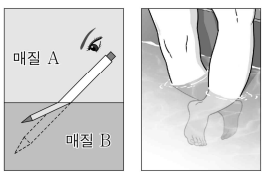
정 답 ②

해 설

ㄱ. 각도는 A > B이므로 속력은 A > B이다. (X)
ㄴ. (가)에서 굴절률은 A < B이다. (나)에서 각도는 Ⅰ < Ⅱ이다. 굴절률은 Ⅰ > Ⅱ이다. Ⅱ는 A이다. (X)
ㄷ. 파장은 Ⅰ < Ⅱ이다. (O)

02 2023학년도 9월 5번 정답률 45%

5. 그림 (가)는 매질 A, B에 볼펜을 넣어 볼펜이 꺾여 보이는 것을, (나)는 물속에 잠긴 다리가 짧아 보이는 것을 나타낸 것이다.



(가) (나)

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

<보 기>

ㄱ. (가)에서 굴절률은 A가 B보다 크다.
ㄴ. (가)에서 빛의 속력은 A에서가 B에서보다 크다.
ㄷ. (나)에서 빛이 물에서 공기로 진행할 때 굴절각이 입사각보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

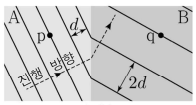
정 답 ④

해 설

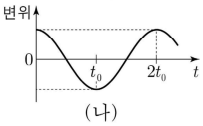
ㄱ. (가)에서 굴절률은 A가 B보다 작다. (X)
ㄴ. 빛의 속력은 A가 B보다 크다. (O)
ㄷ. 굴절률은 물>공기이므로 입사각<굴절각이다. (O)

03 2025학년도 수능 8번 정답률 80%

8. 그림 (가)는 진동수가 일정한 물결파가 매질 A에서 매질 B로 진행할 때, 시간 $t=0$인 순간의 물결파의 모습을 나타낸 것이다. 실선은 물결파의 마루이고, A와 B에서 이웃한 마루와 마루 사이의 거리는 각각 d, $2d$이다. 점 p, q는 평면상의 고정된 점이다. 그림 (나)는 (가)의 p에서 물결파의 변위를 시간 t에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 물결파의 속력은 B에서가 A에서의 2배이다.
ㄴ. (가)에서 입사각은 굴절각보다 작다.
ㄷ. $t=2t_0$일 때, q에서 물결파는 마루가 된다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

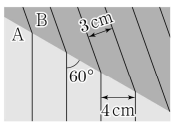
정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 파장을 통해 물결파의 속력은 B에서가 A에서의 2배이다. (O)
ㄴ. 굴절률은 A가 B보다 크다. 따라서 입사각은 굴절각보다 작다. (O)
ㄷ. $t=2t_0$일 때, 1주기이므로 q에서 물결파는 마루가 된다. (O)

04 2026학년도 수능 5번 정답률 83%

5. 그림은 매질 A에서 주기가 T_0인 물결파가 A에서 매질 B로 굴절하여 진행하는 모습을 나타낸 것이다. 실선은 물결파의 마루이고, A에서 실선과 경계면이 이루는 각은 60°이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 물결파의 진행 속력은 A에서가 B에서보다 크다.
ㄴ. 물결파의 입사각은 30°이다.
ㄷ. B에서 물결파의 주기는 T_0보다 작다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

ㄱ. 물결파의 진행 속력은 파장의 정보를 통해 A > B이다. (O)
ㄴ. 스넬법칙에 의하여 $\frac{\sin\theta_B}{\sin\theta_A}=\frac{n_A}{n_B}=\frac{v_B}{v_A}=\frac{\lambda_B}{\lambda_A}=\frac{3}{4}$이다.
따라서 $\sin\theta_B=\frac{\sqrt{3}}{2}\frac{3}{4}=\frac{3\sqrt{3}}{8}$이다. (X)
ㄷ. 물결파의 주기는 변하지 않는다. (X)

PART 3
전반사

개념 유형

(1) 전반사의
(2) 클래딩과 코어
(3) 사각형 굴절
(4) 원통형 굴절

기출 유형

(1) 클래딩과 코어
(2) 사각형 굴절
(3) 원통형 굴절

THEME

1 — 전반사

정리1 전반사

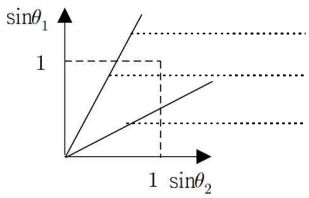
개념1 전반사

① 전반사는 빛이 진행하다가 매질의 경계면에서 굴절하지 않고 전부 반사하는 현상이다.
(입사한 빛의 세기 100 = 굴절한 빛의 세기 0 + 반사한 빛의 세기 100)

② 임계각은 θ_c로 쓴다. 입사각이 임계각보다 커지면 전반사를 유지하고, 입사각이 임계각보다 작아지면 전반사를 유지하지 않는다.

③ 전반사는 굴절률이 큰 곳에서 작은 곳으로 입사할 때만 전반사가 이뤄진다. (역은 성립하지 않는다.)

④ 매질 1과 매질 2에 대한 입시각과 굴절각에 대한 그래프를 그려보자.
우선 기울기가 어떤 의미를 갖고 있는 지를 알아야한다.
스넬 법칙에 의해서 $n_1\sin\theta_1 = n_2\sin\theta_2$이고, $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = const$를 통해 기울기가 일정함을 알 수 있다.



박스를 넘어가는 부분은 전반사를 하는 곳이다.
$\theta_1 > \theta_2$를 만족하므로 $n_1 < n_2$이다.
$\theta_1 < \theta_2$를 만족하므로 $n_1 > n_2$이다.

개념2 임계각의 최소가 될 때를 선택하기

세 개의 매질이 있을 때 여기서 두 개의 매질을 선택하여 매질 사이의 임계각이 최소가 되도록 하려고 한다.

임계각이 최소가 되려면 $\sin\theta_c = \frac{n_{굴절}}{n_{입사}}$이 최소가 되어야 한다.

$n_3 > n_2 > n_1$의 관계에서 굴절률의 차이가 클수록 임계각이 작다. 다른 표현으로는 $|\Delta n| \propto \frac{1}{\theta_c}$이다.

① 매질 1과 매질 3의 임계각은 매질 1과 매질 2의 임계각보다 작다.
② 매질 1과 매질 3의 임계각은 매질 2과 매질 3의 임계각보다 작다.

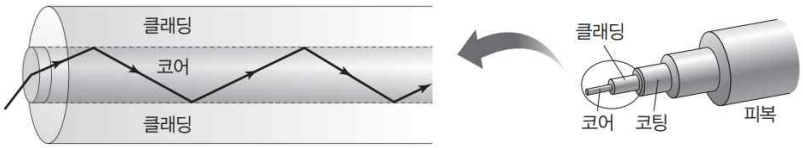
THEME

2 클래딩과 코어

정리1 광통신

개념1 광섬유의 구조

빛을 전송시킬 수 있는 투명한 유리 또는 플라스틱 섬유로, 중앙의 코어를 클래딩이 감싸고 있는 이중 원기둥 모양이다.
굴절률은 코어가 클래딩보다 크므로 코어와 클래딩의 경계면에서 입사각이 임계각보다 클 때 빛은 전반사하면서 코어를 따라 진행한다.

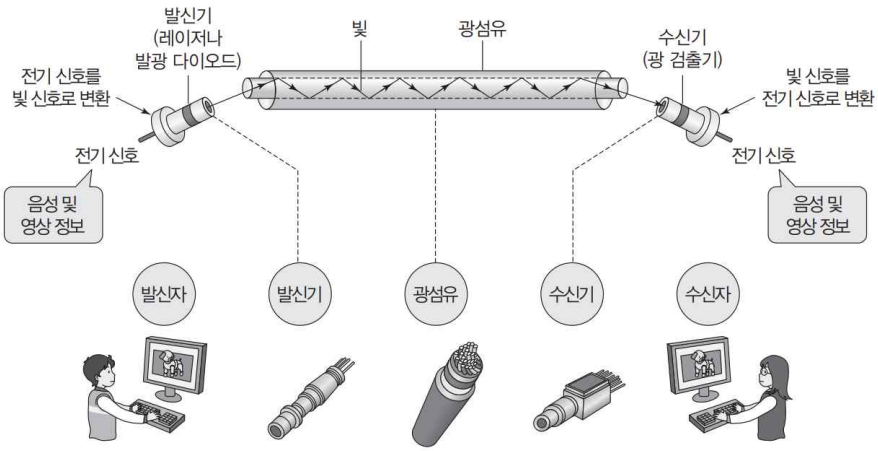


개념2 광통신

음성, 영상 등의 정보를 담은 전기 신호를 빛 신호로 변환하여 빛을 통해 정보를 주고받는 통신 방식이다.

개념3 광통신 과정

음성, 영상 등과 같은 신호를 전기 신호로 변환한 후 레이저나 발광 다이오드를 사용하여 빛 신호로 변환하고, 빛 신호가 광섬유를 통해서 멀리까지 전달되면 수신기의 광 검출기에서 전기 신호로 변환하여 음성, 영상 등을 재생한다.



개념4 광통신의 장단점

① 장점

도선을 이용한 통신에 비해 더 많은 양의 정보를 보낼 수 있다. 또한, 외부 전파에 의한 간섭이나 혼선이 없고, 도청을 할 수 없다.

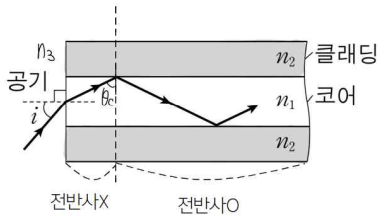
② 단점

연결 부위에 작은 먼지가 끼거나 틈이 생기면 광통신이 불가능해지기도 하고, 한번 끊어지면 연결하기가 어렵다.

정리2 클래딩과 코어

개념1 클래딩과 코어

그림은 공기에서 빛을 i의 각으로 코어에 빛을 입사시키고 있는 상황이다.
코어에 입사된 빛은 클래딩에 θ_c의 각으로 입사하고 있고, 이는 임계각으로 전반사를 하고 있다.
이번 파트에서는 입사각 i와 굴절률 n_1, n_2, n_3를 변화시킬 때 전반사를 유지하는 지에 대해서 볼 것이다.



개념2 각도의 변화

① 입사각 i를 증가시키면 빛이 전반사X 영역으로 굴절되므로 코어와 클래딩 내부에서 전반사를 유지하지 않는다.
② 입사각 i를 감소시키면 빛이 전반사O 영역으로 굴절되므로 코어와 클래딩 내부에서 전반사를 유지한다.

개념3 굴절률의 변화

① 공기의 굴절률을 증가시키면 빛이 전반사X 영역으로 굴절되므로 코어와 클래딩 내부에서 전반사를 유지하지 않는다.
② 코어의 굴절률을 증가시키면 빛이 전반사O 영역으로 굴절되고, 임계각이 감소하므로 코어와 클래딩 내부에서 전반사를 유지한다.
③ 클래딩의 굴절률을 증가시키면 빛이 그대로 굴절되고, 임계각이 증가하므로 코어와 클래딩 내부에서 전반사를 유지하지 않는다.

개념4 빛의 진동수의 변화

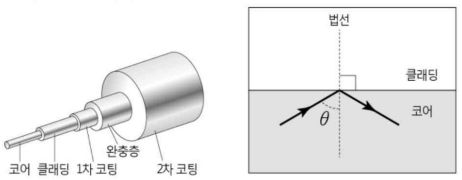
빛의 진동수를 증가시키면 전반사O 영역으로 굴절되고, 임계각이 감소하므로 코어와 클래딩 내부에서 전반사를 유지한다.

각도 변화	i 증가	i 감소
전반사 유무	전반사 유지X	전반사 유지O

매질 굴절률 증가	공기	코어	클래딩
코어-클래딩 사이의 임계각	변화 없음	임계각 감소	임계각 증가
전반사 유지됨의 유무 (단, 입사각 동일)	전반사 유지X	전반사 유지O	전반사 유지X
임계각으로 쏘고 싶다면? (단, 입사각 변화)	i 감소	i 증가	i 감소

예제1 클래딩과 코어

그림 (가)는 광섬유의 구조를, (나)는 광섬유의 코어와 클래딩의 경계면에 단색광을 입사각 θ로 입사시켰을 때, 전반사가 일어나는 것을 나타낸 것이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 코어와 클래딩의 경계면에서 임계각은 θ보다 크다.
ㄴ. 코어의 굴절률은 클래딩의 굴절률보다 작다.
ㄷ. 클래딩에서 코어로 단색광을 입사각 θ로 입사시키면 전반사가 일어나지 않는다.

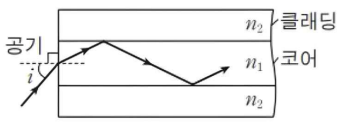
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 임계각은 θ보다 작다. (X)
ㄴ. 코어의 굴절률은 클래딩의 굴절률보다 크다. (X)
ㄷ. 클래딩에서 코어로 단색광을 입사시키면 전반사는 일어나지 않는다. (O)

예제2 클래딩과 코어

그림은 광섬유에서 단색광이 공기와 코어의 경계면에서 각 i로 입사하여 코어 내에서 전반사하며 진행하는 것을 나타낸 것이다. 코어와 클래딩의 굴절률은 각각 n_1, n_2이며, 코어와 클래딩 사이에서 전반사가 일어나는 i의 최대값은 i_m이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. $n_1 > n_2$이다.
ㄴ. 단색광의 속력은 공기에서가 코어에서보다 크다.
ㄷ. n_2를 작게 하면 i_m은 작아진다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 코어의 굴절률은 클래딩의 굴절률보다 크다. (O)
ㄴ. 단색광의 속력은 공기가 코어에서보다 크다. (O)
ㄷ. n_2를 작게하면 전반사가 잘 일어나므로 i_m의 값은 커질 수 있다. (X)

예제3 클래딩과 코어

그림 (가)와 같이 단색광 A를 공기에서 매질 I로 입사각 θ_i로 입사시켰더니, 전반사하며 매질 I 내에서 진행하였다. 그림 (나)는 (가)에서 매질 II를 매질 III으로 바꾸어 A를 입사각 θ_i로 입사시킨 모습을 나타낸 것이다. III의 굴절률은 II의 굴절률보다 작다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 매질에서 A의 속력은 I에서가 II에서보다 작다.
ㄴ. (가)에서 0보다 크고 θ_i보다 작은 입사각으로 A를 입사시키면 I과 II의 경계에서 전반사가 일어나지 않는다.
ㄷ. (나)에서 A는 I과 III의 경계에서 전반사한다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

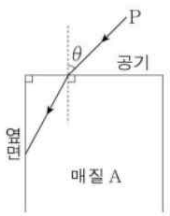
해설

ㄱ. 굴절률은 I > II이므로 속력은 I < II이다. (O)
ㄴ. (가)에서 0보다 크고, θ_i보다 작은 입사각으로 입사시키면 전반사가 일어난다. (X)
ㄷ. 클래딩의 굴절률이 작아졌으므로 전반사가 잘된다. (O)

예제4 클래딩과 코어

다음은 빛의 전반사에 대한 실험이다.

[실험 과정]
(가) 그림과 같이 단색광 P를 공기 중에서 매질 A의 윗면에 입사시킨다.
(나) 입사각 θ를 변화시키며 매질의 옆면에서 P의 전반사 여부를 관찰한다.
(다) (가)에서 A를 같은 모양의 매질 B로 바꾸고 (나)를 반복한다.



[실험 결과]

매질	θ	옆면에서 전반사 여부
A	$0 < \theta < 64^\circ$	일어남
	$64^\circ < \theta < 90^\circ$	일어나지 않음
B	$0 < \theta < 90^\circ$	일어남

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. P의 속력은 B에서가 A에서보다 크다.
ㄴ. 매질에서 공기로 P가 진행할 때 임계각은 A에서가 B에서보다 크다.
ㄷ. A와 B로 광섬유를 만든다면 A를 코어로 사용해야 한다.

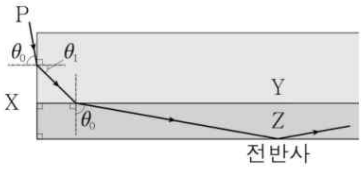
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 매질 A에서 $\theta = 64^\circ$로 입사시켰을 때 전반사가 일어난다. B에서는 항상 전반사가 일어나므로 만약 B의 굴절률이 A보다 크다면 공기에서 입사되는 빛을 더 아래쪽으로 꺾이므로 다시 B에서 공기로 진행할 때 입사각이 증가하고 굴절률 또한 증가해 빛을 오른쪽으로 잡아당기므로 전반사가 항상 일어날 수도 있다. 따라서 굴절률은 B > A이고, 속력은 B < A이다. (X)
ㄴ. 굴절률은 B > A > 공기이므로 임계각은 B < A이다. (O)
ㄷ. B가 코어가 되야한다. (X)

예제5 클래딩과 코어

그림은 단색광 P가 매질 X, Y, Z에서 진행하는 모습을 나타낸 것이다. θ_0과 θ_1은 각 경계면에서의 P의 입사각 또는 굴절각이고, P는 Z와 X의 경계면에서 전반사한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. P의 속력은 Y에서가 Z에서보다 크다.
ㄴ. 굴절률은 Z가 X보다 크다.
ㄷ. θ_1은 45°보다 크다.

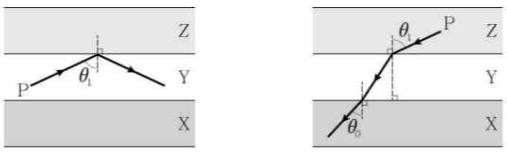
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 빛이 Y로 끌리므로 굴절률은 Y > Z이다.
따라서 속력은 Y < Z이다. (X)
ㄴ. 전반사를 하므로 굴절률은 Z > X이다. (O)
ㄷ. θ_0로 동일한 조건을 이용하기 위해 스넬 법칙 사용.
XY) $X\sin\theta_0 = Y\sin\theta_1$
YZ) $Y\cos\theta_1 = Z\sin\theta_0$
두 식을 나누면 $\tan\theta_1 = \frac{X}{Z} < 1$이므로 $\theta_1 < 45^\circ$이다. (X)
(이는 문제에서 주어진 조건으로 특이한 경우다. 일반화X)

예제6 클래딩과 코어

그림 (가), (나)와 같이 단색광 P가 매질 X, Y, Z에서 진행한다. (가)에서 P는 Y와 Z의 경계면에서 전반사한다. θ_0과 θ_1은 각 경계면에서 P의 입사각 또는 굴절각으로, $\theta_0 < \theta_1$이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. Y와 Z 사이의 임계각은 θ_1보다 크다.
ㄴ. 굴절률은 X가 Z보다 크다.
ㄷ. (나)에서 P를 θ_1보다 큰 입사각으로 Z에서 Y로 입사시키면 P는 Y와 X의 경계면에서 전반사할 수 있다.

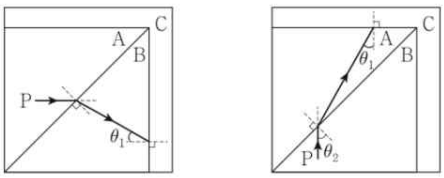
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. (가)에서 전반사를 하고 있으므로 임계각은 θ_1보다 작다. (X)
ㄴ. (나)에서 내부 상쇄에 의하여 각은 Z > X이므로 굴절률은 Z < X이다. (O)
ㄷ. 굴절률은 X > Y > Z이다. YX, YZ의 임계각을 비교하기가 쉽지 않다. 따라서 출제자는 이러한 방식으로 푸는 것을 원하지 않는다.
(나)에서 내부 상쇄 효과에 의해서 ZX의 굴절로 치환해보자. $\theta_0 < \theta_1$이므로 전반사는 일어나지 않는다. (X)

예제7 클래딩과 코어

그림 (가)는 매질 A와 B의 경계면에 입사한 단색광 P가 B와 매질 C의 경계면에 입사각 θ_1로 입사하는 모습을, (나)는 B와 A의 경계면에 입사각 θ_2로 입사한 P가 A와 C의 경계면에 입사각 θ_1로 입사하는 모습을 나타낸 것이다. $\theta_1 < \theta_2$이다.



(가) (나)

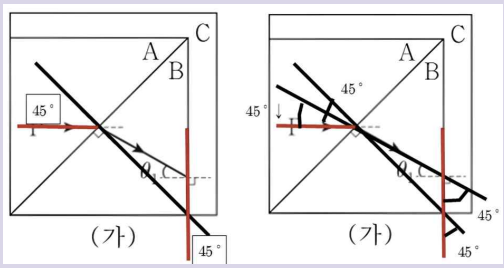
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. P의 파장은 A에서가 B에서보다 짧다.
ㄴ. 굴절률은 A가 C보다 크다.
ㄷ. (나)에서 P는 A와 C의 경계면에서 전반사한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설



(가)에서 삼각형이 작각 삼각형이라고 생각해보자.
그러면 빨간색 선과 이루는 각은 45°로 동일할 것이다.
그리고 여기서 비스듬한 선을 추가해주자.
이 비스듬한 선은 x축과 이루는 각은 45°보다 작으므로 y축과 이루는 각은 45°보다 커진다.

ㄱ. (가) 또는 (나)의 경계면에서 빛을 B가 잡아당기므로 굴절률은 A < B이다. 속력은 A > B이므로 파장은 A > B이다. (X)
ㄴ. 외부의 굴절률이 작을수록, 빛을 내부는 더 잘 잡아당긴다. 따라서 아래 그림을 통해 굴절률은 B > A > C이다. (O)
ㄷ. 굴절률 차이가 작을수록 임계각은 증가한다. 즉, AC의 임계각은 θ_1보다 크다. (X)

THEME

3 — 사각형 굴절

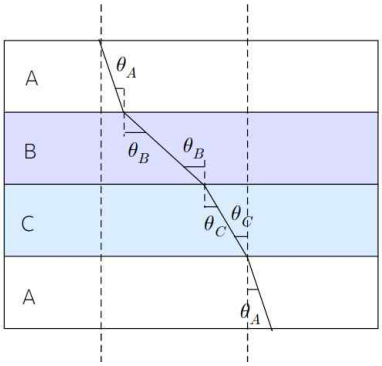
정리1 사각형 굴절

개념1 처음-끝이 다른 물체(굴절)

빛이 여러 개의 평행한 매질을 지날 때, 중간 매질의 영향을 받지 않는다.

$n_A \sin\theta_A = n_B \sin\theta_B = n_C \sin\theta_C$

$\therefore n_A \sin\theta_A = n_C \sin\theta_C$



개념2 처음-끝이 같은 물체(굴절)

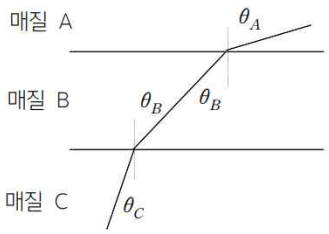
여러 평행한 경계 면을 지나 처음과 같은 매질로 나오는 경우,
처음 입사각과 마지막 굴절각은 θ_A로 서로 같다.

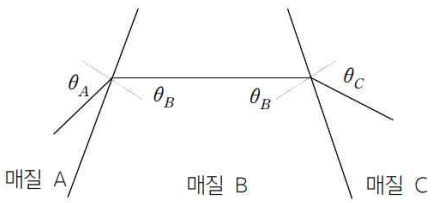
개념3 전반사

만약에 C에서 A로 나오는 빛이 없다면 반대면 A에서 B로 입사되는 빛이 없다.
(위의 성질인 처음 입사각과 마지막 굴절각은 서로 같다.)
그러므로 빛은 B에서 C로 입사시키거나, C에서 A로 입사시켜야 하고 내부에서 전반사를 시켜야한다.

개념4 중간 상쇄

아래 그림과 같이 매질 중간에서 각이 동일하다면 스넬 법칙에 의해서 연립하면 상쇄가 된다.

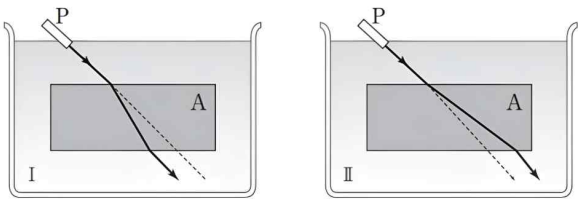




정리2 유리판의 레이저 통과

개념1 매질의 굴절률에 따른 빛의 진행

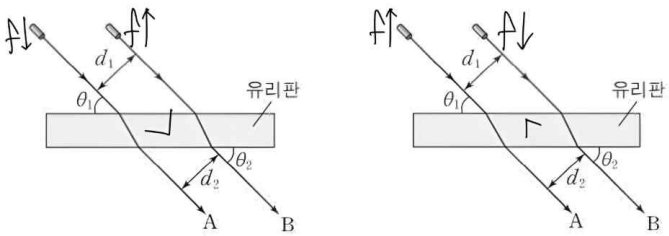
매질의 굴절률이 액체보다 작으면, 빛은 위로 평행이동한다. 따라서 $n_2 > n_A > n_1$ 이다.



개념2 빛의 진동수에 따른 빛 사이의 거리

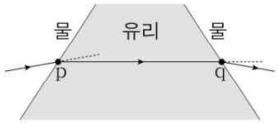
액체에서 빛을 발사해 매질을 통과하고 액체로 나오므로 $\theta_1 = \theta_2$로 나오게 된다.
하지만 유리판에서 빛이 꺾이기 때문에 d_1과 d_2의 차이가 발생하게 된다.
d_1과 d_2의 관계를 통해 두 빛 중에 어떤 빛의 진동수가 더 큰 지 알 수 있다.

① $d_1 > d_2$일 때 $f_A < f_B$이다.
② $d_1 < d_2$일 때 $f_A > f_B$이다.



예제1 사각형 굴절

그림과 같이 단색광이 물속에 놓인 유리를 지나면서 점 p, q에서 굴절한다. 표는 각 점에서 입사각과 굴절각을 나타낸 것이다.



점	입사각	굴절각
p	θ_0	θ_1
q	θ_2	θ_0

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. $\theta_1 = \theta_2$이다.
ㄴ. 단색광의 진동수는 유리에서와 물에서가 같다.
ㄷ. 단색광의 파장은 유리에서가 물에서보다 작다.

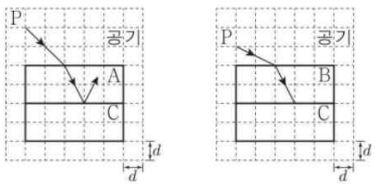
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. p의 입사각과 q의 굴절각이 같으므로 내부 상쇄로 $\theta_1 = \theta_2$가 된다. (O)
ㄴ. 진동수는 동일하다. (O)
ㄷ. 굴절률은 유리>물이므로 파장은 유리<물이다. (O)

예제2 사각형 굴절

그림 (가)는 공기에서 물질 A로 입사한 단색광 P가 A와 물질 C의 경계면에서 전반사하는 모습을, (나)는 공기에서 물질 B로 입사한 P가 B와 C의 경계면에 입사하는 모습을 나타낸 것이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 굴절률은 A가 C보다 크다.
ㄴ. (나)에서 P는 B와 C의 경계면에서 전반사한다.
ㄷ. 코어에 A를 사용한 광섬유의 클래딩으로 B를 사용할 수 있다.

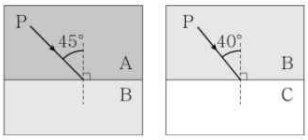
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 전반사를 하므로 굴절률은 A > C이다. (O)
ㄴ. 공기의 경계면을 비교하여 굴절률은 B > A > C임을 알 수 있다. 굴절률 차이가 커지면 임계각은 작아진다. 따라서 (나)에서 BC 사이에서 빛은 전반사한다. (O)
ㄷ. A가 코어면 클래딩은 C이다. (X)

예제3 사각형 굴절

그림 (가), (나)는 각각 매질 A와 B, 매질 B와 C에서 진행하는 단색광 P의 진행 경로의 일부를 나타낸 것이다. 표는 (가), (나)에서의 입사각과 굴절각을 나타낸 것이다. P의 속력은 C에서가 A에서보다 크다.



(가) (나)

	(가)	(나)
입사각	45°	40°
굴절각	35°	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. ㉠은 45° 보다 크다.
ㄴ. 굴절률은 B가 C보다 크다.
ㄷ. B를 코어로 사용하는 광섬유에 A를 클래딩으로 사용할 수 있다.

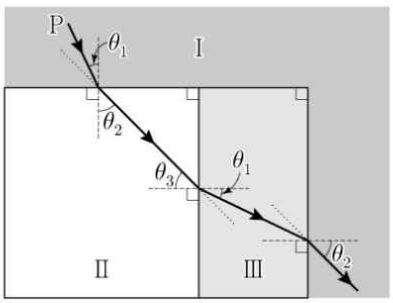
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. (가)에서 입사각>굴절각이므로 굴절률은 A < B이다.
P의 속력은 C > A이므로 굴절률은 A > C이다.
따라서 굴절률은 B > A > C의 관계이다.
B가 35° 일 때 A는 45° 이다.
B가 40° 일 때 C는 굴절률도 작으므로 45° 보다 크다. (O)
ㄴ. 굴절률은 B > A > C 관계이다. (O)
ㄷ. B를 코어로 사용하면 A를 클래딩으로 사용할 수 있다. (O)

예제4 사각형 굴절

그림과 같이 단색광 P가 매질 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ의 경계면에서 굴절하며 진행한다. P가 Ⅰ에서 Ⅱ로 진행할 때 입사각과 굴절각은 각각 θ_1, θ_2이고, Ⅱ에서 Ⅲ으로 진행할 때 입사각과 굴절각은 각각 θ_3, θ_1이며, Ⅲ에서 Ⅰ로 진행할 때 굴절각은 θ_2이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. P의 파장은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 짧다.
ㄴ. P의 속력은 Ⅰ에서가 Ⅲ에서보다 크다.
ㄷ. $\theta_3 > \theta_2$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. Ⅰ, Ⅱ의 접면에 대하여 굴절률은 Ⅰ > Ⅱ이므로
파장은 Ⅰ < Ⅱ이다. (O)
ㄴ. Ⅲ, Ⅰ의 접면에 대하여 굴절률은 Ⅲ > Ⅰ이므로
속력은 Ⅲ < Ⅰ이다. (O)
ㄷ. 굴절률은 Ⅰ > Ⅱ이므로 각도는 $\theta_2 < \theta_3$이다. (O)

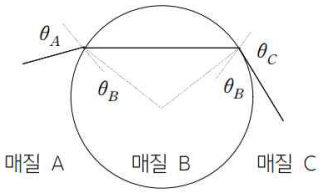
THEME

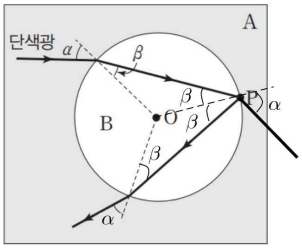
4 원통형 굴절

정리1 원통형 굴절

개념1 구심을 통과하지 않는 빛

단색광을 A에서 B로 입사각 α로 발사했다. B와 A의 경계면에서 원의 성질에 의해서 β의 각으로 입사하게 된다.
다시 반사각은 정의에 의해서 β의 각으로 반사하게 된다. B에서 A로 나올 때 중간 상쇄에 의해서 α의 각도로 나온다



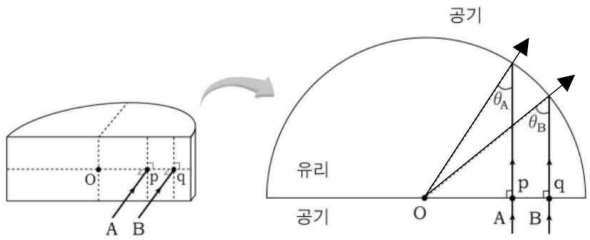


개념2 구심을 통과하는 빛

구심을 통과하는 빛을 쏘게 되면 원의 성질에 의해서 아랫면의 유리와 공기에 대해서 수직으로 빛이 나온다.

개념3 중간 상쇄

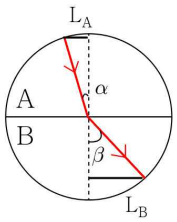
아래 그림과 같이 매질 중간에서 각이 동일하다면 스넬 법칙에 의해서 연립하면 상쇄가 된다.



정리2 원통 매질 바꾸기

개념1 단순 원통

빛이 원통 매질을 통과할 때 $n_A\sin\alpha = n_B\sin\beta$를 만족하므로 $\frac{n_A}{n_B} = \frac{\sin\beta}{\sin\alpha} = \frac{L_B}{L_A}$의 관계를 만족한다.



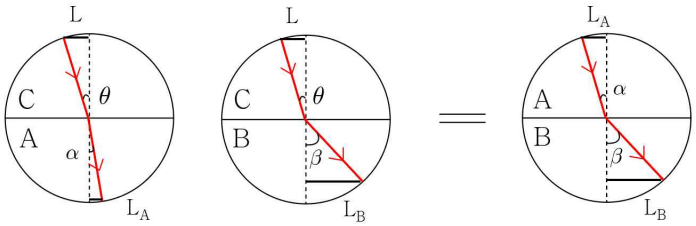
개념2 매질 AB의 각 다름 → 합치면 각은 선형적 연결

입사각이 다를 때(굴절각이 동일할 때)

$n_A\sin\alpha = n_c\sin\theta$, $n_B\sin\beta = n_C\sin\theta$를 만족하므로

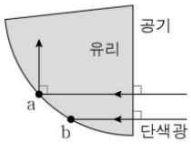
① $n_A\sin\alpha = n_B\sin\beta$

② $\frac{n_A}{n_B} = \frac{\sin\beta}{\sin\alpha} = \frac{L_B}{L_A}$



예제1 원통형 굴절

그림과 같이 동일한 단색광이 공기에서 부채꼴 모양의 유리에 수직으로 입사하여 유리와 공기의 경계면의 점 a, b에 각각 도달한다. a에 도달한 단색광은 전반사하여 입사광의 진행 방향에 수직인 방향으로 진행한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. b에서 단색광은 전반사한다.
ㄴ. 단색광의 속력은 유리에서가 공기에서보다 크다.
ㄷ. 유리와 공기 사이의 임계각은 45° 보다 크다.

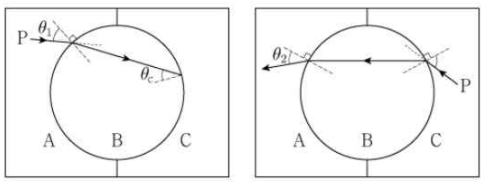
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. b에서 입사각이 증가하므로 전반사를 유지한다. (O)
ㄴ. 굴절률은 유리>공기이므로 속력은 유리<공기이다. (X)
ㄷ. 임계각은 45° 보다 작다. (X)

예제2 원통형 굴절

그림 (가)는 매질 A에서 원형 매질 B에 입사각 θ_1로 입사한 단색광 P가 B와 매질 C의 경계면에 임계각 θ_c로 입사하는 모습을, (나)는 C에서 B로 입사한 P가 B와 A의 경계면에서 굴절각 θ_2로 진행하는 모습을 나타낸 것이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. P의 파장은 A에서가 B에서보다 길다.
ㄴ. $\theta_1 < \theta_2$이다.
ㄷ. A와 B 사이의 임계각은 θ_c보다 작다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. (가)의 B 입장에서 C는 빛을 당기는 힘이 약하므로 굴절률은 B > A > C이다. 따라서 P의 파장은 A > B 이다. (O)
ㄴ. C쪽에서 각도가 (가)의 90도에서 (나)의 각도로 감소했고, B는 내부 상쇄로 고려를 안해도 상관없다. 따라서 반대편의 A의 각도도 감소한다. (X)
ㄷ. B > A > C에서 A와 B는 각도 차이가 감소하므로 임계각은 θ_c보다 증가한다. (X)

예제3 원통형 굴절

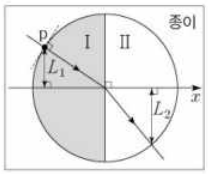
다음은 빛의 성질을 알아보는 실험이다.

[실험 과정]

(가) 반원 Ⅰ, Ⅱ로 구성된 원이 그려진 종이면의 Ⅰ에 반원형 유리 A를 올려놓는다.

(나) 레이저 빛이 점 p에서 유리면에 수직으로 입사하도록 한다.

(다) 그림과 같이 빛이 진행하는 경로를 종이면에 그린다.



(라) p와 x축 사이의 거리 L_1, 빛의 경로가 Ⅱ의 호와 만나는 점과 x축 사이의 거리 L_2를 측정한다.

(마) (가)에서 Ⅰ의 A를 반원형 유리 B로 바꾸고, (나)~(라)를 반복한다.

(바) (마)에서 Ⅱ에 A를 올려놓고, (나)~(라)를 반복한다.

[실험 결과]

과정	Ⅰ	Ⅱ	$L_1(cm)$	$L_2(cm)$
(라)	A	공기	3.0	4.5
(마)	B	공기	3.0	5.1
(바)	B	A	3.0	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. ㉠>5.1이다.
ㄴ. 레이저 빛의 속력은 A에서가 B에서보다 크다.
ㄷ. 임계각은 레이저 빛이 A에서 공기로 진행할 때가 B에서 공기로 진행할 때보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. L은 $\sin\theta$의 값과 동일하다.
(라), (마)의 결과를 통해 B가 A보다 더 많이 자신의 쪽으로 빛을 잡아당김을 파악할 수 있다.
따라서 굴절률은 B > A > 공기이다.
(마)의 결과에서 Ⅱ를 A로 바꾸면 5.1보다 작다. (X)

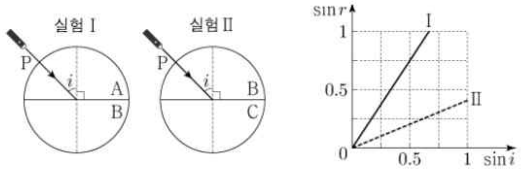
ㄴ. 굴절률은 B > A이므로 속력은 B < A이다 .(O)

ㄷ. 굴절률의 차이는 B가 크므로 임계각은 A > B이다. (O)

예제4 원통형 굴절

다음은 빛의 성질을 알아보는 실험이다.

[실험 과정 및 결과]
(가) 반원형 매질 A, B, C를 준비한다.
(나) 그림과 같이 반원형 매질을 서로 붙여 놓고, 단색광 P의 입사각(i)를 변화시키면서 굴절각(r)을 측정하여 $\sin r$ 값을 $\sin i$ 값에 따라 나타낸다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>
ㄱ. 굴절률은 A가 B보다 크다.
ㄴ. P의 속력은 B에서가 C에서보다 작다.
ㄷ. I에서 $\sin i_0 = 0.75$인 입사각 i_0으로 P를 입사시키면 전반사가 일어난다.

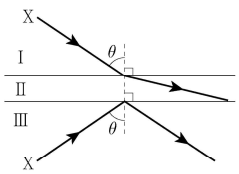
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설
ㄱ. 실험 I에서 입사각<굴절각이므로 굴절률은 A > B이다. (O)
ㄴ. 실험 II에서 입사각>굴절각이므로 굴절률은 B < C이다.
따라서 P의 속력은 B > C이다. (X)
ㄷ. 그래프를 참조하면 전반사가 일어난다. (O)

유형 01 다양한 전반사 상황

01 2022학년도 9월 15번 정답률 79%

15. 그림과 같이 단색광 X가 입사각 θ로 매질 Ⅰ에서 매질 Ⅱ로 입사할 때는 굴절하고, X가 입사각 θ로 매질 Ⅲ에서 Ⅱ로 입사할 때는 전반사한다.



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

<보 기>

ㄱ. 굴절률은 Ⅱ가 가장 크다.
ㄴ. X가 Ⅱ에서 Ⅲ으로 진행할 때 전반사한다.
ㄷ. 임계각은 X가 Ⅰ에서 Ⅱ로 입사할 때가 Ⅲ에서 Ⅱ로 입사할 때보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

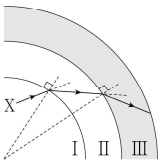
정 답 ②

해 설

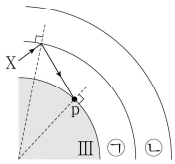
ㄱ. 굴절률은 Ⅲ > Ⅰ > Ⅱ이다. (X)
ㄴ. 굴절률 관계로 전반사를 할 수 없다. (X)
ㄷ. 굴절률 차이는 Ⅰ-Ⅱ < Ⅲ-Ⅱ이므로 임계각은 Ⅰ-Ⅱ > Ⅲ-Ⅱ이다. (O)

02 2023학년도 9월 9번 정답률 72%

9. 그림 (가)는 단색광 X가 매질 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ의 반원형 경계면을 지나는 모습을, (나)는 (가)에서 매질을 바꾸었을 때 X가 매질 ㉠과 ㉡ 사이의 임계각으로 입사하여 점 p에 도달한 모습을 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 각각 Ⅰ과 Ⅱ 중 하나이다.



(가)



(나)

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

<보 기>

ㄱ. 굴절률은 Ⅰ이 가장 크다.
ㄴ. ㉡은 Ⅱ이다.
ㄷ. (나)에서 X는 p에서 전반사한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

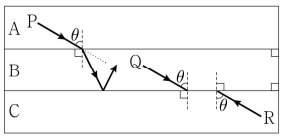
정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 굴절률은 Ⅰ>Ⅱ>Ⅲ이다. (O)
ㄴ. 전반사를 하므로 ㉠은 Ⅰ이고, ㉡은 Ⅱ이다. (O)
ㄷ. 임계각은 Ⅰ,Ⅱ<Ⅰ,Ⅲ이다. 따라서 p에서 전반사하지 않는다. (X)

03 2025학년도 수능 14번 정답률 79%

14. 그림은 동일한 단색광 P, Q, R를 입사각 θ로 각각 매질 A에서 매질 B로, B에서 매질 C로, C에서 B로 입사시키는 모습을 나타낸 것이다. P는 A와 B의 경계면에서 굴절하여 B와 C의 경계면에서 전반사한다.



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

<보 기>

ㄱ. 굴절률은 A가 C보다 크다.
ㄴ. Q는 B와 C의 경계면에서 전반사한다.
ㄷ. R는 B와 A의 경계면에서 전반사한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

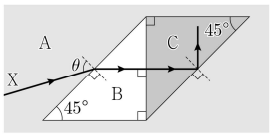
정 답 ③

해 설

ㄱ. P에 대해서 B는 내부 상쇄이므로 굴절률은 A>C이다. (O)
ㄴ. 입사각이 커졌으므로 전반사를 유지한다. (O)
ㄷ. 굴절률 관계는 B>A>C이고, BC의 경계면에서 전반사를 하는 상태이다. 이때 AB의 임계각은 BC의 임계각보다 크다. 입사각은 θ로 동일하므로 전반사를 하지 않는다. (X)

04 2026학년도 6월 13번 정답률 61%

13. 그림과 같이 단색광 X가 매질 A에서 매질 B에 입사각 θ로 입사한 후 매질 C와 A의 경계면에서 전반사한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. X의 속력은 A에서가 B에서보다 크다.
ㄴ. 굴절률은 B가 C보다 크다.
ㄷ. C와 A 사이의 임계각은 θ보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

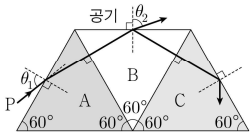
정 답 ①

해 설

ㄱ. 굴절률은 A < B이므로 속력은 A > B이다. (O)
ㄴ. B에서 역진의 원리로 A에 빛을 발사했을 때 전반사가 일어나지 않고, C에서 A에 대해 빛을 발사했을 때 전반사가 일어나는 것을 통해 C가 B보다 빛을 잡아당기는 힘이 더 크다고 해석할 수 있다. 따라서 굴절률은 B < C이다. (X)
ㄷ. θ는 45° 보다 크고, C와 A 사이의 임계각은 $\theta_c < 45°$ 이다. (X)

05 2026학년도 수능 11번 정답률 62%

11. 그림과 같이 단색광 P가 공기에서 매질 A에 입사각 θ_1로 입사한다. 매질 B와 공기의 경계면에서 P의 일부는 굴절각 θ_2로 굴절하여 진행하고 일부는 반사한 후 매질 C와 공기의 경계면에서 전반사한다. $\theta_2 > \theta_1$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 굴절률은 A가 B보다 크다.
ㄴ. P의 속력은 B에서가 C에서보다 크다.
ㄷ. P가 B와 공기의 경계면에서 전반사하게 하려면 θ_1을 증가시켜야 한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

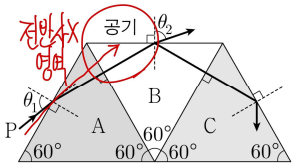
정 답 ②

해 설

$\theta_2 > \theta_1$이므로 B가 A보다 빛을 더 많이 잡아당긴다.
따라서 $n_B > n_A$이다.

또한 매질 C와 공기의 경계면에서 전반사가 이루어지므로 최종적으로 $n_C > n_B > n_A$이다.

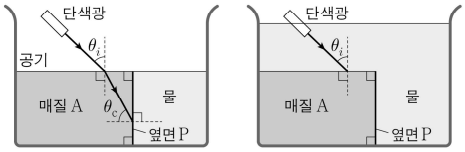
ㄱ. 굴절률은 B > A이다. (X)
ㄴ. 굴절률은 B < C이므로 속력은 B > C이다. (O)
ㄷ. θ_1을 감소시켜야 전반사 영역에 들어온다. (X)



유형 02 사각형 굴절

01 2024학년도 6월 16번 정답률 45%

16. 그림 (가)는 단색광이 공기에서 매질 A로 입사각 θ_i로 입사한 후, 매질 A의 옆면 P에 임계각 θ_c로 입사하는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에 물을 더 넣고 단색광을 θ_i로 입사시킨 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A의 굴절률은 물의 굴절률보다 크다.
ㄴ. (가)에서 θ_i를 증가시키면 옆면 P에서 전반사가 일어난다.
ㄷ. (나)에서 단색광은 옆면 P에서 진반사한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

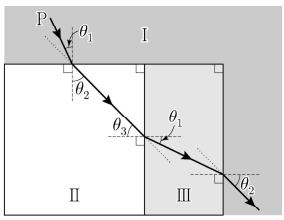
정 답 ①

해 설

ㄱ. 전반사가 일어나므로 A의 굴절률은 물의 굴절률보다 크다. (O)
ㄴ. (가)에서 θ_i를 증가시키면 옆면 P에서 전반사가 일어나지 않는다. (X)
ㄷ. 물을 채우면 전반사가 일어나지 않는다. (X)

02 2025학년도 6월 15번 정답률 61%

15. 그림과 같이 단색광 P가 매질 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ의 경계면에서 굴절하며 진행한다. P가 Ⅰ에서 Ⅱ로 진행할 때 입사각과 굴절각은 각각 θ_1, θ_2이고, Ⅱ에서 Ⅲ으로 진행할 때 입사각과 굴절각은 각각 θ_3, θ_1이며, Ⅲ에서 Ⅰ로 진행할 때 굴절각은 θ_2이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. P의 파장은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 짧다.
ㄴ. P의 속력은 Ⅰ에서가 Ⅲ에서보다 크다.
ㄷ. $\theta_3 > \theta_2$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

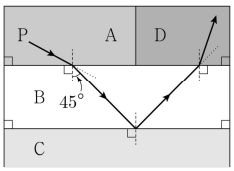
정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 굴절률은 Ⅰ>Ⅱ이다. 따라서 파장은 Ⅰ<Ⅱ이다. (O)
ㄴ. 굴절률은 Ⅰ<Ⅲ이다. 따라서 속력은 Ⅰ>Ⅲ이다. (O)
ㄷ. 굴절률의 관계는 Ⅲ>Ⅰ>Ⅱ이다.
Ⅰ, Ⅲ에서 입사각을 θ_1으로 했을 때 굴절각은 $\theta_3 > \theta_2$이다. (O)

03 2025학년도 9월 8번 정답률 79%

8. 그림은 매질 A에서 매질 B로 입사한 단색광 P가 굴절각 45°로 진행하여 B와 매질 C의 경계면에서 진반사한 후 B와 매질 D의 경계면에서 굴절하여 진행하는 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. B와 C 사이의 임계각은 45°보다 크다.
ㄴ. 굴절률은 A가 C보다 크다.
ㄷ. P의 속력은 A에서가 D에서보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

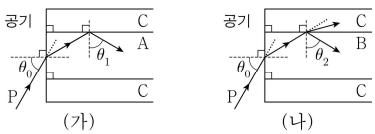
정 답 ④

해 설

ㄱ. B와 C 사이의 임계각은 45° 보다 작아야 전반사를 한다. (X)
ㄴ. B를 내부 상쇄로 보면 AC에서 전반사를 하므로 굴절률은 A가 C보다 크다. (O)
ㄷ. B의 입장에서 봤을 때 굴절률은 A<D이다. 따라서 속력은 A>D이다. (O)

04 2026학년도 9월 9번 정답률 74%

9. 그림 (가), (나)와 같이 단색광 P를 각각 매질 A, B에 입사각 θ_0으로 입사시킨다. (가)에서 P는 A와 매질 C의 경계면에서 반사각 θ_1로 전반사한다. (나)에서 P는 B와 C의 경계면에서 일부는 굴절하고 일부는 반사각 θ_2로 반사한다.



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

<보 기>

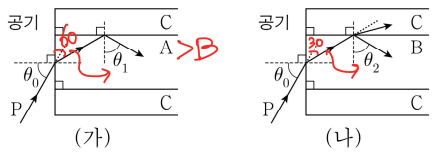
ㄱ. 굴절률은 A가 B보다 크다.
ㄴ. $\theta_1 < \theta_2$이다.
ㄷ. (나)에서 P가 B와 C의 경계면에서 전반사하게 하려면 θ_0을 증가시켜야 한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

ㄱ. A는 전반사를 만들어내므로 빛을 더 잡아당긴다. 따라서 굴절률은 A > B이다. (O)
ㄴ. A가 B보다 공기에서 온 빛을 더 잡아당기므로 $\theta_1 > \theta_2$이다. 아래 그림을 참고하면 이해가 쉽다. (X)



ㄷ. θ_0을 감소시켜야 전반사O 영역에 들어온다. (X)

유형 03 원통형 굴절

01 2022학년도 6월 16번 정답률 54%

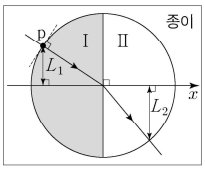
16. 다음은 빛의 성질을 알아보는 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 반원 Ⅰ, Ⅱ로 구성된 원이 그려진 종이면의 Ⅰ에 반원형 유리 A를 올려놓는다.

(나) 레이저 빛이 점 p에서 유리면에 수직으로 입사하도록 한다.

(다) 그림과 같이 빛이 진행하는 경로를 종이면에 그린다.



(라) p와 x축 사이의 거리 L_1, 빛의 경로가 Ⅱ의 호와 만나는 점과 x축 사이의 거리 L_2를 측정한다.

(마) (가)에서 Ⅰ의 A를 반원형 유리 B로 바꾸고, (나)~(라)를 반복한다.

(바) (마)에서 Ⅱ에 A를 올려놓고, (나)~(라)를 반복한다.

〔실험 결과〕

과정	Ⅰ	Ⅱ	L_1(cm)	L_2(cm)
(라)	A	공기	3.0	4.5
(마)	B	공기	3.0	5.1
(바)	B	A	3.0	㉠

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

<보 기>

ㄱ. ㉠ > 5.1이다.

ㄴ. 레이저 빛의 속력은 A에서가 B에서보다 크다.

ㄷ. 임계각은 레이저 빛이 A에서 공기로 진행할 때가 B에서 공기로 진행할 때보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

ㄱ. L값은 sin값과 비례한다. 각은 A<공기이므로 굴절률은 A>공기이다. 따라서 (바)의 Ⅱ에 공기 대신에 A를 넣으면 자신쪽으로 빛을 잡아당기므로 굴절각은 감소한다. 따라서 ㉠<5.1이다. (X)

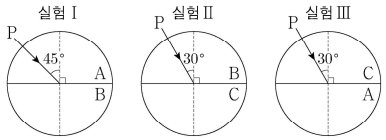
ㄴ. B가 A보다 더 세게 빛을 잡아당기므로 굴절률은 B>A이다. 따라서 빛의 속력은 B<A이다. (O)

ㄷ. 굴절률은 B>A>공기 이므로 임계각이 큰 것은 굴절률 차이가 작은 A~공기이다. (O)

02 2022학년도 수능 11번 정답률 71%

11. 다음은 빛의 성질을 알아보는 실험이다.

〔실험 과정〕
(가) 반원형 매질 A, B, C를 준비한다.
(나) 그림과 같이 반원형 매질을 서로 붙여 놓고 단색광 P를 입사시켜 입사각과 굴절각을 측정한다.



〔실험 결과〕

실험	입사각	굴절각
I	45°	30°
II	30°	25°
III	30°	㉠

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

<보 기>
ㄱ. ㉠은 45° 보다 크다.
ㄴ. P의 파장은 A에서가 B에서보다 짧다.
ㄷ. 임계각은 P가 B에서 A로 진행할 때가 C에서 A로 진행할 때보다 작다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

ㄱ. 45도는 실험 I에서 A의 각도이다.

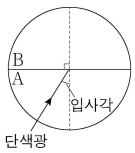
	A	B	C	
I	45	30	25	II
III	45↑		30	III

위와 같이 표로 정리해보면 ㉠은 45° 보다 크다. (O)
ㄴ. P의 파장은 각도가 A>B>C이므로 파장도 A>B이다. (X)
ㄷ. 임계각은 AB사이가 AC사이보다 크다. (X)

03 2023학년도 6월 15번 정답률 77%

15. 다음은 빛의 성질을 알아보는 실험이다.

〔실험 과정〕
(가) 그림과 같이 반원형 매질 A와 B를 서로 붙여 놓는다.
(나) 단색광을 A에서 B를 향해 원의 중심을 지나도록 입사시킨다.
(다) (나)에서 입사각을 변화시키면서 굴절각과 반사각을 측정한다.



〔실험 결과〕

실험	입사각	굴절각	반사각
Ⅰ	30°	34°	30°
Ⅱ	㉠	59°	50°
Ⅲ	70°	해당 없음	70°

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

<보 기>
ㄱ. ㉠은 50°이다.
ㄴ. 단색광의 속력은 A에서가 B에서보다 크다.
ㄷ. A와 B 사이의 임계각은 70°보다 크다.

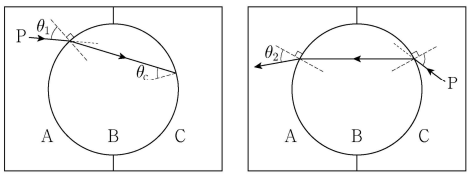
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설
ㄱ. 반사각이 50° 이므로 입사각도 50° 이다. (O)
ㄴ. 각은 A<B이므로 속력도 A<B이다. (X)
ㄷ. 70° 로 빛을 입사시켰을 때 전반사가 일어나지 않았으므로 임계각은 70° 보다 작다. (X)

05 2023학년도 수능 11번 정답률 68%

11. 그림 (가)는 매질 A에서 원형 매질 B에 입사각 θ_1로 입사한 단색광 P가 B와 매질 C의 경계면에 임계각 θ_c로 입사하는 모습을, (나)는 C에서 B로 입사한 P가 B와 A의 경계면에서 굴절각 θ_2로 진행하는 모습을 나타낸 것이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>
ㄱ. P의 파장은 A에서가 B에서보다 길다.
ㄴ. $\theta_1 < \theta_2$이다.
ㄷ. A와 B 사이의 임계각은 θ_c보다 작다.

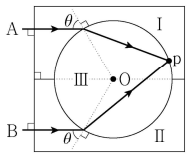
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설
ㄱ. 굴절률은 B>A>C이다. 따라서 파장은 B<A이다. (O)
ㄴ. C는 (가)>(나)이다. 따라서 A도 (가)>(나)이므로 $\theta_1 > \theta_2$ 이다. (X)
ㄷ. 굴절률은 B>A>C이다. BC의 임계각이 θ_c이므로 AB의 임계각은 θ_c보다 크다. (X)

06 2024학년도 9월 14번 정답률 63%

14. 그림은 동일한 단색광 A, B를 각각 매질 Ⅰ, Ⅱ에서 중심이 O인 원형 모양의 매질 Ⅲ으로 동일한 입사각 θ로 입사시켰더니, A와 B가 굴절하여 점 p에 입사하는 모습을 나타낸 것이다.



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

<보 기>

ㄱ. A의 파상은 Ⅰ에서가 Ⅲ에서보다 길다.
ㄴ. 굴절률은 Ⅰ이 Ⅱ보다 크다.
ㄷ. p에서 B는 전반사한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

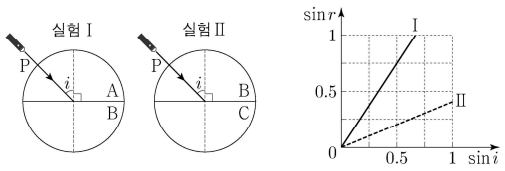
해 설

ㄱ. 각은 Ⅰ>Ⅲ이므로 파장은 Ⅰ>Ⅲ이다. (O)
ㄴ. Ⅲ에서 Ⅰ보다 Ⅱ에서 빛을 잡아당기므로 굴절률은 Ⅲ>Ⅰ>Ⅱ이다. (O)
ㄷ. A, B는 p에서 중간 상쇄에 의해서 전반사하지 않는다. (X)

07 2024학년도 수능 14번 정답률 66%

14. 다음은 빛의 성질을 알아보는 실험이다.

〔실험 과정 및 결과〕
(가) 반원형 매질 A, B, C를 준비한다.
(나) 그림과 같이 반원형 매질을 서로 붙여 놓고, 단색광 P의 입사각(i)을 변화시키면서 굴절각(r)을 측정하여 $\sin r$ 값을 $\sin i$ 값에 따라 나타낸다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 굴절률은 A가 B보다 크다.
ㄴ. P의 속력은 B에서가 C에서보다 작다.
ㄷ. Ⅰ에서 $\sin i_0 = 0.75$인 입사각 i_0으로 P를 입사시키면 전반사가 일어난다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

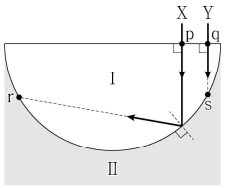
해 설

그래프 분석) 기울기가 1보다 크면 입사각<굴절각이다.
Ⅰ) 입사각(A)<굴절각(B) → 굴절률 : A>B
Ⅱ) 입사각(B)>굴절각(C) → 굴절률 : B<C

ㄱ. 굴절률 : A>B (O)
ㄴ. P의 속력은 B>C이다. (X)
ㄷ. 굴절각이 1을 넘어간다. 이는 전반사를 의미한다. (O)

08 2025학년도 6월 9번 정답률 78%

9. 그림과 같이 동일한 단색광 X, Y가 반원형 매질 Ⅰ에 수직으로 입사한다. 점 p에 입사한 X는 Ⅰ과 매질 Ⅱ의 경계면에서 전반사한 후 점 r를 향해 진행한다. 점 q에 입사한 Y는 점 s를 향해 진행한다. r, s는 Ⅰ과 Ⅱ의 경계면에 있는 점이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 굴절률은 Ⅰ이 Ⅱ보다 크다.
ㄴ. X는 r에서 전반사한다.
ㄷ. Y는 s에서 전반사한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 전반사가 일어나므로 굴절률은 Ⅰ>Ⅱ이다. (O)
ㄴ. X는 r에서 전반사한다. (O)
ㄷ. Y는 입사각이 X에 비해 커졌으므로 전반사한다. (O)

PART 4
파동의 간섭

개념 유형

(1) 파동의 중첩
(2) 소리의 간섭
(3) 물결파의 간섭

기출 유형

(1) 파동의 간섭
(2) 소리의 간섭
(3) 빛의 간섭
(4) 물결파의 간섭

THEME

1 — 파동의 중첩

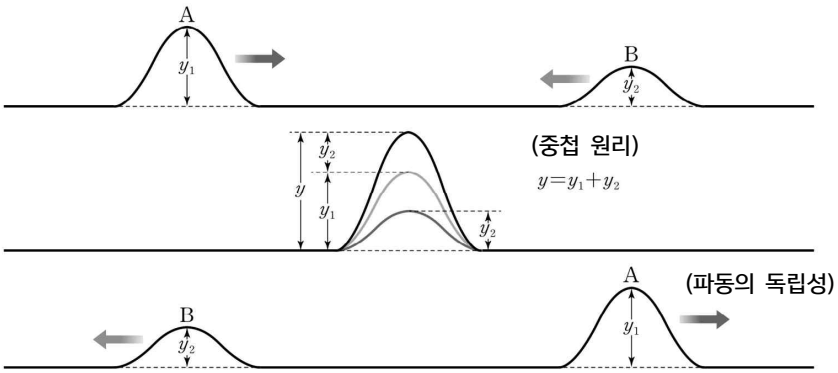
정리1 파동의 중첩과 독립성

개념1 파동의 중첩과 독립성

파동은 파동방정식 $\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}=\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$을 만족한다. 이 파동방정식의 해를 $y_1(x,t)$, $y_2(x,t)$라고 한다면 이들의 임의의 선형 결합 $y(x,t)=c_1y_1(x,t)+c_2y_2(x,t)$ 또한 방정식의 해가 된다는 의미이다. (단, c_1, c_2는 상수)

물리적으로 이는 두 개 이상의 파동이 같은 매질 내에 동시에 존재할 때, 특정 시공간 지점에서의 총 변위는 각 파동이 독립적으로 만들었을 변위의 벡터 합과 같다는 것을 의미한다. 이것이 바로 중첩 원리이다. (단, 파동의 진폭이 충분히 작을 때만 성립한다.)

파동의 독립성은 중첩 원리의 필연적인 귀결이다. 여러 파동이 서로를 통과하며 중첩되는 동안에는 간섭(interference) 현상으로 인해 복잡한 합성파를 형성하지만, 서로를 지나쳐 분리된 후에는 각각의 파동이 원래의 파형, 진폭, 주파수, 위상 등의 고유한 특성을 그대로 유지하며 진행합니다. 즉, 파동들은 서로의 존재에 의해 영구적인 변형을 겪지 않는다.

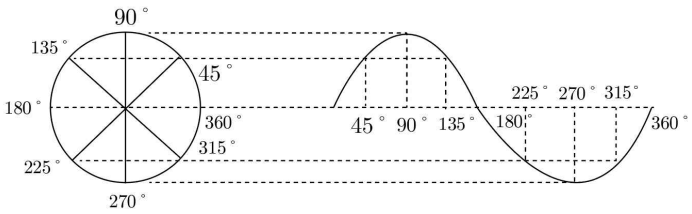


개념2 파동의 위상(Phase)

앞서 파동(단순 조화파)은 보통 코사인 함수 $y(x,t)=A\cos(kx-wt+\phi_0)$로 표현된다.

여기서 괄호 안의 전체 항, 즉 $\Phi(x,t)=kx-wt+\phi_0$을 위상이라고 한다.

다른 표현으로는 반복되는 파형의 한 주기에서 첫 시작점의 각도 혹은 어느 한 순간의 위치를 말한다.



개념3 '위상이 같다'는 의미

① 진동수(파장)가 동일해야 한다. (속력 일정)

② 위상이 동일한 지점은 2π마다 반복된다.

③ 위상이 동일하다는 소리는 변위가 같다는 이야기이다.

개념4 위상의 비교

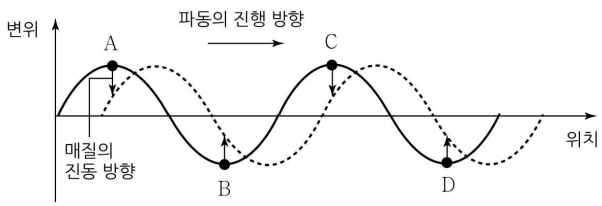
① 점 A, C는 위상이 같다.

② 점 B, D는 위상이 같다.

③ 점 A, B는 위상이 반대다.

④ 점 B, C는 위상이 반대다.

⑤ 위상이 반대인 이웃한점 사이의 거리는 $\frac{1}{2}\lambda$이다.



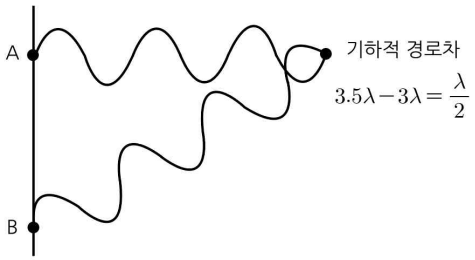
정리2 시간에 따른 한 점에서의 간섭 (중첩 원리)

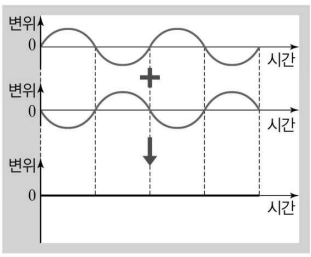
개념1 상쇄 간섭

① 한 점에서 간섭하는 두 파동의 변위의 방향이 반대(위상 $\Delta\phi=(2n+1)\pi$)여서 중첩되기 전보다 진폭이 작아지는 간섭이다.
만약 진폭이 $4m$, $2m$ 다른 두 파동이 보강 간섭하면 진폭은 $2m$이다.

② 기하적 경로차가 $\frac{\lambda}{2}$, $\frac{3\lambda}{2}$, $\frac{5\lambda}{2}$, $\cdots$, $\frac{\lambda}{2}(2m+1)$인 점에서 상쇄 간섭이 나타난다.

③ 상쇄 간섭에서는 아무리 시간이 지나도 파동의 변위는 0이다.



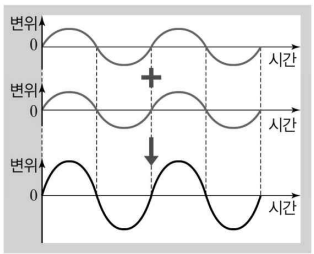


개념2 보강 간섭

① 한 점에서 간섭하는 두 파동의 변위의 방향이 같아서(위상차 $\Delta\phi=2n\pi$이 중첩되기 전보다 진폭이 커지는 간섭이다.
만약 진폭이 $4m$, $2m$ 다른 두 파동이 보강 간섭하면 진폭은 $6m$이다.

② 위상이 동일한 두 파동이므로 기하적 경로차가 0, λ, 2λ, $\cdots$, $\frac{\lambda}{2}(2m)$인 점에서 보강 간섭이 나타난다.

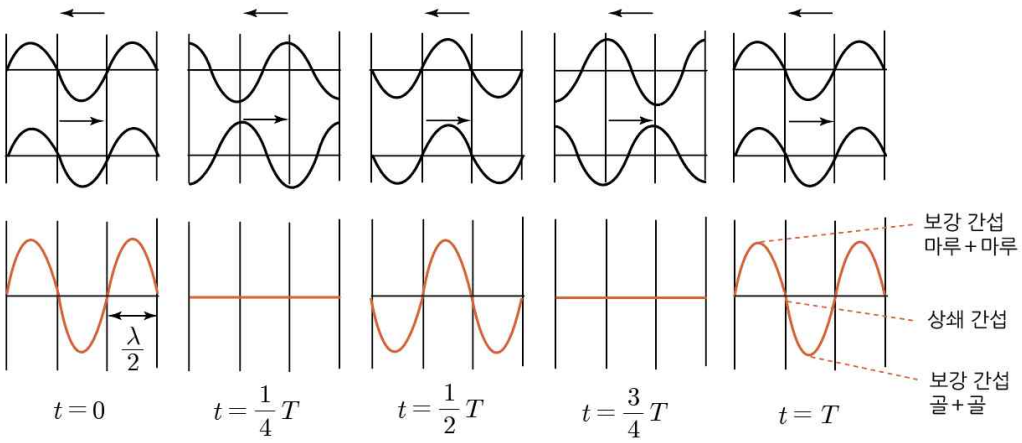
③ 보강 간섭하는 지점은 시간에 따라 변위가 변한다. (단, 보강 간섭하면 합성 진동수 = 합성 전 진동수)



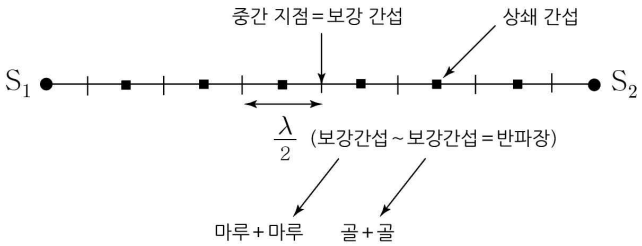
정리3 위치에 따른 간섭

개념 **시간에 따른 간섭 지점 확인**

아래 그림은 서로 반대 방향으로 진행하는 두 파동이 만나 정상파(standing wave)를 형성하는 과정을 시간에 따라 보여준다.



시간에 따른 간섭 지점을 정리해보면 아래와 같다.



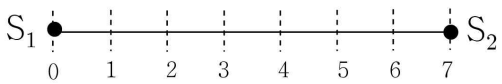
① 그래프에서 보강 간섭과 보강 간섭 사이(중앙)에는 상쇄 간섭이 있다.
↳ 골+골 ↳ 마루+마루

② 인접한 두 보강 간섭-보강 간섭 사이의 거리는 $\frac{\lambda}{2}$이다.

③ 정상파의 주기는 원래 파동의 주기와 같다.

예제

그림은 $7m$ 떨어진 두 파원 S_1, S_2에서 파장이 $2m$이고 위상이 같은 파동을 보내는 것을 나타낸 것이다. $0\sim7m$ 사이에 나타나는 보강 간섭과 상쇄 간섭을 모두 나타내시오.

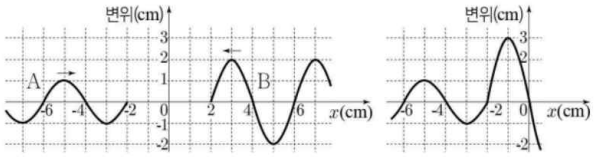


해설

① 중간 지점인 $3.5m$에 보강 간섭 발생
② 보강에서 보강까지는 반파장인 $1m$ 간격이므로,
보강은 $0.5m$, $1.5m$, $2.5m$, $3.5m$, $4.5m$, $5.5m$, $6.5m$
총 7개이다.
③ 상쇄는 보강과 보강 중간에 있으므로, 상쇄는
$0m$, $1m$, $2m$, $3m$, $4m$, $5m$, $6m$, $7m$
총 8개이다.

예제1 파동의 간섭

그림 (가)는 파장과 속력이 같고 연속적으로 발생되는 두 파동 A, B가 서로 반대 방향으로 진행할 때 시간 $t=0$인 순간의 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 $t=1$초일 때, A, B가 중첩된 모습을 나타낸 것이다.



(가) (나)

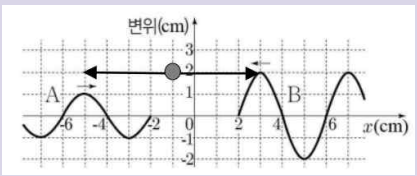
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

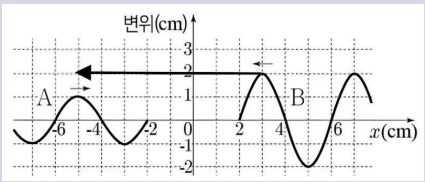
ㄱ. A의 속력은 $2cm/s$이다.
ㄴ. B의 주기는 1초이다.
ㄷ. $t=2$초일 때 $x=-5cm$에서 변위의 크기는 $3cm$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설



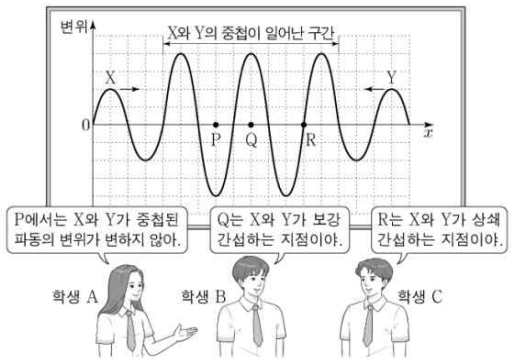
ㄱ. 1초동안 $4cm$이동했으므로 A의 속력은 $4cm/s$이다. (X)
ㄴ. B의 파장은 $4cm$이므로 주기는 1초이다. (O)
ㄷ.



$t=2$초일 때 $x=-5cm$에서 B의 마루가 온다.
A의 주기가 1초이므로 2초일 때 A의 마루이다.
따라서 변위의 크기는 $3cm$이다. (O)

예제2 파동의 간섭

그림은 진행 방향이 서로 반대인 동일한 두 파동 X, Y의 중첩에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다. 점 P, Q, R는 x축 상의 고정된 점이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

① A ② B ③ A, C ④ B, C ⑤ A, B, C

해설

A: P에서는 변위가 존재하므로 보강 간섭인 지점이다. (X)
B: Q에서는 변위가 존재하므로 보강 간섭인 지점이다. (X)
(참고: 상쇄 간섭이면 변위가 0이다.)
C: 단일 파동의 파장은 $\lambda=4$이다.
따라서 인접한 두 보강 간섭 사이의 거리는 2이다.
Q에서 R은 3칸 떨어져 있으므로 R은 상쇄 간섭하는 지점이다. (O)
*변위가 0이라고 무턱대고 상쇄간섭이라고 하면 안됨.

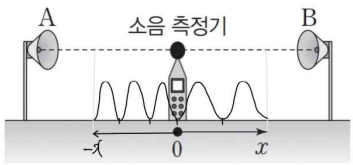
THEME

2 — 소리의 간섭

정리1 소리의 간섭

개념1 1차원 소리의 간섭

동일한 소리(같은 진동수)를 내보내는 두 개의 스피커A, B가 서로 마주 보고 있다. 그 사이에는 '소음 측정기'가 있어 위치를 옮겨가며 소리의 세기를 측정할 수 있다. 스피커 A에서 나온 소리와 B에서 나온 소리가 서로 반대 방향으로 진행하다가 만나 간섭을 일으킨다. 이 결과, 소리가 이동하지 않고 제자리에서 커졌다 작아졌다 하는 것처럼 느껴지는 정상파 패턴이 공간에 형성된다.



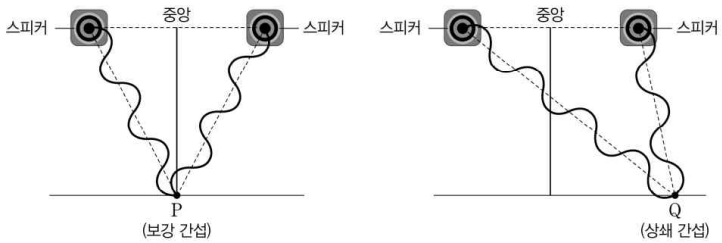
① AB 가운데의 기하적 위상차는 0이다. 하지만 상쇄 간섭이 일어나기 때문에 A와 B에서는 반대 위상의 파동이 발생한다.
② 진동수가 f_1일 때 오른쪽과 같이 소리의 세기가 그려지고, 진동수가 f_2일 때 왼쪽과 같이 소리의 세기가 그려진다.

- f_1일 때, 상쇄-상쇄 사이의 거리는 $\frac{\lambda_1}{2}=\frac{x}{2} \rightarrow \lambda_1 = x$
- f_2일 때, 상쇄-상쇄 사이의 거리는 $\frac{\lambda_2}{2}=\frac{x}{3} \rightarrow \lambda_2 = \frac{2}{3}x$

따라서 파장의 비는 3 : 2이다. (같은 거리에 파동이 2 : 3으로 있으므로 파장의 비는 3 : 2이다. 라고 해석해도 좋다.)
그러므로 진동수의 비는 2 : 3가 된다.

개념2 2차원 소리의 간섭

신호 발생기에서 세기와 진동수가 일정한 소리를 발생시켜 두 스피커를 통해 나오게 하고, 스피커의 배열 방향과 나란한 방향으로 조금씩 이동하면서 임의의 한 점에서 소리를 들어 보면 소리가 작게 들리는 곳과 소리가 크게 들리는 곳이 있다.



① 위상의 반대
서로 다른 위상으로 두 파동을 쏜다면 보강 간섭이였던 지점에서 상쇄 간섭으로 변한다.
반대로 상쇄 간섭이였던 지점에서는 보강 간섭으로 변한다.

② 진동수의 증가
진동수를 증가시키면 파장이 짧아진다. 따라서 상쇄 또는 보강이였던 점은 원점으로 이동한다.

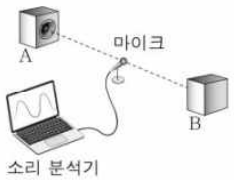
③ 대칭성
원점에 대해서 $+x$만큼 떨어진 지점에서 상쇄 간섭이였다면, $-x$만큼 떨어진 지점에서도 상쇄 간섭이다.
이러한 대칭성에 의하여 ab 사이의 보강 간섭의 개수가 홀수 개이고, 상쇄 간섭의 개수는 짝수 개이다.

예제1 1차원 간섭

다음은 소리의 간섭 실험이다.

[실험 과정]

(가) 약 $1m$ 떨어져 서로 마주 보고 있는 스피커 A, B에서 진동수가 ㉠인 소리를 같은 세기로 발생시킨다.



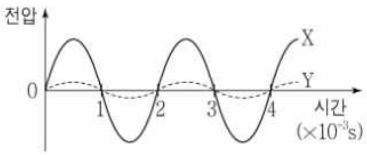
(나) 마이크를 A와 B 사이에서 이동시키면서 ㉡ 소리의 세기가 가장 작은 지점을 찾아 마이크를 고정시킨다.

(다) 소리의 파형을 측정한다.

(라) B만 끈 후 소리의 파형을 측정한다.

[실험 결과]

○ X, Y : (다), (라)의 결과를 구분 없이 나타낸 그래프



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. ㉠은 500Hz이다.
ㄴ. ㉡에서 간섭한 소리의 위상은 서로 같다.
ㄷ. (라)의 결과는 Y이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 주기는 2×10^{-3}이다. 따라서 진동수 $f=500Hz$이다. (O)
ㄴ. Y는 동시에 켜서 파동이 상쇄되었다. (X)
ㄷ. B를 끄면 결과는 X이다. (X)

예제2 1차원 간섭

다음은 소리의 간섭에 대한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 수평면에 놓인 스피커 A, B 사이에 음파 측정기를 놓는다.

(나) A, B에서 위상이 같고 진동수가 f_0인 소리를 발생시킨 후 음파 측정기를 좌우로 이동하면서 ㉠ 소리의 세기가 최대인 이웃한 두 점 사이의 거리를 측정한다.

(다) 진동수를 f_1로 바꾸고 (나)를 반복한다.



[실험 결과]

진동수	소리의 세기가 최대인 이웃한 두 점 사이의 거리
f_0	$2d$
f_1	$3d$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. (나)에서 발생한 소리의 파장은 $2d$이다.

ㄴ. ㉠ 현상이 나타나는 지점에서는 A와 B에서 발생한 두 소리가 보강 간섭한다.

ㄷ. $\frac{f_0}{f_1}=\frac{2}{3}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 보강과 보강인 지점 사이의 거리의 2배가 음파의 파장이므로 $\lambda = 4d$이다. (X)

ㄴ. 소리의 세기가 최대이므로 보강 간섭이다. (O)

ㄷ. 소리의 속력을 v라고 하면 $f_0 = \frac{v}{4d}$, $f_1 = \frac{v}{6d}$이다.

따라서 $\frac{f_0}{f_1}=\frac{3}{2}$이다. (O)

예제3 1차원 간섭

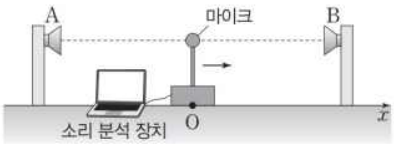
다음은 두 개의 스피커를 이용한 소리의 간섭 실험이다

[실험 과정]

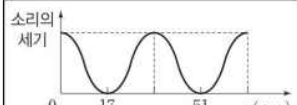
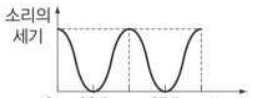
(가) 그림과 같이 x축상에 놓인 두 스피커 A, B에서 세기가 같고 진동수가 f_1인 동일한 소리를 같은 위상으로 발생시킨다.

(나) 마이크를 A와 B의 중간 지점인 O에서부터 x축을 따라 $+x$ 방향으로 이동시키면서 소리 분석 장치를 이용하여 마이크에 입력된 소리의 세기를 측정하여 O로부터 거리 x에 따라 나타낸다.

(다) (가)에서 진동수만을 f_2로 바꾸고 과정 (나)를 반복한다.



[실험 결과]

진동수가 f_1일 때	진동수가 f_2일 때
	

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 소리의 속력은 $340m/s$이고, 스피커와 마이크의 크기는 무시한다.)

<보 기>

ㄱ. $f_1 = 500\text{Hz}$이다.

ㄴ. 진동수가 f_2인 소리의 파장은 $25cm$이다.

ㄷ. (나)에서 소리의 진동수가 f_1일 때 $x = 68cm$에서 보강 간섭을 한다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 보강과 보강 사이의 거리가 $34cm$이므로 소리의 파장은 $68cm$이다. 또한 소리의 속력은 $340m/s$이므로 $f_1 = 500Hz$이다. (O)

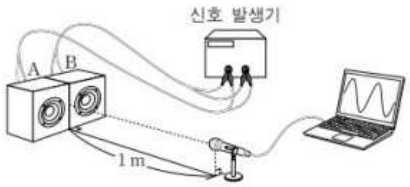
ㄴ. 보강과 보강 사이의 거리가 $25cm$이므로 파장은 $50cm$이다. (X)

ㄷ. $x = 68cm$에서 보강 간섭을 한다. (O)

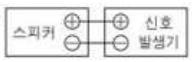
예제4 2차원 간섭

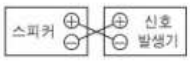
다음은 철수가 수행한 소리의 중첩에 대한 실험이다.

[실험 과정]



○ 스피커 단자와 신호 발생기 단자 사이의 연결 방법

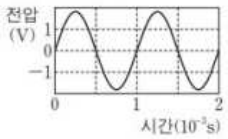
㉠ : 

㉡ : 

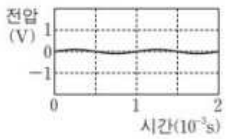
(가) 그림과 같이 동일한 스피커 A와 B를 나란히 놓고 A를 ㉠ 방법으로 신호 발생기에 연결한다.
(나) B를 ㉠ 또는 ㉡ 중 하나의 방법으로 신호 발생기에 연결한다.
(다) 스피커로부터 $1m$ 떨어진 위치에서 마이크와 소리 분석기를 이용하여 소리의 파형을 측정한다.
(라) B를 (나)에서와 다른 방법으로 신호 발생기에 연결한다.
(마) 과정 (다)를 반복한다.

[실험 결과]

○ (다)의 결과



○ (마)의 결과



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. (라)에서 B의 연결 방법은 ㉠이다.
ㄴ. (마)의 결과는 소음 제거 장치에 응용된다.
ㄷ. 소리의 파장은 $17cm$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

해설

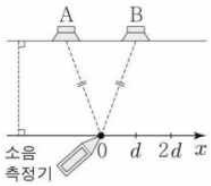
ㄱ. (마)의 결과는 정가운데서 상쇄 간섭이 일어나므로 두 개의 파동이 반대 위상으로 온다.
A = ㉠이고, B = ㉡으로 연결해야 한다. (X)
ㄴ. (마)의 결과는 상쇄 간섭이므로 소음 제거 장치에 응용된다. (O)
ㄷ. $f = 1000Hz$이고 소리의 속력이 $340m/s$이므로 소리의 파장은 $34cm$이다. (X)

예제5 2차원 간섭

다음은 소리의 간섭 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 $x=0$에서부터 같은 거리만큼 떨어진 곳에 스피커 A, B를 나란히 고정한다.



(나) A, B에서 진동수가 f이고 진폭이 동일한 소리를 발생시킨다.

(다) $+x$방향으로 이동하며 소리의 세기를 측정하여, $x=0$에서부터 처음으로 보강 간섭하는 지점과 상쇄 간섭하는 지점을 기록한다.

(라) (나)의 A, B에서 발생하는 소리의 진동수만을 $2f$로 바꾼 후, (다)를 반복한다.

(마) (나)의 A, B에서 발생하는 소리의 진동수만을 $3f$로 바꾼 후, (다)를 반복한다.

[실험 결과]

실험	소리의 진동수	보강 간섭하는 지점	상쇄 간섭하는 지점
(다)	f	$x=0$	$x=2d$
(라)	$2f$	$x=0$	$x=d$
(마)	$3f$	$x=0$	$x=$ ㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. (라)에서, 측정한 소리의 세기는 $x=0$에서가 $x=d$에서보다 작다.

ㄴ. ㉠은 d보다 작다.

ㄷ. (나)에서, A에서 발생하는 소리의 위상만을 반대로 하면 A, B에서 발생한 소리가 $x=0$에서 상쇄 간섭한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. (라)에서 $x=0$에서 보강 간섭을 하고, $x=d$에서 상쇄 간섭을 하므로 측정한 소리의 세기는 $x=0>x=d$이다. (X)

ㄴ. 진동수가 3배가 되었으므로 상쇄 간섭하는 지점은 $\frac{1}{3}$배가 된다. 따라서 ㉠은 $\frac{2}{3}d$이다. (O)

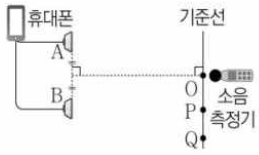
ㄷ. 소리의 위상을 반대로 하면 $x=0$에서 상쇄 간섭한다. (O)

예제6 2차원 간섭

다음은 스피커를 이용한 파동의 간섭 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 동일한 스피커 A, B를 나란하게 두고 휴대폰과 연결한다.

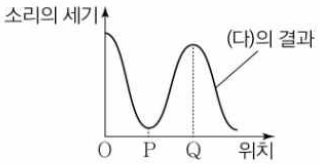


(나) A, B로부터 같은 거리에 있는 점 O에 소음 측정기를 놓고 A와 B에서 진동수와 진폭이 동일한 소리를 발생시킨다.

(다) 기준선을 따라 소음 측정기를 이동하면서 소음 측정기의 위치에 따른 소리의 세기를 측정한다.

(라) B를 제거하고 과정 (다)를 반복한다.

[실험 결과]



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A, B에서 발생한 소리는 O에서 같은 위상으로 만난다.
ㄴ. (다)에서 점 P에서는 상쇄 간섭이 일어난다.
ㄷ. 점 P에서 측정된 소리의 세기는 (다)에서가 (라)에서보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. O에서 소리의 세기가 가장 크므로 O에서 같은 위상으로 만난다. (O)
ㄴ. P에서 소리의 세기가 가장 작으므로 상쇄 간섭이다. (O)
ㄷ. 점 P에서 측정된 소리의 세기는 (다)<(라)이다. (X)

THEME

3 물결파의 간섭

정리1 물결파의 간섭(원형)

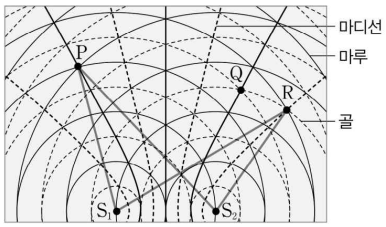
개념1 경로차가 같은 점들끼리 연결하면 쌍곡선으로 나타난다.

그림은 물결파(수면파)의 간섭 현상을 관찰하기 위한 실험 장치인 리플 탱크(ripple tank)를 보여준다. '진동판'에 연결된 '두 점파원 발생기'가 일정한 주기로 진동하며 물 표면을 친다. 이 두 점이 각각의 파동을 만드는 두 개의 점파원(point source) 역할을 한다. 같은 진동판에서 움직이므로 두 파원은 위상이 같은 동위상(in-phase) 상태이다.



위쪽의 '광원'에서 나온 빛이 물결을 통과하여 아래 '스크린'에 그림자를 만든다. 물결의 마루(높은 곳)는 볼록 렌즈처럼 빛을 모으고, 골(낮은 곳)은 오목 렌즈처럼 빛을 분산시킨다. 이 때문에 스크린에는 밝고 어두운 무늬가 생겨 물결의 모양을 쉽게 관찰할 수 있다.

① P점 경로차 $= |3\lambda - 4\lambda| = \lambda$ → 경로차가 λ인 지점 = P를 지나는 쌍곡선
② Q점 경로차 $= |3.5\lambda - 2.5\lambda| = \lambda$ → 경로차가 λ인 지점 = Q를 지나는 쌍곡선
③ R점 경로차 $= |4\lambda - 2.5\lambda| = \lambda$ → 경로차가 1.5λ인 지점 = R를 지나는 쌍곡선

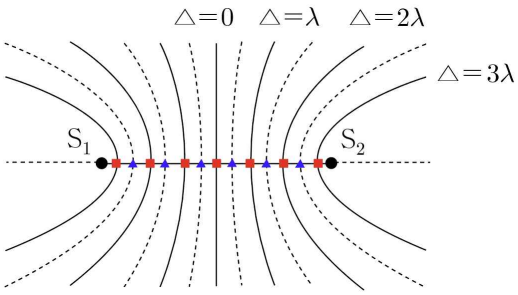


개념2 2차원 평면에서 전체 간섭 패턴을 찾는 방법

두 파원을 연결한 선분 $\overline{S_1S_2}$ 위에서 1차원 보강/상쇄 지점을 구한다.

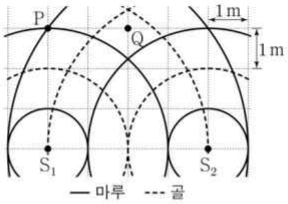
아래 그림을 보면 빨간선(상쇄선)을 통해 총 7개의 간격이 있음을 확인할 수 있고, 거리차는 3.5λ가 된다.

① 중간 지점 : 수직 이등분선으로 확장
② 중간을 제외한 간섭 지점 : 쌍곡선으로 확장
③ 양 끝점 : 파원 S_1, S_2에 보강이나 상쇄가 나타나면 직선으로 양쪽 확장



예제1 물결파의 간섭

그림과 같이 파원 S_1, S_2에서 진폭과 위상이 같은 물결파를 0.5Hz의 진동수로 발생시키고 있다. 물결파의 속력은 $1m/s$로 일정하다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

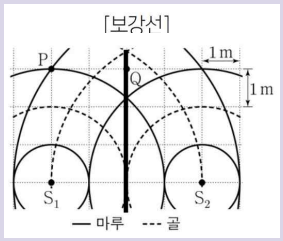
ㄱ. P에서는 보강 간섭이 일어난다.
ㄴ. Q에서 수면의 높이는 시간에 따라 변하지 않는다.
ㄷ. $\overline{PQ}$에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 수는 2개이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

해설

ㄱ. P에서 위상이 동일한 두 파동이 만나므로 보강 간섭이 일어난다. (O)

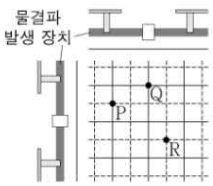
ㄴ. Q에서 수면의 높이는 시간에 따라 변한다. (X)



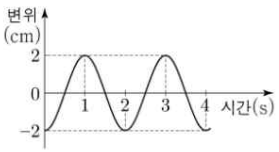
ㄷ. P에서 위상차는 $2.5\lambda - 1.5\lambda = \lambda$이다.
Q에서 위상차는 0이다.
따라서 P와 Q 사이에서 상쇄 간섭이 일어나는 점은 1개다. (X)

예제2 물결파의 간섭

그림 (가)는 진폭이 $1cm$, 속력이 $5cm/s$로 같은 두 물결파를 나타낸 것이다. 실선과 점선은 각각 물결파의 마루와 골이고, 점 P, Q, R는 평면상의 고정된 지점이다. 그림 (나)는 R에서 중첩된 물결파의 변위를 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 두 물결파의 파장은 $1cm$로 같다.
ㄴ. 1초일 때, P에서 중첩된 물결파의 변위는 $2cm$이다.
ㄷ. 2초일 때, Q에서 중첩된 물결파의 변위는 0이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. $v = 5$, $f = \frac{1}{2}$이므로 $\lambda = 10$이다. (O)

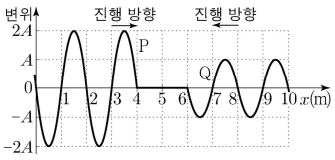
ㄴ. P에서 상쇄 간섭을 하므로 1초일 때 P에서 중첩된 물결파의 변위는 $0cm$이다. (X)

ㄷ. Q는 보강 간섭하는 점이고, 주기는 2초이므로 Q에서 중첩된 물결파의 변위는 $2cm$이다. (X)

유형 01 파동의 간섭

01 2024학년도 수능 6번 정답률 68%

6. 그림은 줄에서 연속적으로 발생하는 두 파동 P, Q가 서로 반대 방향으로 x 축과 나란하게 진행할 때, 두 파동이 만나기 전 시간 $t=0$인 순간의 줄의 모습을 나타낸 것이다. P와 Q의 진동수는 0.25 Hz로 같다.



$t=2$초부터 $t=6$초까지, $x=5\,\mathrm{m}$에서 중첩된 파동의 변위의 최댓값은?

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

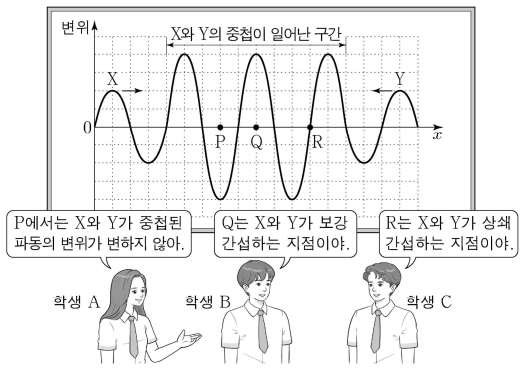
정 답 ②

해 설

두 파동은 $x=5m$에 대하여 반대 위상으로 온다.
따라서 상쇄 간섭이 계속 일어난다.
즉, P의 파동에서 변위가 A만큼 감소하게 된다.
따라서 시간에 관계 없이 $x=5m$에서 중첩된 파동의 변위의 최댓값은 A이다.

02 2025학년도 6월 6번 정답률 76%

6. 그림은 진행 방향이 서로 반대인 동일한 두 파동 X, Y의 중첩에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다. 점 P, Q, R는 x 축상의 고정된 점이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은? [3점]

① A ② B ③ A, C ④ B, C ⑤ A, B, C

정 답 ④

해 설

그림은 서로 반대 방향으로 진행하는 동일한 두 파동 X, Y가 중첩되어 형성된 정상파(standing wave) 상황을 보여주고 있다. 정상파에서 특징적인 점은 다음과 같다.

정상파의 노드(Node):
두 파동이 항상 상쇄 간섭하는 지점으로, 이 지점에서는 변위가 시간에 따라 전혀 변하지 않고 항상 0이다. 즉, 여기서는 파동이 고정된 것처럼 보이며 상쇄 간섭(파동이 서로 반대 위상으로 만나 변위가 상쇄)한다.

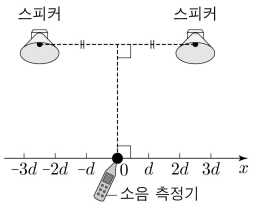
정상파의 배(Antinode):
두 파동이 항상 보강 간섭하는 지점으로, 이 지점에서는 파동의 변위가 시간에 따라 최대 진폭에서 위아래로 진동한다. 즉, 배에서는 변위 변화가 가장 크게 나타나며 보강 간섭(파동이 같은 위상으로 만나 변위가 최대)이 일어난다.

학생 A. P는 파동의 변위가 시간에 따라 변한다. (X)
학생 B. Q는 X와 Y가 보강 간섭하는 지점이다. (O)
학생 C. R는 X와 Y가 상쇄 간섭하는 지점이다. (O)

유형 02 소리의 간섭

01 2022학년도 6월 15번 정답률 54%

15. 그림과 같이 두 개의 스피커에서 진폭과 진동수가 동일한 소리를 발생시키면 $x=0$에서 보강 간섭이 일어난다. 소리의 진동수가 f_1, f_2일 때 x축상에서 $x=0$으로부터 첫 번째 보강 간섭이 일어난 지점까지의 거리는 각각 $2d$, $3d$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. $f_1 < f_2$이다.
ㄴ. f_1일 때 $x=0$과 $x=2d$ 사이에 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 있다.
ㄷ. 보강 간섭된 소리의 진동수는 스피커에서 발생한 소리의 진동수보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설

ㄱ. 첫 번째 보강 간섭이 일어난 지점은 $1<2$이다.
따라서 파장도 $1<2$이므로 진동수는 $1>2$이다. (X)
ㄴ. 보강과 보강 사이에는 상쇄 간섭인 지점이 있다. (O)
ㄷ. 보강 간섭해도 진동수는 일정하다. (X)

02 2022학년도 9월 4번 정답률 91%

4. 다음은 일상생활에서 소리의 간섭 현상을 이용한 예이다.

○ 자동차 배기 장치에는 소리의 ㉠ 간섭 현상을 이용한 구조가 있어서 소음이 줄어든다.
○ 소음 제거 헤드폰은 헤드폰의 마이크에 ㉡ 외부 소음이 입력되면 ㉠ 간섭을 일으킬 수 있는 ㉢ 소리를 헤드폰에서 발생시켜서 소음을 줄여준다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. '보강'은 ㉠에 해당한다.
ㄴ. ㉡과 ㉢은 위상이 반대이다.
ㄷ. 소리의 간섭 현상은 파동적 성질 때문에 나타난다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

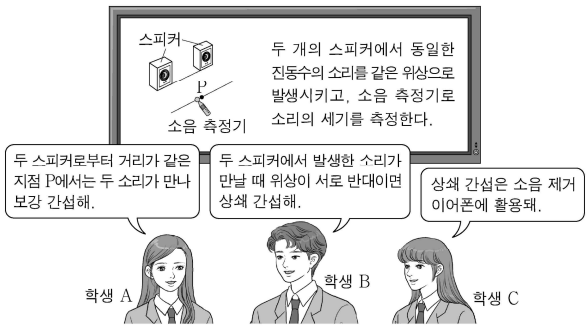
정 답 ④

해 설

ㄱ. 상쇄 간섭을 이용한다. (X)
ㄴ. 상쇄 간섭은 위상이 반대이다. (O)
ㄷ. 소리의 간섭은 파동적 성질이다. (O)

03 2023학년도 수능 2번 정답률 93%

2. 그림은 소리의 간섭 실험에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은? [3점]

① A ② B ③ A, C ④ B, C ⑤ A, B, C

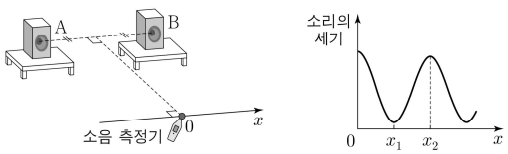
정 답 ⑤

해 설

학생 A. P에서 동일 위상이 도착하므로 보강 간섭한다. (O)
학생 B. 위상이 서로 반대이면 상쇄 간섭을 한다. (O)
학생 C. 상쇄 간섭은 소음 제거 이어폰에 활용된다. (O)

04 2026학년도 6월 12번 정답률 63%

12. 그림 (가)와 같이 진동수가 f_0인 소리를 같은 세기와 위상으로 발생시키는 스피커 A와 B를 x 축에서 같은 거리만큼 떨어진 지점에 고정하고, 소음 측정기를 $x=0$에서부터 x 축을 따라 이동시키며 소리의 세기를 측정한다. 그림 (나)는 측정된 소리의 세기를 x에 따라 나타낸 것이다. $x=0$에서 첫 번째 상쇄 간섭이 일어나는 지점, 첫 번째 보강 간섭이 일어나는 지점까지의 거리는 각각 x_1, x_2이다.



(가)

(나)

(가)에서 한 가지 변인만 바꾸었을 때의 변화에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

<보 기>

ㄱ. A를 끄면, $x=x_1$에서 소리의 세기는 A를 끄기 전보다 크다.
ㄴ. B를 끄면, $x=x_2$에서 소리의 세기는 B를 끄기 전보다 작다.
ㄷ. 소리의 진동수를 $2f_0$으로 바꾸면, $x=0$에서 첫 번째 보강 간섭이 일어나는 지점까지의 거리는 x_2보다 작다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

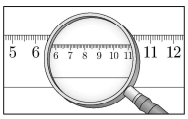
해 설

ㄱ. $x=x_1$에서는 상쇄 간섭이 일어나는 지점으로 A를 끄면 소리의 세기는 증가한다. (O)
ㄴ. $x=x_2$에서는 보강 간섭이 일어나는 지점으로 B를 끄면 소리의 세기는 감소한다. (O)
ㄷ. 소리의 진동수를 증가시키면 거리가 짧아진다. (O)

유형 03 빛의 간섭

01 2022학년도 수능 1번 정답률 79%

1. 그림 A, B, C는 빛의 성질을 활용한 예를 나타낸 것이다.



A. 렌즈를 통해 보면 물체의 크기가 다르게 보인다.



B. 렌즈에 무반사 코팅을 하면 시야가 선명해진다.



C. 보는 각도에 따라 지폐의 글자 색이 다르게 보인다.

A, B, C 중 빛의 간섭 현상을 활용한 예만을 있는 대로 고른 것은?

① A ② C ③ A, B ④ B, C ⑤ A, B, C

정 답 ④

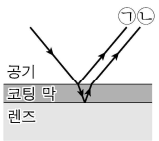
해 설

A. 빛의 굴절 현상이다. (X)
B. 상쇄 간섭이다. (O)
C. 보강 간섭이다. (O)

02 2023학년도 6월 4번 정답률 83%

4. 다음은 파동의 간섭을 활용한 무반사 코팅 렌즈에 대한 내용이다.

> 무반사 코팅 렌즈는 파동이 [ⓐ] 간섭하여 빛의 세기가 줄어드는 현상을 활용한 예로 ㉠ 공기와 코팅 막의 경계에서 반사하여 공기로 진행한 빛과 ㉡ 코팅 막과 렌즈의 경계에서 반사하여 공기로 진행한 빛이 [ⓐ] 간섭한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. '상쇄'는 ⓐ에 해당한다.
ㄴ. ㉠과 ㉡은 위상이 같다.
ㄷ. 파동의 간섭 현상은 소음 제거 이어폰에 활용된다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

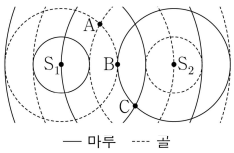
해 설

ㄱ. 상쇄 간섭이다. (O)
ㄴ. 위상이 반대다. (X)
ㄷ. 상쇄 간섭은 소음 제거에 이용된다. (O)

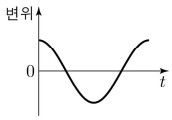
유형 04 물결파의 간섭

01 2023학년도 9월 10번 정답률 87%

10. 그림 (가)는 두 점 S_1, S_2에서 진동수와 진폭이 같고 서로 반대의 위상으로 발생시킨 두 물결파의 시각 $t=0$일 때의 모습을 나타낸 것이다. 점 A, B, C는 평면상에 고정된 세 지점이고, 두 물결파의 속력은 같다. 그림 (나)는 C에서 중첩된 물결파의 변위를 t에 따라 나타낸 것이다.

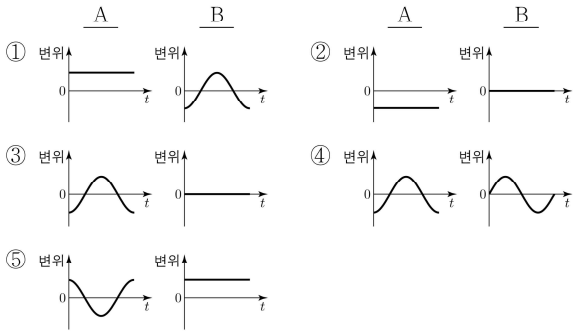


(가)



(나)

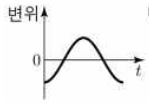
A, B에서 중첩된 물결파의 변위를 t에 따라 나타낸 것으로 가장 적절한 것은? [3점]



정 답 ③

해 설

A는 보강 간섭이 일어난다..

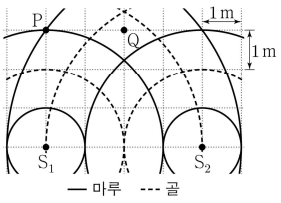


B는 상쇄 간섭이 일어난다.



02 2024학년도 6월 15번 정답률 66%

15. 그림과 같이 파원 S_1, S_2에서 진폭과 위상이 같은 물결파를 0.5Hz의 진동수로 발생시키고 있다. 물결파의 속력은 1m/s로 일정하다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 두 파원과 점 P, Q는 동일 평면상에 고정된 지점이다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. P에서는 보강 간섭이 일어난다.
ㄴ. Q에서 수면의 높이는 시간에 따라 변하지 않는다.
ㄷ. $\overline{PQ}$에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 수는 2개이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

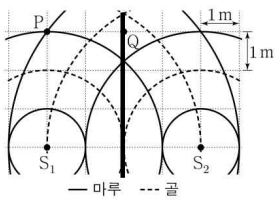
정 답 ①

해 설

ㄱ. P에서 위상이 동일한 두 파동이 만나므로 보강 간섭이 일어난다. (O)

ㄴ. Q에서 수면의 높이는 시간에 따라 변한다. (X)

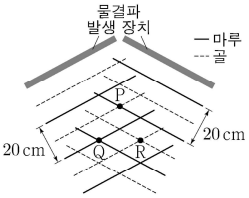
[보강선]



ㄷ. P에서 위상차는 $2.5\lambda-1.5\lambda=\lambda$이다.
Q에서 위상차는 0이다.
따라서 P와 Q 사이에 상쇄 간섭이 일어나는 점은 1개이다. (X)

03 2024학년도 9월 15번 정답률 74%

15. 그림은 진동수와 진폭이 같고 위상이 반대인 두 물결파를 발생시키고 있을 때, 시간 $t=0$인 순간의 모습을 나타낸 것이다. 두 물결파는 진행 속력이 20 cm/s로 같고, 서로 이웃한 마루와 마루 사이의 거리는 20 cm이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 점 P, Q, R는 평면상에 고정된 지점이다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. P에서는 상쇄 간섭이 일어난다.
ㄴ. Q에서 중첩된 물결파의 변위는 시간에 따라 일정하다.
ㄷ. R에서 중첩된 물결파의 변위는 $t=1$초일 때와 $t=2$초일 때가 같다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

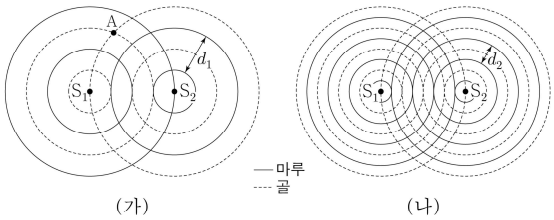
정 답 ④

해 설

ㄱ. P에서는 상쇄 간섭이 일어난다. (O)
ㄴ. Q에서 보강 간섭이 일어나므로 중첩된 물결파의 변위는 시간에 따라 변한다. (X)
ㄷ. 주기가 1초이고, R에서 보강 간섭을 하므로 중첩된 물결파의 변위는 $t=1$초일 때와 $t=2$초일때가 같다. (O)

04 2025학년도 9월 9번 정답률 88%

9. 그림 (가)는 두 점 S_1, S_2에서 진동수 f로 발생시킨 진폭이 같고 위상이 반대인 두 물결파의 어느 순간의 모습을, (나)는 (가)의 S_1, S_2에서 진동수 $2f$로 발생시킨 진폭과 위상이 같은 두 물결파의 어느 순간의 모습을 나타낸 것이다. (가)와 (나)에서 발생시킨 물결파의 진행 속력은 같다. d_1과 d_2는 S_2에서 발생시킨 물결파의 파장이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, S_1, S_2, A는 동일 평면상에 고정된 지점이다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. (가)의 A에서는 보강 간섭이 일어난다.
ㄴ. (나)의 $\overline{S_1S_2}$에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 개수는 5개이다.
ㄷ. $d_1=2d_2$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

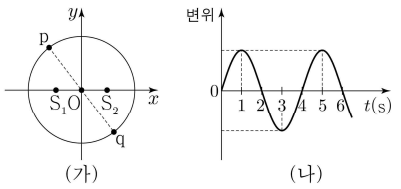
정 답 ③

해 설

ㄱ. (가)의 A에서는 보강 간섭이 일어난다. (O)
ㄴ. (가)에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 4개이다.
진동수 2배가 되면 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 8개이다. (X)
ㄷ. 진동수가 2배이므로 $d_1=2d_2$이다. (O)

05 2025학년도 수능 11번 정답률 78%

11. 그림 (가)와 같이 xy 평면의 원점 O로부터 같은 거리에 있는 x 축상의 두 지점 S_1, S_2에서 진동수와 진폭이 같고, 위상이 서로 반대인 두 물결파를 동시에 발생시킨다. 점 p, q는 O를 중심으로 하는 원과 O를 지나는 직선이 만나는 지점이다. 그림 (나)는 p에서 중첩된 물결파의 변위를 시간 t에 따라 나타낸 것이다. S_1, S_2에서 발생시킨 두 물결파의 속력은 10 cm/s로 일정하다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, S_1, S_2, p, q는 xy 평면상의 고정된 지점이다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. S_1에서 발생한 물결파의 파장은 20 cm이다.
ㄴ. $t=1$초일 때, 중첩된 물결파의 변위의 크기는 p에서와 q에서가 같다.
ㄷ. O에서 보강 간섭이 일어난다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

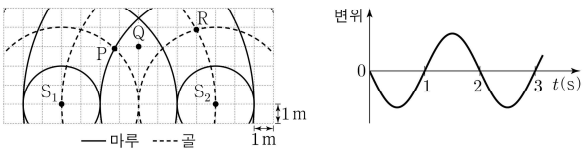
정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 속력이 10이고, 주기가 4이므로 파장은 40이다. (X)
ㄴ. 포물선 성질에 의하여 중첩된 물결파의 변위의 크기는 p에서와 q에서가 같다. (O)
ㄷ. O에서는 보강 간섭이 일어난다. (O)

06 2026학년도 9월 16번 정답률 49%

16. 그림 (가)는 평면에 고정된 두 지점 S_1, S_2에서 발생시킨 진동수와 진폭이 같은 두 물결파의 시간 $t=0$일 때의 모습을 나타낸 것이다. 점 P, Q, R는 평면상에 고정된 세 지점이다. 그림 (나)는 P, Q, R 중 한 지점에서 물결파의 변위를 t에 따라 나타낸 것이다.



(가) (나)

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

<보 기>

ㄱ. 물결파의 속력은 2 m/s이다.
ㄴ. $t=1$초일 때, 수면의 높이는 P에서가 R에서보다 높다.
ㄷ. (나)는 Q에서의 변위를 나타낸 것이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

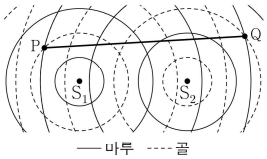
정 답 ③

해 설

ㄱ. (가)의 그림을 통해 $\lambda=4m$임을 알 수 있다.
(나)의 그림을 통해 $T=2$초이므로 $f=\frac{1}{2}$Hz이다.
따라서 물결파의 속력은 $v=f\lambda=2m/s$이다. (O)
ㄴ. $t=1$초일 때는 반주기이고, 수면의 높이는 P에서 변위는 0이다. 또한 R에서 변위는 최대이다. (X)
ㄷ. (나)의 그림은 P와 R이 아니므로 Q의 것이다. (O)

07 2026학년도 수능 6번 정답률 44%

6. 그림은 평면에 고정된 두 지점 S_1, S_2에서 진동수와 진폭이 같고 서로 반대의 위상으로 발생시킨 두 물결파의 어느 순간의 모습을 나타낸 것이다. 점 P, Q는 평면상에 고정된 두 지점이다.



$\overline{PQ}$에서 보강 간섭이 일어나는 지점의 개수는? [3점]

① 3 ② 4 ③ 5 ④ 6 ⑤ 7

정 답 ②

해 설

P에서 두 지점 S_1, S_2로부터 경로차는 $3\lambda-\lambda=2\lambda$이고,
Q에서 경로차는 $1.5\lambda-3.5\lambda=-2\lambda$이다.

서로 반대의 위상을 발생시키고 있으므로 경로차가 $\frac{\lambda}{2}$의 홀수배가 될 때 보강 간섭이 일어난다.

가능한 경우는 $-\frac{3}{2}\lambda$, $-\frac{1}{2}\lambda$, $\frac{1}{2}\lambda$, $\frac{3}{2}\lambda$ 총 4가지 이다.

PART 5
전자기파

개념 유형

(1) 전자기파 개념

기출 유형

(1) 전자기파

THEME

1 — 전자기파 개념

정리1 전자기파

개념1 전자기파

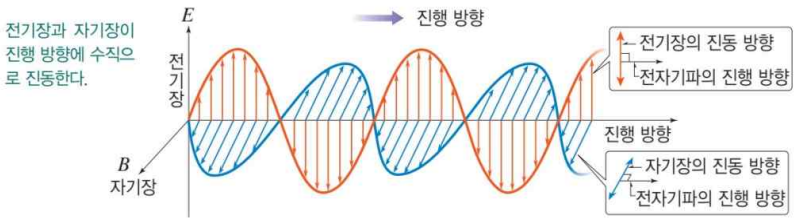
전자기파(Electromagnetic Wave)는 가속하는 전하에 의해 생성되어, 전기장과 자기장이 서로를 유도하며 진공이나 물질 속을 전파하는 횡파이다. 고전 전자기학의 맥스웰 방정식(Maxwell's Equations)으로부터 그 존재와 모든 특성이 완벽하게 유도된다.

3차원 파동 방정식을 정리하면 파동의 속도 $v=\frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}$가 나오는데 각각 진공에서 유전율($\varepsilon_0$)와 투자율($\mu_0$)을 대입하면 이 속도는 빛의 속도 c와 정확히 일치한다.

개념2 전자기파의 성질

① 파동적 성질

전기장과 자기장의 진동 방향에 각각 수직으로 진행한다. ➡ 횡파이다.
(종파적 성질은 길이 수축 때문에 빛 입장에서는 모든 길이는 0으로 보이기 때문에 자신은 정지한 것으로 보인다.)



② 입자적 성질

광전효과와 같은 입자성도 가지고 있다. (빛의 이중성!)

③ 전자기파의 전달

전자기파는 파동의 형태로 에너지를 전달하지만 매질이 없어도 진행할 수 있는 유일한 파동이다.
(전자기파도 파동의 한 종류이므로 반사, 굴절 등 파동의 성질을 가진다.)
(전자기파를 제외한 파동은 매질을 통해 전달된다.)

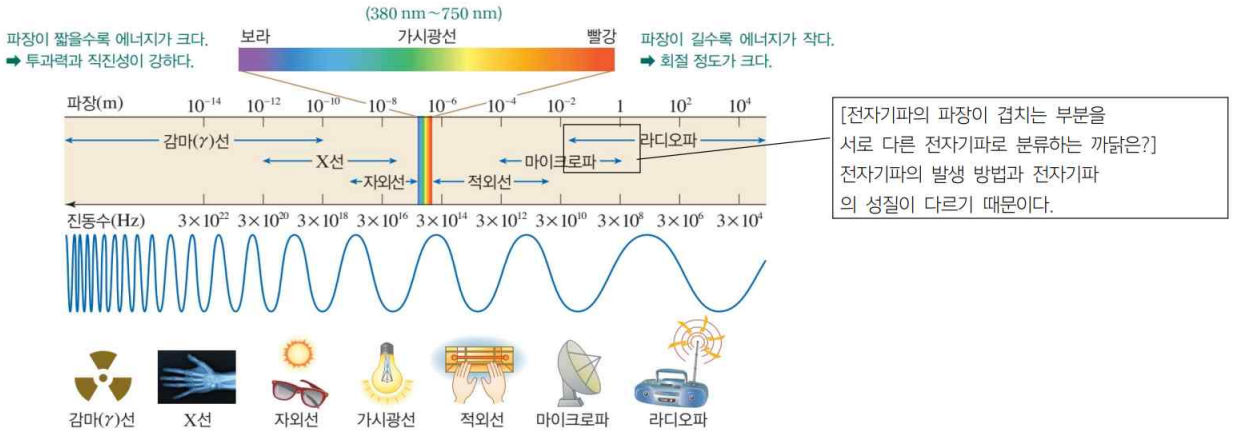
④ 전자기파의 속력

전자기파는 진공에서 진동수에 관계없이 모두 약 30만 km/s의 속력으로 진행한다.
(전자기파의 속력은 진공에서 가장 빠르다. 진공이 아닌 매질에서는 속력이 느려진다.)

⑤ 전자기파의 에너지

전자기파의 진동수가 클수록 광자 1개의 에너지가 크다. ($E=hf$)

정리2 전자기파의 분류



[전자기파의 파장이 겹치는 부분을 서로 다른 전자기파로 분류하는 까닭은?]
전자기파의 발생 방법과 전자기파의 성질이 다르기 때문이다.

개념1 감마선

① 투과력이 매우 강하고 큰 에너지를 가지고 있어 암세포를 파괴할 수 있어 암을 치료할 수 있다.
② 정상적인 피부 조직을 해칠 수 있고 누적되면 발암의 원인이 될 수도 있다.
(화상뿐만 아니라 유전자 변형 또는 암이 발생할 수 있고, 심하면 사망할 수도 있다.)
③ 암 치료, 감마(γ)선 망원경(우주를 관측하는 데 이용한다.) 등

개념2 X선

① 투과력이 강해 인체 내부의 모습을 알아볼 수 있으며, 물체의 내부를 파악할 수 있다.
② 신체 조직이 X선에 많이 노출되면 암을 유발할 수 있으므로, 불필요한 과다 노출을 피해야 한다.
③ X-ray 의료, 보안 검색, 고체 결정 구조 연구, 현미경 등

개념3 자외선

① 미생물을 파괴할 수 있는 살균 기능이 있다.
② 물질의 화학 반응을 일으킬 수 있는 정도의 에너지를 가지고 있어 화학 작용이 강하다.
③ 물체 속에 포함된 형광 물질에 자외선을 흡수시키면 가시광선을 방출하는 형광 작용을 한다.
④ 의료 기구 소독기, 손 소독기, 식기 소독기, 위조지폐 감별 등

개념4 가시광선

① 사람이 눈으로 볼 수 있는 영역의 전자기파로, 빛이라고 한다. (파장이 가시광선보다 짧거나 긴 전자기파는 볼 수 없다.)
② 가시광선 영역 중 보라색 빛의 파장이 가장 짧고 빨간색 빛의 파장이 가장 길다.
③ 광학 기구, 가시광선 레이저, 라이파이(Li-Fi) 등

개념5 적외선

① 물체에 흡수되어 온도를 높이는 열작용을 하므로 열선이라고도 한다. (단, 적외선은 눈으로 볼 수 없다.)
② 발열체에서 나오는 열은 주로 적외선에 의한 것이다.
③ 물체에서 방출되는 적외선을 감지하여 온도를 측정하거나 야간에도 사진 촬영을 할 수 있다
④ 적외선 열화상 카메라, 적외선 온도계, 적외선 물리 치료기, 리모컨, 적외선 망원경 등

개념6 마이크로파

전자레인지, 휴대 전화, 무선 랜, 레이더, 속도 측정기 등

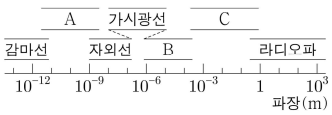
개념7 라디오파

라디오나 텔레비전 방송, 전파 망원경, GPS 등

유형 01 전자기파

01 2022학년도 6월 1번 정답률 87%

1. 그림은 전자기파를 파장에 따라 분류한 것이고, 표는 전자기파 A, B, C가 사용되는 예를 순서 없이 나타낸 것이다.



전자기파	사용되는 예
(가)	체온을 측정하는 열화상 카메라에 사용된다.
(나)	음식물을 데우는 전자레인지에 사용된다.
(다)	공항 검색대에서 수하물의 내부 영상을 찍는 데 사용된다.

(가), (나), (다)에 해당하는 전자기파로 옳은 것은?

	(가)	(나)	(다)
①	A	B	C
②	A	C	B
③	B	A	C
④	B	C	A
⑤	C	A	B

정 답 ④

해 설

(가) 열화상 카메라 → B
(나) 마이크로파 → C
(다) X-*ray* → A

02 2022학년도 9월 3번 정답률 93%

3. 그림 (가)~(다)는 전자기파를 일상생활에서 이용하는 예이다.



(가) 위성 통신 (나) 광통신 (다) LED 신호등

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. (가)에서 자외선을 이용한다.
ㄴ. (나)에서 전반사를 이용한다.
ㄷ. (다)에서 가시광선을 이용한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

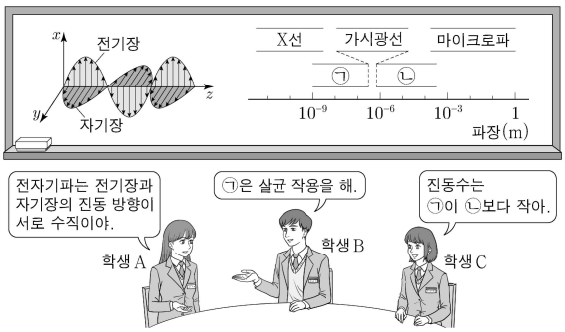
정 답 ④

해 설

ㄱ. 전파를 이용한다. (X)
ㄴ. 전반사를 이용한다. (O)
ㄷ. 눈에 보이므로 가시광선을 이용한다. (O)

03 2022학년도 수능 4번 정답률 87%

4. 그림은 전자기파에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

① A ② C ③ A, B ④ B, C ⑤ A, B, C

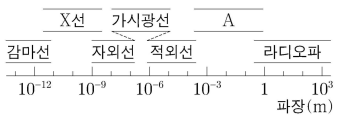
정 답 ③

해 설

A. 전자기파는 전기장과 자기장의 진동 방향이 서로 수직이다. (O)
B ㉠은 자외선으로 살균 작용을 한다. (O)
C. 진동수는 ㉠이 ㉡보다 크다. (X)

04 2023학년도 6월 3번 정답률 80%

3. 그림 (가)는 전자기파를 파장에 따라 분류한 것을, (나)는 (가)의 전자기파 A를 이용하는 레이더가 설치된 군함을 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A의 진동수는 가시광선의 진동수보다 크다.
ㄴ. 전자레인지에서 음식물을 데우는 데 이용하는 전자기파는 A에 해당한다.
ㄷ. 진공에서의 속력은 감마선과 (나)의 레이더에서 이용하는 전자기파가 같다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

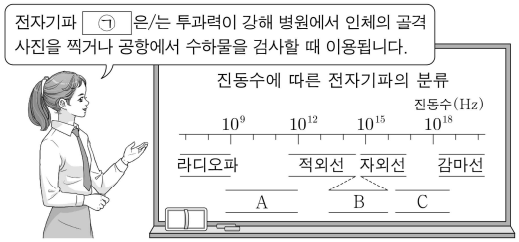
정 답 ④

해 설

ㄱ. A의 진동수는 가시광선의 진동수보다 작다. (X)
ㄴ. 전자레인지에서 음식물을 데우는 데 이용하는 전자기파는 마이크로파로 A에 해당된다. (O)
ㄷ. 진동에서 전자기파의 속력은 c로 동일하다. (O)

05 2023학년도 9월 1번 정답률 87%

1. 그림은 전자기파에 대해 학생이 발표하는 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. ㉠은 A에 해당하는 전자기파이다.
ㄴ. 진공에서 파장은 A가 B보다 길다.
ㄷ. 열화상 카메라는 사람의 몸에서 방출되는 C를 측정한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

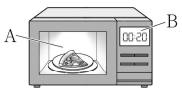
정 답 ②

해 설

ㄱ. ㉠은 X-ray로 C에 해당된다. (X)
ㄴ. 진동에서 파장은 A > B이다. (O)
ㄷ. 열화상 카메라는 적외선을 측정한다. (X)

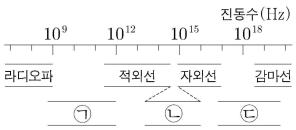
06 2023학년도 수능 1번 정답률 84%

1. 그림 (가)는 전자기파 A, B를 이용한 예를, (나)는 진동수에 따른 전자기파의 분류를 나타낸 것이다.



전자레인지의 내부에서는 음식을 데우기 위해 A가 이용되고, 표시 창에서는 B가 나와 남은 시간을 보여 준다.

(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A는 ㉢에 해당한다.
ㄴ. B는 ㉡에 해당한다.
ㄷ. 파장은 A가 B보다 길다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

ㄱ. A는 음식을 데운다. 따라서 마이크로파인 ㉠이다. (X)
ㄴ. B는 눈에 보이므로 가시광선인 ㉡이다. (O)
ㄷ. 파장은 A > B이다. (O)

07 2024학년도 6월 1번 정답률 80%

1. 다음은 병원의 의료 기기에서 파동 A, B, C를 이용하는 예이다.


뼈 촬영
A: X선


의료 기구 소독
B: 자외선


태아 검진
C: 초음파

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A, B는 전자기파에 속한다.
ㄴ. 진공에서의 파장은 A가 B보다 길다.
ㄷ. C는 매질이 없는 진공에서 진행할 수 없다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

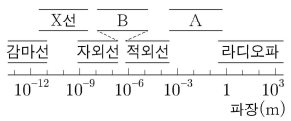
해 설

ㄱ. A, B는 전자기파이다. (O)
ㄴ. 파장은 A < B이다. (X)
ㄷ. 음파는 진공에서 진행할 수 없다. (O)

08 2024학년도 9월 1번 정답률 88%

1. 다음은 전자기파 A와 B를 사용하는 예에 대한 설명이다.

전자레인지에 사용되는 A는 음식물 속의 물 분자를 운동시키고, 물 분자가 주위의 분자와 충돌하면서 음식물을 데운다.



A보다 파장이 짧은 B는 전자레인지가 작동하는 동안 내부를 비춰 작동 여부를 눈으로 확인할 수 있게 한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A는 가시광선이다.
ㄴ. 진공에서 속력은 A와 B가 같다.
ㄷ. 진동수는 A가 B보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

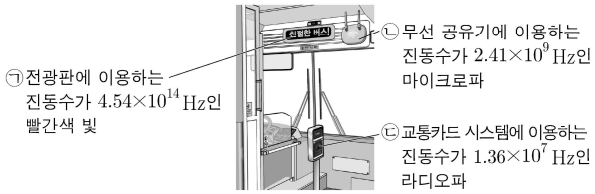
정 답 ②

해 설

ㄱ. A는 마이크로파이다. (X)
ㄴ. 진공에서 속력은 같다. (O)
ㄷ. 진동수는 B > A이다. (X)

09 2024학년도 수능 1번 정답률 80%

1. 그림은 버스에서 이용하는 전자기파를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>
ㄱ. ㉠은 가시광선 영역에 해당한다.
ㄴ. 진공에서 속력은 ㉠이 ㉡보다 크다.
ㄷ. 진공에서 파장은 ㉡이 ㉢보다 짧다.

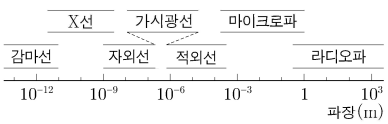
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설
ㄱ. ㉠은 빨간색 빛으로 가시광선 영역이다. (O)
ㄴ. 진공에서 속력은 ㉠=㉡이다. (X)
ㄷ. 진공에서 파장은 ㉡<㉢이다. (O)

09 2025학년도 6월 1번 정답률 92%

1. 그림은 전자기파를 파장에 따라 분류한 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것은?

① X선은 TV용 리모컨에 이용된다.
② 자외선은 살균 기능이 있는 제품에 이용된다.
③ 파장은 감마선이 마이크로파보다 길다.
④ 진동수는 가시광선이 라디오파보다 작다.
⑤ 진공에서 속력은 적외선이 마이크로파보다 크다.

정 답 ②

해 설
① 리모컨은 적외선을 이용한다. (X)
② 자외선은 살균 기능이 있다. (O)
③ 파장은 감마선 < 마이크로파 이다. (X)
④ 진동수는 가시광선 > 라디오파 이다. (X)
⑤ 진공에서 속력은 같다. (X)

10 2025학년도 수능 1번 정답률 89%

1. 그림은 전자기파를 일상생활에서 이용하는 예이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. ㉠은 감마선을 이용하여 스마트폰과 통신한다.
ㄴ. ㉡에서 살균 작용에 사용되는 자외선은 마이크로파보다 파장이 짧다.
ㄷ. 진공에서의 속력은 ㉢에서 사용되는 전자기파가 X선보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

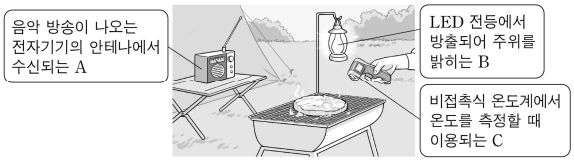
정 답 ②

해 설

ㄱ. 감마선을 이용하지 않는다. (X)
ㄴ. 적외선은 마이크로파보다 파장이 짧다. (O)
ㄷ. 진공에서의 속력은 같다. (X)

11 2026학년도 6월 1번 정답률 92%

1. 그림은 전자기파 A, B, C가 이용되는 예를 나타낸 것이다. A, B, C는 가시광선, 라디오파, 적외선을 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A는 라디오파이다.
ㄴ. 진공에서 파장은 B가 X선보다 짧다.
ㄷ. 진동수는 C가 A보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

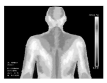
ㄱ. 안테나에 수신되므로 라디오파이다. (O)
ㄴ. B는 가시광선이지만 진공에서 속력은 전부 같다. (X)
ㄷ. C는 적외선이므로 진동수는 C > A이다. (O)

12 2026학년도 9월 1번 정답률 93%

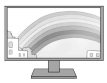
1. 그림은 전자기파 A, B, C가 이용되는 예를 나타낸 것이다. A, B, C는 가시광선, 적외선, X선을 순서 없이 나타낸 것이다.



A는 눈에 보이지 않는 잇몸 속 치아 사진을 찍는 데 이용된다.



B는 인체에서 방출되어 체온 분포를 측정하는 데 이용된다.



C는 모니터 화면에서 방출되어 다양한 색의 영상을 구현한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A는 TV용 리모컨에 이용된다.
ㄴ. B는 적외선이다.
ㄷ. 진동수는 A가 C보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. A는 X선이다. (X)
ㄴ. B는 인체에서 방출되므로 적외선이다. (O)
ㄷ. 진동수는 A > C이다. (O)

13 2026학년도 수능 3번 정답률 94%

3. 다음은 어느 자율 주행 자동차에 이용되는 파동에 대한 설명이다.

ⓐ 파장이 1550 nm인 적외선은 자동차 주변의 3차원 공간 정보를 얻는 데 이용된다. ⓑ 진동수가 52 kHz인 초음파는 가까이 있는 물체와의 거리를 측정하는 데 이용된다. ⓒ 파장이 400~700 nm인 가시광선은 신호등이나 표지판, 차선 등을 인식하는 데 이용된다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 공기 중에서의 속력은 ⓐ가 ⓑ보다 크다.
ㄴ. ⓑ는 진공에서도 진행한다.
ㄷ. 진동수는 ⓒ가 ⓐ보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. 공기중에서 속력은 빛>소리이다. (O)
ㄴ. 소리는 진공에서 진행하지 못한다. (X)
ㄷ. 진동수는 적외선<가시광선이다. (O)

PART 6
빛과 물질의 이중성

개념 유형

(1) 물질파
(2) 광전효과
(3) 현미경

기출 유형

(1) 광전효과
(2) 물질의 파동성

THEME

1 — 물질파

정리1 물질파

개념1 물질의 이중성

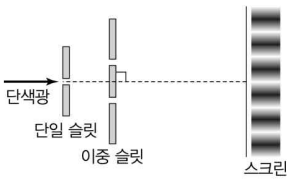
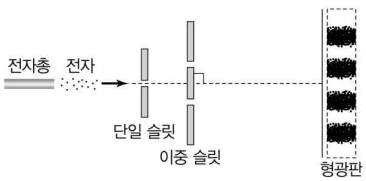
물질의 이중성(Wave-Particle Duality)은 양자역학의 근간을 이루는 개념으로, 전자나 광자 같은 양자적 실체(quantum entity)가 고전적인 파동이나 입자 중 어느 하나로 규정될 수 없으며, 측정 방식에 따라 파동적 특성과 입자적 특성을 모두 나타낸다는 원리이다.

물질의 이중성의 시작은 모든 물질이 운동량(p)에 반비례하는 파장(λ)를 갖는다는 드브로이 가설($\lambda=\frac{h}{p}$)이었다.

즉, 물질은 파동이며 파동함수 $\Psi(r,t)$라는 복소 함수로 완벽하게 기술된다는 데에 그 핵심이 있다.

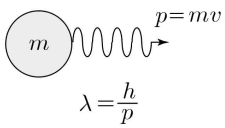
파동함수 $\Psi(r,t)$는 슈뢰딩거 방정식 $i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\Psi=\hat{H}\Psi$에 따라 결정론적으로 진화한다.

여러 파동함수가 중첩될 수 있기 때문에, 이중 슬릿 실험에서처럼 간섭과 회절 같은 전형적인 파동 현상이 나타난다.

빛의 간섭 실험	전자선의 간섭 실험
	
빛을 단일 슬릿과 이중 슬릿에 통과시키면 스크린에 보강 간섭(밝은 무늬)과 상쇄 간섭(어두운 무늬)이 나타난다.	전자의 속력을 조절하여 전자를 단일 슬릿과 이중 슬릿에 통과시키면 형광판에 보강 간섭(밝은 무늬)과 상쇄 간섭(어두운 무늬)이 나타난다.

개념2 드브로이 파장

드브로이는 광자의 운동량이 $p=\frac{h}{\lambda}$인 것처럼, 입자의 운동량 또한 $p=\frac{h}{\lambda}$를 만족한다고 제안하였다.



드브로이의 파장으로 물리량을 정리하면 $\lambda_{\text{드브로이}}=\frac{h}{p}=\frac{h}{mv}=\frac{h}{\sqrt{2mK}}$이다. (물질파 핵심은 파장!!)

또한 드브로이 가설은 데이비슨-거머 실험과 톰슨의 전자 회절 실험을 통해 실험적으로 증명되었다.

TIP 드브로이 파장 유도과정

양자역학에서 입자의 상태는 파동함수 $\Psi(r,t)$로 기술된다. 자유입자($V=0$)에 대한 시간 독립 슈뢰딩거 방정식은

$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\Psi(r)=E\Psi(r)$ 여기서 $\hbar=\frac{h}{2\pi}$이고, $E=\frac{p^2}{2m}$은 입자의 에너지이다.

이 특수한 슈뢰딩거 방정식의 가장 기본적인 해는 평면파 형태인 $\Psi(r)=Ae^{ik\cdot r}$이다. 여기서 k는 파동 벡터이다.

이 평면파 해를 슈뢰딩거 방정식에 대입하면 $-\frac{\hbar^2}{2m}(ik)^2e^{ik\cdot r}=Ee^{ik\cdot r}$, $\frac{\hbar^2k^2}{2m}=E=\frac{p^2}{2m}$이므로 $p=\hbar k$

파동 벡터의 정의($k=\frac{2\pi}{\lambda}$)를 이용해 이 식을 파장 λ에 대해 다시 쓰면, $p=\frac{h}{2\pi}\frac{2\pi}{\lambda}\Rightarrow\lambda=\frac{h}{p}$이다.

개념3 비례식

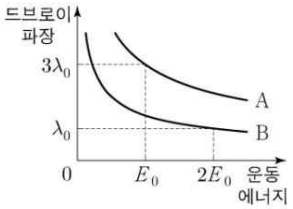
① $p\lambda=mv\lambda=$일정

② $mE\lambda^2=$일정 (빈출)

예를 들어 질량이 일정할 때 파장이 2배가 되면 속력은 1/2배가 된다.

예제1 물질파

그림은 각각 질량이 m_A, m_B인 입자 A, B의 드브로이 파장을 운동 에너지에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 입자의 운동량의 크기가 클수록 드브로이 파장이 짧아진다.
ㄴ. $m_A : m_B = 2 : 9$이다.
ㄷ. B의 운동 에너지가 E_0일 때 드브로이 파장은 $\sqrt{2}\lambda_0$이다.

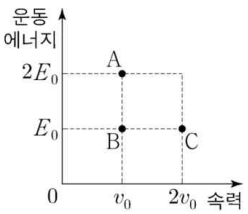
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 입자의 운동량의 크기가 커지면 드브로이 파장은 짧아진다. (O)
ㄴ. $mE\lambda^2$ =일정을 생각해보면 질량의 비는 $2 : 9$이다. (O)
ㄷ. 운동 에너지가 $\frac{1}{2}$배가 되면 파장은 $\sqrt{2}$배가 된다. (O)

예제2 물질파

그림은 입자 A, B, C의 운동 에너지와 속력을 나타낸 것이다.



A, B, C의 물질파 파장을 각각 λ_A, λ_B, λ_C라고 할 때, λ_A, λ_B, λ_C를 비교한 것으로 옳은 것은?

① $\lambda_A > \lambda_B > \lambda_C$ ② $\lambda_A > \lambda_B = \lambda_C$
③ $\lambda_B > \lambda_A > \lambda_C$ ④ $\lambda_B > \lambda_A = \lambda_C$
⑤ $\lambda_C > \lambda_B > \lambda_A$

해설

$\frac{E}{v}\lambda$ =일정에 의하여 답은 ⑤이다.

THEME

2 — 광전 효과

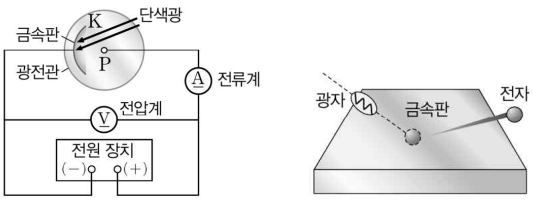
정리1 광전 효과

개념1 광자 1개의 에너지

① 빛 알갱이를 광자라고 할 때 진동수 f인 광자 개의 에너지는 $E=hf$이다. (단, h : 플랑크 상수, $h=6.63\times10^{-34}$ [J • s]
② 광자에서 핵심은 진동수이다. 파장은 관심없다. 즉, 파장이 나온다면 $c=f\lambda$를 이용해 진동수로 바꾸자.
③ 에너지의 양자화 : 에너지가 hf라는 기본적인 값의 정수 배만 가능한 것을 에너지의 양자화라고 한다.

개념2 광전 효과

금속에 특정한 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비출 때 금속에서 전자(광전자)가 방출되는 현상을 광전 효과라고 한다.
광자 1개의 에너지가 금속 판의 일함수보다 크다면 광전자가 튀어나온다.
이에 대해서 에너지 보존식을 써보면 빛의 에너지 = 일함수 + 광전자의 최대 운동에너지 ($hf=W+K$) 이다.



광전 효과 실험 장치

정리2 광전 효과의 다양한 실험

개념1 광전자가 나올 조건

① 문턱 진동수 보다 진동수가 작은 빛을 쏘면 아무리 밝기(세기)를 증가시켜도 광전자는 튀어나오지 않는다.
② 문턱 진동수 보다 큰 진동수의 빛을 비춰야 광전자, 광전류가 나온다. 이때 빛의 밝기(세기)를 증가시키면 광전자가 더 나온다.

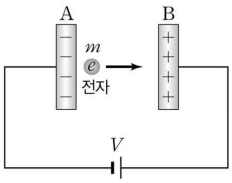


개념2 두 가지 빛을 동시에 쏨

- 빨간색 빛을 금속판에 비췄을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지 K_1이고 방출되는 광전자의 수는 n_1이다.
- 파란색 빛을 금속판에 비췄을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지 K_2이고 방출되는 광전자의 수는 n_2이다.
- 빨간색 빛과 파란색 빛을 동시에 비췄을 때 광전자의 최대 운동에너지는 K_2이고, 방출되는 광전자의 수 : n_1+n_2이다.

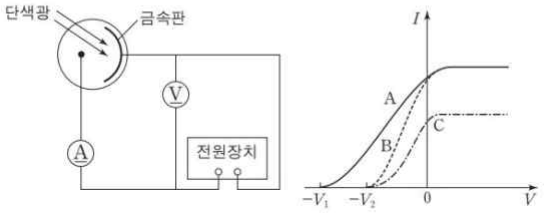
개념3 정지 전압

광전효과에서 사용되는 용어로 빛에 의해 방출된 전자들이 반대편 전극으로 도달할 수 없게 만드는 전압의 크기를 의미한다.
정지 전압은 방출되는 전자들의 최대 운동 에너지와 동일하다.
(즉, $K_{\max}=eV_{stop}$를 만족한다.)



예제1 광전효과

그림 (가)는 광전 효과 실험 장치를 모식적으로 나타낸 것이고, (나)는 단색광 A, B, C를 동일한 금속판에 각각 비추었을 때 전압 V에 따른 광전류의 세기 I를 나타낸 것이다. A를 비추었을 때의 정지 전압은 V_1이고 B, C를 비추었을 때의 정지 전압은 V_2로 같다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 진공에서 파장은 A와 B가 같다.
ㄴ. 광전자의 최대 운동 에너지는 A를 비추었을 때가 C를 비추었을 때보다 크다.
ㄷ. 단위 시간당 방출되는 광전자의 수는 B를 비추었을 때가 C를 비추었을 때보다 많다.

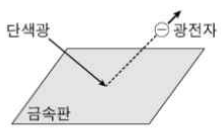
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 정지 전압을 통하여 진동수는 A > B이다.
따라서 진공에서의 파장은 A < B이다. (X)
ㄴ. 광전류의 최대 운동 에너지는 정지 전압과 동일하므로 A > C이다. (O)
ㄷ. 단위 시간당 방출되는 광전자의 수는 광전류의 세기와 같으므로 B > C이다. (O)

예제2 광전효과

그림은 금속판에 단색광을 비추었더니 광전자가 방출된 것을 나타낸 것이다. 표는 단색광의 진동수가 각각 $2f$, $3f$일 때, 방출되는 광전자 중 속력이 최대인 광전자의 운동 에너지와 물질파 파장을 나타낸 것이다.



단색광의 진동수	속력이 최대인 광전자	
	운동 에너지	물질파 파장
$2f$	E	2λ
$3f$	㉠	λ

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. ㉠은 $4E$이다.
ㄴ. 금속판의 일함수는 $3E$이다.
ㄷ. 금속판에 진동수가 $2f$, $3f$인 단색광을 함께 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $5E$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 파장은 $\frac{1}{2}$배가 되었으므로 운동 에너지는 4배이다. (O)
ㄴ. 변화량) $hf = 3E$를 만족한다.
처음) $2hf = W + E$이므로 $W = 5E$이다. (X)
ㄷ. $4E$ 이다. (X)

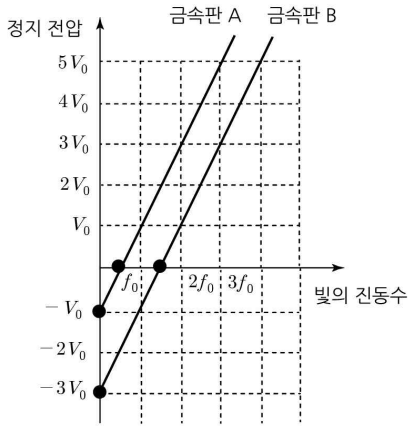
정리3 빛의 진동수 – 정지 전압 그래프

개념1 함수의 분석

광전 효과 식을 정리하면 $V=hf_0-W$을 만족한다. 따라서 기울기는 h인 플랑크 상수로 일정하다.
함수의 기울기는 금속판의 종류와 무관하게 일정하다.

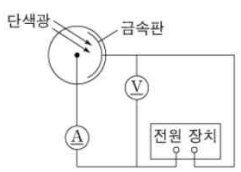
개념2 일함수 구하기

① hf의 형태로 구하기 : 정지 전압이 0이 될 때를 통하여 $W_A=0.5hf_0$, $W_B=1.5hf_0$이다.
② eV의 형태로 구하기 : x축과 이루는 비율을 토대로 $W_A=eV_0$, $W_B=3eV_0$이다.

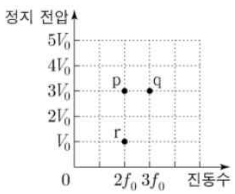


예제3 빛의 진동수 – 정지 전압 그래프

그림 (가)는 광전 효과 실험 장치를 나타낸 것이고, (나)는 진동수가 $2f_0$인 단색광을 금속판 A와 B에, 진동수가 $3f_0$인 단색광을 A와 B 중 하나에 비추었을 때, 측정한 정지 전압을 나타낸 것이다. 금속판의 일함수는 A가 B보다 크다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 점 p와 q는 같은 금속판에서 측정한 실험 결과이다.
ㄴ. q는 A에서 측정한 실험 결과이다.
ㄷ. B의 일함수는 $3eV_0$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 기울기가 -2인 직선을 그었을 때 y축 절편값이 다르므로 점 p와 q는 다른 금속판에서 측정한 실험 결과이다. (X)
ㄴ. 일함수는 A > B이므로 y축 절편값이 큰 q, r이 A에서 측정한 실험이다. (O)
ㄷ. 일함수 B는 p에 대한 것과 같다.
기울기가 -2이므로 p의 y축 절편은 eV_0이다. (X)

정리4 빛의 진동수 – 광전자 파장 그래프

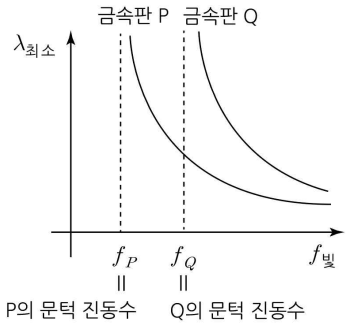
개념1 함수의 분석

광전 효과 $hf_{빛} = hf_{일함수} + K_{전자}$를 만족한다.

이때 $\lambda = \dfrac{h}{\sqrt{2mK}}$를 만족하므로 $K = \dfrac{h}{2m\lambda^2}$을 만족한다.

위 식에 대입하면 $\dfrac{h}{2m\lambda^2} = h(f_{빛} - f_{일함수})$, $\lambda^2 = \dfrac{2m}{f_{빛} - f_{일함수}}$를 만족한다.

따라서 $y = \dfrac{1}{\sqrt{x-a}}$의 함수가 그려진다.



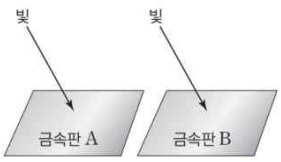
개념2 함수의 특징

① 금속판의 일함수가 크다면 함수가 오른쪽으로 이동하게 된다.
P의 일함수보다 Q의 일함수가 큰 것을 알 수 있다.

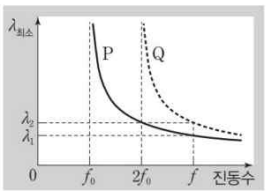
② 금속판의 문턱 진동수가 빛의 진동수와 동일할 때 전자의 파장은 무한대로 발산한다.
전자의 파장이 발산하는 점을 토대로 P의 문턱 진동수는 f_P가 되고, Q의 문턱 진동수는 f_Q가 된다.

예제4 빛의 진동수 – 정지 전압 그래프

그림 (가)는 한계(문턱) 진동수가 각각 f_0, $2f_0$인 금속판 A, B에 빛을 비추는 것을 나타낸 것이고, 그림 (나)는 (가)에서 A, B에 빛을 비추었을 때 방출되는 광전자의 드브로이 파장의 최솟값 $\lambda_{최소}$를 빛의 진동수에 따라 나타낸 것이다. P, Q는 (가)의 A와 B 중 하나이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. P는 A이다.

ㄴ. $\lambda_1 = \dfrac{1}{\sqrt{2}}\lambda_2$이다.

ㄷ. 진동수가 f인 빛을 비출 때 방출되는 광전자의 운동 에너지의 최댓값은 A에서가 B에서의 2배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. (나)를 통해 P = A이고, Q = B이다. (O)

ㄴ. 세 개의 점에 대해 광전 효과 식을 써보자.

P) $2f_0 = f_0 + K$이므로 $K = f_0$이다.

Q) $f = 2f_0 + K$이므로 $f = 3f_0$이다.

P) $f = f_0 + K'$이므로 $K' = 2f_0 = 2K$이다.

따라서 운동 에너지가 2배이므로 파장은 $\dfrac{1}{\sqrt{2}}$배이다. (O)

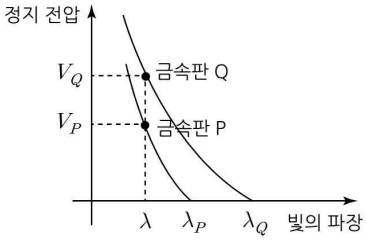
ㄷ. A에서 광전자의 운동 에너지의 최댓값은 $2f_0$이다.
B에서 광전자의 운동 에너지의 최댓값은 f_0이다. (O)

정리3 빛의 파장 – 정지 전압 그래프

개념1 함수의 분석

광전 효과 식을 정리하면 $V_{\text{정지 전압}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{빛}}} - W_{\text{일함수}}$를 만족한다.

따라서 $y = \frac{1}{x} - a$의 함수가 그려진다.



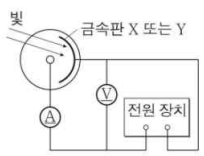
개념2 함수의 특징

정지 전압이 0일 때를 통하여 $W_X = \frac{hc}{\lambda_P}$, $W_Y = \frac{hc}{\lambda_Q}$이다.

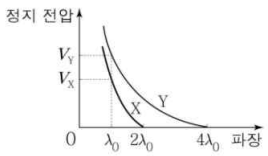
함수와 y축이 만나는 상황이 없으므로 x축으로만 해석이 가능하다.

예제5 빛의 파장 – 정지 전압 그래프

그림 (가)는 광전 효과 실험 장치를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 광전관의 금속판이 X 또는 Y일 때 정지 전압을 금속판에 비추는 빛의 파장에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

$\frac{V_Y}{V_X}$는?

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

해설

STEP 1. 빛의 진동수 구하기

빛에서는 진동수가 핵심이므로 파장들을 진동수의 비로 바꾸자. 파장의 비가 $\lambda_0 : 2\lambda_0 : 4\lambda_0 = 1 : 2 : 4$이므로

빛의 진동수의 비는 $\frac{1}{1} : \frac{1}{2} : \frac{1}{4} = 4 : 2 : 1$이다.

STEP 2. 일함수 구하기

정지 전압이 0일 때를 통하여 $W_X = 2hf_0$, $W_Y = hf_0$라고 가정할 수 있다.

STEP 3. 정답 구하기

$V_X = 4hf_0 - 2hf_0 = 2hf_0$이고, $V_Y = 4hfh_0 - hf_0 = 3hf_0$

이므로 $\frac{V_Y}{V_X} = \frac{3}{2}$이다.

THEME

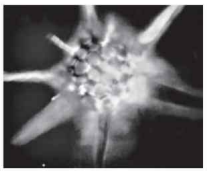
3 현미경

정리1 광학 현미경과 전자 현미경

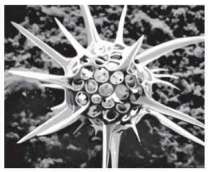
개념1 광학 현미경

① 빛(가시광선)를 이용하는 현미경

② 빛의 회절 현상 때문에 $0.2nm$정도가 분해능의 한계이므로, 이보다 작은 크기의 바이러스와 같은 미생물을 관찰할 수 없다.

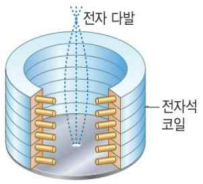


광학 현미경



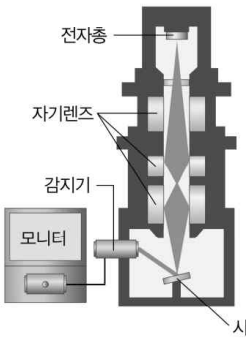
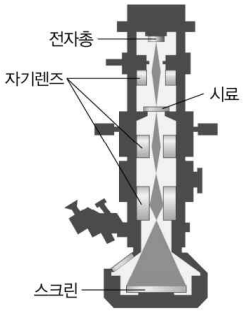
전자 현미경

개념2 전자 현미경

전자 현미경	빛 대신 전자의 물질파를 이용하는 현미경
분해능과 배율	전자의 물질파 파장이 가시광선의 수천 분의 일 정도로 짧기 때문에 분해능$(0.1nm)$이 우수하고, 배율은 최대 수백만 배 정도로 광학 현미경의 최대 배율보다 크다.
자기 렌즈	코일로 만든 원통형의 전자석으로, 전자가 자기장에 의해 진행 경로가 휘어지는 성질을 이용하여 전자선을 굴절시킨다. 
전자 현미경의 활용	빛으로 볼 수 없는 바이러스 병원체나 물질 속의 원자 배치 상태 등을 알아낼 수 있으므로, 물리학, 생명과학, 화학, 재료 과학 등의 분야에서 활용되고 있다.
전자의 물질파 파장	가시광선의 파장이 약 $10^{-7}m$인데 비해 전자의 물질파 파장은 약 $10^{-10}m$ 정도이다.
전자 현미경의 특징	① 시료에 전자를 쪼여야 하므로 살아 있는 생물은 관찰할 수 없다. ② 공기가 있으면 전자의 진행이 방해를 받기 때문에 전자 현미경의 내부는 진공이다.

현미경의 종류	광학 현미경	전자 현미경
광원	가시광선	전자선
상대적 파장	$\lambda\uparrow$	$\lambda\downarrow$
분해능	Bad	Good
렌즈 형태	유리 렌즈	자기 렌즈
렌즈의 역할	가시광선을 초점에 모은다.	전자를 초점에 모은다.
현미경 내부	공기	진공
배율	최대 2000배	수백만 배

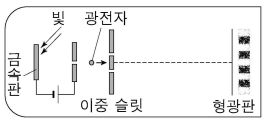
정리2 주사 전자 현미경과 투과 전자 현미경

현미경의 종류	주사 전자 현미경(SEM)	투과 전자 현미경(TEM)
구조		
원리	1. 전자총에서 발생한 전자선을 가속시킨다. 2. 가속된 전자선을 자기 렌즈로 집속한다. 3. 집속한 전자선을 시료 표면에 차례대로 주사한다. 4. 시료 표면에서 발생된 전자는 검출기로 수집한다. 5. 검출된 전자에 의해 만들어진 신호를 증폭하여 모니터로 관찰한다.	1. 전자총에서 발생한 전자선을 가속시킨다. 2. 가속된 전자선을 자기 렌즈로 집속한다. 3. 집속한 전자선을 시료에 투과시킨다. 4. 대물 렌즈와 투사 렌즈에서 상을 확대한다. 5. 확대한 상을 필름이나 형광판에 투과시켜 관찰한다.
전자선	시료의 표면에 전자를 쪼인다.	전자가 시료를 통과한다. 그 후에 산란된다.
시료	전자가 튀어나와야 하므로 생물 시료는 전기 전도도가 좋은 물질(금속)으로 얇게 코팅해야 한다.	시료를 얇게 만들어야 한다. (전자의 속력 감소 방지 → $\lambda\uparrow$ → 분해능↓)
구조 관찰	시료의 표면의 3차원적인 구조를 관찰	시료의 내부 구조 관찰
상의 관찰	시료의 입체상 관찰	시료의 평면 영상(2차원) 단면 구조 관찰
배율	낮음	높음

유형 01 광전 효과

01 2022학년도 9월 12번 정답률 69%

12. 그림과 같이 금속판에 초록색 빛을 비추어 방출된 광전자를 가속하여 이중 슬릿에 입사시켰더니 형광판에 간섭무늬가 나타났다. 금속판에 빨간색 빛을 비추었을 때는 광전자가 방출되지 않았다.



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

<보 기>

ㄱ. 광전자의 속력이 커지면 광전자의 물질파 파장은 줄어든다.
ㄴ. 초록색 빛의 세기를 감소시켜도 간섭무늬의 밝은 부분은 밝기가 변하지 않는다.
ㄷ. 금속판의 문턱 진동수는 빨간색 빛의 진동수보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

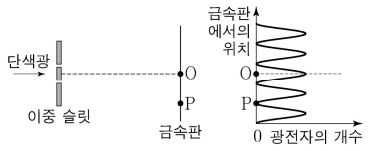
정 답 ③

해 설

ㄱ. 광전자의 속력이 커지면 광전자의 물질파 파장은 줄어든다. (O)
ㄴ. 빛의 세기를 감소시키면 간섭무늬의 밝은 부분의 밝기가 감소한다. (X)
ㄷ. 금속판의 문턱 진동수는 빨간색 빛의 진동수보다 크다. (O)

02 2022학년도 수능 7번 정답률 77%

7. 그림 (가)는 단색광이 이중 슬릿을 지나 금속판에 도달하여 광전자를 방출시키는 실험을, (나)는 (가)의 금속판에서의 위치에 따라 방출된 광전자의 개수를 나타낸 것이다. 점 O, P는 금속판 위의 지점이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 단색광의 세기를 증가시키면 O에서 방출되는 광전자의 개수가 증가한다.
ㄴ. 금속판의 문턱 진동수는 단색광의 진동수보다 작다.
ㄷ. P에서 단색광의 상쇄 간섭이 일어난다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

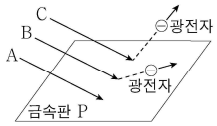
정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 단색광의 세기를 증가시키면 O에서 방출되는 광전자의 개수가 증가한다. (O)
ㄴ. 금속판의 문턱 진동수는 단색광의 진동수보다 작다. (O)
ㄷ. P에서 상쇄 간섭이 일어난다. (O)

03 2023학년도 6월 6번 정답률 72%

6. 그림과 같이 단색광 A를 금속판 P에 비추었을 때 광전자가 방출되지 않고, 단색광 B, C를 각각 P에 비추었을 때 광전자가 방출된다. 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 B를 비추었을 때가 C를 비추었을 때보다 크다.



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

<보 기>

ㄱ. A의 세기를 증가시키면 광전자가 방출된다.
ㄴ. P의 문턱 진동수는 B의 진동수보다 작다.
ㄷ. 단색광의 진동수는 B가 C보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

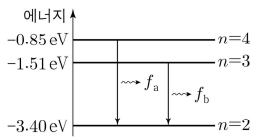
정 답 ④

해 설

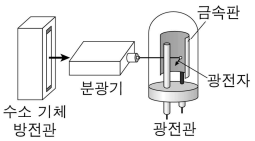
ㄱ. A의 세기를 증가시켜도 문턱 진동수보다 진동수가 작기에 광전자가 방출되지 않는다. (X)
ㄴ. P의 문톡 진동수는 B의 진동수보다 작다. (O)
ㄷ. 단색광의 진동수는 최대 운동 에너지를 통해 B > C이다. (O)

04 2023학년도 9월 4번 정답률 79%

4. 그림 (가)는 보어의 수소 원자 모형에서 양자수 n에 따른 에너지 준위의 일부와, 전자가 전이하면서 진동수가 f_a, f_b인 빛이 방출되는 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 분광기를 이용하여 (가)에서 방출되는 빛을 금속판에 비추는 모습을 나타낸 것으로, 광전자는 진동수가 f_a, f_b인 빛 중 하나에 의해서만 방출된다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 진동수가 f_a인 빛을 금속판에 비출 때 광전자가 방출된다.
ㄴ. 진동수가 f_b인 빛은 적외선이다.
ㄷ. 진동수가 $f_a - f_b$인 빛을 금속판에 비출 때 광전자가 방출된다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

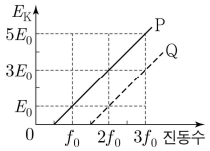
정 답 ①

해 설

ㄱ. 진동수는 $f_a > f_b$이므로 진동수가 f_a인 빛을 금속판에 비출 때 광전자가 방출된다. (O)
ㄴ. 진동수가 f_b인 빛은 $n=2$로 전이하므로 가시광선이다. (X)
ㄷ. 진동수가 $f_a - f_b$인 빛을 금속판에 비출 때 광전자가 방출되지 않는다. (X)

05 2024학년도 6월 17번 정답률 60%

17. 그림은 금속판 P, Q에 단색광을 비추었을 때, P, Q에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지 E_K를 단색광의 진동수에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 문턱 진동수는 P가 Q보다 작다.
ㄴ. 광양자설에 의하면 진동수가 f_0인 단색광을 Q에 오랫동안 비추어도 광전자가 방출되지 않는다.
ㄷ. 진동수가 $2f_0$일 때, 방출되는 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 Q에서가 P에서의 3배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

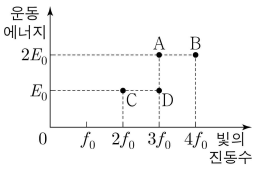
정 답 ③

해 설

ㄱ. 문턱 진동수는 P < Q이다. (O)
ㄴ. f_0의 빛은 Q에서 광전자가 방출되지 않는다. (O)
ㄷ. 진동수가 $2f_0$일 때, 운동 에너지의 비가 3 : 1이므로 파장의 비는 $1 : \sqrt{3}$이다. (X)

06 2026학년도 6월 15번 정답률 57%

15. 그림은 서로 다른 두 금속판에서 광전 효과가 일어날 때, 최대 운동 에너지로 방출된 광전자 A~D에 대하여 금속판에 비춘 빛의 진동수와 광전자의 운동 에너지를 나타낸 것이다.



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

<보 기>

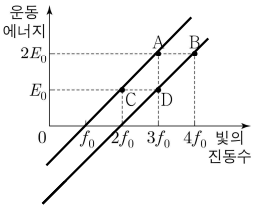
ㄱ. 속력은 A가 B의 2배이다.
ㄴ. A와 C는 같은 금속판에서 방출된 광전자이다.
ㄷ. 물질파 파장은 B가 D보다 길다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설

우선 서로 다른 두 금속판에서 광전 효과가 일어났으므로 직선을 그어서 생각해보면 기울기인 플랑크 상수는 1이 된다.

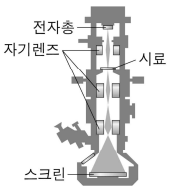


ㄱ. 광전자의 운동 에너지의 비는 1 : 1이므로 속력도 1 : 1이다. (X)
ㄴ. A와 C는 동일한 금속판에서 방출된 광전자이다. (O)
ㄷ. 운동 에너지는 B > D이므로 물질파의 파장은 B < D이다. (X)

유형 02 물질의 파동성

01 2022학년도 6월 4번 정답률 42%

4. 그림은 투과 전자 현미경(TEM)의 구조를 나타낸 것이다. 전자총에서 방출된 전자의 운동 에너지가 E_0이면 물질파 파장은 λ_0이다.



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

<보 기>

ㄱ. 시료를 투과하는 전자기파에 의해 스크린에 상이 만들어진다.
ㄴ. 자기렌즈는 자기장을 이용하여 전자의 진행 경로를 바꾼다.
ㄷ. 운동 에너지가 $2E_0$인 전자의 물질파 파장은 $\frac{1}{2}\lambda_0$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설

ㄱ. 시료를 투과하는 물질파에 의해 스크린에 상이 만들어진다. (X)
ㄴ. 자기렌즈는 자기장을 이용하여 전자의 진행 경로를 바꾼다. (O)
ㄷ. 운동 에너지가 2배가 되면 파장은 $\frac{1}{\sqrt{2}}$배가 된다. (X)

02 2023학년도 9월 3번 정답률 93%

3. 그림은 빛과 물질의 이중성에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은? [3점]

① A ② B ③ A, C ④ B, C ⑤ A, B, C

정 답 ③

해 설

A. 광자의 에너지가 2배이면 $E=hf$에 의하여 진동수가 2배이다. 따라서 빛의 파장은 $\frac{1}{2}$배가 된다. (O)
B. 물질파의 운동 에너지가 2배이면 물질파 파장은 $\frac{1}{\sqrt{2}}$배가 된다. (X)
C. 전자 현미경은 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있다. (O)

03 2023학년도 수능 4번 정답률 82%

4. 다음은 물질의 이중성에 대한 설명이다.



○ 얇은 금속박에 전자선을 비추면 X선을 비추었을 때와 같이 회절 무늬가 나타난다. 이러한 현상은 전자의 [㉠]으로 설명할 수 있다.
○ 전자의 운동량의 크기가 클수록 물질파의 파장은 [㉡]. 물질파를 이용하는 [㉢] 현미경은 가시광선을 이용하는 현미경보다 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있다.

㉠, ㉡, ㉢에 들어갈 내용으로 가장 적절한 것은? [3점]

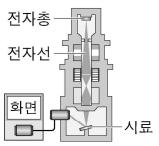
	㉠	㉡	㉢
①	파동성	길다	전자
②	파동성	짧다	전자
③	파동성	길다	광학
④	입자성	짧다	전자
⑤	입자성	길다	광학

정 답 ②

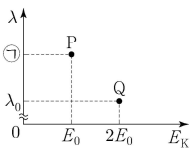
해 설
㉠ 파동성
㉡ 짧다
㉢ 전자

04 2024학년도 9월 16번 정답률 67%

16. 그림 (가)는 주사 전자 현미경(SEM)의 구조를 나타낸 것이고, 그림 (나)는 (가)의 전자총에서 방출되는 전자 P, Q의 물질파 파장 λ와 운동 에너지 E_K를 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 전자의 운동량의 크기는 Q가 P의 $2\sqrt{2}$배이다.
ㄴ. ㉠은 $2\lambda_0$이다.
ㄷ. 분해능은 Q를 이용할 때가 P를 이용할 때보다 좋다.

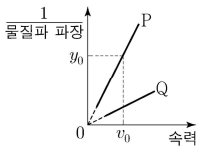
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설
ㄱ. $p=\sqrt{2mK}$에서 $\sqrt{2}$배이다. (X)
ㄴ. ㉠은 $\sqrt{2}\lambda_0$이다. (X)
ㄷ. 분해능은 파장이 작아야 좋다. (O)

05 2024학년도 수능 16번 정답률 61%

16. 그림은 입자 P, Q의 물질파 파장의 역수를 입자의 속력에 따라 나타낸 것이다. P, Q는 각각 중성자와 헬륨 원자를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, h는 플랑크 상수이다.)

<보 기>

ㄱ. P의 질량은 $h\frac{y_0}{v_0}$이다.
ㄴ. Q는 중성자이다.
ㄷ. P와 Q의 물질파 파장이 같을 때, 운동 에너지는 P가 Q보다 작다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

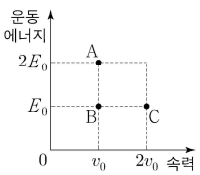
정 답 ③

해 설

ㄱ. $\lambda=\frac{h}{mv}$에서 $m=h\frac{\frac{1}{\lambda}}{v}=h\frac{y_0}{v_0}$이다. (O)
ㄴ. 기울기가 작으므로 중성자이다. (O)
ㄷ. 운동 에너지는 질량이 큰 P > Q이다. (X)

06 2025학년도 6월 13번 정답률 63%

13. 그림은 입자 A, B, C의 운동 에너지와 속력을 나타낸 것이다.



A, B, C의 물질파 파장을 각각 λ_A, λ_B, λ_C라고 할 때, λ_A, λ_B, λ_C를 비교한 것으로 옳은 것은?

① $\lambda_A>\lambda_B>\lambda_C$ ② $\lambda_A>\lambda_B=\lambda_C$ ③ $\lambda_B>\lambda_A>\lambda_C$
④ $\lambda_B>\lambda_A=\lambda_C$ ⑤ $\lambda_C>\lambda_B>\lambda_A$

정 답 ⑤

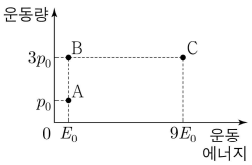
해 설

$mE\lambda^2\propto\frac{E^2}{v^2}\lambda^2\propto\frac{E}{v}\lambda=$일정 에서 $\lambda\propto\frac{v}{E}$로 생각하자.

A $=\frac{1}{2}$, B $=1$, C $=2$에서 $\lambda_C>\lambda_B>\lambda_A$이다.

07 2025학년도 9월 14번 정답률 76%

14. 그림은 입자 A, B, C의 운동량과 운동 에너지를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 질량은 A가 B보다 크다.
ㄴ. 속력은 A와 C가 같다.
ㄷ. 물질파 파장은 B와 C가 같다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설

ㄱ. $E=\frac{p^2}{2m}$에서 $m \propto \frac{p^2}{E}$를 만족하고 질량은 B > A이다. (X)

ㄴ. $m \propto \frac{p^2}{E}$를 통해 질량은 A = B이다.
이때 운동량을 통해 속력은 A < C이다. (X)

ㄷ. $m \propto \frac{p^2}{E}$를 통해 질량은 9 : 1이다.
$mE\lambda^2 =$ 일정에 의해 파장은 같다. (O)

08 2025학년도 수능 4번 정답률 74%

4. 그림은 빛과 물질의 이중성에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은? [3점]

① A ② B ③ A, C ④ B, C ⑤ A, B, C

정 답 ③

해 설

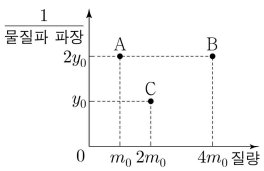
A. 광전 효과에서 광전자가 즉시 방출되는 현상은 빛의 입자성으로 설명한다. (O)

B. $\lambda=\frac{h}{p}$에서 운동량이 같으면 파장도 같다. (X)

C. 전자의 운동 에너지가 클수록 속력이 빠르므로 파장은 작아진다. 따라서 회절의 정도가 작아져 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있다. (O)

09 2026학년도 9월 13번 정답률 63%

13. 그림은 입자 A, B, C의 물질파 파장의 역수와 질량을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 운동량의 크기는 A가 B보다 작다.
ㄴ. 속력은 B와 C가 같다.
ㄷ. 운동 에너지는 A가 C보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

물질의 속력에 대해서 알아보자.

$\lambda = \frac{h}{mv} \Rightarrow v = \frac{h}{m\lambda} \Rightarrow \frac{2}{1} : \frac{2}{4} : \frac{1}{2} = 2 : \frac{1}{2} : \frac{1}{2} = 4 : 1 : 1$이다.

ㄱ. 운동량의 크기는 같다. (X)
ㄴ. 속력은 같다. (O)
ㄷ. 운동에너지는 A > C이다. (O)

10 2026학년도 수능 12번 정답률 71%

12. 표는 입자 A, B, C의 질량과 운동 에너지를 나타낸 것이다.

입자	질량	운동 에너지
A	m	E_0
B	$2m$	$8E_0$
C	$3m$	$3E_0$

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

<보 기>

ㄱ. 속력은 A가 B보다 작다.
ㄴ. 운동량의 크기는 B가 C보다 작다.
ㄷ. 물질파 파장은 A가 C보다 짧다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

질량과 운동 에너지 조건을 갖고 속력을 찾으면 1 : 2 : 1이다.

ㄱ. 속력은 A < B이다. (O)
ㄴ. 운동량의 크기는 B > C이다. (X)
ㄷ. 운동량은 A > C이므로 파장은 A < C이다. (X)