西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

2022
大学物理 II

COLLEGE PHYSICS

下册篇

10 静电场

11 稳恒磁场

12 变化的电场与变化的磁场

14 狭义相对论

15 量子物理基础

16 激光、固体能带

电磁学——研究物质电磁运动规律及应用的学科

- 研究对象：静电场
  稳恒磁场
  变化的电场产生的磁场
  变化的磁场产生的电场

- 研究内容：电磁现象的基本概念和基本规律
  - 电荷、电流产生电场、磁场的规律
  - 电磁场对电荷、电流的作用
  - 电磁场对物质的各种效应
  - 电场和磁场的相互联系

10

静电场

Electrostatic Field

10

静电场

本节概览

CONTENT

学习内容

- 库仑定律的定义和应用
- 静电力的叠加原理
- 电场强度、场强叠加原理
- 电场强度的分析和计算方法

电荷

1. 电荷的种类：正电荷和负电荷；

2. 电量q：电荷的多少； 单位：C（库仑）

3. 电荷的量子性：任何电荷的电量总是电子电量的正负 整数倍

$$\boxed{\begin{aligned} &e = -1.602\times10^{-19}\,\mathrm{C} \\ &q = \pm Ne \end{aligned}}$$

4. 电荷守恒：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，称为电荷守恒定律

库仑定律

1785年，库仑通过扭称实验得到

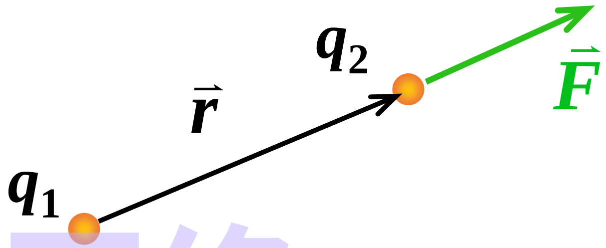
1. 表述

在真空中， 两个静止点电荷q_1及q_2之间的相互作用力的大小和q_1与q_2的乘积成正比，和它们之间距离r的平方成反比；作用力的方向沿着它们的连线，同号电荷相斥，异号电荷相吸。

—— 库仑定律

这种力称为库仑力，是一种静电力

2. 库仑定律的数学表达式



$$\boxed{\vec{F}=k\frac{q_1q_2}{r^2}\vec{r}^{\,0}} \quad 或 \quad \boxed{\vec{F}=k\frac{q_1q_2}{r^3}\vec{r}}=k\frac{q_1q_2}{r^2}\left(\frac{\vec{r}}{r}\right) \quad \vec{r}^{\,0}$$

3. 讨论

- 点电荷：只带电荷而没有形状和大小的物体　电学中的理想化模型（相对性）

  数学上——在空间只占据一个点的位置

  物理上——带电体的几何线度<<带电体间距
- 库仑定律只适合于真空中的点电荷相互作用
- 比例系数k可以表示为：

$$k=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\qquad \varepsilon_0=\frac{1}{4\pi k}=8.85\times10^{-12}\ \frac{\mathrm{C}^2}{\mathrm{m}^2\mathrm{N}}$$

ε_0为真空中的介电常数

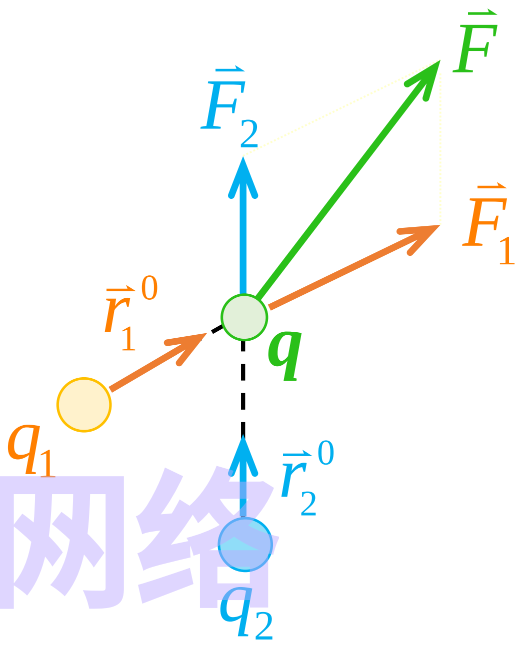
- 实验发现：在10^{-15}米至10^{7}米范围内库仑定律都成立
- 库仑力遵守牛顿第三定律

4. 静电力的叠加原理

库仑力满足力的独立性原理——叠加原理

作用于某电荷上的总静电力等于其他点电荷单独存在时作用于该电荷的静电力的矢量和

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

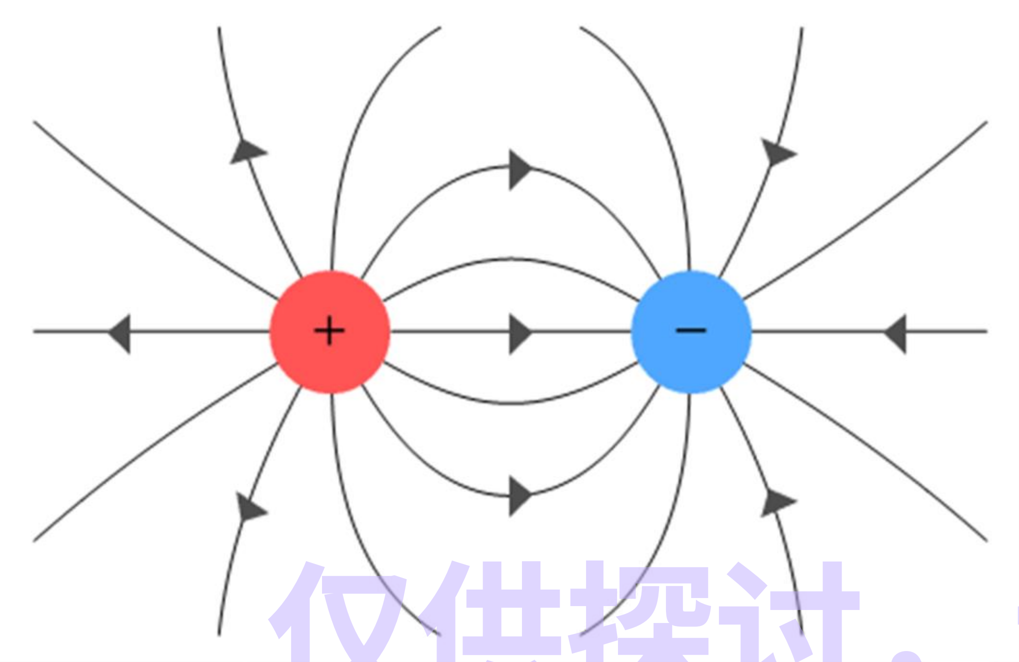


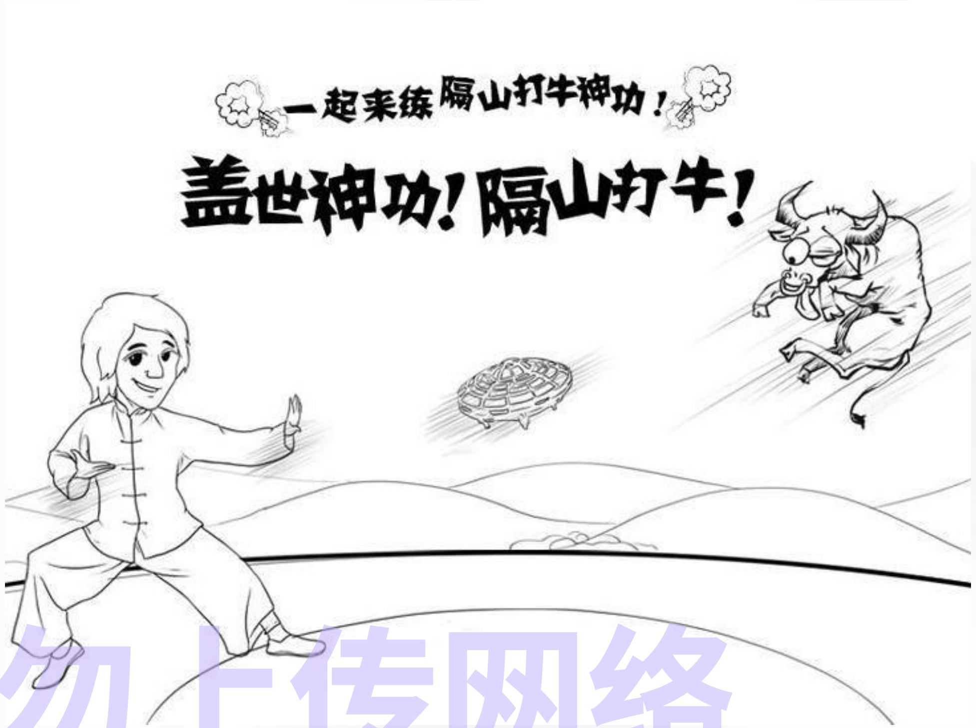
电荷连续分布的带电体：

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

静电力作用

电荷之间的静电力是通过怎样的作用实现的?





10-2 静电场 电场强度

电场

实验证实两静止电荷间存在相互作用的静电力，但其相互作用是怎样实现的?

电场

电荷 ⟷ 电荷

物质 { 场 / 实物 }

- ✓ 场是一种特殊形态的物质，具有能量、质量、动量
- ✓ 电场可以脱离电荷而独立存在，在空间具可叠加性
- ✓ 静电场——相对于观察者静止且电量不随时间变化的电荷产生的电场

- 电场对场中电荷施以电场力作用 ——引入 $\vec{E}$
- 带电体在电场中移动，电场力要对它做功 ——引入 U

电场强度

描述电场的物理量之一，反映力的作用

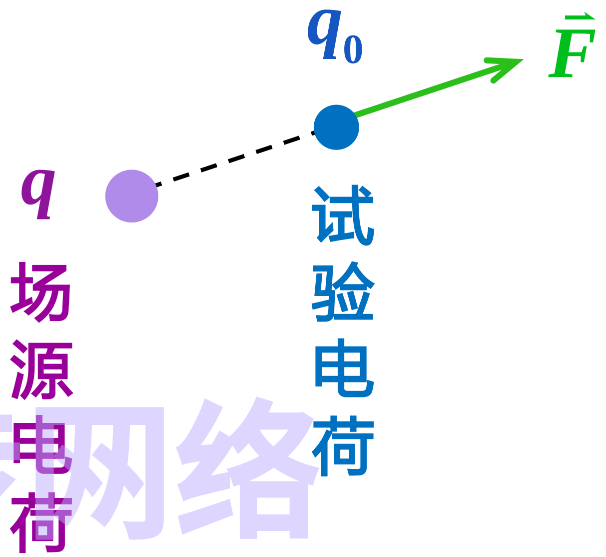
引入试验电荷 q_0 —— 点电荷

（电量足够小，不影响原电场分布；线度足够小，只占空间点的位置）

1. 定义

电场强度（场强）

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



大小：单位正电荷在场中某点所受的电场力

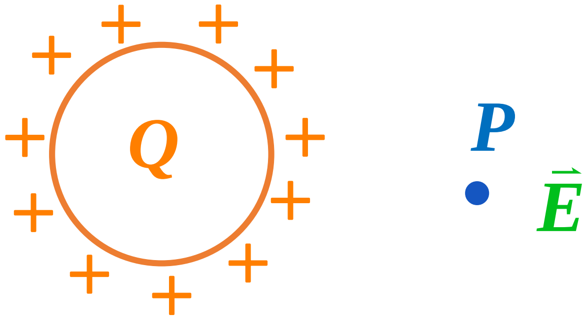
方向：单位正电荷在该点所受电场力的方向

单位：牛顿/库仑 (N/C) 或 伏特/米 (F/m)

2. 讨论

(i) 由 $\vec{E}=\dfrac{\vec{F}}{q_0}$ 是否能说，$\vec{E}$ 与 $\vec{F}$ 成正比，与 q_0 成反比?

(ii) 电场强度 $\vec{E}$ 是空间位置的单值函数



q在P点所受电场力

$\boxed{\vec{F}=q\vec{E}}$

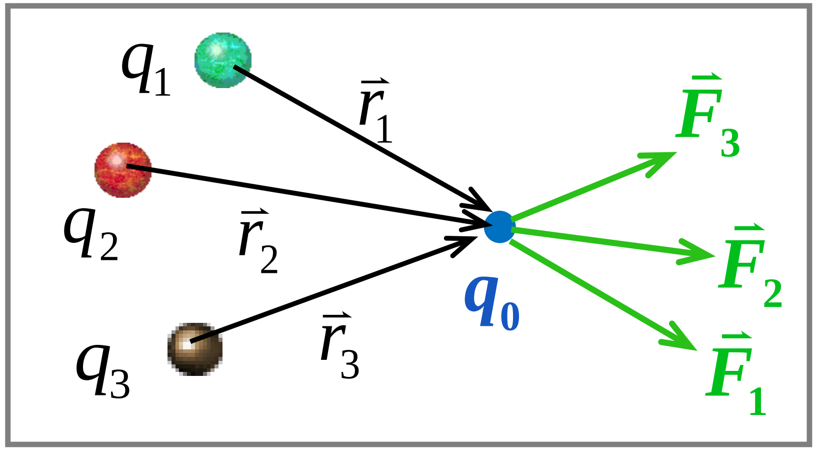
Q在P点的电场强度，不包括q的电场

电场强度叠加原理

不同来源的场可以同时占据同一空间，各自独立的发生作用而不互相干扰

点电荷q_i对q_0的作用力$\vec{F}_i$　　q_0 所受合力 $\vec{F}=\sum_i \vec{F}_i$

故q_0处总电场强度 $\vec{E}=\dfrac{\vec{F}}{q_0}=\sum_i \dfrac{\vec{F}_i}{q_0}$

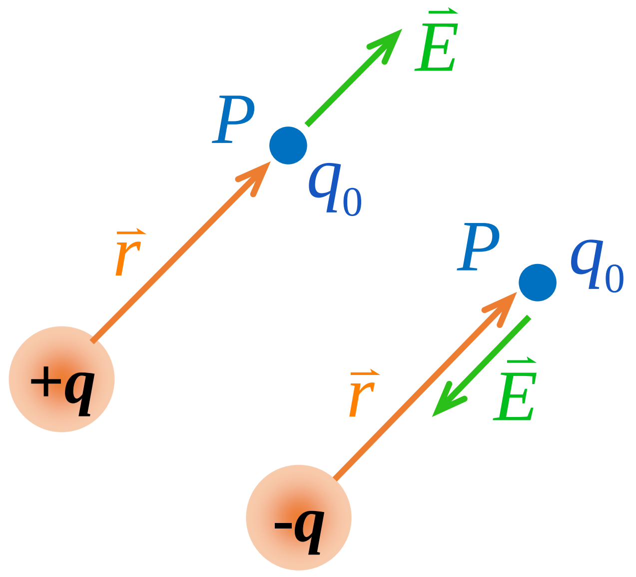


电场强度的叠加原理 $\boxed{\vec{E}=\sum_i \vec{E}_i}$

点电荷系在某点产生的场强，等于各点电荷单独存在时在该点分别产生的场强的矢量和

—— 场强叠加原理

电场强度的计算



1. 点电荷电场——源电荷：点电荷

所受场的电场力为：$\vec{F}=\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{qq_0}{r^3}\vec{r}=\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{qq_0}{r^2}\vec{r}^{\,0}$

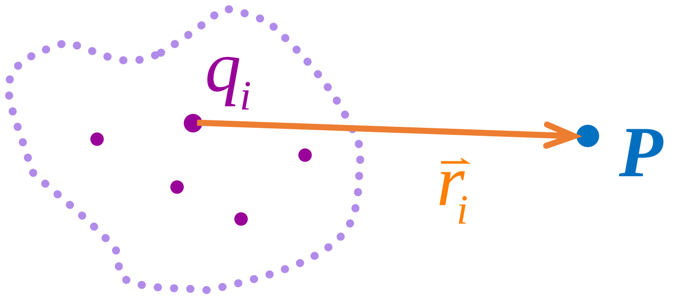
$\vec{r}$ 是从源点 → 场点的位置矢径　　由电场强度定义：

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

结论
- ✓ 非均匀、球对称、辐射状电场
- ✓ 点电荷电场是求任意带电体电场的基础

2. 点电荷系电场

$$\vec{E}=\sum_i \vec{E}_i \Rightarrow \boxed{\vec{E}=\sum_{i=1}^{i=n}\frac{q_i}{4\pi\varepsilon_0 r_i^2}\vec{r}_i^{\,0}}$$

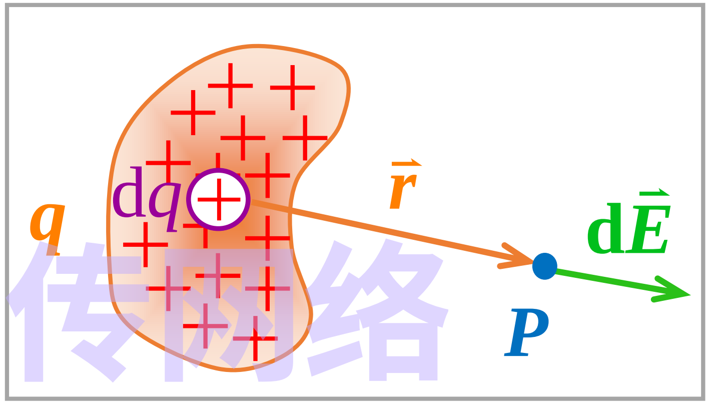


$\vec{r}_i$ ——由源点q_i指向场点P

3.电荷连续分布带电体

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

矢量积分，具体计算时，
写出分量式，再进行积分



$$\begin{cases} E_x = \int \mathrm{d}E_x \\ E_y = \int \mathrm{d}E_y \\ E_z = \int \mathrm{d}E_z \end{cases} \Rightarrow \vec{E} = E_x\vec{i} + E_y\vec{j} + E_z\vec{k}$$

带电体分成许多dq，dq如何计算？引入电荷密度的概念，根据不同的分布得：

$$\mathrm{d}q = \begin{cases} \lambda \mathrm{d}l & \lambda:\text{线密度（带电体为线分布）} \\ \sigma \mathrm{d}S & \sigma:\text{面密度（带电体为面分布）} \\ \rho \mathrm{d}V & \rho:\text{体密度（带电体为体分布）} \end{cases}$$

例 半径为R 的均匀带电细圆环，带电量为q ，求圆环轴线上任一点P 的电场强度

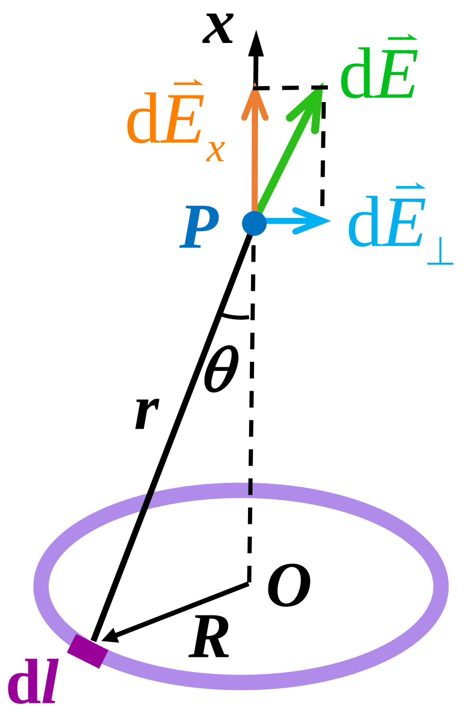
解

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

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

$$\mathrm{d}E_\perp = \mathrm{d}E\sin\theta$$

$$\mathrm{d}E_x = \mathrm{d}E\cos\theta$$



圆环上电荷分布关于x 轴对称 $E_\perp = 0$

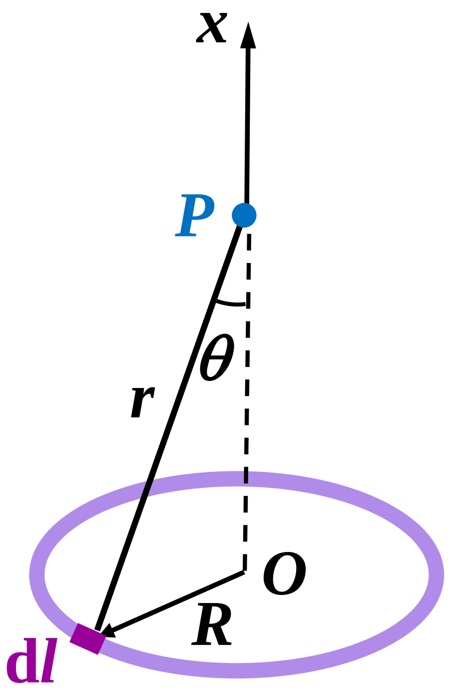
$$E_x = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int\frac{\mathrm{d}q}{r^2}\cos\theta = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\cos\theta}{r^2}\int\mathrm{d}q = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}\cos\theta$$

$$\cos\theta = \frac{x}{r} \qquad r = (R^2+x^2)^{1/2}$$

$$\boxed{E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qx}{(R^2+x^2)^{3/2}}}$$

讨论

$$\boxed{E=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qx}{(R^2+x^2)^{3/2}}}$$



(i) 当 $x=0$（即P点在圆环中心处）时， $E=0$

(ii) 当 $x>>R$ 时， $E=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{x^2}$

可以把带电圆环视为一个点电荷

(iii) $x=$？时，$E=E_{max}$ （求极值）

令 $\frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}x}=0$ 可得： $x=\frac{\sqrt{2}}{2}R$

$$E_{max}=\frac{q\cdot\frac{\sqrt{2}}{2}R}{4\pi\varepsilon_0(\frac{3}{2}R^2)^{3/2}}$$

例 求面密度为 σ 的圆板在轴线上任一点的电场强度

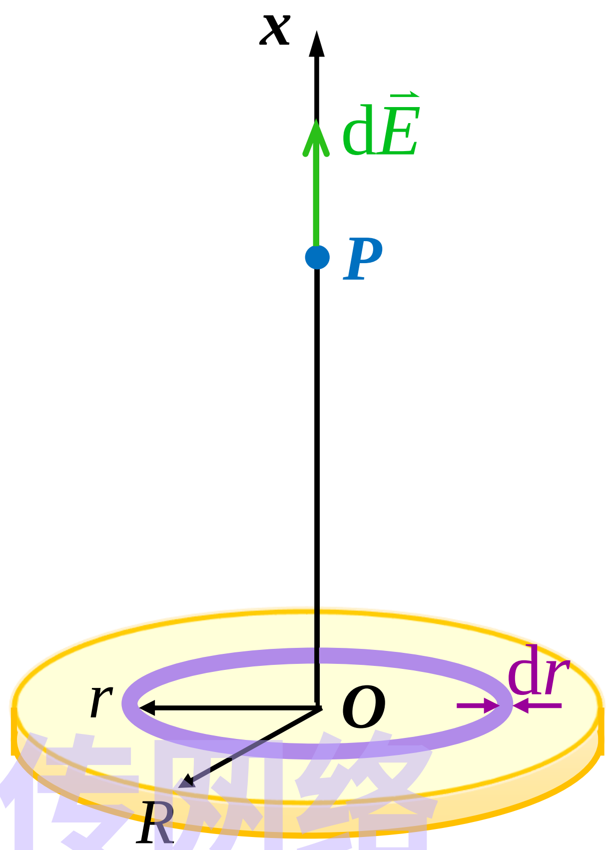
解 圆板可看作无数同心圆环的集合 $\mathrm{d}q = \sigma \cdot 2\pi r\mathrm{d}r$

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

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

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

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



讨论

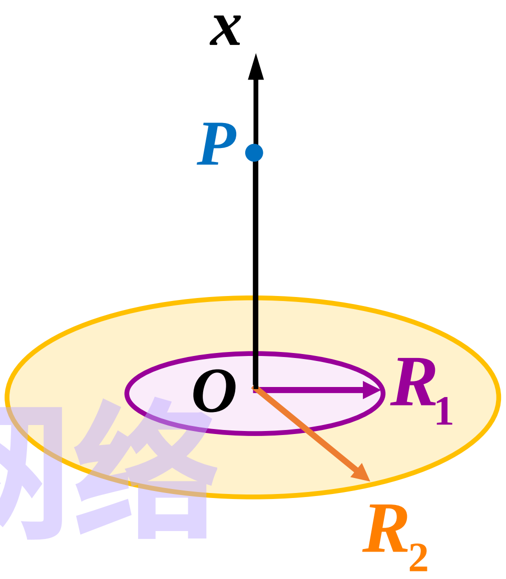
$$\boxed{\vec{E} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}[1 - \frac{x}{(R^2 + x^2)^{1/2}}]\vec{i}}$$

(i) 补偿法 $\vec{E} = \vec{E}_{R_2} + \vec{E}_{R_1} = \frac{x\sigma}{2\varepsilon_0}[\frac{1}{(R_1^2 + x^2)^{1/2}} - \frac{1}{(R_2^2 + x^2)^{1/2}}]\vec{i}$

(ii) 带圆孔的均匀无限大平板 $(R_2 \to \infty)$

$$\vec{E} = \frac{x\sigma}{2\varepsilon_0}\frac{1}{(R^2 + x^2)^{1/2}}\vec{i}$$

(iii) 均匀无限大平板 $(R_1 = 0,\ R_2 \to \infty)$ $\boxed{E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}}$



本节回顾

CONTENT

学习内容

- ✓ 库仑定律的定义和应用
- ✓ 静电力的叠加原理
- ✓ 电场强度、场强叠加原理
- ✓ 电场强度的分析和计算方法

课下任务

- 作业册“库仑定律 电场强度”