2027

물리학II 비역학

CONNECT



수능에 필요한 모든 것을 담은 수능 공략서

UNOVA

Contents

1. 전기장

· 개념편 02
· 문제편 13

2. 정전기 유도

· 개념편 23
· 문제편 25

3. 전류와 저항

· 개념편 28
· 문제편 37

4. 트랜지스터

· 개념편 46
· 문제편 51

Contents

5. 축전기

· 개념편 61
· 문제편 71

6. RLC 회로

· 개념편 80
· 문제편 84

7. 전류에 의한 자기장

· 개념편 88
· 문제편 93

8. 전자기 유도

· 개념편 104
· 문제편 121

9. 상호 유도

· 개념편 132
· 문제편 135

Contents

1. 빛의 회절과 간섭

· 개념편 140
· 문제편 148

2. 도플러 효과

· 개념편 156
· 문제편 158

3. 전자기파

· 개념편 165
· 문제편 168

4. 볼록 렌즈

· 개념편 173
· 문제편 177

Contents

5. 광전 효과

· 개념편 184
· 문제편 187

6. 불확정성 원리

· 개념편 193
· 문제편 195

PART 1
전기장

개념 유형

01. 기본 개념
02. 한 개의 전하
03. 두 개의 전하

기출 유형

01. 1차원 전기장
02. 2차원 전기장
03. 역학과 전기장

THEME

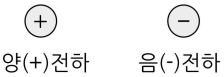
1 — 전위와 전기장

정리1 전기력

개념1 전하

① 전하는 양전하(+)와 음전하(−)로 나뉜다.

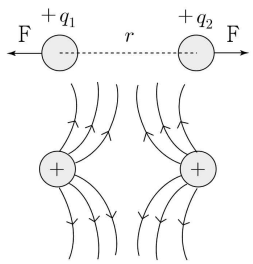
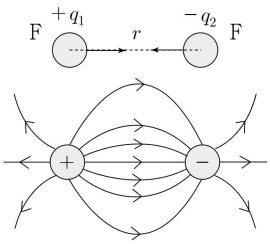
② 전하량은 크기+전하이다. 예를 들어 $-2Q$와 같은 형태이다.
만약 전하량의 크기에 대해서 질문한다면 $2Q$이다.



개념2 전기력

① 두 전하는 서로 당기거나 밀어내는 힘을 발휘한다. 같은 전하끼리는 서로 밀어내고, 다른 전하끼리는 서로 당긴다.

② 전기력의 세기는 쿨롱 법칙 $F=k\frac{Qq}{r^2}$으로 정의된다. (전기력의 원인은 각 전하가 만드는 전기장 안에 놓여있기 때문이다.)

같은 종류의 전하	다른 종류의 전하
	

TIP 전기력선 추론하는 방법

① 서로 인력을 받으면 가운데 연결된 선이 있다. (좋아하니까 연결이 된다!)

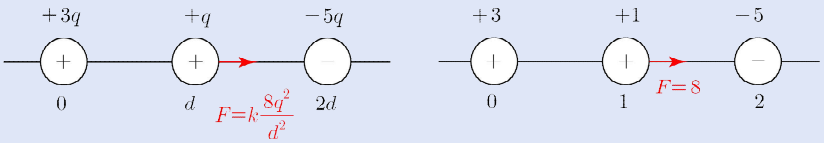
② 서로 척력을 받으면 가운데 연결된 선이 없다. (싫어하니까 연결이 안된다!)

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.



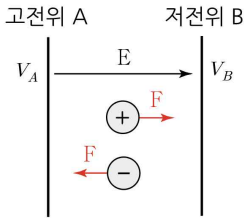
정리2 전기장

개념1 전기장

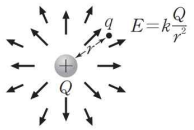
① 전기장의 원인은 전위차 때문이다.
전기장의 방향은 높은 전기적 위치 에너지(고전위)에서 낮은 전기적 위치 에너지(저전위)로 향한다.

② 전기장의 세기는 $\Delta V = Ed$로 정의된다.

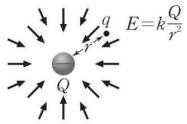
③ 전위차에 의해 전기장이 생기고, 전하량이 q인 전하를 놓는다면 전하가 받는 힘은 $\vec{F} = \vec{E}q$이다.



④ 한 개의 점전하가 만드는 전기장의 세기는 $E = k\frac{Q}{r^2}$이고, 양(+)전하는 발산하는 전기장을, 음(−)전하는 수렴하는 전기장을 만든다.



양(+)전하 주위의 전기장



음(−)전하 주위의 전기장

정리3 전위와 전위치

개념1 전위의 정의

전위는 단위 양(+)전하 (=+1C)가 가지는 전기력에 의한 퍼텐셜 에너지이다.
다른 표현으로는 전위는 특정 지점의 전하가 가지는 전기적 위치 에너지이다. (역학에서 위치 에너지를 생각하면 좋다.)
역학에서 위치 에너지는 기준점이 있어야 의미가 있었다.
전위도 마찬가지로 2개의 전위(고전위, 저전위)가 있어야 물리학적으로 의미가 있다.

개념2 전위차 (=전압)

두 지점 사이 전위의 차 ($\triangle V = V_A - V_B$)를 전위차 또는 전압이라고 한다.
이를 수학적으로 표현하면 $\triangle V = Ed$이다.

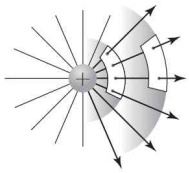
개념3 전위차와 운동 에너지의 관계

전위차에 해당하는 만큼 에너지 보존 (전기력은 보존력)에 의하여 전하의 운동 에너지가 변한다.
저전위로 진행 할수록 속력이 빨라진다.

② 두 지점 A와 B 사이의 전위차는 $\triangle V = V_A - V_B$로 정의되며, 이는 전압으로도 불린다.
따라서 전기력이 전하량이 $+q$인 입자에 한 일 $W = q\triangle V$이다. (단, $\triangle V$는 전위차)

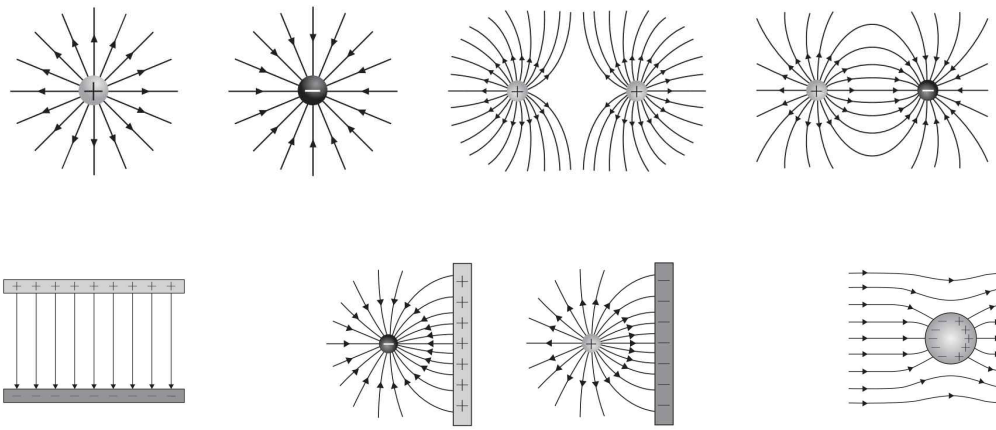
정리4 전기력선

개념1 전기력선



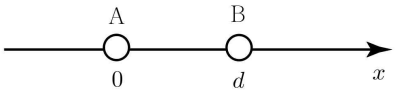
① 전기장에 있는 양(+)전하에 작용하는 전기력의 방향을 공간에 따라 연속적으로 연결한 선을 전기력선이라고 한다.
② 전기력선의 방향은 양(+)전하가 받는 전기력의 방향과 같다.
① 양(+)전하에서는 나오는 방향, 음(−)전하에서는 들어가는 방향이다.
② 서로 교차하거나 도중에 갈라지거나 끊어지지 않는다.
③ 전기력선 위의 한 점에서 그은 접선의 방향이 그 점에서의 전기장의 방향이다.
④ 전기장에 수직인 단위 면적을 지나는 전기력선의 수(밀도)는 전기장의 세기에 비례한다.

개념2 여러 가지 전기력선



예제1 두 전하가 만드는 전기장

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

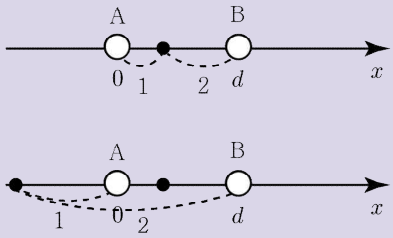


양(+)전하 C를 x축 상에서 움직일 때, C에 작용하는 전기력이 0이 되는 두 지점 사이의 거리를 구하시오. (단, A와 B의 전하가 같을 때와 반대일 때를 모두 고려하시오.)

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

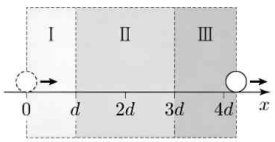
해설

- 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.

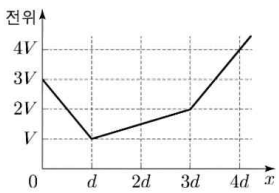


예제2 전위

그림 (가)는 양(+)전하를 띤 입자가 균일한 전기장 영역 I, II, III을 $+x$방향으로 차례로 통과하는 모습을, (나)는 전기장 영역에서 전위를 위치 x에 따라 나타낸 것이다. 입자에는 균일한 전기장에 의한 전기력만 작용한다.



(가)



(나)

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

<보 기>

ㄱ. I에서 전기장의 방향은 $-x$방향이다.
ㄴ. 입자의 운동 에너지는 $x=d$에서와 $x=3d$에서가 같다.
ㄷ. 전기장의 세기는 III에서가 II에서의 4배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

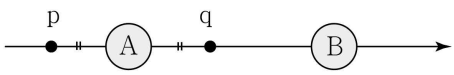
해설

ㄱ. 전위가 낮아지므로 전기장의 방향은 $+x$이다. (X)
ㄴ. $d \leq x \leq 3d$에서 전기장의 방향은 $-x$이다.
따라서 입자의 운동 에너지는 $x=d$에서가 더 크다. (X)
ㄷ. $\Delta V=Ed$에서 $E=\frac{\Delta V}{d}$를 통하여 $\frac{E_3}{E_1}=\frac{2}{\frac{1}{2}}=4$ (O)

정리5 절대 크기 비교법

개념1 절대 크기 비교법

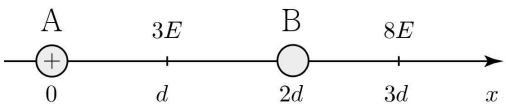
한 점전하 A로부터 동일하게 떨어져 있는 두 점 p, q에 대해서 전기장(또는 전기력)의 크기 조건이 나와있을 때
두 점전하 A, B의 부호 관계를 추론할 수 있다.
(엄밀한 내용은 아니지만, 평가원에서 해설지를 작성할 때 "내부가 외부보다 전기장이 커서 전하가 반대이다." 라는 표현을 쓴다.)



① 외부의 전기장의 세기(보강) > 내부의 전기장의 세기(보강) → 두 점전하의 부호가 동일하군!
② 외부의 전기장의 세기(상쇄) < 내부의 전기장의 세기(상쇄) → 두 점전하의 부호가 반대이군!

예제3 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

2 — 한 개의 전하

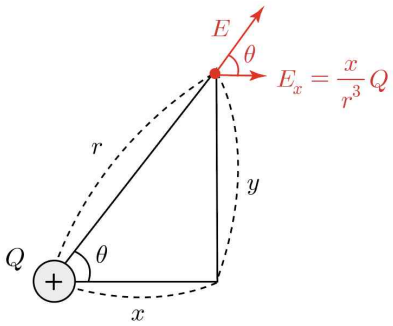
정리1 성분 전기장

개념1 한 개의 점전하가 만드는 성분 전기장

① 한 점전하가 만드는 x축 전기장은 $E_x = \frac{x}{r^3}Q$이다. $(E_x = E\cos\theta = \frac{Q}{r^2}\frac{x}{r})$

② 한 점전하가 만드는 y축 전기장은 $E_y = \frac{y}{r^3}Q$이다.

③ 원점에 대해서 대칭인 두 개의 점전하 $+Q_A$, $+Q_B$가 있다면, $+Q_B$를 왼쪽으로 넘겨 상황을 한 개의 점전하 $+Q_A - Q_B$가 만드는 상황으로 치환할 수 있다.

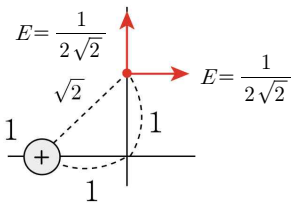


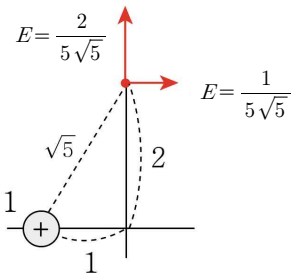
개념2 자주 나오는 성분 전기장의 값

점 P에 대하여 한 개의 점전하가 만드는 성분 전기장의 대표적인 유형으로는 그림과 같은 경우가 있다.

① 점 $P(1,1)$에서의 전기장은 $E(\frac{1}{2\sqrt{2}}, \frac{1}{2\sqrt{2}})$이다.

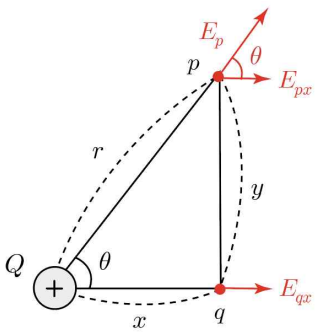
② 점 $P(1,2)$에서의 전기장은 $E(\frac{1}{5\sqrt{5}}, \frac{2}{5\sqrt{5}})$이다.





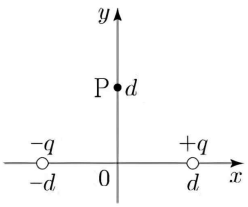
개념3 한 개의 점전하가 두 점에 만드는 성분 전기장의 비

점 p에서 x축에 작용하는 전기장과 q에 작용하는 전기장의 비는 $\frac{E_{p,x}}{E_{qx}} = \frac{x^3}{r^3}$를 만족한다.



예제1 두 개의 점전하

그림과 같이 전하량이 $-q$, $+q$인 점전하가 각각 x축상의 $x=-d$, d인 점에 고정되어 있다. 점 P는 y축상의 $y=d$인 점이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 원점에서 전기장의 방향은 $-x$방향이다.
ㄴ. P에서 전기장의 방향은 $-x$방향이다.
ㄷ. 전기장의 세기는 원점에서가 P에서의 $2\sqrt{2}$배이다.

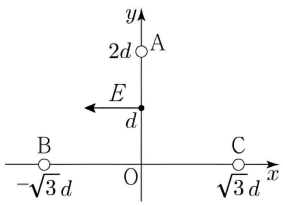
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 원점에서 전기장의 방향은 $-x$방향이다. (O)
ㄴ. P에서 전기장의 방향은 $-x$방향이다. (O)
ㄷ. $-q$의 전하가 만드는 전기장과 $+q$가 만드는 전기장의 방향이 동일하므로 $-2q$가 만드는 전기장으로 합쳐서 생각할 수 있다. 그러면 $\frac{E_0}{E_{p,x}}=2\sqrt{2}$이다. (O)

예제2 세 개의 점전하

그림과 같이 점전하 A, B, C가 xy평면에서 각각 y축상의 $y=2d$와 x축상의 $x=-\sqrt{3}d$, $x=\sqrt{3}d$에 고정되어 있다. y축상의 $y=d$인 점에서 전기장의 크기는 E이고, 방향은 $-x$방향이다. A, B의 전하의 종류와 전하량의 크기는 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A는 양(+)전하이다.
ㄴ. 전하량의 크기는 C가 A의 7배이다.
ㄷ. 원점 O에서 전기장의 x성분은 $-\sqrt{3}E$이다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. $y=d$인 점의 성분에 대해서 생각해보면, x축으로 결정할 수 있는 것이 없다. y축으로 생각을 해보면 A와 B의 부호가 동일하므로 상쇄가 일어난다. 이때 전하량이 1로 동일하므로 A의 영향력으로 $\frac{7}{8}$라고 볼 수 있다.
그러면 C의 부호는 A, B와 동일하고, 전하량은 7이다. 다시 x축에 대해서 보면 C에 대한 영향력이 더 크므로 C는 양(+)전하가 되므로 A, B, C 전부 양(+)전하이다. (O)
ㄴ. 전하량의 크기는 C가 A의 7배이다. (O)
ㄷ. A는 x축 전기장에 관여하지 않으므로 B와 C를 합쳐서 생각해보자. B가 -6의 전하라고 생각할 수 있다. (전하량이 중요한 것은 아니다. 합칠 수 있는 게 중요) 따라서 $\frac{E_0}{E}=\frac{8\sqrt{3}}{9}$이다. (X)

THEME

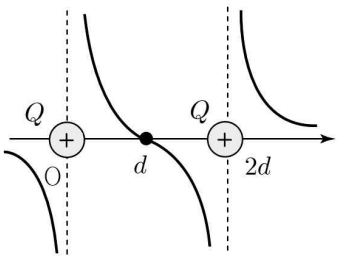
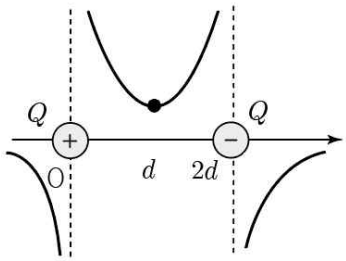
3 — 두 개의 전하

정리1 수평축 전기장의 성질

개념1 전하량의 크기가 동일함

① 전하 동일 : 내부에서 전기장이 0이 되는 지점이 있다.

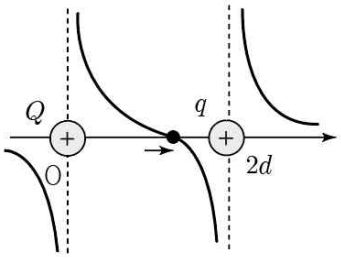
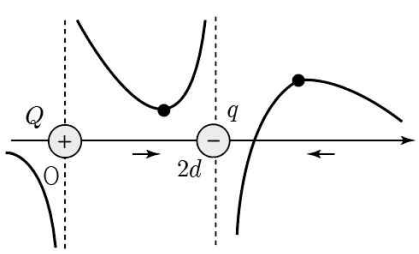
② 전하 반대 : 내부에서 전기장의 세기가 최소가 되는 지점이 있다.

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.

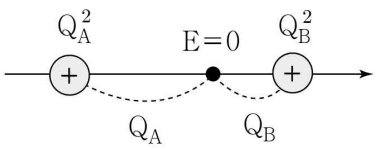
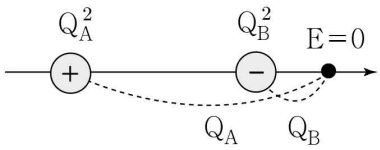
전하 동일	전하 반대
	

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.)

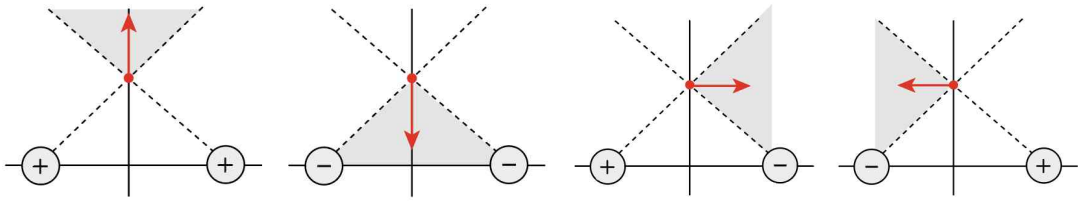
전하 동일	전하 반대
	

정리2 수직축 전기장의 성질

개념1 수직축 전기장

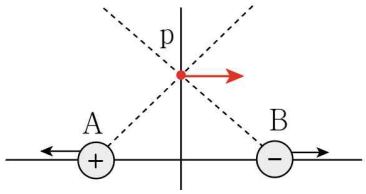
① 부호 동일 : 전하의 세기가 동일하면 가운데의 합성 전기장의 방향은 수직축 방향이다.

② 부호 반대 : 전하의 세기가 동일하면 가운데의 합성 전기장의 방향은 수평축 방향이다.



개념2 점전하의 이동에 따른 전기장의 방향

전기장이 수평(수직)인 상황에서 점전하를 반대 방향의 같은 속력으로 움직였을 때 p에서 전기장의 방향은 유지가 된다.

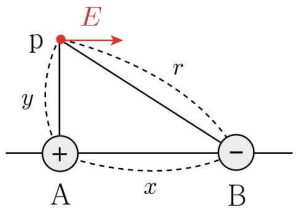


개념3 한 전하의 위에서 전기장 성분이 0이 됨

그림은 전하 A의 위의 점 p에서 y축 합성 전기장 $E_y = 0$이 되는 상황이다.

식을 정리하면 $E_y = \frac{1}{y^2} Q_A = \frac{y}{r^2} Q_B$에서 $\frac{Q_B}{Q_A} = \frac{r^3}{y^3}$이다.

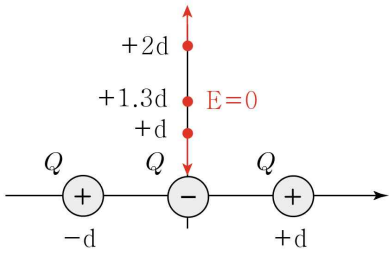
(한 개의 점전하가 만드는 두 지점에서의 전기장을 비교할 때 공식과 유사하다.)



정리3 세 전하가 만드는 전기장

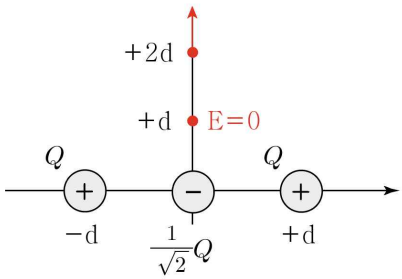
개념1 세 전하의 크기가 동일

x축 상에 전하가 각각 (+), (−), (+)이고, 전하량이 동일한 세 점전하가 있다. $x=1.304d$부근에서 $E=0$이 된다.



개념2 세 전하의 크기가 다름

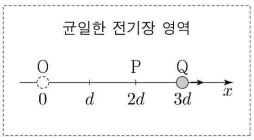
x축 상에 전하가 각각 (+), (−), (+)이고, 전하량이 $1:\frac{\sqrt{2}}{2}:1$인 세 점전하가 있다. $x=d$에서 $E=0$이 된다.



유형 01 1차원 전기장

01 2022학년도 6월 9번 정답률 72%

9. 그림과 같이 균일한 전기장 영역에서 음(−)전하를 띤 입자를 원점 O에 가만히 놓았더니 입자는 $+x$ 방향으로 등가속도 운동을 하였다. 점 P, Q는 각각 x축상의 $x=2d$, $3d$인 점이다.



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

<보 기>

ㄱ. 전위는 P에서가 O에서보다 높다.
ㄴ. O와 P 사이의 전위차는 P와 Q 사이의 전위차의 2배이다.
ㄷ. 전기력이 입자에 한 일은 O에서 P까지와 P에서 Q까지가 같다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

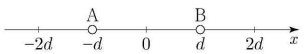
해 설

음(−)전하가 $+x$방향으로 이동하므로 전기장은 $-x$로 형성된다.

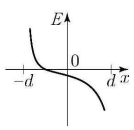
ㄱ. 위의 내용을 토대로 오른쪽이 전위가 더 높다. (O)
ㄴ. $\triangle V=Ed$를 이용해보자. 그러면 O와 P 사이의 전위차는 P와 Q 사이의 전위차의 2배이다. (O)
ㄷ. $W=q\triangle V$를 이용하면 2배이다. (X)

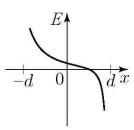
02 2022학년도 9월 13번 정답률 60%

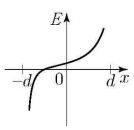
13. 그림과 같이 x축상의 $x=-d$, $x=d$에 두 점전하 A, B가 각각 고정되어 있다. $x=-2d$에서 A, B에 의한 전기장 E의 세기는 0이며, $x=2d$에서 E의 방향은 $-x$방향이다.

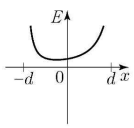


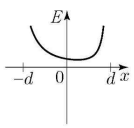
x축상의 $-d<x<d$ 구간에서 E를 x에 따라 나타낸 것으로 가장 적절한 것은? (단, E의 방향은 $+x$방향이 양(+)이다.)

① 

② 

③ 

④ 

⑤ 

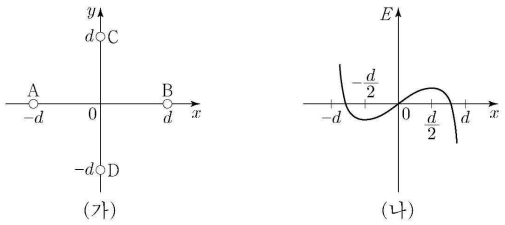
정 답 ④

해 설

외부에서 전기장이 0이므로 A와 B의 전하는 다르고, 전하량은 B가 A의 9배이다. $x=2d$에서는 B의 영향력이 더 크므로 $Q_B=-9Q$, $Q_A=+Q$이다.
내부에서는 보강 간섭이고, B가 전하량이 더 크므로 답은 ④이다.

03 2022학년도 수능 17번 정답률 54%

17. 그림 (가)와 같이 xy 평면에서 x 축상의 $x=-d$, $x=d$와 y 축상의 $y=d$, $y=-d$에 점전하 A~D가 각각 고정되어 있다. x 축상에서 A~D에 의한 전기장 E의 방향은 x 축과 나란하다. 그림 (나)는 x 축상의 $-d<x<d$인 구간에서 E를 x에 따라 나타낸 것이다. E의 방향은 $+x$방향이 양(+)이다.



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

<보 기>

ㄱ. C와 D의 전하량의 크기는 같다.
ㄴ. B는 음(−)전하이다.
ㄷ. 전하량의 크기는 C가 A보다 작다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

정 답 ①

해 설

STEP1 $x=0$

그래프에서 $E_x=0$이므로 A와 B의 부호와 세기가 같다.
또한 전기장이 항상 x축에 나란하므로 $E_y=0$이다.
따라서 C와 D의 부호와 크기가 같다.

STEP2 B 근처

B 근처에서 전기장이 $E_x<0$이므로 A, B는 (+)이다.

STEP3 $x=\frac{d}{2}$

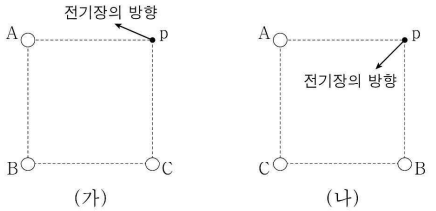
$E_x>0$인 이유는 C와 D에 의해서이다.
따라서 C와 D도 (+)전하이다.
$x=\frac{3}{4}d$에서 AB가 만드는 전기장은 $E_{AB}=4-\frac{4}{9}=\frac{32}{9}$인데,
전기장이 0이 되어야하므로 CD의 전하량은 AB보다 훨씬 크다.

ㄱ. C와 D의 전하량의 크기는 같다. (O)
ㄴ. B는 양(+)전하이다. (X)
ㄷ. 전하량의 크기는 C > A이다. (X)

유형 02 2차원 전기장

02 2022학년도 6월 17번 정답률 58%

17. 그림 (가)는 정사각형의 한 꼭짓점 p에서 점전하 A, B, C에 의한 전기장의 방향을 나타낸 것이다. A, B, C는 정사각형의 세 꼭짓점에 고정되어 있고, A, B, C의 전하량은 각각 $+q$, $-q$ 중 하나이다. 그림 (나)는 (가)에서 B와 C의 위치를 서로 바꾸어 고정하였을 때, p에서 전기장의 방향을 나타낸 것이다.



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

<보 기>

ㄱ. A는 음(−)전하이다.
ㄴ. p에서 전기장의 방향은 (가)에서와 (나)에서가 서로 수직이다.
ㄷ. p에서 전기장의 세기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

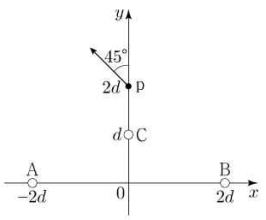
STEP1 (나)의 전기장에 대해서 생각해보자.
C는 대각선 방향으로 작용한다.
하지만, 성분 분해를 해보면 A와 B의 영향력보다 무조건 작다.
따라서 A는 (-), B는 (-)가 된다. (아직 C는 모른다.)

STEP2 y축에 대해서 보면 B가 (-)인데 위로 전기장이 있다.
따라서 C는 (+)전하이다.

ㄱ. A는 음(−)전하이다. (O)
ㄴ. 그림을 눈대중으로 봐도 수직은 아니다. (X)
ㄷ. (나)에서는 C의 모든 성분이 반대이다.
(가)에서는 B의 y축 성분만 반대이다.
따라서 전기장의 세기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다. (O)

02 2023학년도 6월 12번 정답률 64%

12. 그림과 같이 xy평면에서 x 축상의 $x=-2d$, $x=2d$와 y 축상의 $y=d$에 점전하 A, B, C가 각각 고정되어 있다. A, B의 전하량의 크기는 q로 같고, y축상의 $y=2d$인 점 p에서 A, B, C에 의한 전기장의 방향은 y축과 45°를 이룬다.



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

<보 기>

ㄱ. A와 B의 전하의 종류는 같다.
ㄴ. C는 양(+)전하이다.
ㄷ. C의 전하량의 크기는 $\frac{\sqrt{2}}{4}q$ 이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

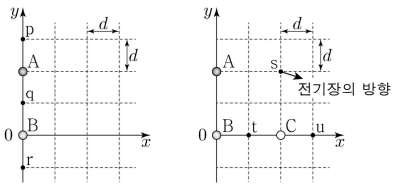
정 답 ②

해 설

ㄱ. p에서 전기장이 $-x$성분이 있으므로 A = (−), B = (+)이다. (X)
ㄴ. C가 $+y$로 전기장을 만들어야하므로 양(+)전하이다. (O)
ㄷ. $E_{AB,x}=\frac{1}{4\sqrt{2}}$ (거리가 2이므로 전기장 세기는 $\frac{1}{4}$배이다.)
따라서 $Q_c=\frac{\sqrt{2}}{8}q$이다. (X)

03 2023학년도 9월 15번 정답률 63%

15. 그림 (가)와 같이 점전하 A, B가 xy평면에 고정되어 있고, 점 p, q, r에서 A, B에 의한 전기장의 세기가 각각 E_p, E_q, E_r일 때 $E_p > E_q > E_r$이다. 그림 (나)와 같이 (가)에서 점전하 C를 고정했을 때, 점 s에서 A, B, C에 의한 전기장의 방향은 화살표 방향이다.



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

<보 기>

ㄱ. 전하량의 크기는 A가 B보다 크다.
ㄴ. B는 음(−)전하이다.
ㄷ. (나)에서 A, B, C에 의한 전기장의 세기는 점 t에서가 점 u에서보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

STEP1 (가)

(가)에서 만약에 A와 B의 부호가 다르다면 q에서 전기장 보강으로 최대가 된다. 하지만 p가 더 크므로 A와 B의 부호는 같다. p에서 세기가 가장 최대이므로 A의 전하가 더 크다.

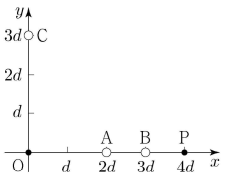
STEP2 (나)

s에서 전기장이 $+x$방향으로 존재하므로 A, B는 (+)가 된다.
s에서 전기장이 $-y$방향으로 존재하므로 C는 (-)가 된다.

ㄱ. 전하량의 크기는 A가 B보다 크다. (O)
ㄴ. B는 양(+)전하이다. (X)
ㄷ. t는 보강 +AB와 가까움이고, u는 상쇄이다. (O)

04 2023학년도 수능 14번 정답률 61%

14. 그림과 같이 점전하 A, B, C가 xy평면에서 각각 x축상의 $x=2d$, $x=3d$와 y축상의 $y=3d$에 고정되어 있다. 원점 O와 x축상의 $x=4d$인 점 P에서 전기장의 방향은 $+y$방향으로 같고, A의 전하량의 크기는 q이다.



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

<보 기>

ㄱ. A는 음(−)전하이다.
ㄴ. C의 전하량의 크기는 $\frac{125}{2}q$이다.
ㄷ. 전기장의 세기는 O에서가 P에서의 $\frac{125}{27}$배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

STEP1 O

모든 좌표에 대해서 수직인 O에 대해서 먼저 생각해보자.
그러면 C의 전하는 (−)가 되고, A와 B의 전하는 반대이고

$Q_A = q$, $Q_B = \frac{9}{4}q$이다.

STEP2 P

P에서는 A보다 B의 영향력이 크다. 이때 전기장의 방향이 $+y$이므로 B는 (+)이다. 그러면 A는 (−)이다.

P에서 $E_x = 0$이므로 $E_{AB} = \frac{9}{4} - \frac{1}{4} = 2$이다.

그러므로 $E_{Cx} = 2 = \frac{4}{5^3}Q_C$이고, $Q_C = \frac{125}{2}q$가 된다.

ㄱ. A는 음(−)전하이다. (O)

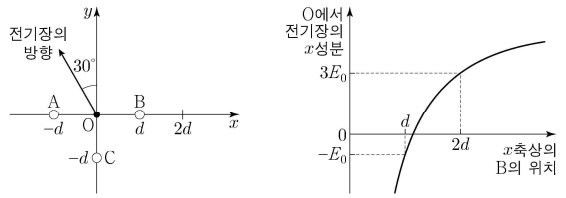
ㄴ. C의 전하량의 크기는 $\frac{125}{2}q$이다. (O)

ㄷ. y축의 성분만 있으므로 C에 대해서 생각해보면

$\frac{E_{0y}}{E_{Py}} = \frac{125}{27}$이다. (O)

05 2024학년도 9월 19번 정답률 44%

19. 그림 (가)와 같이 점전하 A, B, C가 xy평면에 고정되어 있을 때, 원점 O에서 전기장의 방향은 y축과 $30°$의 각을 이룬다. 그림 (나)는 (가)에서 B를 x축상에서 옮기며 고정시켰을 때, O에서 전기장의 x성분을 B의 위치에 따라 나타낸 것이다.



(가) (나)

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

<보 기>

ㄱ. A는 양(+)전하이다.
ㄴ. B의 위치가 $x=2d$일 때, O에서 전기장의 세기는 $2\sqrt{3}E_0$이다.
ㄷ. 전하량의 크기는 C가 A의 $\frac{3\sqrt{3}}{13}$배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. B가 멀어질수록 x성분이 (+)로 변화하므로 A는 (+)이다. (O)

ㄴ. B가 $x=d$에 있을 때 C가 만드는 전기장은 $+\sqrt{3}E_0$이다.

B가 $x=2d$에 있을 때 합성 전기장은 $\sqrt{9+3}=2\sqrt{3}$이다. (O)

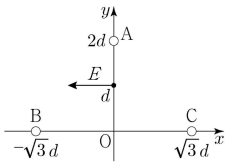
ㄷ. B의 변화량) $\frac{3}{4}B=4E_0 \rightarrow B=\frac{16}{3}E_0$

$x=d$) $B-A=\frac{16}{3}E_0-A=E_0 \rightarrow A=\frac{13}{3}E_0$

$\therefore \frac{C}{A}=\frac{\sqrt{3}}{\frac{13}{3}}=\frac{3\sqrt{3}}{13}$ (O)

06 2024학년도 수능 18번 정답률 46%

18. 그림과 같이 점전하 A, B, C가 xy 평면에서 각각 y축상의 $y=2d$와 x축상의 $x=-\sqrt{3}d$, $x=\sqrt{3}d$에 고정되어 있다. y축상의 $y=d$인 점에서 전기장의 크기는 E이고, 방향은 $-x$방향이다. A, B의 전하의 종류와 전하량의 크기는 같다.



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

<보 기>

ㄱ. A는 양(+)전하이다.
ㄴ. 전하량의 크기는 C가 A의 7배이다.
ㄷ. 원점 O에서 전기장의 x성분은 $-\sqrt{3}E$이다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

y축 전기장이 상쇄가 되어 이를 먼저 시작해야함을 알 수 있다.

STEP1 y축

AB에 의한 점 O에서 전기장은 내부이므로 상쇄된다.

A와 B에 의한 전기장의 세기는 $\frac{7}{8}$이다.

C에 의한 전기장의 세기는 $\frac{1}{8}$Q이다. 따라서 Q=7이다.

AC에 의한 전기장이 상쇄되어야 하므로 부호는 같다.

STEP2 x축

B와 C에 대한 전하량비가 1:7이므로 x축 전기장은 C에 영향을 받는다. 따라서 C는 양(+)전하이므로 ABC는 전부 양(+)전하이다.

ㄱ. A는 양(+)전하이다. (O)

ㄴ. 전하량의 크기는 C가 A의 7배이다. (O)

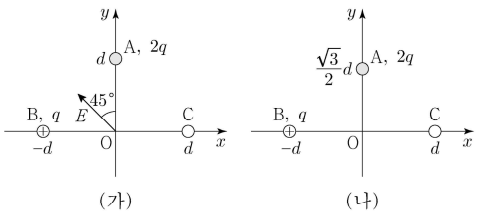
ㄷ. $E=\frac{7\sqrt{3}}{8}-\frac{\sqrt{3}}{8}=\frac{3\sqrt{3}}{4} \rightarrow 1=\frac{4}{3\sqrt{3}}E$이다.

$E_x=\frac{7}{3}-\frac{1}{3}=2=\frac{8}{3\sqrt{3}}E=\frac{8\sqrt{3}}{9}E$이다.

방향은 $-x$방향이다. (X)

07 2025학년도 6월 18번 정답률 54%

18. 그림 (가)와 같이 점전하 A, B, C를 xy 평면에서 각각 y 축상의 $y=d$와 x 축상의 $x=-d$, $x=d$에 고정하였을 때, 원점 O에서 전기장의 세기는 E이고 방향은 y 축과 $45°$의 각을 이룬다. 그림 (나)는 (가)에서 A를 y 축상의 $y=\frac{\sqrt{3}}{2}d$에 고정한 것을 나타낸 것이다. A, B의 전하량의 크기는 각각 $2q$, q이고, B는 양(+)전하이다.



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

<보 기>

ㄱ. A는 음(−)전하이다.
ㄴ. C의 전하량의 크기는 $3q$이다.
ㄷ. (나)의 O에서 전기장의 세기는 $\frac{5\sqrt{2}}{6}E$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

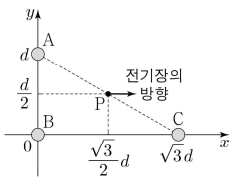
ㄱ. (가)에서 전기장이 $+y$방향으로 있으므로 A는 음(-)전하이다. (O)

ㄴ. (가)에서 전기장이 $45°$로 있으므로 $E_y=E_x$이다.
따라서 C는 $+3q$이다. (O)

ㄷ. (가)에서 $E=2\sqrt{2}$이다.
(나)에서 $E'=\sqrt{2^2+(\frac{8}{3})^2}=\frac{10}{3}=\frac{5\sqrt{2}}{6}E$이다. (O)

08 2025학년도 9월 19번 정답률 64%

19. 그림과 같이 전하량이 각각 q_A, $+2q$, $-q$인 점전하 A, B, C가 xy 평면에 고정되어 있고, 점 P에서 A, B, C에 의한 전기장의 방향은 $+x$방향이다. P에서 C에 의한 전기장의 세기는 E_0이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

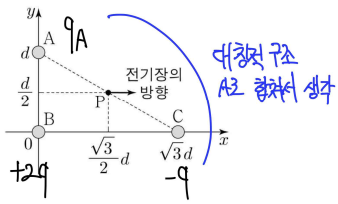
ㄱ. $q_A=+2q$이다.
ㄴ. P에서 A, B, C에 의한 전기장의 세기는 $2\sqrt{3}E_0$이다.
ㄷ. A와 C가 B에 작용하는 전기력의 크기는 $\sqrt{6}qE_0$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설

ㄱ. P에서 A와 C에 의한 전기장의 방향이 같은 축을 가지므로 하나로 합쳐서 생각할 수 있다. P에서 전기장의 방향이 $+x$방향이므로 $q_A=+q$이다. (X)

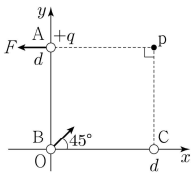


ㄴ. 조건에서 P에서 C에 의한 전기장의 세기가 E_0이므로 $E_0=1$이다. 또한 P에서 A, B, C에 의한 전기장의 세기는 $E_P=\frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{1^3}2\times2=2\sqrt{3}=2\sqrt{3}E_0$이다. (O)

ㄷ. B와 A 사이에 작용하는 전기력의 세기는 $2qE_0$이고, B와 C 사이에 작용하는 전기력의 세기는 $\frac{2}{3}qE_0$이다.
따라서 B에 작용하는 전기력의 세기는 $\frac{2\sqrt{10}}{3}qE_0$이다. (X)

09 2025학년도 수능 19번 정답률 51%

19. 그림과 같이 점전하 A, B, C가 xy평면에서 y축상의 $y=d$, 원점 O, x축상의 $x=d$에 각각 고정되어 있다. 전하량이 $+q$인 A에 작용하는 전기력은 크기가 F이고 방향은 $-x$ 방향이다. B에 작용하는 전기력의 방향은 x 축과 45°의 각을 이룬다. xy평면상의 점 p는 A, C로부터 d만큼 떨어진 점이다.



p에서 전기장의 세기는? [3점]

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

정 답 ②

해 설

B에 작용하는 전기력의 방향이 45° 이므로 통해 C의 전하량은 $+q$이다.

A에 작용하는 전기력의 방향이 $-x$방향이므로 $\frac{Q_C}{Q_B}=\frac{r^3}{y^3}=2\sqrt{2}$

를 만족한다. 따라서 B의 전하량은 $-\frac{\sqrt{2}}{4}q$이다.

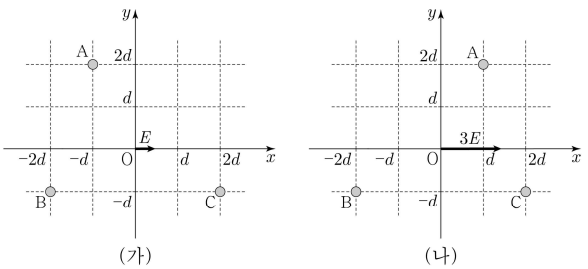
또한 $F=F_{AC}\times\sin45^\circ=\frac{q^2}{2d^2}\times\frac{\sqrt{2}}{2}=\frac{\sqrt{2}}{4}\frac{q^2}{d^2}$이다.

p에서 전기장의 세기는

$E_p=E_{AC}-E_B=\sqrt{2}\frac{q}{d^2}-\frac{\sqrt{2}}{4}q\times\frac{1}{2d^2}=\frac{7\sqrt{2}}{8}\frac{q}{d^2}=\frac{7F}{2q}$이다.

10 2026학년도 6월 20번 정답률 74%

20. 그림 (가)와 같이 xy평면에서 점전하 A, B, C를 각각 $(-d, 2d)$, $(-2d, -d)$, $(2d, -d)$인 지점에 고정하였을 때, 원점 O에서 전기장은 세기가 E이고 방향은 $+x$방향이다. 그림 (나)와 같이 (가)에서 A를 옮겨 $(d, 2d)$인 지점에 고정하였을 때, O에서 전기장은 세기가 $3E$이고 방향은 $+x$방향이다.



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

<보 기>

ㄱ. B는 양(+) 전하이다.
ㄴ. 전하량의 크기는 C가 B의 3배이다.
ㄷ. O에서 C에 의한 전기장의 세기는 $\frac{3\sqrt{5}}{2}E$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

변화량으로 접근하면 A는 음(−)전하이고, $2E=\frac{1}{5\sqrt{5}}A\times2$를

만족한다. (가)에서 A가 만드는 전기장은 $E_{Ax}=-\frac{1}{5\sqrt{5}}=-E$,

$E_{Ay}=\frac{2}{5\sqrt{5}}=2E$이다.

따라서 BC가 만드는 전기장은 $(2E, -2E)$이다.
이를 통해 B는 양(+)전하이고 C는 음(−)전하이다.
B가 만드는 전기장은 $\left(\frac{2}{5\sqrt{5}}B, \frac{1}{5\sqrt{5}}B\right)$,
C가 만드는 전기장은 $\left(\frac{2}{5\sqrt{5}}C, -\frac{1}{5\sqrt{5}}C\right)$이다.
두 식을 연립하면 $2B+2C=2$, $B-C=-2$
$\Rightarrow 2B+2C=-B+C \Rightarrow 3B=C$이다.

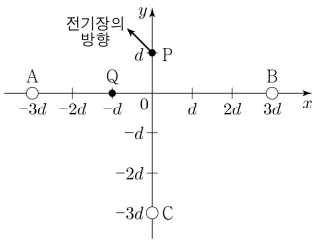
ㄱ. B는 양(+)전하이다. (O)
ㄴ. 전하량의 크기는 C가 B의 3배이다. (O)
ㄷ. O에서 C에 의한 전기장은 $\frac{C}{5}$이다.

또한 $\frac{2}{15\sqrt{5}}C+\frac{2}{5\sqrt{5}}C=2E$를 만족하므로

$\frac{8}{15\sqrt{5}}C=2E \Rightarrow \frac{C}{5}=\frac{3\sqrt{5}}{8}2E=\frac{3\sqrt{5}}{4}E$이다. (X)

11 2026학년도 9월 19번 정답률 38%

19. 그림과 같이 점전하 A, B, C가 xy평면에 고정되어 있다. A와 B의 전하량은 각각 $+q$, $+3q$이고, xy평면의 점 $P(0, d)$에서 A, B, C에 의한 전기장의 x, y성분의 크기는 같고, 전기장의 방향은 화살표 방향이다. xy평면의 점 $Q(-d, 0)$에서 A, B, C에 의한 전기장의 x, y성분은 각각 E_x, E_y이다.



$\frac{E_y}{E_x}$는?

① $\frac{192}{61}$ ② $\frac{182}{71}$ ③ $\frac{172}{81}$ ④ $\frac{162}{91}$ ⑤ $\frac{152}{101}$

정 답 ①

해 설

P에 작용하는 전기장은 $E_x = \frac{3}{10\sqrt{10}} \times 2$,

$E_y = \frac{1}{10\sqrt{10}} \times 4 + \frac{Q_C}{16}$이고 성분의 크기가 동일하므로

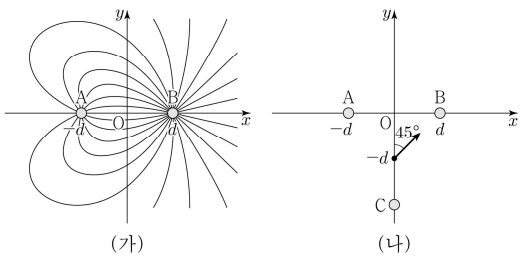
$Q_C = \frac{32}{10\sqrt{10}}$이다.

따라서 점 Q에서 전기장은 다음을 만족한다.

$$\frac{E_y}{E_x} = \frac{\frac{3}{10\sqrt{10}} Q_C}{\frac{1}{4} - \frac{3}{16} - \frac{1}{10\sqrt{10}} Q_C} = \frac{\frac{96}{1000}}{\frac{1}{16} - \frac{32}{1000}} = \frac{192}{61}$$이다.

12 2026학년도 수능 13번 정답률 74%

13. 그림 (가)는 원점 O에서 각각 d만큼 떨어져 x축상에 고정되어 있는 점전하 A, B 주위의 전기력선을 방향 표시 없이 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 y축상에 점전하 C를 고정했을 때, y축상의 $y=-d$인 점에서 A, B, C에 의한 전기장의 방향이 y축과 45°의 각을 이루는 것을 나타낸 것이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

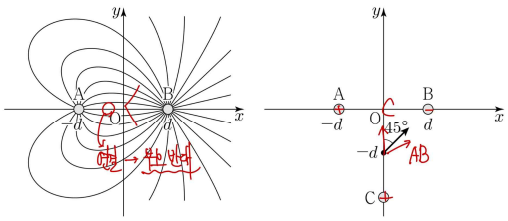
<보 기>

ㄱ. 전하량의 크기는 A가 B보다 작다.
ㄴ. (가)에서 x축상의 $-d < x < d$인 구간에 전기장의 세기가 0인 지점이 있다.
ㄷ. B와 C는 전하의 종류가 같다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설



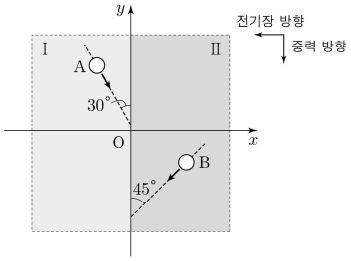
(가) (나)

ㄱ. (가)의 개형을 참고하면 전하량의 크기는 A < B이다. (O)
ㄴ. 부호가 반대이므로 전기장이 0인 지점은 없다. (X)
ㄷ. B는 음(−)전하이고 C는 양(+)전하이다. ()X

유형 03 역학과 전기장

01 2024학년도 6월 13번 정답률 54%

13. 그림과 같이 xy 평면에 $-x$ 방향으로 균일한 전기장 영역 Ⅰ, Ⅱ가 형성되어 있다. 질량과 전하량의 크기가 같은 두 입자 A, B가 각각 Ⅰ, Ⅱ에서 등가속도 직선 운동을 하여 y 축과 각각 30°, 45°의 각을 이루며 y 축에 도달한다. A, B에 작용하는 중력의 방향은 $-y$ 방향이다.



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

<보 기>

ㄱ. B는 음(−)전하이다.
ㄴ. 전기장의 세기는 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 $\sqrt{3}$ 배이다.
ㄷ. Ⅰ에서 A의 가속도의 크기는 $\frac{2\sqrt{3}}{3}g$ 이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

ㄱ. 전기장이 $-x$ 방향이고, 힘을 $-x$ 방향으로 받고 있으므로 B는 양(+)전하이다. (X)

ㄴ. 전기장의 세기 $E=mg\tan\theta$ 이다 .

따라서 $\frac{E_{II}}{E_I}=\frac{\tan45^\circ}{\tan30^\circ}=\sqrt{3}$ 이다. (O)

ㄷ. 가속도의 크기는 $a=\frac{g}{\cos\theta}$ 이다.

$a_1=\frac{g}{\cos30^\circ}=\frac{2\sqrt{3}}{3}g$ 이다. (O)

PART 2
정전기 유도

개념 유형

01. 도체와 유전체
02. 검전기

기출 유형

01. 정전기 유도

THEME

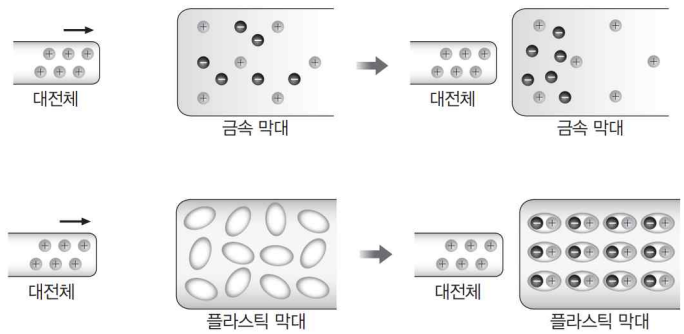
1 — 도체와 유전체

정리1 도체와 유전체

개념1 도체와 유전체

특성	도체 (Conductor)	유전체 (Dielectric)
정의	자유 전자가 풍부하여 전류를 잘 전달하는 물질	전류가 거의 흐르지 않으며, 외부 전기장에 의해 분극되는 물질
전자 이동성	자유 전자가 많아 전기장이 가해지면 전자가 쉽게 이동함	자유 전자가 거의 없어 전자가 이동하지 않음
저항 값	매우 낮음 (전류 흐름을 방해하지 않음)	매우 높음 (전류 흐름을 방지)
전기장에 대한 반응	전기장을 차폐하며 내부 전기장이 0이 됨	외부 전기장에 의해 내부에서 분극이 발생, 전기장을 약화시킴
전류의 흐름	쉽게 전류가 흐름	전류가 흐르지 않음
용도	전선, 회로 기판, 전기 배선 등 전류 전달 목적	커패시터 유전체, 전기장 에너지 저장, 고주파 회로 등
대표적인 물질	구리, 은, 금, 알루미늄, 철 등	유리, 세라믹, 플라스틱, 공기 등
분자 구조	전자의 구속력이 낮아 자유롭게 이동	전자의 구속력이 강하여 움직임 제한

개념2 대전체를 가까이 했을 때 일어나는 반응



	도체	유전체
대전체를 가까이함	정전기 유도 현상에 의해 인력을 받는다	유전 분극에 의해 인력을 받는다
이후 대전체를 제거함	순식간에 자유 전자들의 밀도가 균일해진다	강유전체라면 유전 분극이 유지된다
대전체를 접촉함	대전체와 동일한 전하로 대전되어 척력을 받아 멀어진다	유전 분극이 유지되어 인력을 유지하고 대전체와 계속 접촉한다.

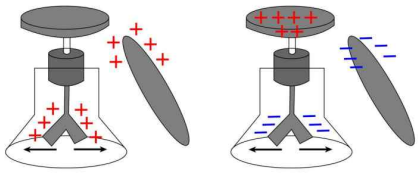
THEME

2 — 검전기

정리1 대전되지 않은 검전기

개념1 검전기의 변화

① 대전체를 검전기에 접근시키면 전자가 이동한다.
② 검전기의 금속판과 금속박은 서로 다른 극으로 유도된다.
③ 검전기의 금속박은 벌어진다. 중성 검전기에 어떤 대전체를 가져다놓던지 무조건 금속박은 벌어진다.
④ 대전체를 치우면 원래 상태로 돌아온다.
⑤ 대전체의 전하량이 클수록 금속박이 더 많이 벌어진다.



개념2 손가락을 접촉시킴

STEP1 음(−)전하로 대전된 대전체를 대전되지 않은 검전기에 접근시킨다. (기본적 상황)
• 음(−)전하로 대전된 대전체로 인해 금속판은 양(+)전하, 금속박은 음(−)전하를 띤다. (금속박이 벌어진다.)

STEP2 위의 상황에서 지구와 검전기를 접지시킨다.
• 음(−)전하로 대전된 대전체에 의해 남아있던 금속판의 전자들이 척력을 받아 손을 타고 빠져나간다.
(막대에 의한 영향력이 더 커서 전자들이 손을 타고 빠져나간다.)

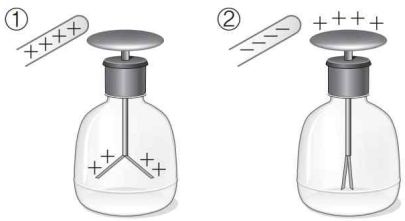
STEP3 대전체와 접지를 동시에 치우기 (교과 과정에서는 동시에 치우는 것만 나온다.)
• 대전체가 전부 양(+) 전하가 되고, 다시 금속박이 벌어진다.

STEP 1. 금속박이 벌어진다.	STEP 2. 금속박이 오므라든다.	STEP 3. 금속박이 벌어진다.
		

정리2 대전된 검전기

개념 대전된 검전기에 대전체를 가지고 옴

① 검전기와 대전체가 같은 부호일 때는 금속박이 벌어진다.
② 검전기와 대전체가 다른 부호일 때는 금속박이 당겨진다.



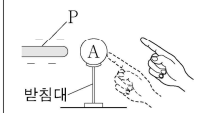
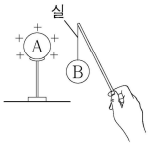
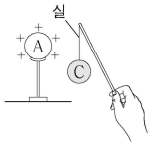
유형 01 정전기 유도

01 2025학년도 6월 7번 정답률 73%

7. 다음은 정전기 유도에 대한 실험이다.

〔준비물〕
음(−)으로 대전된 막대 P, 대전되지 않은 금속구 A와 B, 대전되지 않은 스타이로폼구 C, 절연된 받침대, 절연된 실이 연결된 막대

〔실험 과정〕
(가) P를 가까이 한 상태에서 A에 손가락을 접촉시켰다가 떼어 내, A를 양(+)으로 대전시킨다.
(나) (가)의 A에 B를 가까이 하고 움직임을 관찰한다.
(다) (가)의 A에 C를 가까이 하고 움직임을 관찰한다.

과정 (가)	과정 (나)	과정 (다)
		

〔실험 결과〕

(나)의 결과	A와 B는 서로 ㉠.
(다)의 결과	A와 C는 서로 당긴다.

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

<보 기>
ㄱ. (가)에서 A의 전자는 손가락으로 이동한다.
ㄴ. '밀어낸다'는 ㉠에 해당한다.
ㄷ. (다)의 C에서는 유전 분극이 일어난다.

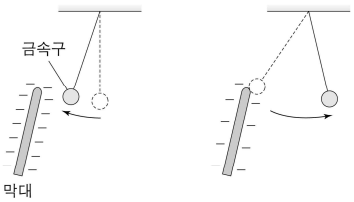
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설
ㄱ. 대전된 막대의 전하량을 $-\infty$라고 생각하면 전자는 손가락으로 이동한다. (O)
ㄴ. A와 B는 서로 당긴다. (X)
ㄷ. 실험 결과를 통해 A와 C는 서로 당기므로 C는 유전 분극이 일어난 상태이다. (O)

02 2025학년도 6월 7번 정답률 73%

7. 그림 (가)는 음(−)으로 대전된 막대를 절연된 실에 매달린 대전되지 않은 금속구에 가까이 했을 때, 금속구가 막대 쪽으로 움직이는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 금속구가 막대와 접촉한 후 막대에서 멀어지는 모습을 나타낸 것이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. (가)에서 금속구에는 정전기 유도가 일어난다.
ㄴ. 막대와 금속구가 접촉할 때 막대의 전자가 금속구로 이동한다.
ㄷ. (나)에서 금속구는 양(+)으로 대전되어 있다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. (가)에서 금속구에는 정전기 유도가 일어난다. (O)
ㄴ. 막대와 금속구가 접촉하면 막대의 전자가 금속구로 이동한다. (O)
ㄷ. (나)에서 금속구는 음(-)으로 대전되어 있다. (X)

PART 3
전류와 저항

개념 유형

01. 전류와 저항
02. 키르히호프 법칙

기출 유형

01. 저항

THEME

1 — 전류와 저항

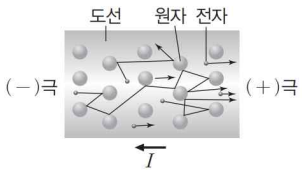
정리1 전류

개념1 전류

① 전자나 이온과 같이 전하를 띤 입자의 흐름을 전류라고 한다. (전자=물 분자, 전류=물의 흐름)

② 전류의 세기는 단위 시간(1초) 동안 도선의 단면을 통과하는 전하량으로 정의한다.

도선의 단면을 t초 동안 통과한 전하량이 Q라면 전류의 세기는 $I=\frac{Q}{t}=JA$이다. [단위: A]



③ 전류 밀도: $J=\frac{I}{A}$ [단위: A/m^2]

④ 유동 속력:

t초 동안 속력 v_d로 L만큼 움직이는 전하($t=\frac{L}{v_d}$)에 대해서 보자.

도선의 단면을 통과하는 전하량이 $q=Ne=(nV)e=(nAL)e$이다.

전류는 $I=\frac{q}{t}=\frac{nALe}{L/v_d}$, $I=Aqv_dn$을 만족하고 $v_d=\frac{I}{nAe}=\frac{J}{ne}$ 전하밀도는 $J=nqv_d=\sigma_eE$이다.

(단, n: 단위부피당 전하의 수, σ_e는 물질의 전기 전도도이다.)

개념2 전류의 방향

① 전위로 전류의 방향 해석

회로에서 전류는 고전위에서 저전위 방향으로 전류가 흐른다. (전기장과 똑같이 생각해도 좋다.)

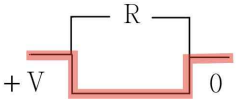
② 도선에서 전류

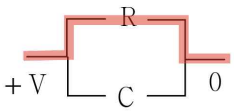
회로에서 전류는 전지의 (+)극에서 (−)극 방향으로 도선을 따라 흐른다. 음(-)전하(=전자)가 이동하는 방향의 반대 방향이다

개념3 전류의 특징

① 전류는 두 갈래 길이 있을 때 저항이 0인 곳으로만 간다.

② 전류는 저항이 ∞이면 지나갈 수가 없다.





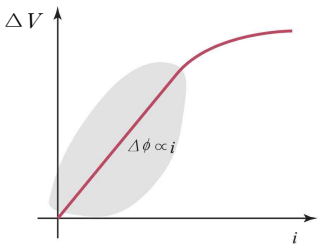
축전기 (완전히 충전)

개념4 저항

① 저항

저항은 물질이 전류의 흐름을 방해하는 정도를 수치로 나타낸 값으로 동일한 물체여도 전압을 어떻게 인가하느냐에 따라 값이 변할 수 있다.

저항의 양 끝에 V의 전위차가 비교적 작을 때는 옴의 법칙 $\Delta V=IR$을 만족한다.



② 저항기 읽는 방법

검정색	갈색	빨간색	주황색	노란색	초록색	파란색	보라색	회색	흰색	금색	은색
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	±5%	±10%

첫 번째 색(a) − 두 번째 색(b) − 세 번째 색(c) − 네 번째 색(금색)

$a.$ $\quad a.b$ $\quad a.b\times10^c$ $\quad a.b\times10^c$ (±5%)



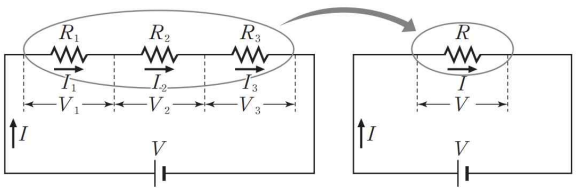
정리2 간단한 합성 저항

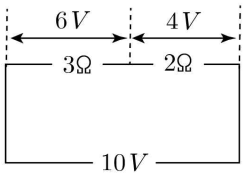
개념1 직렬 연결과 병렬 연결의 전위

① 소자의 직렬 연결 : 두 소자의 한 쪽의 전위가 같다.
② 소자의 병렬 연결 : 두 소자의 두 쪽의 전위가 같다

개념2 직렬 연결

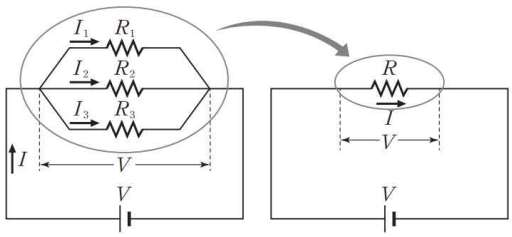
① 직렬 연결의 특징 : 각 소자에 흐르는 전류값이 동일하다.
② 직렬 연결의 합성 저항 : $R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3$
③ 직렬 연결의 전압 분배 : $V_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V$ (저항에 비례)

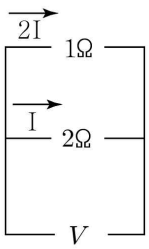




개념3 병렬 연결

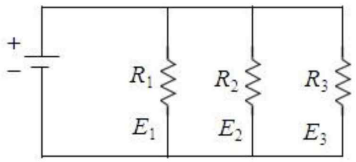
① 병렬 연결의 특징 : 각 소자에 걸리는 전압이 동일하다.
② 병렬 연결의 합성 저항 : $\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$ (만약 두 개의 저항의 합성저항이라면 $R_{tot} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$이다.)
③ 병렬 연결의 전압 분배 : $I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$ (저항에 반비례)





예제1 저항의 병렬 연결

아래 그림과 같이 세 개의 저항기가 병렬로 연결되어 있다고 하자. 각각의 저항기는 지름이 같으며 다른 길이를 가지고 있어서 $R_3 > R_2 > R_1$인 관계를 만족한다. 각 저항기 양단에 걸린 전기장 크기(E)의 관계를 옳게 나타낸 것은 다음 중 어느 것인가?



① $E_3 < E_2 < E_1$ ② $E_2 < E_1 = E_3$ ③ $E_1 = E_2 = E_3$
④ $E_1 < E_2 < E_3$

해설

저항기의 지름이 같다고 했으므로, 단면적과 같은 재질이다.
따라서 비저항도 같다고 가정할 수 있다.
저항 R은 길이 L에 비례함을 알 수 있다.
주어진 조건 $R_3 > R_2 > R_1$에 따라, 각 저항의 길이 관계는 $L_3 > L_2 > L_1$가 된다.

병렬 연결로 양 저항에 걸린 전압은 $V = EL$으로 같다.
따라서 $E = \frac{V}{L}$이므로 $E_3 < E_2 < E_1$이다.

| 정답 | ①

THEME

2 소비 전력

정리1 소비 전력

개념1 소비 전력

① 전력(P)

단위 시간 동안 공급하거나 소모되는 전기 에너지의 양으로 공급 전력 또는 소비 전력이라고도 한다.

② 소비 전력($P_{소비}$)

저항의 소비 전력은 $P_{소비}=\frac{dW}{dt}=V\frac{dq}{dt}=Vi=i^2R=\frac{V^2}{R}$이다.

(단, V는 저항의 양단에 걸린 전압, i는 저항에 흐르는 전류이다.)

개념2 소비 전력과 저항의 관계

세 저항 R_1, R_2, R_3의 직렬 연결과 병렬 연결에 대해서 각 저항의 소비전력을 알아보자.

① 직렬 연결일 때 각 저항의 비는 소비 전력의 비와 같다. ⇒ $P_1:P_2:P_3=R_1:R_2:R_3$

② 병렬 연결일 때 각 저항의 비는 소비 전력의 역수의 비와 같다. ⇒ $P_1:P_2:P_3=\frac{1}{R_1}:\frac{1}{R_2}:\frac{1}{R_3}$

개념3 교류 회로에서 소비 전력

① 소비 전력

교류 저항회로에 전류가 전기저항을 통과하면서 소모한 전력 P를 구해보자.

$P(t)=i(t)V(t)=i_0V_0\sin^2(\omega t)=P_0\sin^2(\omega t)$가 된다. ⇒ $P(t)=P_0\sin^2(\omega t)$

여기서 전력의 최댓값인 P_0는 전류의 최댓값 i_0, 그리고 전위차의 최댓값 V_0와의 사이에

$P_0=i_0V_0=i_0^2R=\frac{V_0^2}{R}$의 관계를 갖는다. (직류 회로와 동일하다.)

② 평균 소비 전력

교류 저항 회로에서 전류가 흐를 때 소모하는 전력 $P(t)$의 평균 $\langle P\rangle$를 구해보자.

$\langle P\rangle=\frac{1}{T}\int_0^T\left(P_0\sin^2(\omega t)\right)dt=\frac{1}{2}P_0$이므로

$\langle P\rangle=\frac{1}{2}P_0=\frac{1}{2}i_0V_0=\frac{1}{2}i_0^2R=\frac{V_0^2}{2R}$이다.

예제1 소비 전력

비저항이 $\rho = 3 \times 10^{-8}\,\Omega \cdot m$이고 단면의 반지름이 $3cm$인 구리 도선에 300A의 전류가 흐를 때, 도선에서 소모되는 단위 길이 당 전력 [W/m]과 가장 가까운 것은?

① 0.0003 ② 0.03 ③ 0.1 ④ 1

해설

단위 길이 당 전력은

$$\frac{P}{L} = \frac{I^2 R}{L} = \frac{I^2 \rho \frac{L}{A}}{L} = \frac{I^2 \rho}{A} = \frac{I^2 \rho}{\pi r^2}$$

$$\frac{P}{L} = \frac{(9 \times 10^4)(3 \times 10^{-8})}{(9 \times 10^{-4})\pi} = 0.955 = 1$$이다.

| 정답 | ④

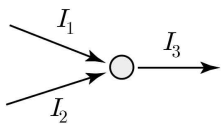
THEME

3 — 키르히호프 법칙

정리1 키르히호프 법칙

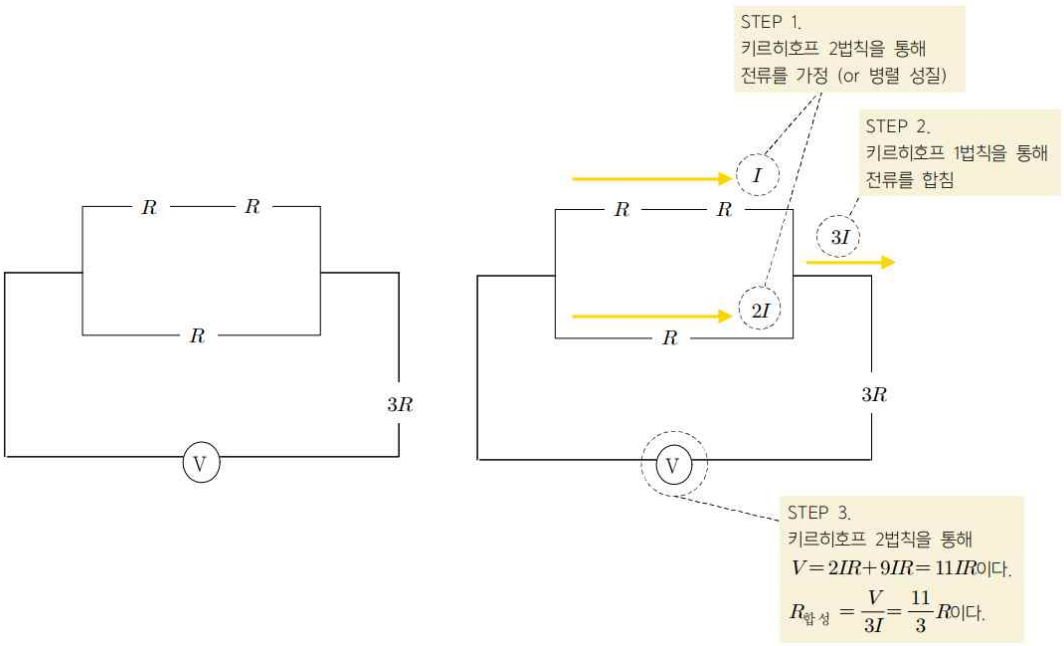
개념1 키르히호프 제 1법칙

회로 내의 어떤 지점에서든지 들어온 전류합과 나가는 전류합은 같다. ($I_1 + I_2 = I_3$)



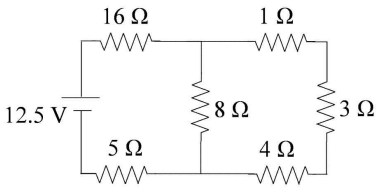
개념2 키르히호프 제 2법칙

회로 속 닫힌 경로에서, 전원의 기전력의 합은 회로 소자의 전압 강하의 합과 같다.



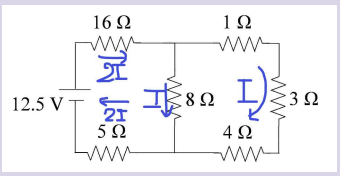
예제1 키르히호프 법칙

그림에서 8Ω 저항에 흐르는 전류 [A]는?



① 0.05 ② 0.25 ③ 0.43 ④ 0.83

해설

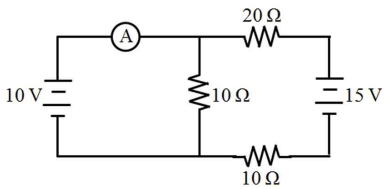


오른쪽 망로에 대해서 저항의 비가 1:10이므로 전류의 비도 1:10이다. 그러면 왼쪽 회로에 흐르는 전류는 $2I$라고 할 수 있다. 전압법칙을 사용하면 $12.5 = 50I$이고, $I = 0.25\,\mathrm{A}$이다.

| 정답 | ②

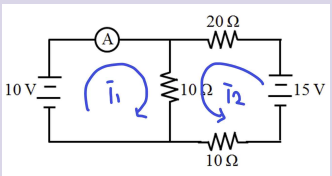
예제2 키르히호프 법칙

그림의 회로에서 전류계에 흐르는 전류는?



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

해설



왼쪽과 오른쪽 망로에 대해서 전압 법칙을 사용하자.

왼쪽 망로에 대해서 $10 = 10(i_1 + i_2)$이다.

$\Rightarrow\ i_1 + i_2 = 1$

오른쪽 망로에 대해서 $15 = 30i_2 + 10(i_2 + i_1)$

$\Rightarrow\ 2i_1 + 8i_2 = 3$

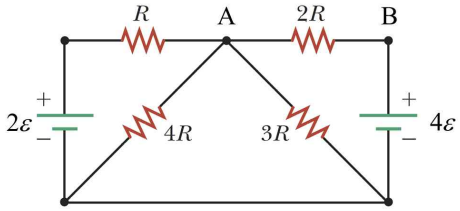
두 식을 i_2에 대해서 연립하면

$6i_1 = 5$에서 $i_1 = \frac{5}{6}\mathrm{A}$이다.

| 정답 | ③

예제3 키르히호프 법칙

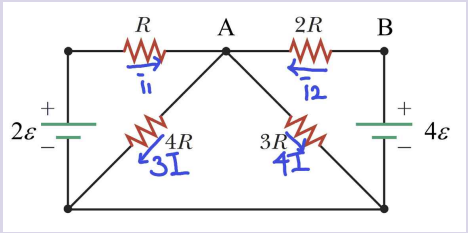
그림의 직류 회로에서 A와 B사이에 흐르는 전류는?



① $\frac{2}{13}\frac{\varepsilon}{R}$ ② $\frac{2}{3}\frac{\varepsilon}{R}$ ③ $\frac{17}{19}\frac{\varepsilon}{R}$ ④ $\frac{26}{25}\frac{\varepsilon}{R}$

해설

우선 전원이 없는 $4R$과 $3R$에 대해서 전압법칙을 생각해보면 각각의 저항에 흐르는 전류를 $3I$, $4I$라고 할 수 있다.
또한 R에 흐르는 전류를 i_1, $2R$에 흐르는 전류를 i_2라고 하자.



전류법칙에 의하여 $i_1+i_2=7I$를 만족하고, 각 망로에 대해 $2\varepsilon=Ri_1+12IR$, $4\varepsilon=2Ri_2+12IR$을 만족한다.
$2i_1+24=2i_2+12 \Rightarrow i_1-i_2=-6I$를 전류법칙과 연결하면
$i_1=\frac{1}{2}I$, $i_2=\frac{13}{2}I$이다.

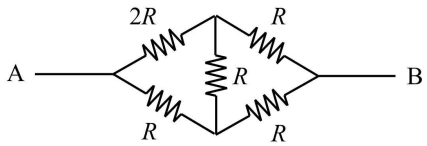
$2\varepsilon=Ri_1+12IR=\frac{1}{2}IR+12IR=\frac{25}{2}IR \Rightarrow I=\frac{4}{25}\frac{\varepsilon}{R}$

따라서 $i_2=\frac{13}{2}\frac{4}{25}\frac{\varepsilon}{R}=\frac{26}{25}\frac{\varepsilon}{R}$이다.

| 정답 | ④

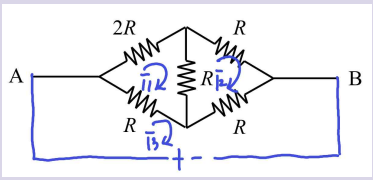
예제4 키르히호프 법칙

그림의 회로에서 A와 B사이에 V_0의 전압을 가했을 때 A와 B사이에 흐르는 전류는?



① $\frac{9}{11}\frac{V_0}{R}$ ② $\frac{5}{6}\frac{V_0}{R}$ ③ $\frac{11}{13}\frac{V_0}{R}$ ④ $\frac{6}{7}\frac{V_0}{R}$

해설



왼쪽 KVL) $2i_1+(i_1-i_2)+(i_1-i_3)=0$ ($R=1$로 두자.)
$\Rightarrow 4i_1-i_2-i_3=0$
오른쪽 KVL) $i_2+(i_2-i_3)+(i_2-i_1)=0$
$\Rightarrow -i_1+3i_2-i_3=0$

두 식을 연립하면 $i_1=\frac{4}{11}i_3$, $i_2=\frac{5}{11}i_3$이다.

이제 전원 쪽에 대해서 KVL을 적용하자.
$(i_3-i_1)+(i_3-i_2)=V$

$\Rightarrow 2i_3-i_1-i_2=\frac{13}{11}i_3=V$이므로 $i_3=\frac{11}{13}\frac{V_0}{R}$이다.

| 정답 | ③

THEME

4 휘트스톤 브릿지

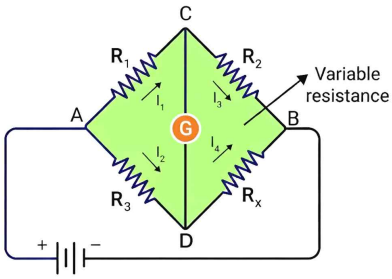
정리1 휘트스톤 브릿지

개념1 휘트스톤 브릿지

휘트스톤 브릿지(Wheatstone Bridge)는 미지의 전기 저항(R_x) 값을 정밀하게 측정하기 위해 고안된 전기 회로이다.
이 회로의 핵심 원리는 '다이아몬드' 형태로 연결된 4개의 저항 중 3개의 값을 알 때, 회로가 '평형(balanced)'을 이루는 조건을 이용해 나머지 1개의 저항값을 알아내는 것이다.

개념2 회로 구성

휘트스톤 브릿지는 4개의 저항(R_1, R_2, R_3, R_x)와 중간에 연결된 검류계(G)로 구성된다.



- R_1, R_2: 저항값이 고정된 '기지 저항'이다. (이 둘의 '비율'이 중요하다.)
- R_3: 저항값을 조절할 수 있는 '가변 저항'이다.
- R_x: 우리가 측정하려는 '미지 저항'이다.
- A – B: 전원(전압 V)이 연결되는 단자이다.
- C – D: 두 저항 사이의 중간 지점이며, 이 사이에 검류계(G)가 연결된다.

개념3 영점법

휘트스톤 브릿지의 측정 원리는 "평형 상태"를 찾는 것이다.
가변 저항 R_3의 값을 조절하여 검류계 G에 흐르는 전류 I_G가 정확히 0이 되는 순간을 찾는다.
$I_G = 0$ 이라는 것은 C 지점과 D 지점 사이의 전위차(전압)가 0이라는 뜻이다. $V_C = V_D$

따라서 $V_{AC} = V_{AC}$를 만족하고 $I_1R_1 = I_2R_2$이다.
또한, $V_{CB} = V_{DB}$를 만족하고 $I_1R_3 = I_2R_x$이다.

두 식을 나누면 $R_1R_x = R_2R_3$이다. (이것이 휘트스톤 브릿지의 평형 조건 공식이다.)

쉽게 암기하는 방법은 마주보는 저항의 곱이 같다고 생각하면 된다.

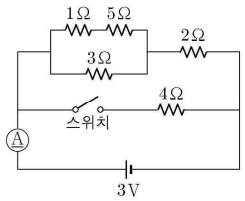
개념4 합성 저항

만약 평형 상태를 유지한다면 $\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1 + R_3} + \frac{1}{R_2 + R_x}$에서 $R_{tot} = \frac{(R_1 + R_3)(R_2 + R_x)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_x}$이다.

유형 01 저항

01 2022학년도 6월 8번 정답률 79%

8. 그림과 같이 전류계, 저항, 스위치, 전원을 연결하여 회로를 구성하였다. 전류계에 흐르는 전류는 스위치를 열었을 때 I_1, 스위치를 닫았을 때 I_2이다.



$\frac{I_2}{I_1}$는? [3점]

① 1 ② 2 ③ 3 ④ 4 ⑤ 5

정 답 ②

해 설

위쪽의 합성 저항은 4Ω이다.

스위치를 닫으면 전체의 합성 저항은 2Ω이다. $\left(R//R=\frac{R}{2}\right)$

따라서 $\frac{I_2}{I_1}=2$이다. ($I=\frac{V}{R}$을 이용하자.)

02 2022학년도 9월 12번 정답률 75%

12. 다음은 저항의 연결에 따른 전류의 세기를 알아보기 위한 실험이다.

〔실험 과정〕

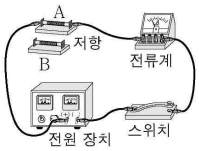
(가) 그림과 같이 직류 전원 장치, 전류계, 저항 A를 이용하여 회로를 구성한다.

(나) 전원 장치의 전압을 V로 일정하게 하고 전류계에 흐르는 전류의 세기를 측정한다.

(다) (가)에서 A를 저항 B로 바꾸어 (나)를 반복한다.

(라) (다)의 B에 A를 직렬로 연결하여 (나)를 반복한다.

(마) (라)의 A, B를 병렬연결로 바꾸어 (나)를 반복한다.



〔실험 결과〕

과정	(나)	(다)	(라)	(마)
전류의 세기	I_A	I	$\frac{1}{3}I$	$\frac{3}{2}I$

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

<보 기>

ㄱ. 저항값은 A가 B의 2배이다.

ㄴ. $I_A=\frac{1}{2}I$이다.

ㄷ. 같은 시간 동안 저항에서 소모되는 전기 에너지는 (라)의 A에서가 (마)의 B에서보다 작다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

(다) B만 연결: $V=IR_B$

(라) A, B 직렬 연결: $V=\frac{1}{3}I(R_A+R_B) \rightarrow R_A=2R_B$

ㄱ. 저항값은 A가 B의 2배이다. (O)

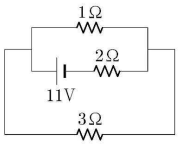
ㄴ. A의 저항이 B의 2배이므로 $I_A=\frac{1}{2}I$이다. (O)

ㄷ. (라) A) $P_A=(\frac{1}{3}I)^2 2R_B=\frac{2}{9}I^2R_B$

(마) B) $P_B=(\frac{2}{2}I)^2R_B=I^2R_B$ (O)

03 2022학년도 수능 8번 정답률 78%

8. 그림은 전압이 11V인 전원과 저항값이 각각 1Ω, 2Ω, 3Ω인 저항으로 구성한 회로를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 저항값이 1Ω인 저항에 흐르는 전류의 세기는 3A이다.
ㄴ. 저항값이 2Ω인 저항 양단에 걸린 전압은 6V이다.
ㄷ. 저항값이 3Ω인 저항에서 소비되는 전력은 3W이다.

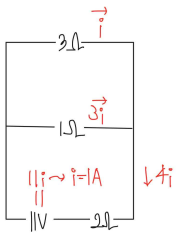
① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

문제의 형태가 생소할 수 있다.
하지만 천천히 생각해보면
병렬구조임을 이해할 수 있다.

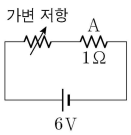
따라서 오른쪽 그림처럼 회로를
변형하여 그릴 수 있다.



ㄱ. 1Ω인 저항에 흐르는 전류는 3A이다. (O)
ㄴ. 2Ω인 저항에 대해서 옴의 법칙을 쓰면 $V=2\cdot 4=8V$ (X)
ㄷ. $P=I^2R=1^2 3=3W$ (O)

04 2023학년도 6월 6번 정답률 64%

6. 그림은 전압이 6V인 전원, 가변 저항, 저항값이 1Ω인 저항 A로 구성한 회로를 나타낸 것이다. 가변 저항의 저항값이 R_0, $2R_0$일 때 A에서 소비되는 전력은 각각 9W, P_0이다.



P_0은?

① 2W ② 4W ③ 6W ④ 8W ⑤ 10W

정 답 ②

해 설

STEP1 $R=R_0$

1Ω에 걸린 전압은 $V_{R_0}=\frac{1}{R_0+1}6$이다. (전압 분배를 생각)

$$P_A=\frac{V^2}{R}=(\frac{1}{R_0+1}6)^2=9 \rightarrow R_0=1\Omega$$

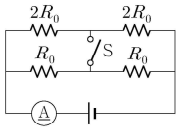
STEP2 $R=2R_0=2\Omega$

1Ω에 걸린 전압은 $V_A=\frac{1}{3}6=2V$이다.

$$P_A=\frac{2^2}{1}=4W$$

05 2023학년도 6월 10번 정답률 64%

10. 그림은 전압이 일정한 전원, 전류계, 저항, 스위치 S로 구성한 회로를 나타낸 것이다. S를 닫기 전 전류계에 흐르는 전류의 세기는 I_0이다.



S를 닫은 후 전류계에 흐르는 전류의 세기는? [3점]

① I_0 ② $\frac{3}{2}I_0$ ③ $2I_0$ ④ $\frac{5}{2}I_0$ ⑤ $3I_0$

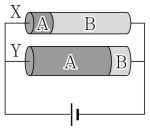
정 답 ①

해 설

스위치를 닫은 후에 휘트스톤 브릿지 성질 때문에
저항 중간 사이로는 전류가 흐르지 못한다.
따라서 open 상태랑 동일하게 전류계에 전류가 I로 흐른다.

06 2023학년도 9월 9번 정답률 75%

9. 그림과 같이 금속 A, B를 연결하여 만든 원통형 저항 X, Y를 전압이 일정한 전원에 연결하여 회로를 구성하였다. 표는 X, Y를 이루는 A, B의 단면적과 길이를 나타낸 것이고, A, B의 비저항은 각각 ρ_0, $2\rho_0$이다. X와 Y에서 소비되는 전력은 각각 P_X, P_Y이다.



저항	단면적	A의 길이	B의 길이
X	S	L	$4L$
Y	$2S$	$4L$	L

$P_X : P_Y$는? [3점]

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

정 답 ①

해 설

STEP1 저항 구하기

$R_X = \rho_0 \frac{L}{S} + 2\rho_0 \frac{4L}{S} = 9R$

$R_Y = \rho_0 \frac{4L}{2s} + 2\rho_0 \frac{L}{2S} = 3R$

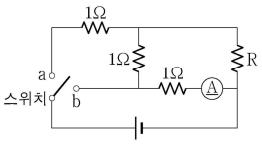
따라서 $R_X = 3R_Y$이다.

STEP2 소비 전력

서로 병렬 관계이므로 $P = \frac{V^2}{R}$를 이용하면 $P_X : P_Y = 1 : 3$이다.

07 2023학년도 수능 8번 정답률 58%

8. 그림과 같이 저항값이 1Ω인 저항 3개, 저항 R, 전류계, 스위치를 전압이 일정한 직류 전원에 연결하여 회로를 구성하였다. 전류계에 흐르는 전류의 세기는 스위치를 b에 연결했을 때가 스위치를 a에 연결했을 때의 7배이다.



R의 저항값은? [3점]

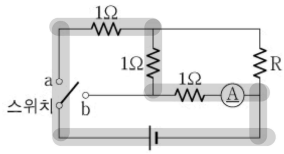
① $\frac{1}{3}\Omega$ ② $\frac{1}{2}\Omega$ ③ 1Ω ④ 2Ω ⑤ 3Ω

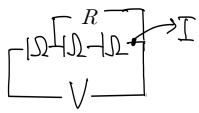
정 답 ②

해 설

STEP1 스위치를 a에 연결

스위치를 a에 연결하면 가장 많은 저항을 따라 그린 후 R을 추가하면 그림과 같다.





1Ω에 흐르는 전류가 I이므로 걸리는 전압은 2I이다.
따라서 병렬의 성질로 인해 R에 걸리는 전압 또한 2I이고,

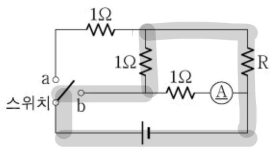
R에 흐르는 전류는 $\frac{2I}{R}$이다.

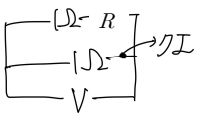
회로에 흐르는 전류는 $I + \frac{2I}{R}$이다.

정리하면 $V = 2I + (I + \frac{2I}{R}) = 3I + \frac{2I}{R}$

STEP2 스위치를 b에 연결

스위치를 a에 연결하면 가장 많은 저항을 따라 그린 후 1Ω을 추가하면 그림과 같다. (a쪽 1Ω은 동작하지 않는다.)



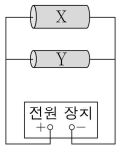


1Ω에 흐르는 전류가 7I이므로 회로에 걸리는 전압은 7I이다.

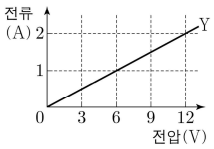
위의 두 식을 연립하면, $3I + \frac{2I}{R} = 7I$에서 $R = \frac{1}{2}\Omega$이다.

08 2024학년도 6월 6번 정답률 59%

6. 그림 (가)와 같이 길이가 같은 동일한 재질의 원통형 금속 막대 X, Y를 전원 장치에 연결하여 회로를 구성하였다. 단면적은 X가 Y의 2배이다. 그림 (나)는 전원 장치의 전압에 따라 Y에 흐르는 전류의 세기를 나타낸 것이다.



(가)



(나)

전원 장치의 전압이 6V일 때, X의 소비 전력은?

① 4W ② 6W ③ 8W ④ 10W ⑤ 12W

정 답 ①

해 설

$V=IR_{tot}$을 통해 $R_{tot}=\frac{V}{I}=6\,\Omega$이다.

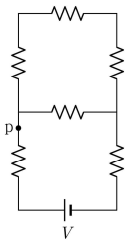
합성저항을 계산하면 $\frac{1\times2}{1+2}R=\frac{2}{3}R=6$이고,

$R=9\,\Omega$이다.

따라서 $P_X=\frac{V^2}{R}=\frac{36}{9}=4\,W$이다.

09 2024학년도 6월 7번 정답률 51%

7. 그림과 같이 저항값이 R인 저항 6개와 전압이 V인 전원으로 회로를 구성하였다.



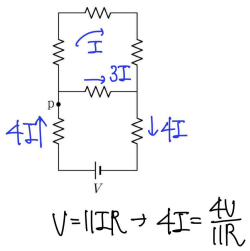
회로상의 점 p에 흐르는 전류의 세기는?

① $\frac{4V}{11R}$ ② $\frac{5V}{11R}$ ③ $\frac{6V}{11R}$
④ $\frac{7V}{11R}$ ⑤ $\frac{8V}{11R}$

정 답 ①

해 설

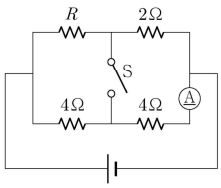
저항만 있는 부분에 대해서
저항의 비가 3 : 1이므로 흐르는
전류의 비는 1 : 3이 된다.
(I와 3I로 표기하겠다.)
그러면 전원이 있는 망로에 흐르는
전류의 세기는 4I가 된다.
이때 다시 전압 법칙을 사용하면
$V=11IR$을 만족한다.
우리가 구해야 하는 것은



점 p에 흐르는 전류이므로 $4I=\frac{4V}{11R}$이다.

10 2024학년도 9월 11번 정답률 42%

11. 그림은 전압이 일정한 전원과 저항값이 R, 2Ω, 4Ω, 4Ω인 저항, 스위치 S, 전류계로 구성한 회로를 나타낸 것이다. 전류계에 흐르는 전류는 S를 열었을 때 5A이고, 닫았을 때 $\frac{10}{3}$ A이다.



R는? [3점]

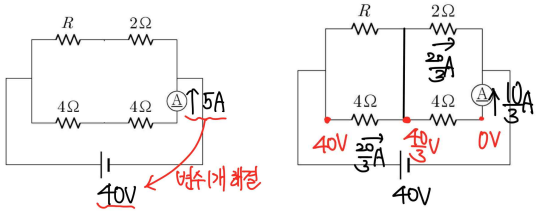
① 2Ω ② 4Ω ③ 5Ω ④ 6Ω ⑤ 8Ω

정 답 ⑤

해 설

STEP1 스위치가 열렸을 때

전류 조건을 가지고 회로의 전압을 계산한다.

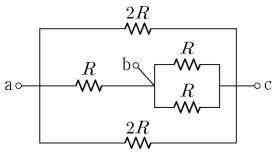


STEP2 스위치가 닫혔을 때

스위치를 닫았을 때 전류 조건을 통하여 4Ω에 걸리는 전압은 $\frac{40}{3}$V이다. 또한 병렬구조에 의하여 2Ω에 걸리는 전압도 $\frac{40}{3}$V이므로 흐르는 전류는 $\frac{20}{3}$A이다. 전류법칙에 의하여 전원에 흐르는 전류는 10A이고, 이 전류가 다시 회로에 들어갔을 때 4Ω에 걸린 전압이 전위차에 의해 $\frac{80}{3}$V이므로 흐르는 전류는 $\frac{20}{3}$A이므로 R에 걸리는 전압은 $\frac{80}{3}$V이고, 흐르는 전류는 $\frac{10}{3}$A이므로 옴의 법칙에 의하여 $R=8\Omega$이다.

11 2024학년도 수능 16번 정답률 41%

16. 그림과 같이 저항값이 각각 R, $2R$인 저항을 연결하였다. 표는 단자 a, b, c 중 두 단자를 전압이 V인 전원 장치에 연결하여 회로를 구성하였을 때, 회로의 소비 전력을 나타낸 것이다.



전원 장치 연결 단자	회로의 소비 전력
a, b	P_0
a, c	P

$\frac{P}{P_0}$는? [3점]

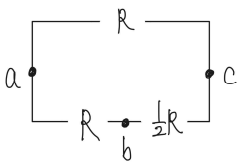
① $\frac{1}{2}$ ② $\frac{2}{3}$ ③ $\frac{4}{5}$ ④ 1 ⑤ $\frac{4}{3}$

정 답 ④

해 설

전원 장치 연결 단자가 a, b일 때 R과 $R+\frac{1}{2}R$이다.

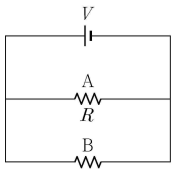
전원 장치 연결 단자가 a, c일 때 R과 $R+\frac{1}{2}R$이다.



합성 저항의 값이 동일하므로 $\frac{P}{P_0}=1$이다.

12 2025학년도 6월 5번 정답률 80%

5. 그림과 같이 저항 A와 B를 전압이 V인 전원에 연결하여 회로를 구성하였다. A의 저항값은 R이고, 전류의 세기는 B에서가 A에서의 3배이다.



A와 B의 소비 전력의 합은?

① $\frac{V^2}{R}$ ② $\frac{2V^2}{R}$ ③ $\frac{3V^2}{R}$ ④ $\frac{4V^2}{R}$ ⑤ $\frac{5V^2}{R}$

정 답 ④

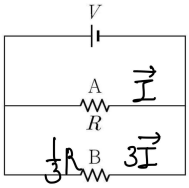
해 설

전류의 비 조건을 통해

저항 B는 $\frac{1}{3}R$임을 찾을 수 있다.

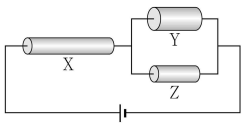
반면 전체 소비 전력의 경우

$P=\frac{V^2}{R}+\frac{3V^2}{R}=\frac{4V^2}{R}$이다.



13 2025학년도 9월 10번 정답률 70%

10. 그림과 같이 동일한 재질의 원통형 금속 저항 X, Y, Z를 전압이 일정한 전원에 연결하여 회로를 구성하였다. 표는 X, Y, Z의 길이와 단면적을 나타낸 것이다. X, Y에서 소비되는 전력은 각각 P_X, P_Y이다.



저항	길이	단면적
X	$2L$	A
Y	L	$2A$
Z	L	A

$\frac{P_X}{P_Y}$는? [3점]

① 3 ② 6 ③ 8 ④ 9 ⑤ 12

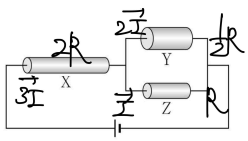
정 답 ④

해 설

소비전력을 구하기 위하여

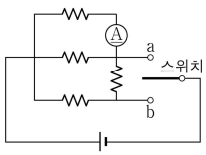
$P=I^2R$ 을 이용하면

$\frac{P_X}{P_Y}=\frac{9\times 2}{4\times\frac{1}{2}}=9$이다.



14 2025학년도 수능 6번 정답률 61%

6. 그림과 같이 저항값이 같은 저항 4개, 스위치, 전류계, 전압이 일정한 전원으로 회로를 구성하였다. 스위치를 a에 연결했을 때, 전류계에 흐르는 전류의 세기는 I_0이다.



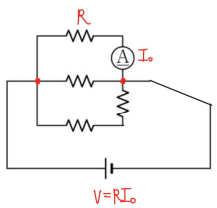
스위치를 b에 연결했을 때, 전류계에 흐르는 전류의 세기는? [3점]

① $\frac{1}{6}I_0$ ② $\frac{1}{3}I_0$ ③ $\frac{1}{2}I_0$ ④ $\frac{5}{6}I_0$ ⑤ $\frac{7}{6}I_0$

정 답 ②

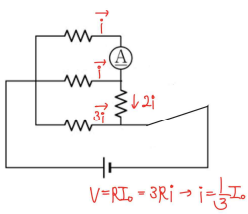
해 설

CASE1 a에 연결



병렬의 성질에 의하여 전원의 전압은 $V=RI_0$이다.

CASE2 b에 연결

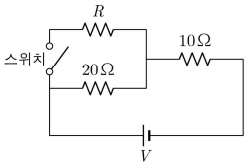


위쪽 망로에 대해서 저항이 동일하므로 i, i로 쓸 수 있고, 합쳐지면 2i이다. 다시 전압 법칙에 의하여 3i의 전류가 흐르고, 전원쪽 전압 법칙을 쓰면 $V=RI_0=3Ri$를 만족

하므로 $i=\frac{1}{3}I_0$이다.

15 2025학년도 6월 13번 정답률 80%

13. 그림과 같이 저항값이 각각 R, $20\,\Omega$, $10\,\Omega$인 저항, 스위치, 전압이 V로 일정한 전원으로 회로를 구성하였다. 저항값이 $10\,\Omega$인 저항에 걸리는 전압은 스위치를 열었을 때와 닫았을 때 각각 4V, 6V이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

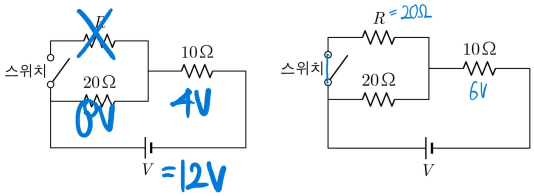
<보 기>

ㄱ. $V=12\,\mathrm{V}$이다.
ㄴ. $R=5\,\Omega$이다.
ㄷ. 회로 전체에서 소비되는 전력은 스위치를 열었을 때가 스위치를 닫았을 때보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

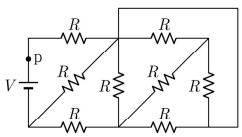
해 설



ㄱ. 스위치를 열었을 때를 통하여 $V=12\,\mathrm{V}$이다. (O)
ㄴ. $R=20\,\Omega$이다. (X)
ㄷ. 스위치를 닫으면 합성 전기용량이 작아지므로 소비 전력은 감소한다. (O)

16 2026학년도 9월 20번 정답률 63%

20. 그림과 같이 저항값이 R인 저항 8개를 전압이 V인 전원에 연결하여 회로를 구성하였다.

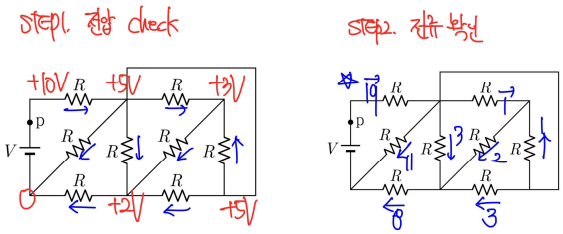


회로상의 점 p에 흐르는 전류의 세기는? [3점]

① $\frac{17V}{30R}$ ② $\frac{19V}{30R}$ ③ $\frac{7V}{10R}$ ④ $\frac{23V}{30R}$ ⑤ $\frac{5V}{6R}$

정 답 ②

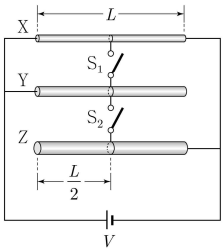
해 설



최종적으로 $V=30IR$을 만족하므로 $I_p=19I=\frac{19}{30}I$이다.

14 2026학년도 수능 14번 정답률 65%

14. 그림과 같이 동일한 재질의 원통형 금속 막대 X, Y, Z와 스위치 S_1, S_2를 전압이 V로 일정한 전원에 연결하여 회로를 구성하였다. X, Y, Z의 길이는 L로 모두 같고, 단면적은 각각 A, $2A$, $4A$이다. S_1은 X, Y의 길이가 각각 절반인 지점에, S_2는 Y, Z의 길이가 각각 절반인 지점에 연결되어 있다. S_1과 S_2가 모두 열려 있을 때, 회로 전체에서 소비되는 전력은 P_0이다.



S_1과 S_2가 모두 닫혀 있을 때, 회로 전체에서 소비되는 전력은? (단, 금속 막대의 비저항은 일정하다.)

① $\frac{13}{4}P_0$ ② $\frac{7}{2}P_0$ ③ $\frac{15}{4}P_0$ ④ $4P_0$ ⑤ $\frac{17}{4}P_0$

정 답 ③

해 설

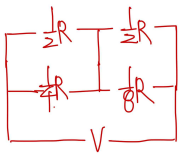
면적의 정보를 토대로 저항의 값들을 결정하자.

$R_X = R$, $R_Y = \frac{1}{2}R$, $R_Z = \frac{1}{4}R$이다.

스위치가 모두 열려있을 때 X에만 전류가 흐르므로 소비전력

$P_0 = \frac{V^2}{R} = 1$라고 하자. ($V=1$, $R=1$로 설정)

스위치가 모두 닫혔을 때 회로는 그림과 같이 생각할 수 있다.



이 회로는 $\frac{1}{2}R \| \frac{1}{4}R = \frac{1}{6}R$와 $\frac{1}{2}R \| \frac{1}{8}R = \frac{1}{10}R$의 직렬 연결

이므로 $R_{tot} = \frac{1}{6} + \frac{1}{10} = \frac{4}{15}R$이다.

따라서 $P = \frac{15}{4}P_0$이다.

PART 4
트랜지스터

개념 유형

01. 기본 개념
02. 가변 저항의 변화

기출 유형

01. 트랜지스터의 개념
02. 공통 베이스 회로
03. 공통 이미터 회로
04. 전류 되먹임 회로

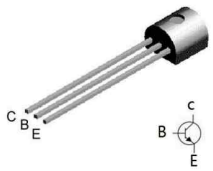
THEME

1 — 기본 개념

정리1 트랜지스터

개념1 접합형 트랜지스터(BJT)

트랜지스터는 많은 종류가 있는데, 그 중에서 접합형 트랜지스터가 수능에서 출제된다.
BJT는 베이스(Base), 이미터(Emitter), 컬렉터(Collector)의 세 단자로 구성되어 있으며, 전류를 이용하여 증폭 및 스위칭을 제어한다.
일반적으로 n−p−n형과 p−n−p형이 있으며, 소신호 증폭 및 스위칭에 주로 사용된다.



개념2 트랜지스터의 활동 모드에서 단자의 역할

① 베이스 영역
이미터에서 주입된 캐리어가 컬렉터로 도달하기 위해 지나가는 영역, 중간 정도의 도핑 농도를 가지며,
BJT의 증폭률을 크게 만들기 위해 얇게 만들어진다. (두께가 수 μm 정도로 매우 좁은 영역이다.)

② 이미터 영역
전류 운반 캐리어(electron 또는 hole)를 제공하며, 베이스나 컬렉터 영역에 비해 불순물 농도가 가장 높게 도핑된다.
또한 베이스와 순방향 전압을 걸어주는 영역이다.

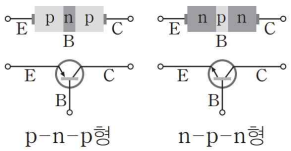
③ 컬렉터 영역
베이스 영역을 지나온 캐리어가 모이는 영역으로써, 이미터나 베이스 영역에 비해 불순물 농도가 가장 낮게 도핑된다.
또한 베이스와 역방향 전압을 걸어주는 영역이다.

*실제 BJT는 이미터 영역과 컬렉터 영역의 기하학적 구조가 다르며, 베이스나 컬렉터 세 영역의 도핑 농도도 각기 다르다.

개념3 트랜지스터의 구조

BJT의 동작 원리는 다이오드와 동일한데(전류에 의해서 전류를 제어), 전하를 공급하는 이미터(Emitter)가 더 붙어있는 것이다.

① 화살표 표시는 이미터-베이스 사이에만 쓴다.
② 화살표 표시 방향은 전류의 방향이다.
③ 이미터에서 베이스로 향한다면 p−n−p형이다.
④ 베이스에서 이미터로 향한다면 n−p−n형이다.

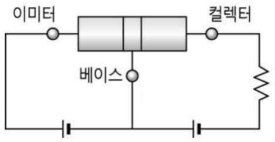
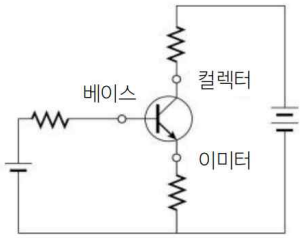


p−n−p형 n−p−n형

정리2 여러 가지 회로

개념1 공통 회로

BJT에서 트랜지스터의 기본적 모양은 크게 3가지가 있다. 공통 베이스 회로, 공통 이미터 회로, 공통 컬렉터 회로이다.
시험에 나오는 것은 공통 베이스 회로와 공통 이미터 회로이다.

공통 베이스 회로	공통 이미터 회로
	

TIP 망로 방정식

위의 그림에서 공통 이미터 회로를 보자.
베이스와 이미터 사이의 전압을 V_{BE}, 컬렉터와 이미터 사이이의 전압을 V_{CE}, 왼쪽 전압을 V_1, 오른쪽 전압을 V_2,
베이스에 흐르는 전류를 I_B, 이미터에 흐르는 전류를 I_E, 컬렉터에 흐르는 전류를 I_C라고 하자.
왼쪽 망로) $V_1 = R_1 I_B + V_{BE} + R_2 I_E$ 오른쪽 망로) $V_2 = R_3 I_C + V_{CE} + R_2 I_E$ 를 만족한다.

트랜지스터는 저항이 없다고 생각한다. 망로 방정식을 세울 때 트렌지스터의 소자에 의한 전압 강하만 생각하면 된다.

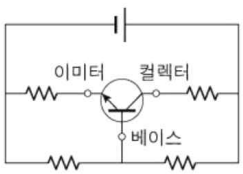
TIP 전위

① 회로에 상관없이 트랜지스터에서 이미터에서 컬렉터로 전류가 흐른다면 전위는 $V_E > V_B > V_C$이다.
이 상황에서 이미터는 p형 반도체이고, p형 반도체의 양공의 진행 방향은 전류의 방향과 동일하다.

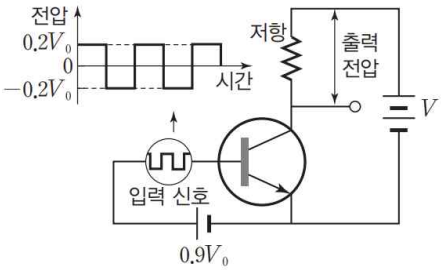
② 컬렉터에서 이미터로 전류가 흐른다면 전위는 $V_C > V_B > V_E$이다.
상황에서 이미터는 n형 반도체이고, n형 반도체의 전자의 진행 방향은 전류의 방향과 반대이다.

개념2 전류 되먹임 바이어스 회로

공통 베이스 회로랑 비슷하게 생겼다. 하지만 작동 방식은 다르므로 엄연히 다른 회로임을 암기하자.



정리3 스위칭 작용



개념1 스위칭 작용

이미터와 베이스 사이에 전류가 흐르지 않으면 컬렉터에도 전류가 흐르지 않으므로, 이미터와 베이스 사이에 전류를 흐르게 하거나 흐르지 않도록 하여 컬렉터에 전류가 흐르게 할 수도 있고, 흐르지 않도록 할 수도 있다.

개념2 스위칭 작용 계산

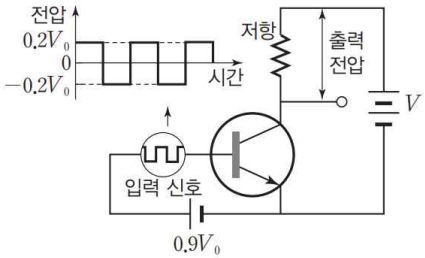
이미터와 베이스 사이에 전류가 흐를 수 있는 최소 전압을 V_0이라고 할 때, 이미터와 베이스 사이에 $0.9V_0$인 전압이 걸려 있고 $+0.2V_0$과 $-0.2V_0$의 입력 신호가 교대로 입력되는 경우를 생각해보자. (컬렉터의 전압는 필요없다.)

① 입력 신호의 전압이 $+0.2V_0$일 때는 이미터와 베이스 사이에 걸린 전압이 $1.1V_0$이므로 이미터와 베이스 사이에 전류가 흘러 컬렉터에도 전류가 흐른다. 따라서 컬렉터에 연결된 저항에는 V와 거의 같은 전압이 걸리며, 이 전압을 출력할 수 있다.
② 입력 신호의 전압이 $-0.2V_0$일 때는 이미터와 베이스 사이에 걸린 전압이 $0.7V_0$이므로 이미터와 베이스 사이에 전류가 흐르지 않아 컬렉터에 전류가 흐르지 않는다. 따라서 저항에 전류가 흐르지 않아 출력 전압이 0이 된다.

개념3 바이어스 전압

트랜지스터를 정상적으로 작동시키기 위해서는 이미터와 베이스 사이에 적절한 전압을 걸어 주어야 하는데, 이 전압을 바이어스 전압이라고 한다.

정리4 트랜지스터의 증폭 작용



개념1 베이스와 컬렉터에 흐르는 전류의 비교

이미터와 베이스 사이의 전압보다 베이스와 컬렉터 사이의 전압을 훨씬 크게 하면, 이미터에서 베이스로 흐르는 전류 대부분이 컬렉터로 흐르게 되어 베이스 전류 I_B에 비해 컬렉터 전류 I_C가 훨씬 크다.

(이는 당연하다. 이미터 전압을 더 크게 걸어주면 베이스를 통과하여 컬렉터에 더 많이 도착한다.)

개념2 증폭 작용

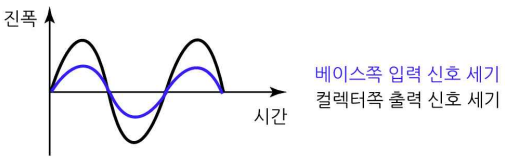
그림과 같이 베이스 단자에 마이크와 같은 입력 장치를 연결하면, 베이스 전류의 미세한 변화가 컬렉터에 서 큰 변화로 출력된다. 이와 같이 베이스 전류의 미세한 변화를 컬렉터에서 큰 변화로 출력하는 작용을 트랜지스터의 증폭 작용이라고 한다.

개념3 증폭 작용의 오개념

증폭 작용은 사실 힘이나 에너지를 키우는 개념이 아니라 작은 힘으로 큰 힘을 제어하는 것이다. 이미터-콜렉터 사이를 흐르는 커다란 전류를 베이스라고 하는 작은 밸브로 조절하는 것이다. 10V의 전원을 가지는 증폭회로에서 트랜지스터를 통과했다고 20V가 되는 것은 아니다. 오히려 전원의 전압을 낮추는 방법으로 증폭을 한다. 베이스 전압이 0~1V 사이를 움직일 때 이미터-컬렉터를 통과하는 전압은 0~10 V 사이를 왔다갔다 하는 식이다

개념4 전류 증폭률

컬렉터쪽에 출력되는 전류의 세기를 I_C라고 하고,
베이스쪽에 입력되는 전류의 세기를 I_B라고 할 때
트랜지스터의 전류 증폭률은 $\beta = \dfrac{I_C}{I_B}$을 만족한다.



개념5 전류 증폭률의 영향력

앞서 전류 증폭률 $\beta = \dfrac{I_C}{I_B}$ (식1)를 만족했다.

$I_E = I_B + I_C$를 만족하므로 $I_E = (1+\beta)I_B$이고, $\dfrac{I_E}{I_B} = 1+\beta$ (식2) 이다.

따라서 위의 두 결과로부터 각 전류의 전류 증폭률에 대한 영향력을 생각해 볼 수 있다.

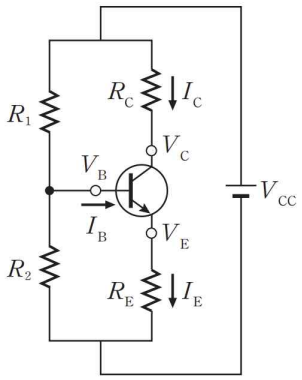
$$I_E = 1+\beta,\ I_B = 1,\ I_C = \beta$$

따라서 한 부분에 흐르는 전류의 세기가 감소한다면 나머지 부분에 흐르는 전류의 세기도 감소한다.

THEME

2 가변 저항의 변화

정리1 가변 저항의 변화에 따른 물리량 변화



개념1 전압 분할로 바이어스 전압 결정하기

n−p−n형 트랜지스터를 전원에 연결하여 일정한 전류 증폭률로 작동시킬 때 베이스와 이미터 사이의 전압을 일정한 값 V_{BE}로, 컬렉터와 이미터 사이의 전압을 일정한 값 V_{CE}로 정해 놓고 이때 이미터 단자 전위를 V_E로 가정하면, 트랜지스터의 세 단자의 전위는 각각 다음과 같다.

① 이미터 단자 전위 : V_E (셋팅)

② 베이스 단자 전위 : $V_B = V_E + V_{BE}$
(전류가 베이스에서 이미터로 간다. 따라서 베이스 전위가 이미터 전위 다 고전위임을 알 수 있다.)

③ 컬렉터 단자 전위 : $V_C = V_E + V_{CE}$
(전류가 컬렉터에서 이미터로 간다. 따라서 컬렉터 전위가 이미터 전위 다 고전위임을 알 수 있다.)

개념2 저항 결정하기

4개의 저항을 이용하여 그림과 같이 회로를 설계한다.
베이스 단자로 흐르는 전류 I_B가 매우 작다면 (0이라고 생각해보자.) 밑단에 대해 V_{CC}를 두 저항 R_1, R_2로 분할하여 R_2에 걸리는 전압은 $V_B = \dfrac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$가 될 수 있다. ($I_B = 0$으로 생각하기로 했으니 휘트스톤 브릿지를 생각해보면 좋다.)

윗단에 대해 $R_E = \dfrac{V_E}{I_E} \fallingdotseq \dfrac{V_E}{I_C}$로 할 수 있고, $R_C = \dfrac{V_{CC} - V_C}{I_C}$가 되도록 할 수 있다.

개념3 가변저항(R_2)의 증가로 인해 나타나는 현상 (시험 출제 ★★★★★)

전위	이유	결과
V_C	$V_C = V_{CC} - I_C R_C$ (일정) (증가)	감소
V_B	$V_B = \dfrac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$	증가
V_E	$V_E = V_B - V_{BE}$ (증가) (일정)	증가

전위차와 전류	이유	결과
가변저항에 걸린 전압	R_2의 증가	증가
R_1에 걸린 전압	R_2와 직렬 연결	감소
R_C에 걸린 전압	$\triangle V_C = V_{CC} - V_C$ (일정) (감소)	증가
R_E에 걸린 전압	$\triangle V_E = V_E$	증가

TIP 전위
이미터 아래쪽의 가변 저항의 크기가 증가하면 트랜지스터에 흐르는 모든 전류의 세기가 증가한다.

유형 01 트랜지스터의 개념

01 2024학년도 수능 1번 정답률 83%

1. 다음은 트랜지스터의 A, B 작용에 대한 설명이다.

> ○ A 작용 : 베이스 전류의 미세한 변화로 컬렉터 전류의 큰 변화를 얻는다.
> ○ B 작용 : 베이스 전류를 이용하여 컬렉터 전류를 흐르게 하거나 흐르지 않게 한다.

A, B로 가장 적절한 것은?

	A	B		A	B
①	증폭	스위칭	②	증폭	상호 유도
③	정류	스위칭	④	정류	상호 유도
⑤	스위칭	증폭			

정 답 ①

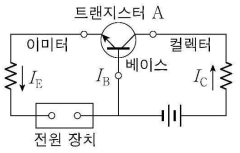
해 설

A. 증폭 작용
B. 스위칭 작용

유형 02 공통 베이스 회로

01 2022학년도 9월 10번 정답률 78%

10. 그림은 트랜지스터 A가 연결된 회로를 나타낸 것이다. 이미터, 컬렉터와 연결된 도선에는 화살표 방향으로 세기가 I_E, I_C인 전류가 각각 흐르고 베이스와 연결된 도선에는 세기가 I_B인 전류가 흐르고 있다. 전류의 증폭률 $\frac{I_C}{I_B}$는 1보다 크다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A는 n-p-n형 트랜지스터이다.
ㄴ. $I_B = I_E - I_C$이다.
ㄷ. 이미터와 베이스 사이에는 역방향 전압이 걸려 있다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

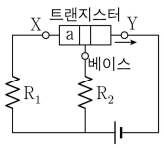
정 답 ③

해 설

ㄱ. 베이스와 컬렉터로 들어온 전류가 이미터로 나가므로 A는 n−p−n형 트랜지스터이다. (O)
ㄴ. 베이스와 컬렉터로 흐르는 전류의 합은 이미터로 흐르는 전류와 같으므로 $I_B = I_E - I_C$이다. (O)
ㄷ. 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸려 있다. (X)

02 2023학년도 9월 7번 정답률 32%

7. 그림과 같이 트랜지스터, 저항 R_1과 R_2, 전압이 일정한 전원으로 구성된 회로에서 전류가 증폭되고 있다. a는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이며, Y에서는 전류가 화살표 방향으로 흐른다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

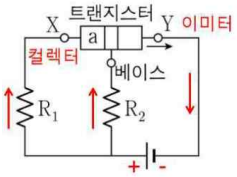
ㄱ. a는 p형 반도체이다.
ㄴ. 전류의 세기는 Y에서가 X에서보다 크다.
ㄷ. 저항 양단에 걸리는 전압은 R_2에서가 R_1에서보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

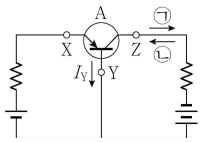
ㄱ. Y에는 화살표 방향으로 전류가 흐르므로 베이스와 Y 사이에는 순방향 전압이 걸린다. 따라서 Y는 이미터이고, a는 n형 반도체이다. (X)



ㄴ. 이미터는 컬렉터보다 전류의 세기가 크다. (O)
ㄷ. 회로에는 n−p−n형 트랜지스터가 연결되어 있고 이미터에서 이동한 전자의 대부분은 베이스를 지나 컬렉터로 흐르므로 전위는 컬렉터가 베이스보다 높다. 따라서 저항 양단에 걸리는 전압은 R_2에서가 R_1에서보다 크다. (O)

03 2023학년도 수능 9번 정답률 74%

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



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

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

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

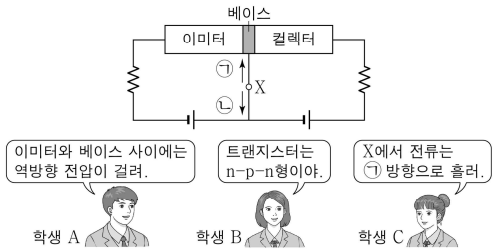
정 답 ④

해 설

ㄱ. p−n−p형 이다. (X)
ㄴ. 전류가 이미터에서 베이스로 흐르므로 전위는 이미터에서가 베이스에서보다 높다. (O)
ㄷ. 왼쪽 회로에서 전류는 시계 방향이다. 따라서 오른쪽 회로에서 전류도 시계 방향이므로 답은 ㉠이다. (O)

04 2026학년도 수능 4번 정답률 78%

4. 그림은 트랜지스터, 저항, 전압이 일정한 전원으로 구성되어 전류를 증폭하고 있는 회로에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다. X는 베이스에 연결된 단자이다.



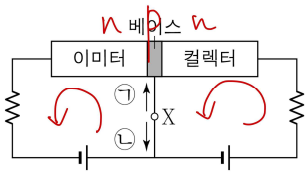
제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

① A ② B ③ A, C ④ B, C ⑤ A, B, C

정 답 ④

해 설

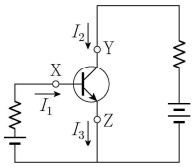
A. 이미터와 베이스는 순방향 전압이 걸린다. (X)
B. 트랜지스터는 npn형이다. (O)
C. X에서 전류는 ㉠방향이다. (O)



유형 03 공통 이미터 회로

01 2023학년도 6월 3번 정답률 70%

3. 그림은 트랜지스터, 저항, 전원을 연결하여 구성한 전류 증폭 회로를 나타낸 것이다. 트랜지스터에 연결된 단자 X, Y, Z에는 화살표 방향으로 세기가 각각 I_1, I_2, I_3인 전류가 흐른다.



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

<보 기>

ㄱ. 트랜지스터는 n－p－n형 트랜지스터이다.
ㄴ. $I_2 > I_3$이다.
ㄷ. Z는 컬렉터 단자이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

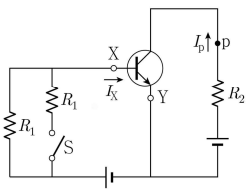
정 답 ①

해 설

ㄱ. 트랜지스터는 n－p－n형이다. (O)
ㄴ. Y는 컬렉터, Z는 이미터이므로 $I_3 = I_1 + I_2$이다. (X)
ㄷ. 이미터 단자이다. (X)

02 2024학년도 6월 15번 정답률 42%

15. 그림과 같이 전압이 일정한 두 전원, 트랜지스터, 스위치 S, 저항값이 일정한 세 저항으로 구성된 회로에서 전류가 증폭되고 있다. X, Y는 트랜지스터에 연결된 단자이고, X와 회로상의 점 p에는 세기가 각각 I_X, I_p인 전류가 화살표 방향으로 흐른다. S를 닫기 전과 후의 $\frac{I_p}{I_X}$는 일정하다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. Y는 이미터 단자이다.
ㄴ. I_X는 S를 닫기 전이 닫은 후보다 작다.
ㄷ. 저항값이 R_2인 저항 양단에 걸리는 전압은 S를 닫기 전이 닫은 후보다 작다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

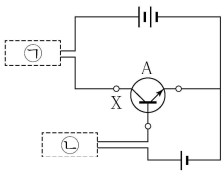
정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 화살표가 가리키는 방향은 이미터 단자이다. (O)
ㄴ. S를 닫으면 합성 저항이 작아지므로 전류의 세기는 증가한다. 따라서 I_X는 S를 닫기 전이 닫은 후보다 작다. (O)
ㄷ. 저항에 걸리는 전압은 옴의 법칙에 의해 I_p의 증/감에 대해서 확인해 봐야 한다. I_X가 증가하면 모든 전류의 세기가 증폭되므로 S를 닫기 전이 닫은 후보다 작다. (O)

03 2025학년도 6월 13번 정답률 67%

13. 그림과 같이 마이크의 입력 신호가 트랜지스터 A에 의해 증폭되어 스피커로 전달되는 전류 증폭 회로를 구성하였다. X는 A의 단자 중 하나이다. ㉠과 ㉡은 마이크와 스피커를 순서 없이 나타낸 것이다.



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

<보 기>

ㄱ. A는 n-p-n형 트랜지스터이다.
ㄴ. ㉠은 스피커이다.
ㄷ. X는 컬렉터 단자이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

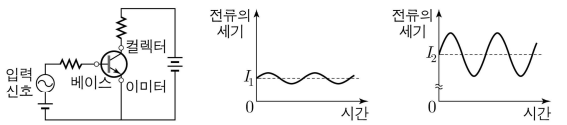
정 답 ⑤

해 설

ㄱ. A는 n−p−n형이다. (O)
ㄴ. 컬렉터에 연결되어 있으므로 출력 기능인 스피커이다. (O)
ㄷ. X는 컬렉터 단자이다. (O)

04 2025학년도 9월 11번 정답률 75%

11. 그림 (가)와 같이 트랜지스터가 연결된 회로에서 베이스와 이미터 사이에 바이어스 전압을 걸어 전류가 증폭되고 있다. 그림 (나), (다)는 (가)의 베이스 단자와 컬렉터 단자에 시간에 따라 흐르는 전류의 세기를 순서 없이 나타낸 것이고, $I_1 < I_2$이다.



(가) (나) (다)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 트랜지스터는 n-p-n형이다.
ㄴ. 이미터 단자와 베이스 단자 사이에는 순방향 전압이 걸린다.
ㄷ. (다)는 컬렉터 단자에 흐르는 전류이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

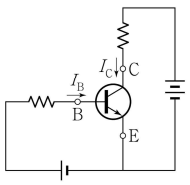
정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 트랜지스터는 n−p−n형이다. (O)
ㄴ. 이미터 단자와 베이스 단자는 정의에 의해서 순방향 전압이다. (O)
ㄷ. (다)는 (나)보다 전류의 세기가 크므로 컬렉터 단자에 흐르는 전류이다. (O)

05 2025학년도 수능 8번 정답률 69%

8. 그림과 같이 트랜지스터, 저항, 전압이 일정한 전원을 연결하여 구성된 회로에서 전류가 증폭되고 있다. B, C, E는 각각 베이스, 컬렉터, 이미터에 연결된 단자이고, B, C에는 세기가 각각 I_B, I_C인 전류가 화살표 방향으로 흐른다.



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

<보 기>

ㄱ. 트랜지스터는 p-n-p형이다.
ㄴ. B의 전위는 C의 전위보다 높다.
ㄷ. $I_C > I_B$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

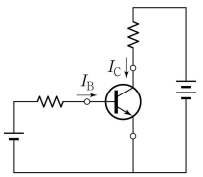
해 설

ㄱ. 트랜지스터는 n−p−n형이다. (X)
ㄴ. B의 전위는 C의 전위보다 높다. (O)
ㄷ. 컬렉터의 전류는 베이스의 전류보다 세다. (O)

06 2026학년도 6월 4번 정답률 92%

4. 다음은 트랜지스터를 이용하여 구성된 회로에 대한 설명이다.

그림과 같이 트랜지스터, 저항, 전원으로 구성된 회로에서 베이스 전류 I_B와 컬렉터 전류 I_C가 흐르고 있을 때, 작은 입력 전류인 I_B에 비례하여 큰 출력 전류인 I_C를 얻는 것을 [㉠] 작용이라 한다. [㉠] 작용이 잘 일어나게 하기 위해 저항을 이용하여 트랜지스터의 각 단자 사이의 전압을 적절하게 조절하는 과정이 필요한데, 이를 [㉡] 전압을 설정한다고 한다.



㉠, ㉡으로 가장 적절한 것은? [3점]

	㉠	㉡		㉠	㉡
①	증폭	유도	②	스위칭	유도
③	증폭	바이어스	④	스위칭	바이어스
⑤	바이어스	증폭			

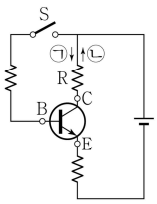
정 답 ③

해 설

㉠은 **증폭** 작용이다.
㉡은 **바이어스** 전압이다.

07 2026학년도 9월 6번 정답률 90%

6. 그림과 같이 전압이 일정한 전원, 트랜지스터, 저항, 스위치 S를 연결하여 회로를 구성하였다. B, C, E는 각각 베이스, 컬렉터, 이미터에 연결된 단자이다. S를 열면 저항 R에 전류가 흐르지 않고, S를 닫으면 R에 전류가 흐른다.



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

<보 기>

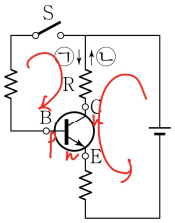
ㄱ. 트랜지스터는 n-p-n형이다.
ㄴ. S를 닫으면 B와 E 사이에는 순방향 전압이 걸린다.
ㄷ. S를 닫으면 R에 흐르는 전류의 방향은 ㉠이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

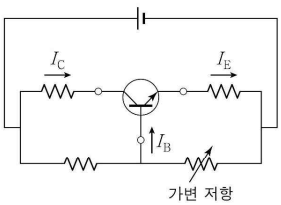
ㄱ. 트랜지스터는 n−p−n형이다. (O)
ㄴ. 베이스와 이미터는 순방향 전압이다. (O)
ㄷ. S를 닫으면 전류의 방향은 ㉠이다. (O)



유형 04 전류 되먹임 회로

01 2022학년도 6월 16번 정답률 42%

16. 그림과 같이 트랜지스터, 저항, 가변 저항, 전압이 일정한 전원을 연결하여 전류 증폭 회로를 구성하였다. 컬렉터 전류 I_C, 베이스 전류 I_B, 이미터 전류 I_E가 화살표 방향으로 흐른다. $\frac{I_C}{I_B}$는 일정하다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 베이스는 p형 반도체이다.
ㄴ. 베이스 단자의 전위는 이미터 단자의 전위보다 높다.
ㄷ. 가변 저항의 저항값을 증가시키면 I_C는 증가한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

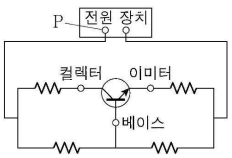
정 답 ⑤

해 설

ㄱ. n−p−n형 트랜지스터이므로 베이스는 p형 반도체이다. (O)
ㄴ. 이미터(E) 단자의 전위를 V_E, 이미터(E)와 베이스(B) 사이의 전압을 V_{BE}라고 할때 베이스(B) 단자의 전위는 $V_E + V_{BE}$ 이다. 따라서 베이스(B) 단자의 전위는 이미터(E) 단자의 전위 보다 높다. (O)
ㄷ. 가변 저항의 저항값을 증가시키면 V_{BE}가 증가하므로 I_B의 세기가 증가한다. $\frac{I_C}{I_B}$가 일정하므로 I_B의 세기가 커지면 I_C 의 세기도 증가한다. (O)

02 2022학년도 수능 13번 정답률 60%

13. 그림과 같이 트랜지스터, 저항, 전압이 일정한 전원 장치를 연결하여 전류 증폭 회로를 구성하였다. P는 전원 장치의 전극 중 하나이다. 베이스 전류는 컬렉터 전류보다 매우 작다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. P는 양(+)극이다.
ㄴ. 트랜지스터에서 다수의 전자는 컬렉터에서 이미터로 이동한다.
ㄷ. 컬렉터 단자의 전위는 베이스 단자의 전위보다 높다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

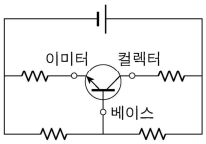
정 답 ③

해 설

ㄱ. 베이스에서 이미터로 전류가 흐르므로 n−p−n형이다. 전류는 베이스 → 이미터 → 오른쪽 전원 장치로 들어간다. 따라서 P는 (+)극이다. (O)
ㄴ. n−p−n형 트랜지스터에서 다수의 전자는 컬렉터에서 이미터로 이동하지 못한다. (X)
ㄷ. 컬렉터-베이스는 역방향 전류가 흐르므로 전류는 컬렉터-베이스로 전류가 흐른다. 따라서 컬렉터 단자의 전위가 베이스 단자의 전위보다 높다. (O)

03 2024학년도 9월 8번 정답률 57%

8. 그림과 같이 트랜지스터, 저항, 전압이 일정한 전원으로 구성된 회로에서, 트랜지스터가 전류를 증폭하고 있다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 트랜지스터는 n-p-n형이다.
ㄴ. 베이스 단자의 전위는 컬렉터 단자의 전위보다 높다.
ㄷ. 전류의 세기는 베이스 단자에서가 이미터 단자에서보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

ㄱ. 트랜지스터는 n-p-n형이다. (O)
ㄴ. 전류가 컬렉터에서 베이스로 진행하므로 컬렉터 단자의 전위가 베이스 단자의 전위보다 높다. (X)
ㄷ. 전류의 세기는 이미터 단자에서가 베이스 단자에서보다 크다. (X)

PART 3
전류와 저항

개념 유형

01. 전류와 저항
02. 소비 전력
03. 전류와 저항
04. 휘트스톤 브릿지

기출 유형

01. 저항

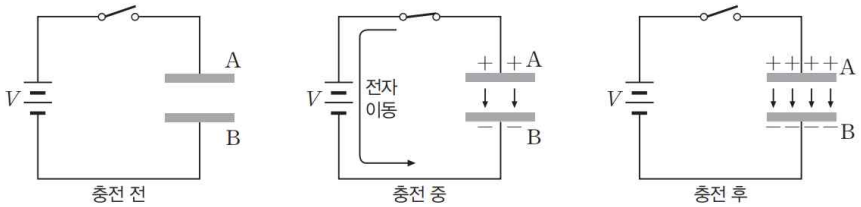
THEME

1 축전기

정리1 축전기

개념1 축전기

① 축전기 : 기본적으로 평행한 두 금속판으로 되어 있으며, 각각의 금속판에 같은 전하량이 충전되어 전기 에너지가 저장된다.
- 축전기에 전하가 모이는 현상을 충전, 축전기에서 전하가 빠져나가는 현상을 방전이라고 한다.
- 충전되는 전하량은 걸어 준 전압에 비례하며, 이때 비례 상수를 전기 용량(C)이라고 한다.
  전기 용량은 극판의 면적이 넓을수록, 극판 사이의 거리가 가까울수록 크며, 단위는 F(패럿)을 사용한다.



② 축전기에 충전되는 전하량은 $Q=CV$이다.
(단, C는 축전기의 전기 용량, V는 축전기 양 단에 걸린 전압)

③ 축전기의 위쪽에는 양(+)전하가 유도되고, 아래쪽에는 음(−)전하가 유도된다.

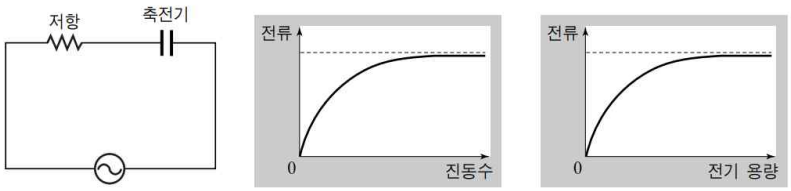
④ $t=0$에서 축전기는 $R=0$과 비슷하고, $t=\infty$에서 축전기는 $R=\infty$(빈출)와 같다.
전류가 축전기로만 흐름 / 전류가 흐르지 못함

⑤ 전원이 제거되더라도 축전기 계에 충전된 전하량은 보존된다. (☆☆☆)

개념2 전기 회로에서 축전기

① 직류 회로에서 축전기 : 축전기가 직류 회로에 연결되면 축전기에 전하가 완전히 충전되어 회로에는 전류가 흐르지 못한다.
즉, 직류 회로에서 축전기는 매우 큰 저항 역할을 한다.

② 교류 회로에서 축전기 : 축전기가 교류 회로에 연결되면 축전기에는 충전과 방전이 주기적으로 일어나면서 회로에는 교류가 흐르게 된다.
- 용량 리액턴스 : 축전기에 의하여 교류의 흐름을 방해하는 정도를 말한다.
- 교류의 진동수가 클수록, 전기 용량이 클수록 축전기의 용량 리액턴스는 작다.
- 축전기에 직렬 연결된 저항에 흐르는 전류의 세기는 진동수가 클수록, 전기 용량이 클수록 크다.



개념3 축전기의 전기 용량

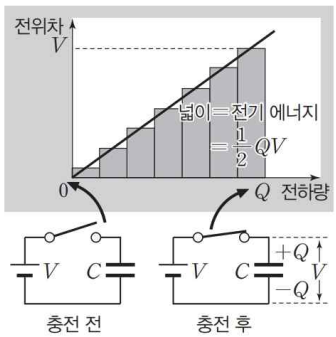
① 판의 면적이 크면 충전이 잘되고, 판 사이의 거리가 짧을수록 충전이 잘된다.
② 전기 용량의 단위는 F (패럿)이다.
③ 빈 축전기에 유전율이 $k\varepsilon_0$인 유전체를 가득 채우면 전기 용량은 k배 증가한다.

정리2 축전기에 저장된 전기 에너지

개념1 축전기에 저장된 전기 에너지

① 전기 용량이 C인 축전기에 전압 V인 전지를 연결하여 충전을 시작하면 축전기 극판의 양단에 전하가 이동하여 대전이 된다.

② 전기 에너지는 전위차-전하량 그래프의 밑넓이와 같다. $U=\frac{1}{2}QV=\frac{1}{2}CV^2=\frac{Q^2}{2C}$

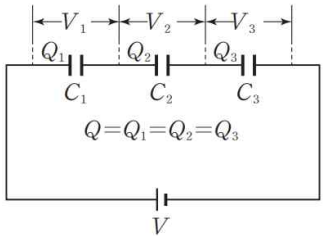


개념2 직렬 연결에서 전기 에너지의 조건

축전기의 직렬 연결에서는 각 축전기에 저장되는 전하량이 동일하다.

따라서 Q와 C가 들어간 $U=\frac{Q^2}{2C}$를 사용하자.

$U_1:U_2:U_3=\frac{1}{C_1}:\frac{1}{C_2}:\frac{1}{C_3}$이다.

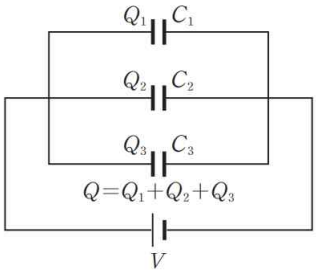


개념3 병렬 연결에서 전기 에너지의 조건

축전기의 병렬 연결에서는 V가 동일하다.

따라서 V와 C가 들어간 $U=\frac{1}{2}CV^2$을 사용하자.

$U_1:U_2:U_3=C_1:C_2:C_3$이다.



	저항(소비 전력)	축전기(전기 에너지)
직렬	$P_1:P_2:P_3=R_1:R_2:R_3$	$U_1:U_2:U_3=\frac{1}{C_1}:\frac{1}{C_2}:\frac{1}{C_3}$
병렬	$P_1:P_2:P_3=\frac{1}{R_1}:\frac{1}{R_2}:\frac{1}{R_3}$	$U_1:U_2:U_3=C_1:C_2:C_3$

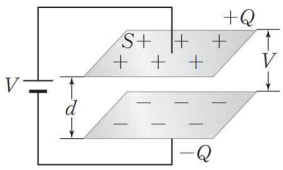
정리3 평행판 축전기의 전기용량

개념1 평행판 축전기의 전기용량

① 전기장: $\int EdA\cos 0 = \int_{아래} EdA = EA = \frac{Q}{\epsilon_0} \Rightarrow E = \frac{Q}{\epsilon_0 A}$

② 전위: $V = -\int_0^d \vec{E}dy = -\int_0^d (-\frac{Q}{\epsilon_0 A}\hat{y})dy = \frac{Q}{\epsilon_0 A}\int_0^d dy = \frac{Q}{\epsilon_0 A}d \Rightarrow V = \frac{Q}{\epsilon_0 A}d$

③ 전기용량: $C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{\frac{Qd}{\epsilon_0 A}} = \epsilon_0\frac{A}{d}\ [F] \Rightarrow \boxed{C = \epsilon_0\frac{A}{d}}$



④ 평행판 축전기에 저장할 수 있는 전기 에너지는 $\boxed{U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{Q^2 d}{2\epsilon_0 A}}$이다.

개념2 유전체를 넣었을 때

축전기 판 사이에 유전율이 κ인 유전체를 가득 채우면 전기용량 C는 κ배만큼 증가한다.

$$C = \kappa C_0$$

① 유전체

유리, 종이, 나무, 플라스틱과 같은 부도체 중에서 유전 분극 현상이 잘 일어나는 물체이다.

② 유전율

전기장 내에서 유전 분극되는 정도와 관련 있는 물리량이다. 유전 분극이 잘 될수록 유전율이 크다.

(진공의 유전율은 일반적으로 $\epsilon_0 = 8.855\times 10^{-12}[\mathrm{F/m}]$으로 나타낸다.)

개념3 도체를 넣었을 때

축전기 판 사이에 두께 t (단, $t < d$)인 도체판을 넣으면 전기용량이 증가한다. (간격 d만큼 줄어든 효과가 난다.)

$$C = \epsilon_0\frac{A}{d-t}$$

예제1 평행판 축전기

속이 빈 평행판 축전기에 저장된 전기 에너지를 U라고 하자. 이 고립된 축전기의 두 평행판 사이의 간격을 2배 증가시키면 축전기의 전기 에너지는?

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

해설

평행판 사이의 간격을 2배 증가시키면 전기 용량은 $\frac{1}{2}$배가 된다. 전하량 보존 법칙에 의하여 축전기에 충전된 전하량은 동일하므로 $U = \frac{Q^2}{2C}$에서 $2U$가 된다.

| 정답 | ④

정리5 축전기의 직렬 연결과 병렬 연결

개념1 축전기의 직렬 연결

① 전하량 Q는 일정하다.

직렬연결된 회로에서는 전하가 흐를 수 있는 경로가 하나뿐이다. 따라서 전원에서 공급된 전하량 Q는 첫 번째 축전기(C_1)을 통과하여 두 번째 축전기(C_2), 세 번째 축전기(C_3)로 그대로 전달됩니다. 중간에 전하가 빠져나가거나 새로 생겨날 곳이 없으므로, 각 축전기에 저장되는 전하량은 모두 같다. $Q_{total} = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \cdots = Q$

② 전압 V는 분배된다.

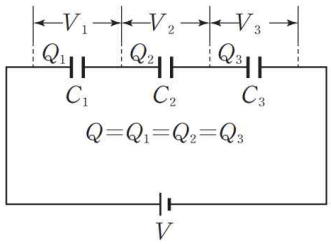
전체 전압(V)은 회로 전체에 걸리는 전압으로, 각 축전기에 나뉘어 걸린다. 즉, 전체 전압은 각 축전기에 걸리는 전압(V_1, V_2, V_3, …)의 합과 같다. $V_{total} = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots$

③ 전기용량

축전기의 기본 공식은 $Q = CV$이며, 이를 전압 V에 대해 정리하면 $V = \frac{Q}{C}$이다.

따라서 $\frac{Q_{total}}{C_{eq}} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \frac{Q_3}{C_3} + \cdots$이므로 $\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \cdots$를 만족한다. 특히 $C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$를 만족한다.

	직렬 저항	직렬 축전기
전류/전하량	동일(I)	동일(Q)
걸린 전압	R에 비례	C에 반비례
합성값	선형 덧셈 $R_{tot} = R_1 + R_2$	역수 덧셈 $\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$



개념2 축전기의 병렬 연결

① 전압 V는 일정하다.

병렬연결된 회로에서는 각 축전기의 양단이 전원의 양극과 음극에 직접 연결된다. 따라서 전원에서 공급하는 전체 전압 V는 각 축전기(C_1, C_2, C_3, …)에 동일하게 걸린다. $V_{total} = V_1 = V_2 = V_3 = \cdots = V$

② 전하량 Q은 분배된다.

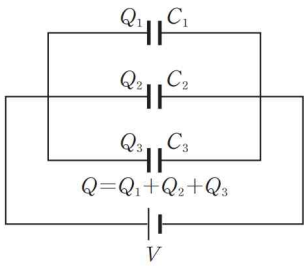
전체 전하량(Q_{total})은 전원에서 나와 각 축전기로 나뉘어 흘러 들어간다. 즉, 전체 전하량은 각 축전기에 저장되는 전하량 Q_1, Q_2, Q_3, …의 합과 같다. $Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \cdots$

③ 전기용량

축전기의 기본 공식은 $Q = CV$이다. 이 관계를 전체 전하량 식에 적용하면

$Q_{total} = C_{eq} V_{total}$에서 $C_{eq} V_{total} = C_1 V_1 + C_2 V_2 + C_3 V_3 + \cdots$이므로 $C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots$을 만족한다.

	병렬 저항	병렬 축전기
전류/전하량	R에 반비례	C에 비례
걸린 전압	동일(V)	동일(V)
합성값	역수 덧셈 $\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$	선형 덧셈 $C_{tot} = C_1 + C_2$



예제2 축전기의 직렬 연결

전기용량이 C인 축전기 2개를 직렬로 연결한 후 1.5V 전지를 연결할 때 축전기 1개에 저장되는 전하가 Q이다. 동일한 축전기 3개를 병렬로 연결한 후 1.5V전지를 연결할 때 축전기 1개에 저장되는 전하는?

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

해설

두 축전기를 직렬 연결하면 합성 전기 용량은 $\frac{C}{2}$이다.

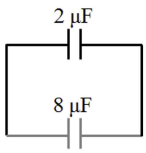
세 축전기를 병렬 연결해도 양 변에 걸린 전압의 값은 동일하므로 각 전기 용량은 C로 일정하다.

따라서 $Q=CV$에 의하여 전기 용량이 2배이므로 충전된 전하량은 $2Q$이다.

| 정답 | ③

예제3 축전기의 병렬 연결

전기용량이 2μF인 축전기가 10V의 전압으로 충전되었다. 이 축전기를 전기용량이 8μF인 다른 축전기와 연결하여 두 축전기의 전하가 평형 상태에 도달했을 때, 전기용량이 8μF인 축전기에 걸린 전압[V]은?



① 2 ② 6 ③ 8 ④ 16

해설

처음에 축전기에 충전된 전하량은 $Q=CV=20$이다.

이 전하량은 보존이 된다.

이 상태에서 8μF의 축전기를 연결하면 서로 양손을 잡고 있으므로 병렬 연결이다. 병렬 연결에서 걸린 전압은 같고, $Q=CV$에 의하여 두 전하가 갖는 전하량의 비는 전기 용량의 비 $1:4$가 되는 것을 알 수 있다.

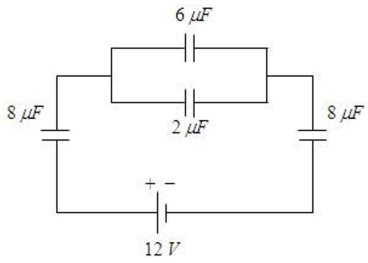
따라서 8μF 축전기에 충전된 전하량은 $20\times\frac{4}{5}=16$이다.

$V=\frac{Q}{C}=\frac{16}{8}=2\,V$이다.

| 정답 | ①

예제4 축전기의 직, 병렬 연결

아래 그림과 같이 연결되어 있는 축전기의 등가 전기용량과 각 축전기에 걸린 전위차는 얼마인가?



① $2.67\mu F, 4V$ ② $2.47\mu F, 5V$ ③ $2.67\mu F, 6V$ ④ $2.47\mu F, 4V$

해설

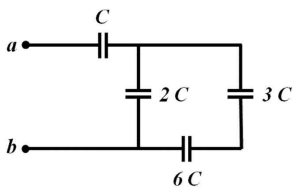
합성 전기 용량은 $\frac{1}{C_{tot}}=\frac{1}{8}+\frac{1}{8}+\frac{1}{8}$, $C_{tot}=\frac{8}{3}=2.67\mu F$

축전기들의 전기 용량이 동일하므로 각 축전기에 걸린 전압은 $4V$로 같다.

| 정답 | ①

예제5 복잡한 축전기의 연결

여러 개의 축전기가 아래 그림과 같이 연결되어 있다고 하자. 단자 a와 b사이의 등가 전기용량은 얼마인가? (단, $C=45\mu F$이다.)



① $24\mu F$ ② $36\mu F$ ③ $52\mu F$ ④ $44\mu F$

해설

오른쪽 끝 회로에 대해서 $3C \| 6C=\frac{18}{9}=2C$이다.

오른쪽 회로에 대해서 $2C+2C=4C$이다.

따라서 전체 회로에 대해서 $C \| 4C=\frac{4}{5}C$이므로

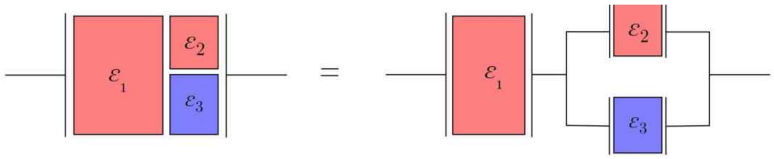
a와 b 사이의 등가 전기용량은 $36\mu F$이다.

| 정답 | ③

정리6 유전체가 여러 개 들어있을 때 합성 전기 용량

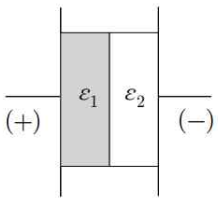
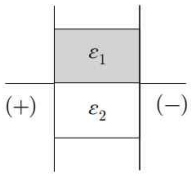
개념1 합성 전기 용량

아래와 같이 한 축전기에 대해서 복잡하게 유전체가 있을 경우 전기 용량을 계산하는 방법이다.
판에 대해서 전류의 흐름을 생각해 면 좋다. 전류는 ε_1과 $\varepsilon_1+\varepsilon_2$의 계를 직렬로 지난다고 생각할 수 있다.
그 다음 $\varepsilon_2+\varepsilon_3$를 지날 때 전류가 갈 수 있는 갈래는 2가지이므로 병렬로 전류가 지난다고 볼 수 있다.



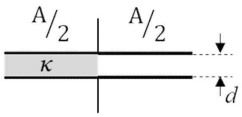
개념2 특수한 공식

아래의 계산은 하나의 축전기에 대해서 두 개의 유전체를 절반만큼 삽입한 것이다.
① 축전기의 직렬 연결은 저항의 병렬 연결 계산과 같다. 그 다음 계산한 다음에 $\times 2$를 해주면 된다.
② 축전기의 병렬 연결은 저항의 직렬 연결 계산과 같다. 그 다음 계산한 다음에 $/2$를 해주면 된다.

직렬 회로	병렬 회로
	
$C_{tot}=2\dfrac{\varepsilon_1\varepsilon_2}{\varepsilon_1+\varepsilon_2}C$	$C_{tot}=\dfrac{\varepsilon_1+\varepsilon_2}{2}C$

예제6 합성 전기 용량

그림과 같이 극판의 면적이 A이고 간격이 d인 평행판 축전기 사이의 왼쪽 공간이 유전상수 $\kappa = 2$인 물질로 채워져 있다. 이 축전기의 전기 용량은? (단, ε_0은 자유 공간의 유전율이다.



① $\frac{\varepsilon_0 A}{3d}$ ② $\frac{2\varepsilon_0 A}{3d}$ ③ $\frac{3\varepsilon_0 A}{2d}$ ④ $3\varepsilon_0 A$

해설

축전기의 병렬연결과 동일한 모습이다.

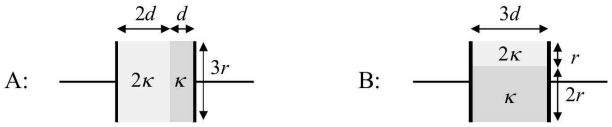
$C_{왼쪽} = 1$, $C_{오른쪽} = 2$라고 할 수 있다.

따라서 $C_{tot} = \frac{2}{3} = \frac{2\epsilon_0 A}{3d}$이다.

| 정답 | ②

예제7 합성 전기 용량

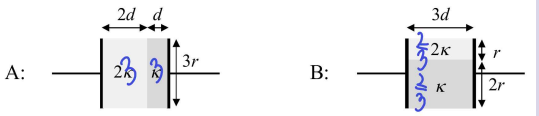
유전상수가 각각 κ, 2κ인 두 유전체와 도체판을 이용하여 단면이 그림과 같은 축전기 A와 B를 제작하였다. 두 축전기에 사용된 도체판의 면적은 모두 동일하고, 도체판 사이의 거리는 $3d$이다. 축전기 A와 B의 전기 용량을 각각 C_A, C_B라고 할 때, 다음 중 옳은 것은?



① $C_A > 2C_B$ ② $2C_A < C_B$

③ $C_B < C_A < 2C_B$ ④ $C_A < C_B < 2C_A$

해설



두 축전기의 전기 용량을 가정하면 위와 같다.

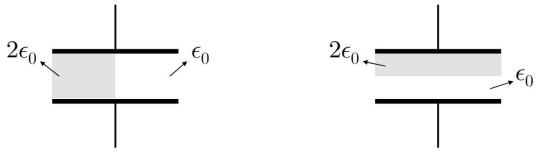
따라서 합성 전기 용량은 $C_A = \frac{3}{2}$이고, $C_B = \frac{4}{3}$이다.

$C_B < C_A < 2C_B$이다.

| 정답 | ③

예제8 합성 전기 용량

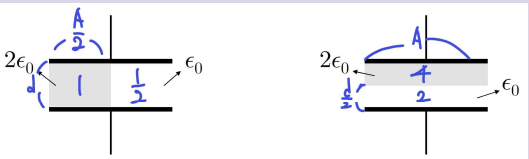
그림과 같이 두 도체 판 사이 공간의 절반을 유전율이 $2\epsilon_0$인 유전체로 채운 축전기 A와 B가 있다. 축전기 A와 B의 전기용량을 각각 C_A, C_B라고 할 때, $\frac{C_B}{C_A}$는? (단, 두 축전기의 도체 판 사이의 거리는 각각 동일하고, ϵ_0는 자유 공간의 유전율이다.)



축전기 A　　축전기 B

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

해설



축전기 A　　축전기 B

축전기 A의 합성 전기 용량은 $C_A = \frac{3}{2}$이고,

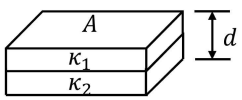
축전기 B의 합성 전기 용량은 $C_B = 4 \| 2 = \frac{8}{6} = \frac{4}{3}$이다.

따라서 $\frac{C_B}{C_A} = \frac{\frac{4}{3}}{\frac{3}{2}} = \frac{8}{9}$

| 정답 | ②

예제9 합성 전기 용량

각각의 면적이 A인 직사각형 모양의 두 금속판이 서로 d만큼 떨어져 있는 축전기를 생각하자. 이때 다음 그림과 같이 반쪽은 유전상수가 κ_1인 물질로 채워져 있고, 다른 반쪽은 유전상수가 κ_2인 물질로 채워져 있다고 하자. 이 축전기의 전기용량을 축전기에 아무것도 채워지지 않을 때의 전기용량 C_0으로 표현하면 얼마인가? (단, ϵ_0은 진공의 유전율이다.)



① $\frac{(\kappa_1+\kappa_2)C_0}{2}$　② $(\kappa_1+\kappa_2)C_0$　③ $\frac{(\kappa_1\kappa_2)C_0}{2(\kappa_1+\kappa_2)}$　④ $\frac{2(\kappa_1\kappa_2)C_0}{\kappa_1+\kappa_2}$

해설

직렬 회로이므로 $C_{tot} = 2\frac{\varepsilon_1\varepsilon_2}{\varepsilon_1+\varepsilon_2}C$을 적용하자.

합성 전기용량은 $C_{tot} = \frac{2(\kappa_1\kappa_2)C_0}{\kappa_1+\kappa_2}$이다.

| 정답 | ④

THEME
2 — 축전기 양단의 전압

정리1 축전기 양단의 전압 구하기

개념1 축전기 양단의 걸린 전압 구하기

충분한 시간이 지났다고 하자. 그러면 축전기의 저항은 $R_C=\infty$가 된다. 따라서 전류가 흐를 수가 없다. (시험에 나옴)

전류가 흐르지 않는다면 회로를 지우개로 지우고 생각해도 괜찮다.

스위치를 닫은 순간에는 축전기는 $R_C=0$처럼 행동해서 전류는 축전기로만 흐르게 된다. (시험에 나오지는 않는다.)

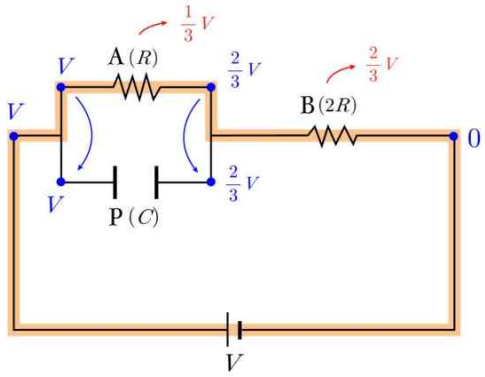
예제

저항 A와 B는 각각 R, $2R$이다. 충분한 시간이 지났을 때

축전기로는 전류가 흐르지 않으므로 A의 양단에 걸린 전압은 $\frac{1}{3}V$이다.

따라서 축전기는 A와 병렬 연결이 되어있으므로

축전기에 걸린 전압은 $\frac{1}{3}V$이다.



정리2 축전기에서 휘트스톤 브릿지

개념 휘트스톤 브릿지

전류계에 전류가 흐르지 않는다고 생각해보자.

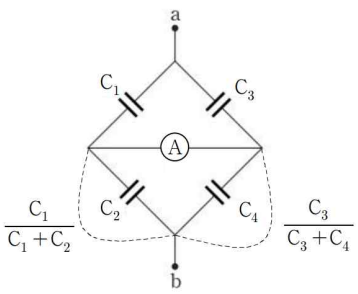
그러면 위의 C_1-C_2, C_3-C_4는 직렬 연결이라고 생각해도 좋다.

위쪽의 전위는 뒤에서부터 해석해보면 $\frac{C_1}{C_1+C_2}V$이고, 아래쪽의 전위는 $\frac{C_3}{C_3+C_4}$이다.

전류계에 전류가 흐르지 않으려면 전위차가 0이 되야하므로

$\frac{C_1}{C_1+C_2}=\frac{C_3}{C_3+C_4}$를 계산하면 $C_1C_4=C_2C_3$가 나온다.

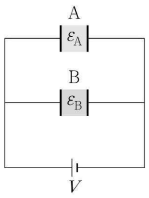
(참고로 저항에서도 $R_1R_4=R_2R_3$가 조건이다.)



유형 01 축전기

01 2022학년도 6월 7번 정답률 66%

7. 그림은 극판의 면적, 극판 사이의 간격이 같은 평행판 축전기 A, B를 전압이 V로 일정한 전원에 연결한 모습을 나타낸 것이다. A와 B 내부에는 유전율이 각각 ε_A, ε_B인 유전체가 채워져 있고, A와 B에 충전된 전하량은 각각 Q, $2Q$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A의 전기 용량은 $\frac{Q}{V}$이다.
ㄴ. $\varepsilon_A = 2\varepsilon_B$이다.
ㄷ. B에 저장된 전기 에너지는 $2QV$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

ㄱ. A와 B는 전원에 병렬로 연결되어 있으므로 A와 B 양단에 걸린 전압은 V로 같다. A에 충전된 전하량은 Q이므로 A의 전기 용량은 $\frac{Q}{V}$이다. (O)

ㄴ. A와 B는 면적, 극판 사이의 간격이 같으므로 A의 전기 용량을 $\varepsilon_A C_0$라고 하면, B의 전기 용량은 $\varepsilon_B C_0$이다.

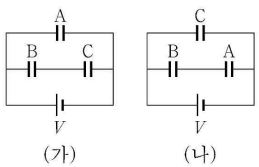
A, B의 양단에 걸리는 전압은 같으므로 $\frac{Q}{\varepsilon_A C_0} = \frac{2Q}{\varepsilon_B C_0}$에서

$\varepsilon_A = \frac{1}{2}\varepsilon_B$이다. (X)

ㄷ. B에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{2}(2Q)V = QV$이다. (X)

02 2022학년도 9월 8번 정답률 55%

8. 그림 (가), (나)와 같이 전기 용량이 각각 C_A, C_B, C_C인 축전기 A, B, C를 전압이 V로 일정한 전원에 연결하여 완전히 충전시켰다. B 양단의 전위차는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.



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

<보 기>

ㄱ. A 양단의 전위차는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
ㄴ. 충전된 전하량은 (가)의 C가 (나)의 A보다 작다.
ㄷ. $C_A > C_C$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

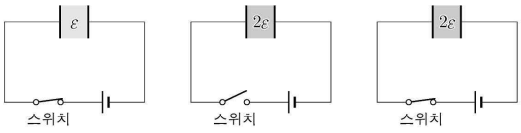
ㄱ. (가)에서 A 양단의 전위차는 V이고, (나)에서 A는 B와 직렬로 연결 되어 있으므로 A 양단의 전위차는 V보다 작다. (O)

ㄴ. B 양단의 전위차는 (가)에서가 (나)에서보다 크므로 B에 충전된 전하량은 (가)에서가 (나)에서보다 크다. (가)에서 축전기에 충전된 전하량은 B와 C가 같고, (나)에서 축전기에 충전된 전하량은 B와 A가 같으므로 충전된 전하량은 (가)의 C가 (나)의 A보다 크다. (X)

ㄷ. B에 충전된 전하량은 (가)에서가 (나)에서보다 크므로 축전기에 충전된 전하량은 (가)의 C가 (나)의 A보다 크다. 그리고, 축전기 양단의 전위차는 (가)의 C보다 (나)의 A가 크므로 $C_A < C_C$이다. (X)

03 2022학년도 수능 6번 정답률 78%

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



(가) (나) (다)

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

<보 기>

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

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

정 답 ①

해 설

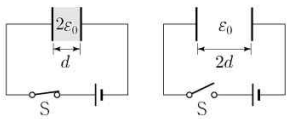
ㄱ. 극판 사이에 채워진 유전체의 유전율이 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 축전기의 전기 용량도 (나)에서가 (가)에서의 2배이다. (O)

ㄴ. 직류 전원의 전압을 V, (가)에서 축전기의 전기 용량을 C라고 하면, (가)에서 축전기에 충전된 전하량 $Q_{(가)}=CV$이다. (가)에서 (나)로 변하는 동안 스위치가 열려 있으므로 (나)에서 축전기에 충전된 전하량은 (가)에서와 같다. ($Q_{(나)}=CV$). (다)에서 축전기의 전기 용량이 $2C$이므로 축전기에 저장된 전하량 $Q_{(다)}=2CV$이다. (X)

ㄷ. 축전기에 저장된 전기 에너지 $U=\dfrac{Q^2}{2C}$이다. 따라서 (나), (다)에서 축전기에 저장된 전기 에너지는 각각 $U_{(나)}=\dfrac{(CV)^2}{2(2C)}=\dfrac{CV^2}{4}$, $U_{(다)}=\dfrac{(2CV)^2}{2(2C)}=CV^2$이므로 축전기에 저장된 에너지는 (다)에서가 (나)에서의 4배이다. (X)

04 2023학년도 6월 11번 정답률 71%

11. 그림 (가)는 평행판 사이의 거리가 d이고 유전율이 $2\varepsilon_0$인 유전체가 채워진 축전기, 전압이 일정한 전원, 스위치 S로 구성된 회로에서 S를 닫은 후 축전기가 완전히 충전된 상태를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 S를 연 후 유전체를 빼고 평행판 사이의 거리를 $2d$로 증가시킨 상태를 나타낸 것이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, ε_0은 진공의 유전율이다.)

<보 기>

ㄱ. 축전기의 전기 용량은 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.
ㄴ. 축전기 양단에 걸리는 전압은 (가)에서가 (나)에서의 $\dfrac{1}{4}$배이다.
ㄷ. 축전기에 저장된 전기 에너지는 (가)에서가 (나)에서의 $\dfrac{1}{2}$배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설

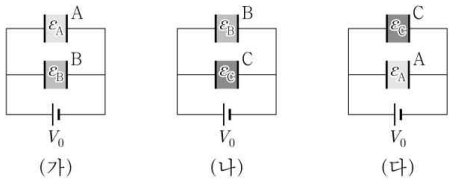
ㄱ. 전기 용량은 (가)에서가 (나)에서의 4배이다. (X)

ㄴ. $Q=4CV=C\,V' \rightarrow V'=4V$ (O)

ㄷ. $U_{가}=\dfrac{1}{2}QV$, $U_{나}=\dfrac{1}{2}Q(4V)$ (X)

05 2023학년도 9월 3번 정답률 80%

3. 그림 (가), (나), (다)는 극판의 면적, 극판 사이의 간격이 같은 평행판 축전기 A, B, C 중 2개의 축전기를 전압이 V_0으로 일정한 전원에 연결하여 완전히 충전한 것을 나타낸 것이다. A, B, C에는 각각 유전율이 ε_A, ε_B, ε_C인 유전체가 채워져 있다. (가), (나), (다)에서 축전기에 저장된 전체 전하량은 각각 $5Q_0$, $6Q_0$, $7Q_0$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. $\varepsilon_A : \varepsilon_B = 3:2$이다.
ㄴ. (나)에서 축전기에 저장된 전하량은 C가 B의 2배이다.
ㄷ. (다)에서 축전기에 저장된 전기 에너지는 A가 C의 $\frac{3}{4}$배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

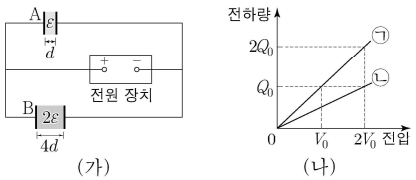
ㄱ. (가), (나)에서 전하량의 변화량은 $(C_C - C_A)V_0 = Q_0$
(다)에서 전하량은 $(C_A + C_C)V_0 = 6Q_0$
정리하면 $C_A = \frac{3Q_0}{V_0}$이므로 $C_B = \frac{2Q_0}{V_0}$이다.
따라서 $\varepsilon_A : \varepsilon_B = 3:2$ (O)

ㄴ. (나)에서 축전기 양단에 걸리는 전압은 B와 C가 같으므로 축전기에 충전된 전하량은 전기 용량에 비례한다.
전기 용량은 C가 B의 2배이므로 (나)에서 축전기에 저장된 전하량은 C가 B의 2배이다. (O)

ㄷ. 축전기 양단에 걸리는 전압이 같을 때 축전기에 저장된 전기 에너지는 전기 용량에 비례한다. 전기 용량은 A가 C의 $\frac{3}{4}$배고, (다)에 축전기 양단에 걸리는 전압은 A와 B가 같으므로 축전기에 저장된 전기 에너지는 A가 C의 $\frac{3}{4}$배이다. (O)

06 2023학년도 수능 5번 정답률 75%

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



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 전기 용량은 B가 A의 2배이다.
ㄴ. ㉠은 A이다.
ㄷ. 전압이 V_0일 때, A에 저장된 전기 에너지는 Q_0V_0이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설

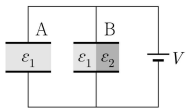
ㄱ. $C_A = C$라고 하면, $C_B = \frac{1}{2}C$이다. (X)

ㄴ. 같은 전압에서 저장된 전하량을 통해 ㉠>㉡이므로 ㉠은 A이다. (O)

ㄷ. 밑면적을 통해 $\frac{1}{2}Q_0V_0$ (X)

07 2024학년도 6월 9번 정답률 61%

9. 그림은 극판의 면적이 S, 극판 사이의 간격이 d로 같은 평행판 축전기 A, B를 전압이 V로 일정한 전원에 연결한 것을 나타낸 것이다. A 내부는 유전율이 ε_1인 유전체로 완전히 채워져 있고, B 내부는 유전율이 각각 ε_1, ε_2이고 면적이 $\frac{S}{2}$, 두께가 d인 두 유전체로 완전히 채워져 있다. A, B에 저장된 전기 에너지는 각각 E, $3E$이다.



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

<보 기>

ㄱ. 전기 용량은 A가 B보다 작다.
ㄴ. $\varepsilon_2 = 5\varepsilon_1$이다.
ㄷ. 축전기에 충전된 전하량은 B가 A의 2배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

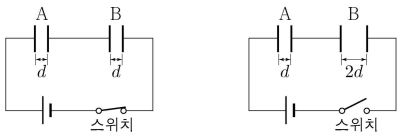
ㄱ. A와 B에 저장된 전기 에너지는 $U=\frac{1}{2}CV^2$을 통해 $C_A = C$, $C_B = 3C$를 내포한다. (O)

ㄴ. $\varepsilon_1 = 1$로 가정하면 $\frac{1+\varepsilon_2}{2} = 3$에서 $\varepsilon_2 = 5$이다. (O)

ㄷ. 축전기에 충전된 전하량은 $Q=CV$에 의해서 B가 A의 3배이다. (X)

08 2024학년도 9월 13번 정답률 47%

13. 그림 (가)는 전압이 일정한 전원, 극판의 간격이 d인 동일한 평행판 축전기 A, B, 스위치로 구성된 회로에서 A, B가 완전히 충전된 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 스위치를 연 후 B의 극판의 간격을 $2d$로 증가시킨 것을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 축전기 내부는 진공이다.)

<보 기>

ㄱ. A에 충전된 전하량은 (가)에서와 (나)에서가 같다.
ㄴ. B의 전기 용량은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
ㄷ. B에 저장된 전기 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

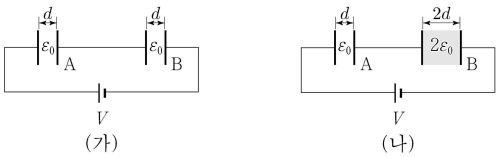
ㄱ. 스위치가 이미 열린 상태에서 B의 극판 사이의 간격만 변하였으므로 A, B에 충전된 전하량은 변화가 없다. (O)

ㄴ. 거리가 증가하면 전기 용량은 감소한다. (O)

ㄷ. B에 저장된 전기 에너지는 $U=\frac{Q^2}{2C}$에서 전기 용량이 감소했으므로 전기 에너지는 커진다. (X)

09 2024학년도 수능 6번 정답률 74%

6. 그림 (가)는 전압이 V로 일정한 전원에 극판의 면적이 서로 같고 극판 사이의 간격이 d로 같은 평행판 축전기 A, B가 연결되어 완전히 충전된 모습을, (나)는 (가)에서 B의 극판 사이의 간격을 $2d$로 바꾸고 유전율이 $2\varepsilon_0$인 유전체를 채워 A, B가 완전히 충전된 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, ε_0은 진공의 유전율이다.)

<보 기>

ㄱ. (가)에서, A와 B에 충전된 전하량은 서로 같다.
ㄴ. (나)에서, 전기 용량은 A가 B의 2배이다.
ㄷ. (나)에서, A와 B에 저장된 전기 에너지는 서로 같다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

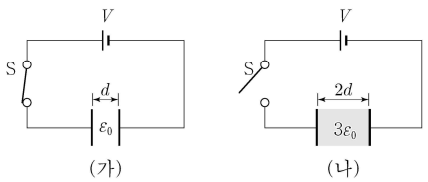
해 설

(가)의 A의 전기 용량을 C라고 하면, B도 C이다.
(나)의 A의 전기 용량은 C이고, B도 C이다.

ㄱ. (가)에서, A와 B에 충전된 전하량은 서로 같다. (O)
ㄴ. (나)에서, 전기 용량은 A와 B가 같다. (X)
ㄷ. (나)에서, A와 B에 저장된 전기 에너지는 서로 같다. (O)

10 2025학년도 6월 15번 정답률 67%

15. 그림 (가)는 전압이 V로 일정한 전원, 극판 사이의 간격이 d인 평행판 축전기, 스위치 S로 구성된 회로에서 S를 닫은 후 축전기가 완전히 충전된 상태를, (나)는 (가)에서 스위치를 연 후, 극판 사이의 간격을 $2d$로 바꾸고 유전율이 $3\varepsilon_0$인 유전체로 채운 것을 나타낸 것이다. (가)에서 축전기에 저장된 전하량은 Q이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, ε_0은 진공의 유전율이다.)

<보 기>

ㄱ. 축전기의 전기 용량은 (나)에서가 (가)에서의 $\frac{3}{2}$배이다.
ㄴ. (나)에서 축전기 양단에 걸린 전압은 $\frac{2}{3}V$이다.
ㄷ. (나)에서 S를 닫은 후 축전기가 완전히 충전되었을 때, 축전기에 저장된 전기 에너지는 QV이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

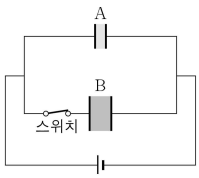
ㄱ. (가)에서 전기 용량을 1로 가정하면,
(나)에서 전기 용량은 $\frac{3}{2}$이다. (O)

ㄴ. 스위치를 열면 전하량이 보존되므로 (단, $V=1$로 가정)
$Q=1=\frac{3}{2}V'$에서 $V'=\frac{2}{3}V$이다. (O)

ㄷ. (가)에서 $Q=CV=1$이다.
(나)에서 $U=\frac{1}{2}(\frac{3}{2}C)V^2=\frac{3}{4}$이다. (X)
(변수 단순화를 이용한 풀이법)

11 2025학년도 9월 14번 정답률 67%

14. 그림은 전압이 일정한 전원, 평행판 축전기 A와 B, 스위치로 구성된 회로에서 A, B가 완전히 충전된 것을 나타낸 것이다. 표는 A, B의 극판의 면적, 극판 사이의 간격, 극판 사이에 채워진 유전체의 유전율을 나타낸 것이다.



축전기	A	B
극판의 면적	S	$2S$
극판 사이의 간격	d	$2d$
유전체의 유전율	ε	2ε

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

<보 기>

ㄱ. 전기 용량은 A가 B의 2배이다.

ㄴ. 축전기에 저장된 전하량은 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이다.

ㄷ. 스위치를 연 후 축전기 양단에 걸리는 전압은 A와 B가 같다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

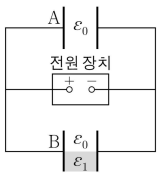
ㄱ. 전기 용량은 B가 A의 2배이다. (X)

ㄴ. $Q=CV$에 의하여 축전기에 저장된 전하량은 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이다. (O)

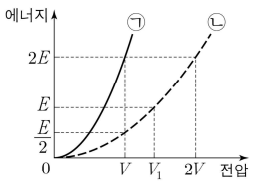
ㄷ. 스위치를 열면 A는 여전히 축전기 양단에 걸리는 전압은 V이다. B는 회로가 완성되지 않았기에 전류의 흐름이 발생하지 않아 전하 Q가 보존된다. 전기 용량의 변화도 없으므로 전압은 유지된다. (O)

12 2025학년도 수능 15번 정답률 68%

15. 그림 (가)는 극판 사이의 간격, 극판의 면적이 같은 평행판 축전기 A, B를 전원 장치에 연결한 것을 나타낸 것이다. B 내부의 절반은 유전율이 ε_1인 유전체로 채워져 있다. 그림 (나)는 (가)에서 축전기에 저장된 전기 에너지를 전원 장치의 전압에 따라 나타낸 것으로, ㉠, ㉡은 각각 A, B 중 하나이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, ε_0은 진공의 유전율이고, $\varepsilon_1 > \varepsilon_0$이다.)

<보 기>

ㄱ. $V_1 = \sqrt{2}\,V$이다.

ㄴ. ㉠은 B이다.

ㄷ. $\varepsilon_1 = 7\varepsilon_0$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

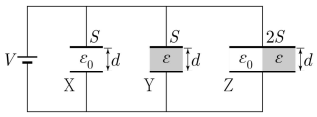
ㄱ. ㉡에 대하여 에너지가 2배이므로 $V_1 = \sqrt{2}\,V$이다. (O)

ㄴ. V에 대하여 $U=\frac{1}{2}CV^2$이므로 $C_{㉠}=4C$, $C_{㉡}=C$이다. 또한 (가)의 B에는 유전체를 집어넣었으므로 전기용량이 증가한다. 따라서 ㉠은 B이다. (O)

ㄷ. B) $\frac{\varepsilon_0+\varepsilon_1}{2}=4C$, A) $\varepsilon_0 = C$에서 $\varepsilon_1 = 7\varepsilon_0$이다. (O)

13 2026학년도 6월 11번 정답률 64%

11. 그림과 같이 평행판 축전기 X, Y, Z가 전압이 V인 전원에 연결되어 완전히 충전되어 있다. X, Y, Z는 극판 사이의 간격이 d로 같고, 극판의 면적은 각각 S, S, $2S$이다. 유전율이 ε인 유전체가, Y 내부에는 완전히 채워져 있고 Z 내부에는 절반만 채워져 있다. X, Z에 충전된 전하량은 각각 Q_0, $3Q_0$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, ε_0은 진공의 유전율이다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. $\varepsilon = 2\varepsilon_0$이다.
ㄴ. Y에 충전된 전하량은 $2Q_0$이다.
ㄷ. 축전기에 저장된 전기 에너지는 Z가 X보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

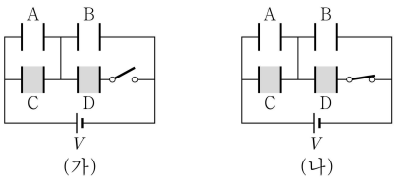
ㄱ. $Q = CV$를 만족하므로 조건에 의하면 $C_Z = 3C_X$이다.
$C_Z = \varepsilon_0 + \varepsilon$이므로 $\varepsilon_0 + \varepsilon = 3\varepsilon_0$에서 $\varepsilon = 2\varepsilon_0$이다. (O)

ㄴ. Y에 충전된 전하량은 $2Q_0$이다. (O)

ㄷ. $U = \frac{1}{2}CV^2$에 의하여 X < Z이다. (O)

14 2026학년도 9월 16번 정답률 41%

16. 그림 (가), (나)와 같이 극판의 면적, 극판 사이의 간격이 같은 평행판 축전기 A~D와 스위치를 전압이 V인 전원에 연결하여 회로를 구성하였다. A, B의 내부는 진공이고, C, D의 내부는 동일한 유전체로 채워져 있다. 스위치가 열린 (가)에서는 A, B, C가, 스위치가 닫힌 (나)에서는 A~D가 완전히 충전되어 있다. A에 충전된 전하량은 (나)에서가 (가)에서의 2배이고, 축전기에 저장된 전기 에너지는 (가)의 A에서와 (나)의 D에서 각각 W_A, W_D이다.



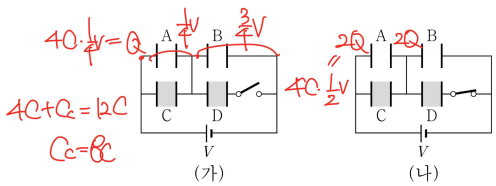
$\frac{W_D}{W_A}$는? [3점]

① 2 ② 4 ③ 6 ④ 8 ⑤ 10

정 답 ④

해 설

A에 충전된 전하량은 (나)에서가 (가)에서의 2배이고,
(나)에서 A에 걸린 전압은 $\frac{1}{2}V$이므로 (가)에서 A에 걸린 전압은 $\frac{1}{4}V$이다. 또한 A의 전기 용량을 $4C$라고 가정하자.

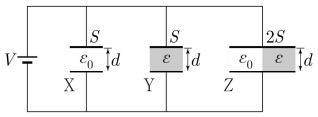


그러면 (가)에서 B에 걸린 전압은 $\frac{3}{4}V$이므로 전기 용량의 비는 반비례하므로 3 : 1이다. 따라서 $4C + C_C = 12C$이고,
$C_C = 8C$이다.

$$\frac{W_D}{W_A} = \frac{(8C)\left(\frac{1}{2}V\right)^2}{(4C)\left(\frac{1}{4}V\right)^2} = 8$$

15 2026학년도 6월 11번 정답률 64%

11. 그림과 같이 평행판 축전기 X, Y, Z가 전압이 V인 전원에 연결되어 완전히 충전되어 있다. X, Y, Z는 극판 사이의 간격이 d로 같고, 극판의 면적은 각각 S, S, $2S$이다. 유전율이 ε인 유전체가, Y 내부에는 완전히 채워져 있고 Z 내부에는 절반만 채워져 있다. X, Z에 충전된 전하량은 각각 Q_0, $3Q_0$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, ε_0은 진공의 유전율이다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. $\varepsilon = 2\varepsilon_0$이다.
ㄴ. Y에 충전된 전하량은 $2Q_0$이다.
ㄷ. 축전기에 저장된 전기 에너지는 Z가 X보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

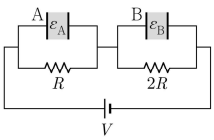
ㄱ. $Q = CV$를 만족하므로 조건에 의하면 $C_Z = 3C_X$이다.
$C_Z = \varepsilon_0 + \varepsilon$이므로 $\varepsilon_0 + \varepsilon = 3\varepsilon_0$에서 $\varepsilon = 2\varepsilon_0$이다. (O)

ㄴ. Y에 충전된 전하량은 $2Q_0$이다. (O)

ㄷ. $U = \frac{1}{2}CV^2$에 의하여 X < Z이다. (O)

16 2026학년도 수능 7번 정답률 67%

7. 그림은 극판 사이의 간격, 극판의 면적이 같은 평행판 축전기 A, B가 저항값이 각각 R, $2R$인 저항, 전압이 V로 일정한 전원에 연결되어 완전히 충전된 상태를 나타낸 것이다. A, B는 유전율이 각각 ε_A, ε_B인 유전체로 채워져 있고, A, B에 저장된 전기 에너지는 서로 같다.



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

<보 기>

ㄱ. 각 저항에 흐르는 전류의 세기는 서로 같다.
ㄴ. $\varepsilon_A : \varepsilon_B = 4 : 1$이다.
ㄷ. 축전기에 충전된 전하량은 A가 B의 2배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 축전기에는 전류가 흐르지 않으므로 각 저항은 직렬 연결로 생각할 수 있다. 따라서 각 저항에 흐르는 전류의 세기는 서로 같다. (O)

ㄴ. 각 축전기에 걸리는 전압은 1 : 2이다.
또한 각 축전기에 저장된 전기 에너지가 서로 같으므로
$U = \frac{1}{2}CV^2$에 의하여 전기 용량의 비는 4 : 1이다.
따라서 $\varepsilon_A : \varepsilon_B = 4 : 1$이다. (O)

ㄷ. 축전기에 충전된 전하량은 $Q = CV$에 의하여 2 : 1이다. (O)

PART 6
RLC 회로

개념 유형

01. 축전기와 코일
02. RLC 회로

기출 유형

01. RLC 회로

THEME

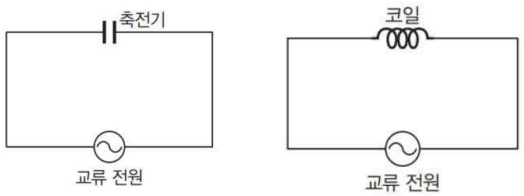
1 축전기와 코일

정리1 축전기와 코일

개념1 축전기와 코일의 비교

직류에서의 특성	축전기 (Capacitor)	코일 (Inductor)
동작 상태	일정 시간이 지나면 전류 흐름이 차단됨 (개방 상태)	안정된 상태에서 전류가 자유롭게 흐름 (단락 상태)

교류에서의 특성	축전기 (Capacitor)	코일 (Inductor)
교류에서의 동작	교류 신호를 통과시키며, 주파수가 높을수록 더 잘 통과함	교류 신호를 억제하며, 주파수가 높을수록 더 강하게 억제함
저항 역할	리액턴스: $X_C = \frac{1}{wC}$	리액턴스: $X_L = wL$
전압-전류 위상 관계	전류가 전압보다 90° 앞섬	전류가 전압보다 90° 뒤짐
저장 에너지	전기장에 에너지 저장	자기장에 에너지 저장
응용	신호 필터링, 에너지 저장, 고주파 필터	전자기 유도, 신호 필터링, 전류 스무딩



개념2 교류와 축전기에서 전류의 흐름 Tip

① 축전기

교류 회로에 연결된 축전기에서 전류의 진동수가 증가하면 축전기 사이를 전하가 더 빠르게 이동하게 된다.
이는 축전기가 교류 신호를 더 잘 통과시킨다는 것을 의미한다.
즉, 전류의 진동수가 높아질수록 축전기의 리액턴스(교류 저항)는 감소하여 전류가 흐르는 데 방해가 줄어들게 된다.

② 코일

교류 회로에 연결된 코일에서 전류의 진동수가 증가하면 코일 내부에서 전류의 변화에 따라 자기장이 빠르게 변하게 된다.
이로 인해 유도 기전력이 증가하여 코일이 전류의 변화를 더 강하게 억제하게 된다.
즉, 전류의 진동수가 높아질수록 코일의 리액턴스(교류 저항)는 증가하여 전류가 흐르기 어려워지게 된다.

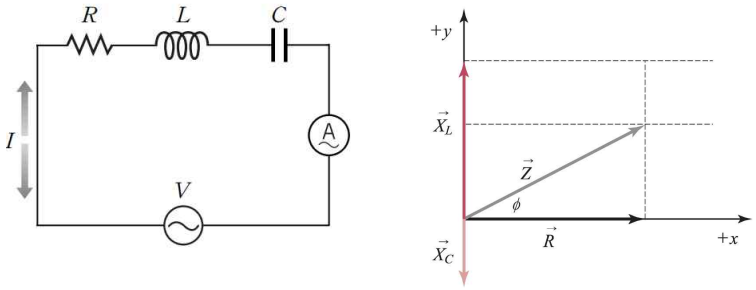
THEME

2 — RLC 회로

정리1 전원이 없는 경우

개념1 교류 RLC 회로

먼저, 저항(R), 인덕터(L), 축전기(C)가 전압원($V(t)$)과 함께 직렬로 연결된 회로를 가정한다.



키르히호프의 전압 법칙(KVL)에 따르면 $V_R + V_L + V_C = V(t)$이다.

$V_R = IR = R\frac{dQ}{dt}$, $V_L = L\frac{dI}{dt} = L\frac{d^2Q}{dt^2}$, $V_C = \frac{Q}{C}$, $V(t) = V_m\cos(wt)$ 각 값들을 대입하면

$L\frac{d^2Q}{dt^2} + R\frac{dQ}{dt} + \frac{1}{C}Q = V_m\cos(wt)$가 된다. 이것이 바로 RLC 회로를 지배하는 기본 방정식이다.

이 방정식의 형태는 물리학에서 배우는 강제 감쇠 진동의 방정식($mx'' + bx' + kx = F_0\cos(wt)$)과 수학적으로 완벽하게 동일하다.

개념2 과도 응답 (전원이 없는 경우)

먼저 $V(t) = 0$인 경우(스위치를 끈 후의 자연 응답)를 분석합니다. 이는 2계 제차 선형 상미분방정식이다.

$$L\frac{d^2I}{dt^2} + R\frac{dI}{dt} + \frac{I(t)}{C} = 0$$

해를 구하기 위해 특성 방정식을 사용하게 되면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

① 감쇠 계수

저항 R에 의해 에너지가 얼마나 빨리 손실되는 지를 나타내는 물리량으로써 $\alpha = \frac{R}{2L}$ [Np/s]이다.

② 공진 각주파수

저항이 없을 때(LC회로)의 고유 진동수 $w_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ [rad/s]이다.

③ 근의 판별식

근은 $s = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - w_0^2}$이므로 근의 판별식 $\alpha^2 - w_0^2$의 부호에 따라 회로의 응답이 세 가지 경우로 나뉜다.

과다 감쇠	$R^2 > \frac{4L}{C}$	진동하지 않고, 두 개의 지수 함수가 결합되어 천천히 0으로 수렴한다.
임계 감쇠	$R^2 = \frac{4L}{C}$	진동 없이 가장 빠르게 0으로 수렴한다. 과다 감쇠보다 빠르며, 부족 감쇠처럼 0을 지나치지 않는다.
부족 감쇠	$R^2 < \frac{4L}{C}$	전형적인 감쇠 진동이다. $w_d = \sqrt{w_0^2 - \alpha^2}$의 주파수로 진동하고, $e^{-\alpha t}$항(감쇠 포락선)에 의해 진폭이 지수적으로 감소하여 결국 0으로 수렴한다. 대부분의 실제 RLC회로가 여기에 해당한다.

정리2 전원이 있는 경우

개념1 정상 상태 응답 (전원이 있는 경우)

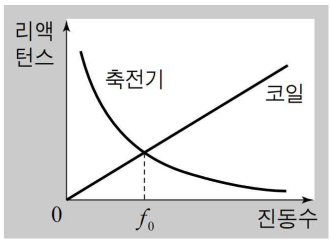
이제 $V(t)=V_m\cos(wt)$인 교류 전원을 인가한 경우의 정상 상태를 분석한다.

과도 응답($e^{-\alpha t}$항)은 시간이 지나면 모두 사라지고, 전원과 동일한 주파수(w)로 진동하는 정상 상태 응답만 남게 된다.
분석은 페이저와 임피던스를 사용한다.

① 총 임피던스

임피던스의 크기는 $Z=\sqrt{R^2+X^2}=\sqrt{R^2+\left(wL-\frac{1}{wC}\right)^2}$ 이다.

위상각은 $\phi=\arctan\left(\frac{X}{R}\right)=\arctan\left(\frac{wL-\frac{1}{wC}}{R}\right)$이다.



② 전류

전류의 크기는 $I_{\text{rms}}=\frac{V_{\text{rms}}}{\sqrt{R^2+\left(wL-\frac{1}{wC}\right)^2}}$ 이고, 전류는 전압보다 ϕ만큼 위상이 변한다.

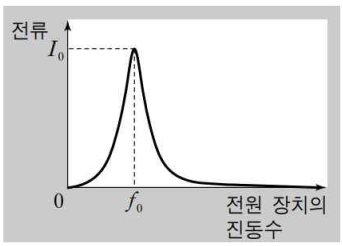
- $wL>\frac{1}{wC}$: 유도성 회로, $\phi>0$이므로 전류가 전압보다 뒤진다.
- $wL<\frac{1}{wC}$: 용량성 회로, $\phi<0$이므로 전류가 전압보다 앞선다.
- $wL=\frac{1}{wC}$: 저항성 회로, $\phi=0$이므로 전류와 전압이 동위상이다.

개념2 공진

RLC 회로의 가장 중요한 현상이다. 공진은 유도성 리액턴스(X_L)와 용량성 리액턴스(X_C)가 정확히 상쇄되어 회로의 총 리액턴스(X)가 0이 되는 특정 주파수에서 발생한다.

$X_L=X_C \Rightarrow w_0L=\frac{1}{w_0C} \Rightarrow w_0=\frac{1}{\sqrt{LC}}$

이 공진 주파수(w_0)는 감쇠가 없는 LC회로의 고유 주파수와 정확히 같다.



이때 다음과 같은 성질이 있다.

① 임피던스는 $Z=R$로 최소가 된다.

② 임피던스가 최소이므로 전류는 최대($I_{\text{rms}}=\frac{V_{\text{rms}}}{R}$)가 된다.

③ 회로가 순수 저항성 회로처럼 동작하여 전압과 전류의 위상이 같다.

④ 축전기에 걸린 전압은 $V_C=I_{\max}X_C=\frac{1}{w_0RC}V_{\text{rms}}$이고, 코일에 걸린 전압은 $V_L=I_{\max}X_L=\frac{w_0L}{R}V_{\text{rms}}$이다.

개념3 품질 계수

품질 계수(Q)는 공진의 "날카로움"을 나타내는 매우 중요한 무차원 매개변수이다.

$$Q=\frac{w_0L}{R}=\frac{1}{w_0CR}=\frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$$

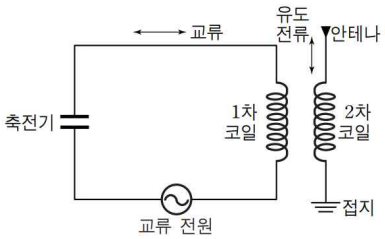
Q가 높다 = 저항 R이 매우 작다 = 에너지 손실이 적다.

정리3 전자기파의 송신과 수신

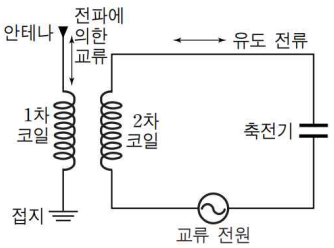
개념1 RLC 회로를 이용한 전자기파의 송신과 수신

① 전자기파의 송신 : RLC 회로에 특정한 진동수의 교류가 흐르면 1차 코일의 자기장 변화로 인해 2차 코일에는 같은 진동수의 유도 전류가 흐르게 되고, 안테나를 통해 전자기파가 송신된다.

② 전자기파의 수신 : 안테나에 여러 진동수의 전파가 수신이 되면 1차 코일에는 전파에 의한 교류가 흐르게 되고 옆에 RLC 회로를 놓게 되면 RLC 회로의 공명 진동수와 같은 전파에 의한 전류가 가장 세게 흐르게 된다. L이나 C의 값을 변화시키면 원하지 않는 진동수의 전파는 약하게 할 수 있으므로 원하는 진동수의 전파를 수신할 수 있게 된다.



전자기파의 송신



전자기파의 수신

③ 전자기파의 공명 : 전자기파를 발생시키는 회로의 공명 진동수와 수신하는 회로의 공명 진동수가 같을 때 전류가 최대로 흐른다.

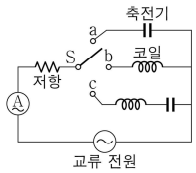
유형 01 RLC 회로

01 2023학년도 9월 6번 정답률 71%

6. 다음은 교류 회로에 대한 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 그림과 같이 전압의 최댓값이 일정한 교류 전원과 전류계, 저항, 축전기, 코일, 스위치 S를 이용하여 회로를 구성한다.



(나) S를 a, b, c에 연결하고 교류 전원의 진동수만 변화시키면서 회로에 흐르는 전류의 세기 I를 측정한다.

〔실험 결과〕

○ X, Y, Z는 a, b, c를 순서 없이 나타낸 것이다.

S의 연결 위치	결과
X	교류 전원의 진동수가 커질수록, I는 감소한다.
Y	교류 전원의 진동수가 커질수록, I는 증가하다가 최대가 된 후 감소한다.
Z	교류 전원의 진동수가 커질수록, I는 증가한다.

X, Y, Z로 옳은 것은? [3점]

	X	Y	Z
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

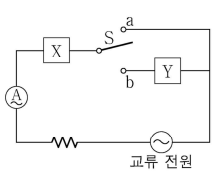
X. 교류 전원의 진동수가 커질수록 저항 역할이 커지므로 코일 b에 연결되야 한다.

Y. 전류가 커졌다 작아지므로 c에 연결되야 한다.

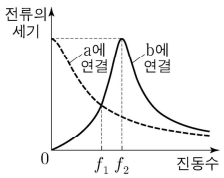
Z. 교류 전원의 진동수가 커질수록 저항 역할이 감소하므로 축전기 a에 연결되야 한다.

02 2024학년도 9월 7번 정답률 58%

7. 그림 (가)는 전압의 최댓값이 일정한 교류 전원에 스위치 S, 전류계, 저항, 전기 소자 X, Y를 이용하여 구성한 회로를 나타낸 것이다. X, Y는 각각 축전기와 코일 중 하나이다. 그림 (나)는 S를 a, b에 각각 연결했을 때 회로에 흐르는 전류의 세기를 교류 전원의 진동수에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

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

<보 기>

ㄱ. X는 코일이다.

ㄴ. S를 b에 연결했을 때 회로의 공명 진동수는 f_2이다.

ㄷ. Y의 저항 역할은 교류 전원의 진동수가 f_2일 때가 f_1일 때보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

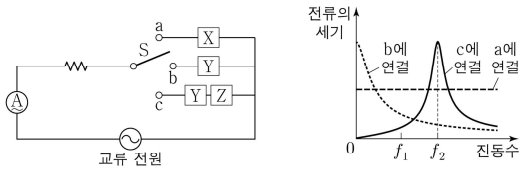
ㄱ. a에 연결했을 때 진동수에 따라 저항 역할이 증가하므로 X는 코일이다. (O)

ㄴ. S를 b에 연결했을 때 회로의 공명 진동수는 f_2이다. (O)

ㄷ. Y는 축전기로써 진동수가 증가할수록 저항 역할이 감소한다. (X)

03 2025학년도 9월 13번 정답률 73%

13. 그림 (가)와 같이 전압의 최댓값이 일정한 교류 전원, 전류계, 저항, 스위치 S, 전기 소자 X, Y, Z를 이용해 회로를 구성하였다. 그림 (나)는 (가)의 회로에서 S를 a, b, c에 각각 연결하였을 때, 교류 전원의 진동수에 따라 회로에 흐르는 전류의 세기를 나타낸 것이다. X, Y, Z는 각각 저항, 코일, 축전기 중 하나이다.



(가)

(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. X는 저항이다.
ㄴ. S를 b에 연결하면, Y의 저항 역할은 교류 전원의 진동수가 f_2일 때가 f_1일 때보다 작다.
ㄷ. S를 c에 연결하면, 회로의 공명 진동수는 f_2이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

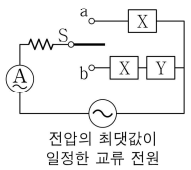
정 답 ③

해 설

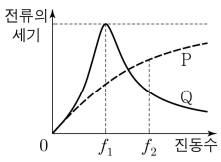
ㄱ. a에 연결했을 때 진동수에 따라 전류의 세기 변화가 없으므로 X는 저항이다. (O)
ㄴ. b에 연결했을 때 진동수가 커지면 전류의 세기가 작아지므로 저항 역할이 커진다. (X)
ㄷ. 공명 진동수는 f_2이다. (O)

04 2026학년도 9월 7번 정답률 79%

7. 그림 (가)와 같이 구성한 회로에서 X, Y는 각각 축전기와 코일 중 하나이다. 그림 (나)는 (가)의 회로에 흐르는 전류의 세기를 교류 전원의 진동수에 따라 나타낸 것으로, P, Q는 스위치 S를 각각 a, b에 연결한 결과 중 하나이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

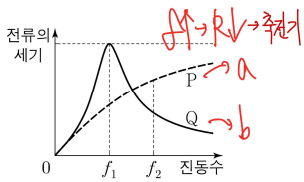
<보 기>

ㄱ. Y는 코일이다.
ㄴ. S를 b에 연결한 결과는 P이다.
ㄷ. S를 a에 연결하면, X의 저항 역할은 교류 전원의 진동수가 f_1일 때가 f_2일 때보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

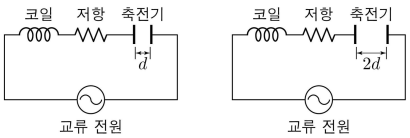
해 설



ㄱ. a에 연결했을 때 진동수가 증가하는데 전류의 세기가 증가하므로 X는 축전기이므로 Y는 코일이다. (O)
ㄴ. S를 b에 연결한 결과는 Q이다. (X)
ㄷ. 저항역할은 $f_1 > f_2$이다. (O)

05 2026학년도 수능 9번 정답률 82%

9. 그림 (가)는 전압의 최댓값이 일정하고 진동수가 f_0인 교류 전원에 코일, 저항, 극판 사이의 간격이 d인 축전기를 직렬로 연결한 회로를 나타낸 것으로, 회로의 공명 진동수는 f_0이다. 그림 (나)는 (가)에서 축전기 극판 사이의 간격을 $2d$로 바꾼 것을 나타낸 것이다.



(가)

(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 축전기의 전기 용량은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
ㄴ. 축전기의 저항 역할은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
ㄷ. (나)에서 회로의 공명 진동수는 f_0이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

ㄱ. 축전기의 전기 용량은 (가)>(나)이다. (O)
ㄴ. 저항 역할은 (가)<(나)이다. (X)
ㄷ. (나)에서 회로의 공명 진동수는 f보다 크다. (X)

PART 7
전류에 의한 자기장

개념 유형

01. 기본 자기장
02. 두 도선에 의한 자기장
03. 2차원 자기장

기출 유형

01. 1차원 자기장
02. 2차원 자기장
03. 3차원 자기장
04. 솔레노이드

THEME

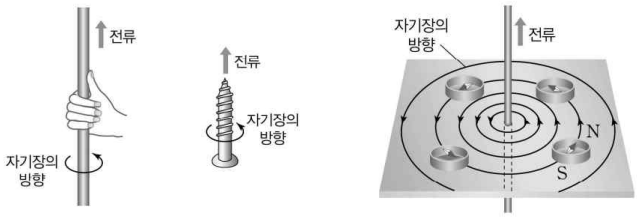
1 — 기본 자기장

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.



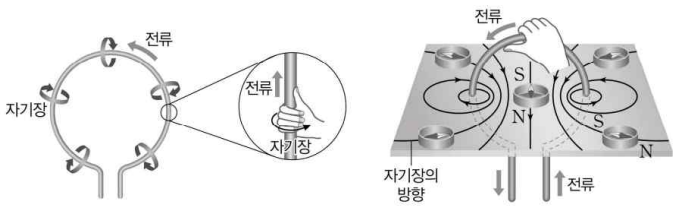
개념2 원형 전류에 의한 자기장

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.

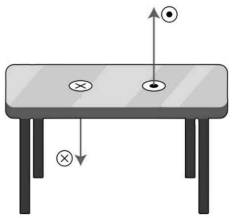
③ 무한 직선 전류와 전류의 세기가 같고, 떨어진 거리가 R로 동일한 점에 대해서 자기장의 세기가 π배만큼 크다.



개념3 기출 문제에서 자기장의 방향

① ⊗은 수평면에 들어가는 방향의 자기장이다.

② ⊙은 수평면에 나오는 방향의 자기장이다.



THEME

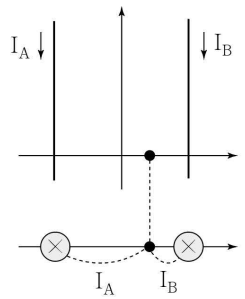
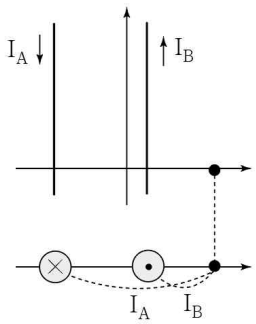
2 — 두 도선에 의한 자기장

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.

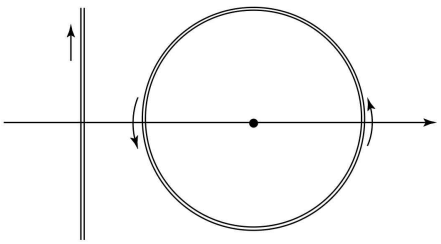
방향 동일	방향 반대
	

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.

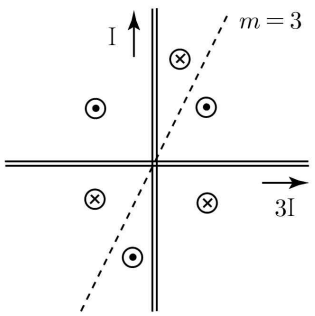
어떤 형식으로 생각해도 정답이 되니 취향 껏 생각해서 전류의 방향을 구하자.



개념3 크로스형 도선에서 자기장이 0이 되는 지점

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

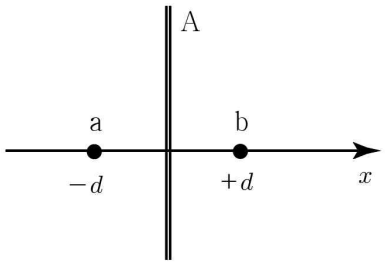
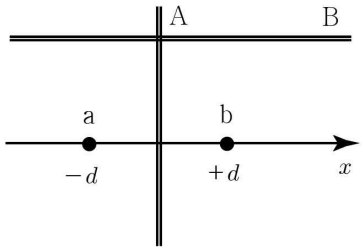
또한 각 영역별로 합성 자기장의 방향은 반대가 된다.



정리2 변화 계산

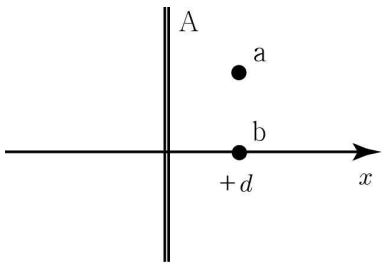
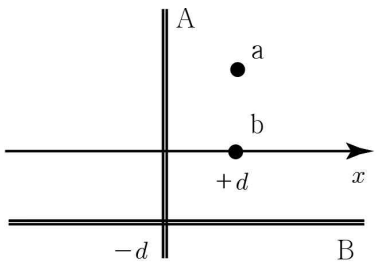
개념1 직선 도선에서 자기장이 0이 되는 지점

한 직선 도선에 대해서 방향이 반대이고, 거리가 같은 두 점에서의 자기장의 합은 0이다.

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

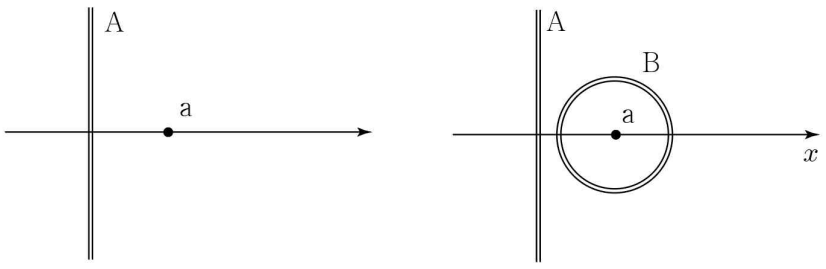
개념2 변화차

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

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

개념3 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)

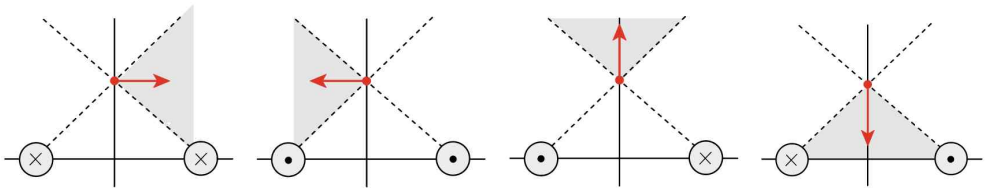
THEME

3 — 2차원 자기장

정리1 직선 도선에 의한 중심 자기장

개념1 직선 도선에 의한 자기장 (수평 도선)

두 직선 도선의 중심으로부터 y축으로 떨어져 있는 점에서 자기장의 방향은 다음과 같다.



TIP 합성 자기장의 방향 찾기

STEP1 도선 ↔ 전하 치환 : ⊙ = ⊕, ⊗ = ⊖로 치환한다.

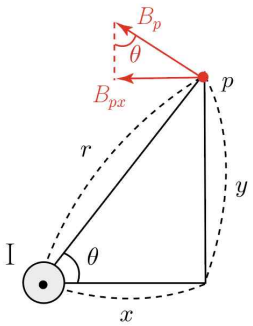
STEP2 반시계 돌리기 : 전하로 방향 찾고, 반시계로 돌리자.

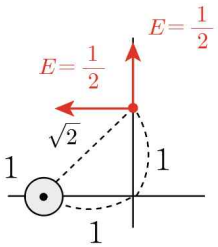
(반대로 자기장의 방향을 제시하고 전류의 방향을 찾을 때는 시계 방향으로 자기장을 돌린 후 전하의 부호를 찾자!)

개념2 자기장의 세기

① $B_{px}=\sin\theta\frac{I}{r}=\frac{y}{r^2}I$

② $B_{py}=\frac{x}{r^2}I$

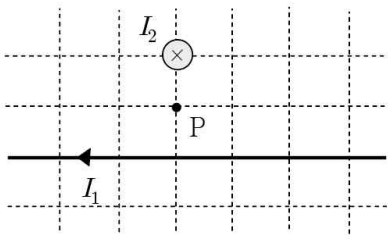


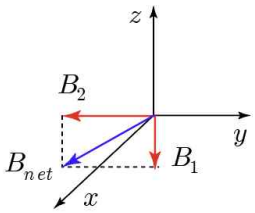


정리2 직선 도선에 의한 자기장 (수직 도선)

개념 **직선 도선에 의한 3차원 자기장의 합성**

그림과 같이 직선 도선 2개가 놓여있다. 전류 I_1이 P에 만드는 자기장을 B_1, 전류 I_2이 P에 만드는 자기장을 B_2라고 할 때 합성 자기장 $B_{tot}=\sqrt{B_1^2+B_2^2}$을 만족한다.

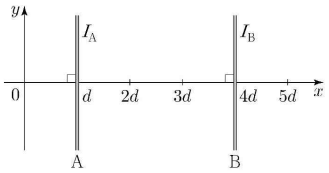




유형 01 1차원 자기장

01 2022학년도 6월 15번 정답률 56%

15. 그림과 같이 xy평면에 고정된 무한히 긴 두 직선 도선 A, B에 세기가 각각 I_A, I_B로 일정한 전류가 흐르고 있다. x축상의 $x=0$, $3d$, $5d$인 점에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 각각 $2B_0$, $2B_0$, $3B_0$이다.



$\frac{I_B}{I_A}$는? [3점]

① 1 ② 2 ③ 3 ④ 4 ⑤ 5

정 답 ②

해 설

STEP1 자기장 조건

$5d$(외부)에서가 $4d$에 대칭인 $3d$(내부)보다 자기장이 더 크다.
따라서 A, B의 전류의 방향이 동일함을 추론할 수 있다.

STEP2 대칭적 조건

방향이 확실한 $x=0$과 $x=5d$를 이용해서 답을 구해보자.

$x=0$) $B_A+\frac{B_B}{4}=2B_0$

$x=5d$) $\frac{B_A}{4}+B_B=3B_0 \rightarrow B_A+4B_B=12B_0$

$\frac{15}{4}B_B=10B_0 \rightarrow B_B=\frac{8}{3}B_0,\ B_A=\frac{4}{3}$

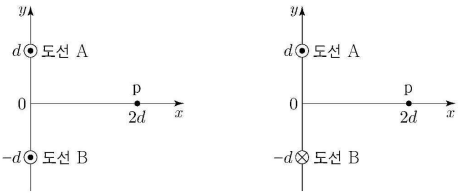
STEP3 검증

$x=3d$에 대해서 $\frac{8}{3}B_0-\frac{2}{3}B_0=2B_0$이므로 검증된다.

유형 02 2차원 자기장

01 2022학년도 수능 11번 정답률 81%

11. 그림 (가), (나)와 같이 무한히 긴 직선 도선 A, B가 xy평면에 수직으로 y축상의 $y=d$, $y=-d$에 각각 고정되어 있다. 점 p는 x축상의 $x=2d$인 점이고, (가)와 (나)에서 A, B에 흐르는 전류의 세기는 I_0이다. A, B에 흐르는 전류의 방향은 (가)에서 서로 같고, (나)에서 서로 반대이다. (가), (나)의 p에서 A, B에 의한 자기장의 세기는 각각 $B_{(가)}$, $B_{(나)}$이다.



$\frac{B_{(가)}}{B_{(나)}}$는? [3점]

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

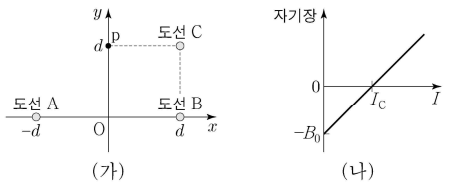
정 답 ①

해 설

$\frac{B_{가}}{B_{나}}=\frac{x}{y}=2$

02 2023학년도 6월 16번 정답률 58%

16. 그림 (가)와 같이 xy평면에 수직인 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가 각각 $(-d,\ 0)$, $(d,\ 0)$, $(d,\ d)$인 지점에 고정되어 있고, 점 p는 $(0,\ d)$인 점이다. A, B에는 세기가 I_0인 일정한 전류가 흐르고, p에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$방향이다. 그림 (나)는 p에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장을 C에 흐르는 전류의 세기 I에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. A에 흐르는 전류의 방향은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이다.
ㄴ. $I_C=2I_0$이다.
ㄷ. 원점 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $2B_0$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

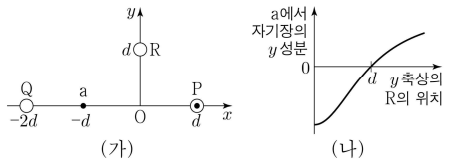
ㄱ. 점 p에서 AB에 의한 자기장이 $-y$방향이므로
A, B의 전류 방향은 반대이다.
이때 $-y$방향으로 형성되려면 A는 들어가는 전류이다. (O)

ㄴ. $B_{AB}=B_0=\frac{I_0}{d}=\frac{I_C}{d}$ → $I_C=I_0$ (X)

ㄷ. $B_{AB}'=2\frac{I_0}{d}=2B_0$ (O)

03 2023학년도 9월 19번 정답률 42%

19. 그림 (가)와 같이 xy평면에 수직인 무한히 긴 직선 도선 P, Q, R가 있다. P, Q, R에는 각각 세기가 일정한 전류가 흐르고, 전류의 세기는 Q에서가 P에서의 2배이며, P에 흐르는 전류의 방향은 xy평면에서 나오는 방향이다. P와 Q는 각각 x축상의 $x=d$, $x=-2d$인 점에 고정되어 있고, R는 y축상에서 옮기며 고정한다. 그림 (나)는 x축상의 $x=-d$인 점 a에서 P, Q, R에 흐르는 전류에 의한 자기장의 y성분을 R의 위치에 따라 나타낸 것이다.



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

<보 기>

ㄱ. P, Q에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.
ㄴ. 전류의 세기는 R에서가 P에서의 3배이다.
ㄷ. R가 y축상의 $y=d$에 있을 때, P, Q, R에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 원점 O에서가 a에서의 2배이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

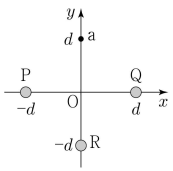
ㄱ. R이 O로 다가올 때 자기장은 $-y$성분으로 바뀐다.
그러므로 R에 흐르는 전류는 수직으로 나오는 방향이다.
그 다음으로 a에서 자기장 영향력은 Q가 P보다 더 크다.
자기장의 방향이 $+y$이어야 하므로 Q에 흐르는 전류는 나오는 방향이다. (X)

ㄴ. $B_{QP}=\frac{3I}{2d}$, $B_{Ry}=\frac{I_R}{2d}$가 y축에 상쇄이다.
따라서 $I_R=3I$이다. (O)

ㄷ. a에서 y축 성분은 0이다. 그리고 $B_{Rx}=\frac{3I}{2d}$이다. $B_a=\frac{3I}{2d}$
O에서 $B_{Rx}=\frac{3I}{d}$, $B_{QP}=0$이다. $B_O=\frac{3I}{d}$ (O)

04 2026학년도 6월 14번 정답률 62%

14. 그림과 같이 xy평면에 수직인 무한히 긴 직선 도선 P, Q, R가 각각 x축상의 $x=-d$, $x=d$, y축상의 $y=-d$에 고정되어 있다. P, Q, R에는 각각 세기가 I_P, I_Q, I_R인 일정한 전류가 흐른다. y축상의 $y=d$인 점 a에서, P, Q, R에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이다.



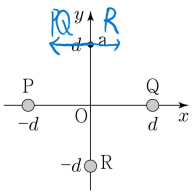
$\frac{I_R}{I_P}$는?

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

정 답 ④

해 설

PQR에 의한 자기장이 0인 조건을 대략적으로 그림으로 그려서 이해해보자.

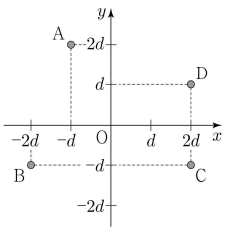


PQ에 의한 자기장의 세기는
$B_{PQ}=\frac{1}{2}\times 2=1$이다. (단, P, Q의 전류를 1, $d=1$로 설정)

따라서 $I_R=2$이므로 $\frac{I_R}{I_P}=2$이다.

05 2023학년도 9월 19번 정답률 42%

18. 그림과 같이 각각 일정한 전류가 흐르는 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B, C, D가 xy 평면에 수직으로 고정되어 있다. 원점 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$방향이고 자기장의 세기는 $2B_0$이다. O에서 B, C, D에 흐르는 전류에 의한 자기장의 x 성분은 $-B_0$이고 y 성분은 $-4B_0$이다.



O에서 A, B, C, D에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는? [3점]

① $2B_0$ ② $\sqrt{6}B_0$ ③ $3B_0$ ④ $\sqrt{13}B_0$ ⑤ $4B_0$

정 답 ④

해 설

1. 자기장 차이

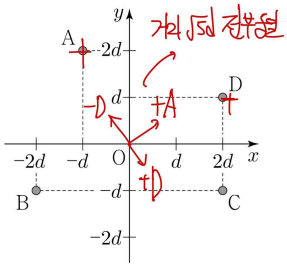
주어진 조건의 차이 $B_{ABC}-B_{BCD}=(2,0)-(-1,-4)$를 이용하면 $B_{A-D}=(3,4)$임을 알 수 있다.

O에서 A에 의한 자기장을 $(2B_A, B_A)$, D에 의한 자기장을 $(B_D, -2B_D)$로 가정하자.

두 식을 연립하면

- x: $2B_A-B_D=3B_0$
- y: $B_A+2B_D=4B_0$

$\Rightarrow B_D=B_0$이므로 D에 의한 자기장은 $(B_0, -2B_0)$이다.



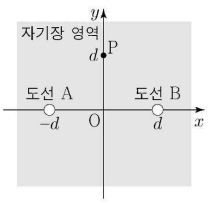
2. 계산

$B_{ABC}+B_D=(3,-2)=\sqrt{13}$

유형 03 3차원 자기장

01 2022학년도 9월 15번 정답률 60%

15. 그림과 같이 전류가 흐르지 않는 무한히 긴 직선 도선 A, B가 세기는 B_0이고 방향은 xy 평면에 수직인 균일한 자기장 영역에 놓여 있다. x 축상의 $x=-d$, $x=d$를 지나며 xy 평면에 수직으로 고정된 A와 B에 각각 세기는 같고 방향은 서로 반대인 전류가 흐를 때, 자기장의 세기는 원점 O에서 $\sqrt{2}B_0$이고, y 축상의 $y=d$인 점 P에서 B_P이다.



B_P는? [3점]

① $\frac{\sqrt{5}}{2}B_0$ ② $\frac{\sqrt{6}}{2}B_0$ ③ $\frac{\sqrt{7}}{2}B_0$ ④ $\sqrt{2}B_0$ ⑤ $\frac{3}{2}B_0$

정 답 ①

해 설

STEP1 O점 분석

도선 A, B에 흐르는 전류의 방향이 반대이므로 내부에서는 보강 현상이 일어난다. 이때 원점 O에서 합성 자기장의 세기가 $\sqrt{2}B_0$이므로 AB가 만드는 자기장과 자기장 영역이 만드는 자기장 세기가 동일하다.

$$B_0=2\frac{I}{d}$$

STEP2 P점 분석

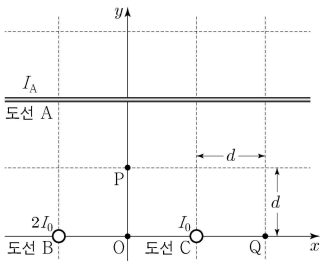
여기서 조심할 점은 여전히 자기장 영역과 A, B가 만드는 자기장은 수직이라는 점이다. (A, B에 의한 자기장은 xy평면이고, 균일한 자기장은 z평면이기 때문이다.)

$$B_{AB}=\frac{1}{2d}I\times 2=\frac{I}{d}=\frac{1}{2}B_0$$

$$B_P=\sqrt{\frac{1}{4}B_0^2+B_0^2}=\frac{\sqrt{5}}{2}B_0$$

02 2023학년도 수능 18번 정답률 46%

18. 그림과 같이 무한히 긴 직선 도선 A, B, C에 세기가 각각 I_A, $2I_0$, I_0인 전류가 흐른다. A는 xy평면에서 x 축에 나란하게, B와 C는 xy평면에 수직으로 고정되어 있다. P는 y 축상의 점, Q는 x 축상의 점이다. A, B, C에 의한 자기장의 세기는 원점 O와 P에서 서로 같다.



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

<보 기>

ㄱ. B, C에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.
ㄴ. A, B, C에 의한 자기장의 세기는 Q에서가 P에서보다 작다.
ㄷ. I_A는 $3I_0$보다 작다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

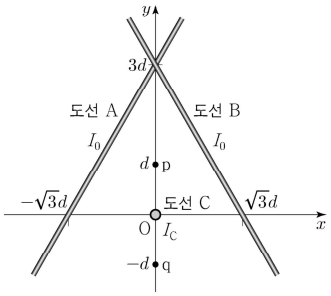
ㄱ. BC에 의한 자기장은 xy평면이고, A에 의한 자기장은 z평면이다. 따라서 항상 두 자기장은 수직이다.
A의 세기는 감소하면 BC에 의한 세기는 증가해야하므로 BC의 전류의 방향은 반대이다. (O)

ㄴ. P와 O에서 자기장의 세기가 동일하므로 같은 선상에 있는 O와 Q를 비교하자. 도선 A에 의한 자기장 세기는 동일하고, 도선 BC에 의한 자기장은 O > Q이므로 ABC에 의한 자기장의 세기는 Q에서가 B에서 보다 작다. (O)

ㄷ. $I_A^2+(\frac{3}{2}I_0)^2+(\frac{1}{2}I_0)^2=\frac{1}{4}I_A^2+9I_0^2$을 계산하면
$I_A<3I_0$이다. (O)

03 2024학년도 9월 16번 정답률 54%

16. 그림과 같이 무한히 가늘고 긴 직선 도선 A, B, C에 세기가 각각 I_0, I_0, I_C인 전류가 흐른다. A, B는 xy 평면에 고정되어 있고, C는 xy 평면에 수직으로 원점 O에 고정되어 있다. A, B, C에 의한 자기장의 세기는 점 p에서가 점 q에서의 $\sqrt{2}$ 배이다.



I_C는? [3점]

① I_0 ② $\sqrt{2}I_0$ ③ $\sqrt{3}I_0$ ④ $2I_0$ ⑤ $\sqrt{5}I_0$

정 답 ⑤

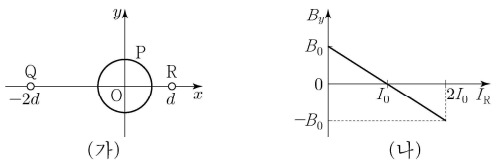
해 설

도선 AB와 도선 C가 만드는 자기장은 서로 다른 차원에 작용하므로 서로 상호 간섭하지 않는다.

$\frac{B_p}{B_q}=\frac{\sqrt{2^2+B_C^2}}{\sqrt{1^2+B_C^2}}=\sqrt{2}$에서 $4+B_C^2=2+2B_C^2$, $I_C=\sqrt{2}I_0$

04 2024학년도 수능 14번 정답률 55%

14. 그림 (가)와 같이 중심이 원점 O인 원형 도선 P가 xy 평면상에 고정되어 있고, 무한히 긴 직선 도선 Q와 R는 xy 평면에 수직으로 고정되어 있다. P와 Q에는 각각 세기와 방향이 일정한 전류가 흐르고 있다. 그림 (나)는 (가)의 O에서 세 도선의 전류에 의한 자기장의 y 성분 B_y를 R에 흐르는 전류의 세기 I_R에 따라 나타낸 것이다. $I_R=I_0$일 때, O에서 세 도선의 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0이다.



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

<보 기>

ㄱ. Q와 R에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.
ㄴ. Q에 흐르는 전류의 세기는 $2I_0$이다.
ㄷ. $I_R=2I_0$일 때, O에서 세 도선의 전류에 의한 자기장의 세기는 $\sqrt{2}B_0$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

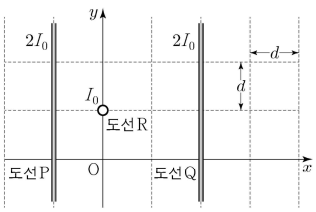
해 설

도선 QR와 도선 P가 만드는 자기장은 서로 다른 차원에 작용하므로 서로 상호 간섭하지 않는다.

ㄱ. $I_R=I_0$일 때 $B_y=0$이므로 Q와 R에 흐르는 전류의 방향은 동일하다. (X)
ㄴ. 거리의 비가 2 : 1이므로 전류의 비는 2 : 1이다. (O)
ㄷ. $I_R=I_0$일 때 $B_y=0$이므로 $B_P=B_0$이다.
$I_R=2I_0$일 때, QR에 의한 자기장은 B_0이므로 세 도선에 의한 자기장의 세기는 $\sqrt{2}B_0$이다. (O)

05 2025학년도 6월 14번 정답률 69%

14. 그림과 같이 무한히 긴 직선 도선 P, Q, R에 세기가 각각 $2I_0$, $2I_0$, I_0인 전류가 흐른다. P와 Q는 xy 평면에서 y 축에 나란하게, R는 xy 평면에 수직으로 고정되어 있다. 원점 O에서 P, Q, R에 흐르는 전류에 의한 자기장 세기는 P와 Q에 흐르는 전류의 방향이 서로 같을 때 B_1이고, 서로 반대일 때 B_2이다.



$\frac{B_2}{B_1}$는?

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

정 답 ④

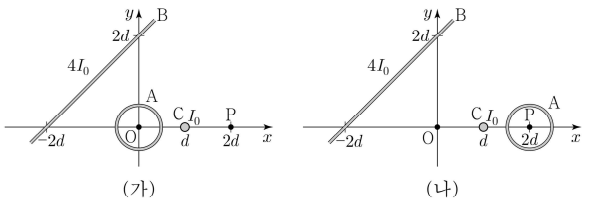
해 설

도선 PQ와 도선 R이 만드는 자기장은 서로 다른 차원에 작용하므로 서로 상호 간섭하지 않는다.

$$\frac{B_2}{B_1}=\frac{\sqrt{3^2+1^2}}{\sqrt{1^2+1^2}}=\frac{\sqrt{10}}{\sqrt{2}}=\sqrt{5}$$

06 2025학년도 9월 17번 정답률 66%

17. 그림 (가)와 같이 중심이 원점 O인 원형 도선 A와 무한히 긴 직선 도선 B가 xy 평면에 고정되어 있고, 무한히 긴 직선 도선 C는 xy 평면에 수직으로 x 축상의 $x=d$인 점에 고정되어 있다. O에서 A, B, C에 의한 자기장은 방향이 $-y$ 방향이고 세기는 B_0이다. 그림 (나)와 같이 (가)에서 A의 중심을 x 축상의 $x=2d$인 점 P로 옮겨 A를 고정한다. A, B, C에 흐르는 전류의 세기와 방향은 (가)와 (나)에서 동일하고, B, C에 흐르는 전류의 세기는 각각 $4I_0$, I_0이다.



(나)의 P에서 A, B, C에 의한 자기장의 세기는? (단, 도선의 굵기는 무시한다.)

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

정 답 ③

해 설

도선 AB와 도선 C이 만드는 자기장은 서로 다른 차원에 작용하므로 서로 상호 간섭하지 않는다.

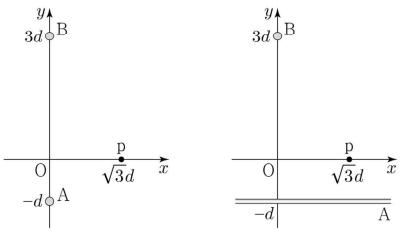
(가)에서 A와 B에 의한 자기장은 상쇄되므로 C에 의한 자기장은 $B_0=1$이라고 하자. ($I_0=1$, $d=1$)

B에 의한 자기장은 $B_B=\frac{4I_0}{\sqrt{2}d}=2\sqrt{2}$이다.

(나)에서 합성 자기장은 $\sqrt{(\sqrt{2})^2+1^2}=\sqrt{3}B_0$이다.

07 2025학년도 수능 11번 정답률 53%

11. 그림 (가)와 같이 xy 평면에 수직으로 y 축상의 $y=-d$, $y=3d$에 고정된 무한히 긴 직선 도선 A, B에는 세기가 각각 I_A, I_B로 일정한 전류가 흐르고 있다. x 축상의 $x=\sqrt{3}d$인 점 p에서 A, B에 의한 자기장은 세기가 B_0이고 방향은 $+y$방향이다. 그림 (나)는 (가)에서 A를 회전시켜 xy 평면상의 $y=-d$인 지점에 x 축과 나란하게 고정시킨 것을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. $I_A=I_B$이다.

ㄴ. (가)의 원점 O에서 A, B에 의한 자기장의 방향은 $-x$ 방향이다.

ㄷ. (나)의 p에서 A, B에 의한 자기장의 세기는 $\frac{\sqrt{13}}{2}B_0$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 점 p에서 A, B에 의한 자기장은 $+y$방향이므로 x축 상쇄이다. 따라서 A와 B의 전류는 지면에서 나오는 방향이다.

$\frac{y_A}{r_A^2}I_A=\frac{y_B}{r_B^2}I_B$에서 $\frac{1}{4}I_A=\frac{3}{12}I_B$, $I_A=I_B$이다. (O)

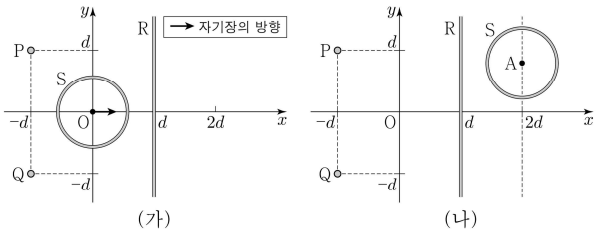
ㄴ. A의 영향력이 더 크므로 $-x$방향이다. (O)

ㄷ. (가) $B_0=\frac{\sqrt{3}}{4}+\frac{\sqrt{3}}{12}=\frac{\sqrt{3}}{3}$이므로 $1=\sqrt{3}B_0$이다.

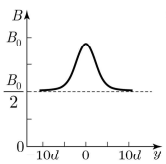
(나) $\sqrt{\frac{1}{12}+1}=\frac{\sqrt{13}}{2\sqrt{3}}=\frac{\sqrt{13}}{2}B_0$이다. (O)

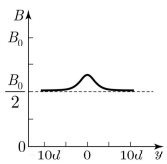
08 2026학년도 9월 15번 정답률 55%

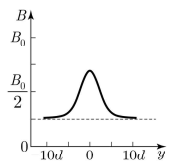
15. 그림 (가)와 같이 무한히 긴 직선 도선 P, Q가 xy 평면에 수직으로 고정되어 있고, 무한히 긴 직선 도선 R와 원점 O에 중심이 놓인 원형 도선 S는 xy 평면에 고정되어 있다. P, Q는 각각 $(-d, d)$, $(-d, -d)$를 지나고, R는 y 축과 나란하게 $(d, 0)$을 지난다. O에서 P, Q, R, S에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$ 방향이고, O에서 R에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{B_0}{4}$이다. 그림 (나)와 같이 (가)에서 S를 중심이 점 $A(2d, y)$가 되도록 옮겨 xy 평면에 고정한다. 각 도선에 흐르는 전류의 세기와 방향은 (가)와 (나)에서 각각 동일하고, P, R에 흐르는 전류의 세기는 각각 $16I_0$, I_0이다.

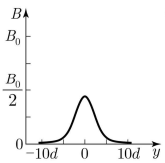


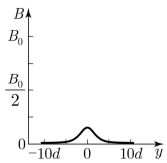
(나)의 A에서 P, Q, R, S에 의한 자기장의 세기 B를 A의 y에 따라 나타낸 그래프로 가장 적절한 것은? (단, 도선의 굵기는 무시한다.)

① 

② 

③ 

④ 

⑤ 

정 답 ①

해 설

STEP1 (가)의 분석

O에서 R에 의한 자기장을 $+\frac{B_0}{4}=1$라고 하자.

($I_0=1$, $d=1$로 가정하겠다.)

그러면 S에 의한 자기장은 $-\frac{B_0}{4}$이고, P, Q에 의한 자기장은

$\frac{1}{2}16\times2=16=4B_0$이다.

STEP2 (나)의 분석

CASE 1. $y=\infty$일 때

R, S가 A에 작용하는 자기장은 $\frac{B_0}{2}$이고 z축 성분이다.

CASE 2. $y=0$일 때

PQ가 작용하는 자기장의 세기는 $\frac{1}{10}16\times2=\frac{32}{10}=\frac{4}{5}B_0$이다.

따라서 답은 ①이다.

유형 04 솔레노이드

01 2024학년도 6월 5번 정답률 69%

5. 다음은 솔레노이드의 특성에 대한 실험이다.

〔실험 과정〕

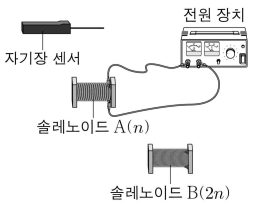
(가) 그림과 같이 단위 길이당 도선의 감은 수가 n인 솔레노이드 A를 전원 장치에 연결한다.

(나) 자기장 센서를 솔레노이드 내부의 중앙에 위치하도록 조절한다.

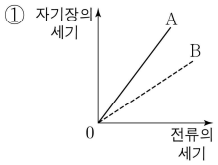
(다) 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기에 따른 자기장의 세기를 측정한다.

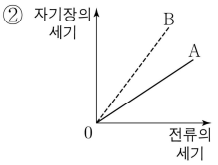
(라) (가)에서 A를 단위 길이당 도선의 감은 수가 $2n$인 솔레노이드 B로 바꾸고 (나), (다)를 반복한다.

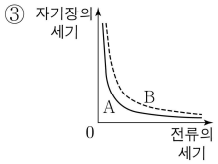
(마) 전류의 세기에 따른 A, B의 자기장의 세기를 그래프로 나타낸다.

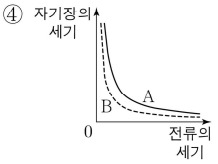


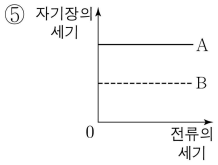
과정 (마)의 그래프로 가장 적절한 것은? [3점]

① 

② 

③ 

④ 

⑤ 

정 답 ②

해 설

B의 감은 수가 A의 2배이므로 답은 ②이다.

PART 8
전자기 유도

개념 유형

01. 균일한 자기장
02. 변하는 자기장
03. 움직이는 금속 막대

기출 유형

01. 고정된 금속 고리
02. 움직이는 금속 고리
03. 회전하는 금속 고리
04. 움직이는 금속 막대

THEME

1 — 유도 전류의 발생

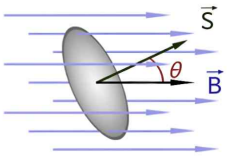
정리1 전자기 유도

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.)

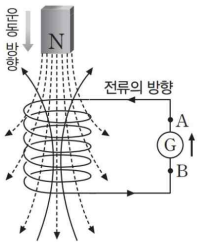
정리2 유도 전류의 세기와 방향

개념1 유도 전류의 방향을 찾는 방법

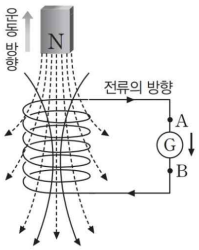
STEP1 자석이 다가오면 척력이 생긴다. (자연은 변화를 싫어해!)

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

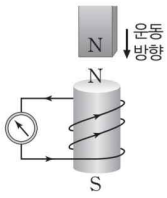
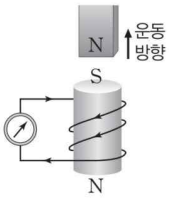
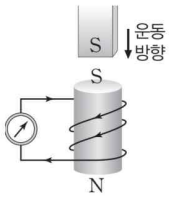
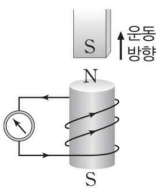


(나) 자기 선속이 감소하는 경우

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.

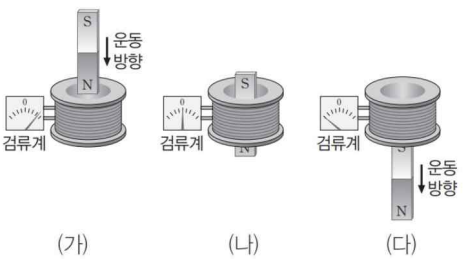
④ 코일과 자석이 가까울수록 유도 전류의 세기가 커진다.

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.)

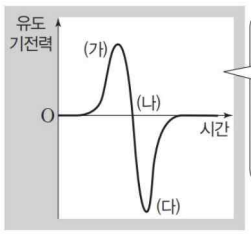
개념4 유도 전류가 0이 되는 방법

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)



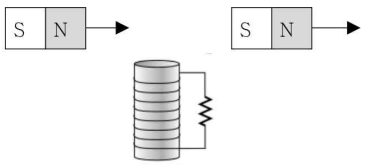
유도 기전력의 최댓값이 다른 이유는 중력에 의해 가속된 자석의 속력이 달라 자기 선속의 시간 변화율이 다르기 때문이다.

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.



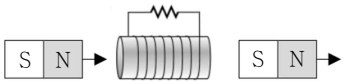
② 솔레노이드에 흐르는 유도 전류
- 자석이 왼쪽에 있을 때 솔레노이드의 위쪽은 N극이다.
- 자석이 왼쪽에 있을 때 솔레노이드의 위쪽은 N극이다.

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.

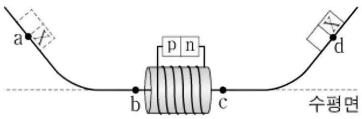
따라서 자석에 작용하는 자기력의 방향은 동일하다.



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.

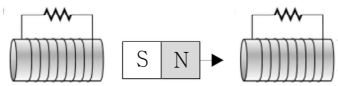
③ 저항 대신에 다이오드가 있는 경우
- 역방향 전압일 때는 유도 전류가 발생하지 않아 자석의 역학적 에너지 손실X
- 순방향 전압일 때만 유도 전류가 발생하므로 자석의 역학적 에너지 손실O
- 만약 그림과 같은 상황에서 a에서 b로 진행할 때 유도 전류가 발생한다면 d에서 c로 진행할 때 유도 전류가 발생한다. (대칭성!)



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.

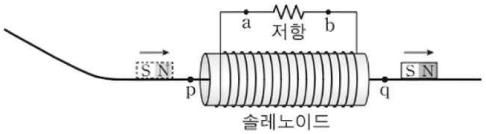


② 솔레노이드에 흐르는 유도 전류
- 위쪽 솔레노이드는 위쪽이 S극이다.
- 아래쪽 솔레노이드는 위쪽이 N극이다.

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.

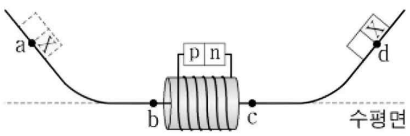
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

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.

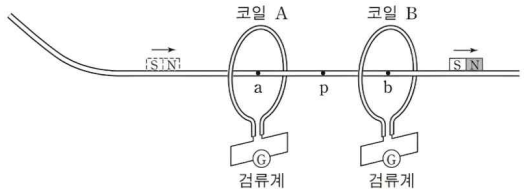
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

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

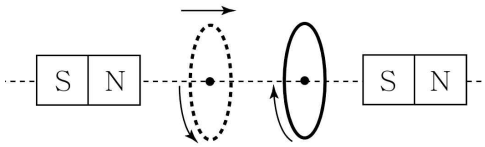
해설

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

정리4 두 개의 자석 사이를 금속 고리가 움직임

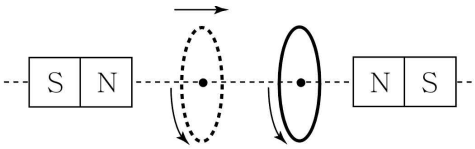
개념1 동일한 자석 사이에 금속 고리가 움직임

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



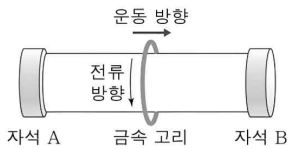
개념2 반대 자석 사이에 금속 고리가 움직임

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)

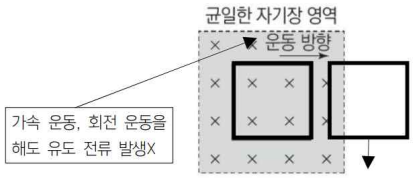
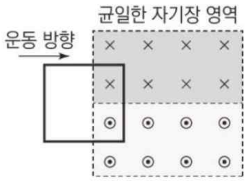
THEME

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.

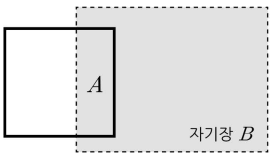
CASE 1. 균일한 자기장 내부를 통과	CASE 2. 세기가 같고 방향이 반대인 자기장 통과
	
① 면적과 자기장의 변화가 없어 유도 전류는 없다. ② 자기 선속은 $\Phi_B = BA$로 있다.	① $\varepsilon = Blv$가 상쇄되어 유도 전류는 없다. ② 자기 선속은 $\Phi_B = +BA - BA = 0$으로 없다.

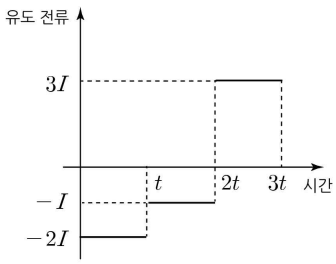
개념2 도선에 전류가 흐르는 상황

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.



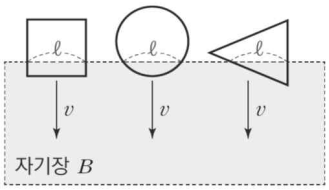


② 유도 전류의 세기

$|\varepsilon| = \frac{d\Phi_B}{dt} = B\frac{dA}{dt} = Bl\frac{dx}{dt} = Blv$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.

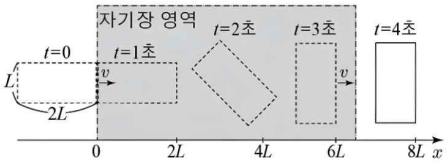


③ 유도 전류의 방향

- 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.

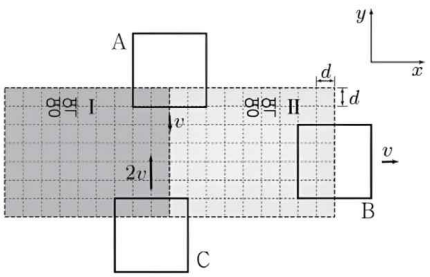
① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

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

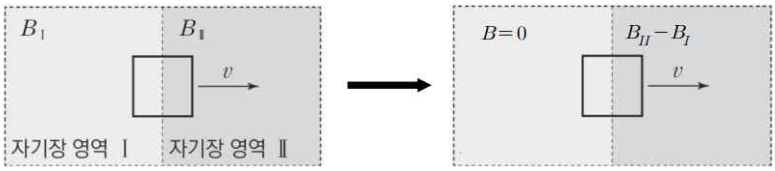
ㄱ. 영역 II가 B에 만드는 전류를 $-4I$라고 하자.
영역 II가 A에 만드는 전류는 $+2I$이다.
A, B의 전류의 세기가 동일해지려면 영역 I가 만드는 전류는 A에 $-6I$를 만들어야 한다. (O)
ㄴ. 유도 전류의 방향은 A와 B가 '-'로 같다. (O)
ㄷ. A는 $6-2=4$이고, C는 $18-2=16$이다. (O)

정리2 상대 자기장

개념1 상대 자기장

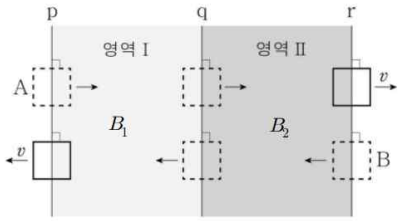
두 개의 자기장 영역을 통과할 때 다음과 같이 치환이 가능하다.

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

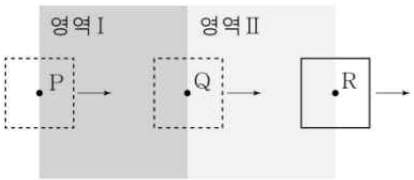
각각의 도선이 느끼기에 상대 자기장의 방향이 반대이고, 둘 다 도선이 자기장으로 들어가므로 유도 전류의 방향은 서로 반대이다.



개념3 유도 전류의 방향이 유지됨

P, Q에 대해서 유도 전류의 방향이 유지가 된다고 해보자.

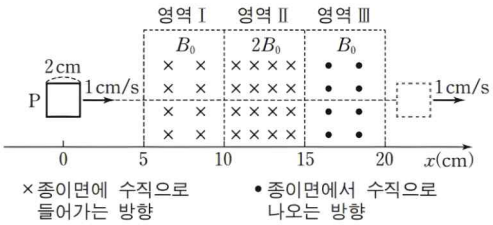
① 자기장 방향은 같다.
② 세기는 영역 Ⅰ < Ⅱ이다.



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.

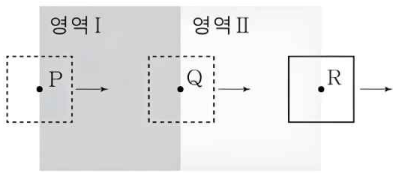
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

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

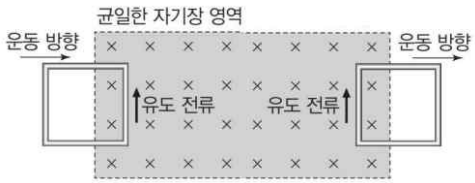
ㄱ. 반시계 전류가 흐르므로 영역 I는 들어가는 자기장이다. (O)
ㄴ. 유도 전류의 방향이 유지가 됐으므로 자기장 영역 I, II의 방향은 동일하고 세기는 I<II이다. (X)
ㄷ. 유도 전류의 세기는 P>R이다. (X)

정리3 유도 전류의 합

개념1 유도 전류의 변화 합

전류가 흐르는 직선 도선이 만드는 자기장에서 본 개념과 동일하다.

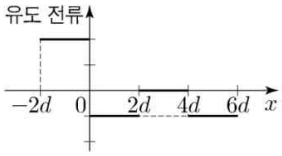
균일한 자기장 영역에 들어가고, 나올 때 양 끝에 대한 유도 전류의 합은 0이다.



개념2 유도 전류의 적분 정리

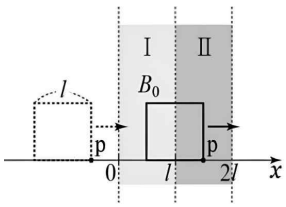
변화합의 개념을 확장하면 균일한 자기장 영역을 통과할 때 발생되는 유도 전류의 값들을 전부 더하면 0이 된다는 원리이다.

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.

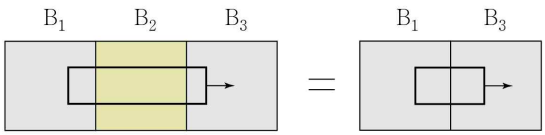
정리4 자기장 상쇄 효과

개념1 자기장 상쇄 효과

상대 자기장의 관점으로 왼쪽과 오른쪽에 대해서 생각해보자.

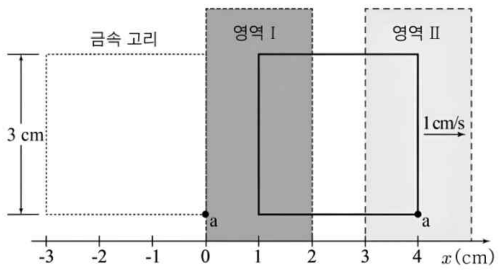
왼쪽 부분에 대해서 $\varepsilon_l = (B_2 - B_1)lv$, 오른쪽 부분에 대해서 $\varepsilon_r = (B_3 - B_2)lv$를 만족하므로

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

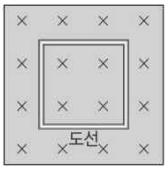
2 변하는 자기장

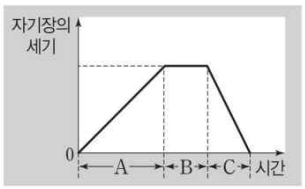
정리1 변하는 자기장에 고정된 도선

개념1 변하는 자기장에 고정된 도선

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

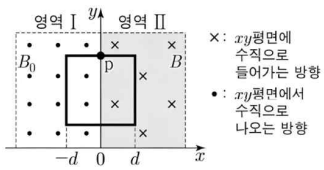
② 유도 전류의 방향을 쉽게 구하는 방법
만약에 균일한 자기장의 세기가 점점 증가하는 상황이라고 해보자.
그러면 도선의 입장에서는 자기선속의 크기가 증가하는 것과 같으므로 도선이 자기장으로 들어가는 것과 비슷하다.
따라서 A과정은 자기장 속에 들어감으로 해석해도 무방하다.



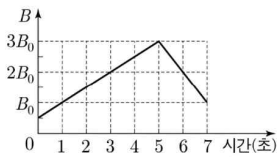


예제1 변하는 자기장

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.

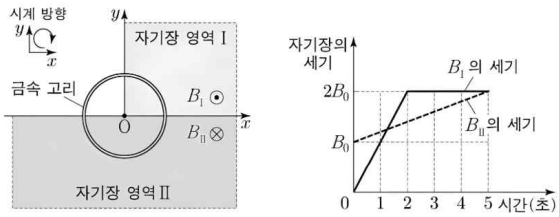
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

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

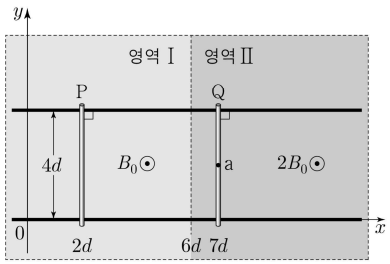
그림은 영역 I와 영역 II의 자기장 방향이 동일하고, 금속 막대 P와 Q가 있는 상황이다.

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.

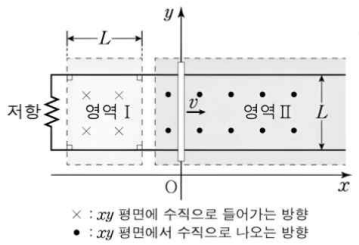
② 전류의 세기

전류의 세기는 $\varepsilon = Blv$공식을 만족한다.

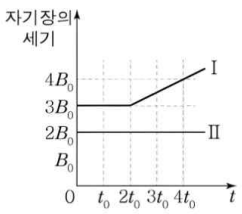


예제1 움직이는 금속 막대

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

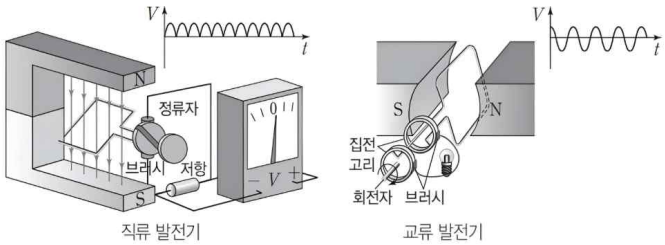
개념1 발전기의 종류

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.

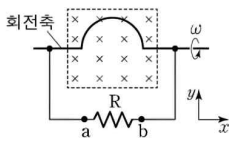
① 사각 도선과 자기장이 수직일 때 자기선속의 값은 최대이다.

② 사각 도선과 자기장이 수직일 때 도선에 흐르는 유도 전류는 0이다.

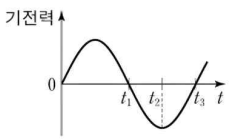
③ 사각 도선과 자기장이 수직일 때 도선에 흐르는 유도 전류의 방향이 변한다.

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)

THEME

5 — 움직이는 금속 막대

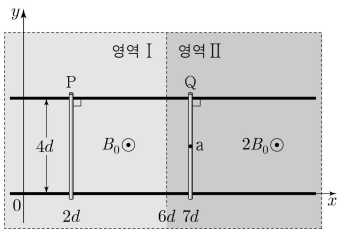
정리1 움직이는 금속 막대

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.



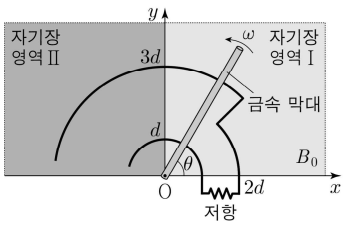
② 전류의 세기

전류의 세기는 $\varepsilon = Blv$공식을 만족한다.

개념2 금속 막대의 회전 운동

① 전류의 방향

막대가 회전하면 자기장이 통과하는 면적이 증가한다.
만약에 영역I의 자기장의 방향이 나오는 방향이라면 시계 전류가 발생한다.



② 전류의 세기

전류의 세기는 $I=\frac{r^2}{2R}wB$ 공식을 만족하고,

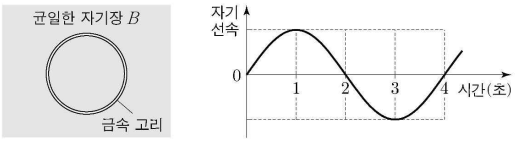
$0<\theta<45^\circ$ 에 대해서 $I \propto r^2B$를 만족한다. 따라서 $I=4d^2B_0-d^2B_0=3d^2B_0$으로 생각할 수 있다.

여기서 한 가지 계산에 대한 팁을 얻을 수가 있다.
원형 상황에서 구멍이 뚫려있다면 면적처럼 계산해서 답을 구할 수 있다.
(진짜 면적은 아니고, r^2에 대한 비유이다.)

유형 01 고정된 금속 고리

01 2022학년도 6월 6번 정답률 77%

6. 그림 (가)와 같이 시간에 따라 변하는 균일한 자기장 B가 있는 영역에 금속 고리가 고정되어 있다. 그림 (나)는 (가)의 고리면을 통과하는 B에 의한 자기 선속을 시간에 따라 나타낸 것이다. B의 방향은 종이면에 수직이다.



(가) (나)

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

<보 기>

ㄱ. 1초일 때, 유도 기전력의 크기는 최대이다.
ㄴ. 유도 전류의 방향은 2초일 때와 4초일 때가 같다.
ㄷ. B의 방향은 1초일 때와 3초일 때가 서로 반대이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

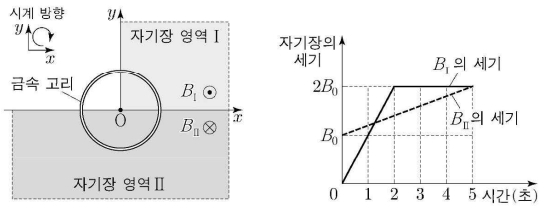
정 답 ②

해 설

ㄱ. 유도 기전력은 자기 선속을 미분한 것과 같다.
유도 기전력은 2, 4초에서 최대이다. (X)
ㄴ. 반대이다. (X)
ㄷ. 자기 선속의 방향을 보면 반대이다. (O)

02 2022학년도 수능 16번 정답률 58%

16. 그림 (가)는 xy 평면에 고정된 원형 금속 고리와 균일한 자기장 영역 Ⅰ, Ⅱ를 나타낸 것이다. 고리의 중심은 원점 O이고, Ⅰ에서 자기장 $B_{\text{Ⅰ}}$의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이며, Ⅱ에서 자기장 $B_{\text{Ⅱ}}$의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 그림 (나)는 $B_{\text{Ⅰ}}$, $B_{\text{Ⅱ}}$의 세기를 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가) (나)

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

<보 기>

ㄱ. 고리면을 통과하는 $B_{\text{Ⅰ}}$과 $B_{\text{Ⅱ}}$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

정 답 ⑤

해 설

[Ⅰ] [Ⅱ]

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

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

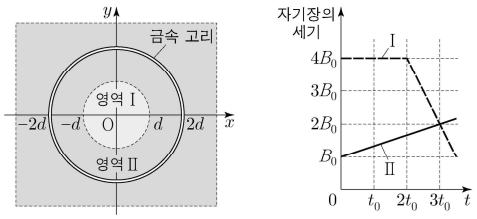
ㄴ. 1초) $+1 \cdot 1 - 2 \cdot \frac{1}{5} = +\frac{3}{5}$

4초) $+1 \cdot 0 - 2 \cdot \frac{1}{5} = -\frac{2}{5}$ (O)

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

03 2023학년도 수능 17번 정답률 46%

17. 그림 (가)는 xy 평면에 고정된 원형 금속 고리와 균일한 자기장 영역 Ⅰ, Ⅱ를 나타낸 것이다. 금속 고리의 반지름은 $2d$이다. Ⅰ은 반지름이 d인 원모양의 영역이고 Ⅰ에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. Ⅱ는 Ⅰ을 제외한 영역이고 Ⅱ에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직이다. 그림 (나)는 Ⅰ, Ⅱ에서 자기장의 세기를 시간 t에 따라 나타낸 것이다. $t=t_0$일 때와 $t=3t_0$일 때 유도 기전력의 크기는 V_0으로 같다.



(가)

(나)

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

<보 기>

ㄱ. $V_0=\dfrac{\pi d^2 B_0}{t_0}$이다.

ㄴ. Ⅱ에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄷ. 유도 전류의 방향은 $t=t_0$일 때와 $t=3t_0$일 때가 서로 반대이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

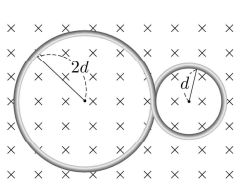
ㄱ. $V_0=3\pi d^2\dfrac{B_0}{3t_0}=\dfrac{\pi d^2 B_0}{t_0}$ (O)

ㄴ. $t=t_0$와 $t=3t_0$일 때 유도 기전력의 크기가 같은 이유는 방향이 반대로 바뀌었기 때문이다.
따라서 영역 Ⅰ와 Ⅱ의 자기장의 방향은 동일하다. (O)

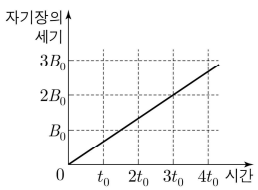
ㄷ. 유도 전류의 방향은 서로 반대이다. (O)

04 2026학년도 수능 15번 정답률 54%

15. 그림 (가)와 같이 종이면에 수직으로 들어가는 균일한 자기장 영역에 하나의 도선으로 이루어진 '8자' 모양의 고리가 종이면에 고정되어 있다. 고리의 왼쪽 원과 오른쪽 원의 반지름은 각각 $2d$, d이다. 그림 (나)는 (가)에서 자기장의 세기를 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

시간이 $2t_0$일 때, 고리에 유도되는 기전력의 크기는? (단, 도선의 표면은 절연되어 있고, 도선의 굵기는 무시한다.) [3점]

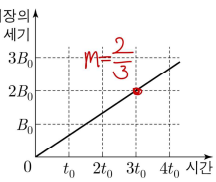
① $\dfrac{B_0\pi d^2}{t_0}$ ② $\dfrac{2B_0\pi d^2}{t_0}$ ③ $\dfrac{10B_0\pi d^2}{3t_0}$ ④ $\dfrac{9B_0\pi d^2}{2t_0}$ ⑤ $\dfrac{15B_0\pi d^2}{2t_0}$

정 답 ②

해 설



(가)



(나)

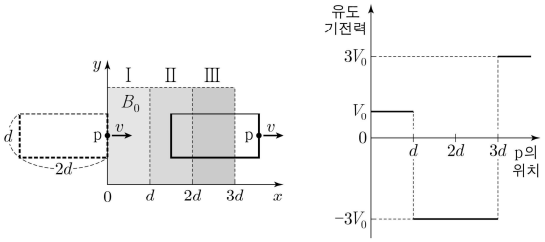
두 도선에 의한 전류는 상쇄 전류가 된다.

따라서 유도 기전력을 구할 때 $A=3$이고 $\dfrac{dB}{dt}=\dfrac{2}{3}$이므로 계수만 보면 답은 ②이다.

유형 02 움직이는 금속 고리

01 2024학년도 6월 19번 정답률 34%

19. 그림 (가)와 같이 한 변의 길이가 각각 $2d$, d인 직사각형 금속 고리가 xy평면에서 균일한 자기장 영역 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ을 $+x$방향으로 속력 v로 등속 운동을 한다. p는 금속 고리의 한 점이다. Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ에서 자기장의 방향은 xy평면에 수직이고, Ⅰ에서 자기장의 세기는 B_0이다. 그림 (나)는 금속 고리에 유도된 기전력을 p의 위치에 따라 나타낸 것이고, $V_0 = B_0vd$이다.



(가)

(나)

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

<보 기>

ㄱ. Ⅰ과 Ⅱ에서 자기장의 방향은 서로 반대이다.
ㄴ. Ⅲ에서 자기장의 세기는 $2B_0$이다.
ㄷ. p의 위치가 $x = 2.5d$일 때, Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ의 자기장이 고리면을 통과하는 자기 선속의 크기는 $\frac{7}{2}B_0d^2$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. $x = 0$을 지날 때와 $x = d$를 지날 때 유도 기전력의 방향이 반대이므로 자기장의 방향은 서로 반대이다. (O)

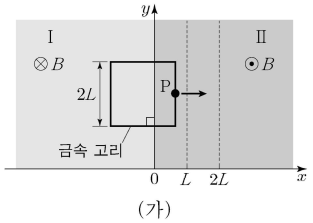
ㄴ. $x = 2d$를 지날 때 유도 기전력이 $-3V_0$이므로 Ⅲ에서 자기장의 세기는 $2B_0$이다. (O)

ㄷ. $B_I = +1$이라고 하면, $B_{II} = -3$, $B_{III} = -2$이다.

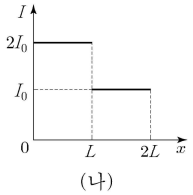
$\Phi_B = \frac{1}{2} - 3 - 1 = \frac{7}{2}B_0d^2$이다. (O)

02 2024학년도 수능 17번 정답률 57%

17. 그림 (가)와 같이 저항값이 R이고 한 변의 길이가 $2L$인 정사각형 금속 고리를 균일한 자기장 영역 Ⅰ, Ⅱ가 있는 xy평면상에서 $+x$방향으로 운동시킨다. 고리의 한 점 P는 $0 \le x \le L$, $L < x \le 2L$에서 각각 속력 v_1, v_2로 등속도 운동을 한다. 그림 (나)는 P의 위치에 따라 고리에 유도되는 전류의 세기 I를 나타낸 것이다. Ⅰ, Ⅱ에서 자기장의 세기는 B로 같고, 자기장의 방향은 xy평면에 수직으로 각각 들어가는 방향, 나오는 방향이다.



(가)



(나)

$v_1 + v_2$는? (단, 금속 고리의 굵기는 무시한다.)

① $\frac{5I_0R}{8BL}$ ② $\frac{3I_0R}{4BL}$ ③ $\frac{7I_0R}{8BL}$ ④ $\frac{I_0R}{BL}$ ⑤ $\frac{9I_0R}{8BL}$

정 답 ②

해 설

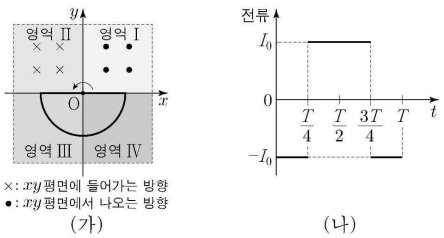
$IR = BLv$에서 $v_1 = \frac{2I_0R}{2B(2L)} = \frac{I_0R}{2BL}$, $v_2 = \frac{I_0R}{4BL}$이므로

$v_1 + v_2 = \frac{3I_0R}{4BL}$이다.

유형 03 회전하는 금속 고리

01 2022학년도 9월 17번 정답률 66%

17. 그림 (가)는 xy 평면에 수직인 균일한 자기장 영역 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ에서 반원형 금속 고리가 원점 O를 중심으로 xy 평면에서 시계 반대 방향으로 일정한 각속도로 회전할 때, 시간 $t=0$인 순간의 모습을 나타낸 것이다. Ⅰ, Ⅱ에서 자기장의 세기는 서로 같다. 그림 (나)는 주기 T 동안 (가)의 고리에 유도되는 전류를 t에 따라 나타낸 것이다. 전류의 방향은 시계 방향이 양(+)이다.



(가)

(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. Ⅲ과 Ⅳ에서 자기장의 방향은 서로 같다.
ㄴ. Ⅲ과 Ⅳ에서 자기장의 세기는 서로 같다.
ㄷ. (가)에서 고리의 회전 방향만 시계 방향으로 바꾸면 고리에 유도되는 전류의 최대 세기는 $2I_0$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설

$0\sim\frac{T}{4}$) 나오는 자기장에 들어가는데 반시계 전류가 흐른다.

따라서 영역Ⅲ은 나오는 자기장이고 세기가 $2B$이다.

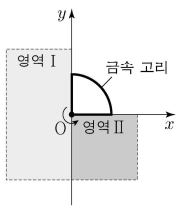
$\frac{T}{4}\sim\frac{T}{2}$) 들어가는 자기장에 들어가는데 시계 전류가 흐른다.

따라서 영역Ⅳ는 들어가는 자기장이고 세기각 $2B$이다.

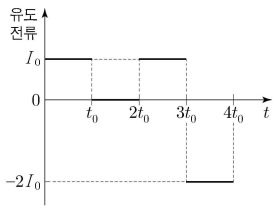
ㄱ. 서로 반대이다. (X)
ㄴ. $2B$로 같다. (O)
ㄷ. I_0이고 유도 전류의 방향만 변한다. (X)

02 2023학년도 6월 15번 정답률 57%

15. 그림 (가)는 xy 평면에서 저항값이 R인 사분원 모양의 금속 고리가 원점 O를 중심으로 일정한 각속도로 회전할 때 시간 $t=0$인 순간의 모습을 나타낸 것이고, (나)는 고리에 흐르는 유도 전류를 t에 따라 나타낸 것이다. 고리의 회전 주기는 $4t_0$이고, 균일한 자기장 영역 Ⅰ, Ⅱ의 자기장의 방향은 xy 평면에 수직이다.



(가)



(나)

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

<보 기>

ㄱ. Ⅰ과 Ⅱ의 자기장의 방향은 서로 반대이다.
ㄴ. 자기장의 세기는 Ⅱ가 Ⅰ의 2배이다.
ㄷ. 고리가 한 바퀴 회전하는 동안 고리에서 소비되는 전기 에너지는 $6I_0^2Rt_0$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

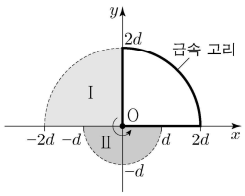
해 설

영역 Ⅰ에 들어갈 때 유도 전류가 I_0이다.
영역 Ⅱ에 들어갈 때 유도 전류가 I_0이다.
따라서 Ⅰ와 Ⅱ의 방향은 동일하고 세기는 Ⅱ가 Ⅰ의 2배이다.

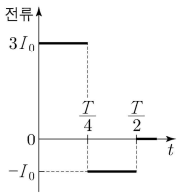
ㄱ. 자기장의 방향은 서로 같다. (X)
ㄴ. 자기장의 세기는 Ⅱ가 Ⅰ의 2배이다. (O)
ㄷ. $W=(1+1+4)I_0^2Rt_0=6I_0^2Rt_0$ (O)

03 2024학년도 9월 18번 정답률 50%

18. 그림 (가)는 xy평면에서 반지름이 $2d$인 사분원 모양의 금속 고리가 원점 O를 중심으로 시계 반대 방향으로 일정한 각속도로 회전할 때 시간 $t=0$인 순간의 모습을 나타낸 것이다. 반지름이 각각 $2d$, d인 사분원, 반원 모양의 균일한 자기장 영역 Ⅰ, Ⅱ에서 자기장의 세기는 각각 $B_{\text{Ⅰ}}$, $B_{\text{Ⅱ}}$이고, 자기장의 방향은 xy평면에 수직이다. 그림 (나)는 고리에 흐르는 유도 전류를 t에 따라 나타낸 것이다. 고리의 회전 주기는 T이고, 전류의 방향은 시계 반대 방향이 양(+)이다.



(가)



(나)

$\frac{B_{\text{Ⅱ}}}{B_{\text{Ⅰ}}}$는? (단, 고리의 굵기는 무시한다.)

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

정 답 ④

해 설

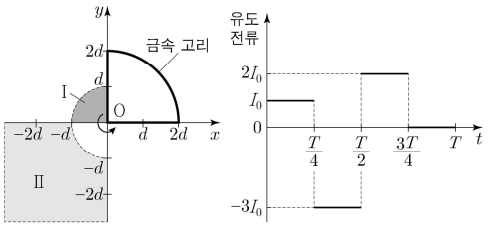
$I=\frac{r^2wB}{2R}$을 통해 $B\propto\frac{I}{r^2}$이다.

$\frac{B_{II}}{B_I}=\frac{\frac{2}{1}}{\frac{3}{4}}=\frac{8}{3}$이다.

(B_{II}를 계산할 때가 어렵다. $t=\frac{T}{4}$에 대해서 B_I에 의한 전류는 $-3I_0$로 반전되므로 B_{II}에 의한 전류가 $+2I_0$임을 이용해 대입한다.)

04 2025학년도 6월 20번 정답률 53%

20. 그림 (가)는 균일한 자기장 영역 Ⅰ, Ⅱ를 포함한 xy 평면에서 저항값이 R이고 반지름이 $2d$인 사분원 모양의 금속 고리가 원점 O를 중심으로 일정한 각속도로 회전할 때 시간 $t=0$인 순간의 모습을 나타낸 것이고, (나)는 고리에 흐르는 유도 전류를 t에 따라 나타낸 것이다. Ⅰ은 2사분면에서 반지름이 d인 사분원 영역이고, Ⅱ는 3사분면에서 반지름이 d인 사분원을 제외한 나머지 영역이다. 고리의 회전 주기는 T이고, Ⅰ, Ⅱ의 자기장 방향은 xy 평면에 수직이다.



(가)

(나)

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

<보 기>

ㄱ. Ⅰ과 Ⅱ에서 자기장의 방향은 서로 반대이다.

ㄴ. 자기장의 세기는 Ⅱ가 Ⅰ의 $\frac{2}{3}$배이다.

ㄷ. $t=\frac{3}{8}T$일 때, Ⅰ과 Ⅱ의 자기장이 고리면을 통과하는 자기 선속의 크기는 $\frac{1}{8}I_0RT$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

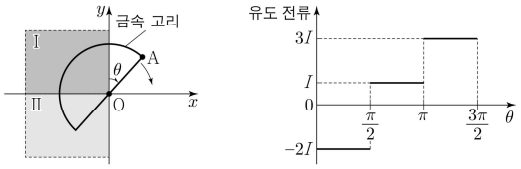
ㄱ. Ⅰ에 의한 전류는 $+1$이다. $t=\frac{T}{4}$에서 Ⅰ에 의한 전류는 -1이고, Ⅱ에 의한 전류는 -2이다. 금속 고리가 들어갈 때 전류의 방향이 서로 반대이므로 자기장의 방향은 서로 반대이다. (O)

ㄴ. $I=\frac{r^2wB}{2R}$에서 $B\propto\frac{I}{r^2}$을 통해 $\frac{B_{II}}{B_I}=\frac{\frac{2}{4-1}}{\frac{1}{1}}=\frac{2}{3}$이다. (O)

ㄷ. $\Phi_B=R\int_0^t I(t)dt=\frac{1}{4}-\frac{3}{8}=\frac{1}{8}I_0RT$이다. (O)

05 2025학년도 수능 17번 정답률 54%

17. 그림 (가)와 같이 반원 모양의 금속 고리를 균일한 자기장 영역 Ⅰ, Ⅱ가 있는 xy 평면상에서 원점 O를 중심으로 시계 방향으로 회전시킨다. O와 고리상의 점 A가 이루는 선분이 y 축과 이루는 각을 θ라고 할 때, 고리는 $0 \le \theta < \frac{\pi}{2}$, $\frac{\pi}{2} \le \theta < \frac{3\pi}{2}$에서 각각 ω_1, ω_2의 일정한 각속도로 회전한다. 그림 (나)는 (가)에서 고리에 유도되는 전류를 θ에 따라 나타낸 것이다. Ⅰ, Ⅱ에서 자기장의 세기는 각각 $B_{\text{Ⅰ}}$, $B_{\text{Ⅱ}}$이고, 자기장의 방향은 xy 평면에 수직이다. $\theta = 0$일 때, Ⅰ, Ⅱ의 자기장이 고리면을 통과하는 자기 선속은 Φ이다.



(가)

(나)

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

<보 기>

ㄱ. $\omega_2 = \frac{3}{2}\omega_1$ 이다.

ㄴ. $B_{\text{Ⅱ}} = 2B_{\text{Ⅰ}}$ 이다.

ㄷ. $\theta = \frac{\pi}{4}$일 때, Ⅰ, Ⅱ의 자기장이 고리면을 통과하는 자기 선속은 $\frac{\Phi}{4}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

$I = \frac{r^2}{2R} wB$에서 $I \propto wB$ 공식을 이용하자.

ㄱ. $0 \sim \frac{\pi}{2}$) $2I = w_1 B_2$

$\frac{\pi}{2} \sim \pi$) $I = w_2 B_1$

$\pi \sim \frac{3\pi}{2}$) $3I = w_2 B_2$

을 정리하면 $w_2 = \frac{3}{2} w_1$이다. (O)

ㄴ. $B_{II} = 3B_I$ 이다. (X)

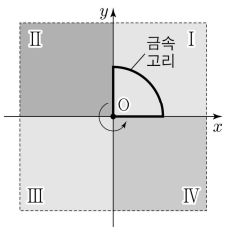
ㄷ. 유도 전류의 방향을 통하여 I와 II의 자기장 방향이 반대이다.

$\theta = 0$) $\Phi = 3BA - BA = 2BA$

$\theta = \frac{\pi}{4}$) $\frac{3}{2}BA - BA = \frac{1}{2}BA = \frac{\Phi}{4}$이다. (O)

06 2026학년도 6월 17번 정답률 64%

17. 그림은 균일한 자기장 영역 Ⅰ~Ⅳ를 포함한 xy평면에서 사분원 모양의 금속 고리가 원점 O를 중심으로 시계 반대 방향으로 회전할 때 시간 $t=0$인 순간의 모습을 나타낸 것이다. 고리는 일정한 각속도로 회전하고, 회전 주기는 T이다. 표는 각 영역에서 자기장의 세기와 방향을 나타낸 것이다. $t=0$일 때, 고리면을 통과하는 자기 선속은 Φ_0이다.



영역	자기장의 세기	자기장의 방향
Ⅰ	B_0	⊙
Ⅱ	$2B_0$	⊙
Ⅲ	B_0	⊙
Ⅳ	B_0	⊗

⊙ xy평면에서 수직으로 나오는 방향
⊗ xy평면에 수직으로 들어가는 방향

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

<보 기>

ㄱ. $t=\frac{1}{8}T$일 때, 고리면을 통과하는 자기 선속은 $3\Phi_0$이다.

ㄴ. $t=\frac{5}{8}T$일 때, 고리에 유도되는 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

ㄷ. 고리에 유도되는 전류의 세기는 $t=\frac{3}{8}T$일 때가 $t=\frac{7}{8}T$일 때보다 작다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. $t=0$일 때 자기 선속은 $\Phi_0=1$이다. (단, 원의 $\frac{1}{4}$면적을 1로 설정하고 $B_0=1$로 설정하자.)

$t=\frac{1}{8}T$일 때는 45°의 회전이 일어난다. (Ⅰ, Ⅱ의 중간 위치)

따라서 $\Phi=\frac{1}{2}(2)+\frac{1}{2}(1)=\frac{3}{2}$이다. (X)

ㄴ. $t=\frac{5}{8}T$일 때는 Ⅲ와 Ⅳ의 중간에 위치한다.

상대 자기장은 $-2B_0$이므로 반시계 전류가 발생한다. (O)

ㄷ. 상대 자기장을 비교하면 $t=\frac{3}{8}T$일 때는 $-B_0$이고,

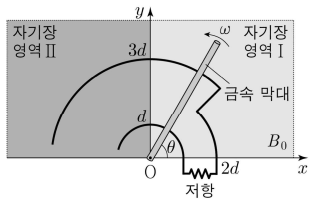
$t=\frac{7}{8}T$일 때는 $-2B_0$이다. 따라서 유도 전류의 세기는

$t=\frac{3}{8}T < t=\frac{7}{8}T$이다. (O)

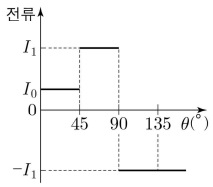
유형 04 움직이는 금속 막대

01 2023학년도 9월 16번 정답률 52%

16. 그림 (가)와 같이 xy 평면에 고정된 금속 레일과 균일한 자기장 영역 Ⅰ, Ⅱ가 있다. 원점이 중심인 반지름 d, $2d$, $3d$인 원호를 연결한 금속 레일을 따라 금속 막대가 원점을 중심으로 시계 반대 방향으로 일정한 각속도 ω로 회전한다. 금속 막대의 길이는 $4d$이며, Ⅰ에서 자기장의 세기는 B_0이고, Ⅰ, Ⅱ에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직이다. 그림 (나)는 금속 레일에 연결된 저항에 흐르는 전류를 x 축과 금속 막대가 이루는 각 θ에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 금속 막대의 저항과 두께는 무시한다.)

<보 기>

ㄱ. $\theta=60°$일 때 저항 양단에 걸리는 유도 기전력의 크기는 $4\omega B_0 d^2$이다.

ㄴ. (나)에서 $I_1=3I_0$이다.

ㄷ. Ⅱ에서 자기장의 세기는 $2B_0$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

ㄱ. $V_0=\frac{9d^2}{2}wB_0-\frac{d^2}{2}wB_0=4wB_0d^2$ (O)

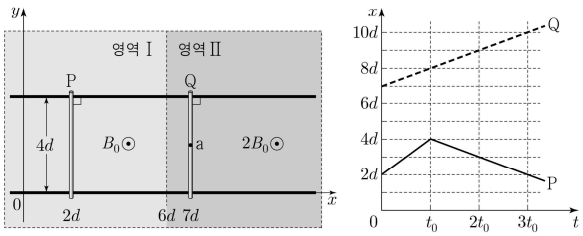
ㄴ. $V_1=\frac{4d^2}{2}wB_0-\frac{d^2}{2}wB_0=\frac{3}{2}wB_0d^2$

$I_1=\frac{8}{3}I_0$ (X)

ㄷ. Ⅱ에서 자기장의 세기는 B_0이다. (X)

02 2025학년도 9월 18번 정답률 60%

18. 그림 (가)와 같이 x 축과 나란한 두 금속 레일이 xy 평면에 $4d$ 만큼 떨어져 고정되어 있고, y 축과 나란한 금속 막대 P, Q를 두 금속 레일 위에 놓아 x 축과 나란한 방향으로 운동시킨다. 균일한 자기장 영역 Ⅰ, Ⅱ에서 자기장의 세기는 각각 B_0, $2B_0$이고, 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 그림 (나)는 P, Q의 위치 x를 시간 t에 따라 각각 나타낸 것이다. a는 Q의 한 점이다.



(가)

(나)

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

<보 기>

ㄱ. $0 < t < t_0$에서 a에는 유도 전류가 흐르지 않는다.

ㄴ. $t = 2t_0$일 때, a에 흐르는 전류의 방향은 $-y$방향이다.

ㄷ. $t = 3t_0$일 때, 두 금속 레일과 P, Q가 이루는 사각형 회로에 유도되는 기전력의 크기는 $\dfrac{12B_0d^2}{t_0}$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. P와 Q의 운동 방향이 동일하고, 자기장의 방향도 동일하므로 유도 전류는 상쇄된다. 세기를 계산해보면 자기장의 비가 1 : 2, 속도의 비가 2 : 1이므로 상쇄된다. (O)

ㄴ. 나오는 방향의 자기장(+)에 면적이 증가(+)하므로 시계(+) 전류가 흐르므로 a에 흐르는 전류의 방향은 $-y$방향이다. (O)

ㄷ. P와 Q의 운동 방향이 반대이므로 유도 기전력은 덧셈이다.
$V = 1 \times 4 \times 1 + 2 \times 4 \times 1 = 12$ (O)
(BLv 순서이다.)

PART 9
상호 유도

개념 유형

01. 상호 유도

기출 유형

01. 상호 유도

02. 변압기

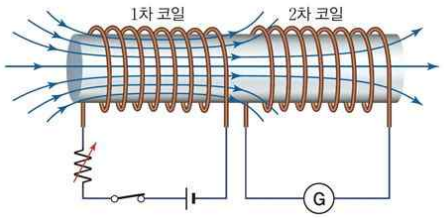
THEME

1 — 상호 유도

정리1 상호 유도

개념1 상호 유도

한 쪽 코일에 흐르는 전류의 변화에 의한 자기 선속의 변화로 근처에 있는 다른 코일에서 유도 기전력이 발생하는 현상이다.
그림에서 1차 코일의 전원의 전압을 증가시키면 철심을 통해 두 회로의 자기 선속이 공유되며 2차 코일에 유도 전류가 발생한다.



개념2 2차 코일에 유도되는 전류의 특징

코일 1에서 코일 2로 전달되는 자기선속 Φ_{21}는 코일 1의 전류 I_1에 의해 생성된 자기장에 의해 결정된다.

$\Phi_{21}=N_2\int \vec{B_1}\cdot d\vec{A}$에서 비오-사바르 법칙 또는 앙페르 법칙에 의하여 $\vec{B}\propto I_1$이므로 $\Phi_{21}=MI_1$의 관계가 있다.

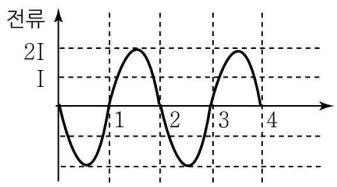
$\varepsilon_2=-\frac{d\Phi_{21}}{dt}=-\frac{d}{dt}(MI_1)=-M\frac{dI_1}{dt}$ 따라서 2차 코일에 유도되는 전류는 $I_2\propto-\frac{dI_1}{dt}$이다.

① 1차 코일과 2차 코일의 전압과 전류의 주기가 동일하다.

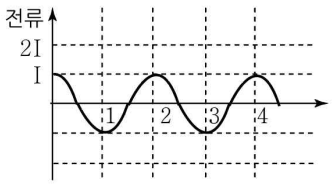
② 1차 코일과 2차 코일의 방향이 같으면 2차 코일에서 전압과 전류의 위상이 $\frac{T}{4}$만큼 앞서있다.

TIP 변압기의 성질

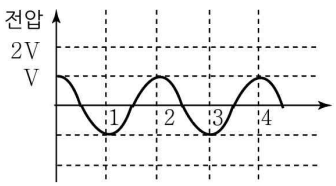
① 감은 수의 비가 $a:b$이면, 전압의 비는 $a:b$이다. (감은 수와 전압은 비례 관계)
② 감은 수의 비가 $a:b$이면, 전류의 비는 $b:a$이다. (감은 수와 전류는 반비례 관계)



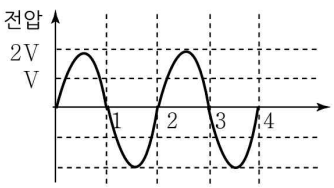
[1차 코일에 흐르는 전류]



[2차 코일에 흐르는 전류]



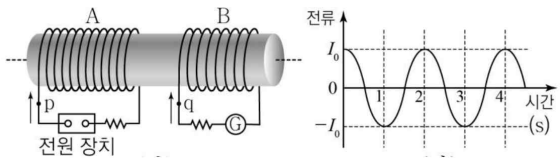
[1차 코일에 걸리는 전압]



[2차 코일에 걸리는 전압]

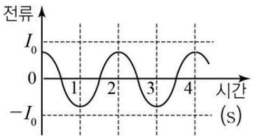
예제1 상호 유도 예제

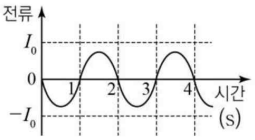
그림 (가)와 같이 전원 장치가 연결된 코일 A와 저항이 연결된 코일 B를 철심에 감아 고정하였다. 그림 (나)는 A에 전류가 흐를 때 B에 흐르는 전류를 시간에 따라 나타낸 것이다. 단위 길이 당 코일의 감은 수는 A가 B보다 많다. A, B에 흐르는 전류의 방향은 각각 점 p, 점 q에서 화살표 방향으로 흐르는 방향이 양(+)의 방향이다.



(가) (나)

(가)에서 A에 흐르는 전류를 시간에 따라 나타낸 것으로 가장 적절한 것은?

① 

② 

해설

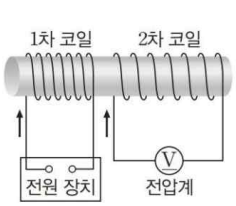
단위 길이당 감은 수는 A > B이므로 코일에 흐르는 전류의 최댓값은 A < B이다.

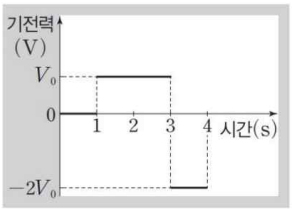
B는 A의 결과이므로 A는 B보다 $\frac{T}{4}$ 뒤쳐져 있다.

따라서 답은 ②이다.

예제2 상호 유도 예제

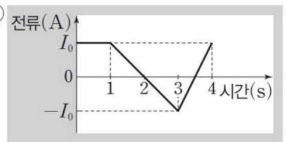
그림 (가)는 전원 장치가 연결된 1차 코일과 전압계가 연결된 2차 코일을 나타낸 것이고, (나)는 상호유도에 의해 2차 코일에 유도되는 기전력을 시간에 따라 나타낸 것이다.

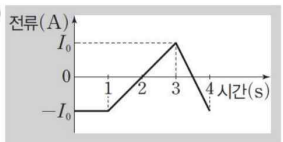




(가) (나)

1차 코일에 흐르는 전류를 시간에 따라 나타낸 것으로 가장 적절한 것은? (단, 1차 코일과 2차 코일에 흐르는 전류는 각각 화살표 방향이 (+)방향이다.)

① 

② 

해설

STEP1 0~1초

2차 코일의 y축 값이 0이므로 1차 코일에 흐르는 전류의 기울기는 0이다.

STEP2 1~3초

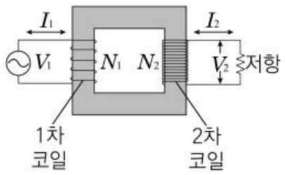
2차 코일의 y축 값이 +1이므로 1차 코일에 흐르는 전류의 기울기는 −1이다.

STEP3 3~4초

2차 코일의 y축 값이 −2이므로 1차 코일에 흐르는 전류의 기울기는 +2이다.

예제3 변압기 예제

그림은 변압기를 나타낸 것으로, 1차 코일과 2차 코일의 감은 수는 각각 N_1, N_2이고, 1차 코일과 2차 코일에 흐르는 전류의 세기는 각각 I_1, I_2이며 1차 코일에 연결된 교류 전원의 전압과 2차 코일에 유도된 전압은 각각 V_1, V_2이다.



$N_1 : N_2 = 1 : 3$일 때, $\frac{I_1}{V_1} : \frac{I_2}{V_2}$는? (단, 변압기에서의 에너지 손실은 무시한다.)

① $1 : 9$ ② $1 : 3$ ③ $1 : 1$ ④ $3 : 1$ ⑤ $9 : 1$

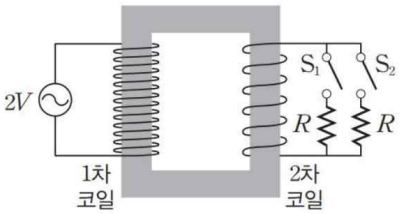
해설

전류비는 $3 : 1$이고, 전압비는 $1 : 3$이다.

따라서 $\frac{I_1}{V_1} : \frac{I_2}{V_2} = 9 : 1$이다.

예제4 변압기 예제

그림과 같이 1차 코일과 2차 코일의 감은 수의 비가 $2 : 1$인 변압기에 전압의 최댓값이 $2V$로 일정한 교류 전원, 스위치 S_1, S_2, 저항값이 R로 같은 두 저항이 연결되어 있다.



S_1만을 닫았을 때 1차 코일에 흐르는 전류의 최댓값과 S_1, S_2를 모두 닫았을 때 교류 전원에서 공급하는 전력의 최댓값으로 옳은 것은? (단, 변압기에서 에너지 손실은 무시한다.)

	전류	전력		전류	전력
①	$\frac{V}{2R}$	$\frac{V^2}{4R}$	②	$\frac{V}{2R}$	$\frac{2V^2}{R}$
③	$\frac{V}{R}$	$\frac{V^2}{R}$	④	$\frac{2V}{R}$	$\frac{V^2}{R}$
⑤	$\frac{2V}{R}$	$\frac{2V^2}{R}$			

해설

감은 수의 비가 $2 : 1$이므로 2차 코일에 걸린 전압은 V이다.

이때 S_1만을 닫으면 2차 코일에 흐르는 전류는 $\frac{V}{R}$이다.

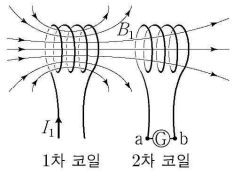
그러면 1차 코일에 흐르는 전류는 $\frac{V}{2R}$이다.

S_1, S_2를 모두 닫으면 합성 저항은 $\frac{R}{2}$이므로 저항의 소비 전력은 $\frac{2V^2}{R}$이다. 따라서 1차 코일에서 공급하는 전력도 에너지 보존에 의하여 $\frac{2V^2}{R}$이다.

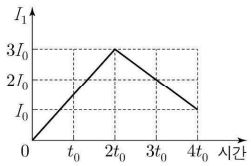
유형 01 상호 유도

01 2022학년도 6월 12번 정답률 52%

12. 그림 (가)와 같이 전류 I_1이 흐르는 1차 코일과 검류계가 연결된 2차 코일이 있다. I_1에 의한 자기장 B_1이 2차 코일을 통과하고, B_1에 의한 2차 코일의 자기 선속은 Φ이다. 그림 (나)는 I_1을 시간에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

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

<보 기>

ㄱ. Φ는 $3t_0$일 때가 t_0일 때보다 크다.
ㄴ. t_0일 때, 상호 유도에 의해 2차 코일에 흐르는 전류의 방향은 b→Ⓖ→a이다.
ㄷ. 상호 유도에 의해 2차 코일에 흐르는 전류의 세기는 t_0일 때가 $3t_0$일 때보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

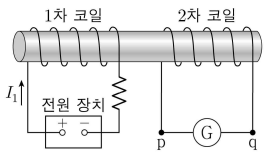
정 답 ⑤

해 설

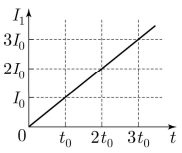
ㄱ. 전류가 $3t_0$일 때가 t_0일 때 보다 크다. (O)
ㄴ. 오른쪽 자기장이 증가하므로 2차 코일은 왼쪽 자기장으로 유도 자기장을 만든다. a→Ⓖ→b로 전류가 흐른다. (X)
ㄷ. 기울기는 t_0일 때가 $3t_0$일 때 보다 크다. (O)

02 2026학년도 6월 12번 정답률 72%

12. 그림 (가)와 같이 전류 I_1이 흐르는 1차 코일과 검류계가 연결된 2차 코일이 있다. 그림 (나)는 I_1을 시간 t에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. $t=t_0$일 때, 2차 코일에는 p → Ⓖ → q 방향으로 전류가 흐른다.
ㄴ. I_1이 만드는 자기장에 의한 2차 코일을 통과하는 자기 선속의 크기는 $t-2t_0$일 때가 $t-3t_0$일 때보다 작다.
ㄷ. 상호 유도에 의해 2차 코일에 흐르는 전류의 세기는 $t=3t_0$일 때가 $t=t_0$일 때의 3배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

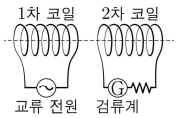
정 답 ③

해 설

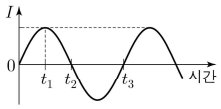
ㄱ. 1차 코일의 오른쪽을 N극이라고 생각하면 2차 코일의 왼쪽도 N극으로 유도된다. 따라서 전류는 p→Ⓖ→q로 흐른다. (O)
ㄴ. 전류의 세기를 통하여 자기장의 세기가 점점 증가하므로 2차 코일을 통과하는 자기 선속의 크기는 $2t_0 < 3t_0$이다. (O)
ㄷ. 기울기가 동일하므로 유도 전류의 세기는 동일하다. (X)

03 2026학년도 9월 5번 정답률 69%

5. 그림 (가)와 같이 1차 코일과 2차 코일이 고정되어 있다. 그림 (나)는 (가)의 1차 코일에 흐르는 전류 I를 시간에 따라 나타낸 것이다. I가 만드는 자기장에 의한 2차 코일을 통과하는 자기 선속의 크기는 Φ이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

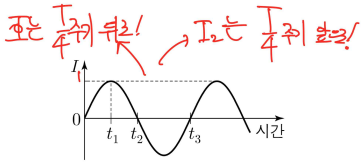
<보 기>

ㄱ. Φ는 t_1일 때가 t_2일 때보다 크다.
ㄴ. 상호유도에 의해 2차 코일에 흐르는 전류의 방향은 t_2일 때와 t_3일 때가 서로 반대 방향이다.
ㄷ. 상호유도에 의해 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 t_1일 때가 t_2일 때보다 작다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설



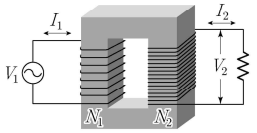
ㄱ. 자기선속은 t_1일 때는 0이고, t_2일 때는 $-\Phi$이다. (O)
ㄴ. t_2일 때는 (+)이고 t_3일 때는 (−)이다. (O)
ㄷ. t_1일 때는 0이고, t_2일 때는 (+)이다. (O)

유형 02 변압기

01 2023학년도 6월 4번 정답률 71%

4. 다음은 변압기에 대한 설명이다.

그림과 같이 감은 수가 N_1인 1차 코일에 전압이 V_1인 교류 전원을 연결하면 감은 수가 N_2인 2차 코일에 V_2인 전압이 유도된다. 이때 1차 코일과 2차 코일을 통과하는 자기 선속은 같고, 1차 코일과 2차 코일에 흐르는 전류의 세기는 각각 I_1, I_2이다.



$N_1 : N_2 = 1 : 2$일 때, V_2, I_2로 옳은 것은? (단, 변압기에서의 에너지 손실은 무시한다.) [3점]

	V_2	I_2		V_2	I_2		V_2	I_2
①	$\frac{V_1}{2}$	$\frac{I_1}{2}$	②	$\frac{V_1}{2}$	I_1	③	$\frac{V_1}{2}$	$2I_1$
④	$2V_1$	$\frac{I_1}{2}$	⑤	$2V_1$	$2I_1$			

정 답 ④

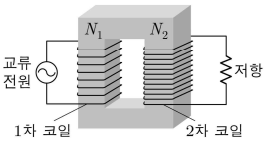
해 설

감은 수의 비가 $1:2$이므로 전압의 비는 $1:2$이다.
따라서 $V_2 = 2V_1$이다.

전류의 비는 $2:1$이므로 $I_2 = \frac{1}{2}I_1$이다.

02 2024학년도 6월 8번 정답률 69%

8. 그림은 교류 전원과 저항이 연결된 변압기를 나타낸 것이다. 1차 코일과 2차 코일의 감은 수는 각각 N_1, N_2이다. 표는 이 변압기에서 1차 코일과 2차 코일의 전압과 전류의 세기를 나타낸 것이다.



	전압	전류의 세기
1차 코일	$2V_0$	I_0
2차 코일	$3V_0$	㉠

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

<보 기>

ㄱ. $N_1 : N_2 = 2 : 3$이다.
ㄴ. 1차 코일에 공급되는 전력은 $2V_0I_0$이다.
ㄷ. ㉠은 $\frac{I_0}{3}$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

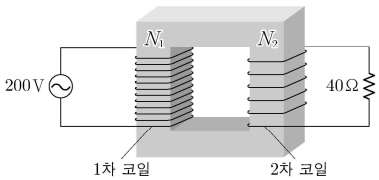
정 답 ③

해 설

ㄱ. 전압의 비가 $2:3$이므로 감은 수의 비도 $2:3$이다. (O)
ㄴ. 1차 코일에 공급되는 전력은 $2V_0I_0$이다. (O)
ㄷ. 전류의 세기는 감은 수에 반비례하므로 $\frac{2}{3}I_0$이다. (X)

03 2025학년도 6월 12번 정답률 70%

12. 그림은 전압이 200 V인 교류 전원과 저항값이 40 Ω인 저항이 연결된 변압기를 나타낸 것이다. 1차 코일과 2차 코일의 감은 수는 각각 N_1, N_2이고 $N_1 : N_2 = 2 : 1$이다.



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

<보 기>

ㄱ. 2차 코일에 유도된 전압은 100 V이다.
ㄴ. 저항에 흐르는 전류의 세기는 2.5 A이다.
ㄷ. 1차 코일에 공급되는 전력은 500 W이다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. 감은 수의 비가 $2:1$이므로 전압의 비는 $2:1$이다. (O)
ㄴ. 옴의 법칙에 의하여 저항에 흐르는 전류의 세기는 $2.5A$이다. (O)
ㄷ. 저항의 소비 전력은 $P = \frac{V^2}{R} = \frac{10000}{40} = 250\,W$이므로
1차 코일에 공급되는 전력은 $250\,W$이다. (X)

PART 1
빛의 회절과 간섭

개념 유형

01. 파동의 중첩
02. 이중 슬릿
03. 물리량의 변화

기출 유형

01. 이중 슬릿

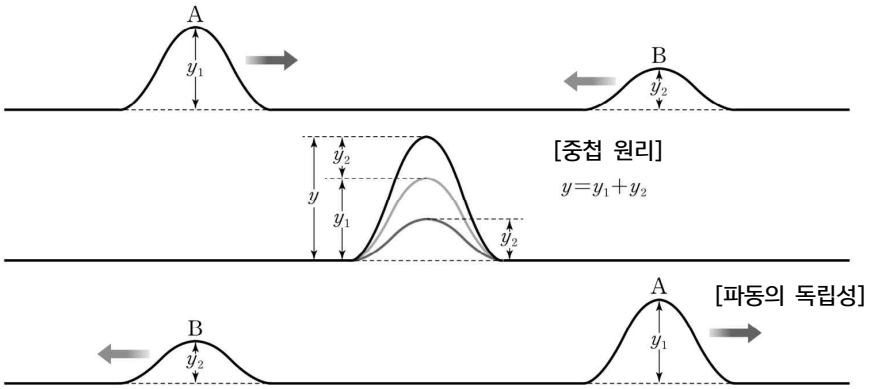
THEME

1 파동의 중첩

정리1 파동의 중첩과 독립성

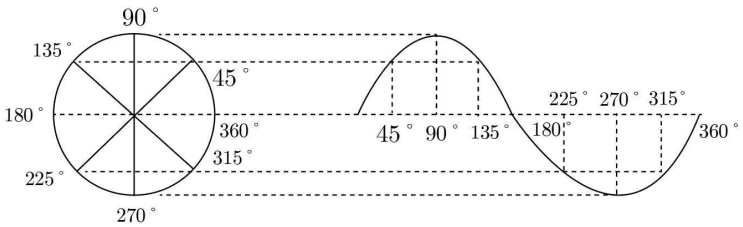
개념1 파동의 중첩과 독립성

두 파동이 만나 중첩된 후 각각의 파동은 다른 파동에 영향을 주지 않고 본래 파동의 모양(진폭, 파형, 진동수, 주기)을 그대로 유지하면서 독립적으로 진행하는 성질이다.



개념2 파동의 위상

반복되는 파형의 한 주기에서 첫 시작점의 각도 혹은 어느 한 순간의 위치를 말한다.

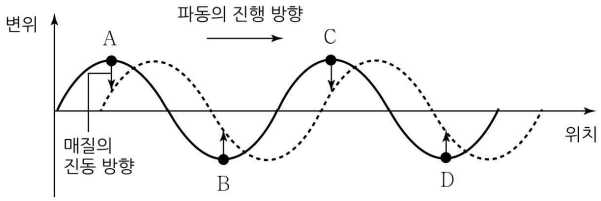


개념3 '위상이 같다'는 의미

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.



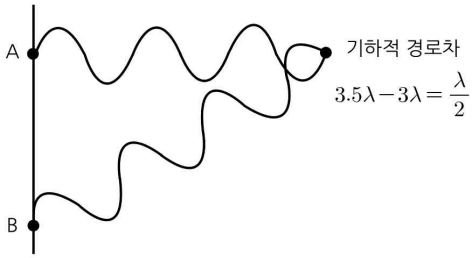
정리2 시간에 따른 한 점에서의 간섭

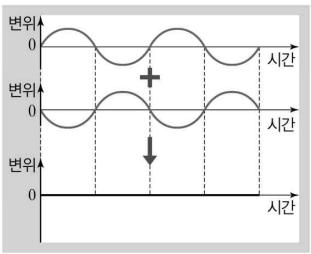
개념1 상쇄 간섭

① 한 점에서 간섭하는 두 파동의 변위의 방향이 반대(위상이 반대)여서 중첩되기 전보다 진폭이 작아지는 간섭이다.
만약 진폭이 $4m$, $2m$ 다른 두 파동이 보강 간섭하면 진폭은 $2m$이다.

② 위상이 반대인 두 파동이므로 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 계속 변위가 0이다.



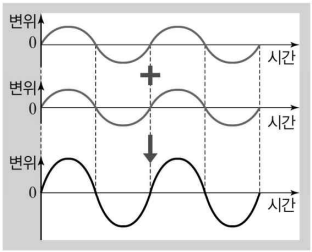


개념2 보강 간섭

① 한 점에서 간섭하는 두 파동의 변위의 방향이 같아서(위상이 동일) 중첩되기 전보다 진폭이 커지는 간섭이다.
만약 진폭이 $4m$, $2m$ 다른 두 파동이 보강 간섭하면 진폭은 $6m$이다.

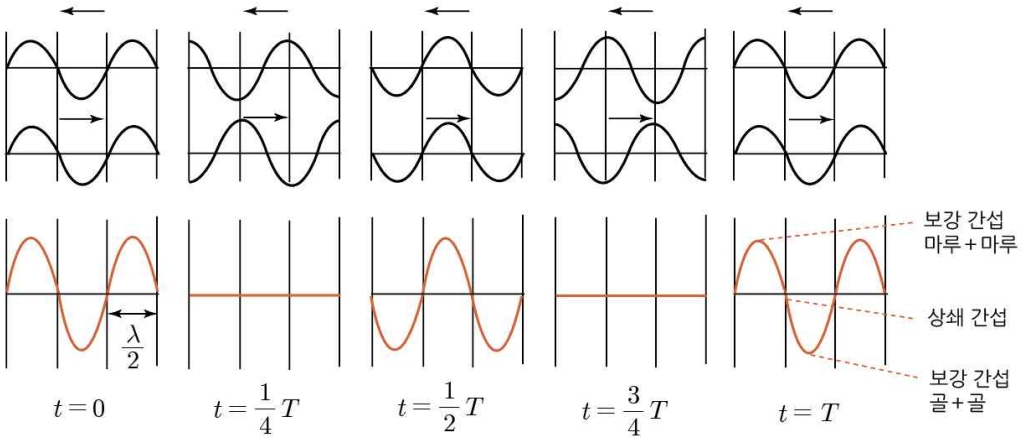
② 위상이 동일한 두 파동이므로 기하적 경로차가 0, λ, 2λ, $\cdots$, $\frac{\lambda}{2}(2m)$인 점에서 보강 간섭이 나타난다.

③ 보강 간섭하면 그 지점을 시간의 흐름에 대해 관찰하면 크기가 변한다. (단, 보강 간섭하면 합성 진동수 = 합성 전 진동수)

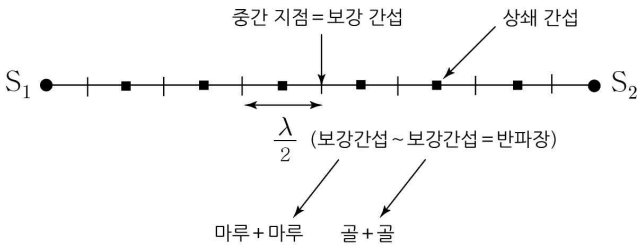


정리3 위치에 따른 간섭

개념 시간에 따른 간섭 지점 확인



시간에 따른 간섭 지점을 정리해보면 아래와 같다.

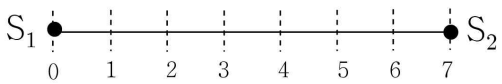


① 그래프에서 보강 간섭과 보강 간섭 사이(중앙)에는 상쇄 간섭이 있다.
↳ 골+골 ↳ 마루+마루

② 보강 간섭-보강 간섭 사이의 거리는 $\frac{\lambda}{2}$이다.

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 $0.5m$, $1.5m$, $2.5m$, $3.5m$, $4.5m$, $5.5m$, $6.5m$ 지점 총 7개이다.
③ 상쇄는 보강과 보강 중간에 있으므로, 상쇄는 $0m$, $1m$, $2m$, $3m$, $4m$, $5m$, $6m$, $7m$ 지점 총 8개이다.

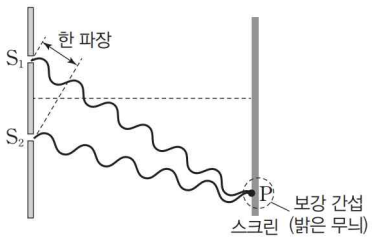
THEME

2 — 이중 슬릿

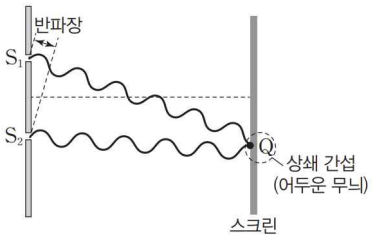
정리1 이중 슬릿의 원리

개념1 이중 슬릿의 원리

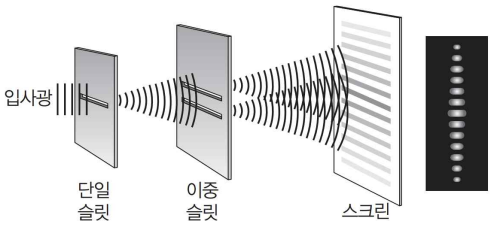
단일 슬릿에 의하여 회절된 파동이 이중 슬릿을 통과하게 되면 회절된 두 개의 파동이 만들어지는 데, 이 두 파동들이 스크린의 임의의 점과 만나면 경로차에 의하여 보강 간섭과 상쇄 간섭을 만들어낸다.



[보강 간섭]



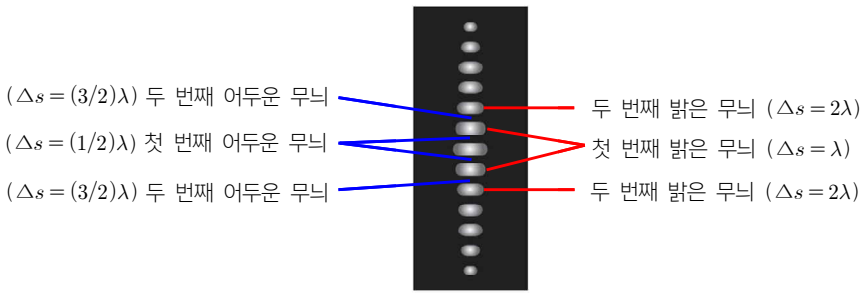
[상쇄 간섭]



[스크린에 나타나는 결과]

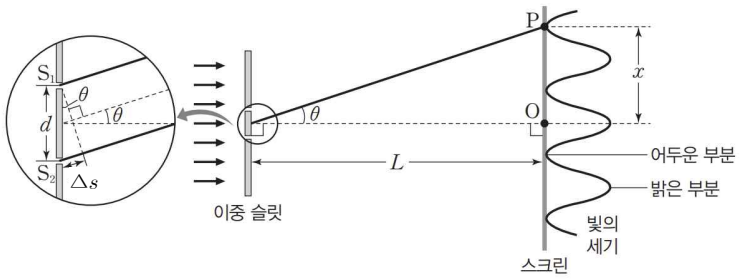
개념2 간섭의 이름

이중 슬릿을 통과한 두 빛의 위상이 동일하여 스크린의 중앙 부분이 밝은 무늬(보강 간섭)일 때 다음과 같이 이름을 붙인다. 또한 두 파동이 이동할 때 생기는 기하적 경로차는 무늬 이름의 오른쪽에 기술했다.



정리2 물리량 계산

개념1 이웃한 밝은(어두운) 무늬 사이의 간격



STEP1 기하적 경로차 (원인)

두 이중 슬릿에서 나온 빛의 경로의 길이($\overline{S_1P}=\overline{S_2P}$)가 같다고 가정을 하면 빛이 이동하는 경로차는 $\triangle s = d\sin\theta$가 된다.

$\theta \simeq 0$에 근접하다고 가정을 해 면 $\sin\theta \simeq \tan\theta$라고 할 수 있고, 기하적 모양에 대해서 $\tan\theta = \frac{x}{L}$을 만족한다.

위의 내용을 수식으로 정리해보면 $\triangle s = d\sin\theta \simeq d\tan\theta = d\frac{x}{L}$이다.

STEP2 파동적 경로차 (결과)

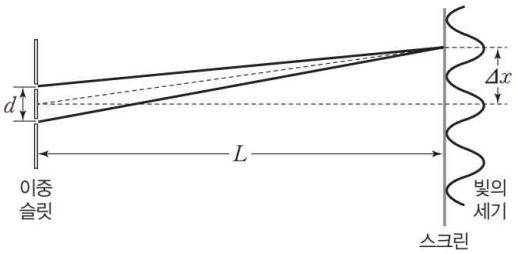
빛은 파동의 일종이다. 따라서 파동의 간섭에 대하여 $\triangle s = n\lambda = \begin{cases} \frac{\lambda}{2}\times \text{짝수} \ (\text{보강간섭} = \text{밝은무늬}) \\ \frac{\lambda}{2}\times \text{홀수} \ (\text{상쇄간섭} = \text{어두운무늬}) \end{cases}$ 을 만족한다.

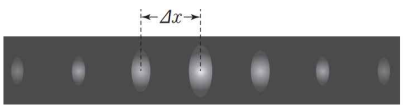
STEP3 두 식의 연립

위의 기하적 경로차와 파동적 경로차를 연결하면 $\triangle s = d\frac{x}{L} = n\lambda$을 만족한다.

이웃한 두 밝은(어두운) 무늬에 대하여 $d\frac{x_1}{L} = n\lambda$와 $d\frac{x_2}{L} = (n+1)\lambda$를 만족하고, 두 식의 차이를 통하여 $d\frac{\triangle x}{L} = \lambda$이다.

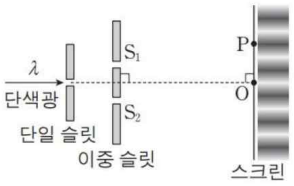
따라서 이웃한 밝은(어두운) 무늬 사이의 간격은 $\triangle x = \frac{L\lambda}{d}$ 이다.





예제1

그림은 파장이 λ인 단색광이 단일 슬릿과 이중 슬릿의 S_1과 S_2를 통과하여 스크린에 간섭무늬를 만든 것을 나타낸 것이다. 스크린 상의 점 O는 S_1과 S_2로부터 같은 거리에 있고 가장 밝은 무늬의 중심이며, 점 P에는 O로부터 두 번째 어두운 무늬가 생겼다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. S_1, S_2로부터 O에 도달한 빛의 위상은 같다.
ㄴ. P에서는 상쇄 간섭이 일어난다.
ㄷ. S_1, S_2로부터 P까지의 경로차는 $\frac{3}{2}\lambda$이다.

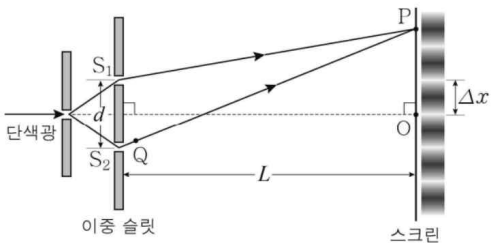
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. O에 도달한 빛의 위상은 같다. (O)
ㄴ. 어두운 무늬이므로 상쇄 간섭이다. (O)
ㄷ. 두 번째 어두운 무늬이므로 파동적 경로차는 $\frac{3}{2}\lambda$이다. (O)

예제2

그림은 단색광이 단일 슬릿, 간격이 d인 이중 슬릿 S_1, S_2를 통과한 후 스크린에 간섭무늬를 만든 것을 나타낸 것이다. 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 Δx로 일정하다. 스크린상의 점 O는 S_1, S_2로부터 같은 거리에 있고, 점 P에는 O로부터 세 번째 어두운 무늬가 생긴다. 점 Q는 S_2와 P를 잇는 직선상에 있고, $\overline{S_1P}=\overline{QP}$이다. 이중 슬릿에서 스크린까지의 거리는 L이다.



$\overline{S_2Q}$는?

① $\frac{5d}{L}\Delta x$ ② $\frac{5d}{2L}\Delta x$ ③ $\frac{3d}{2L}\Delta x$ ④ $\frac{d}{L}\Delta x$ ⑤ $\frac{2d}{5L}\Delta x$

해설

기하적 경로차) $\Delta s=\overline{S_2P}-\overline{S_1P}=\overline{S_2P}-\overline{QP}=\overline{S_2Q}$

파동적 경로차) $\frac{5}{2}\lambda=\frac{5d}{2L}\Delta x$

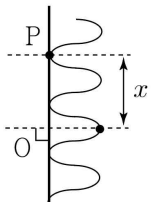
따라서 $\overline{S_2Q}=\frac{5d}{2L}\Delta x$이다.

THEME

3 물리량의 변화

정리1 이중 슬릿의 물리량 변화

개념1 이중 슬릿의 물리량 변화

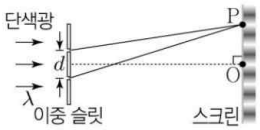


정리2에서 경로차 방정식은 $\Delta s = d\frac{x}{L} = n\lambda$이다. 이 식을 정리하면 $x = n\frac{L\lambda}{d}$가 된다.

여기서 x의 값(스크린의 중심으로부터 떨어진 거리)은 일정하므로 이중 슬릿은 $n \propto \frac{d}{L\lambda}$를 만족한다.

예제1 초기값 제시

그림과 같이 파장이 λ인 단색광을 슬릿 간격이 d인 이중 슬릿에 통과시켰더니 스크린에 간섭무늬가 생겼다. O는 가장 밝은 무늬가 생긴 지점이고, P는 O로부터 두 번째 밝은 무늬가 생긴 지점이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. O에서 보강 간섭이 일어난다.
ㄴ. 이중 슬릿의 두 슬릿으로부터 P까지의 경로차는 2λ이다.
ㄷ. 이중 슬릿의 슬릿 간격만을 $\frac{3}{4}d$로 바꾸면 P에는 어두운 무늬가 생긴다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

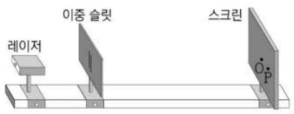
ㄱ. 기하적 경로차가 0이므로 보강 간섭이 일어난다. (O)
ㄴ. 2번째 밝은 무늬이므로 경로차는 2λ이다. (O)
ㄷ. 슬릿 간격을 $\frac{3}{4}d$로 바꾸면 파동적 경로차는 $2\lambda \times \frac{3}{4} = \frac{3}{2}\lambda$가 되어 P에는 두 번째 어두운 무늬가 생긴다. (O)

예제2 결과값 제시

다음은 빛의 간섭 실험이다.

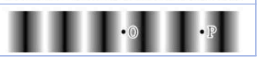
[실험 과정]

(가) 그림과 같이 스크린은 레이저의 진행 방향과 수직이 되도록, 이중 슬릿은 스크린과 나란하도록 설치한 후 각각 고정한다.



(나) 파장이 서로 다른 레이저 A, B를 이중 슬릿에 각각 비추어 스크린의 지점 O, P에 나타난 간섭무늬를 관찰한다.

[실험 결과]

실험	레이저	레이저 파장	간섭무늬
I	A	$440nm$	
II	B	㉠	

- I, II에서 O에는 가장 밝은 무늬가 생겼다.
- I에서 P에는 O로부터 세 번째 어두운 무늬가 생겼다.
- II에서 P에는 O로부터 두 번째 밝은 무늬가 생겼다.

㉠으로 가장 적절한 것은?

① $450nm$ ② $500nm$ ③ $550nm$ ④ $600nm$ ⑤ $650nm$

해설

실험 II에 대해 P의 파동적 경로차는 $\frac{2\lambda}{\frac{5}{2}\lambda}=\frac{4}{5}$배이다.

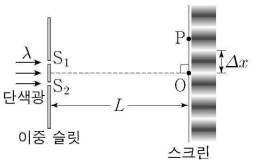
파장은 $n\propto\frac{d}{L\lambda}$에 의하여 반비례하므로

$440nm\times\frac{5}{4}=550nm$이다.

유형 01 이중 슬릿

01 2022학년도 9월 9번 정답률 70%

9. 그림과 같이 파장이 λ인 단색광이 이중 슬릿을 통과하여 스크린에 간섭무늬가 생겼다. 스크린상의 점 O는 슬릿 S_1과 S_2로부터 같은 거리에 있고 가장 밝은 무늬의 중심이며, 점 P에는 O로부터 두 번째 어두운 무늬가 생겼다. 슬릿과 스크린 사이의 거리는 L이며, 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 Δx는 일정하다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. S_1, S_2로부터 P까지의 경로차는 $\frac{\lambda}{2}$이다.

ㄴ. 단색광의 파장만 $\frac{3}{4}\lambda$로 바꾸면 P에서 보강 간섭이 일어난다.

ㄷ. 슬릿과 스크린 사이의 거리만 $2L$로 바꾸면 Δx는 2배가 된다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 2번째 어두운 무늬이므로 파동적 경로차는 $\frac{3}{2}\lambda$이다. (X)

ㄴ. $n \propto \frac{d}{L\lambda}$에서 $n=\frac{4}{3}$이므로 $\frac{3}{2}\lambda \times \frac{4}{3} = 2\lambda$이다.
따라서 P에서는 두 번째 보강 간섭이 일어난다. (O)

ㄷ. $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$에 의해서 $2L$이 되면 $2\Delta x$가 된다. (O)

02 2022학년도 수능 4번 정답률 76%

4. 다음은 빛의 간섭 실험이다.

〔실험 과정〕

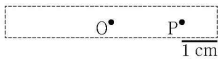
(가) 그림과 같이 스크린을 레이저의 진행 방향과 수직이 되도록 설치한 후, 슬릿 간격이 d인 이중 슬릿을 스크린으로부터 거리 L인 위치에 스크린과 나란하게 고정한다.



(나) 레이저를 이중 슬릿에 비추고 스크린상의 지점 O, P에 나타난 간섭무늬를 관찰한다.

(다) (가)의 이중 슬릿을 슬릿 간격이 $2d$인 이중 슬릿으로 바꾸어 (나)를 반복한다.

〔실험 결과〕

(나)의 간섭무늬	
(다)의 간섭무늬	

- (나), (다)의 간섭무늬에서 O에는 가장 밝은 무늬가 생겼다.
- (나)의 간섭무늬에서 P에는 O로부터 두 번째 어두운 무늬가 생겼다.

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

<보 기>

ㄱ. (나)의 간섭무늬에서 P에 나타난 어두운 무늬는 빛의 상쇄 간섭의 결과이다.

ㄴ. 이웃한 밝은 무늬의 간격은 (나)의 간섭무늬에서가 (다)의 간섭무늬에서보다 크다.

ㄷ. (다)의 간섭무늬에서 P에는 어두운 무늬가 나타난다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. 어두운 무늬는 상쇄 간섭의 결과이다. (O)

ㄴ. 슬릿 간격을 증가시키면 무늬 사이의 간격은 감소한다. (O)

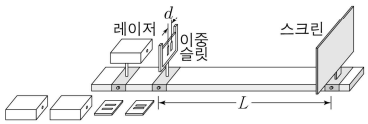
ㄷ. $n=2$이므로 $na=2\cdot\frac{3}{2}=3$이므로 P에서는 세 번째 밝은 무늬가 나타난다. (X)

03 2023학년도 9월 4번 정답률 73%

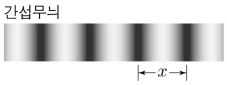
4. 다음은 빛의 간섭 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 그림과 같이 스크린을 빨간색 레이저의 진행 방향과 수직이 되도록 설치한 후, 슬릿 간격이 d인 이중 슬릿을 스크린으로부터 거리 L인 위치에 스크린과 나란하게 고정한다.



(나) 레이저를 이중 슬릿에 비추고 스크린에 생긴 간섭무늬에서 이웃한 어두운 무늬 사이의 간격 x를 측정한다.



(다) d가 다른 이중 슬릿으로 바꾸어 가며 (나)를 반복한다.

(라) 레이저를 초록색 레이저, 보라색 레이저로 바꾸어 가며 각각 (나), (다)를 반복한다.

〔실험 결과〕

d(mm)	x(mm)		
	빨간색	초록색	보라색
㉠	19.5	㉡	㉢
0.1	13.0	11.0	8.0
㉣	6.5	5.5	4.0

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 빛의 입자성을 보여 주는 실험 결과이다.
ㄴ. ㉠은 ㉣보다 크다.
ㄷ. ㉡은 ㉢보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설

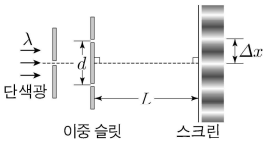
ㄱ. 빛의 파동성을 보여 주는 실험이다. (X)

ㄴ. 무늬 사이의 간격이 감소하므로 d는 증가한다.
따라서 ㉠<㉣이다. (X)

ㄷ. 파장이 감소하면 무늬 사이의 간격이 감소한다.
따라서 ㉡>㉢이다. (O)

04 2023학년도 수능 3번 정답률 77%

3. 그림과 같이 간격이 d인 이중 슬릿에 파장이 λ인 단색광을 비추었더니 슬릿으로부터 L만큼 떨어진 스크린에 이웃한 밝은 무늬의 간격이 Δx인 간섭무늬가 생겼다. 표는 Δx가 같게 나온 실험 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ에서 λ, d, L을 나타낸 것이다.



	λ (nm)	d (mm)	L (m)
Ⅰ	600	0.20	1.0
Ⅱ	600	㉠	2.0
Ⅲ	㉡	0.50	3.0

㉠, ㉡으로 가장 적절한 것은?

	㉠	㉡		㉠	㉡
①	0.10	500	②	0.10	600
③	0.10	700	④	0.40	500
⑤	0.40	700			

정 답 ④

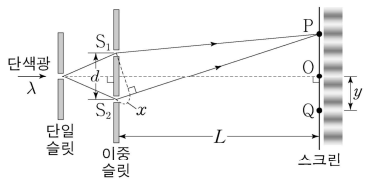
해 설

Ⅰ, Ⅱ를 비교하면 이중 슬릿-스크린 길이가 2배가 되므로 ㉠도 2배가 된다. ㉠ = 0.4이다.

㉡ $=600\times\frac{1}{3}\times\frac{5}{2}=500$

05 2024학년도 9월 10번 정답률 57%

10. 그림과 같이 파장이 λ인 단색광을 슬릿에 비추었더니 슬릿으로부터 충분히 멀리 떨어진 스크린에 간섭무늬가 나타났다. 이중 슬릿의 간격은 d, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리는 L이다. 스크린상의 점 O는 슬릿 S_1과 S_2에서 같은 거리인 지점이고, 점 P, Q에는 각각 O로부터 세 번째 어두운 무늬, 두 번째 밝은 무늬가 생긴다. x는 S_1, S_2로부터 P까지의 경로차이고, y는 O에서 Q까지의 거리이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. P에서는 보강 간섭이 일어난다.

ㄴ. $x=\frac{3}{2}\lambda$이다.

ㄷ. $y=\frac{2L\lambda}{d}$이다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설

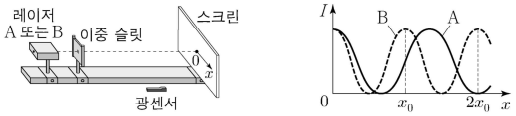
ㄱ. P에서는 상쇄 간섭이 일어난다. (X)

ㄴ. P에서 세 번째 어두운 무늬이므로 $x=\frac{5}{2}\lambda$이다. (X)

ㄷ. $\Delta x=\frac{L\lambda}{d}$이고, Q는 두 번째 밝은 무늬이므로 $y=\frac{2L\lambda}{d}$이다. (O)

06 2024학년도 수능 3번 정답률 74%

3. 그림 (가)와 같이 단색광 레이저 A 또는 B를 이중 슬릿에 비춘 후, 레이저의 진행 방향과 수직이 되도록 설치한 스크린에 나타나는 간섭 무늬를 광센서로 측정한다. 그림 (나)는 A, B에 의해 나타난 간섭 무늬의 밝기 I를 스크린상의 위치 x에 따라 각각 나타낸 것이다. $x=0$인 점은 가장 밝은 무늬의 중심이고, A, B의 파장은 각각 λ_A, λ_B이다.



(가)

(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. $\lambda_A > \lambda_B$이다.
ㄴ. A는 $x=2x_0$에서 보강 간섭을 한다.
ㄷ. B는 $x=x_0$에서 상쇄 간섭을 한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

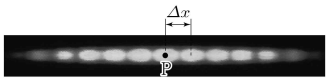
정 답 ①

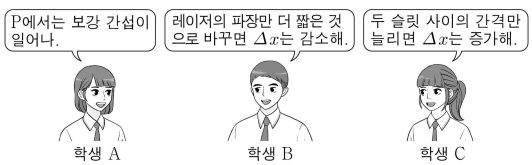
해 설

ㄱ. 간단하게 첫 번째 상쇄 간섭인 지점을 보면 A > B이다. 따라서 파장은 A > B이다. (O)
ㄴ. A는 $x=2x_0$인 점에서 상쇄 간섭을 한다. (X)
ㄷ. B는 $x=x_0$에서 보강 간섭을 한다. (X)

07 2025학년도 9월 2번 정답률 76%

2. 그림은 빛의 간섭 실험에서 단색광 레이저를 이중 슬릿에 비춘 후, 스크린에 생긴 간섭무늬를 보고 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다. 점 P는 가장 밝은 무늬의 중심이고, Δx는 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격이다.





제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은? [3점]

① A ② C ③ A, B ④ B, C ⑤ A, B, C

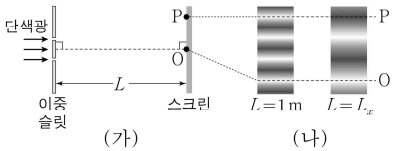
정 답 ③

해 설

A. P에서는 밝은 무늬이므로 보강 간섭이다. (O)
B. 레이저의 파장을 짧게하면 회절이 작아진다. (O)
C. 슬릿 사이의 간격을 늘리면 회절이 작아진다. (X)

08 2025학년도 수능 4번 정답률 71%

4. 그림 (가)는 스크린으로부터 L만큼 충분히 멀리 떨어진 이중 슬릿에 단색광을 비추는 모습을 나타낸 것으로, O와 P는 스크린상의 두 점이다. 그림 (나)는 (가)에서 L이 각각 1m, L_x일 때 스크린에 생기는 간섭무늬를 나타낸 것이다. O에서는 가장 밝은 무늬의 중심이 생기고, P에서는 $L=1\text{m}$일 때 O로부터 세 번째 밝은 무늬의 중심이, $L=L_x$일 때 O로부터 두 번째 어두운 무늬의 중심이 생긴다.



L_x로 가장 적절한 것은? [3점]

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

정 답 ④

해 설

$L=1m$일 때 경로차는 3λ이고, $L=L_x$일 때 경로차는 $\frac{3}{2}\lambda$이다.

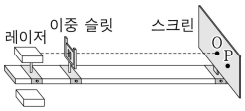
따라서 $n=\frac{1}{2}$이므로 L은 2배가 되어 $2m$이다.

09 2026학년도 9월 4번 정답률 92%

4. 다음은 빛의 간섭 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 그림과 같이 레이저, 이중 슬릿, 스크린을 설치하고, 스크린에 점 O, P를 표시한다.



(나) (가)에서 빨간색 레이저를 비추어 스크린에 나타난 간섭무늬를 관찰한다.

(다) (가)에서 보라색 레이저를 비추어 스크린에 나타난 간섭무늬를 관찰한다.

〔실험 결과〕

간섭무늬 Ⅰ	 O, P에 밝은 무늬의 중심이 생겼다.
간섭무늬 Ⅱ	 O에 밝은 무늬의 중심이, P에 어두운 무늬의 중심이 생겼다.

○ Ⅰ, Ⅱ는 (나), (다)의 결과를 순서 없이 나타낸 것이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 빛의 입자성을 보여 주는 실험 결과이다.
ㄴ. O에 나타난 밝은 무늬는 보강 간섭의 결과이다.
ㄷ. (다)의 결과는 Ⅱ이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

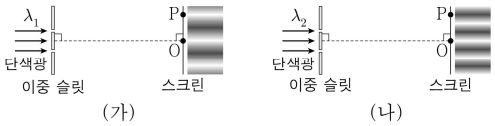
정 답 ④

해 설

ㄱ. 빛의 파동성을 보여주는 실험 결과이다. (X)
ㄴ. 중심은 보강 간섭의 결과이다. (O)
ㄷ. 보라색 레이저는 파장이 짧으므로 Ⅱ이다. (O)

10 2026학년도 수능 5번 정답률 88%

5. 그림 (가)는 파장이 λ_1인 단색광을 이중 슬릿에 비추었을 때 슬릿으로부터 충분히 멀리 떨어진 스크린에 간섭무늬가 생긴 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 λ_1을 λ_2로 변화시켰을 때 스크린에 간섭무늬가 생긴 모습을 나타낸 것이다. (가), (나)에서 스크린상의 점 O에는 가장 밝은 무늬의 중심이, 점 P에는 O로부터 각각 첫 번째 밝은 무늬의 중심과 두 번째 어두운 무늬의 중심이 생겼다.



$\frac{\lambda_2}{\lambda_1}$로 가장 적절한 것은?

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

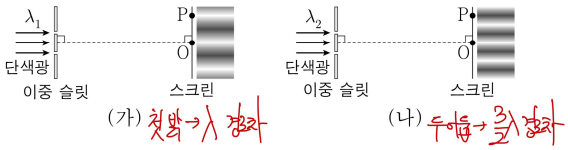
정 답 ②

해 설

(가) 첫 번째 밝은 무늬이므로 경로차는 λ이다.

(나) 두 번째 어두운 무늬는 경로차가 $\frac{3}{2}\lambda$이다.

따라서 $n \propto \frac{d}{L\lambda}$ ⇒ n이 $\frac{3}{2}$배이므로 λ는 $\frac{2}{3}$배이다.



PART 2
도플러 효과

개념 유형

01. 도플러 효과

기출 유형

01. 한 개의 음파 측정기
02. 두 개의 음파 측정기

THEME

1 — 도플러 효과

정리 도플러 효과

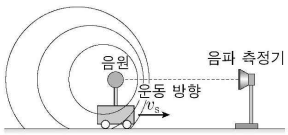
개념1 측정기가 측정하는 소리의 속력과 파장

소리를 측정할 때 측정된 소리의 속력과 파장은 음원의 움직임에 관련이 있다. (측정기의 움직임에는 관련이 없다.)

① 음원이 접근하면 측정되는 소리의 속력과 파장은 빨셈이다. → $v_{측정} = v_{공기} - v_{음원}$, $\lambda_{측정} = \dfrac{v_{공기} - v_{음원}}{f_0}$

② 음원이 멀어지면 측정되는 소리의 속력과 파장은 덧셈이다. → $v_{측정} = v_{공기} + v_{음원}$, $\lambda_{측정} = \dfrac{v_{공기} + v_{음원}}{f_0}$

(단, f_0는 음원에서 발생시킨 소리의 진동수)



움직임 관련X

개념2 측정기가 측정하는 소리의 진동수

소리를 측정할 때 측정된 소리의 진동수는 음원과 측정기의 상대 속도와 관련이 있다.

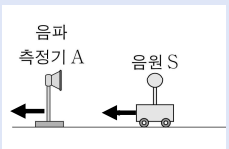
① 질량 중심에 대해서 접근하는 상대 속도를 갖는다면 측정기에 측정되는 진동수는 음원에서 발생되는 진동수보다 크다.
② 질량 중심에 대해서 접근하는 상대 속도를 갖는다면 측정기에 측정되는 진동수는 음원에서 발생되는 진동수보다 작다.
③ 서로에 대해서 상대 속도가 0이라면 움직이더라도 측정기에 측정되는 진동수는 음원에서 발생되는 진동수와 같다.

$$f_{측정} = f_{발생}\frac{v_{소리} \pm v_{측정기}}{v_{소리} \mp v_{음원}}$$

(부호는 직관으로 선택하고, 음원은 원인이므로 분모, 검측기는 결과이므로 분자로 암기하자.)

TIP 이해하기

그림은 음파 측정기 A와 음원 S가 왼쪽으로 이동하는 상황이다.



① 측정되는 소리의 속력은 $v_{측정} = v_{공기} - v_{음원}$이다.

② 측정되는 소리의 파장은 $\lambda_{측정} = \dfrac{v_{공기} - v_{음원}}{f_0}$이다.

③ 측정되는 소리의 진동수는 $f_{측정} = f_0\dfrac{v_{공기} - v_{측정기}}{v_{공기} - v_{음원}}$이다.

예제1

그림은 영희와 철수가 일직선 상에서 동일한 속도로 자전거를 타고 이동하면서 철수가 내는 경적 소리를 영희가 듣는 모습을 나타낸 것이다. 철수가 내는 경적 소리의 진동수는 f_0이고, 공기 중에서 소리의 속력은 v이다.



영희가 듣는 철수의 경적 소리에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 파장은 $\frac{v}{f_0}$보다 작다.
ㄴ. 속력은 v보다 크다.
ㄷ. 진동수는 f_0보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 음원이 접근하므로 관측되는 파장은 $\frac{v}{f_0}=\lambda_0$보다 작다. (O)
ㄴ. 음원이 접근하므로 관측되는 속력은 v보다 작다. (O)
ㄷ. 상대 속도가 0이므로 진동수는 f_0로 같다. (X)

예제2

그림은 x축에 고정된 음파 측정기 A, B 사이에서 진동수가 f_0인 음파를 발생시키는 음원 S가 일정한 속력 v로 x축을 따라 등속도 운동할 때 음파의 파면을 나타낸 것이다. 이때 A, B가 측정한 S에서 발생한 음파의 진동수는 f_A, f_B이며, 음속은 V이다.



$f_A : f_B = 1 : 2$일 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. S의 운동 방향은 $+x$방향이다.
ㄴ. 음파의 파장은 A의 측정값이 B의 측정값보다 $\frac{2v}{f_0}$만큼 더 길다.
ㄷ. $v=\frac{V}{3}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

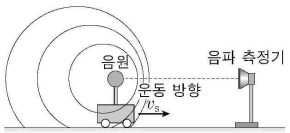
ㄱ. B의 진동수가 A보다 더 크므로 S의 운동 방향은 $+x$방향이다. (O)
ㄴ. A가 측정한 음파의 파장은 $\lambda_A=\frac{V}{f_0}+\frac{v}{f_0}$이고,
B가 측정한 음파의 파장은 $\lambda_B=\frac{V}{f_0}-\frac{v}{f_0}$이므로
파장은 A의 측정값이 B의 측정값보다 $\frac{2v}{f_0}$만큼 더 길다. (O)
ㄷ. 변수 단순화
$f_0=1$로 하고, 음속(v)을 1로 생각하자.
$f_A=1=\frac{V}{V+1}$, $f_B=2=\frac{V}{V-1}$이므로
$\frac{2}{V+1}=\frac{1}{V-1}$에서 $1=\frac{V}{3}$이다. (O)

유형 01 한 개의 음파 측정기

01 2022학년도 9월 5번 정답률 82%

5. 다음은 도플러 효과에 대한 설명이다.

> 파장이 λ이고 진동수가 f인 음파를 발생시키는 음원이 v_s의 속력으로 정지해 있는 음파 측정기를 향해 등속도 운동을 한다. 이때 음파 측정기에서 측정한 음파의 파장 λ'은 λ보다 [A] 만큼 짧다. 따라서 음파 측정기에서 측정한 음파의 진동수 f'은 [B]이다.



A, B로 옳은 것은? (단, 음속은 v이고, $v_s < v$이다.)

	A	B
①	$\frac{v}{f}$	$\left(\frac{v+v_s}{v}\right)f$
②	$\frac{v_s}{f}$	$\left(\frac{v}{v-v_s}\right)f$
③	$\frac{v}{f}$	$\left(\frac{v}{v+v_s}\right)f$
④	$\frac{v_s}{f}$	$\left(\frac{v-v_s}{v}\right)f$
⑤	$\frac{v}{f}$	$\left(\frac{v}{v-v_s}\right)f$

정 답 ②

해 설

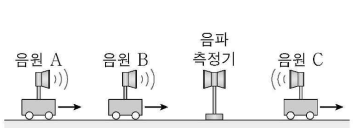
음원이 다가오므로 음파 측정기에서 측정한 음파의 파장

$\lambda' = \lambda - \frac{v_s}{f}$이다.

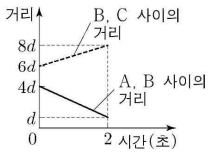
또한 음파 측정기에서 측정한 음파의 진동수 $f' = (\frac{v}{v-v_s})f$이다.

02 2022학년도 수능 19번 정답률 63%

19. 그림 (가)와 같이 음원 A, B, C가 진동수 f_0의 음파를 발생하며 각각 등속도 운동을 하고 있다. 그림 (나)는 A, B 사이의 거리와 B, C 사이의 거리를 시간에 따라 나타낸 것이다. 정지해 있는 음파 측정기가 측정한 A, B, C의 음파의 진동수는 각각 f_1, $\frac{10}{9}f_0$, $\frac{3}{4}f_1$이다.



(가)



(나)

f_1은? (단, 음원과 음파 측정기는 동일 직선상에 있고, 음속은 일정하다.)

① $\frac{39}{34}f_0$ ② $\frac{20}{17}f_0$ ③ $\frac{41}{34}f_0$ ④ $\frac{21}{17}f_0$ ⑤ $\frac{43}{34}f_0$

정 답 ②

해 설

STEP1 B의 진동수 조건

B) $\frac{10}{9}f_0 = \frac{V}{V-v}f_0 \rightarrow V = 10v$

STEP2 상대 속도 풀기

$v_C = v+2$, $v_A = v+3$

STEP3 AC의 진동수 조건

A) $f_1 = \frac{V}{V-v-3}f_0 = \frac{10v}{9v-3}f_0$

C) $\frac{3}{4}f_1 = \frac{V}{V+v+2}f_0 = \frac{10v}{11v+2}f_0$

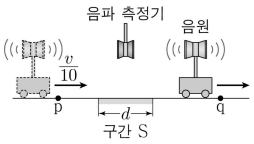
두 식을 나누면 $\frac{3}{4} = \frac{9v-3}{11v+2}$, $33v+6 = 36v-12$에서 $v = 6$이다.

STEP4 정답 구하기

A) $f_1 = f_0\frac{60}{60-9} = \frac{20}{17}f_0$

03 2023학년도 9월 13번 정답률 72%

13. 그림과 같이 진동수 f_0인 음파를 발생시키는 음원이 직선상에서 운동한다. 음파 측정기를 향해 $\frac{v}{10}$의 속력으로 등속도 운동을 하던 음원은 길이가 d인 구간 S에서 가속도 a로 등가속도 운동을 한 후, 등속도 운동을 한다. 음원이 점 p, q를 지날 때 발생한 음파를 S에 고정된 음파 측정기가 측정한 진동수는 각각 f_1, f_2이며, $f_1 : f_2 = 4 : 3$이다.



a의 크기는? (단, 음속은 v이고, 음원의 크기는 무시한다.) [3점]

① $\frac{v^2}{200d}$ ② $\frac{v^2}{100d}$ ③ $\frac{3v^2}{200d}$ ④ $\frac{v^2}{50d}$ ⑤ $\frac{v^2}{40d}$

정 답 ③

해 설

STEP1 도플러 효과

p) $4f = \frac{v}{v-\frac{v}{10}} f_0 = \frac{10}{9} f_0 \rightarrow f = \frac{5}{18} f_0$

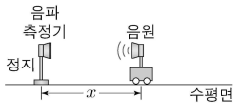
q) $3f = \frac{5}{6} f_0 = \frac{v}{v+v_q} f_0$에서 $v_q = \frac{v}{5}$이다.

STEP2 등가속도 공식

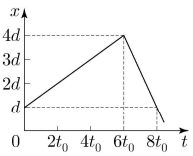
등공③) $2ad = (\frac{v}{5})^2 - (\frac{v}{10})^2 \rightarrow a = \frac{3v^2}{200d}$

04 2023학년도 수능 10번 정답률 69%

10. 그림 (가)는 수평면에서 정지해 있는 음파 측정기와 진동수가 f_0인 음파를 발생시키며 직선 운동을 하는 음원을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 음파 측정기와 음원 사이의 거리 x를 시간 t에 따라 나타낸 것이다. 음원이 $t = 3t_0$일 때와 $t = 7t_0$일 때 발생시킨 음파를 음파 측정기가 측정한 진동수는 각각 f_1과 $\frac{25}{21} f_1$이다.



(가)



(나)

$\frac{f_1}{f_0}$은? (단, 음속은 일정하다.)

① $\frac{24}{25}$ ② $\frac{23}{25}$ ③ $\frac{22}{25}$ ④ $\frac{21}{25}$ ⑤ $\frac{4}{5}$

정 답 ①

해 설

$0 \sim 6t_0$) $f_1 = \frac{v}{v+1} f_0$

$6t_0 \sim 8t_0$) $\frac{25}{21} f_1 = \frac{v}{v-3} f_0$

두 식을 나누면 $\frac{25}{21} = \frac{v+1}{v-3}$, $25v - 75 = 21v + 21$에서 $v = 24$이다.

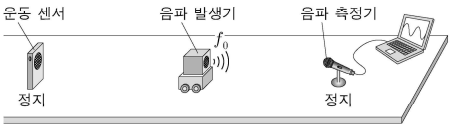
따라서 $\frac{f_1}{f_0} = \frac{24}{25}$이다.

05 2024학년도 9월 5번 정답률 62%

5. 다음은 도플러 효과를 알아보기 위한 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 그림과 같이 운동 센서, 진동수가 f_0인 음파를 발생시키는 음파 발생기, 음파 측정기를 책상 위에 놓는다.



(나) 운동 센서와 음파 측정기를 잇는 직선상에서 음파 발생기를 일정한 속력으로 운동시킨다.

(다) 운동 센서를 이용해 음파 발생기의 속력을 측정하고, 음파 측정기를 이용해 음파의 진동수를 측정한다.

(라) 음파 발생기의 속력 또는 운동 방향을 바꾸어 가며 (나), (다)를 반복한다.

〔실험 결과〕

음파 발생기의 속력	음파 측정기에 대한 음파 발생기의 운동 방향	음파 측정기에서 측정한 진동수
5 m/s	가까워지는 방향	680 Hz
2 m/s	가까워지는 방향	㉠
2 m/s	멀어지는 방향	㉡

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 음속은 340 m/s이다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. ㉠은 680 Hz보다 작다.
ㄴ. ㉡은 f_0보다 크다.
ㄷ. $f_0 = 670$ Hz이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

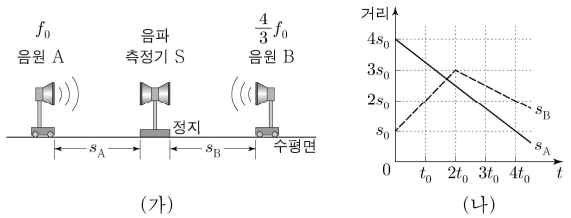
ㄱ. 속력이 감소하므로 진동수가 작다. (O)

ㄴ. 멀어지므로 ㉡은 f_0보다 작다. (X)

ㄷ. $680 = f_0 \frac{340}{340-5}$에서 $f_0 = 670Hz$이다. (O)

06 2024학년도 수능 10번 정답률 55%

10. 그림 (가)는 수평면에서 정지해 있는 음파 측정기 S와 진동수가 각각 f_0, $\frac{4}{3}f_0$인 음파를 발생시키며 직선 운동을 하고 있는 음원 A, B를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 S로부터 A, B까지의 거리 s_A, s_B를 각각 시간 t에 따라 나타낸 것이다. $t=t_0$일 때 A, B가 발생시킨 음파를 S가 측정한 진동수는 f_1로 같고, $t=3t_0$일 때 B가 발생시킨 음파를 S가 측정한 진동수는 f_2이다.



$\frac{f_2}{f_1}$는? (단, S, A, B는 동일 직선상에 있고, 음속은 일정하다.) [3점]

① $\frac{25}{22}$ ② $\frac{13}{11}$ ③ $\frac{27}{22}$ ④ $\frac{14}{11}$ ⑤ $\frac{29}{22}$

정 답 ④

해 설

A의 속력을 3, B의 속력을 4, 2라고 하자.

STEP1 $t=t_0$

A) $f_1=\frac{V}{V-3}f_0$, B) $f_1=\frac{V}{V+4}\times\frac{4}{3}f_0$을 정리하면

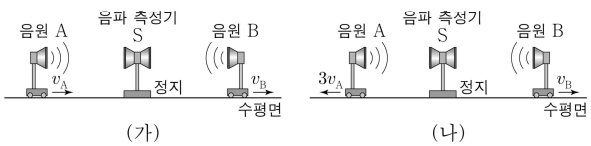
$1=\frac{V-3}{V+4}\times\frac{4}{3}$, $3V+12=4V-12$, $V=24$이다.

STEP2 $t=3t_0$

B) $f_2=\frac{V}{V-2}\times\frac{4}{3}f_0$이므로 $\frac{f_2}{f_1}=\frac{V+4}{V-2}=\frac{26}{22}=\frac{13}{11}$이다.

07 2025학년도 수능 12번 정답률 66%

12. 그림 (가)는 수평면에서 정지해 있는 음파 측정기 S와 진동수가 f_0인 음파를 발생시키는 음원 A, B가 각각 일정한 속력 v_A, v_B로 같은 방향으로 운동하는 모습을, (나)는 (가)에서 A가 속력 $3v_A$로 S로부터 멀어지는 모습을 나타낸 것이다. (가)와 (나)에서, S가 측정한 B의 음파의 진동수는 f_B로 같고, S가 측정한 A의 음파의 진동수는 각각 $\frac{5}{4}f_B$, $\frac{5}{7}f_B$이다.



v_B는? (단, 음속은 V이고, S, A, B는 동일 직선상에 있다.) [3점]

① $\frac{1}{19}V$ ② $\frac{1}{18}V$ ③ $\frac{1}{9}V$ ④ $\frac{2}{9}V$ ⑤ $\frac{1}{3}V$

정 답 ①

해 설

A에 대해서 접근해보면

(가) $\frac{5}{4}f_B=\frac{V}{V-v_A}f_0$ (나) $\frac{5}{7}f_B=\frac{V}{V+3v_A}f_0$

두 식을 나누면 $\frac{4}{7}=\frac{V-v_A}{V+3v_A}$이면 $v_A=\frac{3}{19}V$이다.

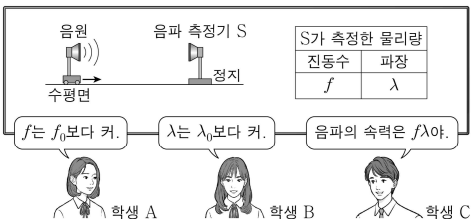
$\frac{5}{4}f_B=\frac{V}{\frac{16}{19}V}f_0=\frac{19}{16}f_0$, $f_B=\frac{19}{20}f_0$이다.

B에 대해서 접근해보면

$f_B=\frac{19}{20}f_0=\frac{V}{V+v_B}f_0$에서 $v_B=\frac{1}{19}V$이다.

08 2026학년도 9월 2번 정답률 94%

2. 그림은 수평면에서 진동수가 f_0이고 파장이 λ_0인 음파를 발생시키는 음원이 정지해 있는 음파 측정기 S를 향해 등속도 운동할 때, S가 측정한 음파의 진동수와 파장에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은? (단, 음속은 일정하고, 음원의 속력은 음속보다 작다.)

① A ② B ③ A, C ④ B, C ⑤ A, B, C

정 답 ③

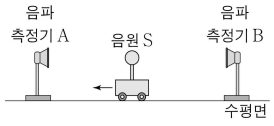
해 설

A: 음원이 접근하므로 측정되는 진동수는 증가한다. (O)
B: 음원이 접근하므로 파장은 감소한다. (X)
C: 음파의 속력은 $f\lambda$이다. (O)

유형 02 두 개의 음파 측정기

01 2025학년도 9월 9번 정답률 73%

9. 그림은 수평면에 정지해 있는 음파 측정기 A, B 사이에서 음원 S가 일정한 속력으로 A를 향해 움직이는 모습을 나타낸 것이다. S는 진동수 f_0인 음파를 발생시키며, A가 측정한 음파의 진동수는 $\frac{9}{8}f_0$이다.



B가 측정한 음파의 진동수는? (단, A, B, S는 동일 직선상에 있고, 음속은 일정하다.) [3점]

① $\frac{10}{11}f_0$ ② $\frac{9}{10}f_0$ ③ $\frac{8}{9}f_0$ ④ $\frac{7}{8}f_0$ ⑤ $\frac{6}{7}f_0$

정 답 ②

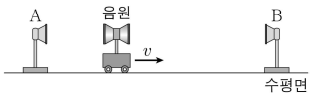
해 설

$\frac{9}{8}f_0 = \frac{V}{V-v}f_0$을 통해 $V=\frac{1}{9}v$이다.

$f_B = \frac{V}{V+v}f_0 = \frac{9}{10}f_0$

02 2026년학년도 수능 3번 정답률 78%

3. 그림과 같이 진동수가 f_0으로 일정한 음파를 발생시키는 음원이 수평면에 고정된 음파 측정기 A, B 사이에서 B를 향해 v의 속력으로 등속도 운동을 한다. A, B가 측정한 음파의 진동수는 각각 f_A, f_B이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 음원과 A, B는 동일 직선상에 있고, 음속은 V로 일정하며, $v < V$이다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. $f_A = \frac{V}{V-v}f_0$이다.
ㄴ. $f_A < f_B$이다.
ㄷ. f_B는 v가 클수록 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 진동수가 작아야하므로 $f_A = \frac{V}{V+v}f_0$이다. (X)

ㄴ. 음원이 A로부터 멀어지고, B와 가까워지므로 $f_A < f_B$이다. (O)

ㄷ. f_B는 v가 클수록 크다. (O)

PART 3
전자기파

개념 유형

01. 전자기파의 발생
02. 전자기파의 수신

기출 유형

01. 전자기파의 발생
02. 전자기파의 이용
03. 헤르츠의 전자기파 실험

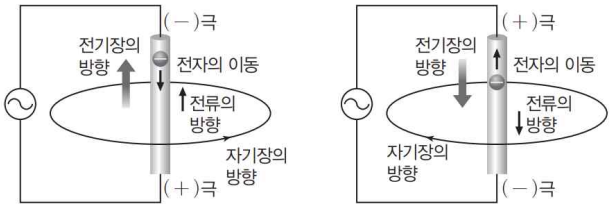
THEME

1 — 전자기파의 발생

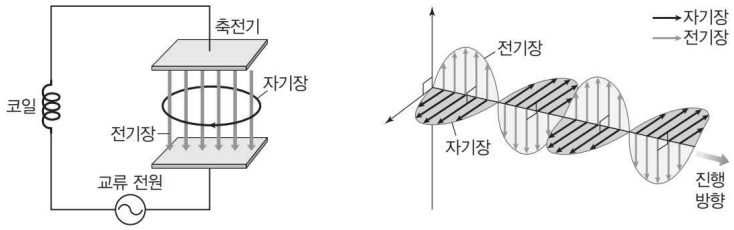
정리1 전자기파의 발생

개념1 전자기파의 발생

전자가 가속 운동을 할 때 전자기파가 발생한다. 전기장의 변화가 자기장을 유도하고 자기장의 변화가 전기장의 변화를 유도하여 자기장과 전기장이 공간으로 퍼져 나가는 것을 전자기파라고 한다.

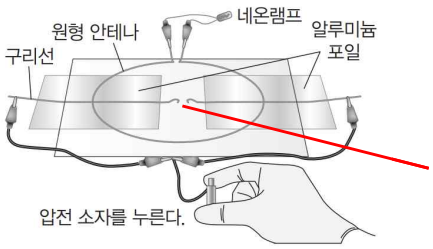


개념2 축전기에서 전자기파의 발생



① 축전기에 교류 전류가 흐르면 축전기의 양 극판에 충전된 전하량이 변하면서 진동하는 전기장이 생긴다.
② 진동하는 전기장은 진동하는 자기장을 유도한다.
③ 진동하는 자기장은 또다시 진동하는 전기장을 유도하며(서로 유도하며) 퍼져나가는 전자기파가 만들어진다.
④ 전기장과 자기장, 전자기파의 진행 방향은 서로 모두 수직이다.
⑤ 발생하는 전자기파의 진동수와 회로의 교류 전원의 진동수는 동일하다.

개념3 헤르츠의 전자기파 발생 실험



불꽃은 가시광선, 즉 전자기파의 일종이다. 따라서 전자기파를 원형 안테나에서 수신한다.

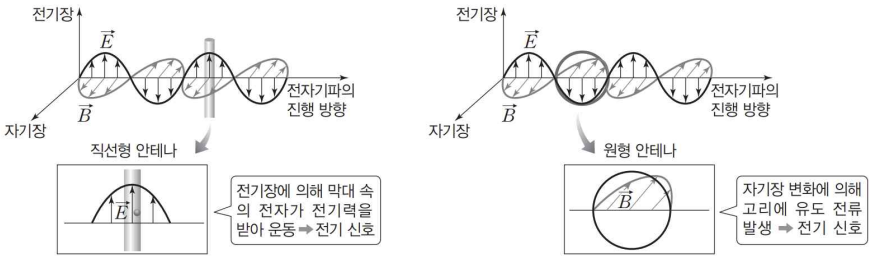
① 압전 소자를 누를 때 전자는 구리선 사이에서 가속 운동을 한다.
② 압전 소자를 누를 때 구리선 사이에서는 불꽃이 발생한다.
③ 압전 소자를 누를 때 전자기파가 발생한다.
④ 압전 소자를 누를 때 전자기파가 안테나에 수신되어 동일한 진동수의 교류 전류가 흘러 네온램프에 빛이 난다.

THEME
2 전자기파의 수신

정리2 전자기파의 수신

개념1 전자기파의 수신

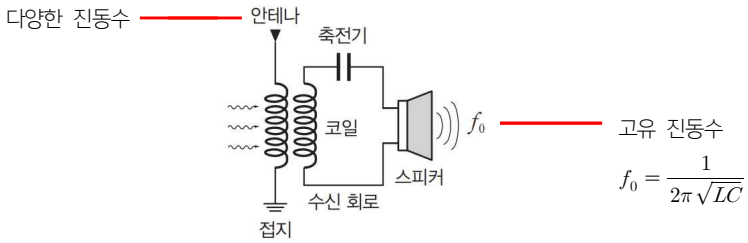
안테나의 전자는 전자기파의 전기장으로부터 전기력을 받는다. 안테나에 들어오는 전자기파의 전기장은 시간에 따라 진동하기 때문에 안테나 속의 전자도 진동하게 된다. 따라서 안테나 속에는 교류가 흐르게 된다.



① 전기장의 방향으로 막대 도선을 놓으면 막대 도선 내의 전자가 전기장의 반대 방향으로 전기력을 받아 운동하여 유도 전류가 발생한다.
② 자기장과 수직인 방향으로 원형 도선을 놓으면 자기장의 변화에 의한 전자기 유도에 의하여 유도 전류가 발생한다.

개념2 전자기파의 수신

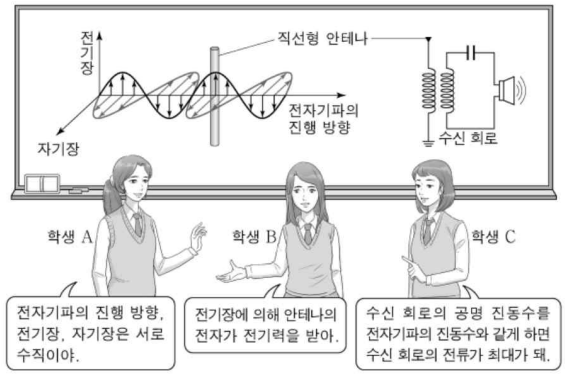
우리 주위에는 여러 방송국에서 보낸 다양한 진동수를 가진 전자기파들이 섞여 있다.
이 전자기파들이 안테나에 있는 전자를 상호 유도에 의하여 진동시켜 전자기파 수신 회로에 교류를 유도한다.
이때 안테나에 연결된 회로가 특정한 공명 진동수(고유 진동수)를 갖도록 하면 이 진동수와 같은 진동수의 전자기파만 수신하여 회로에 전류가 세게 흐를 수 있다. 이러한 현상을 전자기파 공명이라고 한다.



안테나에 여러 진동수의 전자기파가 도달함. ➡ 1차 회로의 코일에서 자기장이 발생함. ➡ 2차 회로의 코일에는 2차 회로의 공명 진동수와 일치하는 유도 전류가 흐름. ➡ 원하는 진동수의 전자기파만 수신함.

예제1

그림은 학생 A, B, C가 전자기파를 수신하는 직선형 안테나와 수신 회로에 대해 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

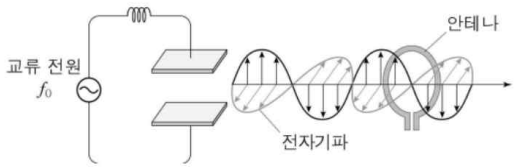
① A ② C ③ A, B ④ B, C ⑤ A, B, C

해설

ㄱ. 전자기파의 모든 성분은 수직이다. (O)
ㄴ. 전기장에 의해 안테나의 전자는 전기력을 받는다. (O)
ㄷ. 공명 진동수에서 전류가 최대가 된다. (O)

예제2

그림은 진동수가 f_0인 교류 전원이 연결된 회로에서 발생한 전자기파를 안테나가 수신하는 모습을 나타낸 것이다



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 전자기파의 진동수는 f_0이다.
ㄴ. 전자기파에서 전기장과 자기장은 서로 수직이다.
ㄷ. 안테나에 흐르는 전류의 방향은 일정하다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

해설

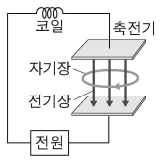
ㄱ. 안테나는 특정한 진동수의 전자기파를 수신한다.
수신된 전자기파의 진동수는 f_0이다. (O)
ㄴ. 전자기파의 모든 성분은 수직이다. (O)
ㄷ. 안테나에 흐르는 전류는 교류이다. (O)

유형 01 전자기파의 발생

01 2023학년도 수능 1번 정답률 86%

1. 다음은 어떤 파동에 대한 설명이다.

> A 전원에 연결된 축전기의 평행판 사이에는 시간에 따라 변하는 전기장이 만들어지고, 이 전기장은 자기장을 유도한다. 전기장과 자기장은 계속해서 서로를 유도하면서 공간으로 퍼져 나가는 파동이 되는데, 이를 B라고 한다.



A, B로 가장 적절한 것은?

	A	B
①	교류	전자기파
②	교류	초음파
③	직류	전자기파
④	직류	중력파
⑤	직류	초음파

정 답 ①

해 설

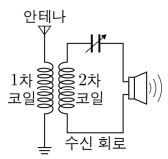
A. 교류

B. 전자기파

02 2025학년도 수능 2번 정답률 88%

2. 다음은 전자기파의 수신에 대한 설명이다.

> 안테나에 수신된 전자기파에 의해 1차 코일에 교류 전류가 발생하고, 전자기 유도에 의해 수신 회로의 2차 코일에 A가 흐른다. 그리고 수신 회로의 B를 전자기파의 진동수와 같게 하면 공명이 일어나 수신 회로에 흐르는 전류의 세기가 최대가 된다.



A, B로 가장 적절한 것은?

	A	B
①	유도 전류	공명 진동수
②	유도 전류	문턱 진동수
③	광전류	공명 진동수
④	광전류	문턱 진동수
⑤	직류 전류	공명 진동수

정 답 ①

해 설

A. 유도 전류

B. 공명 진동수

유형 02 전자기파의 이용

01 2022학년도 수능 1번 정답률 84%

1. 그림은 방송에 사용되는 안테나에 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. 방송국의 안테나는 전자기파를 송신한다. (O)
B. 안테나에는 교류가 흐른다. (O)
C. 초음파는 음파이다. 전자기파를 수신한다. (X)

유형 03 헤르츠의 전자기파 실험

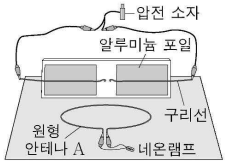
01 2022학년도 9월 7번 정답률 75%

7. 다음은 전자기파의 발생과 송수신에 대한 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 압전 소자와 구리선을 연결하고 알루미늄 포일에 붙인 뒤, 평평한 책상 위에 수직으로 세워 놓는다.

(나) 원형 안테나 A에 네온램프를 연결하여, 그림과 같이 구리선 옆에 놓는다.



(다) 압전 소자를 누르면서 구리선과 네온램프를 관찰한다.

(라) (나)에서 책상 면을 따라 구리선과 A 사이의 거리를 바꾼 뒤, (다)를 반복한다.

〔실험 결과〕

- (다)에서 압전 소자를 누를 때 구리선 사이에서 불꽃 방전이 일어나며 네온램프에 불이 켜졌다.
- 구리선과 A 사이의 거리가 멀수록 네온램프에서 방출되는 빛의 최대 밝기는 [㉠]한다.

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

<보 기>

ㄱ. 구리선 사이에서 불꽃 방전이 일어날 때 전자기파가 발생한다.
ㄴ. (다)에서 A에는 일정한 세기의 전류가 흐른다.
ㄷ. '감소'는 ㉠으로 적절하다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. 구리선 사이에서 불꽃 방전이 일어날 때 전자기파가 발생하여 네온 램프에 불이 켜진다.(O)

ㄴ. 전자기파의 전기장의 세기는 시간에 따라 계속 변하므로 A에는 일정한 세기의 전류가 흐르지 않는다. (X)

ㄷ. A에 도달하는 전자기파의 세기는 구리선과 A 사이의 거리가 멀수록 작아지므로 네온램프에서 방출되는 빛의 최대 밝기는 감소한다. (O)

02 2024학년도 수능 4번 정답률 78%

4. 다음은 전자기파의 송수신 실험이다.

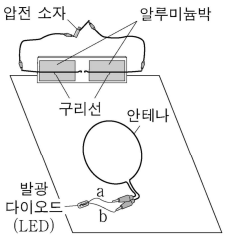
〔실험 과정〕

(가) 그림과 같이 압전 소자가 연결된 구리선을 알루미늄박에 고정하고, 알루미늄박을 바닥 면에 수직으로 세워 놓는다.

(나) 발광 다이오드(LED)의 단자 a, b를 원형 안테나에 연결한 후, 안테나를 바닥 면에 놓는다.

(다) 압전 소자를 누르며, 구리선 사이에서 불꽃 방전과 LED의 빛의 방출 여부를 관찰한다.

(라) (나)의 상태에서 a, b의 위치를 서로 바꾸어 안테나에 연결한 후, (다)를 반복한다.



〔실험 결과〕

과정	불꽃 방전	LED의 빛의 방출 여부
(다)	발생	방출됨
(라)	발생	방출됨

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

<보 기>

ㄱ. 구리선 사이에서 불꽃 방전이 일어날 때, 전자기파가 발생한다.
ㄴ. LED에서 빛이 방출될 때, 안테나에는 유도 전류가 흐른다.
ㄷ. (다)와 (라)에서 안테나는 전자기파를 수신한다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

전자기파의 송수신에서 교류 전류를 수신한다.

ㄱ. 구리선 사이에서 불꽃 방전이 일어날 때, 전자기파가 발생한다. (O)
ㄴ. LED에서 빛이 방출될 때, 안테나에는 유도 전류가 흐른다. (O)
ㄷ. LED에 빛이 방출되므로 안테나는 전자기파를 수신한다. (O)

PART 4
볼록 렌즈

개념 유형

01. 볼록 렌즈

기출 유형

01. 볼록 렌즈

THEME

1 볼록 렌즈

정리1 볼록 렌즈

개념1 볼록 렌즈

볼록 렌즈는 가장자리 다 가운데 부분이 더 두꺼워 입사 광선을 광축 방향으로 모으는 렌즈이다.
현재 수능에서는 볼록 렌즈만 나오므로 오목 렌즈에 대해서는 생각하지 않아도 된다.
(광축이란 빛이 투과하는 광로를 가리키는 가상의 선이다.)

TIP 부호 설정

① 물체의 위치에 대해서 항상 $a>0$이다.
② 상의 위치에 대해서 실상이면 $b>0$이고, 허상이면 $b<0$이다.
③ 볼록 렌즈에서 초점의 값은 항상 $f>0$이다.

개념2 볼록 렌즈의 초점

① 초점에서 퍼져 나가는 빛은 렌즈에서 굴절된 후 광축에 나란하게 진행한다.
② 광축에 나란하게 입사한 빛은 렌즈에서 굴절된 후 초점에 모인다.
③ 초점 거리(f)는 렌즈의 중심에서 초점(F)까지의 거리로, 볼록 렌즈의 초점은 양쪽에 같은 초점 거리로 하나씩 있다.



개념3 실상과 허상

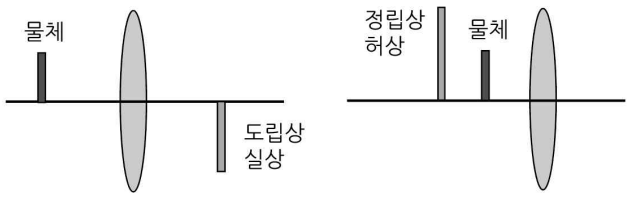
① 실상 : 렌즈에서 굴절된 빛이 실제로 모여서 만들어진 상. 실상이 있는 지점에 스크린을 놓으면 상이 맺힌다.
② 허상 : 렌즈에서 굴절된 광선의 연장선이 모여서 만들어진 상. 허상이 있는 지점에 스크린을 놓으면 아무것도 생기지 않는다.

TIP 실상과 허상의 구분

① 실상은 거울에 대해서 물체와 반대편에 있다.
② 허상은 거울에 대해서 물체와 같은편에 있다.

개념4 정립상과 도립상

① 정립상 : 상의 방향이 물체의 방향과 같은 상 (볼록 렌즈에서 정립상이면 무조건 허상이다.)
② 도립상 : 상의 방향이 물체의 방향과 반대인 상 (볼록 렌즈에서 도립상이면 무조건 실상이다.)

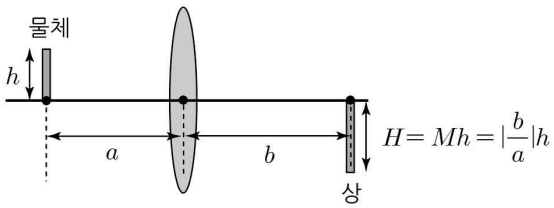


정리2 배율과 렌즈 방정식

개념1 배율

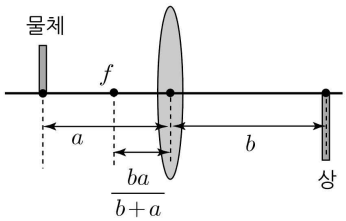
그림과 같이 볼록 렌즈로부터 거리가 a, b만큼 떨어져 있는 물체와 상이 있다고 하자.

물체의 높이는 h이고, 상의 높이는 H일 때 물체와 상의 높이의 관계식은 $M=\frac{H}{h}=\left|\frac{b}{a}\right|$을 만족한다.



개념2 렌즈 방정식

렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$을 정리하면 $f=\frac{ba}{b+a}$이다. (참고로 허상인 경우 $f=\frac{ba}{b-a}$를 만족한다.)

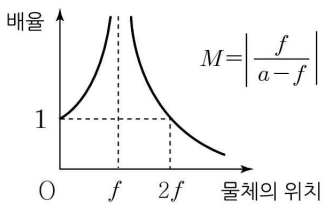


개념3 배율 방정식

렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$을 정리하면 $\frac{1}{b}=\frac{1}{f}-\frac{1}{a}=\frac{a-f}{af}$에서 $b=\frac{af}{a-f}$이다.

따라서 $M=\frac{b}{a}=\frac{f}{a-f}$이므로 $M=\frac{f}{a-f}$이다. (참고로 허상의 경우 $M=\frac{f}{f-a}$를 만족한다.)

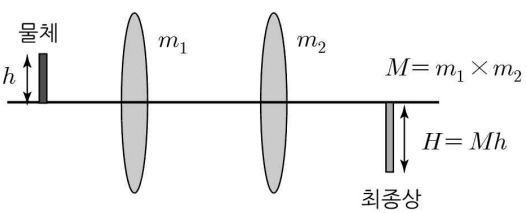
초점의 값은 일정하므로 배율에 대한 그래프를 그리면 아래와 같다.



물체의 위치가 초점에 대해 대칭일 때 배율은 동일함을 알 수 있다. (예를 들어 $a=0.5f$일 때와 $a=1.5f$일 때 배율은 동일하다.)

개념4 렌즈가 여러 개일 때 배율

총 배율은 $M=m_1\times m_2$을 만족한다.



정리3 물체의 움직임

개념1 물체의 움직임에 따른 성질

STEP1 물체의 위치에 따른 상의 크기

- $a=2f$에 대하여 $b=2f$이고, 상의 크기는 물체의 크기와 같다.
- $a=0.5f$에 대하여 $b=-f$이고, 상의 크기는 물체의 크기의 2배이다.

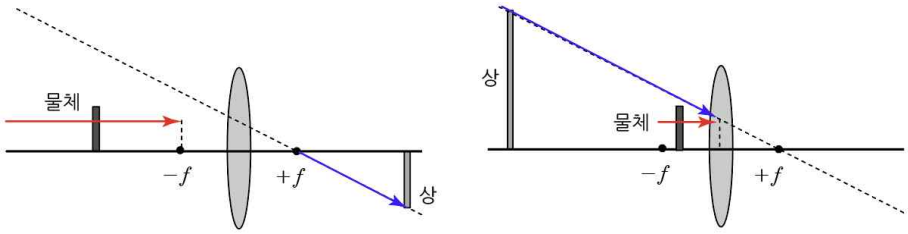
이를 통해 상의 기울기는 $\frac{y}{x}=\frac{\triangle H}{\triangle a}=\frac{h+2h}{2f-0.5f}=2\frac{h}{f}$로 일정하다.

따라서 초점과 물체의 높이는 일정하므로 상의 기울기는 일정하다.

STEP2 물체의 위치에 따른 상의 위치

$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$를 b에 대해서 정리하면 $\frac{1}{b}=\frac{1}{f}-\frac{1}{a}=\frac{a-f}{af}$에서 $b=\frac{af}{a-f}$이다.

그래프를 그려보면 a의 값이 증가하면 b의 값이 증가한다.



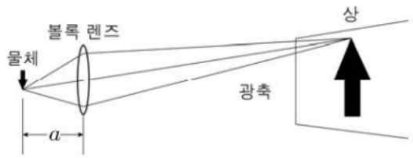
TIP 공통적 성질 정리

실험 결과를 정리하면 다음과 같은 실상과 허상의 공통적 성질이 있다.

① 물체가 초점에 있으면 상이 생기지 않는다.
② 물체가 왼쪽으로 진행하면 상도 왼쪽으로 진행한다.
③ 물체가 초점으로 진행하면 상의 크기가 커진다.
④ 상은 0부터 $+f$까지 존재하지 않는다. (불연속)

예제1

그림은 물체에서 나온 빛이 볼록 렌즈를 통과하여 확대된 상이 생기는 모습을 나타낸 것이다. a는 볼록 렌즈에서 물체까지의 거리이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 이 상은 실상이다.
ㄴ. 볼록 렌즈의 초점 거리는 a보다 짧다.
ㄷ. a를 크게 하면 상의 크기가 커진다.

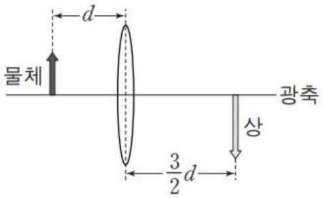
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. 볼록 렌즈의 오른쪽에 상이 생기므로 실상이다. (O)
ㄴ. 실상이므로 초점 거리는 a보다 짧다. (O)
ㄷ. 물체가 멀리 떨어지면 상의 크기는 작아진다. (X)

예제2

그림과 같이 볼록 렌즈의 중심으로부터 d만큼 떨어진 지점에 물체를 놓았더니, 렌즈의 중심으로부터 $\frac{3}{2}d$만큼 떨어진 지점에 상이 생겼다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 상은 허상이다.
ㄴ. 상의 크기는 물체의 크기의 $\frac{3}{2}$배이다.
ㄷ. 렌즈의 초점 거리는 $\frac{3}{5}d$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

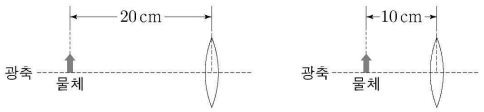
해설

ㄱ. 렌즈의 오른쪽에 상이 생겼으므로 실상이다. (X)
ㄴ. 배율은 $\frac{3}{2}$이다.
ㄷ. $f=\frac{ab}{a+b}=\frac{\frac{3}{2}}{\frac{5}{2}}d=\frac{3}{5}d$

유형 01 볼록 렌즈

01 2022학년도 9월 11번 정답률 78%

11. 그림 (가)와 같이 볼록 렌즈의 중심으로부터 20 cm 떨어진 지점에 물체를 놓았더니, 배율이 5인 실상이 생겼다. 그림 (나)는 (가)에서 물체를 렌즈의 중심으로부터 10 cm 떨어진 지점으로 이동시킨 것을 나타낸 것이다.



(가) (나)

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

<보 기>

ㄱ. 렌즈의 초점 거리는 $\frac{50}{3}$ cm이다.
ㄴ. (나)에서 물체의 상은 정립 허상이다.
ㄷ. (나)에서 상의 배율은 2이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. 1) $m=\left|\frac{b}{a}\right|$에 의해서 $b=100cm$이다.

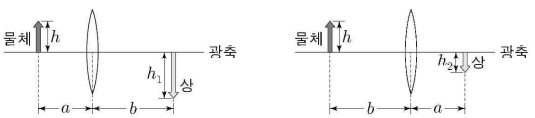
2) $f=\frac{ab}{a+b}=\frac{2000}{120}=\frac{50}{3}cm>10cm$ (O)

ㄴ. $a<f$이므로 정립 허상이다. (O)

ㄷ. $m=\left|\frac{f}{a-f}\right|=\frac{\frac{50}{3}}{\frac{20}{3}}=2.5$ (X)

02 2022학년도 수능 14번 정답률 76%

14. 그림 (가), (나)와 같이 초점 거리가 f인 볼록 렌즈 앞에 크기가 h인 물체를 놓았더니 크기가 각각 h_1, h_2인 실상이 생겼다. (가), (나)에서 물체와 렌즈 사이의 거리는 각각 a, b이고, 상과 렌즈 사이의 거리는 각각 b, a이다. $h_1-h_2=\frac{5}{6}h$이다.



(가) (나)

f는? [3점]

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

정 답 ④

해 설

STEP1 조건 계산

$h_1=\frac{b}{a}h$, $h_2=\frac{a}{b}h$이므로 $h_1-h_2=\frac{b^2-a^2}{ab}h=\frac{5}{6}h$이다.

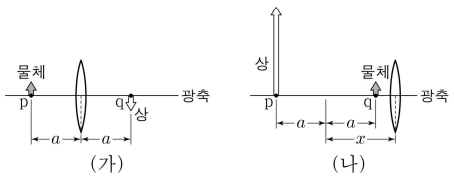
$b=3$, $a=2$이면 될 것 같다.

STEP2 f구하기

$f=\frac{ab}{a+b}=\frac{6}{5}=\frac{3}{5}a$

03 2023학년도 9월 10번 정답률 70%

10. 그림 (가)와 같이 초점 거리가 f인 볼록 렌즈의 중심으로부터 a만큼 떨어진 지점 p에 물체를 놓았더니, 렌즈의 중심으로부터 a만큼 떨어진 지점 q에 상이 생겼다. 그림 (나)는 (가)에서 렌즈를 x만큼 이동시키고 물체를 q에 놓았더니, 상이 p에 생긴 것을 나타낸 것이다.



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

<보 기>

ㄱ. $f=\frac{a}{2}$이다.
ㄴ. $x=\sqrt{2}a$이다.
ㄷ. (나)에서 상은 허상이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ⑤

해 설

ㄱ. (가)를 통해 물체의 위치는 $a=2f$에 있고 $f=\frac{a}{2}$임을 알 수 있다. (O)

ㄴ. (나)에서 렌즈와 물체 사이의 거리를 a', 렌즈와 상 사이의 거리를 b'이라고 하자.

1) $a'=x-a,\ b'=x+a$

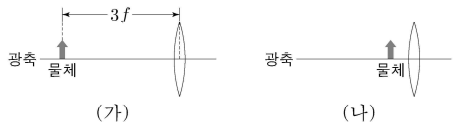
2) $f=\frac{a'b'}{b'-a'}=\frac{x^2-a^2}{2a}=\frac{a}{2}$

3) $x=\sqrt{2}a$ (O)

ㄷ. (나)에서 상은 허상이다. (O)

04 2023학년도 수능 11번 정답률 71%

11. 그림 (가)와 같이 초점 거리가 f인 볼록 렌즈로부터 $3f$만큼 떨어진 지점에 물체를 놓았다. 그림 (나)는 (가)에서 물체를 렌즈에 가깝게 이동시킨 것을 나타낸 것이다. (가)에서는 실상이, (나)에서는 허상이 생기고, 상의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 4배이다.



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

<보 기>

ㄱ. (가)에서 상의 크기는 물체의 크기보다 작다.
ㄴ. (나)에서 상과 렌즈 사이의 거리는 물체와 렌즈 사이의 거리보다 크다.
ㄷ. 상과 렌즈 사이의 거리는 (가)에서가 (나)에서의 3배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

ㄱ. $a>2f$이므로 상의 크기는 물체의 크기보다 작다. (O)

ㄴ. (나)에서 허상이 생겼으므로 상의 크기가 물체의 크기보다 크다. 따라서 상과 렌즈 사이의 거리는 물체와 렌즈 사이의 거리보다 크다. (O)

ㄷ. (가) $m=\left|\frac{f}{a-f}\right|=\frac{1}{3-1}=\frac{1}{2}\ \rightarrow\ b=\frac{3}{2}f$

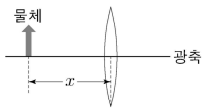
(나)에서 $m=2$가 된다. (조건 참조)

$b'=2a'$이고, $f=\frac{a'b'}{b'-a'}=b'=\frac{2}{3}b$이다.

따라서 상과 렌즈 사이의 거리는 $\frac{b}{b'}=\frac{3}{2}$이다. (X)

05 2024학년도 9월 6번 정답률 58%

6. 그림과 같이 볼록 렌즈의 중심으로부터 거리 x만큼 떨어진 지점에 물체를 놓는다. 표는 x에 따른 상의 종류와 상과 렌즈 사이의 거리를 나타낸 것이다.



x	상의 종류	상과 렌즈 사이의 거리
d	허상	$3d$
$3d$	㉠	㉡

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 렌즈의 초점 거리는 $\frac{3}{2}d$이다.
ㄴ. ㉠은 실상이다.
ㄷ. ㉡은 $3d$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

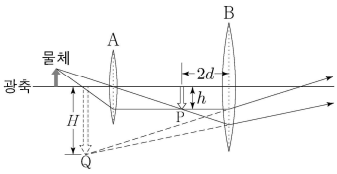
정 답 ⑤

해 설

ㄱ. 허상이므로 $f=\frac{ab}{b-a}=\frac{3}{2}d$이다. (O)
ㄴ. $a=2f$인 곳이다. 따라서 실상이다. (O)
ㄷ. $a=2f$에서 상의 크기가 같으므로 상과 렌즈 사이 거리도 같다. (O)

06 2024학년도 수능 8번 정답률 69%

8. 그림은 물체에서 나온 빛의 일부가 볼록 렌즈 A와 B를 통과하여 진행하는 경로를 나타낸 것이다. A에 의한 상 P는 B에서 $2d$만큼 떨어진 지점에 생기고, 크기는 h이다. B의 초점 거리는 $3d$이고, B에 의한 상 Q의 크기는 H이다.



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

<보 기>

ㄱ. 물체와 A 사이의 거리는 A의 초점 거리보다 작다.
ㄴ. Q는 허상이다.
ㄷ. $H=3h$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

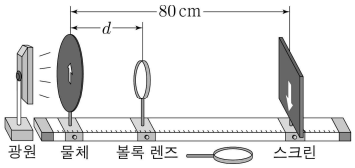
ㄱ. 물체의 상이 A의 오른쪽에 생겼다.
따라서 물체와 A 사이의 거리는 A의 초점 거리보다 크다. (X)
ㄴ. 물체의 상이 B에 왼쪽에 생겼다. 따라서 Q는 허상이다. (O)
ㄷ. $f=\frac{ab}{a+b}$ → $3=\frac{2b}{2+b}$에서 $b=6d$이다.
배율이 3배이므로 $H=3h$이다. (O)

07 2025학년도 9월 12번 정답률 73%

12. 다음은 볼록 렌즈를 이용한 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 그림과 같이 광원을 놓고 광학대 위에 화살표 모양의 구멍이 뚫린 물체, 초점 거리가 f_1인 볼록 렌즈, 스크린을 설치한다.



(나) 물체와 스크린 사이의 거리가 80 cm가 되도록 물체와 스크린을 광학대에 고정한다.

(다) 볼록 렌즈를 이동시키면서 스크린에 가장 선명한 화살표 모양의 상이 생겼을 때, 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리 d를 측정한다.

(라) (가)에서 볼록 렌즈를 초점 거리가 f_2인 것으로 바꾸어 (다)를 반복한다.

〔실험 결과〕

과정	렌즈의 초점 거리	d
(다)	f_1	20 cm
(라)	f_2	40 cm

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

<보 기>

ㄱ. (다)에서 생긴 상은 실상이다.
ㄴ. $f_2 = 2f_1$이다.
ㄷ. 상의 크기는 (다)에서가 (라)에서보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

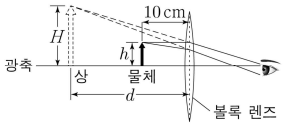
ㄱ. 스크린을 놓았을 때 상이 생기므로 실상이다. (O)

ㄴ. $f_1 = \frac{20\times60}{20+60} = 15cm$, $f_2 = \frac{40\times40}{40+40} = 20cm$이다. (X)

ㄷ. 상의 크기는 (다)$=3$, (라)$=1$이다. (O)

08 2025학년도 수능 3번 정답률 78%

3. 그림과 같이 초점 거리가 f인 볼록 렌즈로부터 10 cm만큼 떨어진 지점에 크기가 h인 물체를 놓았더니 크기가 H인 상이 생겼다.



볼록 렌즈와 상 사이의 거리는 d이고, $\frac{H}{h}=2.5$이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 상은 실상이다.
ㄴ. $d=25\,\text{cm}$이다.
ㄷ. $f=20\,\text{cm}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설

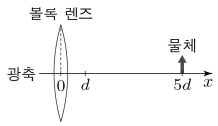
ㄱ. 상은 물체와 같은 쪽에 있으므로 허상이다. (X)

ㄴ. $m=2.5=\frac{d}{10cm}$이므로 $d=25cm$이다. (O)

ㄷ. $f=\frac{ab}{b-a}=\frac{250}{15}=\frac{50}{3}cm$이다. (X)

09 2026학년도 9월 8번 정답률 88%

8. 그림과 같이 x축상의 $x=5d$에 물체가 고정되어 있다. 볼록 렌즈는 광축인 x축을 따라 $+x$방향으로 등속도 운동을 하며, 시간 $t=0$일 때 $x=0$을 지나고, $t=t_0$일 때 $x=d$를 지난다. 표는 볼록 렌즈에 의한 상의 크기 변화를 시간 t에 따라 나타낸 것이다.



t	상의 크기
$0 \sim 2t_0$	증가
$3t_0 \sim 4t_0$	감소

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. t_0일 때, 상은 도립상이다.
ㄴ. $1.5t_0$일 때, 상은 허상이다.
ㄷ. $3.5t_0$일 때, 상의 배율은 1보다 작다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

해 설

$0 \sim 2t_0$일 때 상의 크기가 증가하므로 도립 실상이다.

$3t_0 \sim 4t_0$일 때 상의 크기가 감소하므로 정립 허상이다.

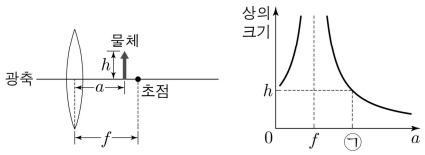
ㄱ. t_0일 때, 상은 도립상이다. (O)

ㄴ. $1.5t_0$일 때 상은 실상이다. (X)

ㄷ. $3.5t_0$일 때 상의 배율은 무조건 1보다 크다. (X)

10 2026학년도 수능 16번 정답률 74%

16. 그림 (가)는 초점 거리가 f인 볼록 렌즈로부터 거리 a만큼 떨어진 지점에 크기가 h인 물체가 놓인 모습을, (나)는 a에 따른 상의 크기를 나타낸 것이다.



(가)

(나)

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

<보 기>

ㄱ. ㉠은 $2f$이다.

ㄴ. 상의 크기는 $a=\frac{2}{3}f$일 때가 $a=\frac{5}{3}f$일 때의 $\frac{5}{2}$배이다.

ㄷ. $a=3f$일 때, 상과 렌즈 사이의 거리는 $\frac{3}{2}f$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. 볼록 렌즈에서 상의 크기가 동일하므로 ㉠$=2f$이다. (O)

ㄴ. $a=\frac{2}{3}f$일 때 $1=\frac{\frac{2}{3}\times -b}{\frac{2}{3}-b} \Rightarrow b=2 \Rightarrow m=3$

$a=\frac{5}{3}f$일 때 $1=\frac{\frac{5}{3}b}{\frac{5}{3}+b} \Rightarrow b=\frac{5}{2} \Rightarrow m=\frac{3}{2}$

따라서 상의 크기는 2배이다. (X)

ㄷ. $a=3f$일 때 $f=\frac{3bf}{3f+b} \Rightarrow b=\frac{3}{2}f$ (O)

PART 5
광전 효과

개념 유형

01. 물질파
02. 광전 효과

기출 유형

01. 데이비슨-거머 실험
02. 광전효과 실험

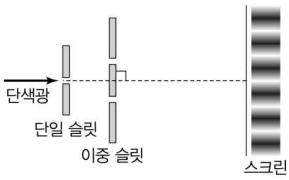
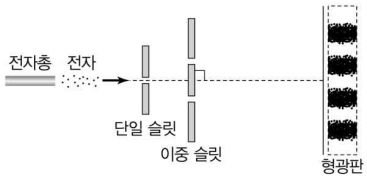
THEME

1 — 물질파

정리1 물질파

개념1 물질의 이중성

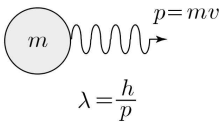
파동성은 전자뿐만 아니라 원자핵의 구성 입자인 양성자와 중성자, 분자 같은 입자에서도 발견되었다.
이와 같이 미시적인 세계에서는 빛과 마찬가지로 물질 입자도 파동과 입자의 이중적인 성질이 나타나며, 물질의 이중성이라고 한다.

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.



$\lambda=\frac{h}{p}$

개념3 비례식

① $p\lambda=mv\lambda=$일정

② $mE\lambda^2=$일정 (빈출)

물질파에서 핵심은 파장이다. 진동수는 관심없다.

THEME

2 — 광전 효과

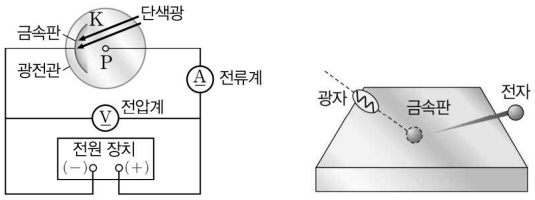
정리1 광전 효과

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.

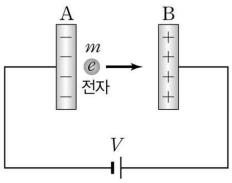


개념2 두 가지 빛을 동시에 쏨

- 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.)



정리3 빛의 진동수 - 정지 전압 그래프

개념1 함수의 분석

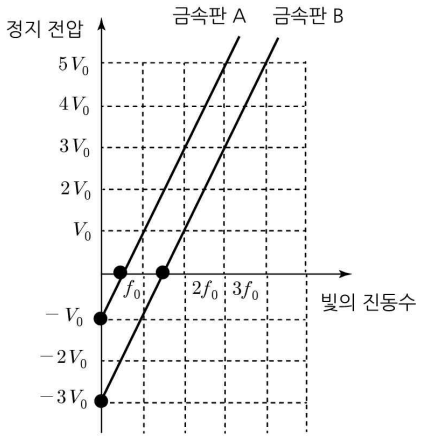
광전 효과 식을 정리하면 $V=hf_0-W$을 만족한다. 따라서 기울기는 h인 플랑크 상수로 일정하다.

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.

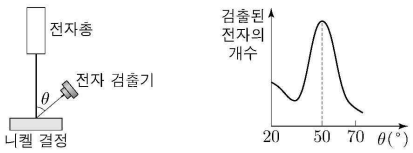
② eV의 형태로 구하기 : x축과 이루는 비율을 토대로 $W_A=eV_0$, $W_B=3eV_0$이다.



유형 01 데이비슨-거머 실험

01 2022학년도 수능 3번 정답률 76%

3. 그림 (가)는 데이비슨·거머 실험에서 전자가 니켈 결정의 표면에 입사하여 산란되는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 검출된 전자의 개수를 산란각 θ에 따라 나타낸 것이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. (나)는 전자의 입자성을 보여 주는 실험 결과이다.
ㄴ. $\theta = 50°$로 산란된 전자의 물질파는 보강 간섭 조건을 만족한다.
ㄷ. 니켈 결정에 입사된 전자의 속력이 커질수록 전자의 물질파 파장은 길어진다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설

ㄱ. (나)는 전자의 파동성을 나타내는 실험이다. (X)
ㄴ. $\theta = 50°$로 산란된 전자의 물질파는 보강 간섭 조건을 만족한다. (O)
ㄷ. 반비례한다. (X)

02 2025학년도 9월 1번 정답률 87%

1. 다음은 빛과 물질의 이중성에 대한 내용이다.

○ [A] 실험에서 금속판에 문턱 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비추면 전자가 튀어나온다.
○ 데이비슨·거머 실험에서 전자가 니켈 결정의 표면에 입사하여 산란될 때, 니켈 결정에 입사하는 전자의 속력이 클수록 전자의 물질파 파장은 [B].

A, B로 가장 적절한 것은?

	A	B
①	광전 효과	짧아진다
②	광전 효과	길어진다
③	도플러 효과	짧아진다
④	도플러 효과	길어진다
⑤	전자기 유도	짧아진다

정 답 ①

해 설

A. 광전 효과
B. 전자의 속력이 클수록 전자의 물질파 파장은 짧아진다.

유형 02 광전효과 실험

01 2022학년도 9월 16번 정답률 66%

16. 표는 금속 A의 표면에 진동수가 $2f$, $5f$, $7f$인 단색광을 각각 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지와 드브로이 파장의 최솟값을 나타낸 것이다.

단색광의 진동수	최대 운동 에너지	드브로이 파장의 최솟값
$2f$	E_1	2λ
$5f$	E_2	λ
$7f$	E_3	㉠

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

<보 기>

ㄱ. $E_2 = \frac{5}{2}E_1$이다.
ㄴ. A의 일함수는 hf이다.
ㄷ. ㉠은 $\sqrt{\frac{2}{3}}\lambda$이다.

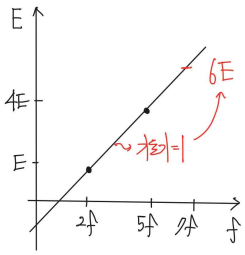
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

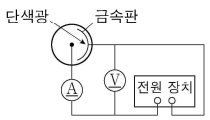
ㄱ. 파장 비는 2 : 1이므로 운동 에너지비는 1 : 4이다. (X)
ㄴ. 그래프의 기울기가 1이므로 A의 일함수는 hf이다. (O)
ㄷ. 운동 에너지비가 1 : 6이므로 파장비는 $\sqrt{6}$: 1이다.

$\sqrt{6}㉠ = 2\lambda \rightarrow ㉠ = \sqrt{\frac{2}{3}}\lambda$ (O)

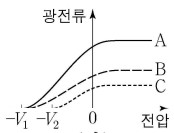


02 2023학년도 수능 6번 정답률 75%

6. 그림 (가)는 광전 효과 실험 장치를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 금속판에 단색광 A, B, C를 각각 비추어 금속판에서 광전자가 방출될 때 광전류를 전압에 따라 나타낸 것이다. A와 B를 각각 비추었을 때 정지 전압은 V_1로 같고, C를 비추었을 때 정지 전압은 V_2이다. A, C의 진동수는 각각 $7f_0$, $5f_0$이고, 금속판의 문턱 진동수는 f_0이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. B의 진동수는 $7f_0$이다.
ㄴ. 단색광의 세기는 A가 B보다 크다.
ㄷ. $V_1 = \frac{3}{2}V_2$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

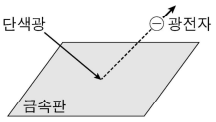
정 답 ②

해 설

ㄱ. B는 A와 진동수가 같은 $7f_0$이다. (O)
ㄴ. 광전류를 토대로 단색광의 세기는 A > B이다. (O)
ㄷ. $K_1 = 7hf_0 - hf_0 = 6hf_0$
$K_2 = 5hf_0 - hf_0 = 4hf_0$
$\therefore \frac{K_1}{K_2} = \frac{3}{2}$

03 2024학년도 9월 9번 정답률 55%

9. 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? [3점]

<보 기>

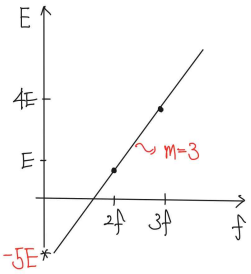
ㄱ. ㉠은 $4E$이다.
ㄴ. 금속판의 일함수는 $3E$이다.
ㄷ. 금속판에 진동수가 $2f$, $3f$인 단색광을 함께 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $5E$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ①

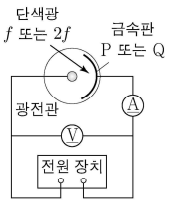
해 설

ㄱ. 파장의 비가 $2:1$이므로 운동 에너지 비는 $1:4$이다. (O)
ㄴ. 금속판의 일함수는 $5E$이다. (X)
ㄷ. $4E$이다. (X)



04 2024학년도 수능 11번 정답률 57%

11. 그림은 금속판 P, Q에 진동수가 f, $2f$인 단색광을 각각 비추어 정지 전압을 측정하는 광전 효과 실험 장치를 나타낸 것이다. 표는 방출된 광전자의 최대 운동 에너지에 해당하는 정지 전압과 물질파 파장의 최솟값을 나타낸 것이다.



금속판	단색광의 진동수	정지 전압	물질파 파장의 최솟값
P	f	$0.5V_0$	λ_1
P	$2f$	$2V_0$	λ_2
Q	$2f$	V_0	λ_3

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

<보 기>

ㄱ. $\lambda_1 = \sqrt{2}\,\lambda_3$이다.
ㄴ. Q의 일함수는 $\frac{4}{3}hf$이다.
ㄷ. P에 진동수가 f인 단색광을 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $\frac{2}{3}hf$이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

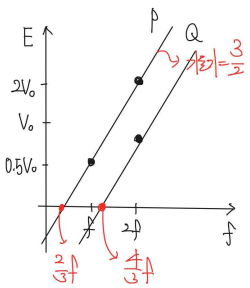
정 답 ③

해 설

ㄱ. 정지 전압 비가 $1:2$이므로 파장 제곱 비는 $2:1$이다.
따라서 $\lambda_1 = \sqrt{2}\,\lambda_3$이다. (O)

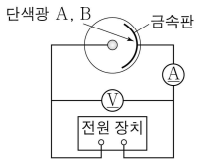
ㄴ. $W_Q = \frac{4}{3}hf$이다. (O)

ㄷ. $hf - \frac{2}{3}hf = \frac{1}{3}hf$이다. (X)



05 2025학년도 수능 13번 정답률 71%

13. 그림은 광전 효과 실험 장치를 사용하여 전압에 따른 광전류의 세기를 측정하는 것을 나타낸 것이다. 표는 금속판을 비추는 단색광 A, B에 따른 광전류의 최댓값 I와 정지 전압으로부터 구한 광전자의 최대 운동 에너지에 해당하는 물질파 파장 λ를 나타낸 것이다.



A	B	I	λ
○	×	I_0	$3\lambda_0$
×	○	$2I_0$	λ_0
○	○	㉠	㉡

(○:단색광 있음, ×:단색광 없음)

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

<보 기>

ㄱ. 진동수는 A가 B보다 작다.
ㄴ. ㉠은 I_0이다.
ㄷ. ㉡은 λ_0이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

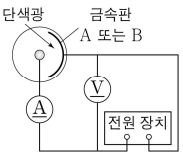
정 답 ③

해 설

ㄱ. 파장을 통해 운동 에너지는 B > A이다.
따라서 빛의 진동수는 B > A이다. (O)
ㄴ. 광전류의 최댓값은 $3I_0$이다. (X)
ㄷ. 최대 운동 에너지는 B이므로 λ_0이다. (O)

06 2026학년도 9월 11번 정답률 75%

11. 그림은 문턱 진동수가 각각 f_A, f_B인 금속판 A, B에 단색광을 비추는 광전 효과 실험 장치를 나타낸 것이다. A, B에 진동수가 $3f_A$인 단색광을 각각 비추었을 때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지에 해당하는 물질파 파장은 각각 λ_A, λ_B이고, $\frac{\lambda_B}{\lambda_A}=\sqrt{2}$이다.



$\frac{f_B}{f_A}$는? [3점]

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

정 답 ②

해 설

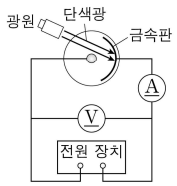
조건을 해석하면 $\frac{\lambda_B}{\lambda_A}=\sqrt{\frac{K_A}{K_B}}=\sqrt{2} \Rightarrow K_A=2K_B$이다.
금속판 A) $3f_A-f_A=2f_A=K_A$
금속판 B) $3f_A-f_B=K_B=f_A \Rightarrow f_B=2f_A$

05 2026학년도 수능 11번 정답률 76%

11. 다음은 광전 효과 실험이다.

〔실험 과정〕

(가) 그림과 같이 세기가 일정한 단색광 A, B, C를 각각 발생시키는 광원과 전압에 따른 광전류의 최댓값 I_{max}, 정지 전압 V_S를 측정하는 광전 효과 실험 장치를 구성한다.



(나) 금속판에 동시에 비추는 단색광의 종류를 바꾸어 가며 I_{max}와 V_S를 측정하여 표에 기록한다.

〔실험 결과〕

실험	단색광의 종류	I_{max}	V_S
Ⅰ	A	$2I_0$	V_0
Ⅱ	A, B	$2I_0$	㉠
Ⅲ	B, C	I_0	$2V_0$

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

<보 기>

ㄱ. ㉠은 $2V_0$이다.
ㄴ. 진동수는 A가 B보다 크다.
ㄷ. 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 Ⅰ에서가 Ⅲ에서보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설

〔실험 결과〕

실험	단색광의 종류	I_{max}	V_S
Ⅰ	A	$2I_0$	V_0
Ⅱ	A, B	$2I_0$	㉠
Ⅲ	B, C	I_0	$2V_0$

ㄱ. ㉠은 V_0이다. (X)

ㄴ. B는 광전효과가 발생하지 않으므로 $f_A > f_B$이다. (O)

ㄷ. 광전자의 최대 운동 에너지는 Ⅰ < Ⅲ이다. (X)

PART 6
불확정성 원리

개념 유형

01. 불확정성 원리

기출 유형

01. 원자 모형의 비교
02. 불확정성의 원리

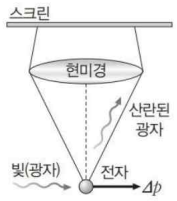
THEME

1 불확정성 원리

정리1 측정의 정밀성

개념1 고전 역학(보어의 원자 모형)

측정 과정에서 측정 도구가 측정 대상에 미치는 영향을 얼마든지 줄일 수 있다고 생각하여 물리량을 무한히 정밀하게 측정하고 예측할 수 있다고 가정한다.



하이젠베르크
양자 현미경

개념2 양자 역학(현대의 원자 모형)

측정 과정에서 측정 도구와 측정 대상의 상호 작용은 측정하려는 대상의 상태를 변화시킨다.
따라서 대상의 물리량을 무한히 정밀하게 측정하는 것은 불가능하다.
(따라서 보어의 원자 모형은 하이젠베르크의 불확정성 원리를 만족하지 않는다.)

정리2 하이젠베르크의 불확정성 원리

개념1 위치의 불확정성(Δx)

전자의 위치를 측정하기 위해 빛을 전자에 비춰 빛이 산란되는 위치를 현미경을 통하여 보아야 하는데, 회절에 의해 상이 흐려지므로 위치를 정확하게 측정하기 어렵다. 빛의 파장이 짧을수록 전자의 위치의 불확정성 Δx는 감소한다.

개념2 운동량의 불확정성(Δp_x)

전자에 비춰준 빛은 운동량을 지닌 광자로 생각할 수 있으므로 광자는 전자와 충돌하여 전자의 운동량을 변화시키게 되어 운동량을 정확하게 알기 어렵다. 이때 파장이 λ인 광자의 운동량이 $p_x = \frac{h}{\lambda}$이므로 광자의 파장이 짧을수록 전자의 운동량의 불확정성 Δp_x는 증가한다.

개념3 하이젠베르크의 불확정성 원리

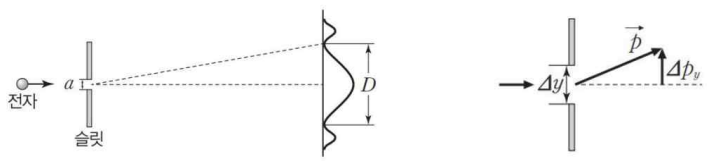
① 짧은 파장의 빛을 이용하면 입자의 위치는 정확하게 측정할 수 있지만 운동량의 불확정성은 증가한다.
반대로 긴 파장의 빛을 이용하면 입자의 운동량의 정확성을 높일 수 있지만 입자의 위치의 불확정성은 증가한다.

② 불확정성 원리: 입자성과 파동성을 모두 띠고 있는 물체의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다.
위치와 운동량의 측정에 대한 불확정성 원리를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$ (단, $\hbar = \frac{h}{2\pi}$)

개념4 전자의 회절과 불확정성 원리

그림과 같이 전자가 폭이 a인 단일 슬릿을 통과할 때, 슬릿을 통과한 전자는 형광 스크린에 밝고 어두운 무늬를 만든다.
- 슬릿의 폭 a가 작아지면 회절 무늬의 폭 D가 커진다.
- 슬릿의 폭 a가 커지면 회절 무늬의 폭 D가 작아진다.



전자의 위치의 불확정성 Δy는 슬릿의 폭 a와 같다고 할 수 있고, 무늬의 폭 D가 크다는 것은 운동량의 y성분 불확정성(Δp_y)이 크다는 것을 의미한다. 즉 슬릿의 폭이 좁아지면 전자의 위치에 대한 정보는 정확해지지만, 전자의 운동량에 대한 정보는 더 부정확해지므로 불확정성 원리가 성립된다.

예제1

그림은 보어의 수소 원자 모형에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

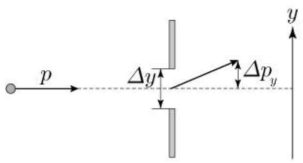
① A ② C ③ A, B ④ B, C ⑤ A, B, C

해설

A : 전자는 제1가설인 양자 조건을 만족하면서 원운동을 하고 있다. (O)
B : 정상파를 만족해야한다. (O)
C : 불확정성 원리는 만족하지 않는다. (X)

예제2

그림은 운동량의 크기가 p인 전자가 폭이 $\triangle y$인 단일 슬릿에 입사하는 것을 나타낸 것이다. $\triangle p_y$는 슬릿을 통과하는 전자의 y축 방향 운동량 불확정도를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. $\triangle y$는 슬릿에서 전자의 위치 불확정도를 나타낸다.
ㄴ. $\triangle y$가 감소하면 $\triangle p_y$도 감소한다.
ㄷ. 슬릿을 통과하는 전자의 회절은 전자의 파동성 때문에 나타난다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설

ㄱ. $\triangle y$는 슬릿에서 전자의 위치 불확정도를 나타낸다. (O)
ㄴ. $\triangle y$가 감소하면 $\triangle p_y$는 증가한다. (X)
ㄷ. 전자의 회절은 전자의 파동성 때문이다. (O)

유형 01 원자 모형의 비교

01 2022학년도 수능 2번 정답률 87%

2. 다음 (가), (나)는 보어의 수소 원자 모형과 현대적 수소 원자 모형의 특징을 순서 없이 나타낸 것이다.

> (가) 전자는 전기력을 받아 안정된 원 궤도에서 운동한다.
> (나) 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하며, 전자의 위치는 확률적으로밖에 알 수 없다.

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

<보 기>

ㄱ. (가)에서 양자수가 1인 상태에 있는 전자의 운동량의 크기는 일정하다.
ㄴ. (가)는 현대적 수소 원자 모형에 해당한다.
ㄷ. (나)에서 전자의 상태는 불확정성 원리를 만족한다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

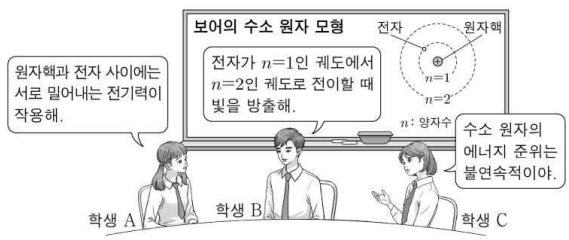
정 답 ④

해 설

ㄱ. 속력이 일정하므로 운동량의 크기도 일정하다. (O)
ㄴ. (가)는 보어의 수소 원자 모형이다. (X)
ㄷ. 확률적 측정은 불확정성 원리이다. (O)

02 2023학년도 9월 2번 정답률 83%

2. 그림은 보어의 수소 원자 모형에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

① A ② B ③ C ④ A, B ⑤ A, C

정 답 ③

해 설

A. 원자핵과 전자 사이에는 인력이 작용한다. (X)
B. 전자가 $n=1$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때 에너지가 필요므로 빛을 흡수한다. (X)
C. 수소 원자의 에너지 준위는 양자화되어 불연속적이다. (O)

03 2024학년도 9월 1번 정답률 81%

1. 다음은 현대 원자 모형에 대한 설명이다.

> 현대 원자 모형에 의하면 전자는 원자핵으로부터 일정한 거리만큼 떨어진 원 궤도에서 운동하는 것이 아니라 확률적으로 분포하고 있다. 이러한 현대 원자 모형은 전자의 [A]와 운동량을 동시에 정확히 측정할 수 없다는 [B] 원리를 만족시킨다.

A, B로 가장 적절한 것은?

	A	B		A	B
①	에너지	불확정성	②	에너지	등가
③	위치	불확정성	④	위치	등가
⑤	파동 함수	불확정성			

정 답 ③

해 설

A. 위치

B. 불확정성

04 2024학년도 수능 2번 정답률 84%

2. 그림은 원자 모형 ㉠, ㉡에 대하여 학생 A, B, C가 대화하는 모습으로, ㉠과 ㉡은 보어의 수소 원자 모형과 현대 원자 모형을 순서 없이 나타낸 것이다.

원자 모형	내용
㉠	전자는 양자 조건을 만족하는 안정된 원 궤도를 따라 운동한다.
㉡	전자의 위치와 운동량을 동시에 정확히 측정할 수 없고, 전자의 위치는 확률적으로만 알 수 있다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

① A ② B ③ C ④ A, C ⑤ B, C

정 답 ④

해 설

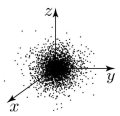
A. 안정된 원 궤도를 따라 운동하므로 보어의 수소 원자 모형이다. (O)

B. 보어의 원자 모형에서는 원운동을 해야하므로 전자기파가 발생되면 원 궤도를 유지할 수 없다. (X)

C. 위치와 운동량을 정확히 측정할 수 없는 것은 불확정성 원리이다. (O)

05 2025학년도 9월 3번 정답률 82%

3. 그림은 수소 원자에서 양자수 $n=1$인 상태일 때, 전자가 발견될 확률 분포를 점을 찍어서 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. 보어의 수소 원자 모형은 확률 분포를 설명한다.
ㄴ. 전자의 상태는 불확정성 원리를 만족한다.
ㄷ. 전자가 발견될 확률은 원자핵으로부터 떨어진 거리에 상관없이 일정하다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ②

해 설

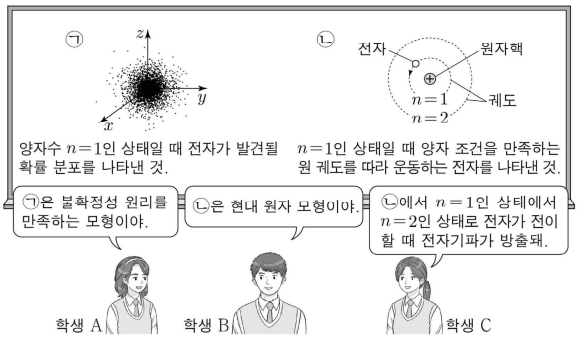
ㄱ. 보어의 수소 원자 모형은 확률 분포를 설명하지 않는다. (X)

ㄴ. 전자의 상태는 불확정성 원리를 만족한다. (O)

ㄷ. 원자핵으로부터 떨어질수록 확률은 감소한다. (X)

06 2025학년도 수능 1번 정답률 84%

1. 그림은 수소 원자 모형에 대하여 학생 A, B, C가 대화하는 모습으로, ㉠과 ㉡은 보어의 원자 모형과 현대 원자 모형을 순서 없이 나타낸 것이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

① A ② C ③ A, B ④ B, C ⑤ A, B, C

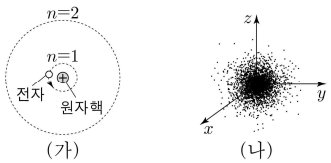
정 답 ①

해 설

A. 현대적 원자 모형이므로 불확정성 원리를 만족한다. (O)
B. 보어의 원자 모형이다. (X)
C. 낮은 에너지 준위에서 높은 에너지 준위로 전자가 전이할 때 전자기파를 흡수한다. (X)

07 2026학년도 수능 2번 정답률 88%

2. 그림 (가), (나)는 수소 원자에 대한 보어 원자 모형과 현대 원자 모형을 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. (가)에서 전자는 양자 조건을 만족하는 원 궤도를 따라 운동한다.
ㄴ. (나)는 보어 원자 모형이다.
ㄷ. (나)에서는 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정할 수 없다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

정 답 ④

해 설

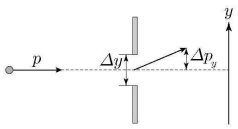
(가)는 보어의 원자 모형이고 (나)는 현대 원자 모형이다.

ㄱ. 원 궤도를 따라 운동한다. (O)
ㄴ. (나)는 현대 원자 모형이다. (X)
ㄷ. 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정할 수 없다. (O)

유형 02 불확정성의 원리

01 2022학년도 9월 2번 정답률 84%

2. 그림은 운동량의 크기가 p인 전자가 폭이 Δy인 단일 슬릿에 입사하는 것을 나타낸 것이다. Δp_y는 슬릿을 통과하는 전자의 y축 방향 운동량 불확정도를 나타낸 것이다.



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

<보 기>

ㄱ. Δy는 슬릿에서 전자의 위치 불확정도를 나타낸다.
ㄴ. Δy가 감소하면 Δp_y도 감소한다.
ㄷ. 슬릿을 통과하는 전자의 회절은 전자의 파동성 때문에 나타난다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정 답 ③

해 설

ㄱ. Δy는 슬릿에서 전자의 위치 불확정도를 나타낸다. (O)
ㄴ. Δy가 감소하면 하이젠베르크의 불확정성 원리에 의하여 Δp_y는 증가한다. (X)
(단, Δp_x에는 영향을 미치지 않는다.)
ㄷ. 슬릿을 통과하는 전자의 회절은 전자의 파동성에 의하여 나타난다. (O)

02 2026학년도 9월 1번 정답률 90%

1. 다음은 불확정성 원리에 대한 설명이다.

> 빛을 이용하여 전자의 위치와 운동량을 측정할 때, 빛의 파장이 짧을수록 전자의 [A]의 불확정도 Δx가 감소하고, 전자의 운동량의 불확정도 Δp가 [B]. Δx와 Δp에 대한 불확정성 원리는 다음과 같이 표현된다.
> $\Delta x\,\Delta p \geq h$ (단, h는 플랑크 상수이다.)

A, B로 가장 적절한 것은? [3점]

	A	B
①	위치	증가한다
②	위치	감소한다
③	속도	증가한다
④	속도	감소한다
⑤	에너지	일정하다

정 답 ①

해 설

A: 위치
B: 증가한다