二. 库仑定律

1. 点电荷

当带电体的大小、形状 与带电体间的距离相比可以忽略时，就可把带电体视为一个带电的几何点。(一种理想模型)

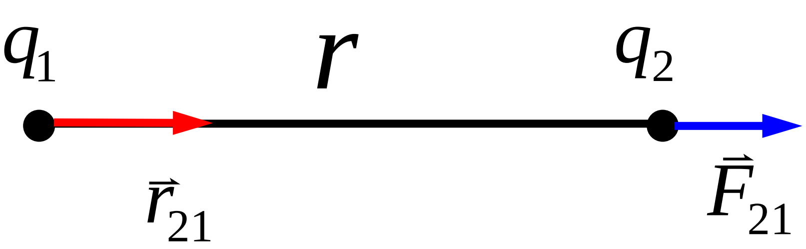
2. 库仑定律

处在静止状态的两个点电荷，在真空（空气）中的相互作用力的大小，与每个点电荷的电量成正比，与两个点电荷间距离的平方成反比，作用力的方向沿着两个点电荷的连线。

电荷q_1对q_2的作用力F_{21}

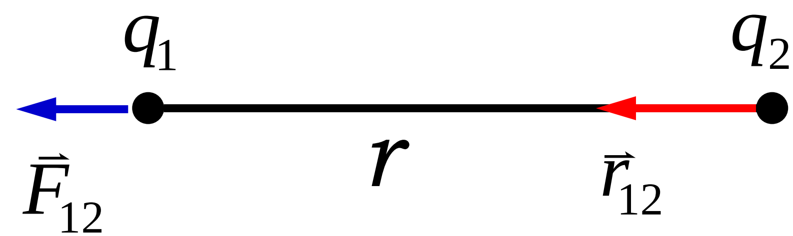
$$F_{21} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$\vec{F}_{21} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}\vec{r}_{21}^{\,0}$$



9.1 电荷　库仑定律

电荷q_2对q_1的作用力F_{12}



$$\vec{F}_{12}=k\frac{q_1q_2}{r^2}\vec{r}_{12}^{\,0}$$

$$k=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$$

ε_0　　真空中的电容率（介电常数）

$$\varepsilon_0=8.854\ 187\ 82\times10^{-12}\ \mathrm{F/m}$$

$$\boxed{\vec{F}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{r^2}\vec{r}^{\,0}}$$

讨论：

(1) 库仑定律适用于真空中的点电荷；

(2) 库仑力满足牛顿第三定律；

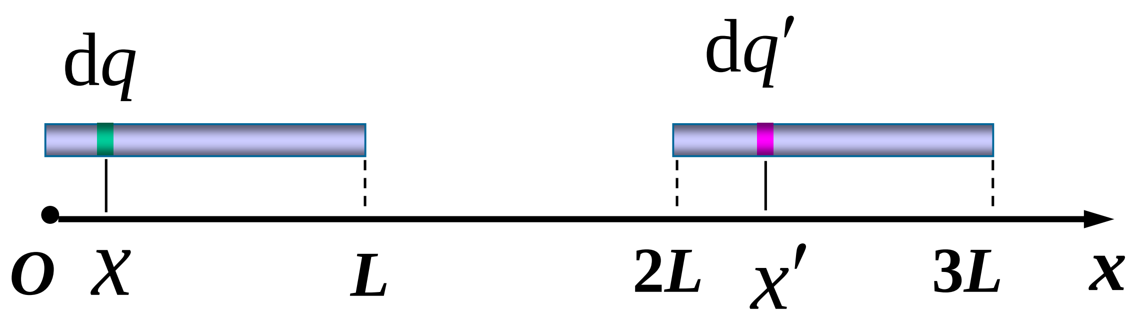
(3) 一般 $F_{电}>>F_{万}$

例 已知两杆电荷线密度为λ，长度为L，相距L

求 两带电直杆间的电场力。

解 $\mathrm{d}q = \lambda \mathrm{d}x$

$\mathrm{d}q' = \lambda \mathrm{d}x'$



$$\mathrm{d}F = \frac{\lambda \mathrm{d}x \lambda \mathrm{d}x'}{4\pi\varepsilon_0 (x' - x)^2}$$

$$F = \int_{2L}^{3L} \mathrm{d}x' \int_0^L \frac{\lambda^2 \mathrm{d}x}{4\pi\varepsilon_0 (x' - x)^2} = \frac{\lambda^2}{4\pi\varepsilon_0} \ln\frac{4}{3}$$

定义：电场中某点的电场强度的大小等于单位电荷在该点受力的大小，其方向为正电荷在该点受力的方向。

$$\boxed{\vec{E}=\frac{\vec{F}}{q_0}}$$

三. 电场强度叠加原理

点电荷的电场

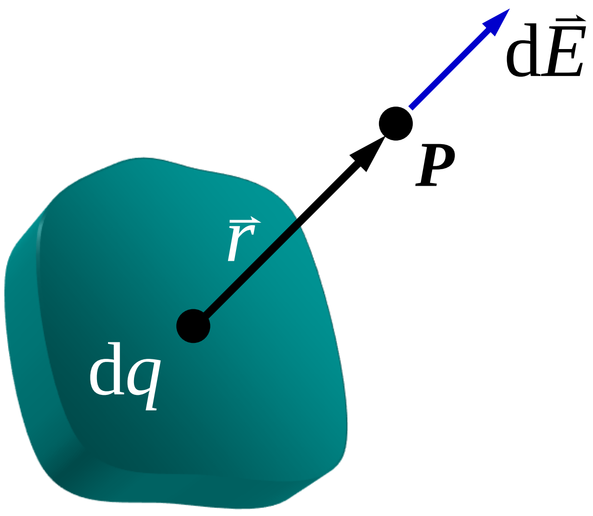
$$\vec{F}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qq_0}{r^2}\vec{r}^{\,0} \Rightarrow \vec{E}=\frac{\vec{F}}{q_0}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}\vec{r}^{\,0}$$

点电荷系的电场

$$\boxed{\vec{E}=\frac{\sum_k \vec{F}_k}{q_0}=\sum_k \vec{E}_k=\sum_k \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_k}{r_k^2}\vec{r}_k^{\,0}}$$

点电荷系在某点*P*产生的电场强度等于各点电荷单独在该点产生的电场强度的矢量和。这称为电场强度叠加原理。

连续分布带电体 $\mathrm{d}\vec{E} = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{\mathrm{d}q}{r^2}\vec{r}^{\,0}$



$$\boxed{\vec{E} = \int \frac{\mathrm{d}q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\vec{r}^{\,0}}$$

$$\mathrm{d}q = \begin{cases} \lambda \mathrm{d}l & \text{（线分布）} \\ \sigma \mathrm{d}S & \text{（面分布）} \\ \rho \mathrm{d}V & \text{（体分布）} \end{cases}$$

λ: 线密度

σ: 面密度

ρ: 体密度

例 面密度为 σ 的圆板在轴线上任一点的电场强度

解 $\mathrm{d}q = 2\pi r \mathrm{d}r \sigma$

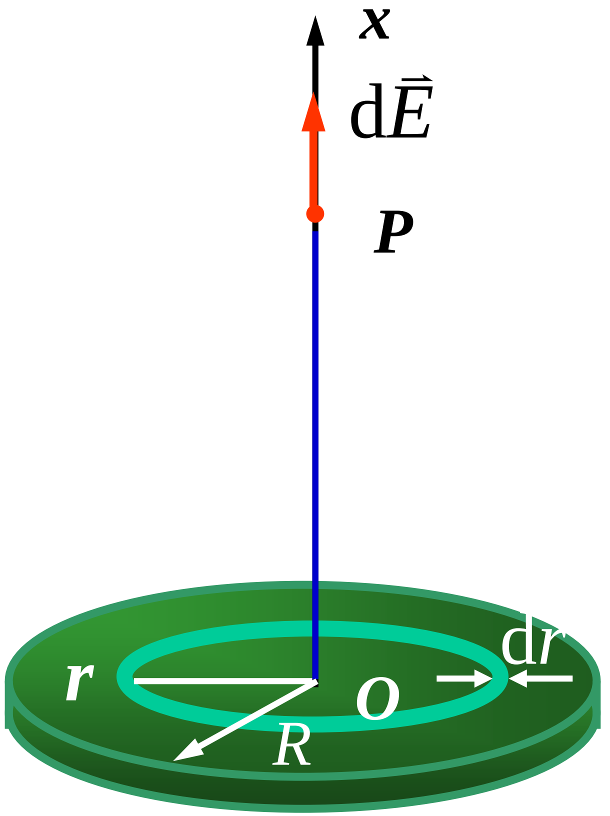
$$\mathrm{d}E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{x\mathrm{d}q}{(r^2+x^2)^{3/2}}$$

$$= \frac{x\sigma}{2\varepsilon_0}\frac{r\mathrm{d}r}{(r^2+x^2)^{3/2}}$$

$$E = \int \mathrm{d}E = \frac{x\sigma}{2\varepsilon_0}\int_0^R \frac{r\mathrm{d}r}{(r^2+x^2)^{3/2}}$$

$$= \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\left[1 - \frac{x}{(R^2+x^2)^{1/2}}\right]$$

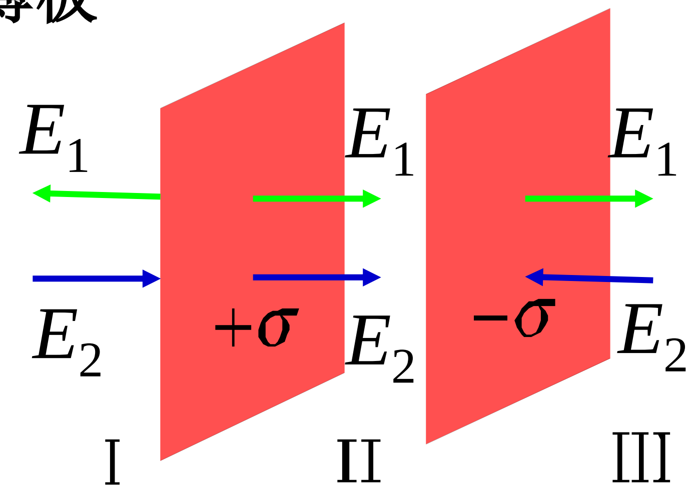
$$\vec{E} = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0 R^2}\left[1 - \frac{x}{(R^2+x^2)^{1/2}}\right]\vec{i}$$



讨论

(1) 当 $R >> x$ ， 圆板可视为无限大薄板

$$\boxed{E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}}$$



(2) $$E_{\mathrm{I}} = E_1 - E_2 = 0$$

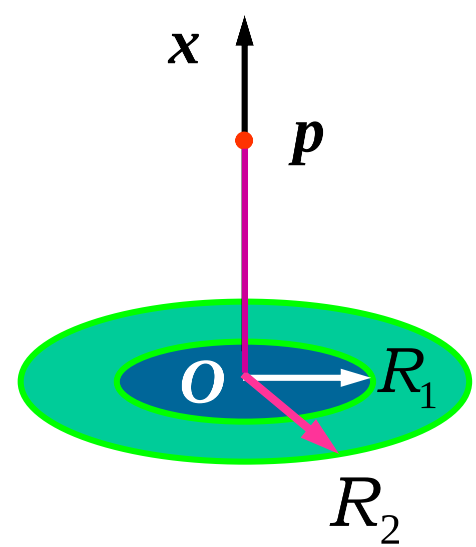
$$E_{\mathrm{II}} = E_1 + E_2 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

$$E_{\mathrm{III}} = E_1 - E_2 = 0$$

(3) 补偿法

$$\vec{E} = \vec{E}_{R2} + \vec{E}_{R1}$$

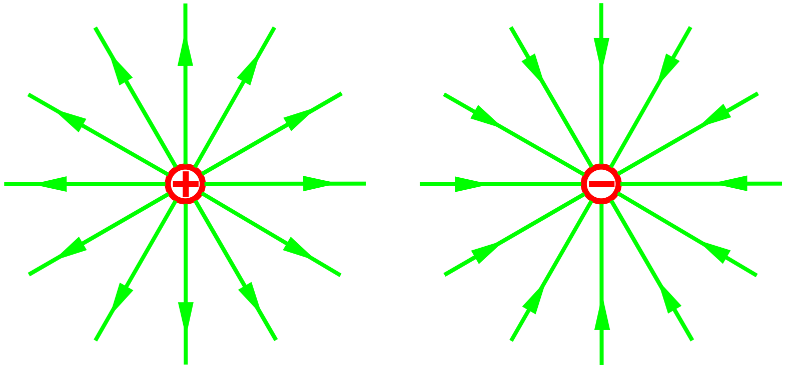
$$= \frac{x\sigma}{2\varepsilon_0}\left[\frac{1}{(R_1^2 + x^2)^{1/2}} - \frac{1}{(R_2^2 + x^2)^{1/2}}\right]\vec{i}$$

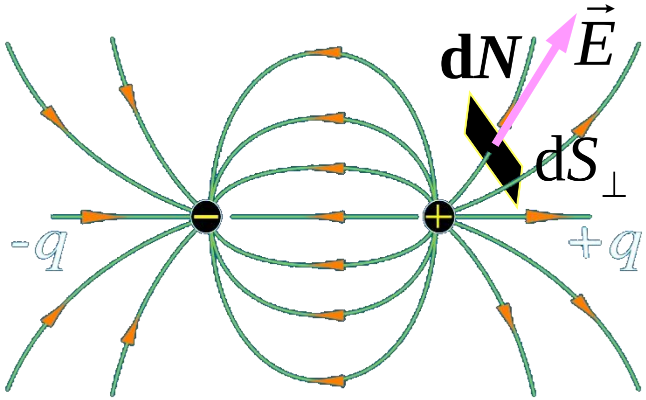


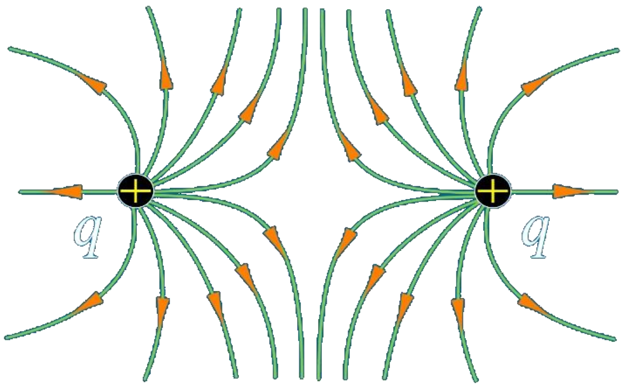
一. 电场线（电力线）

- 起始于正电荷(或无穷远处)，终止于负电荷(或无穷远处)。
- 场强方向沿电力线切线方向，
  场强大小决定电力线的疏密。

$$E=\frac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}S_{\perp}}$$







- 电场线是非闭合曲线，不相交。

二. 电通量

在电场中穿过任意曲面S 的电场线条数称为穿过该面的电通量。—— Φ_e

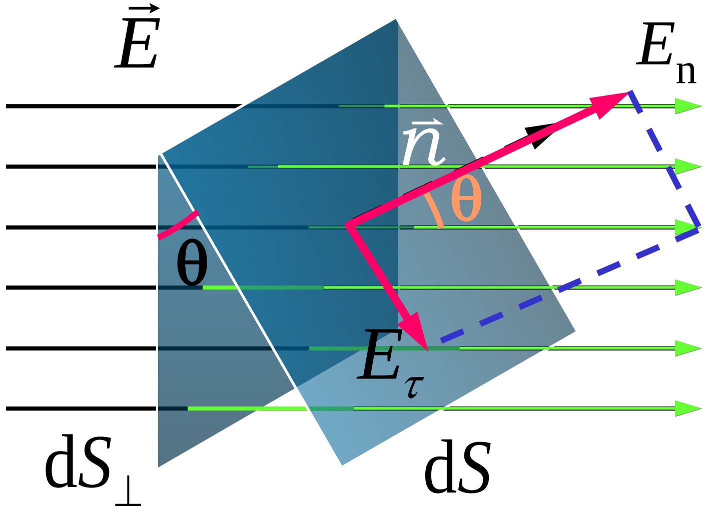
1. 均匀场中

$$\mathrm{d}\Phi_e = E_n \mathrm{d}S = E\cos\theta \mathrm{d}S$$

$$= E\mathrm{d}S_{\perp}$$

定义 $\mathrm{d}\vec{S} = \mathrm{d}S\vec{n}$

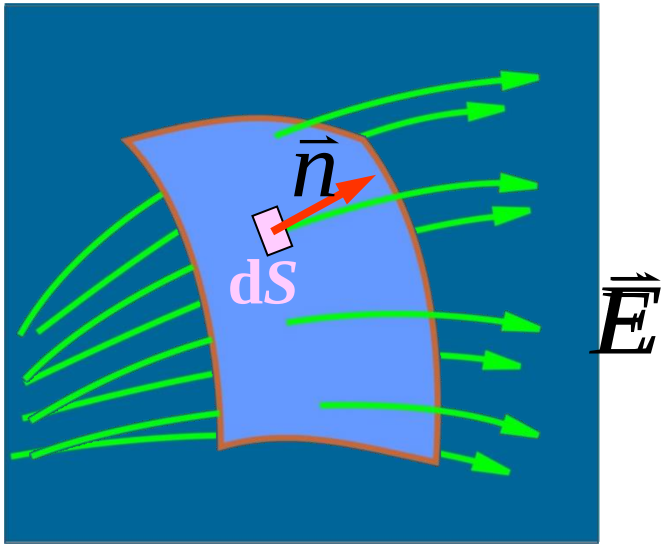
$$\boxed{\mathrm{d}\Phi_e = \vec{E}\cdot\mathrm{d}\vec{S}}$$



2. 非均匀场中

$$\mathrm{d}\Phi_e = \vec{E}\cdot\mathrm{d}\vec{S}$$

$$\boxed{\Phi_e = \int \mathrm{d}\Phi_e = \int_S \vec{E}\cdot\mathrm{d}\vec{S}}$$



对闭合曲面 $$\boxed{\Phi_e = \oint \mathrm{d}\Phi_e = \oint_S \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{S}}$$

讨论

(1) $\vec{S}$ 方向的规定：

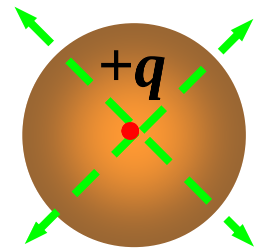
$$\begin{cases} \text{非闭合曲面 —— 凸为正，凹为负} \\ \text{闭合曲面 —— 向外为正，向内为负} \end{cases}$$

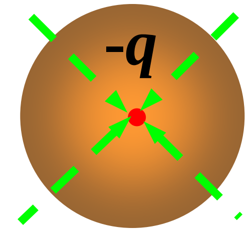
(2) 电通量是代数量

$$\begin{cases} 0 < \theta < \dfrac{\pi}{2} \text{ —— } \mathrm{d}\Phi_e \quad \text{为正} \\ \dfrac{\pi}{2} < \theta < \pi \text{ —— } \mathrm{d}\Phi_e \quad \text{为负} \end{cases}$$

三. 高斯定理

$$\Phi_e = \oint_S \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{S} \begin{cases} > 0 & \text{——} \quad +q \\ < 0 & \text{——} \quad -q \end{cases}$$





以点电荷为例建立Φ_e——q 关系:

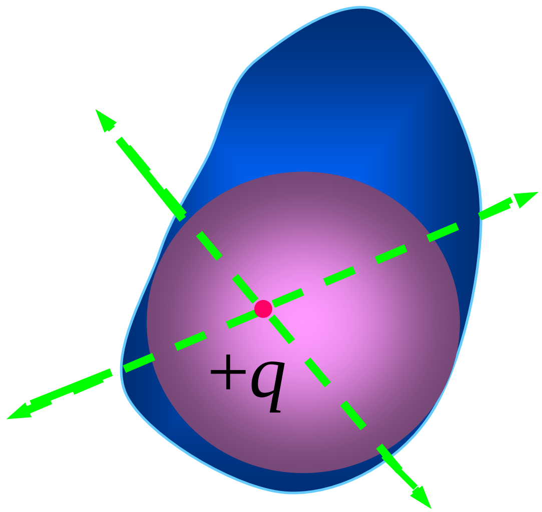
- 取球对称闭合曲面

$$\Phi_e = \oint_S \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{S} = E \oint_S \mathrm{d}S$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{r^2} 4\pi r^2 = \frac{1}{\varepsilon_0} q$$

- 取任意闭合曲面时

$$\Phi_e = \oint_S \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{S} = \frac{1}{\varepsilon_0} q$$



结论：Φ_e 与曲面的形状及 q 在曲面内的位置无关。

高斯定理

$$\Phi_e=\oint_S\vec{E}\cdot\mathrm{d}\vec{S}=\frac{1}{\varepsilon_0}\sum_i q_i(\text{内})$$

（不连续分布的源电荷）

$$\Phi_e=\oint_S\vec{E}\cdot\mathrm{d}\vec{S}=\frac{1}{\varepsilon_0}\int_V\rho\mathrm{d}V$$

（连续分布的源电荷）

真空中的任何静电场中，穿过任一闭合曲面的电通量，在数值上等于该曲面内包围的电量的代数和乘以 $1/\varepsilon_0$

意义

反映静电场的性质—— 有源场

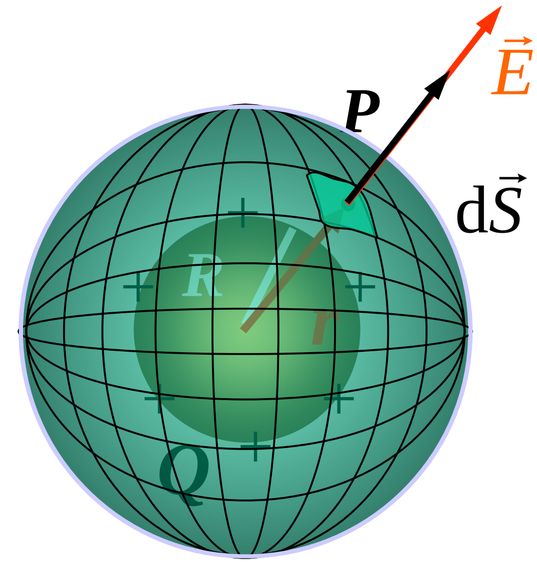
四. 用高斯定理求特殊带电体的电场强度

例 均匀带电球面，总电量为Q，半径为R

求 电场强度分布

解 对球面外一点P：

取过场点 P 的同心球面为高斯面



$$\oint_S \vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{S} = \oint_S E\mathrm{d}S = E\oint_S \mathrm{d}S = E4\pi r^2$$

根据高斯定理

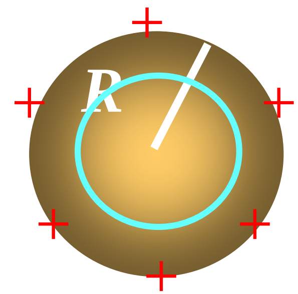
$$E4\pi r^2 = \frac{\sum_i q_i}{\varepsilon_0} \Rightarrow E = \frac{\sum_i q_i}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

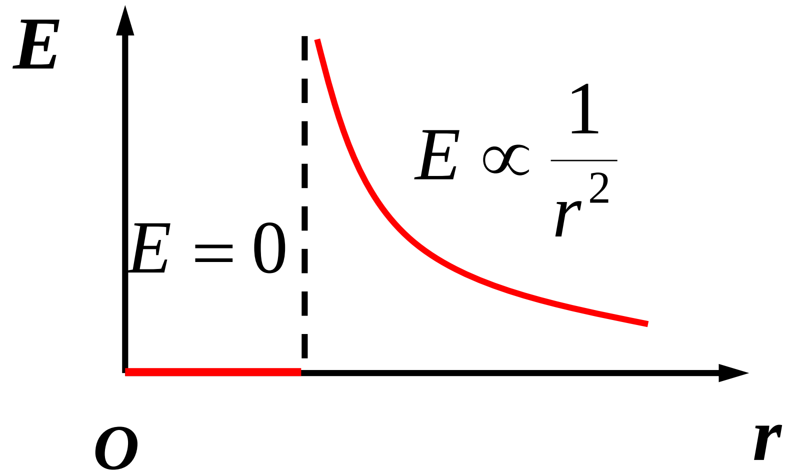
$$r > R \quad \sum_i q_i = Q \Rightarrow E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

对球面内一点:

$$r < R \quad \sum_i q_i = 0$$

$$\boldsymbol{E} = \mathbf{0}$$





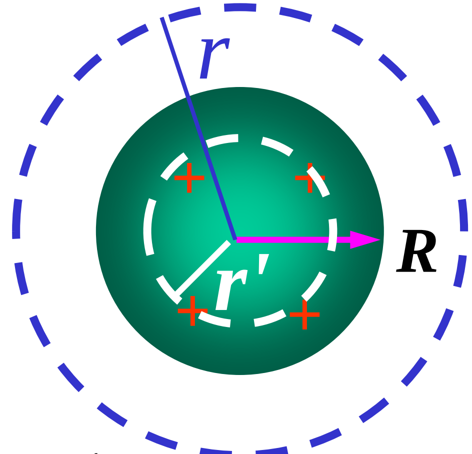
电场分布曲线

例 已知球体半径为R，带电量为q（电荷体密度为ρ）

求 均匀带电球体的电场强度分布

解 球外$(r \geq R)$

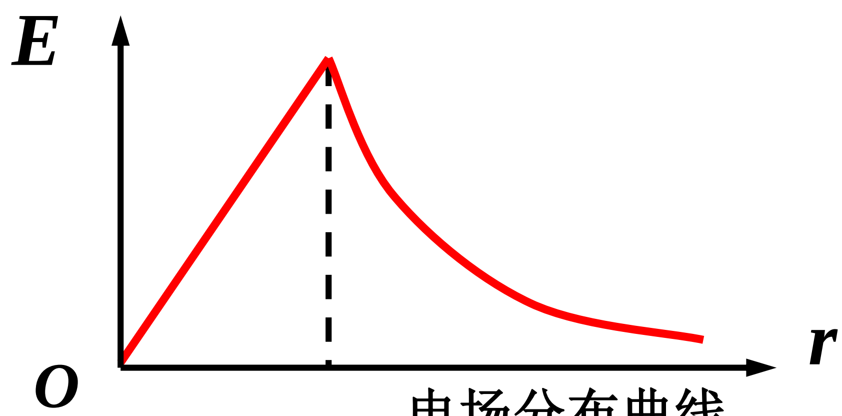
$$\vec{E}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}\vec{r}^{\,0}=\frac{\rho}{3\varepsilon_0}\frac{R^3}{r^2}\vec{r}^{\,0}$$



球内$(r < R)$

$$\oint_S \vec{E}\cdot d\vec{S}=E\cdot 4\pi r'^2=\frac{1}{\varepsilon_0}\frac{4}{3}\pi r'^3\rho=\frac{1}{\varepsilon_0}q'$$

$$E=\frac{\rho}{3\varepsilon_0}r$$



电场分布曲线

一. 静电力作功的特点

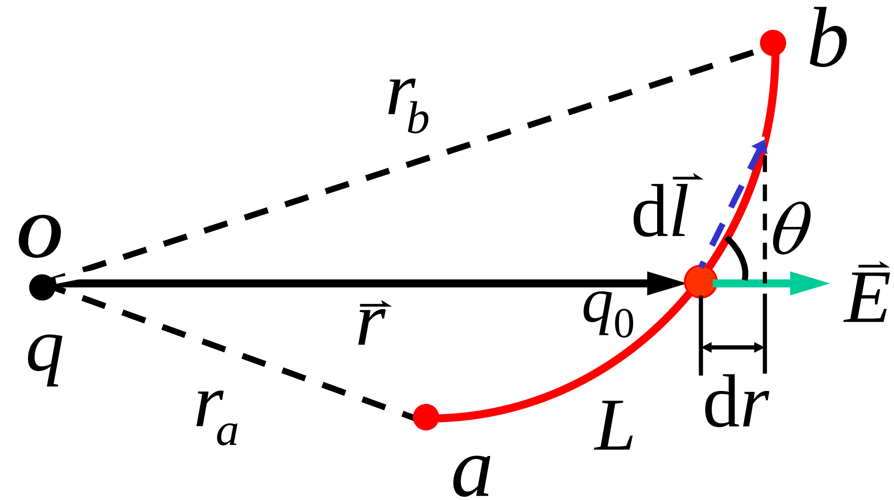
- 单个点电荷产生的电场中

$$A=\int_{a(L)}^{b}\vec{F}\cdot\mathrm{d}\vec{l}$$

$$=\int_{a(L)}^{b}q_0\vec{E}\cdot\mathrm{d}\vec{l}$$

$$=\int_{a(L)}^{b}q_0E\,\mathrm{d}l\cos\theta$$

$$=\frac{qq_0}{4\pi\varepsilon_0}\int_{r_a}^{r_b}\frac{1}{r^2}\mathrm{d}r=\frac{qq_0}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_a}-\frac{1}{r_b}\right)$$ (与路径无关)



- 电势能

取势能零点 $W_{“0”}=0$

q_0 在电场中某点 a 的电势能： $W_a = A_{a"0"} = \int_a^{"0"} q_0 \vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{l}$

说明

(1) 电势能应属于 q_0 和产生电场的源电荷系统共有。

(2) 电荷在某点电势能的值与零点选取有关, 而两点的差值与零点选取无关

(3) 选势能零点原则：

- 当(源)电荷分布在有限范围内时，势能零点一般选在无穷远处。
- 无限大带电体，势能零点一般选在有限远处一点。
- 实际应用中取大地、仪器外壳等为势能零点。

一. 电势 电势差

- 电势差

$$u_{ab}=\frac{W_a}{q_0}-\frac{W_b}{q_0}=\frac{A_{ab}}{q_0}=\int_a^b \vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{l}$$

单位正电荷自*a*→*b*过程中电场力作的功。

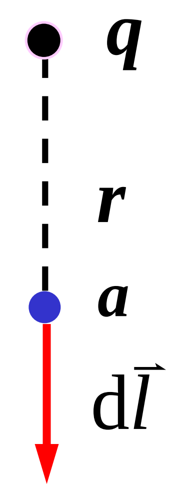
- 电势定义

$$\boxed{u_a=\frac{W_a}{q_0}} \Longleftrightarrow \boxed{u_a=\frac{A_{a\text{"0"}}}{q_0}=\int_a^{\text{"0"}} \vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{l}}$$

单位正电荷自该点→“势能零点”过程中电场力作的功。

- 点电荷的电势

$$u_a=\int_a^{\infty} \vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{l} \qquad \vec{E}=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{r^2}\vec{r}^{\,0} \qquad \mathrm{d}\vec{l}=\mathrm{d}r\,\vec{r}^{\,0}$$



在点电荷系产生的电场中，某点的电势是各个点电荷单独存在时，在该点产生的电势的代数和。这称为电势叠加原理。

对连续分布的带电体 $$\boxed{u = \int_Q \frac{\mathrm{d}q}{4\pi\varepsilon_0 r}}$$

三. 电势的计算

方法

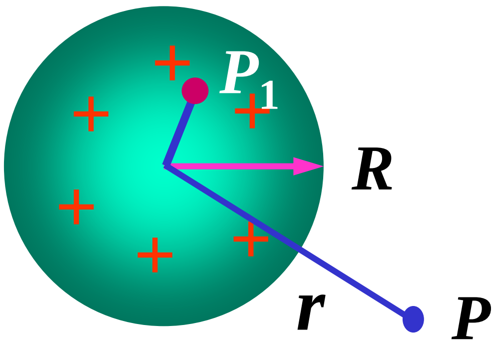
（1） 已知电荷分布 $u = \int_Q \frac{\mathrm{d}q}{4\pi\varepsilon_0 r}$

（2） 已知场强分布 $u_p = \int_p^{"0"} \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{l}$

例 半径为R，带电量为q 的均匀带电球体

求 带电球体的电势分布

解 根据高斯定律可得：



$$
\begin{cases} r < R & E_1 = \dfrac{qr}{4\pi\varepsilon_0 R^3} \\ r \geq R & E_2 = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \end{cases}
$$

对球外一点P

$$
u_{外} = \int_p^{\infty} \vec{E}_2 \cdot \mathrm{d}\vec{r} = \int_r^{\infty} \frac{q\mathrm{d}r}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}
$$

对球内一点P_1

$$
u_{内} = \int_{p_1}^{\infty} \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{r} = \int_r^R E_1 \mathrm{d}r + \int_R^{\infty} E_2 \mathrm{d}r = \frac{q}{8\pi\varepsilon_0 R^3}(3R^2 - r^2)
$$

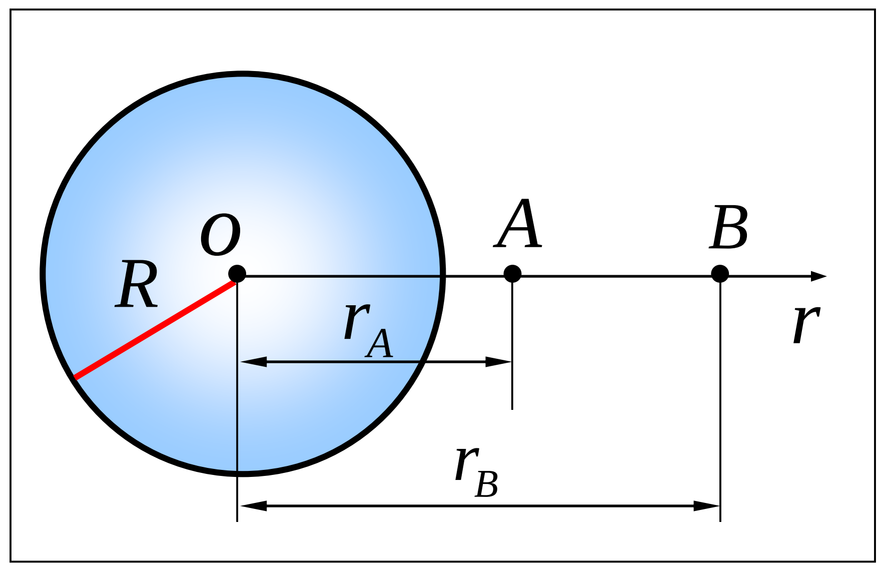
例　真空中有一电荷为Q，半径为R的均匀带电球面．试求

（1）球面外两点间的电势差；

（2）球面内两点间的电势差；

（3）球面外任意点的电势；

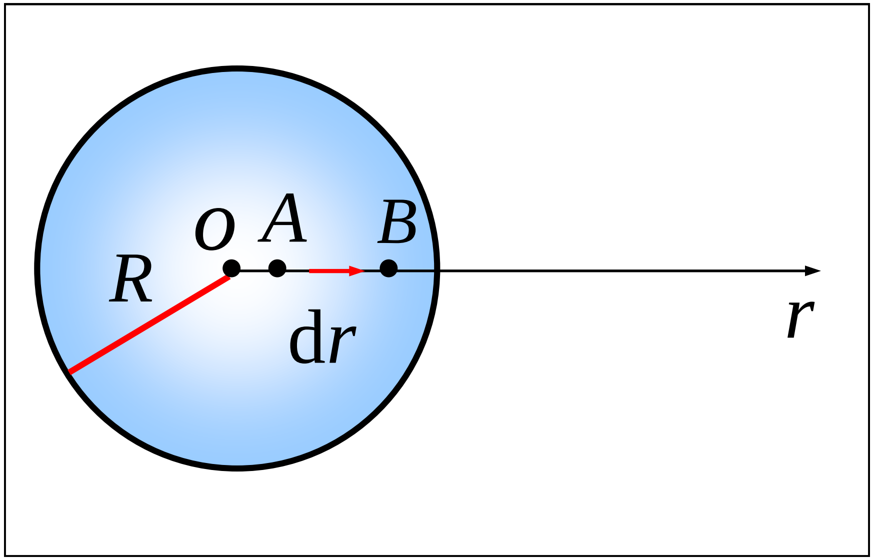
（4）球面内任意点的电势．



解 $$E=\begin{cases}0 & r<R\\ \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} & r>R\end{cases}$$

（1） $r>R$ $$V_A-V_B=\int_{r_A}^{r_B}\vec{E}\cdot\mathrm{d}\vec{r}=\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\int_{r_A}^{r_B}\frac{\mathrm{d}r}{r^2}$$

$$=\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_A}-\frac{1}{r_B}\right)$$



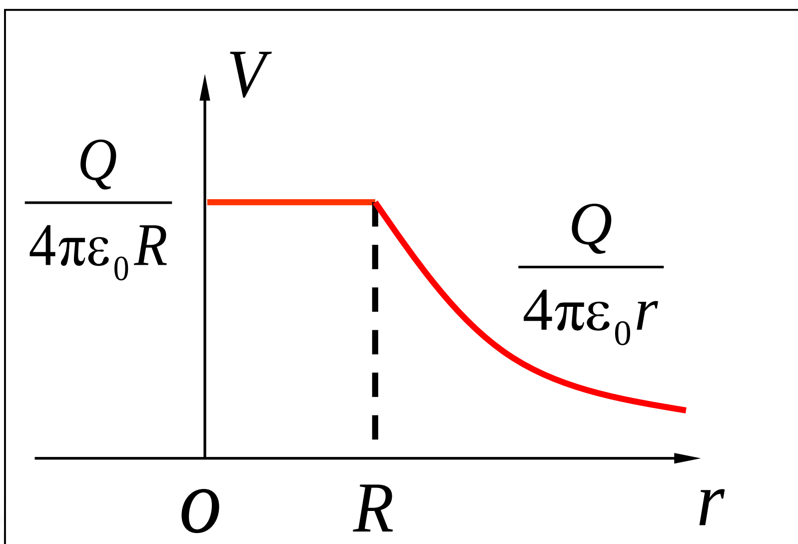
（2） $r<R$

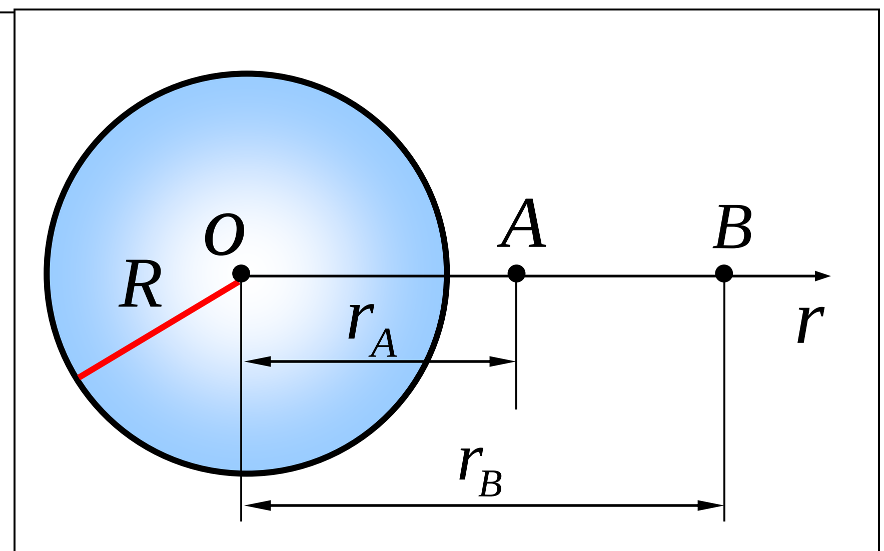
$$V_A-V_B=\int_{r_A}^{r_B}\vec{E}\cdot\mathrm{d}\vec{r}=0$$

（3） $r > R$ 令 $r_B \approx \infty \quad V_\infty = 0$

$$V_A - V_B = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B}\right) \qquad V(r) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

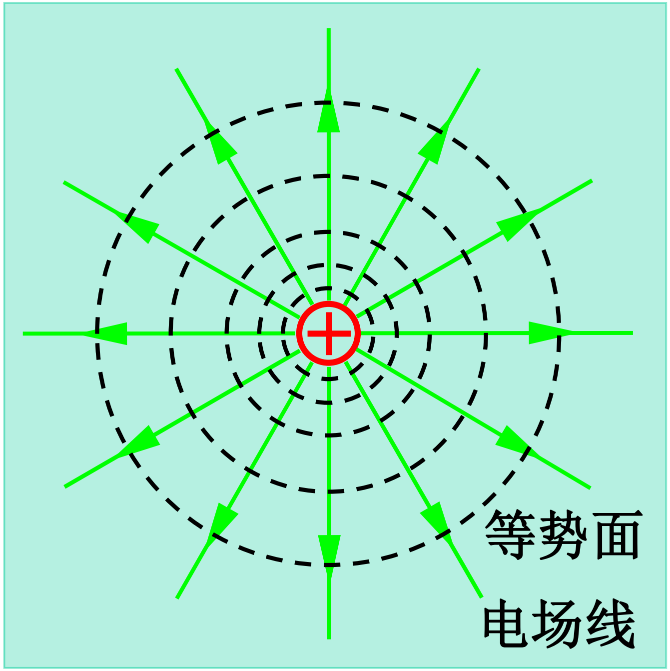
（4） $r < R$ $\quad V(r) = \int_r^R \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{r} + \int_R^\infty \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{r} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R}$



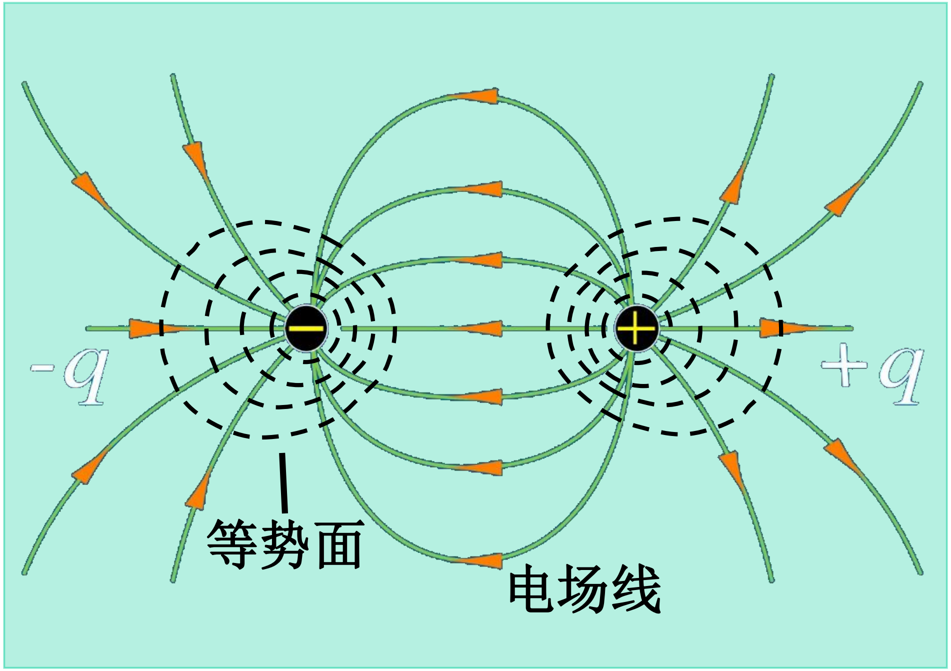


一. 等势面

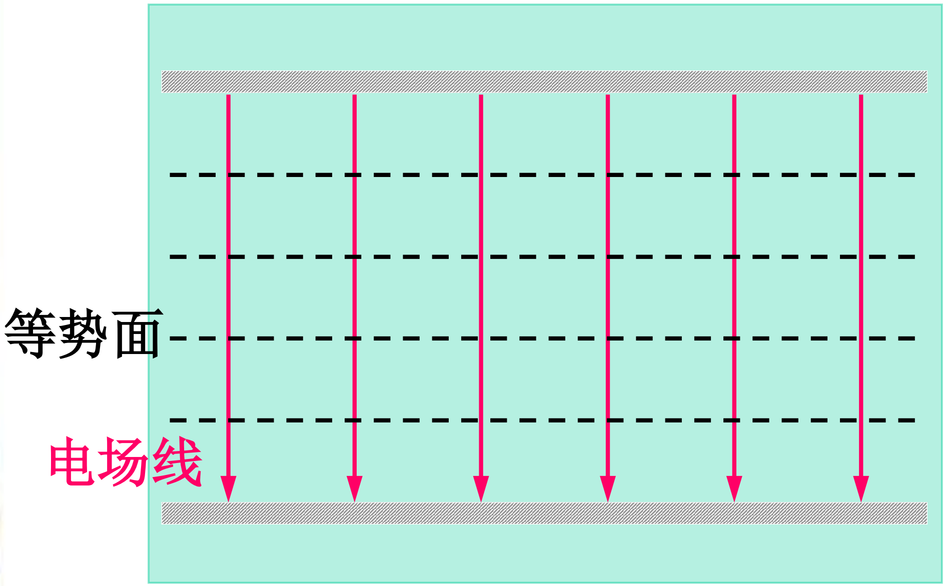
电场中电势相等的点连成的面称为等势面。



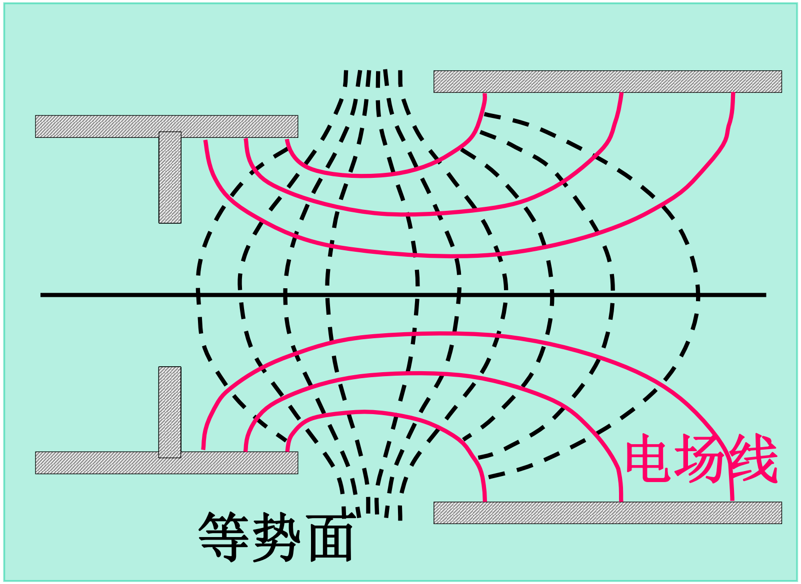
点电荷



电偶极子



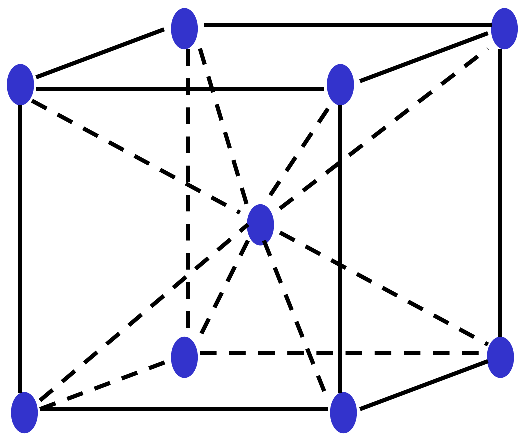
带电平板电容器内部



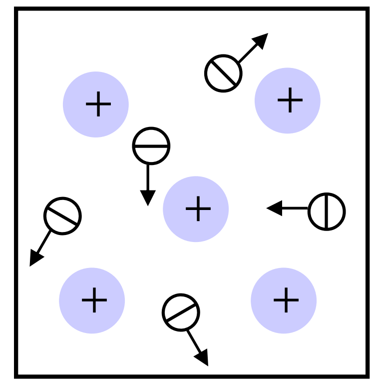
示波管内部的电场

一. 导体的静电平衡

◆ 金属导体的微观结构



体心立方晶格单元



金属性结合示意图

金属导体在电结构方面的重要特征是：具有大量的自由电子

导体不带电或不受外电场影响时，自由电子仅有微观热运动。

一. 导体的静电平衡

◆ 静电感应

设外电场为E_0

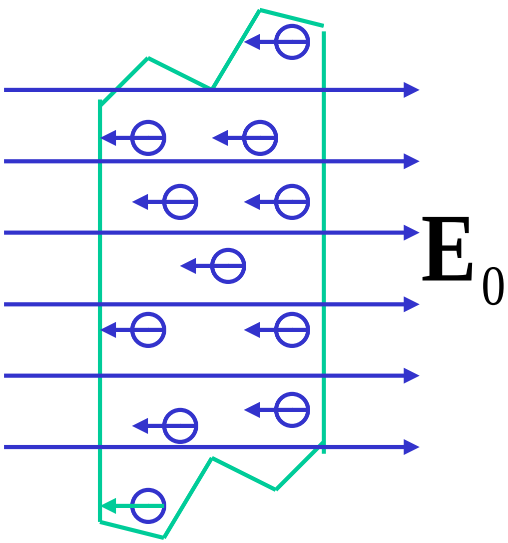


图1

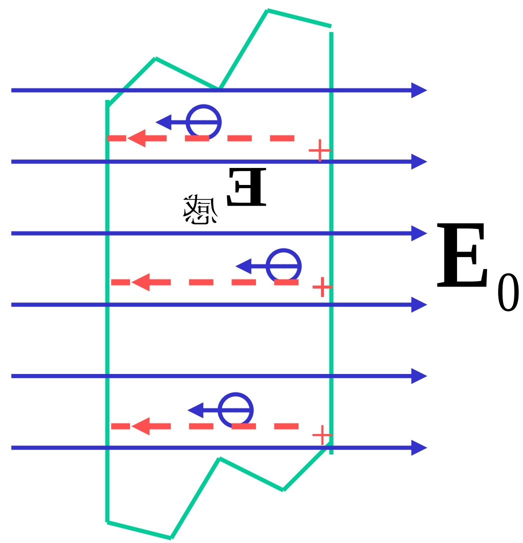


图2

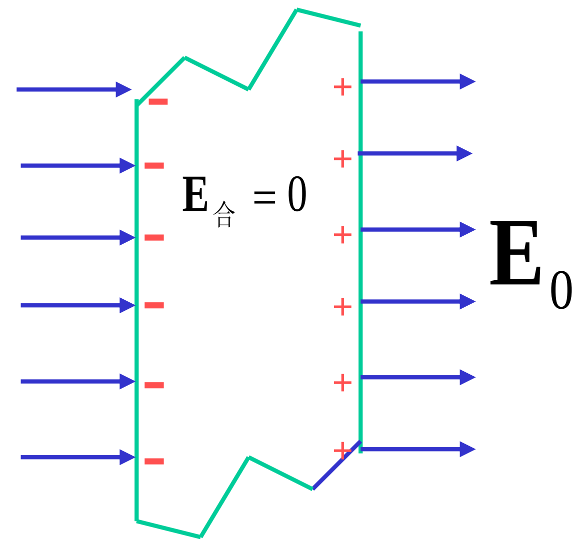


图3

在外电场的作用下，导体中出现电荷重新分布。

一. 导体的静电平衡

1. 静电平衡

导体内部和表面上任何一部分都没有宏观电荷运动，我们就说导体处于**静电平衡状态**

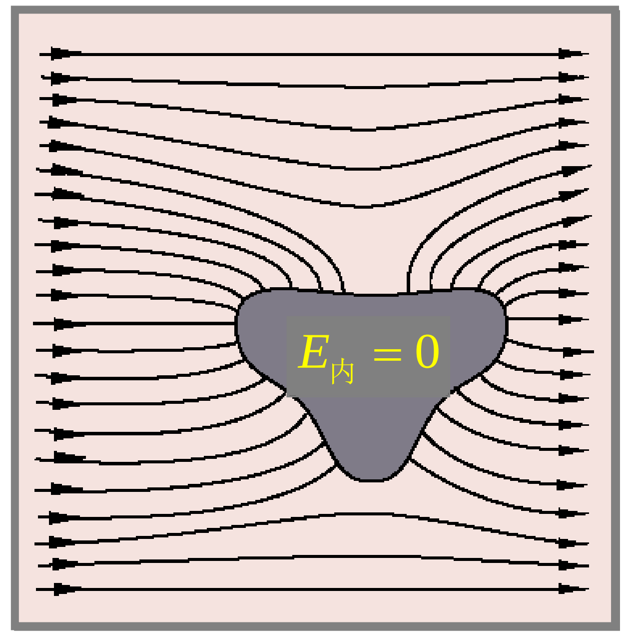
2. 导体静电平衡的条件

$$\boxed{E_{内} = 0}$$

$$\boxed{\vec{E}_{表面} \perp \text{ 导体表面}}$$

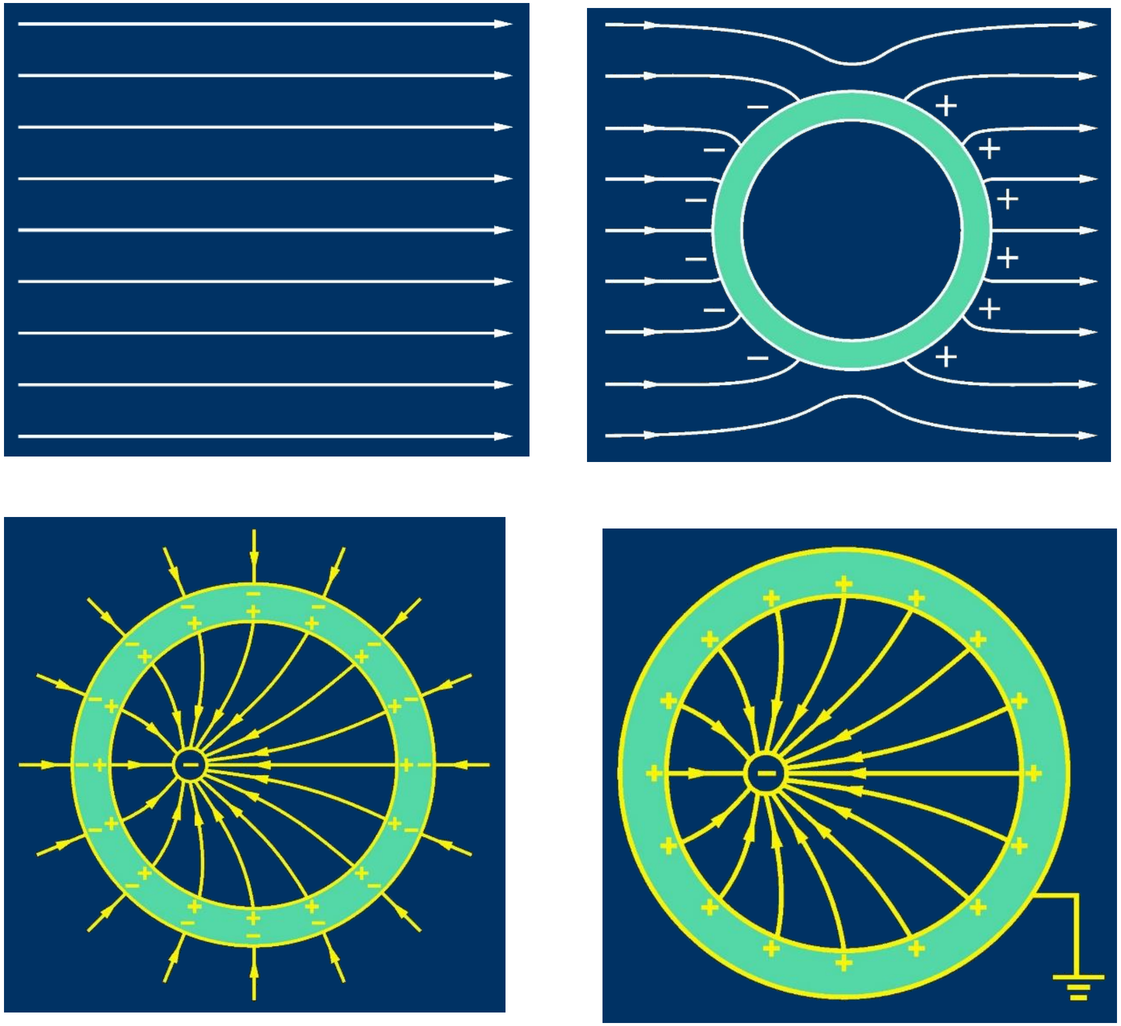
3. 静电平衡导体的电势

导体静电平衡时，导体上各点电势相等，即导体是等势体，表面是等势面



$$U_a - U_b = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$$

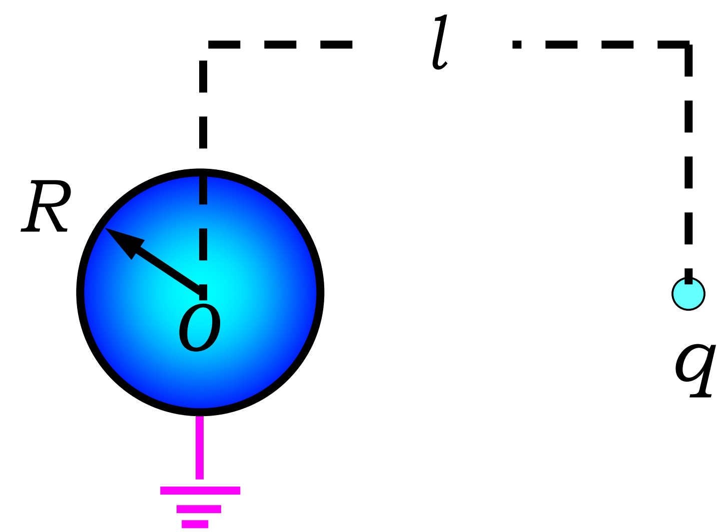
4. 静电屏蔽



例 如图所示，导体球附近有一点电荷q。

求 接地后导体上感应电荷的电量

解 设感应电量为Q



$$Q = \begin{cases} -q \\ 0 \end{cases}$$

接地 即 $U = 0$

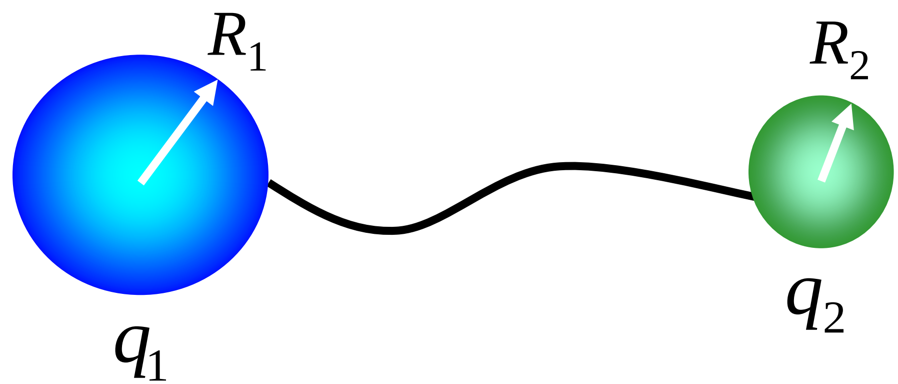
由导体是个等势体

O点的电势为0 则

$$\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R} + \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 l} = 0 \quad \Longrightarrow \quad Q = -\frac{R}{l}q$$

例 两球半径分别为R_1、R_2，带电量q_1、q_2，设两球相距很远，当用导线将彼此连接时，电荷将如何 分布？

解 设用导线连接后，两球带电量为 q_1' q_2'



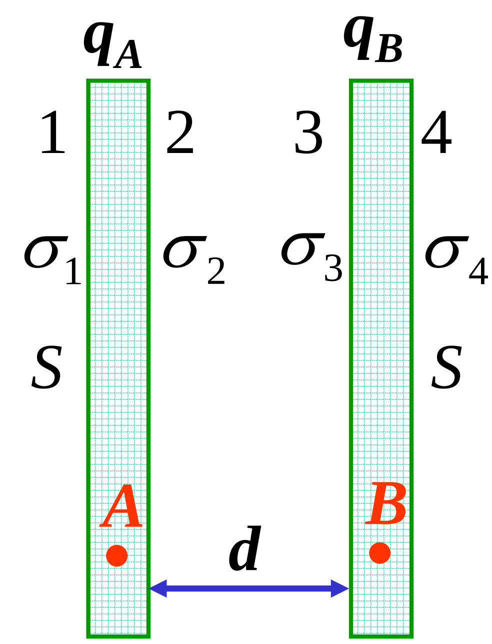
$$q_1' + q_2' = q_1 + q_2$$

$$\left.\begin{aligned} u_1 &= \frac{q_1'}{4\pi\varepsilon_0 R_1} \\ u_2 &= \frac{q_2'}{4\pi\varepsilon_0 R_2} \end{aligned}\right\} \xRightarrow{u_1 = u_2} \frac{\sigma_1 \cdot 4\pi R_1^2}{\sigma_2 \cdot 4\pi R_2^2} = \frac{R_1}{R_2} \Rightarrow \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

例 两块等面积的金属平板，分别带电荷q_A和q_B，平板面积均为S，两板间距为d，且满足面积的线度远大于d。

求 静电平衡时两金属板各表面上的电荷面密度。

解 如图示，设4个表面的电荷面密度分别为q_1、q_2、q_3和q_4，



$$\sigma_1 S + \sigma_2 S = q_A,\quad \sigma_3 S + \sigma_4 S = q_B \qquad ①$$

在两板内分别取任意两点A和B，则

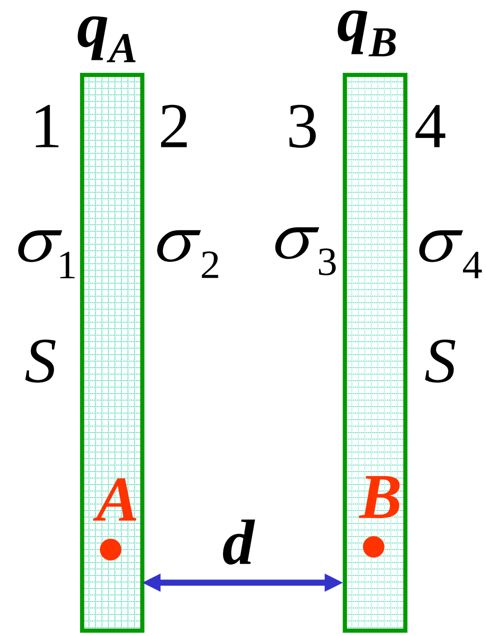
$$\left.\begin{aligned} E_A &= \frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0} - \frac{\sigma_2}{2\varepsilon_0} - \frac{\sigma_3}{2\varepsilon_0} - \frac{\sigma_4}{2\varepsilon_0} = 0 \\ E_B &= \frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0} + \frac{\sigma_2}{2\varepsilon_0} + \frac{\sigma_3}{2\varepsilon_0} - \frac{\sigma_4}{2\varepsilon_0} = 0 \end{aligned}\right\}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3 - \sigma_4 = 0 \\ \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 - \sigma_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \sigma_1 = \sigma_4,\quad \sigma_2 = -\sigma_3$$

代入①，得

$$\sigma_1 = \sigma_4 = \frac{q_A + q_B}{2S}$$

$$\sigma_2 = -\sigma_3 = \frac{q_A - q_B}{2S}$$



可见，***A*****、*****B*****两板的内侧面带等量异号电荷；两板的外侧面带等量同号电荷。**

◆ 特别地，若$q_A = -q_B = q$，则

$$\sigma_1 = \sigma_4 = 0 \qquad \sigma_2 = -\sigma_3 = q/S$$

电荷只分布在两板的内侧面，外侧面不带电。

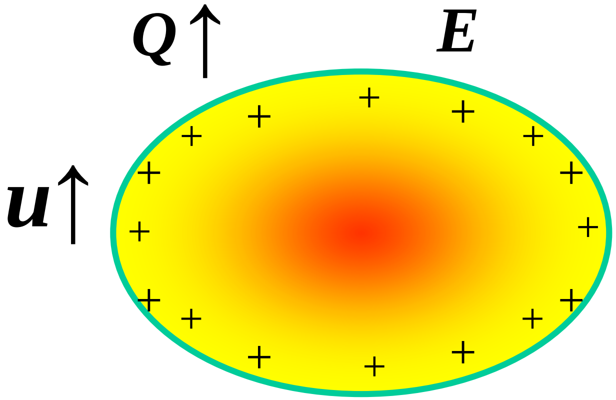
三. 孤立导体的电容

孤立导体的电势 $u \propto Q$

$$\boxed{C = \frac{Q}{u}}$$

孤立导体的电容

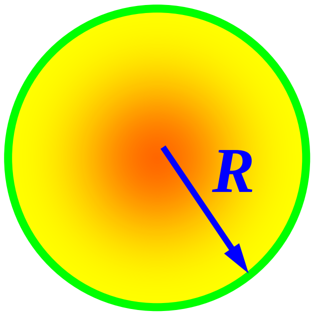
单位:法拉(F)



求半径为R 的孤立导体球的电容.

电势为 $$u = \frac{Q}{4\pi\ \varepsilon_0 R}$$

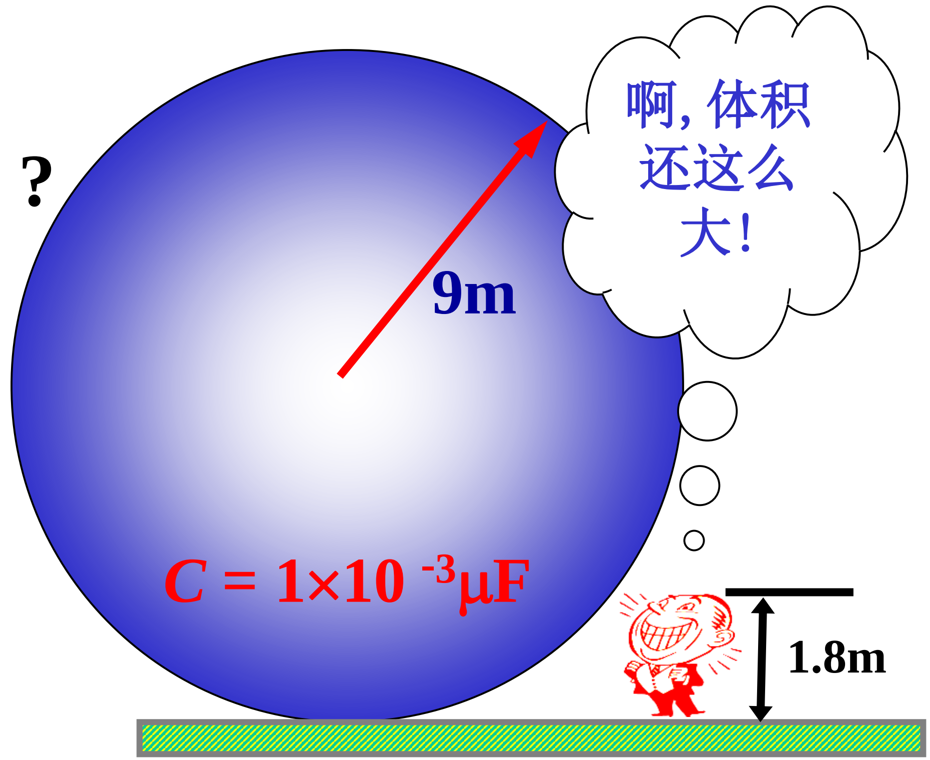
电容为 $$C = 4\pi\varepsilon_0 R$$



电容只与导体的几何因素和介质有关，与导体是否带电无关

若 $R = R_e$ ，则 $C = 714\ \mu F$

若 $C = 1\times10^{-3}\ \mu F$ ，则 $R = ?$



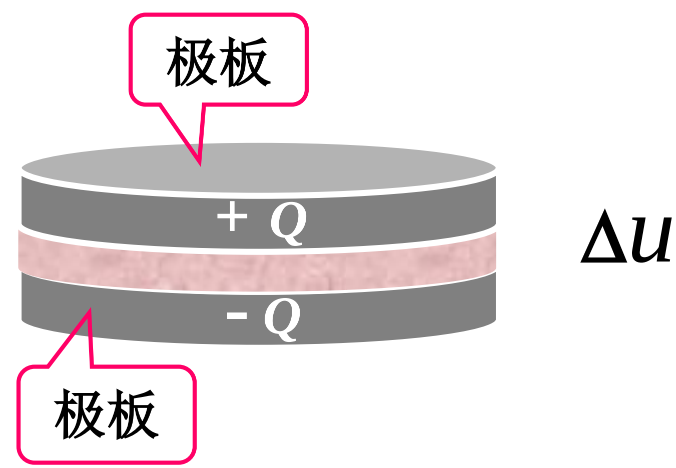
四. 电容器的电容

通常，由彼此绝缘相距很近的两导体构成电容器。

使两导体极板带电 $\pm Q$

两导体极板的电势差

$$\Delta u \propto Q$$



电容器的电容 $\boxed{C = \dfrac{Q}{\Delta u}}$

电容器电容的大小取决于极板的形状、大小、相对位置以及极板间介质。

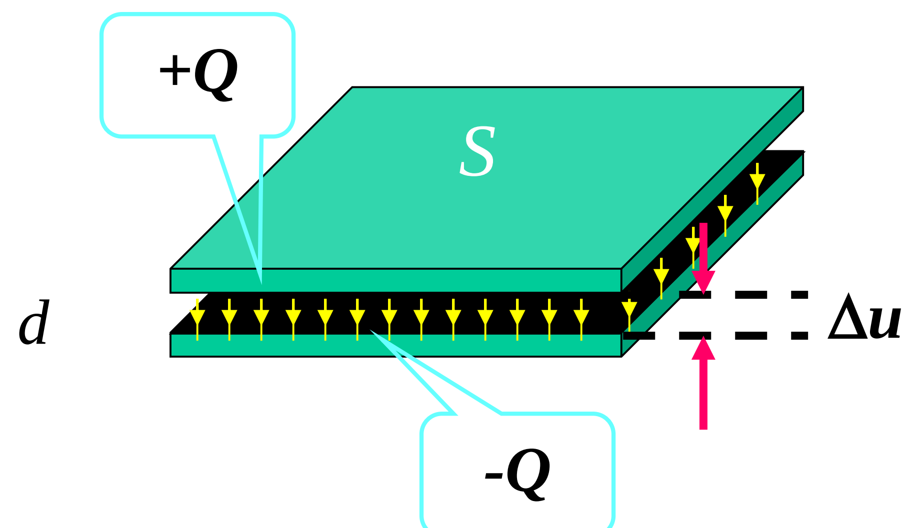
- 电容器电容的计算

$$Q \Rightarrow \vec{E} \Rightarrow \Delta u \Rightarrow C=\frac{Q}{\Delta u}$$

(1) 平行板电容器

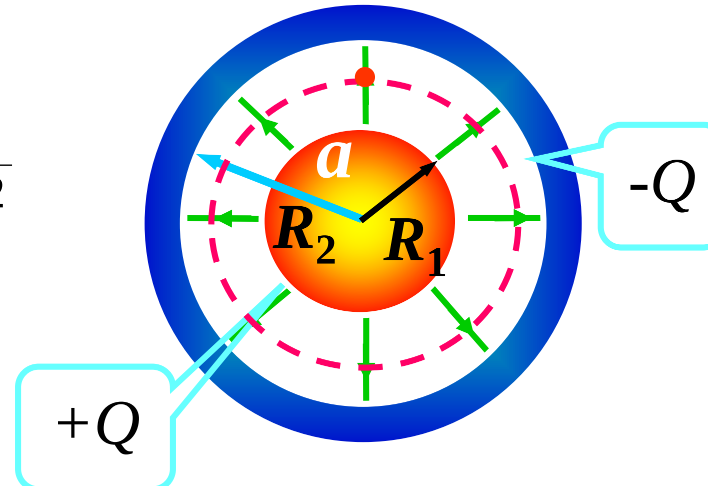
$$\Delta u = Ed = \frac{Qd}{S\varepsilon_0}$$

$$C=\frac{Q}{\Delta u}=\frac{\varepsilon_0 S}{d}$$



(2) 球形电容器

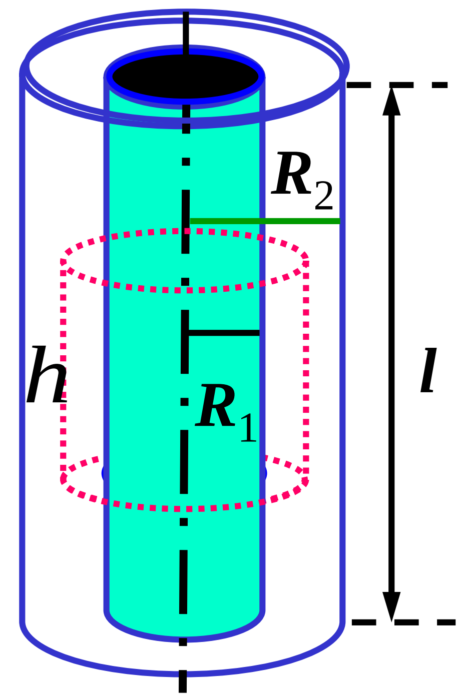
$$4\pi r^2 E = \frac{Q}{\varepsilon_0} \Rightarrow E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$



$$\Delta u = \int_a^b \vec{E}\cdot d\vec{l} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

$$C = \frac{Q}{\Delta u} = \frac{4\pi\varepsilon_0 R_1 R_2}{R_2 - R_1}$$

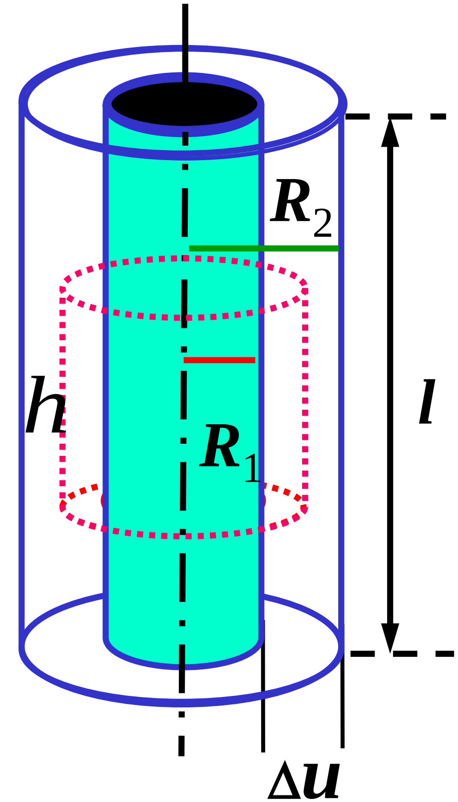
(3) 柱形电容器



$$2\pi r h E = \frac{Qh}{\varepsilon_0 l} \qquad (R_1 < r < R_2)$$

$$E = \frac{Q}{2\pi\varepsilon_0 r l} \qquad (R_1 < r < R_2)$$

$$\Delta u = \int_{R_1}^{R_2} \frac{Q}{2\pi\varepsilon_0 l r}\mathrm{d}r = \frac{Q}{2\pi\varepsilon_0 l}\ln\frac{R_2}{R_1}$$



$$\boxed{C = \frac{Q}{\Delta u} = \frac{2\pi\varepsilon_0 l}{\ln(R_2/R_1)}}$$

讨论

若$R_1 >> R_2 - R_1$，则 $C = ?$

$$\ln\left(\frac{R_2 - R_1}{R_1} + 1\right) \approx \frac{R_2 - R_1}{R_1} \Rightarrow C = \frac{Q}{\Delta u} = \frac{2\pi\varepsilon_0 l}{\ln(R_2/R_1)}$$

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$$

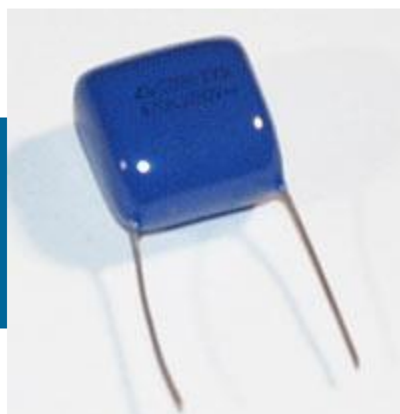
70 厘米

高压电容器(20kV 5~**21μF)**
(提高功率因数)

12 厘米

聚丙烯电容器
(单相电机起动和连续运转)

2.5 厘米



涤纶电容
(250V0.47μF)

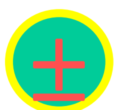
陶瓷电容器
(20000V1000pF)

2.5 厘米

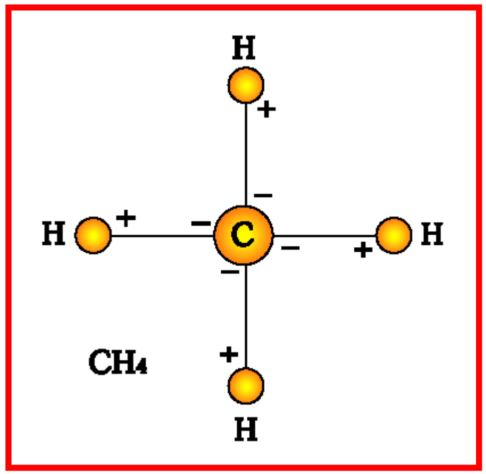
电解电容器
(160V470 μ F)

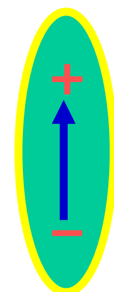
二. 电介质的极化　极化电荷

无极分子　　　　　　　　有极分子

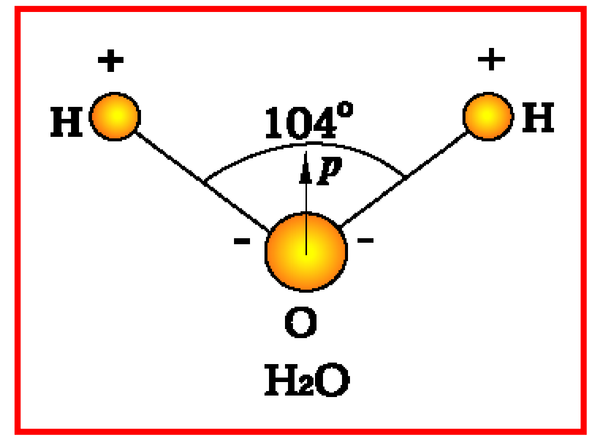


$\vec{p}=0$

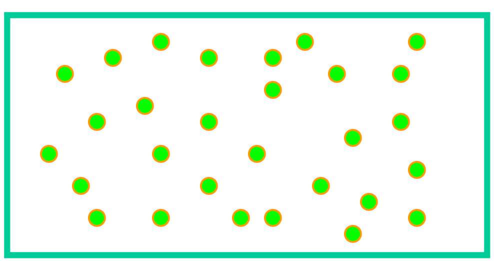




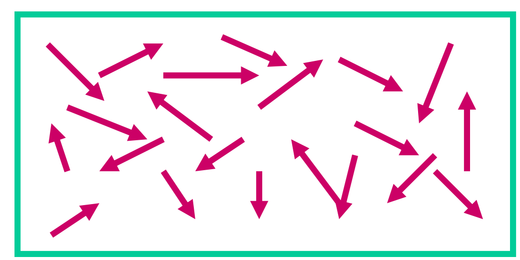
$\vec{p}=q\vec{l}$



无外场时（热运动）



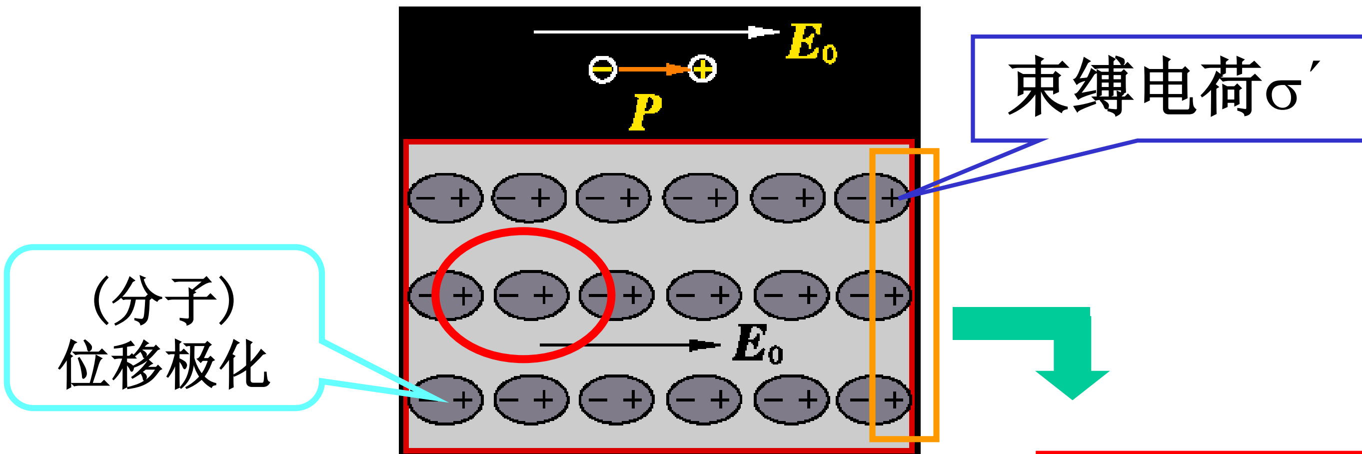
(无极分子电介质)

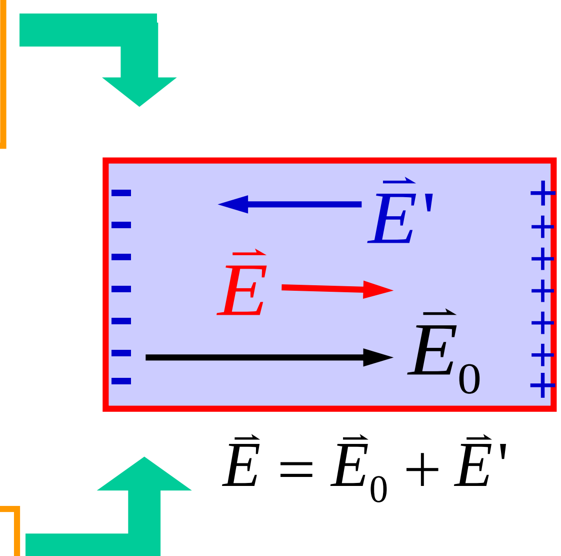


(有极分子电介质)

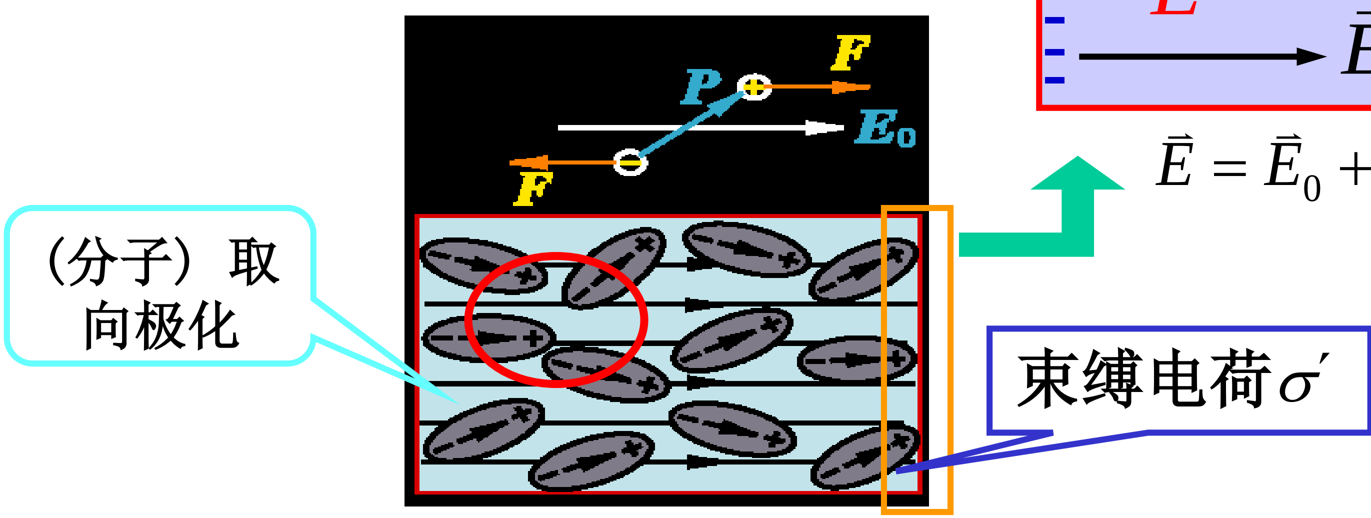
有外场时

- 无极分子电介质





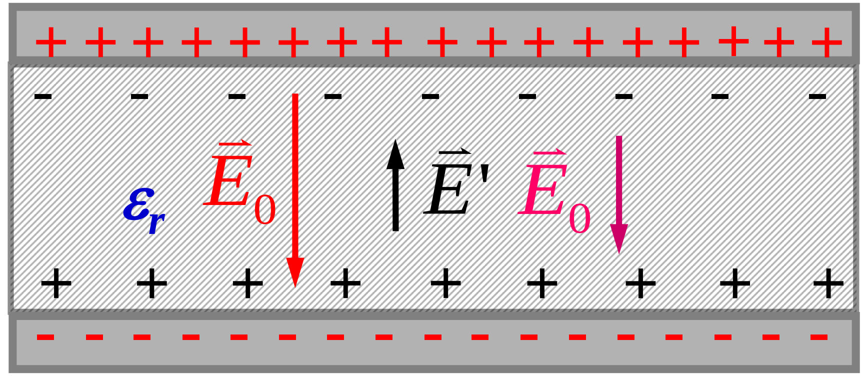
- 有极分子电介质



三. 电介质内的电场强度

$$E_0 = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0}$$

$$E' = \frac{\sigma'}{\varepsilon_0}$$



$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}' \xrightarrow{E = E_0/\varepsilon_r} E = E_0 - E' = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} - \frac{\sigma'}{\varepsilon_0} = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0 \varepsilon_r}$$

$$\sigma' = \sigma_0 - \frac{\sigma_0}{\varepsilon_r} = (1 - \frac{1}{\varepsilon_r})\sigma_0$$

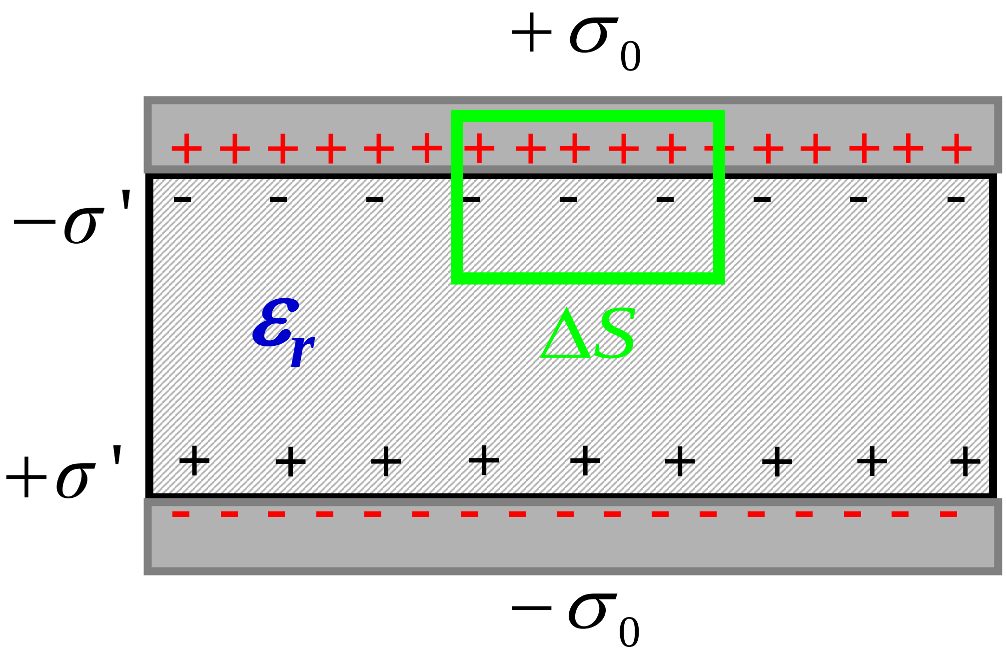
四. 电介质的高斯定理　电位移矢量

- 无电介质时

$$\oint_S \vec{E}_0 \cdot \mathrm{d}\vec{S} = \frac{1}{\varepsilon_0}\sigma_0 \Delta S$$

- 加入电介质

$$E = \frac{E_0}{\varepsilon_r}$$



$$\oint_S \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{S} = \sigma_0 \Delta S$$

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E} = \varepsilon\ \vec{E}$$　　ε ——介电常数

$$\boxed{\oint_S \vec{D} \cdot \mathrm{d}\vec{S} = \sum_i q_{0i,\text{内}}}$$

通过高斯面的电位移通量等于高斯面所包围的自由电荷的代数和，与极化电荷及高斯面外电荷无关。

- 比较

$$\begin{cases} \oint_S \vec{D}\cdot \mathrm{d}\vec{S} = \sum_i q_{0i,内} \\ \oint_S \vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{S} = \dfrac{1}{\varepsilon_0}(\sigma_0 - \sigma')\Delta S \end{cases}$$

➢ 介质中的电场能量密度

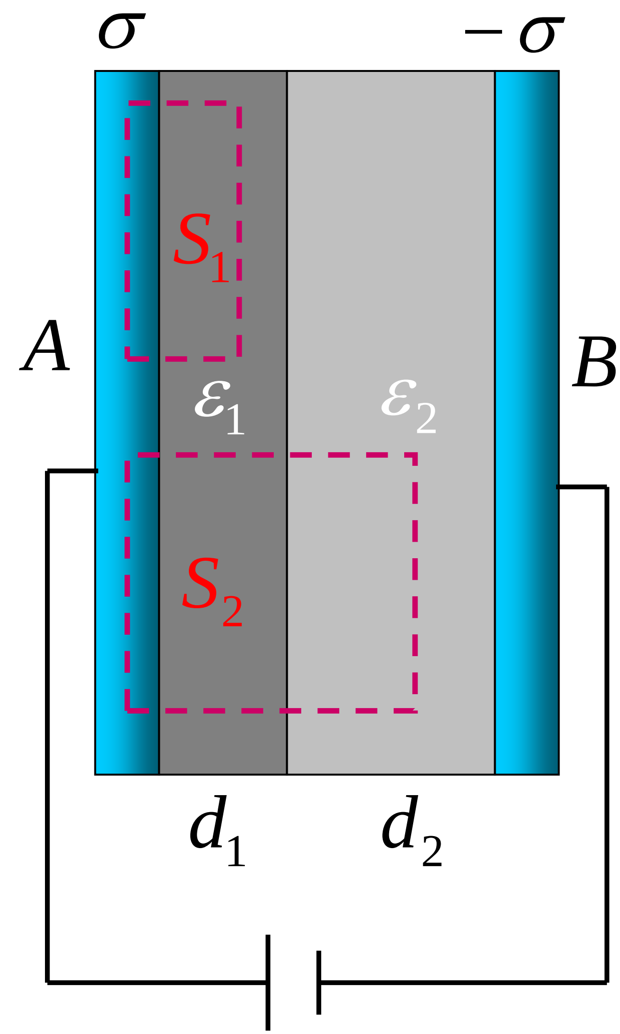
$$W = \frac{1}{2}CU^2{}_{AB} = \frac{\varepsilon_0\varepsilon_r S}{2d}E^2 d^2 = \frac{1}{2}EDV$$

$$\boxed{w_e = \frac{1}{2}\varepsilon_0\varepsilon_r E^2 = \frac{1}{2}DE}$$

例 平行板电容器，其中充有两种均匀电介质。

求 (1) 各电介质层中的场强

(2) 极板间电势差



解 做一个圆柱形高斯面 S_1

$$\oint_{S_1} \vec{D}\cdot \mathrm{d}\vec{S} = \sum q_i(S_1\text{内})$$

$$D_1\Delta S_1 = \sigma\Delta S_1 \qquad D_1 = \sigma$$

同理，做一个圆柱形高斯面 S_2

$$\int_{S_2} \vec{D}\cdot \mathrm{d}\vec{S} = \sum q_i(S_2\text{内}) \qquad D_2 = \sigma$$

$$D_1 = D_2 \quad \Rightarrow \quad E_1 \neq E_2$$

$$\Delta u = \int_A^B \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{r} = \int_0^{d_1} \vec{E}_1 \cdot \mathrm{d}\vec{r} + \int_{d_1}^{d_1+d_2} \vec{E}_2 \cdot \mathrm{d}\vec{r}$$

$$= \frac{\sigma}{\varepsilon_o \varepsilon_{r1}} d_1 + \frac{\sigma}{\varepsilon_o \varepsilon_{r2}} d_2$$

$$C = q / \Delta u = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 S}{\varepsilon_1 d_2 + \varepsilon_2 d_1}$$

- 各电介质层中的场强不同
- 相当于电容器的串联

平板电容器中充介质的另一种情况

由极板内为等势体 $\Delta u_1 = \Delta u_2$

$$E_1 = \frac{\Delta u_1}{d} \qquad E_2 = \frac{\Delta u_2}{d}$$

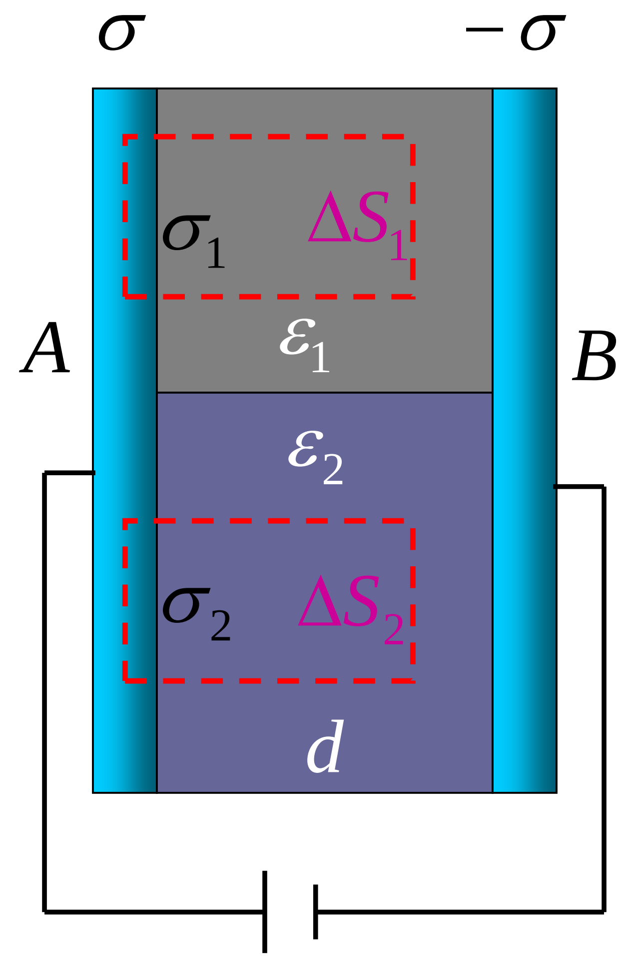
$$D_1 = \varepsilon_0 \varepsilon_{r1} E_1 \quad \neq \quad D_2 = \varepsilon_0 \varepsilon_{r2} E_2$$

$$D_1 = \sigma_1 \quad \neq \quad D_2 = \sigma_2$$

$$q = \sigma_1 S_1 + \sigma_2 S_2$$

$$\Delta u = E_1 d = E_2 d = \frac{qd}{\varepsilon_1 S_1 + \varepsilon_2 S_2}$$

$$C = \frac{q}{\Delta u} = C_1 + C_2$$



- 各电介质层中的场强相同
- 相当于电容器的并联