전기장과 전위차

전기장

전하를 띤 두 물체 사이에는 **전기력**이 작용한다. 그림 Ⅱ-1에서 두 전하 사이의 거리를 r, 전하량을 각각 q_1, q_2라고 할 때 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기 F는 다음과 같다.

$$F=k\frac{q_1q_2}{r^2} \quad \text{[단위: N]}$$

이것을 **쿨롱 법칙**이라고 한다. 전기력의 방향은 전하의 종류가 다를 때는 서로 끌어당기는 방향이고, 전하의 종류가 같을 때는 서로 밀어 내는 방향이다.

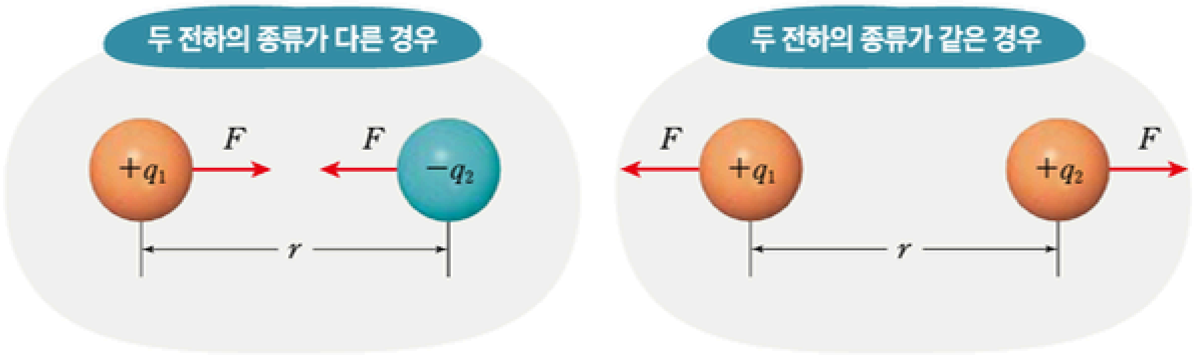
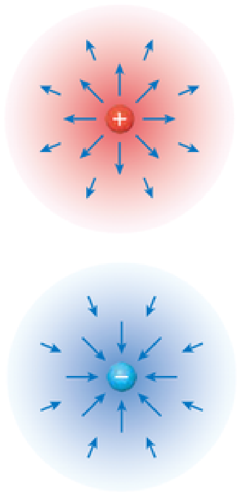


그림 Ⅱ-1 **두 전하 사이의 전기력**

접촉하지 않은 두 전하 사이에 전기력이 어떻게 작용하는 것일까? 전하를 띤 입자는 주위 공간에 **전기장***을 만들고, 전기장 속에 놓인 전하는 전기력을 받는다. 즉, 전기장을 통해 전하들 사이에 서로 전기력이 작용하는 전기적 상호작용이 일어난다.

전기장의 방향과 세기는 전기장 내에 단위 양전하(+1 C)를 놓았을 때 그 전하가 받는 전기력의 방향과 크기로 정의한다.

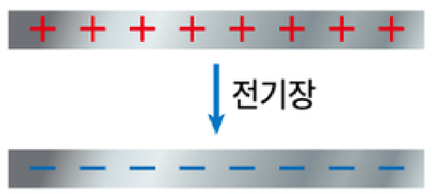
(+)전하 주위에 놓인 단위 양전하에는 밀어 내는 힘이 작용하고, (−)전하 주위에 놓인 단위 양전하에는 끌어당기는 힘이 작용한다. 따라서 전기장의 방향은 (+)전하 주위에서는 전하로부터 멀어지는 방향이고, (−)전하 주위에서는 전하를 향하는 방향이다.



전기장 속의 한 점에 놓인 전하량이 q인 전하가 받는 전기력의 크기가 F일 때 그 점에서 전기장의 세기 E는 전기력의 크기 F를 전하량 q로 나눈 값과 같다.

$$E=\frac{F}{q} \quad \text{[단위: N/C]}$$

1 N/C은 전하량이 +1 C인 전하가 1 N의 전기력을 받을 때 전기장의 세기이다. 다음 활동을 하면서 가상의 공간에 만들어진 전기장을 관찰해 보자.

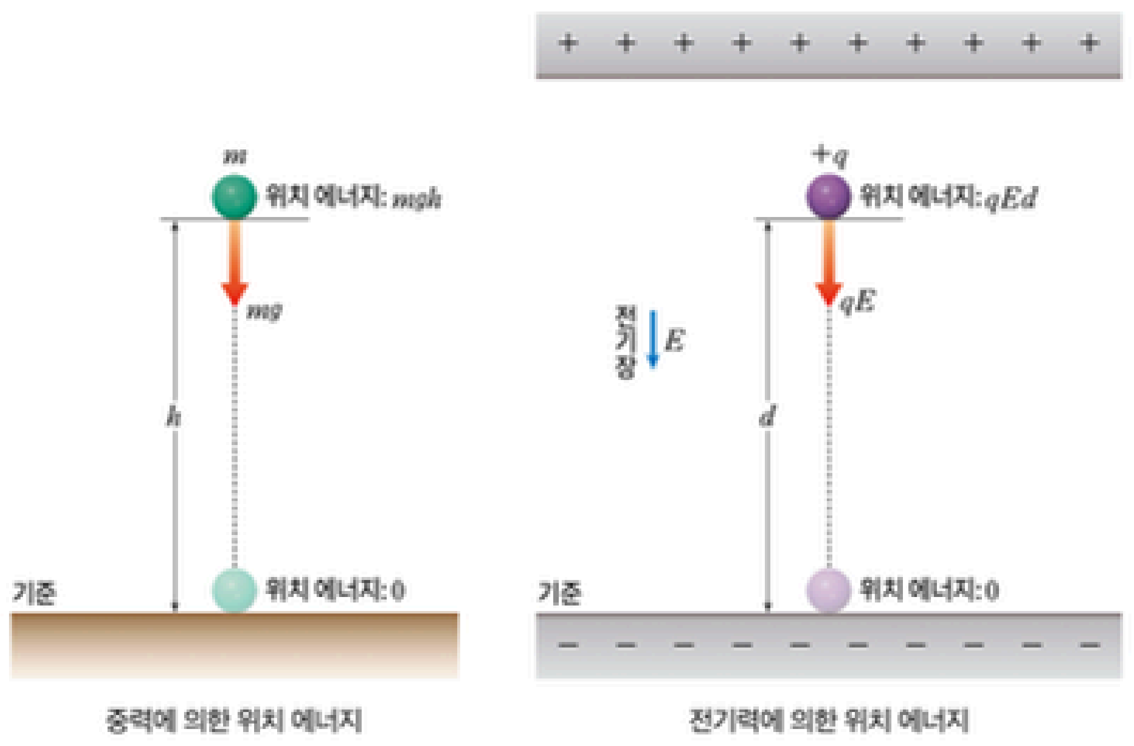


전위와 전위차

질량이 있는 물체가 중력에 의한 위치 에너지를 갖는 것처럼 전하를 띤 물체는 전기장 안에서 **전기력에 의한 위치 에너지**를 갖는다. 그림 II-4는 중력에 의한 위치 에너지와 전기력에 의한 위치 에너지를 비교해 나타낸 것이다. 지표면 근처에서 질량 m인 물체는 연직 아래 방향으로 중력 mg를 받는다. 이 물체를 거리 h만큼 들어 올리기 위해서 물체에 해 준 일 mgh는 중력에 의한 위치 에너지로 저장된다.

아래 방향으로 균일한 전기장 E가 형성된 공간에 있는 전하 $+q$는 전기장의 방향으로 전기력 qE를 받는다. 이 전하를 전기력과 반대 방향으로 거리 d만큼 옮기기 위해 전하에 해 준 일 qEd는 전기력에 의한 위치 에너지 U로 저장된다.

$$U=qEd$$



단위 전하당 전기력에 의한 위치 에너지를 **전위**라고 한다. 전위 V는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V=\frac{U}{q} \quad \text{[단위: V(볼트)]}$$

특히 전기장이 E로 일정할 때 $U=qEd$이므로 $V=Ed$가 성립한다.

전기장 내 두 지점 사이의 전위의 차를 **전위차** 또는 **전압**이라고 한다. 전위는 기준점에 따라 달라지지만, 전위차는 기준점과 관계없다. 전위와 전위차의 단위로 V를 사용한다. 1 V는 1 J/C과 같은 단위이다.

그림 II-5와 같이 (+)전하를 띠는 점전하* 주위에서 전위는 (+)전하에 가까울수록 높다. 임의의 두 지점 A, B에서의 전위가 각각 V_A, V_B일 때 전하량이 q인 (+)전하를 A에서 B로 이동시키는 데 필요한 일을 W라고 하면, A와 B 사이의 전위차 ΔV는 다음과 같다.

$$\Delta V=V_B-V_A=\frac{W}{q}$$

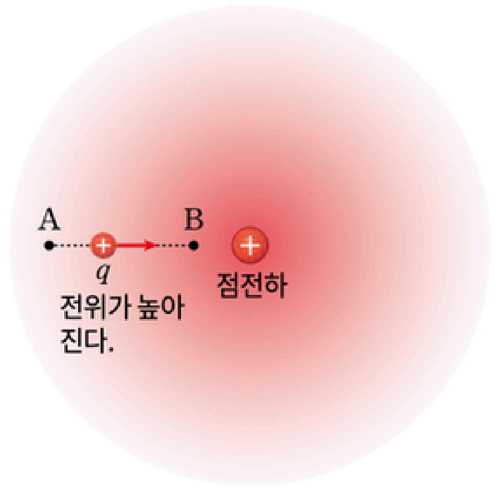
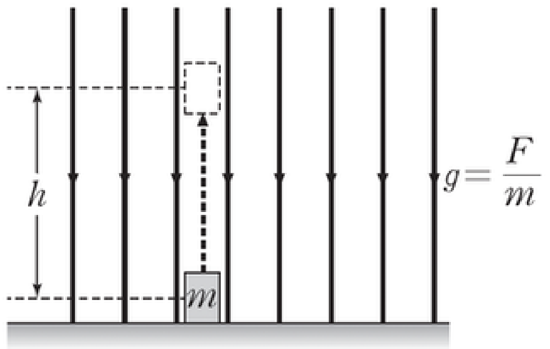
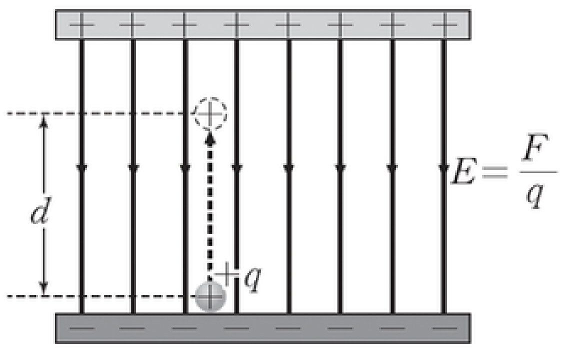


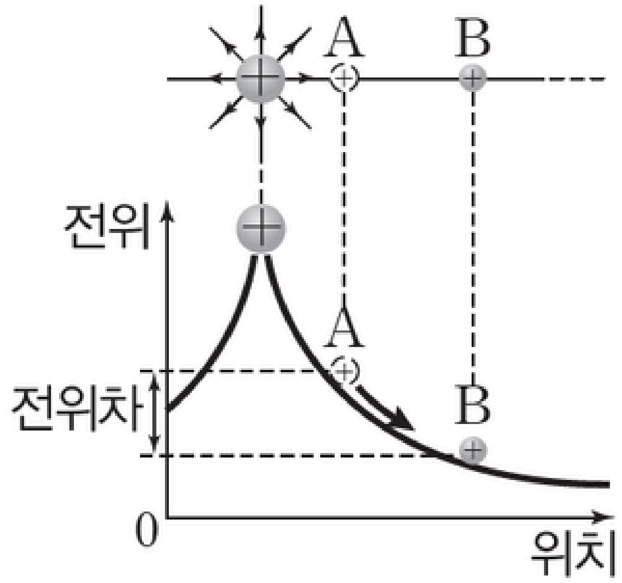
그림 II-5 **전기장 내 A와 B 사이의 전위차**



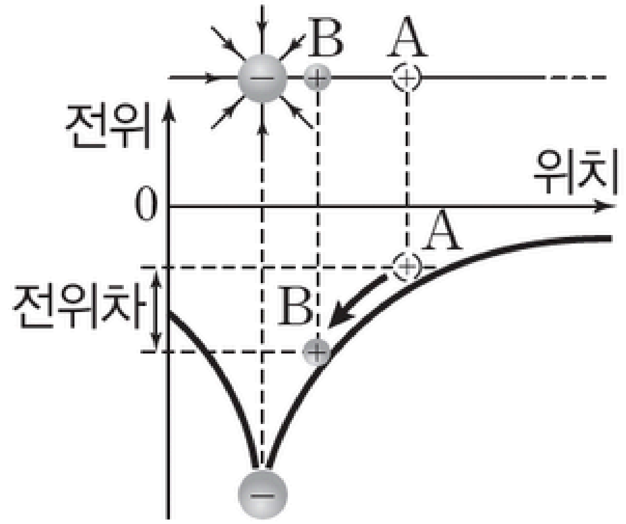
중력장



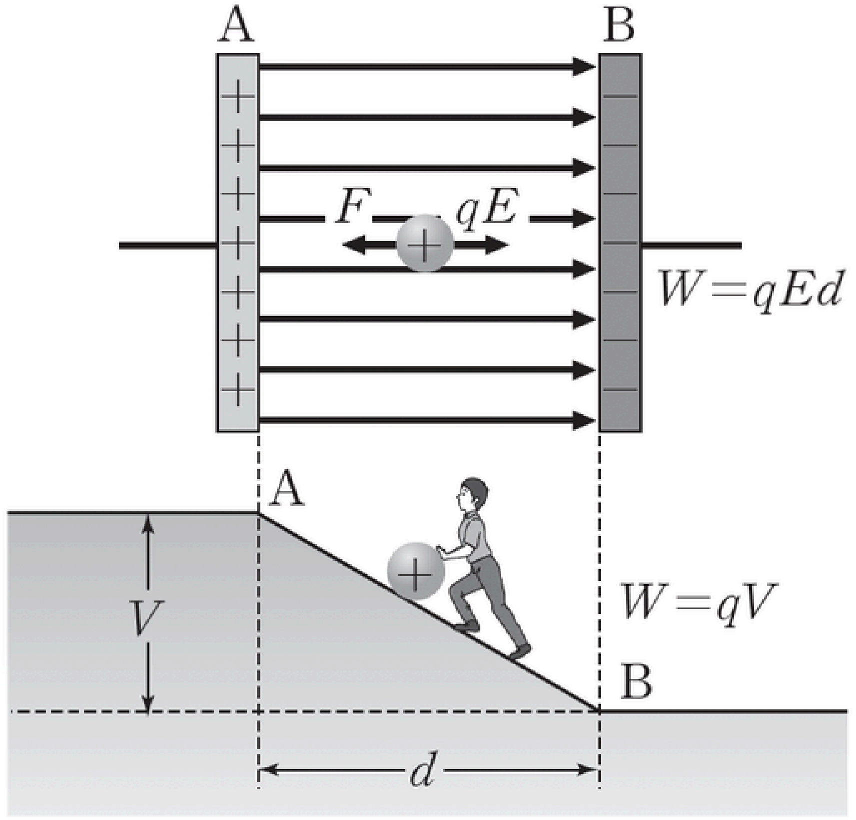
전기장

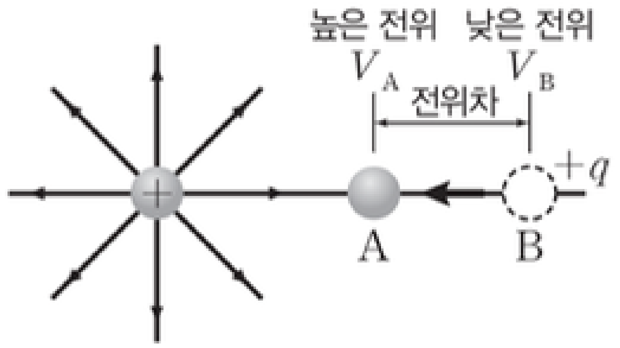


양(+)전하 주위의 전위



음(−)전하 주위의 전위





$$V = V_A - V_B = \frac{W}{q}$$ [단위: J/C 또는 V]

01

그림과 같이 전하량이 각각 $+3q$, $-q$, $+4q$인 점전하 A, B, C가 x축상의 $x=-d$, $x=0$, $x=+2d$인 지점에 고정되어 있다. C가 A와 B로부터 받는 전기력의 크기는 F이다.

A가 B와 C로부터 받는 전기력의 크기는?

① F　② $2F$　③ $3F$　④ $4F$　⑤ $5F$

두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다.

⑤ C가 A와 B로부터 받는 전기력의 크기는

$-k\frac{q^2}{d^2}+k\frac{12q^2}{9d^2}=k\frac{q^2}{3d^2}=F$이고,

A가 B와 C로부터 받는 전기력의 크기는

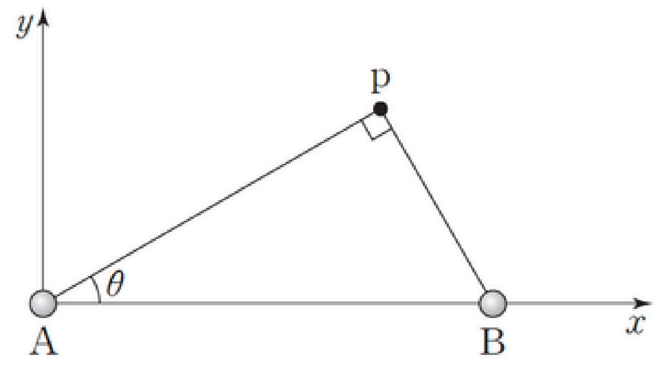
$k\frac{3q^2}{d^2}-k\frac{12q^2}{9d^2}=k\frac{5q^2}{3d^2}=5F$이다.

[별해]

⑤ B와 C 사이와, A와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기를 각각 F_0, $\frac{4}{3}F_0$이라고 하면, $-F_0+\frac{4}{3}F_0=\frac{1}{3}F_0=F$이고, A가 B와 C로부터 받는 전기력의 크기는 $3F_0-\frac{4}{3}F_0=\frac{5}{3}F_0=5F$이다.

02

그림과 같이 xy 평면에서 직각 삼각형의 두 꼭짓점에 점전하 A, B를 고정시켰더니, 꼭짓점 p에서 전기장의 방향은 $+y$ 방향이다. B의 위치에서 A에 의한 전기장의 세기는 E이고, $\tan\theta=\frac{3}{4}$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. A는 음(−)전하이다.

ㄴ. 전하량의 크기는 A가 B의 $\frac{4}{3}$배이다.

ㄷ. p에서 전기장의 세기는 $\frac{4}{3}E$이다.

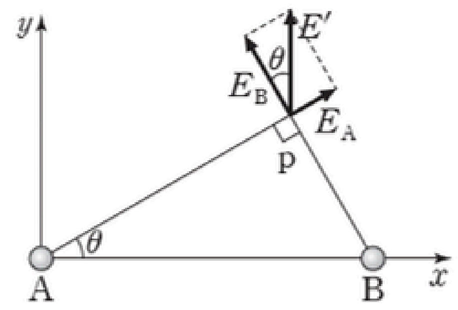
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

전하량의 크기가 Q인 점전하로부터 떨어진 거리가 r인 곳에서 전기장의 세기는 $k\frac{Q}{r^2}$이다.

ㄱ. p에서 전기장의 방향은 $+y$ 방향이므로 A와 B는 모두 양(+)전하이다.

ㄴ. A, B의 전하량의 크기를 각각 q_A, q_B라 하고, A와 p 사이의 거리와 B와 p 사이의 거리를 각각 $4d$, $3d$라고 하면 A, B가 p에 형성하는 전기장의 세기 E_A, E_B는 각각 $E_A=k\frac{q_A}{(4d)^2}$, $E_B=k\frac{q_B}{(3d)^2}$이다. p에서 $+y$ 방향으로 전기장이 형성되려면 $E_A : E_B=3 : 4$가 되어야 한다. 따라서 $k\frac{q_A}{(4d)^2} : k\frac{q_B}{(3d)^2}=3 : 4$가 되어 $q_A : q_B=4 : 3$이다.

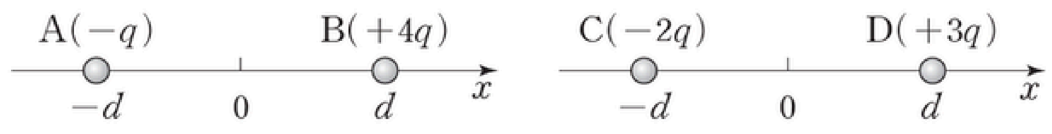
ㄷ. A와 B 사이의 거리는 $5d$이고, A가 B의 위치에 형성하는 전기장의 세기는 $k\frac{q_A}{(5d)^2}=E$이므로 A가 p에 형성하는 전기장의 세기는



$E_A=k\frac{q_A}{(4d)^2}=\frac{25}{16}E$이다. 따라서 p에서 A와 B에 의한 전기장의 세기 E'는 $E'=\frac{5}{3}E_A=\frac{125}{48}E$이다.

03

그림 (가), (나)와 같이 점전하 A, B, C, D가 x축상에 고정되어 있다. A, B, C, D의 전하량은 각각 $-q$, $+4q$, $-2q$, $+3q$이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. (가)와 (나)에서 x축상의 $x=0$인 지점에서 전기장의 세기는 같다.

ㄴ. A가 B에 작용하는 전기력의 크기와 C가 D에 작용하는 전기력의 크기는 같다.

ㄷ. (가)에서 x축상의 $x=-3d$인 지점의 전기장은 0이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

두 전하에 의한 전기장이 0인 지점에서는 각 전하에 의한 전기장의 세기가 같고 방향은 서로 반대이다. 쿨롱 법칙을 적용하면 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하량의 크기의 곱에 비례하고 두 점전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다.

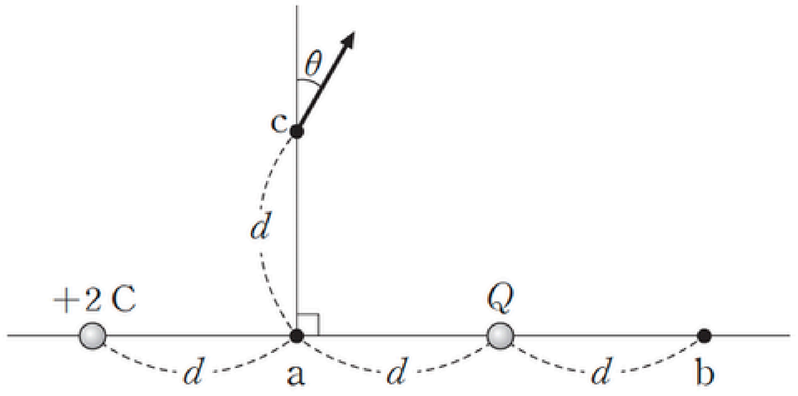
ㄱ. A와 C가 음(−)전하이고, B와 D가 양(+)전하이므로 (가)와 (나)에서 $x=0$인 지점에서 전기장의 방향은 모두 $-x$ 방향이다. A가 $x=0$인 지점에 형성하는 전기장의 세기를 E라고 하면 (가)와 (나)에서 $x=0$인 지점에 형성된 전기장의 세기는 모두 $5E$로 같다.

ㄴ. A가 B에 작용하는 전기력의 크기는 $k\frac{4q^2}{(2d)^2}=k\frac{q^2}{d^2}$이고, C가 D에 작용하는 전기력의 크기는 $k\frac{6q^2}{(2d)^2}=k\frac{3q^2}{2d^2}$이다. 따라서 C가 D에 작용하는 전기력의 크기는 A가 B에 작용하는 전기력의 크기의 1.5배이다.

ㄷ. (가)에서 전기장이 0인 지점은 $x=-d$의 왼쪽에 있다. $x=0$인 지점에서 전기장이 0인 지점까지의 거리를 x_1이라고 하면 $k\frac{q}{(x_1-d)^2}=k\frac{4q}{(x_1+d)^2}$이고, $x_1=3d$가 되어 $x=-3d$인 지점에서 전기장이 0이다.

04

그림과 같이 전하량이 각각 $+2\ \mathrm{C}$, Q인 두 점전하가 거리 $2d$만큼 떨어져 고정되어 있다. 전기장의 세기는 점 a에서가 점 b에서의 3배이고, 점 c에서 전기장의 방향은 a와 c를 잇는 직선과 θ의 각을 이루고, θ는 45°보다 작다.



Q는?

① $-\frac{1}{2}\ \mathrm{C}$ ② $-\frac{1}{3}\ \mathrm{C}$ ③ $+\frac{1}{3}\ \mathrm{C}$

④ $+\frac{1}{2}\ \mathrm{C}$ ⑤ $+2\ \mathrm{C}$

전하량의 크기가 Q인 점전하로부터 떨어진 거리가 r인 곳에서 전기장의 세기는 $k\frac{Q}{r^2}$이다.

③ c에서 전기장의 방향이 a와 c를 잇는 직선과 이루는 각은 θ이고, θ는 45°보다 작으므로 전하량이 Q인 점전하는 양(+)전하이다. a, b에서 두 점전하에 의한 전기장의 세기를 각각 E_{a}, E_{b}라고 하면,

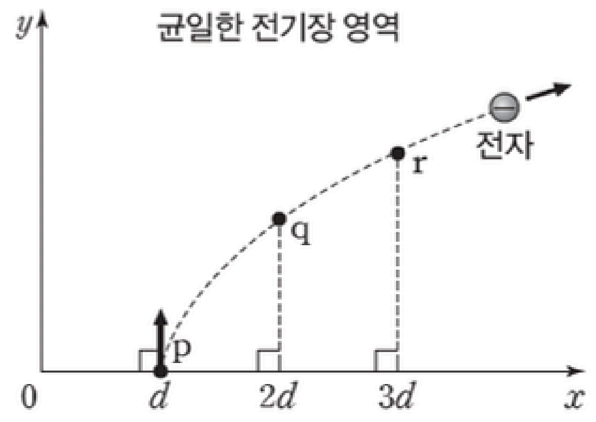
$E_{\mathrm{a}}=\frac{k(+2\ \mathrm{C})}{d^2}-\frac{kQ}{d^2}$, $E_{\mathrm{b}}=\frac{k(+2\ \mathrm{C})}{(3d)^2}+\frac{kQ}{d^2}$이다.

$E_{\mathrm{a}}=3E_{\mathrm{b}}$이므로 $\frac{2k}{d^2}-\frac{kQ}{d^2}=3\left(\frac{2k}{(3d)^2}+\frac{kQ}{d^2}\right)$가 되어

$Q=+\frac{1}{3}(\mathrm{C})$이다.

05

그림은 x축과 나란한 방향의 균일한 전기장이 형성되어 있는 xy 평면상에 $x=d$인 x축상의 점 p에서 $+y$ 방향으로 전자를 입사시켰더니 전자가 점 q, r를 지나는 포물선 운동을 하는 것을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 전기장의 방향은 $+x$ 방향이다.

ㄴ. 전위는 q에서가 r에서보다 높다.

ㄷ. 전기력이 전자에 한 일은 전자가 p에서 q까지 가는 동안과 q에서 r까지 가는 동안에서 같다.

① ㄱ　② ㄴ　③ ㄷ　④ ㄱ, ㄷ　⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

전위와 전위차

단위 양(+)전하가 갖는 전기력에 의한 퍼텐셜 에너지를 전위라 하고, 전자가 등가속도 운동을 할 때 전자가 받는 전기력의 방향과 전기장의 방향은 서로 반대이다.

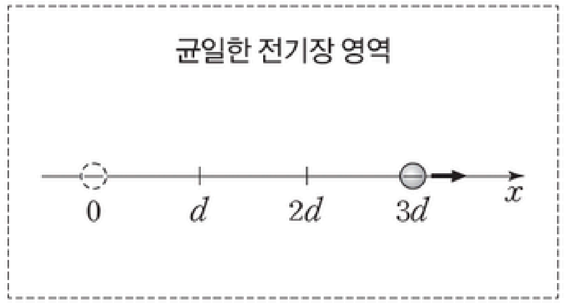
~~ㄱ~~. 전자는 전기장으로부터 $+x$ 방향으로 전기력을 받으므로 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다.

~~ㄴ~~. 양(+)전하는 전위가 높은 점에서 낮은 점으로 전기력을 받고 음(−)전하는 전위가 낮은 점에서 높은 점으로 전기력을 받는다. 음(−)전하인 전자는 $+x$ 방향으로 전기력을 받으므로 전위는 r에서가 q에서보다 높다.

ㄷ. 균일한 전기장의 세기를 E라고 할 때 전기장이 전하량이 q인 전하를 전기장의 방향으로 d만큼 이동시키기 위해 한 일은 $W=Fd=qEd$이다. 따라서 전기력이 전자에 한 일은 전자가 p에서 q까지 가는 동안과 q에서 r까지 가는 동안에서 같다.

06

그림과 같이 균일한 전기장 영역에서 음(−)전하를 x축상의 $x=0$에 가만히 놓았더니 음(−)전하는 $+x$방향으로 등가속도 직선 운동을 하였다. 표는 위치에 따른 음(−)전하의 속력을 나타낸 것이다.



위치	속력
$x=d$	v
$x=2d$	㉠
$x=3d$	㉡

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 전자기파의 발생, 전하의 크기와 모든 마찰은 무시한다.)

〈보기〉

ㄱ. 전기장 영역에서 전기장의 방향은 $-x$방향이다.

ㄴ. $x=0$과 $x=d$ 사이의 전위차는 $x=d$와 $x=3d$ 사이의 전위차의 2배이다.

ㄷ. ㉡은 ㉠의 $\sqrt{3}$배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

전기력이 음(−)전하에 한 일은 음(−)전하의 운동 에너지 증가량과 같다.

ㄱ. 음(−)전하가 $+x$방향으로 운동하므로 전기장 영역에서 전기장의 방향은 $-x$방향이다.

ㄴ. $x=0$과 $x=d$ 사이의 거리는 $x=d$와 $x=3d$ 사이의 거리의 $\frac{1}{2}$배이므로 $x=0$과 $x=d$ 사이의 전위차는 $x=d$와 $x=3d$ 사이의 전위차의 $\frac{1}{2}$배이다($V=Ed$).

ㄷ. 전기력의 크기가 일정하므로 전기력이 한 일은 음(−)전하의 운동 에너지 증가량과 같다. $x=d$에서 음(−)전하의 운동 에너지를 E_0이라 하면, $x=2d$에서 음(−)전하의 운동 에너지는 $2E_0$이므로 ㉠은 $\sqrt{2}v$이다. 또한, $x=3d$에서 음(−)전하의 운동 에너지는 $3E_0$이므로 ㉡은 $\sqrt{3}v$이다. 따라서 ㉡은 ㉠의 $\sqrt{\frac{3}{2}}$ 배이다.