

24장. 가우스의 법칙 (Gauss's law)

24.1 전기선속

24.2 가우스의 법칙

24.3 다양한 형태의 전하 분포에 대한
가우스의 법칙의 적용

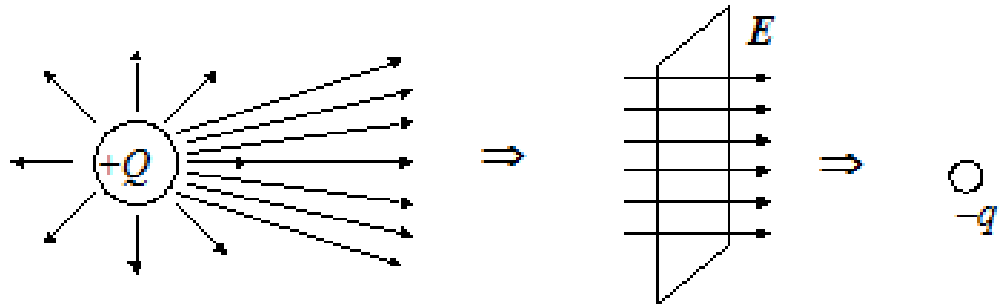
24.4 정전기적 평형 상태의 도체

24.1 전기선속 (Electric Flux)

o A New Look at Coulomb's Law

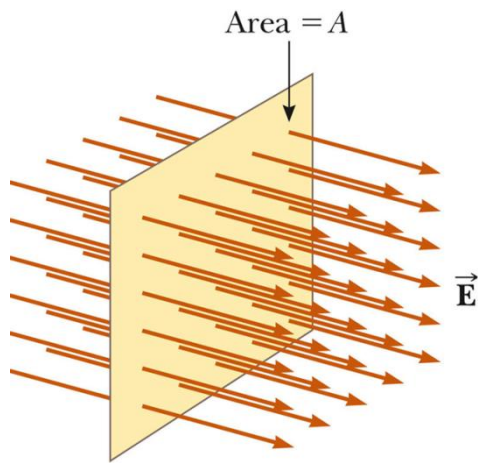
- Coulomb's Law : 전하간의 상호 작용력
→ 각 전하에 의한 전기장의 Vector 합에 의하여 전체 전기장
or 전하간의 상호 작용력을 구한다. ⇒ 복잡하다
- Carl Friedrich Gauss (1777-1855)
German Mathematician and Physicist
- Gauss Surface를 고안
- 전하 Q에 의한 Coulomb Force와 전기장은 같은 방향의 Vector이다.

$$\mathbf{F}_C = q\mathbf{E}$$



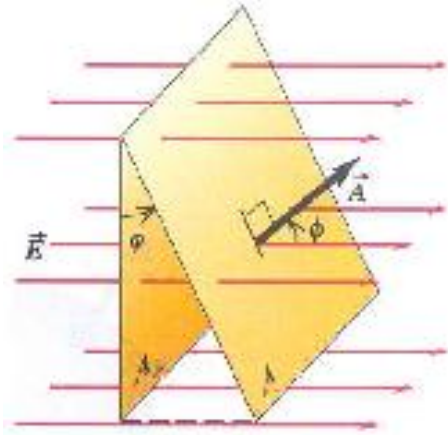
o 전기 선속 Electric Flux :

각각의 전기장 $\mathbf{E}$ 들을 화살표로 표시하면, 마치 Flow의 형태가 된다.
⇒ "전기력선"



○ 전기 선속 Electric Flux :

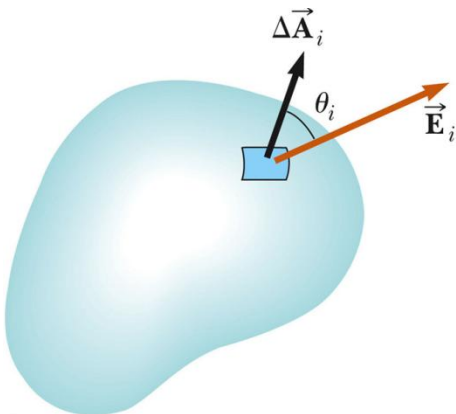
- 전기력선의 정의에 의하면 단위 면적당 전기력선의 수 (면적 선 밀도)는 전기장의 세기에 비례한다.
- 단면 A 를 수직으로 관통하는 전체 전기력선의 수는 전기장의 세기와 면적의 곱인 EA 에 비례한다.



$$\Phi_E = EA \quad \text{전기 선속 (단위: N}\cdot\text{m}^2/\text{C}) \quad (\text{정의})$$

$$\Phi_E = EA_{\perp} = EA \cos \theta$$

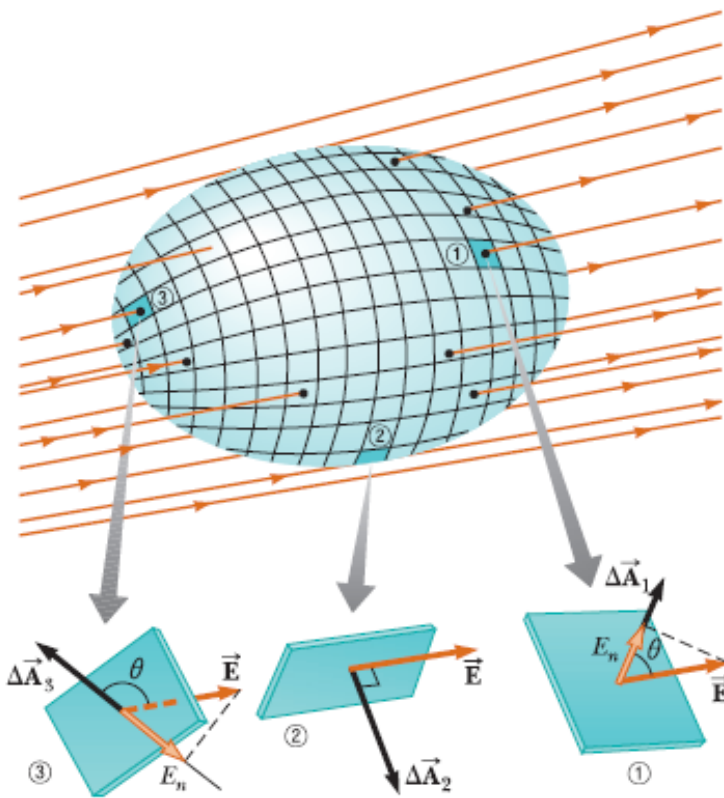
- 일반적으로 전기장은 넓은 면에 걸쳐 변할 수 있다.



$$\Delta\Phi_E = E_i \Delta A_i \cos \theta_i = \mathbf{E}_i \cdot \Delta\mathbf{A}_i$$

$$\Phi_E \approx \sum \mathbf{E}_i \cdot \Delta\mathbf{A}_i \quad \therefore \Phi_E \equiv \int_{\text{surface}} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A}$$

폐곡면을 통과하는 전기 선속을 구하는 것은 아주 중요하다. 여기서 폐곡면이란 어떤 표면이 내부 공간과 외부 공간을 분리하고, 이 표면을 지나지 않고는 한 공간에서 다른 공간으로 이동할 수 없는 그러한 표면을 의미한다.



면적 요소 ①: $\theta < 90^\circ \rightarrow$ 선속은 양(+)의 값

면적 요소 ②: $\theta = 90^\circ \rightarrow$ 선속은 영

면적 요소 ③: $90^\circ < \theta < 180^\circ \rightarrow$

선속은 음(-)의 값

표면을 통과하는 **알짜** 선속은 표면을 통과하는 알짜 전기력선의 수에 비례한다. 알짜 전기력선의 수는 표면을 통과하여 나가는 전기력선 수에서 표면을 통과하여 들어오는 전기력선 수를 뺀 값을 의미한다. **폐곡면에 대한 알짜** 선속은 다음과 같다.

$$\Phi_E = \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \oint E_n dA$$

E_n ; 표면에 수직인 전기장 성분

- Closed Surface 내의 전하가 Q_{in} 이라면,

가우스 법칙 (Gauss's Law) :

$$\Phi_E = \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$$

o Electric Flux (전기선속) 연습 I ($Q_{in}=0$)

예제 24.1 정육면체를 통과하는 선속

균일한 전기장 $\mathbf{E}$ 가 x 축 방향으로 향하고 있다. 그림과 같이 한 변의 길이가 l 인 정육면체의 표면을 통과하는 **알짜 전기 선속**을 구하라.

Sol 전기장의 방향과 평행한 네 면을 통과하는 선속은 0이 된다.

- 직육면체 내부에 전하가 존재하지 않으면 ($Q_{in}=0$),

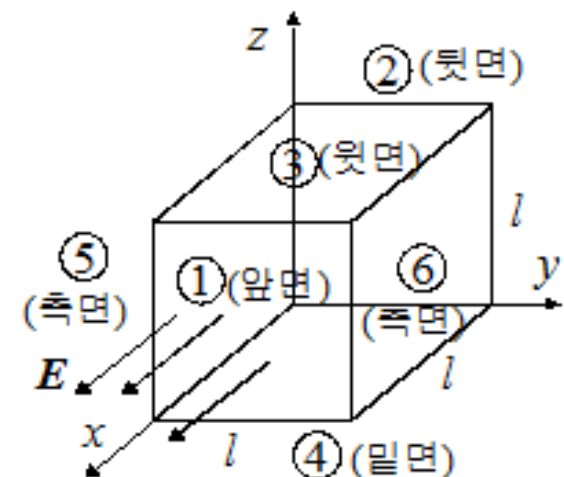
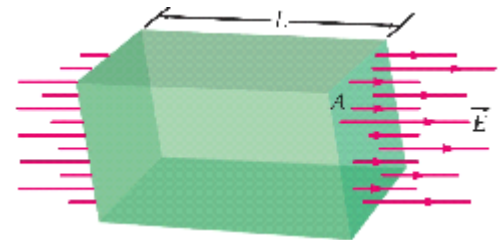
- $\mathbf{E}$ 가 x -축 방향이라면 : y, z -축 방향의 면에서는 (3, 4, 5, 6면) : $\vec{E} \perp \vec{A}_3$

$$\Phi_{E3} = \int \vec{E} \cdot d\vec{A} = \int E dA \cos 90^\circ = 0$$

- Net Electric Flux (전기선속) :

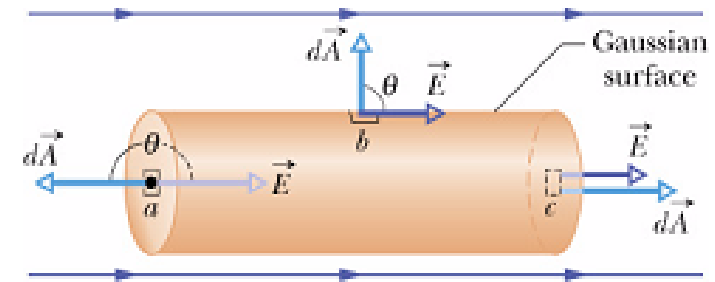
$$\begin{aligned} \Phi_E &= \int_1 \vec{E} \cdot d\vec{A}_1 + \int_2 \vec{E} \cdot d\vec{A}_2 + \int_3 \vec{E} \cdot d\vec{A}_3 \\ &\quad + \int_4 \vec{E} \cdot d\vec{A}_4 + \int_5 \vec{E} \cdot d\vec{A}_5 + \int_6 \vec{E} \cdot d\vec{A}_6 \\ &= \int_1 \vec{E} \cdot d\vec{A}_1 + \int_2 \vec{E} \cdot d\vec{A}_2 \quad (d\vec{A}_1 = -d\vec{A}_2) \\ &= \int_1 E dA \cos 0^\circ + \int_2 E dA \cos 180^\circ \quad (\because \text{서로 반대 방향}) \\ &= EA - EA = 0 \quad \text{or} \quad = El^2 - El^2 = 0 \end{aligned}$$

$\therefore$ Net Electric Flux = 0 when $Q_{in}=0$



Aside Ex Cylinder형 Gauss' Surface

$$\begin{aligned}
 \Phi_E &= \int_1 \vec{E} \cdot d\vec{A}_1 + \int_2 \vec{E} \cdot d\vec{A}_2 + \int_3 \vec{E} \cdot d\vec{A}_3 \\
 &= \int_1 E dA \cos 180^\circ + \int_2 E dA \cos 90^\circ + \int_3 E dA \cos 0^\circ \\
 &= -EA + 0 + EA = 0
 \end{aligned}$$



o Electric Flux (전기선속) 연습 II ($Q_{in} \neq 0$)

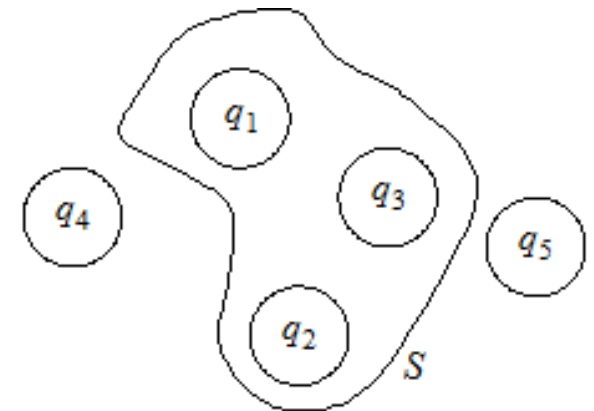
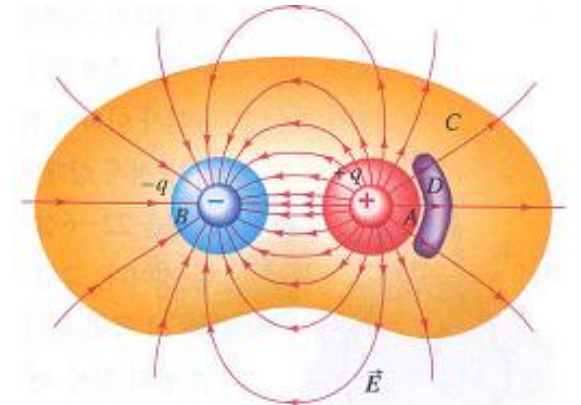
Aside Ex 전기 다발과 둘러싸인 전하

$$\begin{aligned}
 A : Q_{A_{in}} &= +q \quad \rightarrow \quad \Phi_{EA} = \frac{q}{\epsilon_0} \\
 B : Q_{B_{in}} &= -q \quad \rightarrow \quad \Phi_{EB} = \frac{-q}{\epsilon_0} \\
 C : Q_{C_{in}} &= +q - q = 0 \quad \rightarrow \quad \Phi_{EC} = 0 \\
 D : Q_{D_{in}} &= 0 \quad \rightarrow \quad \Phi_{ED} = 0
 \end{aligned}$$

Aside Ex Gauss' Law for Point Charges

$$\begin{aligned}
 q_1 &= q_4 = 3.1 \text{ nC} \quad (\text{nano : } n = 10^{-9}) \\
 q_2 &= q_5 = -5.9 \text{ nC} \quad q_3 = -3.1 \text{ nC} \\
 \Phi_E &= \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0} = \frac{q_1 + q_2 + q_3}{\epsilon_0} \\
 \therefore Q_{enc} &= q_1 + q_2 + q_3 \\
 &= \frac{3.1 \times 10^{-9} \text{ C} \times -5.9 \times 10^{-9} \text{ C} \times -3.1 \times 10^{-9} \text{ C}}{8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2} = -670 \text{ Nm}^2/\text{C}
 \end{aligned}$$

Gauss's Law $\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$



24.2 가우스의 법칙

(Gauss's Law)



가우스

Karl Friedrich Gauss ; 1777~1855

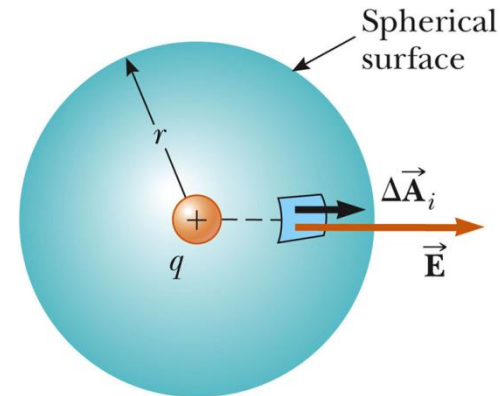
독일의 수학자이자 천문학자

전하를 둘러싸고 있는 폐곡면을 지나는 전기 선속을 고려하자. (가우스 면의 설정이 중요)

전기장의 방향과 면적벡터의 방향은 구면의 모든 점에서 동일하므로

$$\mathbf{E} \cdot \Delta \mathbf{A}_i = E \Delta A_i$$

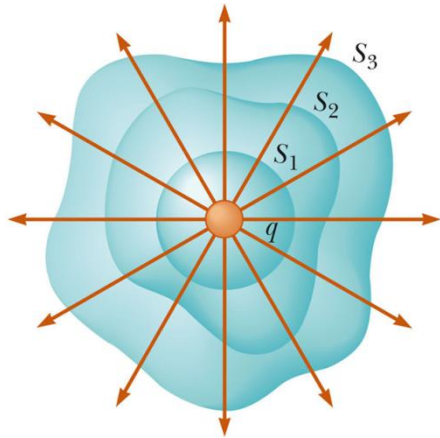
$$\Phi_E = \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \oint E dA = E \oint dA$$



점전하에 의한 전기장에 대한 식과 구의 면적을 대입하면

$$\Phi_E = k_e \frac{q}{r^2} (4\pi r^2) = 4\pi k_e q \quad \therefore \Phi_E = \frac{q}{\epsilon_0}$$

구형의 가우스 면을 통과하는 알짜 선속은 r 의 크기에는 무관하고 가우스 면내의 전하량과 관계된다.

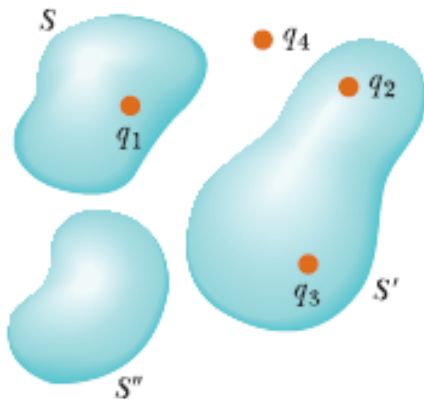
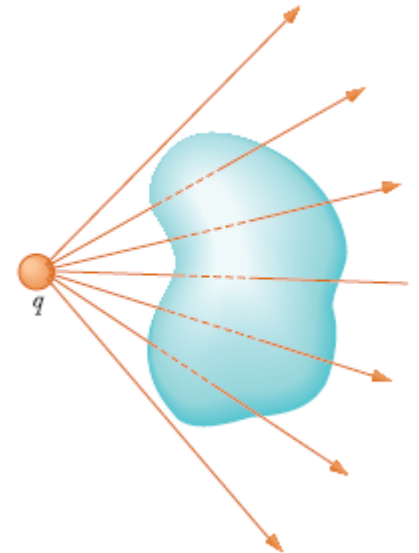


점 전하 q 를 둘러싸고 있는 폐곡면을 지나는 알짜 선속은 폐곡면의 모양에 무관하고, 폐곡면 내의 전하량에만 의존한다고 할 수 있으며, 크기는 항상 q/ϵ_0 으로 주어진다.

전하를 포함하고 있지 않는 폐곡면을 통과하는 알짜 전기선속은 영이 된다.

여러 개의 전하에 의해 만들어진 전기장은 각각의 전하에 의한 전기장들의 벡터합으로 주어진다. 따라서 어떤 폐곡면을 통과하는 선속은

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \oint (\mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \dots) \cdot d\mathbf{A}$$



$$\Phi_E = \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$$

Gauss's law

q_{in} 은 가우스 면 내부에 있는 알짜 전하만을 의미하지만, 전기장 $\mathbf{E}$ 는 가우스 면 내부와 외부에 있는 모든 전하에 의해 만들어지는 전체 전기장이다.

Aside Ex Point Charge Q 에서 거리 r 떨어진 곳에서의 전기장의 세기

o Point Charge Q 에서 반경 r 인 Gaussian Surface를 잡으면
 → 구(Sphere)형 Gaussian Surface

- by Gauss' Law : $\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{in}}{\epsilon_0}$

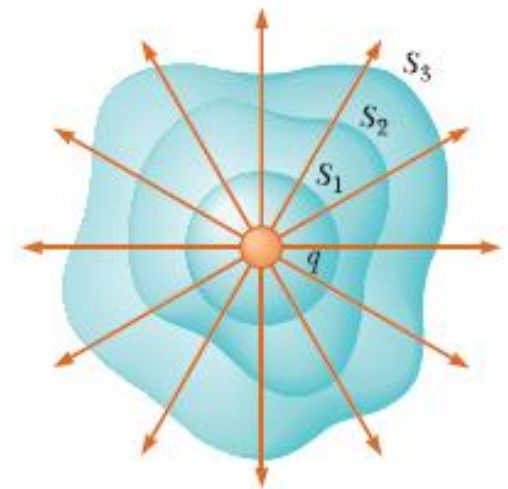
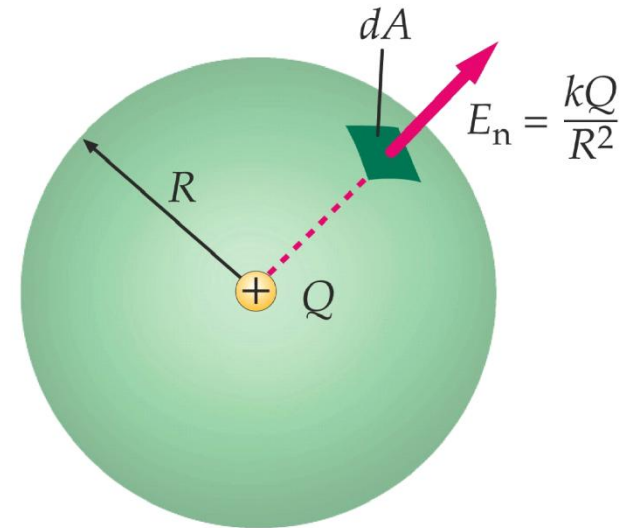
$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \int E_n dA = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$= 4\pi r^2 E \quad \because A = 4\pi r^2$$

$$\therefore \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r}$$

cf) Coulomb Force : consider a test charge q

$$\vec{F} = q\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{r^2} \hat{r}$$



24.3 다양한 형태의 전하 분포에 대한 가우스의 법칙의 응용

(Application of Gauss's Law to Various Charge Distributions)

전하 분포가 매우 대칭적인 경우에는 가우스의 법칙이 전기장을 계산하는데 매우 유용하게 사용된다.

가우스면을 설정할 때, 전하 분포의 대칭성을 이용하면 전기장 E 를 적분 기호 밖으로 낼 수 있어 쉽게 계산할 수 있다.

가우스면을 설정할 때 고려할 사항:

1. 주어진 대칭성 때문에 전기장의 크기가 가우스면 상에서 일정한 크기의 상수가 되는 것을 쉽게 알아볼 수 있는 경우.
2. 전기장 $\mathbf{E}$ 와 면적 요소 벡터 $d\mathbf{A}$ 가 평행하기 때문에 식 (24.6)의 스칼라 곱이 $E dA$ 로 주어지는 경우.
3. $\mathbf{E}$ 와 $d\mathbf{A}$ 가 수직이기 때문에 스칼라곱이 영으로 주어지는 경우.
4. 전기장이 가우스면 상에서 영이 되는 것을 쉽게 알아볼 수 있는 경우.

☆ 예제 24.2 구형 대칭 전하 분포에 의한 전기장 1 (Conductor Sphere)

반지름 R 인 속이 찬 도체 구가 전체 (양)전하 Q 를 가진다.

(A) 구 밖의 한 점에서 전기장을 구하라.

(B) 구 표면의 한 점에서 전기장을 구하고 표면전하 밀도 σ 를 구하라.

(C) 구 내부의 한 점에서 전기장을 구하라.

Sol

- 구의 표면에만 전하 Q 가 균일하게 분포
- Conductor Sphere : 전자의 움직임이 자유롭다
→ 척력에 의해 표면으로 밀린다.

(A) 구의 외부 : $r > R \rightarrow$ 반경 r 인 Gauss' Surface를 잡아주면

$$\text{by Gauss' Law : } \Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{in}}{\epsilon_0}$$

$$\Phi_{E_{out}} = 4\pi r^2 E_{out} = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (\because Q_{enclosed} = Q)$$

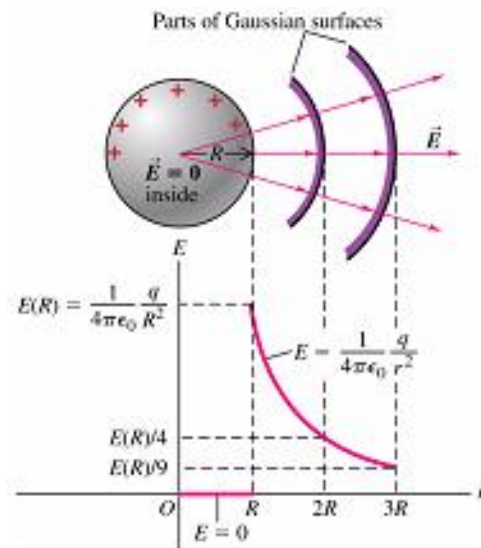
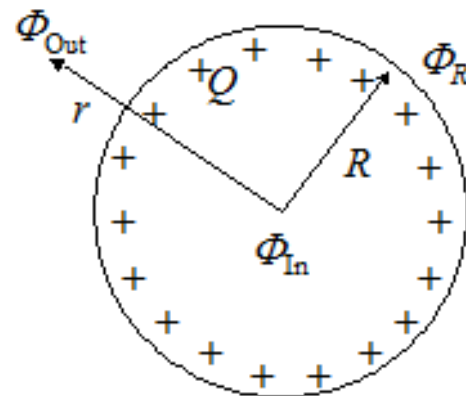
$$\therefore E_r = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \quad \text{or} \quad \vec{E}_{out} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r}$$

(B) 구의 표면 : $r = R \rightarrow$ 반경 R 인 Gauss' Surface를 잡아주면

$$\therefore \vec{E}_{Surface} = \vec{E}_R = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R^2} \hat{r} \quad (\because Q_{enclosed} = Q) \quad \sigma = \frac{Q}{Area} = \frac{Q}{4\pi R^2}$$

(C) 구의 내부 : $r < R \rightarrow$ 반경 r 인 Gauss' Surface를 잡아주면

$$\therefore \vec{E}_{in} = 0 \quad (\because Q_{enclosed} = 0)$$

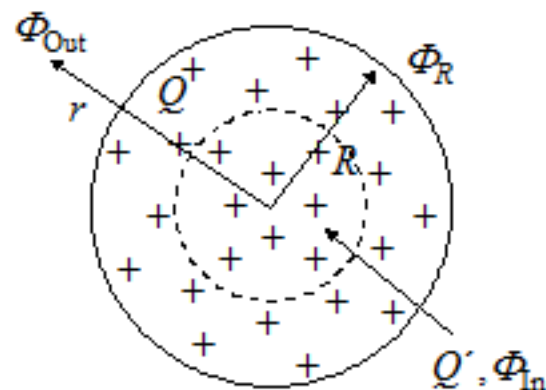


☆ 예제 24.2 구형 대칭 전하 분포에 의한 전기장 2 (Insulator Sphere)

반지름 R 인 속이 찬 부도체 구가 전체 (양)전하 Q 를 가진다.

- (A) 구 밖의 한 점에서 전기장을 구하라.
- (B) 구 표면의 한 점에서 전기장을 구하라.
- (C) 구 내부의 한 점에서 전기장을 구하라.

Sol - Insulator : 전하의 움직임이 구속된다.
→ 전하는 구의 내부에 균일하게 분포



(A) 구의 외부 : $r > R$ by Gauss' Law : $\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{in}}{\epsilon_0}$

$$\Phi_{E_{out}} = 4\pi r^2 E_{out} = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (\because Q_{enclosed} = Q)$$

$$\therefore E_r = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \quad \text{or} \quad \vec{E}_{out} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r}$$

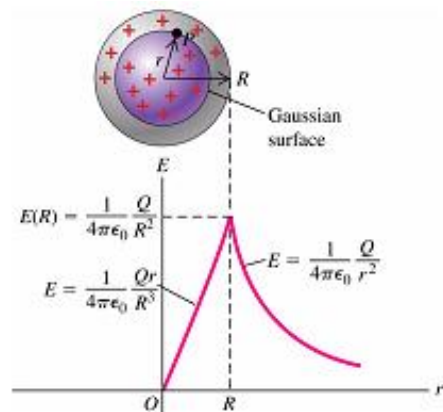
(B) 구의 표면 : $r = R$ $\therefore \vec{E}_{Surface} = \vec{E}_R = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R^2} \hat{r} \quad (\because Q_{enclosed} = Q)$

(C) 구의 내부 : $r < R \rightarrow$ 반경 r 인 Gauss' Surface를 잡아주면

$$\frac{Q}{Q} = \frac{(4/3)\pi r^3 \rho}{(4/3)\pi R^3 \rho} = \frac{r^3}{R^3} \Rightarrow Q = \frac{r^3}{R^3} Q$$

$$\Phi_{E_{in}} = \oint_S \vec{E}_{in} \cdot d\vec{A} = \frac{Q'}{\epsilon_0} = 4\pi r^2 E_{in}$$

$$\therefore \vec{E}_{in} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{r^3 Q}{R^3} \hat{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{rQ}{R^3} \hat{r} \propto r$$





예제 24.3

원통형 대칭 전하 분포에 의한 전기장 (Cylindrical Symmetry)

단위 길이당 양(+) 전하가 λ 의 크기로 균일하게 대전되어 있는 무한히 길고 곧은 도선으로부터 거리가 r 만큼 떨어진 점에서의 전기장을 구하라.

Sol - Cylindrical Gaussian Surface

by Gauss' Law : $\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{in}}{\epsilon_0}$

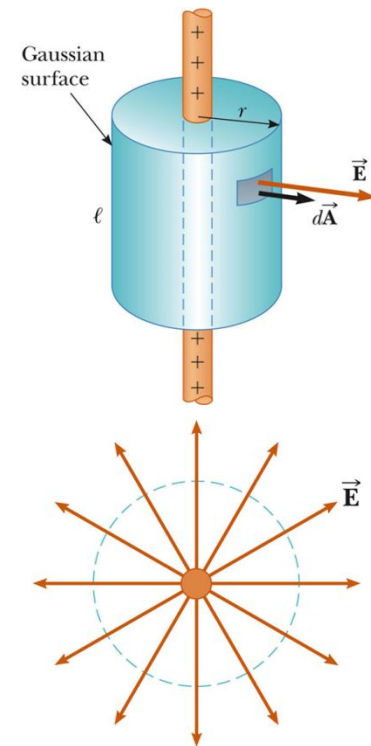
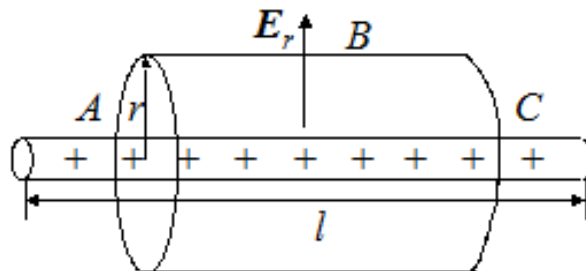
$$\Phi_E = \Phi_A + \Phi_B + \Phi_C = \int E_A dA_A + \int E_B dA_B + \int E_C dA_C$$

$$\rightarrow \Phi_A = \Phi_C = 0 \quad (\because \vec{E} \perp \vec{A}) \quad \therefore E_A + E_C = 0$$

(or by symmetry, No θ , ϕ -dependent, r -component only)

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \int E_B dA_B = E_B 2\pi r l = \frac{Q}{\epsilon_0} = \frac{\lambda l}{\epsilon_0}$$

$$\therefore E_r = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\lambda}{r} \propto \frac{1}{r}$$



☆ 예제 24.4 절연체 판에 대전된 전하 (Non-Conducting Sheet)

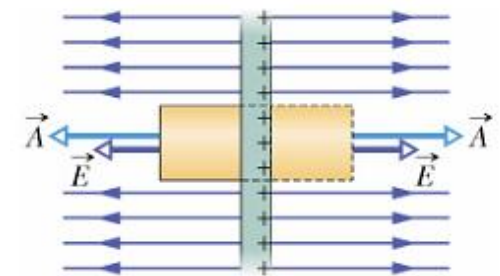
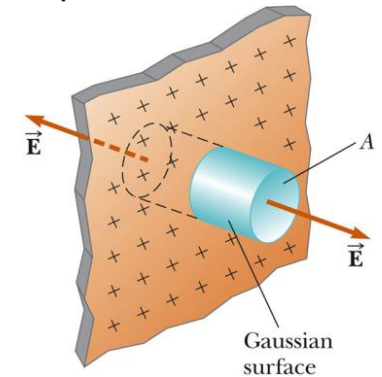
단위 길이당 양(+) 전하가 λ 의 크기로 균일하게 대전되어 있는 무한히 길고 곧은 도선으로부터 거리가 r 만큼 떨어진 점에서의 전기장을 구하라.

Sol
$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \vec{E}_{\rightarrow} \cdot \vec{A}_{\rightarrow} + \vec{E}_{\leftarrow} \cdot \vec{A}_{\leftarrow}$$

$$= \frac{Q}{\epsilon_0} = \frac{\sigma A}{\epsilon_0} = 2EA$$

$$\therefore E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \quad (\because E_{\rightarrow} A_{\rightarrow} = E_{\leftarrow} A_{\leftarrow})$$

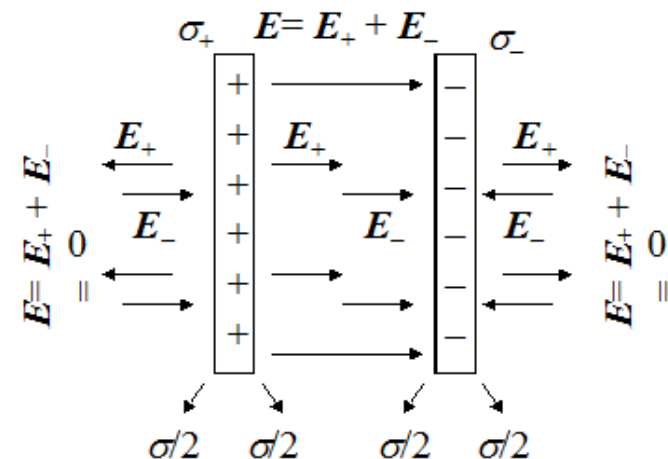
평면판 전하의 경우 마치 양쪽에 균일한 전하 밀도 $\sigma' = \frac{\sigma}{2}$ 가 둘 존재하는 것 같다.



Aside Ex Two Non-Conducting Plates

- Plates 외부에서의 전기장 = 0 :
- Two Plates 사이의 전하 밀도 : $\frac{\sigma}{2} + \frac{\sigma}{2} = \sigma$
- $\therefore$ Two Plates 사이의 전기장 :

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

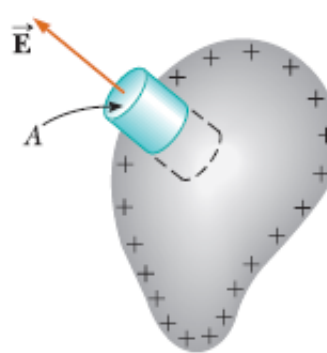
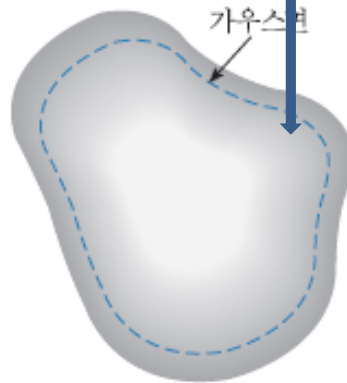
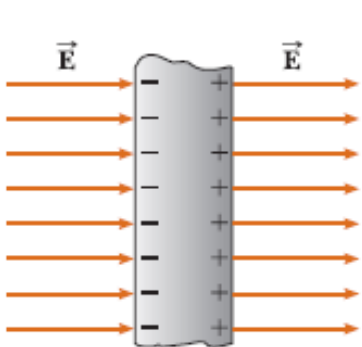


24.4 정전기적 평형 상태의 도체

(Conductors in Electrostatic Equilibrium)

만약 도체 내에서 이들 전하의 알짜 운동이 없는 경우, 도체는 정전기적 평형 상태(electrostatic equilibrium)에 있다고 한다.

1. 도체 내부가 차 있거나 비어 있거나 상관없이, 도체 내부의 어느 위치에 서나 전기장은 영이다.
2. 고립된 도체에 생긴 과잉 전하는 도체 표면에만 분포한다.
3. 대전되어 있는 도체 표면 바로 바깥의 전기장은 도체 표면에 수직이고 σ/ϵ_0 의 크기를 갖는다. 여기서 σ 는 표면 전하 밀도이다.
4. 불규칙한 모양을 가지는 도체인 경우, 표면 전하 밀도는 면의 곡률 반지름이 가장 작은 곳, 즉 뾰족한 점에서 가장 크다.



$$\Phi_E = \oint E dA = EA = \frac{q_{in}}{\epsilon_0} = \frac{\sigma A}{\epsilon_0}$$

$$\therefore E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

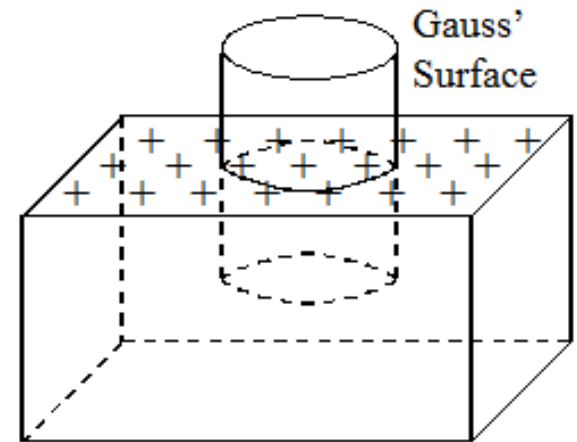
Aside Ex 직육면체(도체)의 한 표면에만 전하밀도 σ 가 존재하는 경우

- 전하가 있는 면을 포함하는 Cylindrical Gauss' Surface
- Gauss' Surface내의 전하 밀도

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = EA$$

$$= \frac{q_{\text{enclosed}}}{\epsilon_0} = \frac{\sigma A}{\epsilon_0}$$

$$\therefore E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (\text{도체 표면에서의 전기장!})$$



Aside Ex 반경 R , 표면전하 σ 인 도체구의 표면에서의 전기장

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R^2} \quad \rightarrow \quad \sigma = \frac{Q}{\text{Area}} = \frac{q}{4\pi R^2}$$

$$\therefore E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad \text{만족}$$

Aside Ex 지구의 전기장 : 지구 표면의 평균 전기장 = $-150 N/C$

a) 지구 표면의 전하 밀도

$$\begin{aligned}\sigma &= \epsilon_0 E = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/N\text{m}^2 \times (-150 N/C) \\ &= -1.33 \times 10^{-9} \text{ C/m}^2 = -1.33 \text{ nC/m}^2\end{aligned}$$

b) 지구 표면의 총 전하량 ($R_E = 6.38 \times 10^6 m$)

$$\begin{aligned}Q &= \sigma \times Area = 4\pi R^2 \sigma = 4\pi \times (6.38 \times 10^6 m)^2 \times (-1.33 \times 10^{-9} \text{ C/m}^2) \\ &= -6.8 \times 10^9 C = -680 kC\end{aligned}$$

c) 전하의 개수

$$N_e = \frac{Q}{e} = \frac{-6.8 \times 10^9 C}{-1.6 \times 10^{-19} C} = 4.2 \times 10^{24} \text{ 개의 과잉 전자}$$

→ 지구 대기권에 같은 수의 "+" 전하 (c) 전자 부족) ⇒ 전체는 중성 :
c) 번개 !

☆ **예제 24.5** 구 껍질(Spherical Shell) 내의 구 (교재 참고)

양전하 $2Q$ 로 대전된 반지름이 a 인 도체 구가, $-Q$ 로 대전되어 있는 안쪽 반지름이 b 이고 바깥쪽 반지름이 c 인 도체 구 껍질의 중심에 위치하고 있다. 가우스의 법칙을 이용하여 그림에 표기된 영역 ①, ②, ③, ④에서의 전기장을 구하고, 정전기적 평형 상태에 있는 구 껍질의 전하 분포에 대하여 설명하라.

Sol

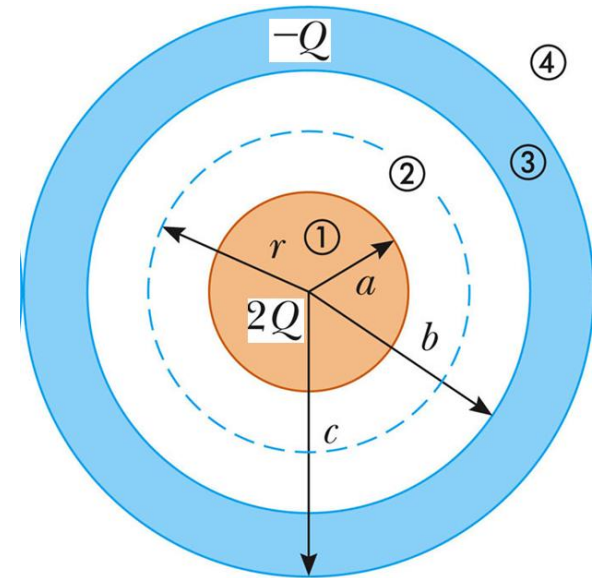
- i) $r < a$: 반경 a 인 도체구의 내부 :
 도체에서는 표면에만 전하가 분포 $\Rightarrow$ 내부 전하 = 0

$$\Phi_{r < a} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \int E_n dA = \frac{q_{enc}}{\epsilon_0} = 0$$

$$\therefore E_{r < a} = 0$$

- ii) $a < r < b$: 반경 r 인 Gauss' Surface 내부의 전하량 $\rightarrow q_{in} = 2Q$

$$\begin{aligned} \Phi_{a \leq r \leq b} &= \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \int E_n dA = E_{a \leq r \leq b} A = E_{a \leq r \leq b} 4\pi r^2 \\ &= \frac{q_{enc}}{\epsilon_0} = \frac{2Q}{\epsilon_0} \qquad E_{a \leq r \leq b} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2Q}{r^2} = k \frac{2Q}{r^2} \end{aligned}$$



iii) $r > c$: 도체구각의 외부

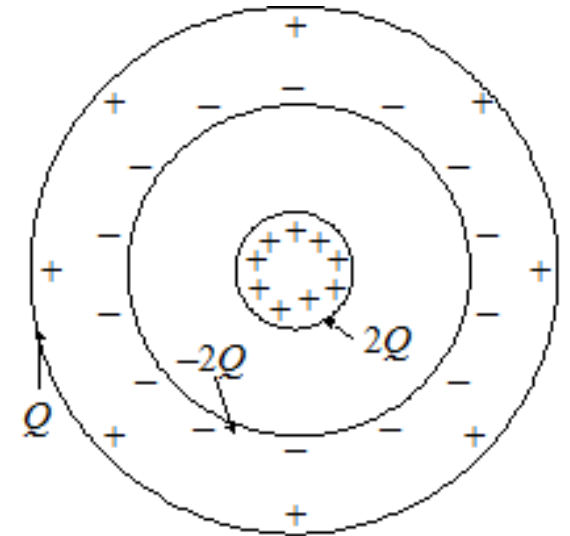
- Gauss' Surface 내부의 전하량 $\rightarrow q_{in} = 2Q - Q = Q$

$$E_{r \geq c} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} = k \frac{Q}{r^2}$$

iv) $b < r < c$: 도체 구각의 내부

- 도체 내부에서의 전하량 = 0

$$E_{b < r < c} = 0$$



cf) v) $r = a$: 구의 표면

$$\sigma_a = \frac{2Q}{4\pi a^2}$$

vi) $r = b$: 구각 내부면

$\rightarrow$ 내부 도체구의 $2Q$ 에 의하여, $r = b$ 에는 $-2Q$ 의 전하가 모인다

$$\sigma_b = \frac{-2Q}{4\pi b^2}$$

vii) $r = c$: 구각의 외부면

$\rightarrow r = b$ 에 있는 $-2Q$ 의 전하에 대하여 $+Q$ 의 전하 분포

$$\sigma_c = \frac{Q}{4\pi c^2}$$