§10.1 电荷　库仑定律

一. 电荷

$Q = ne$　　　$e = (1.602\ 189\ 2 \pm 0.000\ 004\ 6) \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$

二. 库仑定律

1. 点电荷：　一种理想模型。

当带电体的线度（d）与带电体间的距离（r）相比可以忽略时（即：d<<r），就可把带电体抽象成一个带电的几何点。

2. 库仑定律

真空（空气）中两个静止点电荷之间的相互作用力：

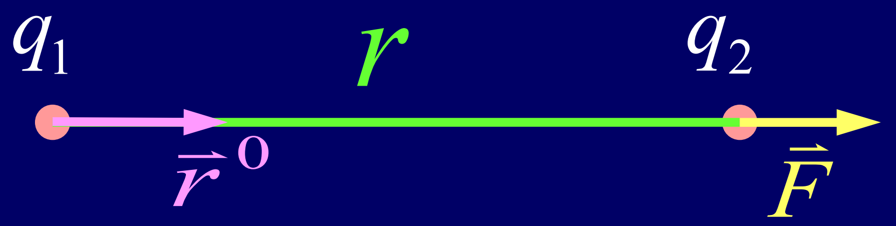
$$F_{21} = F_{12} = k\frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad k = 9 \times 10^9\ m/F$$

- 矢量表示：

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

$\vec{r}$ 一由施力电荷指向受力电荷的位矢

$q_1q_2>0$



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

ε_0 一真空中的电容率（介电常数）

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

讨论：

(1) 库仑定律适用于真空中的点电荷；

介质中： $$\boxed{\vec{F}=\frac{1}{4\pi\varepsilon}\frac{q_1q_2}{r^2}\vec{r}^{\,0}}$$ ε—介质中的介电常数

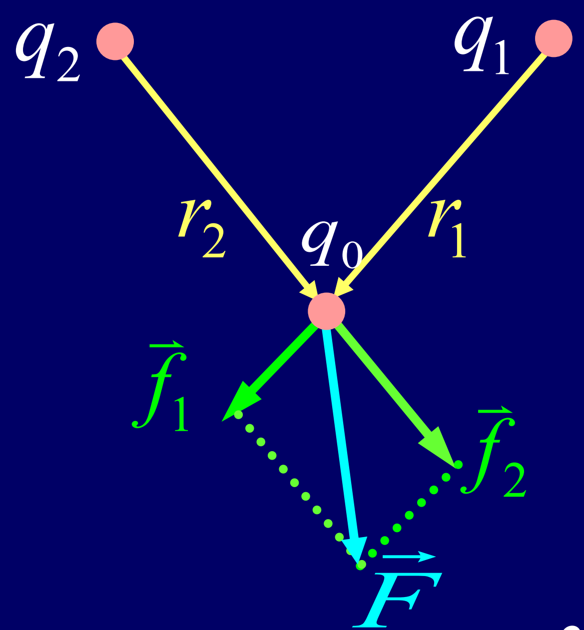
(2) 静止电荷之间的库仑力满足牛顿第三定律；

(3) 库仑力具有矢量性；

q_0受的力： $\vec{F}=\vec{f}_1+\vec{f}_2$

对n个点电荷： $\vec{F}=\vec{F}_1+\vec{F}_2+\ldots\ldots+\vec{F}_n$

$$=\sum_i \vec{F}_i=\sum_i\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_0q_i}{r_i^2}\vec{r}_i^{\,0}$$



§10.2 静电场 电场强度E

一. 电场

- 法拉第提出带电体周围存在一种特殊的物质－电场
- 电场的特点

(1) 对位于其中的带电体有力的作用，带电体在电场中运动,电场力要作功。

电荷 $\xrightarrow{\text{激发}}$ 电场 $\xrightarrow{\text{作用于}}$ 电荷

(2) 电场也具有动量，能量等物质属性。

二. 电场强度

- 试验电荷q_0 { 带电量足够**小** ; 点电荷

场源电荷q

试验电荷所受电场力的大小和方向 { 与试验电荷所处位置有关。 ; 与试验电荷本身电量的大小和正负有关。

对给定电场中的确定点：$$\frac{\vec{F}_1}{q_1} = \frac{\vec{F}_2}{q_2}$$ 恒矢量

该矢量与试验电荷的大小和正负无关

二. 电场强度

- 试验电荷q_0 $\begin{cases}\text{带电量足够小} \\ \text{点电荷}\end{cases}$

场源电荷q

- 定义：

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

电场中某点的电场强度等于单位正电荷在该点所受的电场力。

SI：N/C

说明：

（1）电场强度与试验电荷的大小和正负无关，反映电场自身的属性。

（2）电场强度是位置坐标的单值函数。 $\vec{E}=\vec{E}(\vec{r})$

三. 电场强度叠加原理

1.点电荷q产生的电场

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

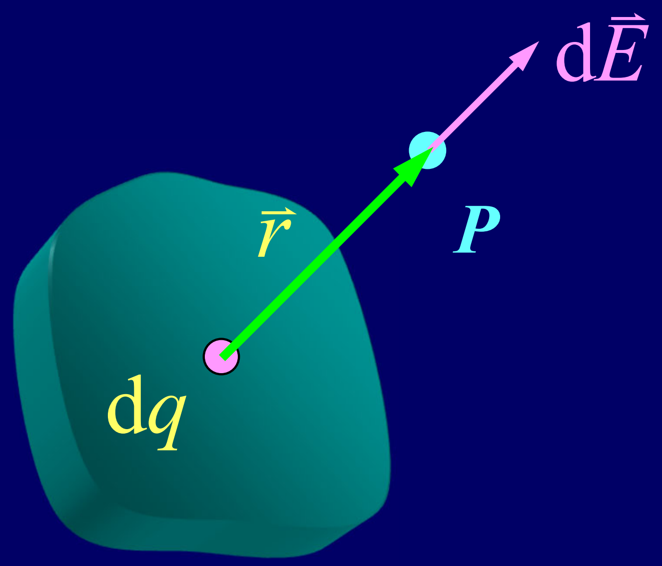
（球对称分布的非均匀场）

2. 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。

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



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

注意：

1. 上述积分是矢量积分。

$$\boxed{\begin{aligned} E_x &= \int dE_x \\ E_y &= \int dE_y \\ E_z &= \int dE_z \end{aligned}}$$

$$E \neq \int dE$$

$$\vec{E} = E_x\vec{i} + E_y\vec{j} + E_z\vec{k}$$

2. 电荷密度

线密度： $\lambda = \dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}l}$

面密度： $\sigma = \dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}S}$

体密度： $\rho = \dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}V}$

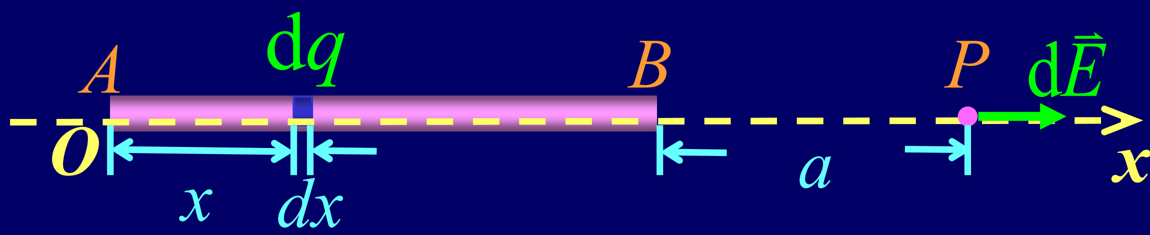
$$\mathrm{d}q = \begin{cases} \lambda \mathrm{d}l & \text{（线分布）} \\ \sigma \mathrm{d}S & \text{（面分布）} \\ \rho \mathrm{d}V & \text{（体分布）} \end{cases}$$

例 长为L的均匀带电直杆AB，电荷线密度为λ

求 AB延长线上点P的电场强度（P点到B的距离为a)

解

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



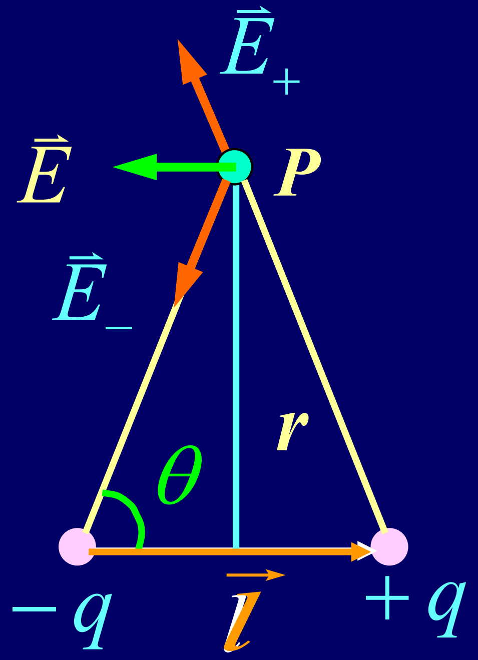
$$\mathrm{d}\vec{E}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\lambda\mathrm{d}x}{r^2}\vec{i}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\lambda\mathrm{d}x}{(L+a-x)^2}\vec{i}$$

$$E=E_x=\int\mathrm{d}E_x=\frac{\lambda}{4\pi\varepsilon_0}\int_0^L\frac{\mathrm{d}x}{(L+a-x)^2}=\frac{\lambda}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{L+a-x}\Bigg|_0^L$$

$$\vec{E}=\frac{\lambda}{4\pi\varepsilon_0}\frac{L}{a(a+L)}\vec{i}$$

电偶极子:等量异号的点电荷相距l，$r>>l$

电偶极矩: $\vec{p}=q\vec{l}$



例 求电偶极子在中垂线上一点产生的电场强度。

解

$$E_+=E_-=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0(r^2+l^2/4)}$$

$$E=2E_+\cos\theta \qquad \cos\theta=\frac{l/2}{\sqrt{r^2+(l/2)^2}}$$

$$E=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{ql}{\left[r^2+(l/2)^2\right]^{3/2}}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{ql}{r^3\left[1+l^2/4r^2\right]^{3/2}}\approx\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{p}{r^3}$$

$$\vec{E}=-\frac{\vec{P}}{4\pi\varepsilon_0 r^3}$$

例 求电偶极子在均匀电场中受到的力偶矩。

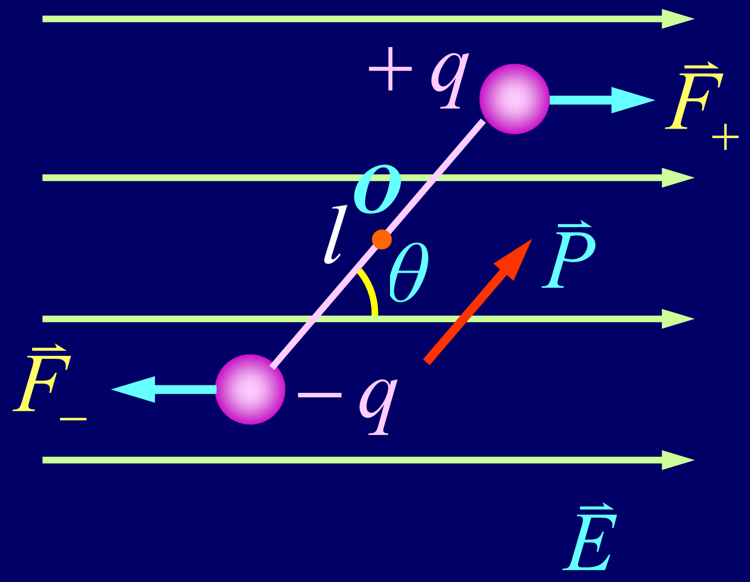
解 $\vec{F}_+ = q\vec{E} \qquad \vec{F}_- = -q\vec{E}$

相对于O点的力矩

$$M = F_+ \cdot \frac{1}{2} l\sin\theta + F_- \cdot \frac{1}{2} l\sin\theta$$

$$= qlE\sin\theta = pE\sin\theta$$

$$\boxed{\vec{M} = q\vec{l} \times \vec{E} = \vec{p} \times \vec{E}}$$



讨论

(1) $\theta = \frac{\pi}{2}$ **力偶矩最大**

(2) $\theta = 0$ **力偶矩为零 (电偶极子处于稳定平衡)**

(3) $\theta = \pi$ **力偶矩为零 (电偶极子处于非稳定平衡)**