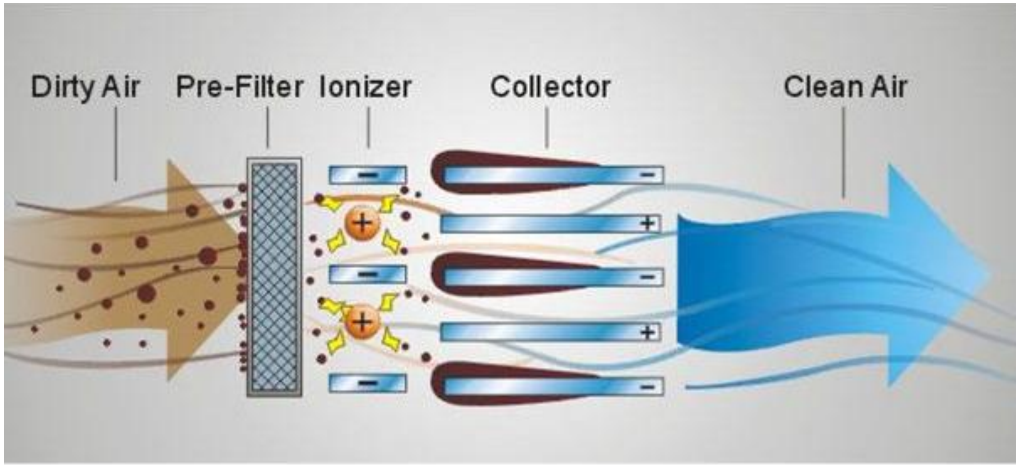
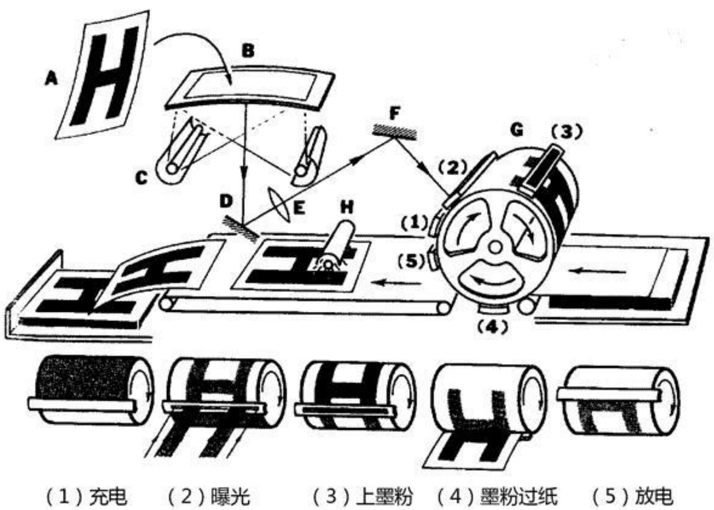
第12章

静电力和静电场的描述



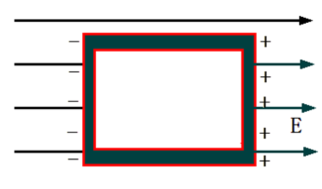
静电除尘

避雷针

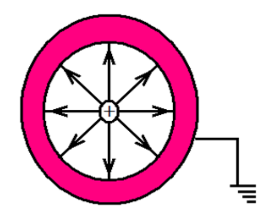


静电复印

屏蔽外部电场使其
不影响内部



屏蔽内部电场使其
不影响外部

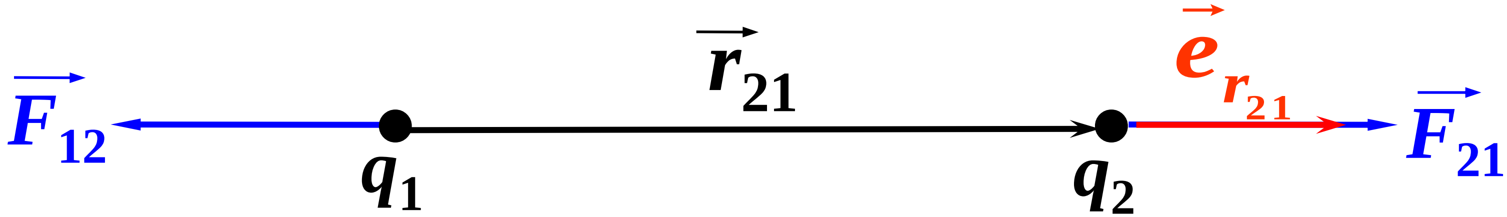


（空腔导体接地）

静电屏蔽

本章目录

§ 12.1 场

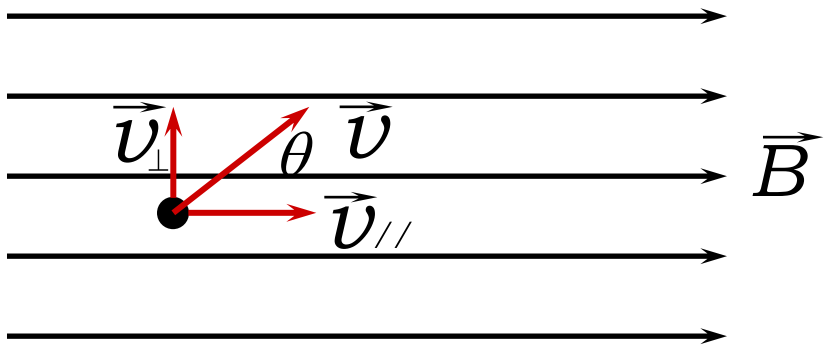


$$\boxed{\vec{F}_{21} = k\frac{q_1 q_2}{r_{21}^2}\vec{e}_{r_{21}} = -\vec{F}_{12}}$$

万有引力 $\vec{F} = -\dfrac{GMm}{R^2}\vec{e}_R$

牛顿力学和电磁学：

（1）万有引力只和物体的相对位置有关；电磁力与带电粒子的带电性、运动速度大小和方向等密切相关。



（2）电磁力通过场传递，传递的速度是有限的。

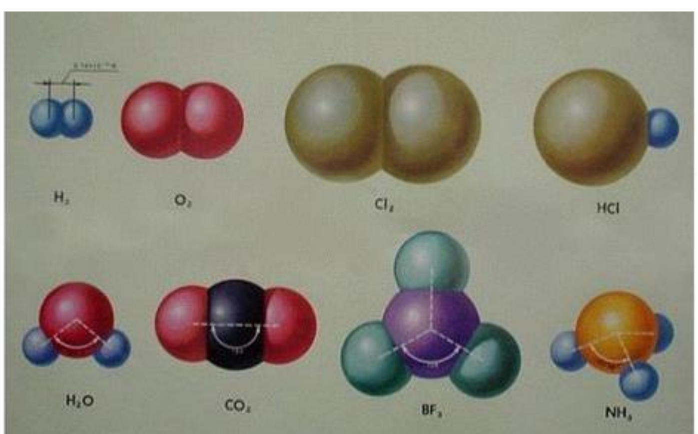
（3）牛顿力学以牛顿三大定律为基础，建立一套经典力学理论体系；电磁学建立在大量实验和观察结果上。

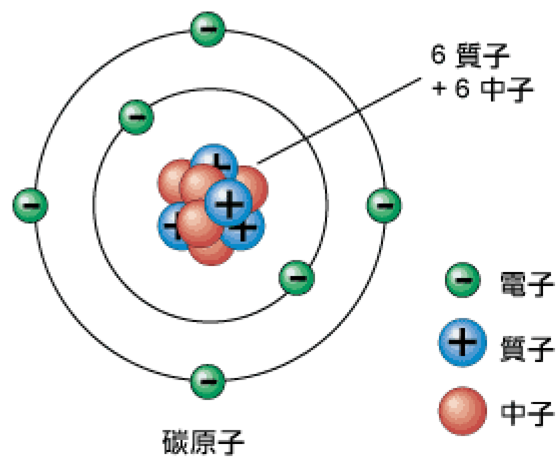
（4）力学研究对象是物体，电磁学研究对象是场。

§ 12.2 电荷的分类和电荷守恒定律

宏观物质

分子





质子(+)

电子(-)

§ 12.2 电荷的分类和电荷守恒定律

一、电荷

1、电荷的分类

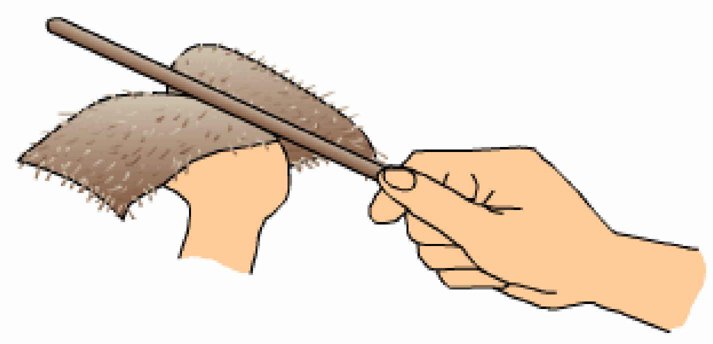
质子带正电荷，电子带负电荷，中子不带电

2、静电力

同种电荷相斥，异种电荷相吸。

3、摩擦起电

电荷转移



§ 12.2 电荷的分类和电荷守恒定律

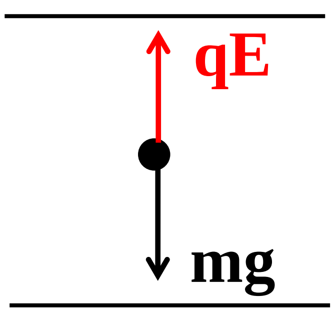
二、电量和电荷守恒

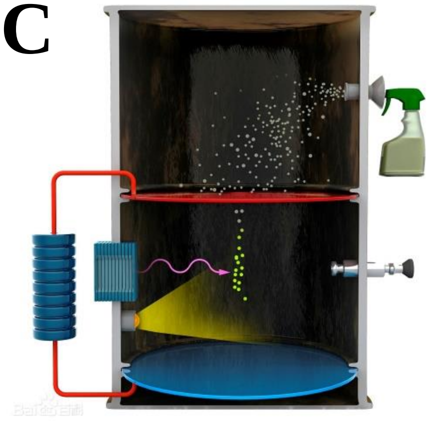
带电体所带电荷的数量叫做**电荷量**。

电荷量的量子性

电子电量 的绝对值$e=1.602\times10^{-19}C$

密立根油滴实验

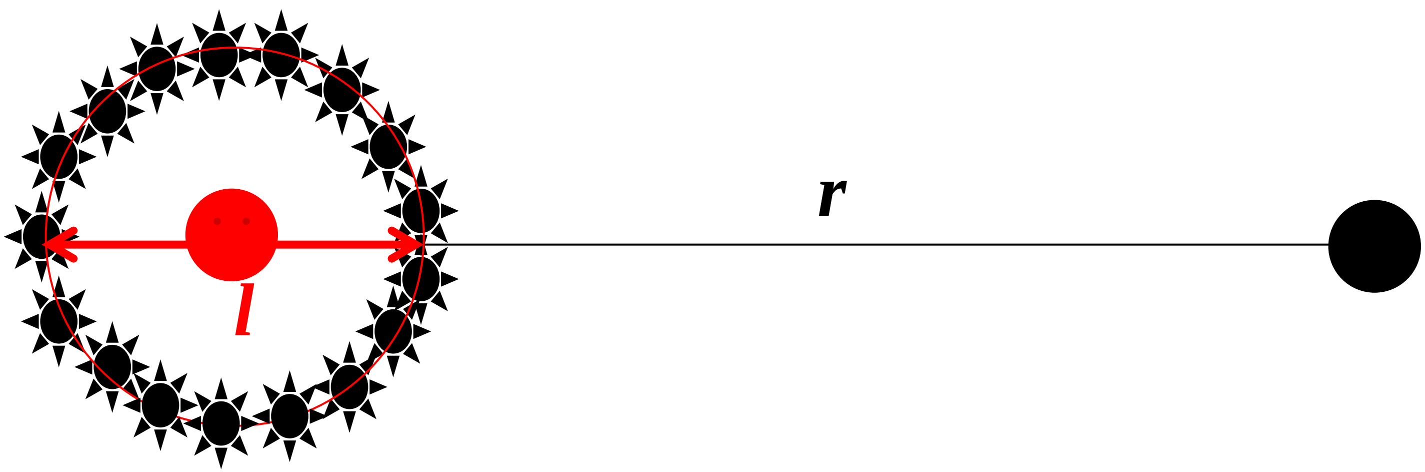




二、电量和电荷守恒

电荷守恒定律

在一个封闭系统内，系统正负电荷的电量代数和总保持不变，这就是电荷守恒定律。

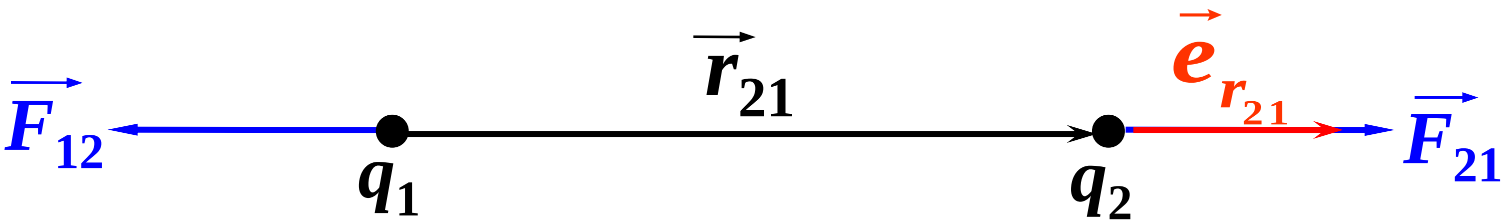


点电荷：当一个带电体本身的线度比所研究的问题中所涉及的距离小很多时，该带电体的形状与电荷在其上的分布均无关紧要，该带电体可以看做一个带电的点，叫点电荷。

§ 12.3 静电力的库仑定律

一、库仑定律：

在真空中两个静止点电荷之间静电作用力F的大小与两个点电荷所带电量q_1q_2成正比，与它们之间的距离r平方成反比，作用力的方向沿两个点电荷方向。



$$\boxed{\vec{F}_{21} = k\frac{q_1 q_2}{r_{21}^2}\vec{e}_{r_{21}} = -\vec{F}_{12}}$$

国际单位制（SI）中： q — 库仑（C） F — 牛顿（N）

r — 米（m） 实验定出： $k = 8.9880\times10^{9}\ \mathrm{N\,m^2/C^2}$

二、库仑定律适用的条件：

1)真空中点电荷间的相互作用

2)施力电荷对观测者静止(受力电荷可运动)

引入常量ε_0，令 $k=\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}$，有：

$$\varepsilon_o=\frac{1}{4\pi k}=8.85\times10^{-12}\ \mathrm{C^2/N\cdot m^2}$$

ε_0—真空介电常量

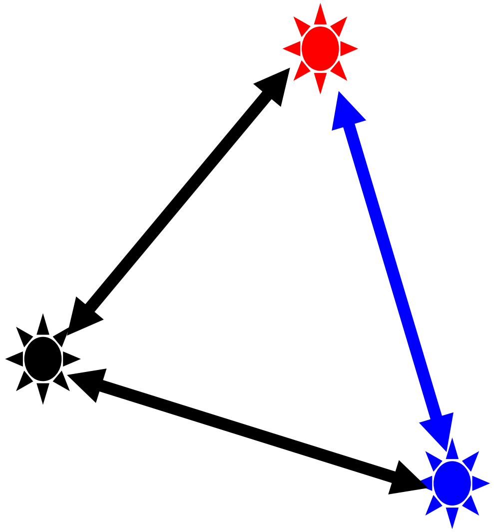
库仑定律：

$$\boxed{\vec{F}_{21}=\frac{q_1q_2}{4\pi\varepsilon_0 r_{21}^2}\vec{e}_{r_{21}}=-\vec{F}_{12}}$$

电力的叠加原理

$$\boxed{F=\sum_i F_i}$$

$$\boxed{\vec{F}=\vec{F}_1+\vec{F}_2+\vec{F}_3+\ldots\ldots\ldots}$$



两个点电荷之间的作用力并不因第三个电荷的存在而改变。

§ 12.4 静电场的物理描述方法

一、静电场的物理描述——电场强度

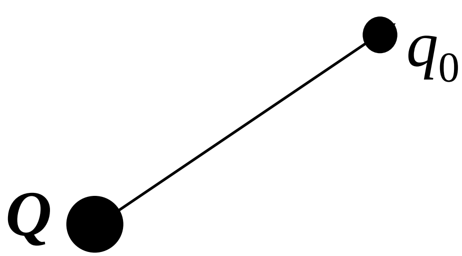
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

q_0 — 静止的检验(点)电荷

$\vec{F}$ — 检验电荷受的电场力

电荷q_A $\rightleftharpoons$ 电场 $\rightleftharpoons$ 电荷q_B

$$\boxed{\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \vec{E}(\vec{r}, t)}$$



q_0----$\overrightarrow{F_0}$

q_1----$\overrightarrow{F_1}$

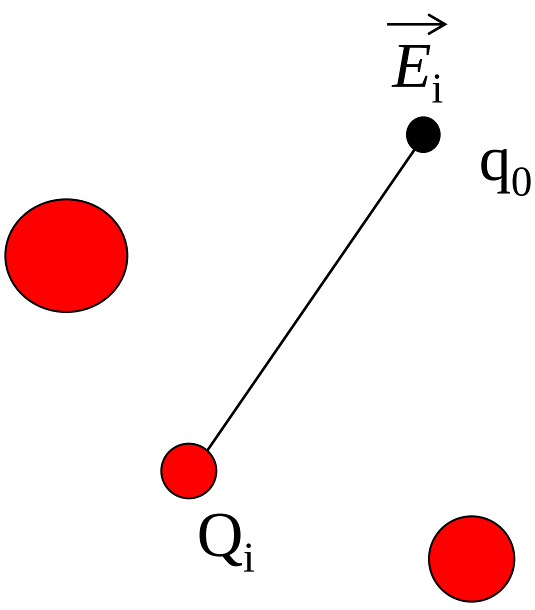
q_2----$\overrightarrow{F_2}$

....

$\vec{E} \sim \vec{F}$? $\vec{E} \sim q_0$? $\vec{E} \sim Q$?

$$\frac{\vec{F}_0}{q_0} = \frac{\vec{F}_1}{q_1} = \frac{\vec{F}_2}{q_2} = \ldots.$$

若 $\vec{E}_i$ 为点电荷系中的第i个电荷单独存在时在场点的电场强度，则点电荷系的总场强：

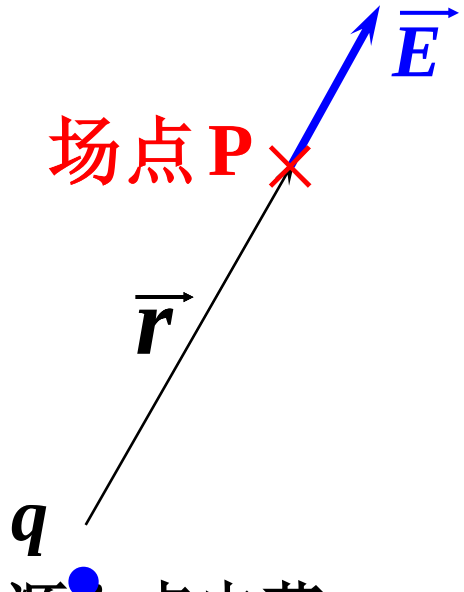


$$\boxed{\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i}$$ —— 场强叠加原理

$$\boxed{\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \cdots\cdots}$$

§ 12.4 静电场的物理描述方法

（一）点电荷的电场强度



“场源”点电荷

(相对观测者静止)

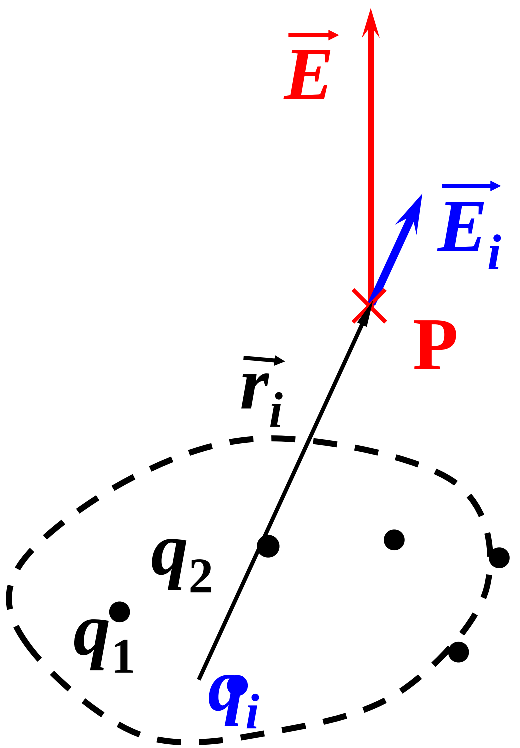
根据库仑定律和电场强度定义：

$$\boxed{\vec{E} = \frac{q\,\vec{e}_r}{4\pi\varepsilon_o r^2}}$$

点电荷电场强度分布的特点：

$$E \propto \frac{1}{r^2}$$

（二）点电荷系的电场强度



点电荷系

点电荷q_i 的场强：

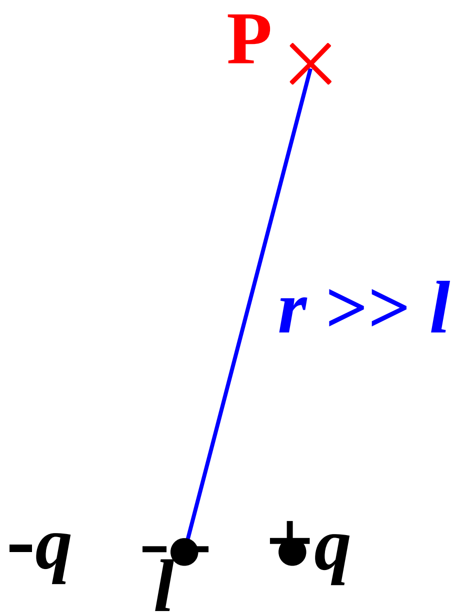
$$\vec{E}_i = \frac{q_i \vec{e}_{r_i}}{4\pi\varepsilon_0 r_i^2}$$

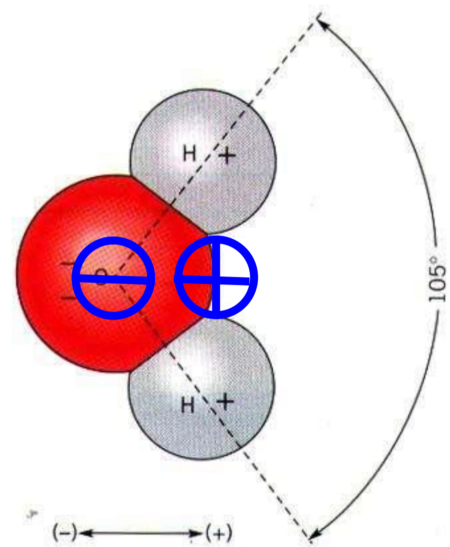
由叠加原理，点电荷系的总场强：

$$\vec{E} = \sum_i \frac{q_i \vec{e}_{r_i}}{4\pi\varepsilon_0 r_i^2}$$

1. 点电荷系——电偶极子 的电场强度

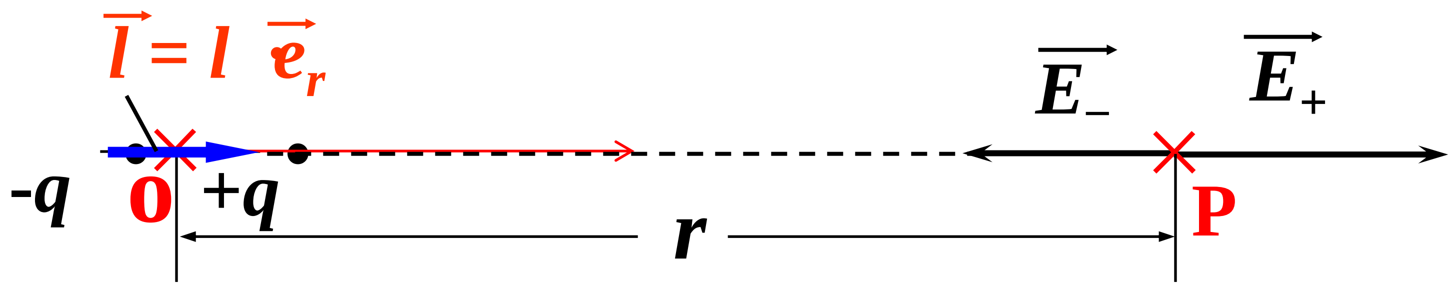
电偶极子：一对靠得很近的带等量异号的点电荷所组成的电荷系。





电偶极子是个相对的概念，它也是一种物理模型，比如：极性分子 。

（1）在电偶极子轴线上的场强



$$\vec{E} = \vec{E}_+ + \vec{E}_- = \frac{q\vec{e}_r}{4\pi\varepsilon_o} \cdot \frac{2l}{r^3}$$

令 $\vec{p} = q\vec{l}$，$\vec{l}: -q \to +q$，则 $\vec{E} = \dfrac{2\vec{p}}{4\pi\varepsilon_o r^3}$

$\vec{p}$ 称为**电偶极矩**。

表明电偶极子的 q 和 $\vec{l}$ 是作为一个整体影响它在远处的电场。

$$\vec{E}_+ = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q\vec{e}_r}{(r-l/2)^2} \qquad \vec{E}_- = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{-q\vec{e}_r}{(r+l/2)^2}$$

$$\vec{E}=\vec{E}_{+}+\vec{E}_{-}=\frac{q\vec{e}_r}{4\pi\varepsilon_o}\cdot\frac{1}{r^2}[(1+l/r)-(1-l/r)]=\frac{q\vec{e}_r}{4\pi\varepsilon_o}\cdot\frac{2l}{r^3}$$

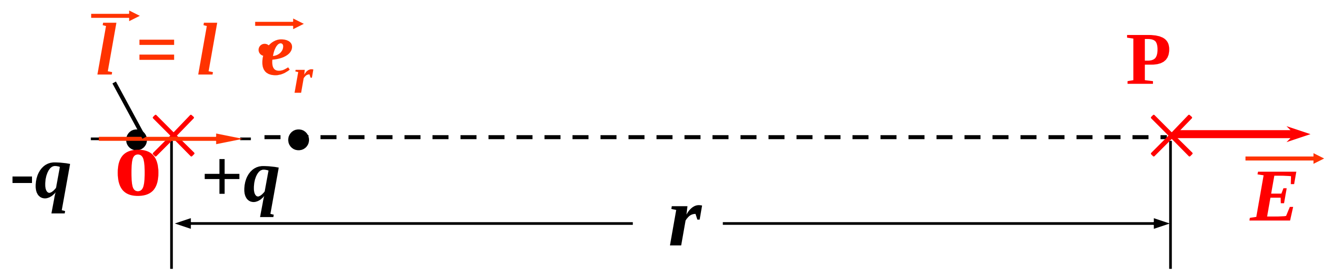
$$\vec{E}_{+}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q\vec{e}_r}{(r-l/2)^2}=\frac{q}{4\pi\varepsilon_o r^2}(1+l/r)\vec{e}_r$$

$$\vec{E}_{-}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{-q\vec{e}_r}{(r+l/2)^2}=\frac{-q}{4\pi\varepsilon_o r^2}(1-l/r)\vec{e}_r$$

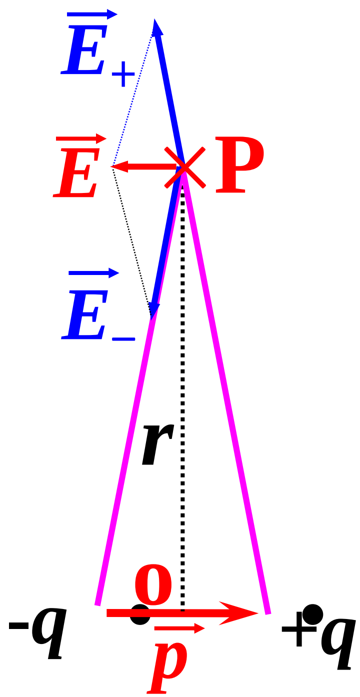
当$r>>l$时：

$$\frac{1}{(r\mp l/2)^2}=\frac{1}{r^2}(1\mp l/2r)^{-2}\approx\frac{1}{r^2}(1\pm l/r)$$

（1）在电偶极子**轴线上**的场强 $\vec{E}=\dfrac{2\vec{p}}{4\pi\varepsilon_o r^3}$



（2）在电偶极子**中垂线上**的场强 $\vec{E}=-\dfrac{\vec{p}}{4\pi\varepsilon_o r^3}$

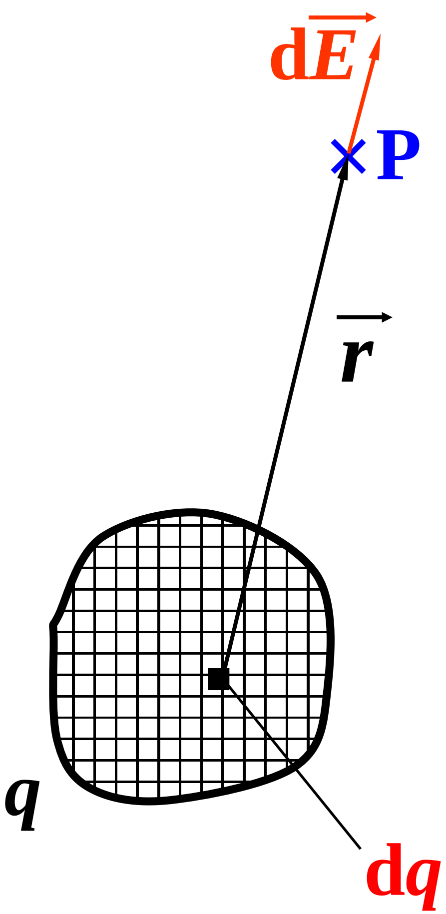


电偶极子场强分布的的特点：

$$E\propto\frac{1}{r^3}$$

2. 点电荷系——连续带电体的场强

将带电体分割成无限多块无限小的带电体



$$\boxed{\vec{E} = \int \mathrm{d}\vec{E} = \int_q \frac{\mathrm{d}q \cdot \vec{e}_r}{4\pi\varepsilon_0 r^2}}$$

体电荷 $\mathrm{d}q = \rho\,\mathrm{d}V$，

ρ： 体电荷密度

面电荷 $\mathrm{d}q = \sigma\,\mathrm{d}S$，

σ： 面电荷密度

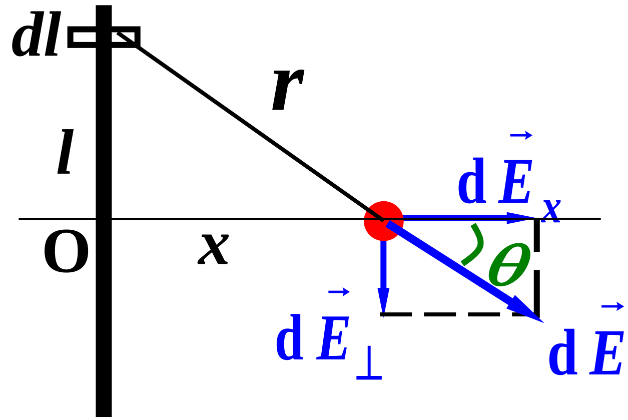
线电荷 $\mathrm{d}q = \lambda\,\mathrm{d}l$，

λ： 线电荷密度

例1 已知：一根带正电直棒，λ，L

求：在中垂线上，距离中点O为x处的场强

解：(1) 划分电荷元



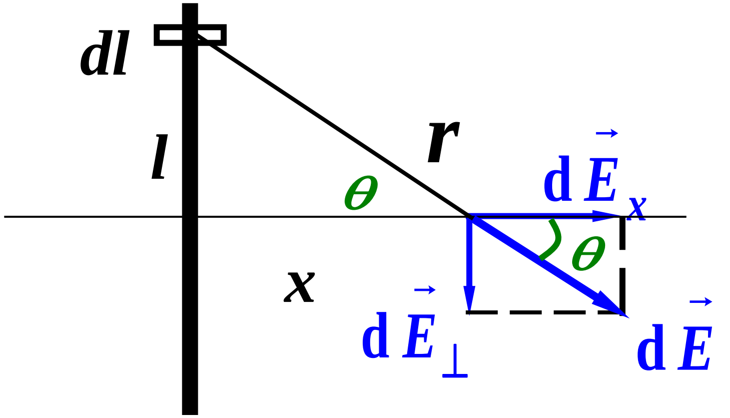
$$\mathrm{d}q = \lambda\,\mathrm{d}l$$

(2) 分析 $\mathrm{d}\vec{E}$ 大小、方向：

$$\mathrm{d}E_x = \frac{\mathrm{d}q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\cdot\cos\theta\,,$$

$$\mathrm{d}E_\perp = \frac{\mathrm{d}q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\sin\theta \qquad \cos\theta = \frac{x}{r}$$

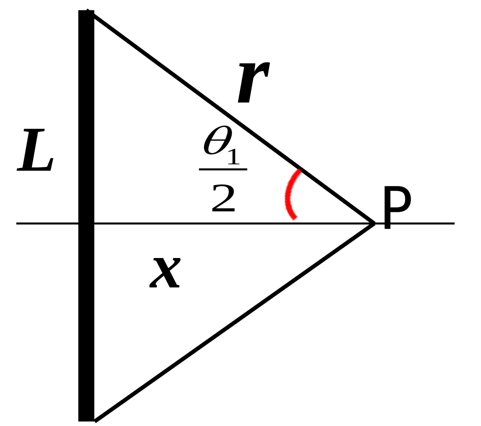
(3) 积分求 $\vec{E}$ ：



$$\vec{E} = \int_q \mathrm{d}\vec{E} = \vec{i}\int_q \mathrm{d}E_x$$

$$\left.\begin{aligned} dE_x &= \frac{\mathrm{d}q}{4\pi\varepsilon_o r^2}\cdot\cos\theta = \frac{\lambda dl}{4\pi\varepsilon_o r^2}\cos\theta \\ l &= x\tan\theta \Rightarrow dl = \frac{x d\theta}{\cos^2\theta} \end{aligned}\right\}$$

$$E = \int_{-\theta_1/2}^{\theta_1/2} \frac{\lambda\cos\theta}{4\pi\varepsilon_0 x} d\theta = \frac{\lambda\sin(\theta_1/2)}{2\pi\varepsilon_0 x}$$



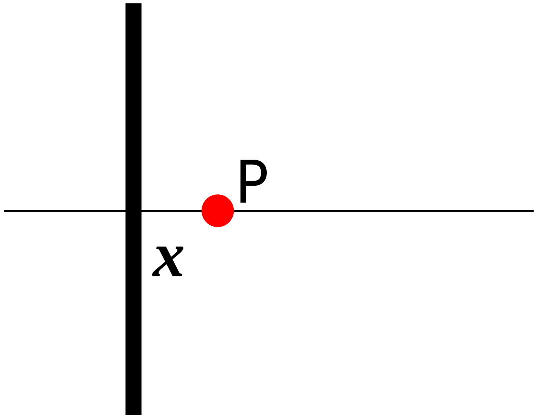
$$E = \frac{\lambda L}{4\pi\varepsilon_0 x\sqrt{x^2 + L^2/4}}$$

均匀带电直棒，中垂线上的电场：$E=\dfrac{\lambda L}{4\pi\varepsilon_0 x\sqrt{x^2+L^2/4}}$

讨论：

1. 当$x<<L$时，即P点在直线中部近旁区域，也可以认为带电棒是无限长直线。

$$E=\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 x}$$

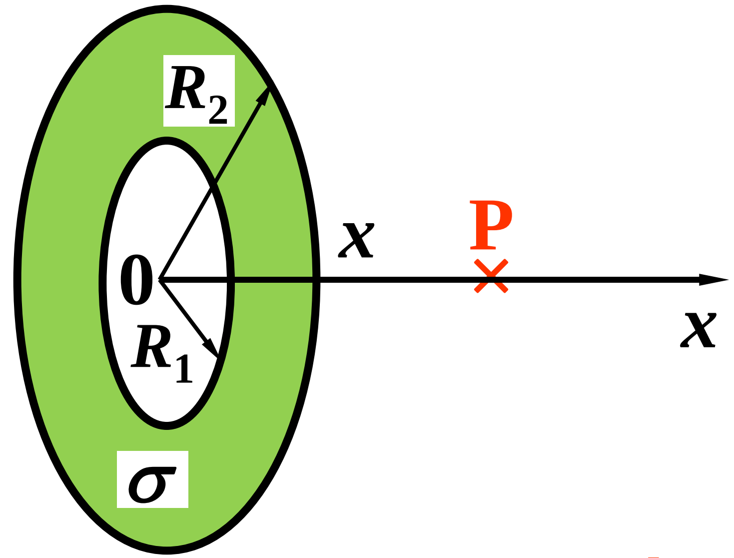


2. 当$x>>L$时，即P点在无限远处

$$E=\frac{\lambda L}{4\pi\varepsilon_0 x^2}=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 x^2}$$ 点电荷

例2： 已知：均匀带电环面，σ，R_1，R_2

求：在轴线上距离圆环中心O为x处的场强



解：(1) 划分电荷元

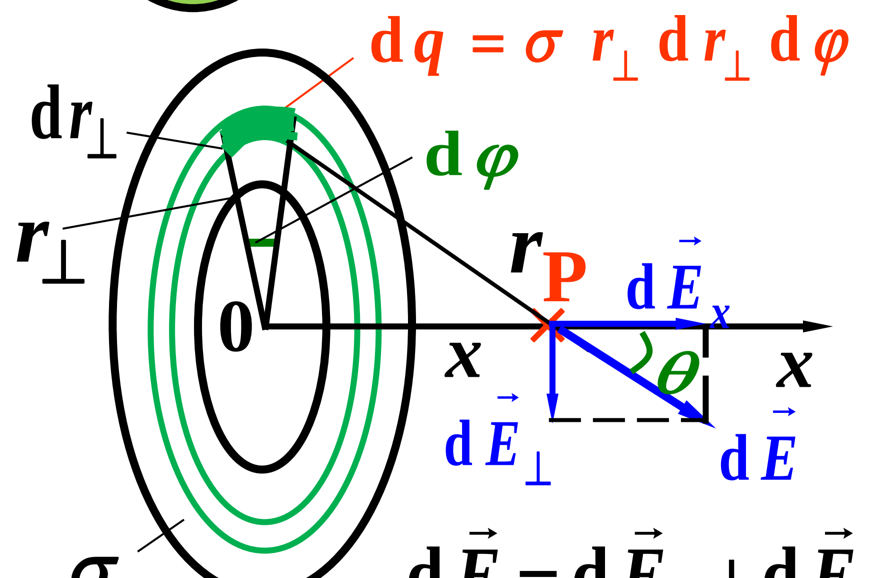
$$\mathrm{d}q = \sigma\,\mathrm{d}s$$

$$= \sigma\, r_\perp \mathrm{d} r_\perp \cdot \mathrm{d}\varphi$$

(2) 分析 $\mathrm{d}\vec{E}$ 大小、方向：

$$\mathrm{d}E_x = \frac{\mathrm{d}q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \cdot \cos\theta$$

$$\mathrm{d}E_\perp = \frac{\mathrm{d}q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \sin\theta$$



$$\mathrm{d}\vec{E} = \mathrm{d}\vec{E}_x + \mathrm{d}\vec{E}_\perp$$

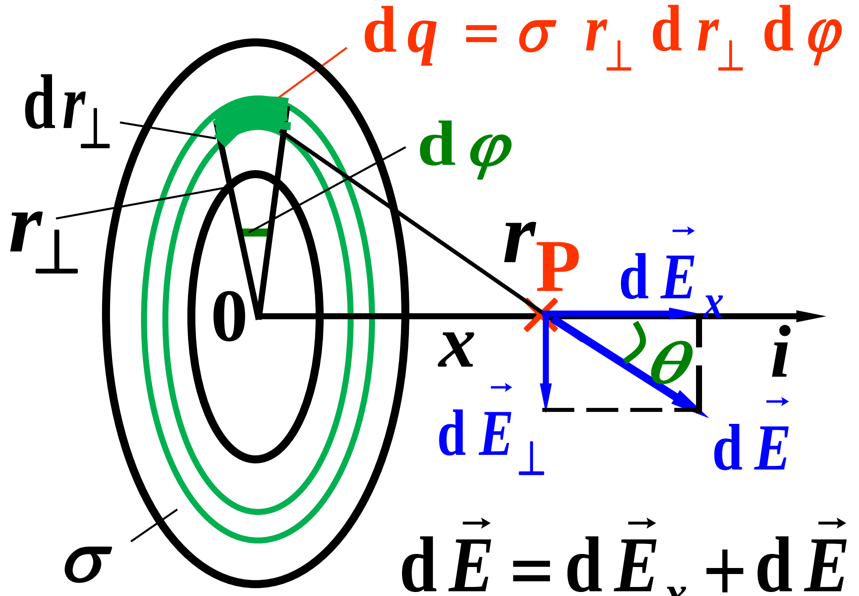
(3) 积分求 $\vec{E}$：

$$\vec{E}=\int_q \mathrm{d}\vec{E}=\vec{i}\int_q \mathrm{d}E_x=E_x\cdot\vec{i}$$

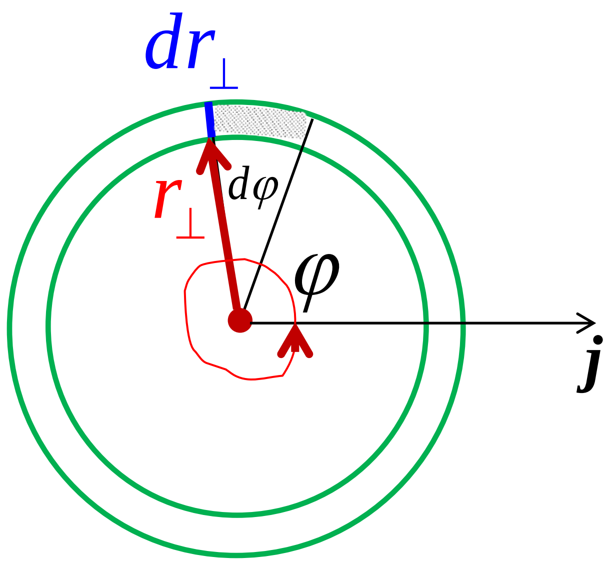
$$E_x=\int_q \frac{\mathrm{d}q}{4\pi\varepsilon_o r^2}\cdot\cos\theta=\int_0^{2\pi}\int_{R_1}^{R_2}\frac{\sigma\, r_\perp\,\mathrm{d}r_\perp\,\mathrm{d}\varphi}{4\pi\varepsilon_0\cdot r^2}\cdot\cos\theta$$

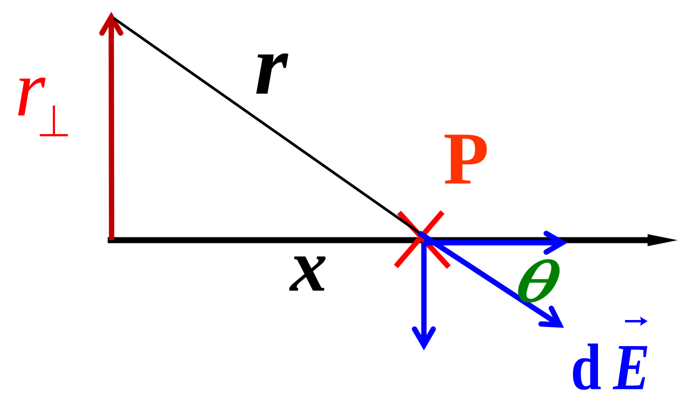
$$=\frac{2\pi\sigma}{4\pi\varepsilon_o}\cdot\int_{R_1}^{R_2}\frac{r_\perp\cdot\mathrm{d}r_\perp}{r^2}\cdot\frac{x}{r}=\frac{\sigma}{2\varepsilon_o}\cdot\int_{R_1}^{R_2}\frac{x\cdot r_\perp\cdot\mathrm{d}r_\perp}{(x^2+r_\perp^2)^{3/2}}$$

$$=\frac{\sigma\ x}{2\varepsilon_o}\cdot\left[\frac{1}{\sqrt{x^2+R_1^2}}-\frac{1}{\sqrt{x^2+R_2^2}}\right]$$



$$d\vec{E} = d\vec{E}_x + d\vec{E}_\perp$$





$$\vec{E}=\frac{\sigma\ x}{2\varepsilon_o}\cdot\left[\frac{1}{\sqrt{x^2+R_1^2}}-\frac{1}{\sqrt{x^2+R_2^2}}\right]\cdot\vec{i}$$

（4）分析结果的合理性：

① 量纲正确；

② 令 $x=0$，得 $\vec{E}=0$，合理；

③ 令 $x>>R_2$，则：

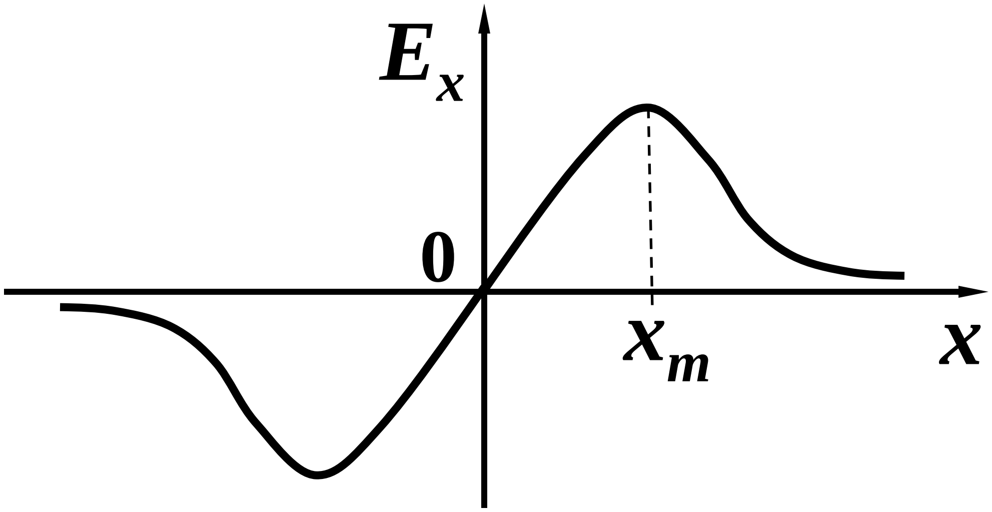
$$E_x\approx\frac{\sigma}{2\varepsilon_o}\cdot\frac{R_2^2-R_1^2}{2x^2}=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 x^2}\propto\frac{1}{x^2}$$

，合理。

$$\frac{1}{\sqrt{x^2+R^2}}=\frac{1}{x\sqrt{1+R^2/x^2}}=\frac{1}{x}\left(1+\frac{R^2}{x^2}\right)^{-\frac{1}{2}}\approx\frac{1}{x}\left(1-\frac{R^2}{2x^2}\right)$$

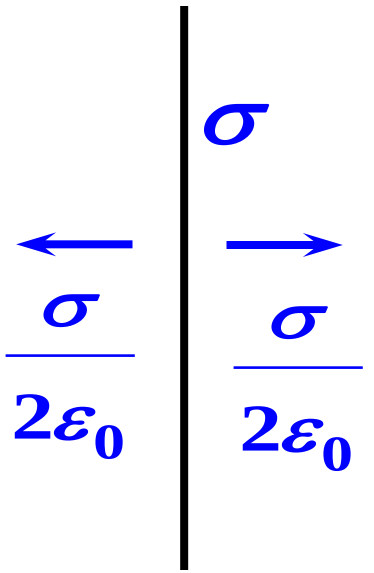
(5) 对结果的讨论：

① E的分布：



x_m=?，自己计算。

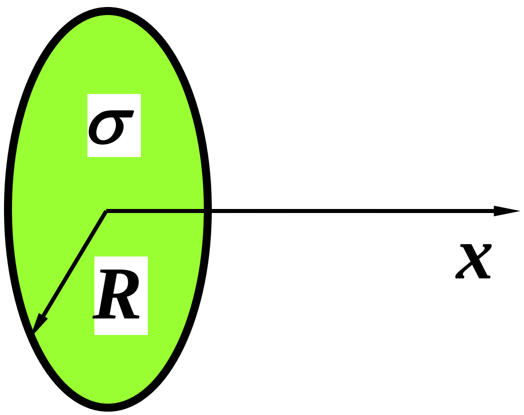
② $R_1 \to 0$， $R_2 \to \infty$，即环面是均匀带电无限大平面：



$$E_x = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \cdot \frac{x}{|x|},$$

$$E = |E_x| = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} = \text{常量}$$

③ $R_1 \to 0$， $R_2=R$ ，即带电环面是一个均匀带电圆盘：



$$E_x = \frac{\sigma\ x}{2\varepsilon_0}\left[\frac{1}{|x|} - \frac{1}{\sqrt{x^2+R^2}}\right]$$

$$= \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \cdot \frac{x}{|x|}\left[1 - \frac{|x|}{\sqrt{x^2+R^2}}\right]$$

$$= \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\left[1 - \frac{|x|}{\sqrt{x^2+R^2}}\right]$$