

전기장과 전위차



전기장

전하를 띤 두 물체 사이에는 **전기력**이 작용한다. 그림 II-1에서 두 전하 사이의 거리를 r , 전하량을 각각 q_1, q_2 라고 할 때 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기 F 는 다음과 같다.

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad [\text{단위: N}]$$

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

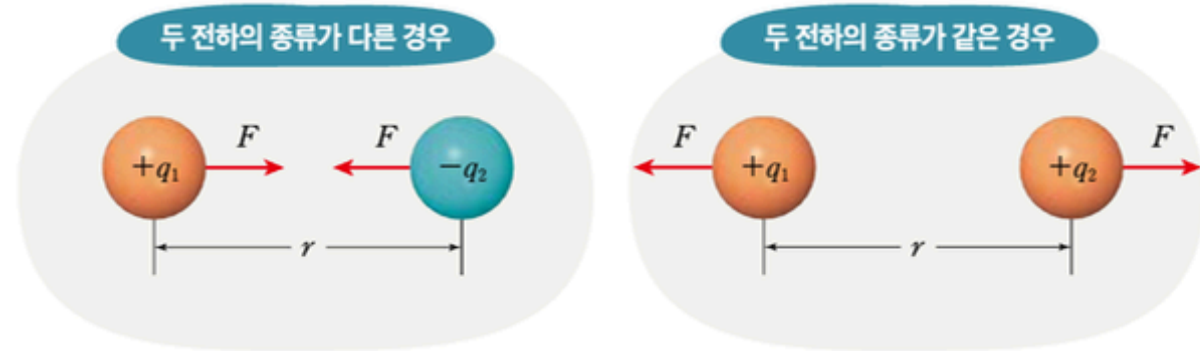


그림 II-1 두 전하 사이의 전기력

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.

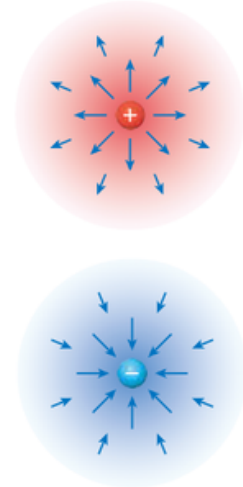
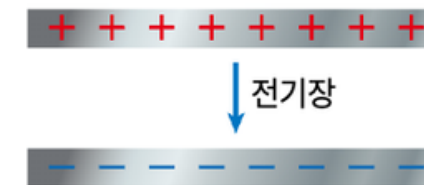
전기장의 방향과 세기는 전기장 내에 단위 양전하(+1 C)를 놓았을 때 그 전하가 받는 전기력의 방향과 크기로 정의한다.

(+)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 q 인 전하가 받는 전기력의 크기가 F 일 때 그 점에서 전기장의 세기 E 는 전기력의 크기 F 를 전하량 q 로 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.

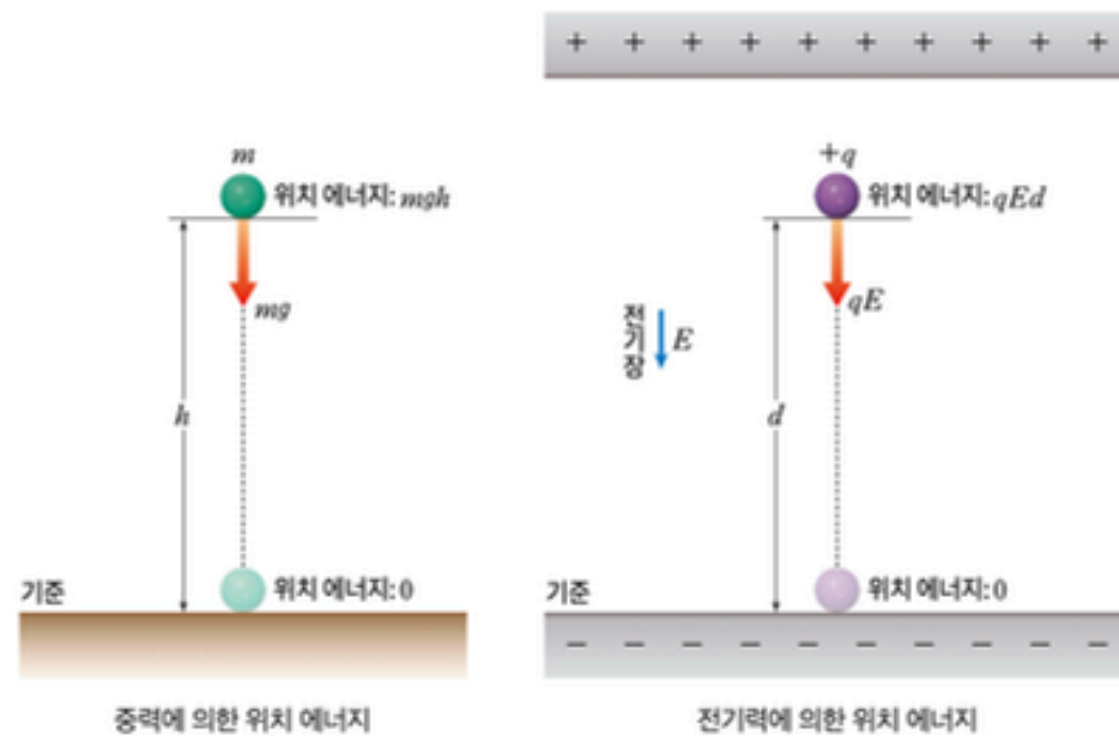


전위와 전위차

질량이 있는 물체가 중력에 의한 위치 에너지를 갖는 것처럼 전하를 띤 물체는 전기장 안에서 전기력에 의한 위치 에너지를 갖는다. 그림 II-4는 중력에 의한 위치 에너지와 전기력에 의한 위치 에너지를 비교해 나타낸 것이다. 지표면 근처에서 질량 m 인 물체는 연직 아래 방향으로 중력 mg 를 받는다. 이 물체를 거리 h 만큼 들어 올리기 위해서 물체에 해 준 일 mgh 는 중력에 의한 위치 에너지로 저장된다.

아래 방향으로 균일한 전기장 E 가 형성된 공간에 있는 전하 $+q$ 는 전기장의 방향으로 전기력 qE 를 받는다. 이 전하를 전기력과 반대 방향으로 거리 d 만큼 옮기기 위해 전하에 해 준 일 qEd 는 전기력에 의한 위치 에너지 U 로 저장된다.

$$U = qEd$$



단위 전하당 전기력에 의한 위치 에너지를 전위라고 한다. 전위 V 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

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

전기장 내 두 지점 사이의 전위의 차를 전위차 또는 전압이라고 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 띤 점전하 주위에서 전위는 (+)전하에 가까울수록 높다. 임의의 두 지점 A, B에서의 전위가 각각 V_A , V_B 일 때 전하량이 q 인 (+)전하를 A에서 B로 이동시키는 데 필요한 일을 W 라고 하면, A와 B 사이의 전위차 ΔV 는 다음과 같다.

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

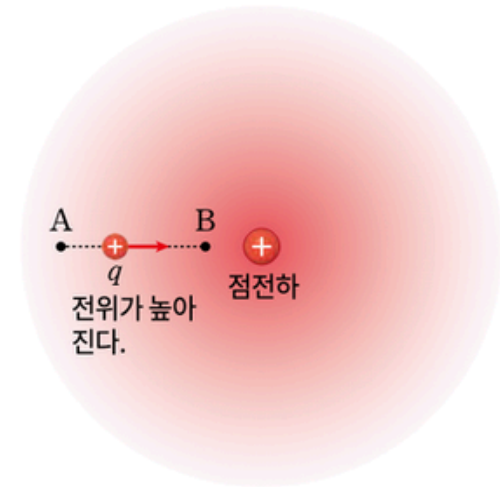
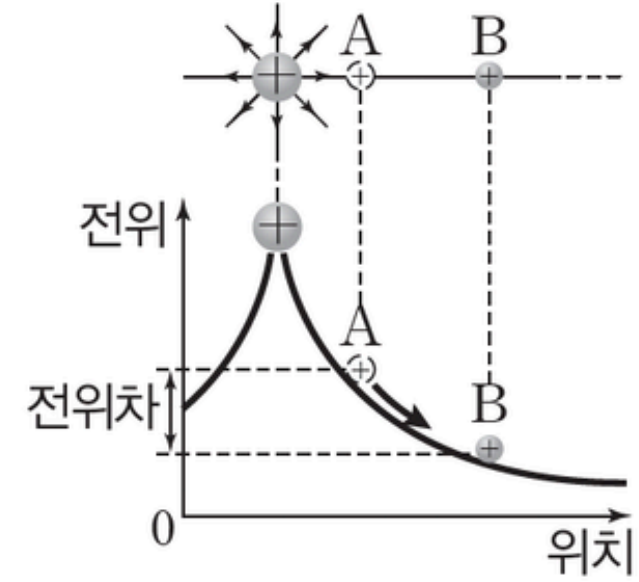
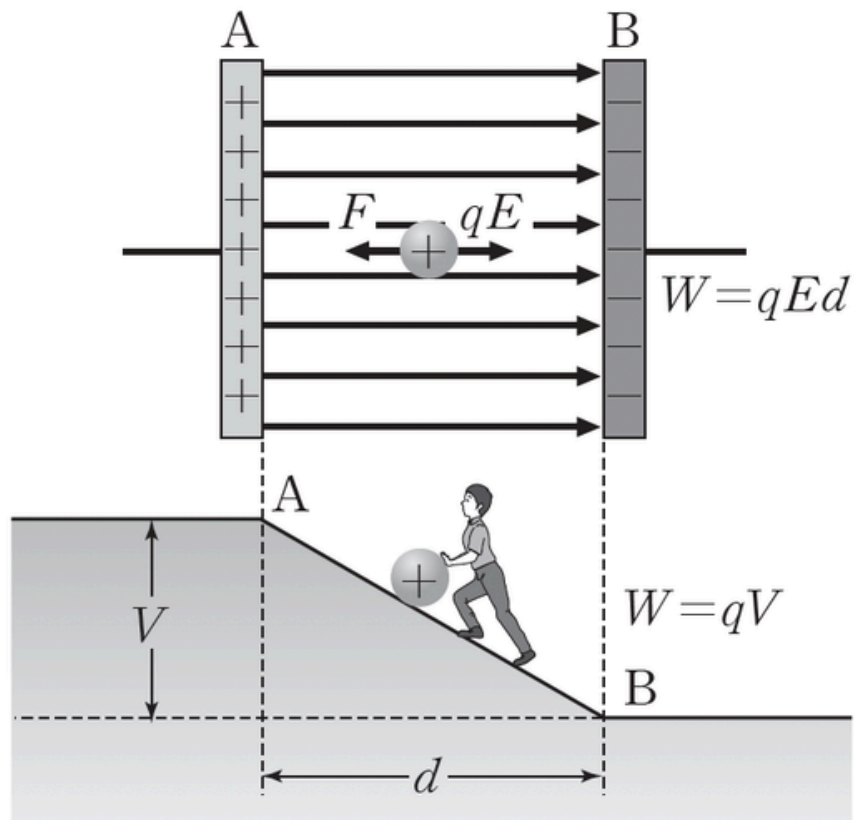
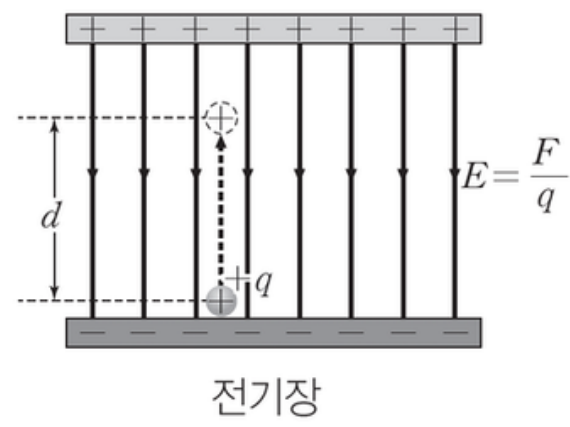
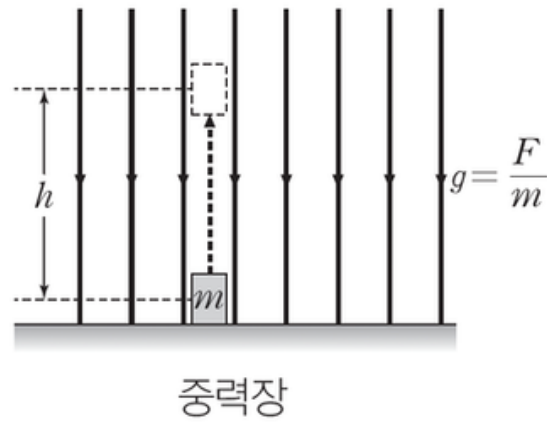
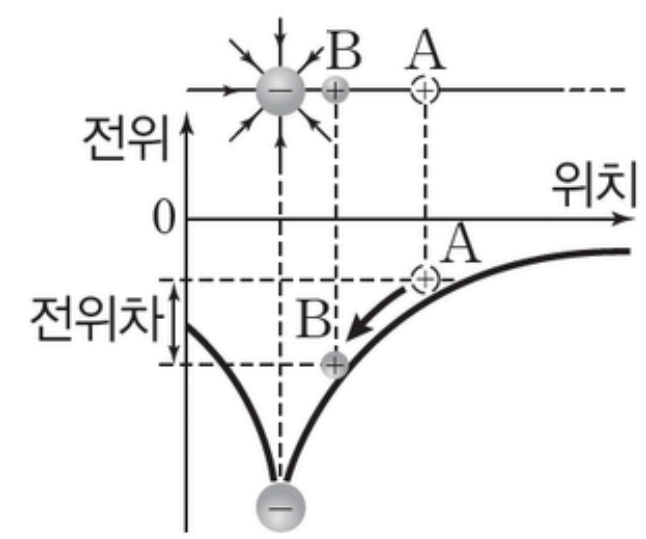


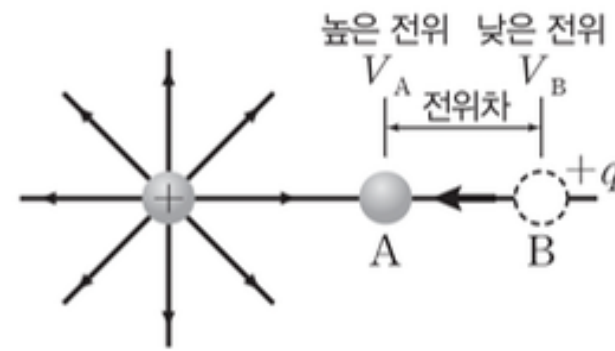
그림 II-5 전기장 내 A와 B 사이의 전위차



양(+)전하 주위의 전위



음(-)전하 주위의 전위

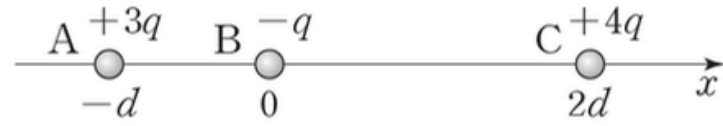


$$V = V_A - V_B = \frac{W}{q} \text{ [단위: J/C 또는 V]}$$



01

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



A가 B와 C로부터 받는 전기력의 크기는?

- ① F ② $2F$ ③ $3F$
 ④ $4F$ ⑤ $5F$



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

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

A가 B와 C로부터 받는 전기력의 크기는

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

[별해]

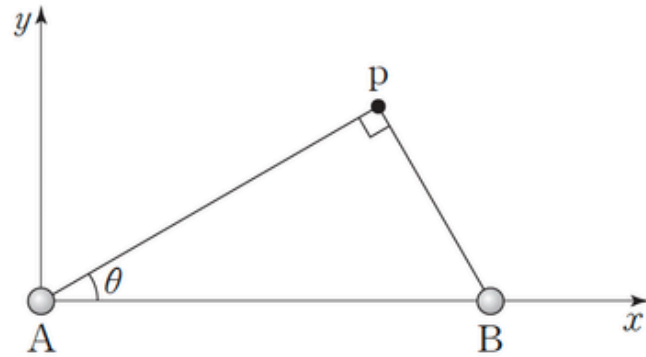
⑤ B와 C 사이와, A와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기를 각각

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 점 전하 A, B를 고정시켰더니, 꼭짓점 p에서 전기장의 방향은 $+y$ 방향이다. B의 위치에서 A에 의한 전기장의 세기는 E 이고, $\tan\theta = \frac{3}{4}$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. A는 음(-)전하이다.
- ㄴ. 전하량의 크기는 A가 B의 $\frac{4}{3}$ 배이다.
- ㄷ. p에서 전기장의 세기는 $\frac{4}{3}E$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



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

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

○. A, B의 전하량의 크기를 각각 q_A, q_B 라 하고, A와 p 사이의 거리와 B와 p 사이의 거리를 각각 $4d, 3d$ 라고 하면 A, B가

p에 형성하는 전기장의 세기 E_A, E_B 는 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.

✕. A와 B 사이의 거리는 $5d$ 이고, A가 B의 위치에 형성하는 전기장의

세기 $k\frac{q_A}{(5d)^2} = E$ 이므로 A

가 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.

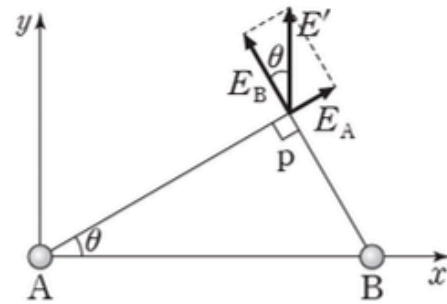
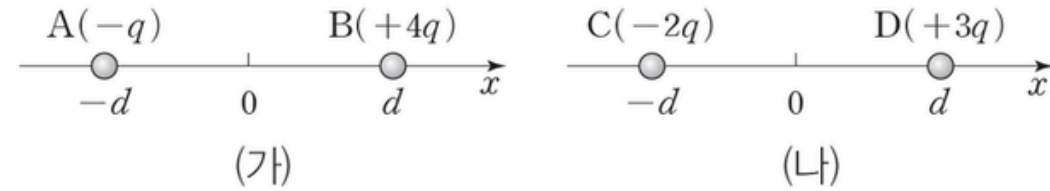


그림 (가), (나)와 같이 점전하 A, B, C, D가 x 축상에 고정되어 있다. A, B, C, D의 전하량은 각각 $-q$, $+4q$, $-2q$, $+3q$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. (가)와 (나)에서 x 축상의 $x=0$ 인 지점에서 전기장의 세기는 같다.
- ㄴ. A가 B에 작용하는 전기력의 크기와 C가 D에 작용하는 전기력의 크기는 같다.
- ㄷ. (가)에서 x 축상의 $x=-3d$ 인 지점의 전기장은 0이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



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.

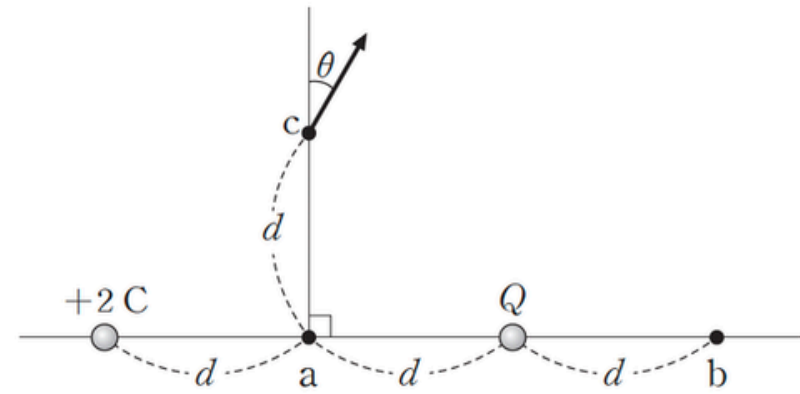
㉠. A와 C가 음(-)전하이므로, B와 D가 양(+)전하이므로 (가)와 (나)에서 $x=0$ 인 지점에서 전기장의 방향은 모두 $-x$ 방향이다. A가 $x=0$ 인 지점에 형성하는 전기장의 세기를 E 라고 하면 (가)와 (나)에서 $x=0$ 인 지점에 형성된 전기장의 세기는 모두 $5E$ 로 같다.

✕. 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.

㉡. (가)에서 전기장이 0인 지점은 $x=-d$ 의 왼쪽에 있다. $x=0$ 인 지점에서 전기장이 0인 지점까지의 거리를 x_1 이라고 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 $+2C$, Q 인 두 점전하가 거리 $2d$ 만큼 떨어져 고정되어 있다. 전기장의 세기는 점 a에서가 점 b에서의 3배이고, 점 c에서 전기장의 방향은 a와 c를 잇는 직선과 θ 의 각을 이루고, θ 는 45° 보다 작다.



Q 는?

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



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

③ c에서 전기장의 방향이 a와 c를 잇는 직선과 이루는 각은 θ 이고, θ 는 45° 보다 작으므로 전하량이 Q 인 점전하는 양(+)
전하이다. a, b에서 두 점전하에 의한 전기장의 세기를 각각 E_a , E_b 라고 하면,

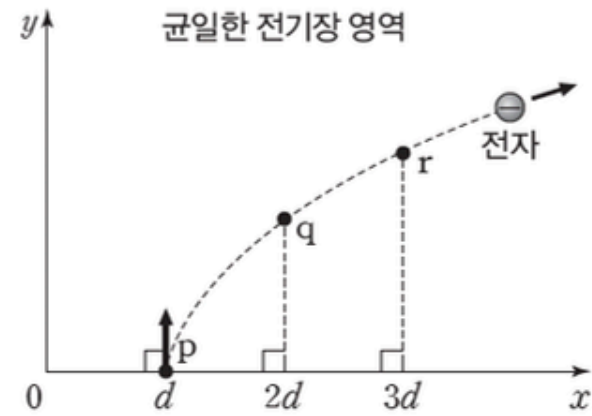
$$E_a = \frac{k(+2C)}{d^2} - \frac{kQ}{d^2}, E_b = \frac{k(+2C)}{(3d)^2} + \frac{kQ}{d^2} \text{이다.}$$

$$E_a = 3E_b \text{이므로 } \frac{2k}{d^2} - \frac{kQ}{d^2} = 3\left(\frac{2k}{(3d)^2} + \frac{kQ}{d^2}\right) \text{가 되어}$$

$$Q = +\frac{1}{3}(C) \text{이다.}$$

05

그림은 x 축과 나란한 방향의 균일한 전기장이 형성되어 있는 xy 평면상에 $x=d$ 인 x 축상의 점 p 에서 $+y$ 방향으로 전자를 입사시켰더니 전자가 점 q , r 를 지나는 포물선 운동을 하는 것을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 전기장의 방향은 $+x$ 방향이다.
- ㄴ. 전위는 q 에서가 r 에서보다 높다.
- ㄷ. 전기력이 전자에 한 일은 전자가 p 에서 q 까지 가는 동안과 q 에서 r 까지 가는 동안에서 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



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.

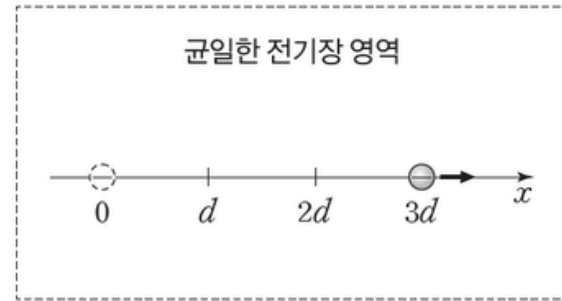
✕. 전자는 전기장으로부터 $+x$ 방향으로 전기력을 받으므로 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다.

✕. 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 r 에서 q 에서보다 높다.

㉠. 균일한 전기장의 세기를 E 라고 할 때 전기장이 전하량이 q 인 전하를 전기장의 방향으로 d 만큼 이동시키기 위해 한 일은 $W = Fd = qEd$ 이다. 따라서 전기력이 전자에 한 일은 전자가 p 에서 q 까지 가는 동안과 q 에서 r 까지 가는 동안에서 같다.

그림과 같이 균일한 전기장 영역에서 음(-)전하를 x 축상의 $x=0$ 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.

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

㉡. $x=0$ 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($V=Ed$).

㉢. 전기력의 크기가 일정하므로 전기력이 한 일은 음(-)전하의 운동 에너지 증가량과 같다. $x=d$ 에서 음(-)전하의 운동 에너지를 E_0 이라 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.

