电磁学：研究电荷和电流产生的电场和磁场，电场和磁场的相互联系，电磁场对电荷和电流的作用、电磁场对实物的作用及引起的各种效应。

主要内容：静电场、恒定磁场、变化的磁场、变化的电场

# 第10章　静电场

# §10.1 电荷　库仑定律

## 一. 电荷（实物的一种属性，其最直观表现是对轻小物体的吸引）

1. 正负性

2. 量子性　（电荷量：物体所带电荷的多少，符号$Q$，正电荷取正值）
实验表明：电子或质子是自然界带有最小电荷量的粒子

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

盖尔曼提出夸克模型 ：　$\pm\frac{1}{3}e$　$\pm\frac{2}{3}e$

3. 守恒性

在一个孤立系统中总电荷量是不变的。即在任何时刻系统中的正电荷与负电荷的代数和保持不变，这称为电荷守恒定律。

4. 相对论不变性

电荷的电量与它的运动状态无关

## 二. 库仑定律（关于点电荷之间相互作用力的定律）

### 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

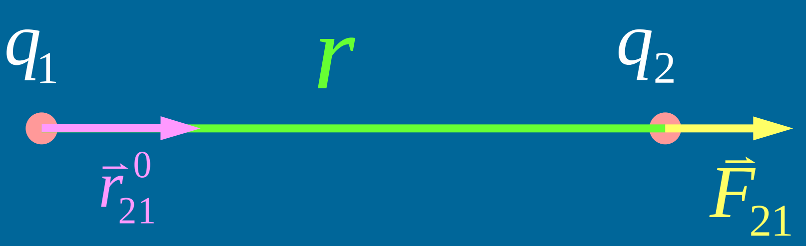
处在静止状态的两个点电荷，在真空（空气）中的相互作用力的大小，与每个点电荷的电量成正比，与两个点电荷间距离的平方成反比，作用力的方向沿着两个点电荷的连线。同号电荷相斥，异号电荷相吸。

电荷$q_1$对$q_2$的作用力$\vec{F}_{21}$ （——称电场力或库仑力）

数学表达形式为：

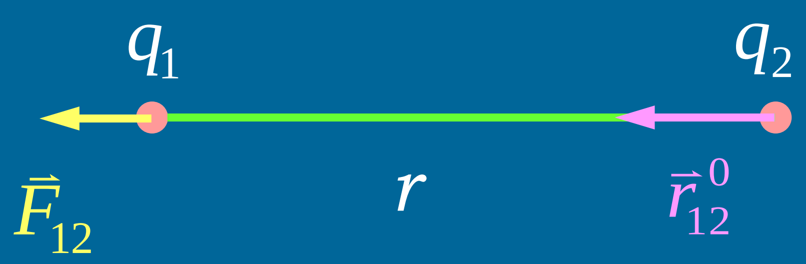
$$F_{21} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

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



电荷$q_2$对$q_1$的作用力$\vec{F}_{12}$

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




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

$\varepsilon_0$ —— 真空中的电容率（介电常数）

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

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

$\vec{r}^{\,0}$由施力电荷指向受力电荷

**讨论：**

(1) 库仑定律适用于真空中的点电荷；

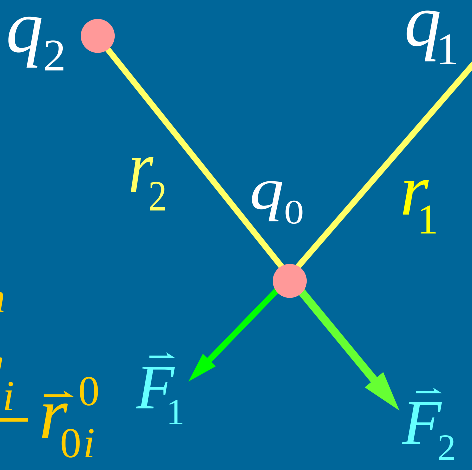
(2) 库仑力满足牛顿第三定律；

(3) 一般$F_{电}>>F_{万}$，库仑定律和万有引力定律形式上类似不同之处在于万有引力的方向只有吸引。

(4) 电量$q$有正负，正电荷时应代入正值，负电荷时代入负值。

# 三. 电场力的叠加原理

当空间存在两个以上点电荷时，作用在某个点电荷上的总电场力等于其它各点电荷单独存在时对该点电荷所施电场力的矢量和。




$q_0$ 受的力：$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$

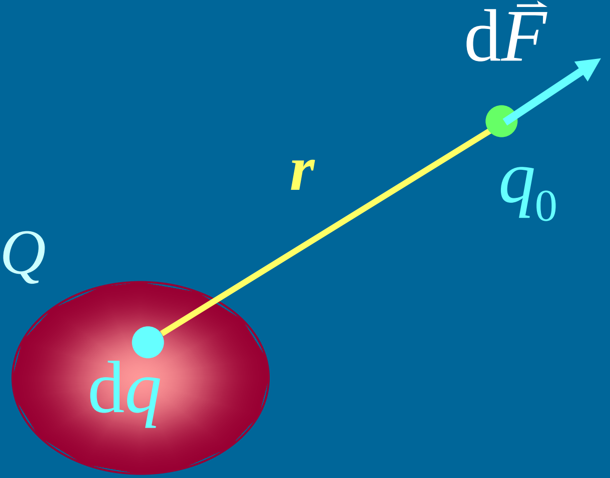
对$n$个点电荷：$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots\ldots + \vec{F}_n$

$$= \sum_i \vec{F}_i = \sum_i \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_0 q_i}{r_{0i}^{\ 2}} \vec{r}_{0i}^{\ 0}$$

对电荷连续分布的带电体

$$\mathrm{d}\vec{F} = \frac{q_0 \mathrm{d}q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \vec{r}^{\ 0}$$

$$\vec{F} = \int_Q \frac{q_0 \mathrm{d}q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \vec{r}^{\ 0}$$



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

$\lambda$: 线密度

$\sigma$: 面密度

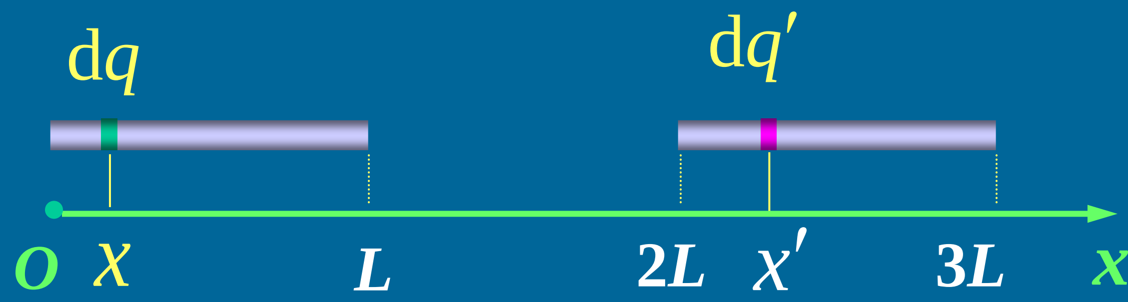
$\rho$: 体密度

**例** 已知:两杆, 电荷线密度为$\lambda$，长度为$L$，相距$L$

**求** 两带电直杆间的电场力的大小。

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

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




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

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

# § 10.2　静电场　电场强度$E$

## 一. 静电场

早期：电磁理论是超距作用理论

后来：近代物理的场的观点

- 电场的特点

(1) 对位于其中的带电体有力的作用

(2) 带电体在电场中运动, 电场力要作功

## 二. 电场强度

场源电荷 — 产生电场的电荷

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

在电场中任一位置处：$\dfrac{\vec{F}_1}{q_1} = \dfrac{\vec{F}_2}{q_2} = \vec{E}$

——与试验电荷无关，仅与试验电荷所在点处的电场有关。

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。

注：1 矢量场　2 单值性

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

## 三. 场强的计算

点电荷的电场　思路：将一个试验电荷放在$q$的电场中，$F\to E$

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

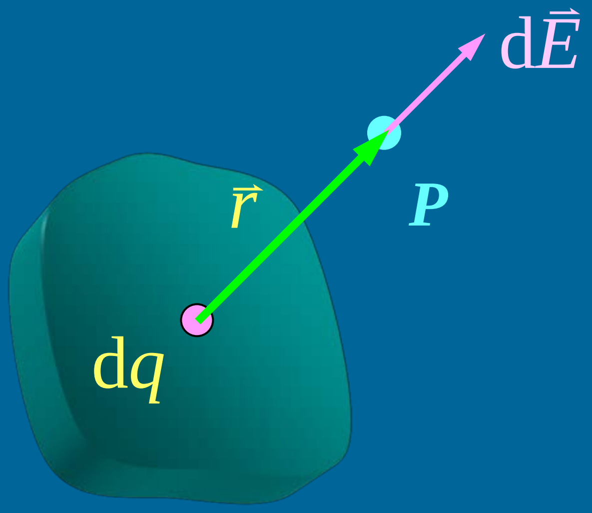
点电荷系的电场

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

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 $$\mathrm{d}\vec{E}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\mathrm{d}q}{r^2}\vec{r}^{\,0}$$

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



# 总结

**1. 库仑定律** $\vec{F}=\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{q_1q_2}{r^2}\vec{r}^{\,0}$ $\quad\vec{r}^{\,0}$ 由施力电荷指向受力电荷

**2. 场强的计算**

点电荷的电场 $\quad\vec{E}=\dfrac{\vec{F}}{q_0}=\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{q}{r^2}\vec{r}^{\,0}$

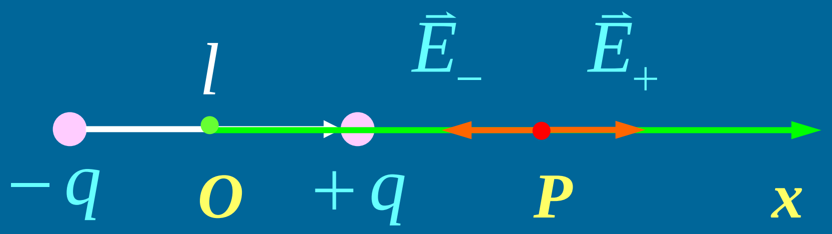
点电荷系的电场 $\quad\vec{E}=\sum_k\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{q_k}{r_k^2}\vec{r}_k^{\,0}$

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

**例** 求电偶极子在延长线上和中垂线上一点产生的电场强度。

**解**
$$\vec{E}_+ = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 (x - l/2)^2}\vec{i}$$

$$\vec{E}_- = -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 (x + l/2)^2}\vec{i}$$

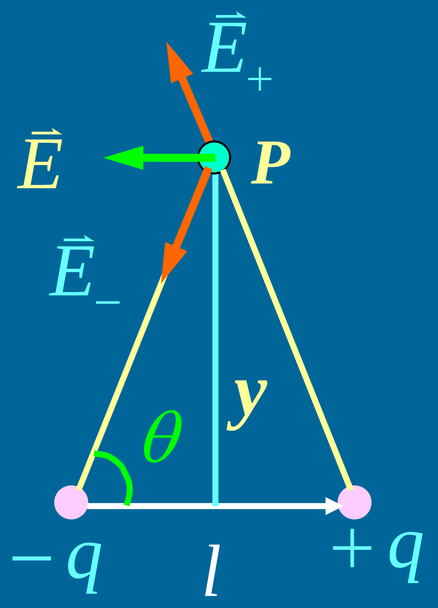



$$\vec{E} = \vec{E}_+ + \vec{E}_- = \frac{q \cdot 2xl}{4\pi\varepsilon_0 (x^2 - l^2/4)^2}\vec{i}$$

令：电偶极矩 $\vec{p} = q\vec{l}$

$$= \frac{2x\vec{p}}{4\pi\varepsilon_0 (x^2 - l^2/4)^2} \approx \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{2\vec{p}}{x^3} \quad (\because x >> l)$$

在中垂线上 $E_+ = E_- = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 (y^2 + l^2/4)}$




$E = 2E_+ \cos\theta$ $\qquad \cos\theta = \dfrac{l/2}{(y^2 + l^2/4)^{1/2}}$

$$\Rightarrow E = \frac{ql}{4\pi\varepsilon_0 (y^2 + l^2/4)^{3/2}} \qquad y >> l$$

$$\Rightarrow E = \frac{p}{4\pi\varepsilon_0 y^3} \qquad \vec{E} = -\frac{\vec{p}}{4\pi\varepsilon_0 y^3}$$