

2024年秋季学期 大学物理AII开课了

同学们好！

郑守君 邮箱: szheng@bit.edu.cn

电话/微信: 13621092854



物理学——科技之母，理性之光。既能派生出许多应用性专业和技术，又积淀了浓厚的人文精华和美学色彩，就如这把折扇，它的欣赏价值也许并不亚于它的实用价值。

学习要求

“物理学不应该教成一堆技术，而应教成思想概念的诗剧。应该强调思想概念的演变，强调我们企图了解物理世界的历史，以使学生具备洞察未来的能力。”

——爱因斯坦

参考书：

- [1] 胡海云、吴晓丽、缪劲松. 大学物理（第二版-第三卷）电磁学. 高等教育出版社，2024.
- [2] 胡海云、缪劲松、冯艳全、吴晓丽. 大学物理（第二版-第四卷）近代物理. 高等教育出版社，2024.

期末总成绩

大学物理AII成绩评定办法：

满分100 = 平时成绩满分35

+ 期末笔试成绩满分65

+ 物理竞赛获奖加分（待定）

(一等奖8分，二等奖6分，三等奖4分，
成绩优秀未获奖2分)。

平时成绩评定

平时成绩满分35分=SPOC学习成绩满分16分

+任课老师布置的课后作业成绩满分13分

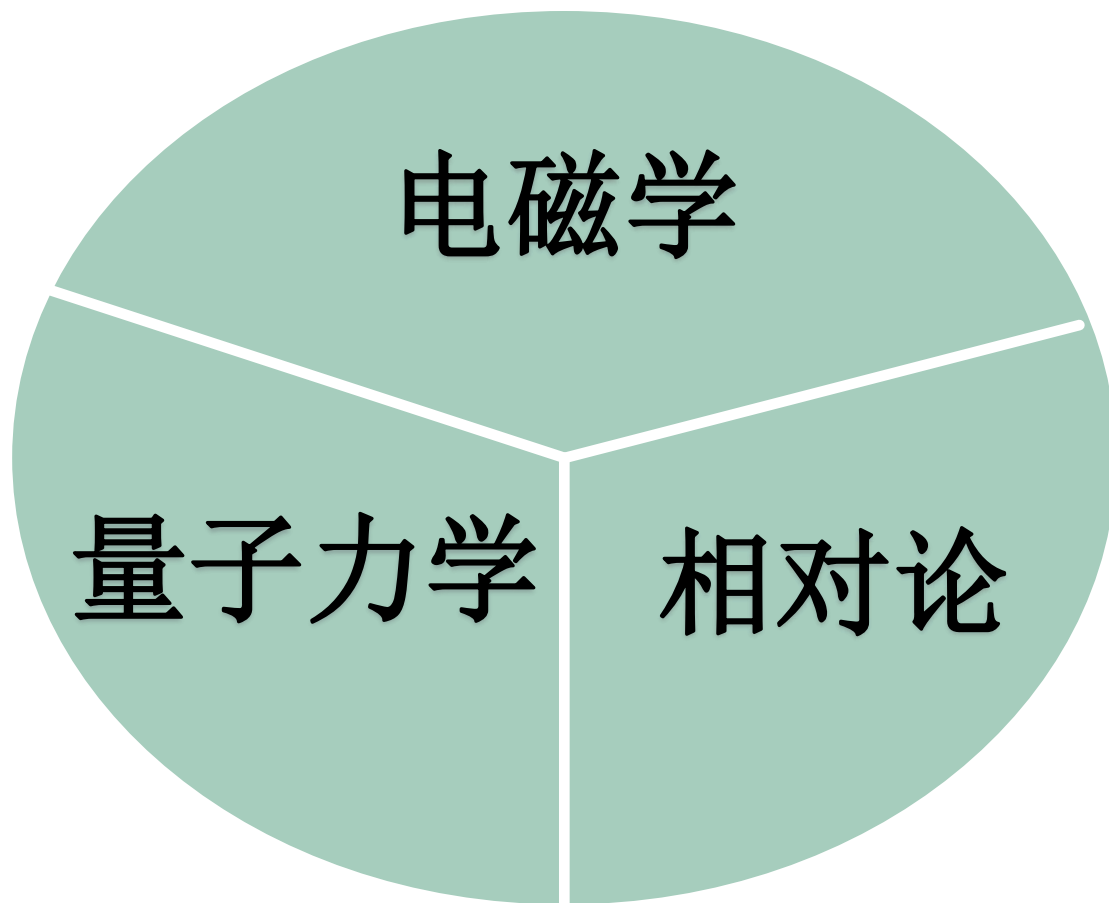
+任课老师自评成绩(出勤、测验等)满分6分

1. SPOC学习成绩满分为16分，由学生完成两门SPOC的成绩得分来核算。其中，SPOC1《2024秋大学物理AII-电磁学》的学习成绩折算满分为10分；SPOC2《2024秋大学物理AII-近代物理》学习成绩折算满分为6分。
2. 课后作业通过乐学网平台发表和收取。要求按时交任课老师布置的课后作业，缺交一次作业扣1.5分。

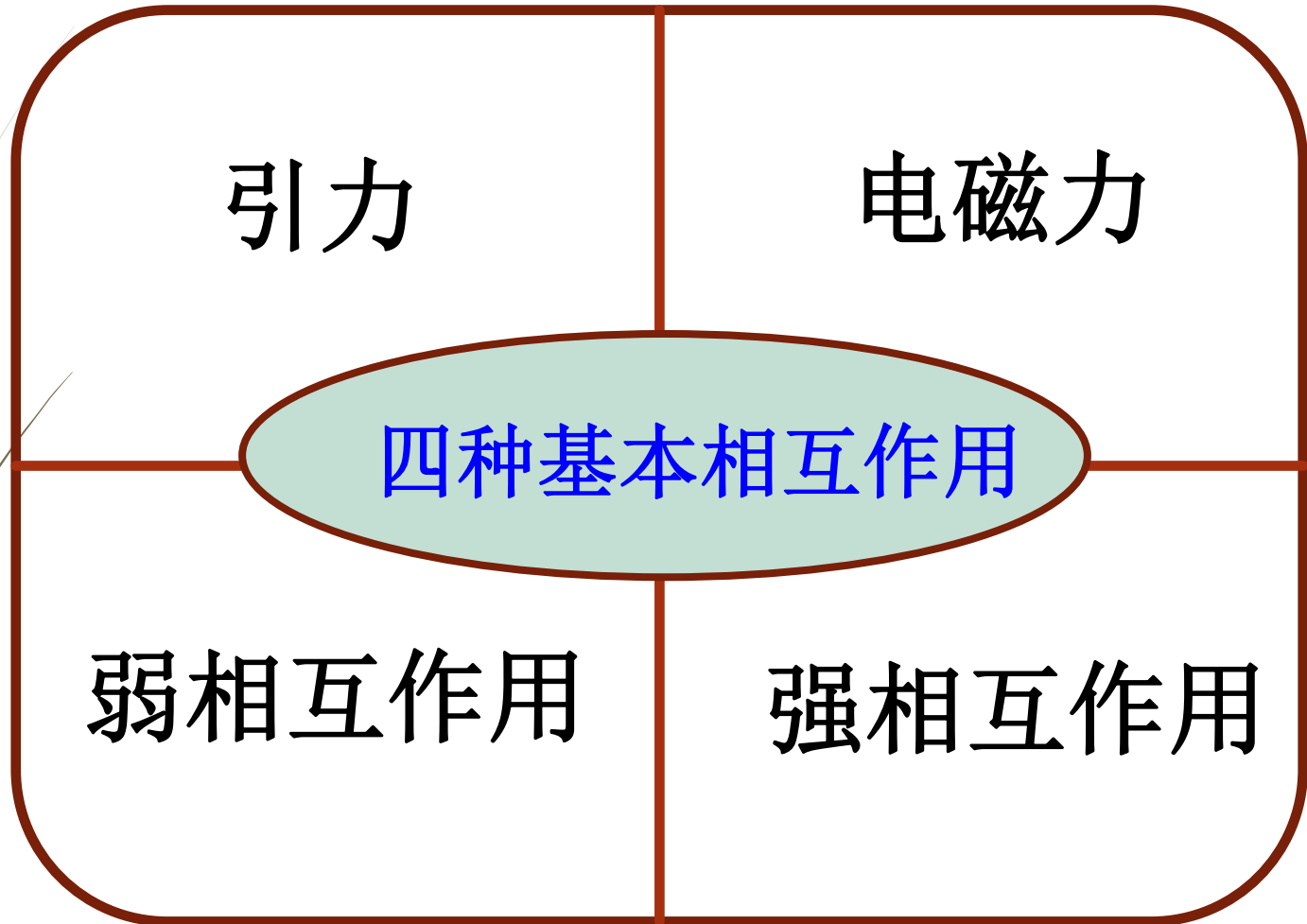
平时成绩评定

- 课后作业成绩（满分13分）
 - 总计13次作业
- 任课老师自评成绩(出勤、测验等)满分6分
 - 通过微信扫码签到
 - 在微信雨课堂页面回答问题

大学物理AII



绪论



若：强相互作用的强度=1，电磁相互作用 $\approx 10^{-2}$ ，
弱相互作用 $\approx 10^{-5}$ ，引力相互作用 $\approx 10^{-38}$ 。



抖音

抖音号: scgcnews

四川观察

女子沙漠游玩头发突然竖起来
手机不断发出噼噼电流声
开车狂奔两三公里才恢复正常

四川
观察

8月15日
新疆塔克拉玛干沙漠

编辑: 派大星
审校: 小月

四川观天下

实时发布权威信息

网友投稿作品, 如有侵权, 请联系删除!

电磁相互作用



摩擦力属于那种力？

电磁学

电磁学是经典物理学的一部分。
它是研究电磁现象的规律的学科。
它研究物质间的电磁相互作用，以及电磁场产生、变化和运动的规律。

核心内容：

恒定电场

恒定磁场

电磁相互作用

麦克斯韦方程

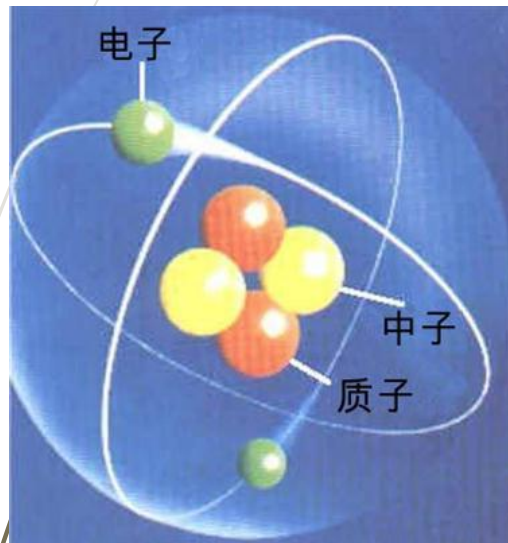
第一章 静电场

主要内容

- 1.1 库仑定律
- 1.2 电场、电场强度
- 1.3 静电场的高斯定理
- 1.4 静电场的环路定理、电势
- 1.5 静电场中的电偶极子

1.1 库仑定律 (Coulomb's Law)

1.1.1. 电荷(Electric Charge)



电荷的种类:

正电荷 (Positive Charge)

负电荷 (Negative Charge)

同号相斥, 异号相吸!



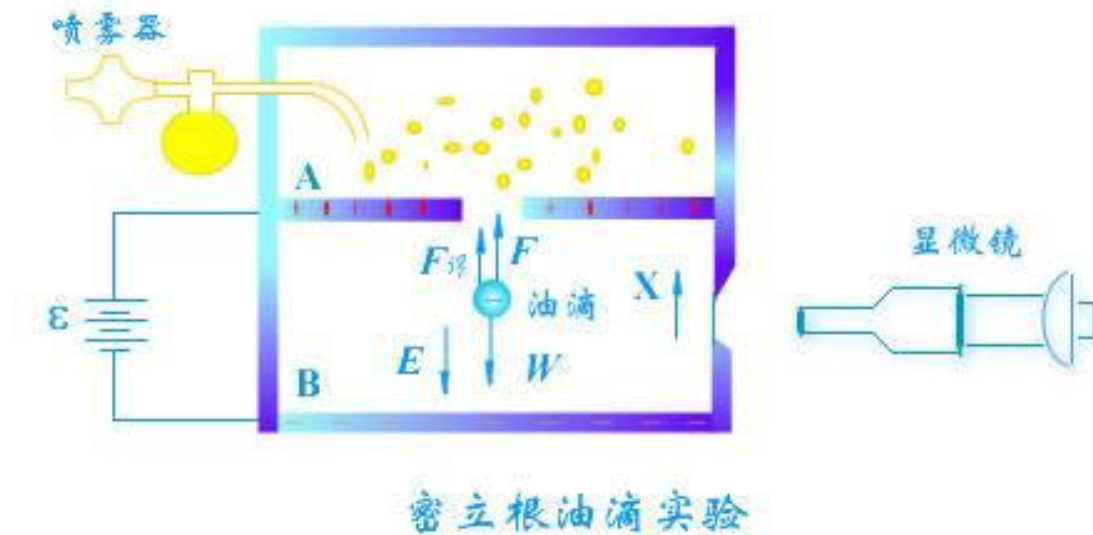
1.1 库仑定律 (Coulomb's Law)

思考

生活中个人感受电荷的经历



(1) 电荷的量子性(Quantization)



电荷总是以一个基本单元的整数倍出现(量子性)。

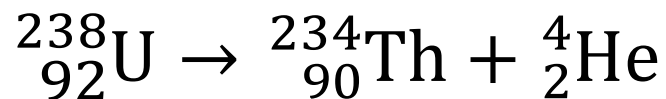
基本单元: $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{C}$ ($\text{A} \cdot \text{s}$)

1.1 库仑定律 (Coulomb's Law)

(2) 电荷守恒定律 (Law of Conservation of Charge)

表述：在一个和外界没有电荷交换的系统内，正负电荷的代数和在任何物理过程中保持不变。电荷守恒定律是物理学中普遍的基本定律。

[例] 铀238阿尔法衰变：



1.1 库仑定律 (Coulomb's Law)

(2) 电荷守恒定律 (Law of Conservation of Charge)

[例] 正、负电子的湮灭:

$$[\text{电子}] + [\text{正电子}] \rightarrow 2[\text{光子}]$$

$$\text{电荷: } -e + e \rightarrow 0$$

[例] 中子的放射性衰变:

$$[\text{中子}] \rightarrow [\text{质子}] + [\text{电子}] + [\text{反中微子}]$$

$$\text{电荷: } 0 \rightarrow e + (-e) + 0$$

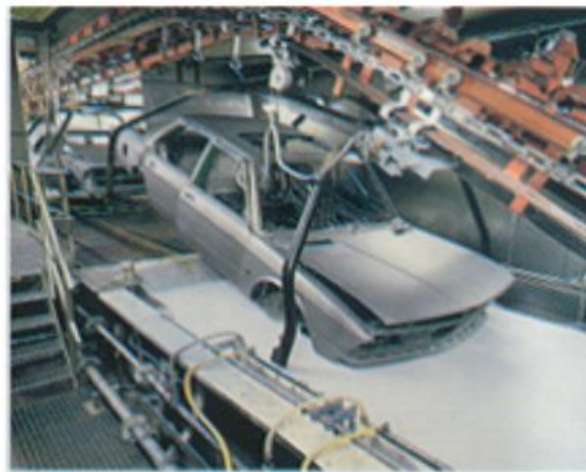
1.1 库仑定律 (Coulomb's Law)

思考

生活中有关电荷的应用



打印机



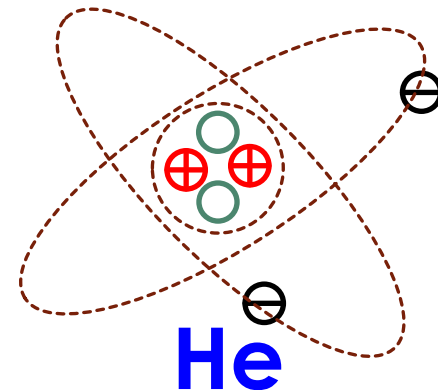
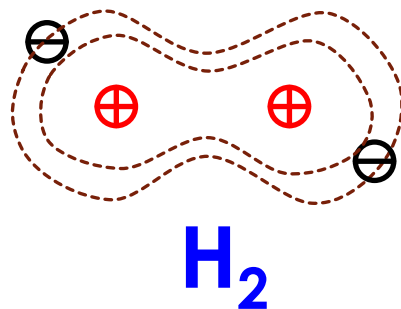
金属电镀

1.1 库仑定律 (Coulomb's Law)

(3) 电荷的相对论不变性

表述：一个电荷的电量与它的运动状态无关，即在不同的参考系内观察，同一带电物体的电荷量不变。电荷是一种内禀属性。

电荷的本质是？



另一个不随参考系变化的常量：光速 c



思考



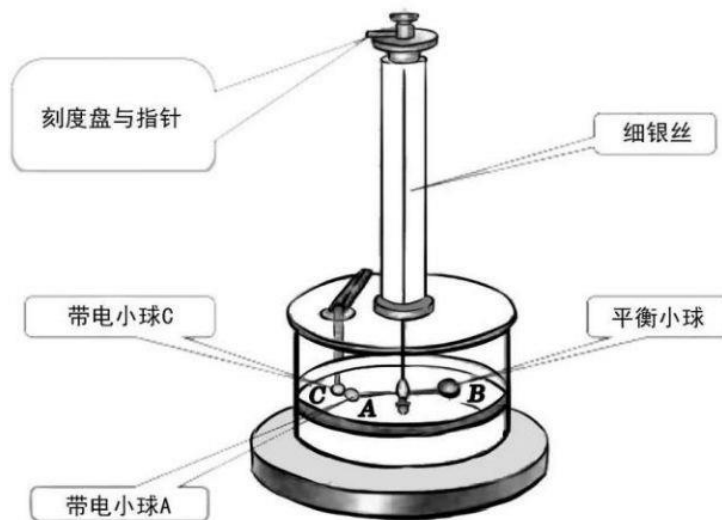
电荷的本质是什么？

对称性！

1.1 库仑定律 (Coulomb's Law)

1.1.2. 库仑力测量

库仑扭称实验：1785年库仑自行设计制作了一台扭秤：利用银质悬丝的扭转力的知识，测量了电荷之间的相互排斥力与其距离的关系，建立了库仑定律。



1.1 库仑定律 (Coulomb's Law)

1.1.2. 库仑定律方程

表述：两个静止的点电荷之间的作用力与这两个电荷所带电量的乘积成正比，与它们之间距离的平方成反比，作用力的方向沿着这两个点电荷的连线。同号电荷相斥，异号电荷相吸。

$$\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r_{21}^2} \vec{e}_{r21}$$

1.1 库仑定律 (Coulomb's Law)

(1) 库仑力的大小和方向

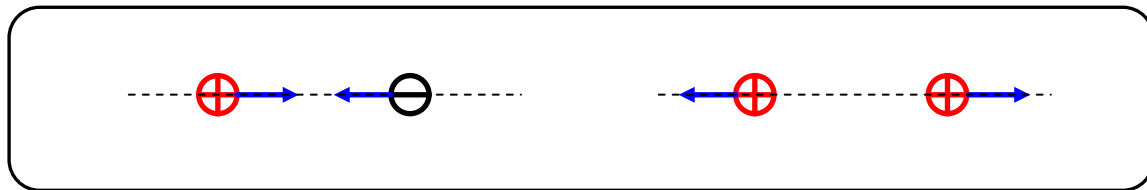
$$\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r_{21}^2} \vec{e}_{r21}$$

大小

- $\propto q_1 q_2$ 电荷成正比
- $\propto \frac{1}{r^2}$ 距离的平方成反比

方向

- $q_1 q_2 > 0$ 同号相斥
- $q_1 q_2 < 0$ 异号相吸



1.1 库仑定律 (Coulomb's Law)

(2) 库仑常量和介电常数

$$\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r_{21}^2} \vec{e}_{r21} \quad k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

库仑常量 $k = 8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$

介电常数 $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{m}^2 \text{N}}$

$$\vec{F}_{21} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r_{21}^2} \vec{e}_{r21}$$

1.1 库仑定律 (Coulomb's Law)

库仑方程

$$\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r_{21}^2} \vec{e}_{r21}$$

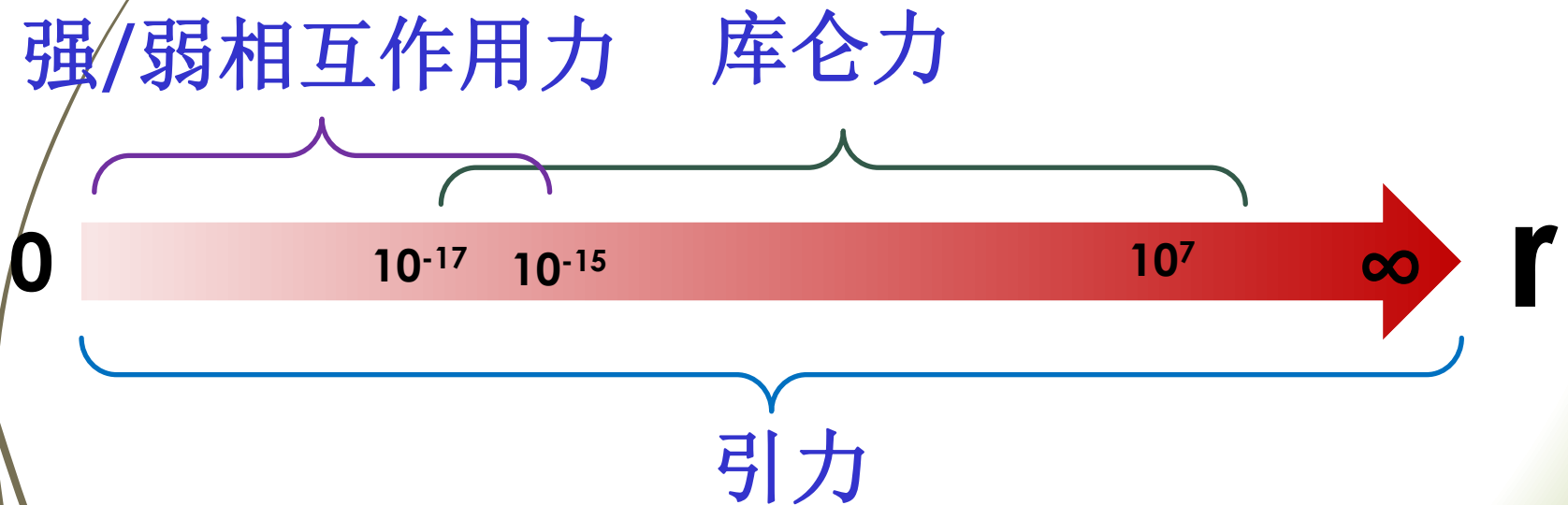
万有引力方程

$$\vec{F}_{12} = G \frac{M_1 M_2}{r_{12}^2}$$

1.1 库仑定律 (Coulomb's Law)

(3) 库仑定律的适用范围

r 的数量级在 $10^{-17}\text{m} \sim 10^7\text{m}$ 范围内，库仑定律成立。



1.1 库仑定律 (Coulomb's Law)

1.1.3. 电场力的叠加原理

表述：两个点电荷之间的作用力并不因第三个点电荷的存在而有所改变。

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots + \vec{F}_n = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

选择题

真空中有两个点电荷M、N，相互间作用力为 \vec{F} ，当另一点电荷Q移近这两个点电荷时，M、N两点电荷之间的作用力 \vec{F}

- Ⓐ 大小不变，方向改变。
- Ⓑ 大小改变，方向不变。★
- Ⓒ 大小和方向都不变。
- Ⓓ 大小和方向都改变。

求解

[例] 设原子核中的两个质子相距 $4.0 \times 10^{-15} \text{ m}$,
求此两个质子之间的静电力。

例：设电荷的分布如右图所示，图中 $q_1=1.5\times 10^{-3}\text{C}$ ， $q_2=-0.5\times 10^{-3}\text{C}$ ， $q_3=0.2\times 10^{-3}\text{C}$ ， $AC=r_1=1.2\text{m}$ ， $BC=r_2=0.5\text{m}$ ，试求作用在电荷 q_3 上的合力。



思考



两个点电荷相互作用是如何传递的？

欢迎回到大学物理课堂！

出勤考核办法：

- 通过微信扫码签到
- 在微信雨课堂页面回答问题

1.2 电场、电场强度

“我们有两种存在，实物和场，场是物理学中出现的新概念，是自牛顿时代以来最重要的发现。用来描述物理现象最重要的不是带电体，也不是粒子，而是在带电体之间空间的场，这需要很大的科学想象力才能理解。”

——爱因斯坦

1.2 电场、电场强度

1.2.1 电场

早期：电磁理论是超距作用理论

电荷 \longleftrightarrow 电荷

后来：法拉第提出场的概念

电荷 \longleftrightarrow 电场 \longleftrightarrow 电荷

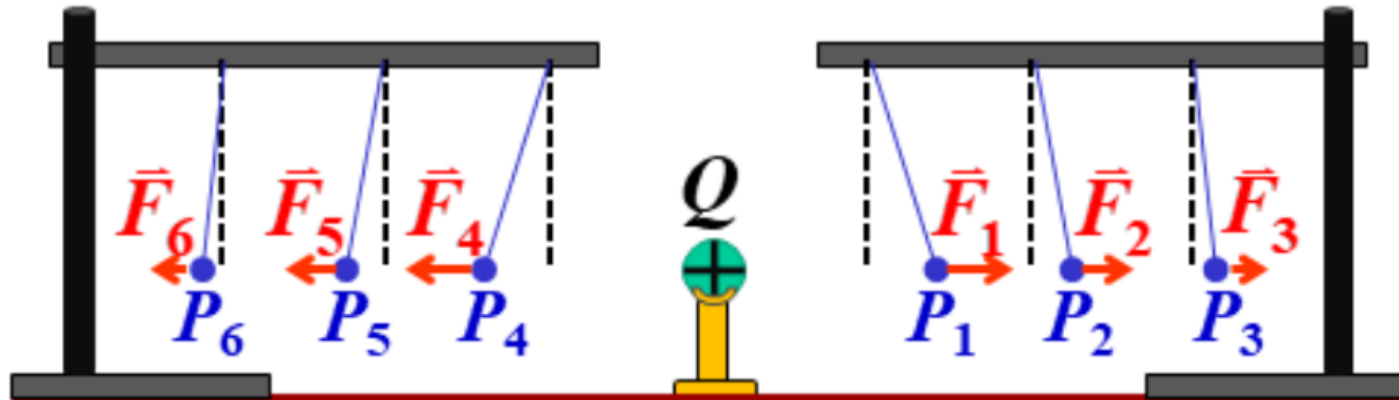
实验证实：电场和磁场是客观存在的**物质**！

1.2 电场、电场强度

试验
电荷

条件

- 电荷量充分小
- 线度足够地小



1.2 电场、电场强度

1.2.1 电场

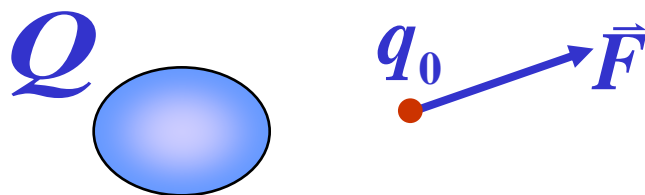
电场的基本性质：

1. 对放在其内的任何电荷都有作用力。
2. 当带电体在电场中移动时，电场作用的力将对带电体做功，这表明电场具有能量。
3. 电场能使引入电场中的导体或电介质分别产生静电感应现象或极化现象。

1.2 电场、电场强度

1.2.2 电场强度

电场强度是描述场中各点电场的强弱和方向的物理量



结论

对确定场点，比值 $\frac{F}{q_0}$ 与试验电荷无关

1.2 电场、电场强度

1.2.2 电场强度

电场强度定义: 电场中任一点的电场强度, 在数值和方向上等于静止于该点的单位正电荷所受的力。

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

国际单位制单位: N/C 或 V/m



注意

电场强度是矢量!

关于电场强度定义式 $\vec{E} = \vec{F}/q_0$ ，下列说法中哪个是正确的？

- ☐ A 场强 \vec{E} 的大小与试验电荷 q_0 的大小成反比。
- ☒ B 对场中某点，试验电荷受力 \vec{F} 与 q_0 的比值不因 q_0 而变。
- ☐ C 试验电荷受力 \vec{F} 的方向就是场强 \vec{E} 的方向。
- ☐ D 若场中某点不放试验电荷 q_0 ，则 $\vec{F} = 0$ ，从而 $\vec{E} = 0$ 。

提交

1.2 电场、电场强度

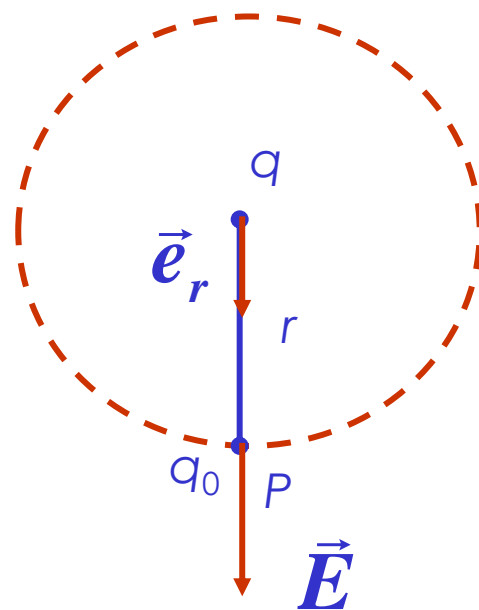
1.2.2 电场强度

例：点电荷的场强公式

由库仑定律 $\vec{F} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{e}_r$

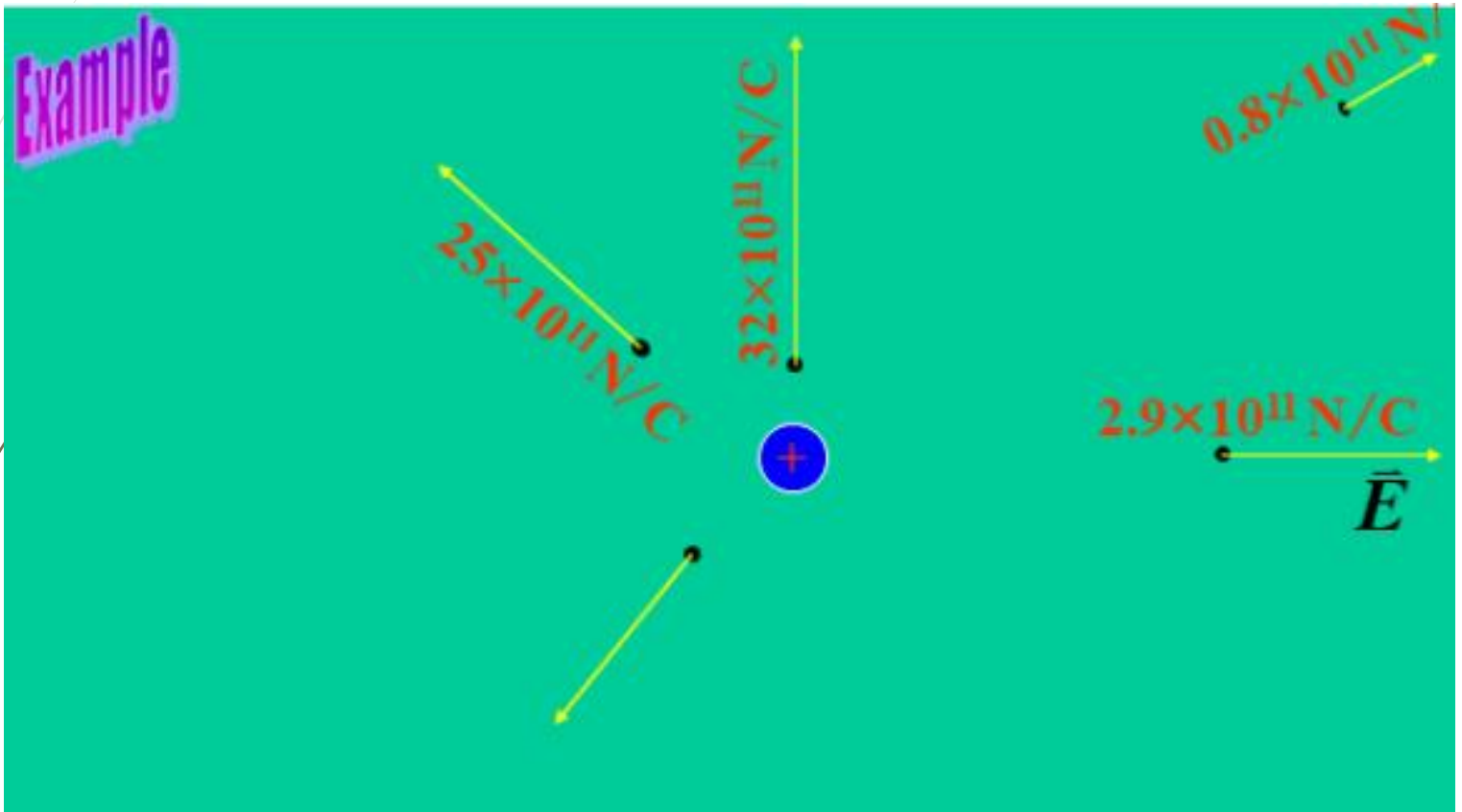
由场强定义 $\vec{E} = \vec{F} / q_0$

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{e}_r$$



场强方向： 正电荷受力方向

1.2 电场、电场强度



1.2 电场、电场强度

地 点	电场强度(N/C)
铀核表面	2×10^{21}
中子星表面	10^{14}
氢原子电子内轨道处	6×10^{11}
X 射线管内	5×10^6
空气击穿电场强度	3×10^6
范德格拉夫静电加速器内	2×10^6
电视机内的电子枪	10^5
电闪内	10^4
雷达发射机边	7×10^3
太阳光内(平均)	1×10^3
晴天大气中(地面)	1×10^2
小型激光光束内	1×10^2
日光灯管内	10
无线电波内	10^{-1}
家用电路内	3×10^{-2}
宇宙射线本底(平均)	3×10^{-4}

1.2 电场、电场强度

1.2.2 电场强度

由电力叠



加原理

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

由场强定义



$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{F}_i}{q_0} = \sum_{i=1}^n \frac{\vec{F}_i}{q_0}$$

整理后得

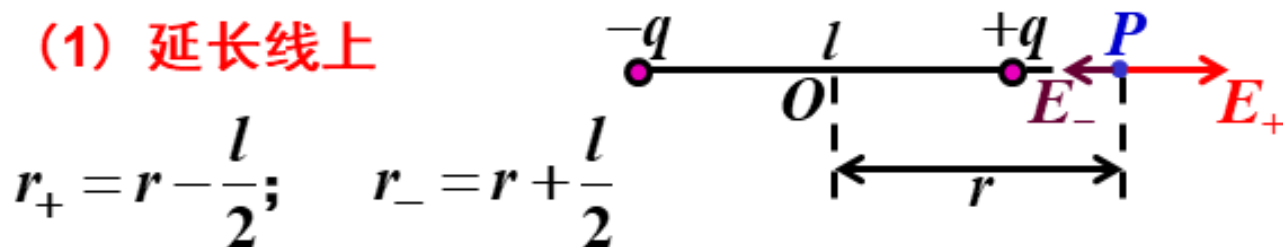
$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i$$

叠加原理：在 n 个点电荷产生的电场中某点的电场强度, 等于各点电荷单独存在时在该点产生的电场强度的矢量和。

练习题

[例] 一对等量异号点电荷 $\pm q$ ，其间距离为 l ，求两电荷延长线上一点 P 和中垂面上一点 P' 的场强， P 和 P' 到两电荷连线中点 O 的距离都是 r 。

解：(1) 延长线上



$$r_+ = r - \frac{l}{2}; \quad r_- = r + \frac{l}{2}$$

$$E = E_+ - E_- = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\left(r - \frac{l}{2}\right)^2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\left(r + \frac{l}{2}\right)^2}$$

$$= \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{2lr}{\left(r^2 - \frac{l^2}{4}\right)^2} \quad \text{向右}$$

练习题

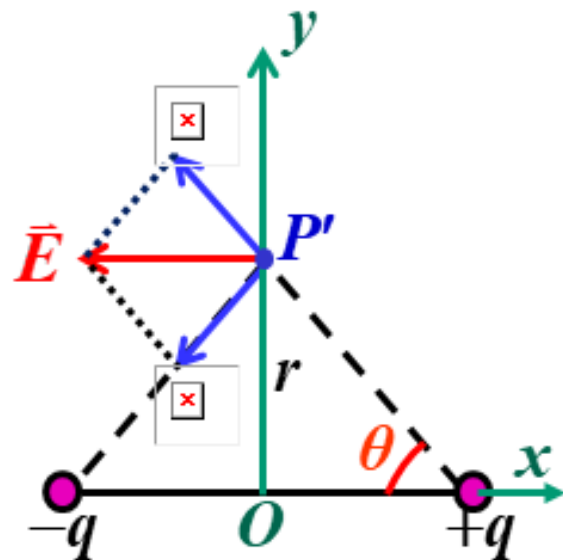
(2) 中垂面上

$$\begin{aligned} E &= E_x = -2E_+ \cos \theta \\ &= -2 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2 + \frac{l^2}{4}} \cos \theta \end{aligned}$$

$\frac{l/2}{\sqrt{r^2 + \frac{l^2}{4}}}$

$$E = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{ql}{\left(r^2 + \frac{l^2}{4}\right)^{3/2}}$$

向左



欢迎回到大学物理课堂！

出勤考核办法：

- 通过微信扫码签到
- 在微信雨课堂页面回答问题

两门SPOC的注册网址为

《2024秋大学物理AII-电磁学（胡海云）》：

<https://www.icourse163.org/spoc/course/BIT-1471610172>

《2024秋大学物理AII-近代物理（胡海云）》：

<https://www.icourse163.org/spoc/course/BIT-1471607175>



特别提醒：

要求学生一定要按上述课程名称和网址选定这两门SPOC课程，图标上一定含有“SPOC”字样，**千万不要选错了！** 否则没有SPOC学习成绩。SPOC必须实名认证注册，注册有问题的可工作时间电话010-81382226或到良乡文科组团楼机关楼402室找教务部老师帮忙解决。

SPOC学习注意事项

1. 每门SPOC的评分标准：每门SPOC的网上成绩满分为100分，由SPOC/MOOC每周线上单元作业、每周单元测验成绩、参与老师发布的MOOC课程讨论情况得分、期末考试成绩组成。其中，MOOC**平时作业成绩**占SPOC总成绩的**10%**；**单元测验成绩**占SPOC总成绩的**45%**；参与老师发布的**MOOC课程讨论**的活跃情况得分占SPOC总成绩的**10%**；MOOC**期末考试成绩**占SPOC总成绩的**35%**。
2. 请同学们平时注意**每周**都要按照网上的时间要求完成SPOC每周单元测验、线上单元作业、参与老师在课堂交流区发布的课程讨论和网上期末考试四大环节。要严格按照提示事项执行，以免影响平时学习成绩。
3. SPOC/MOOC每周在线单元测验、单元作业及互评、期末考试的**截止时间均为当晚23:30**；以往当晚网络容易拥堵，请同学们尽早完成在线学习任务，以防不测。

SPOC/MOOC讨论成绩只依据同学们在MOOC讨论区-课堂交流区(如下图)的活跃程度给分，在老师答疑区和综合交流区下的帖子不计入成绩，注意不要发水贴，否则会被扣分。



电磁学

安培定律

安培

库仑

库仑定律

法拉第

法拉第电磁感应定律



三个实验定律

内容回顾

电荷

库仑定律

$$\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r_{21}^2} \vec{e}_{r21}$$

电场强度

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{e}_r$$

一个静电荷 q_1 ，另一个电荷 q_2 以 v 速度远离 q_1 ，问 q_1 受到的库仑力 F_{21} 与 q_2 收到的库仑力 F_{12} 大小的关系是（ ）

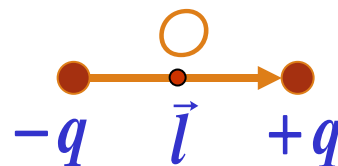
- ☐ A F_{21} 等于 F_{12}
- ☒ B F_{21} 不等于 F_{12}
- ☐ C 不能确定



提交

1.2 电场、电场强度

电偶极子:



一对等量异号点电荷 $\pm q$, 其间距离为 l ,
 \vec{l} 的方向由 $-q$ 指向 $+q$,

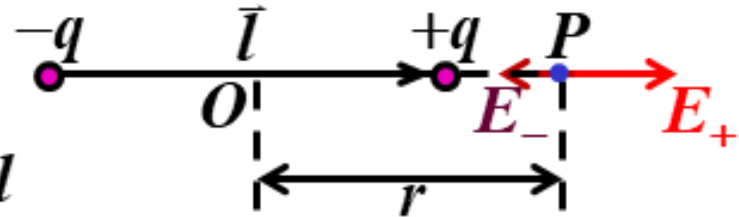
两点电荷组成的电荷对称为电偶极子。



定义 电偶极矩 (electric moment) $\vec{p} = q\vec{l}$

电偶极子

(1) 延长线上



解: $r_+ = r - \frac{l}{2}; \quad r_- = r + \frac{l}{2}$

$$E = E_+ - E_- = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\left(r - \frac{l}{2}\right)^2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\left(r + \frac{l}{2}\right)^2}$$

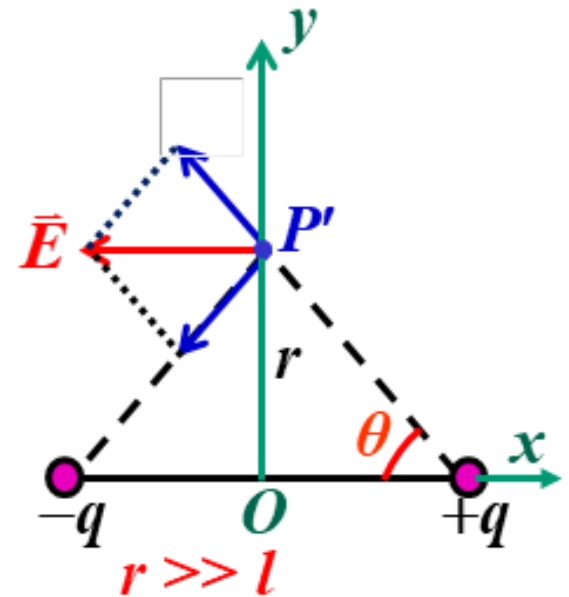
$$= \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{2lr}{\left(r^2 - \frac{l^2}{4}\right)^2} \approx \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2ql}{r^3}$$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2\vec{p}}{r^3}$$

电偶极子

(2) 中垂面上

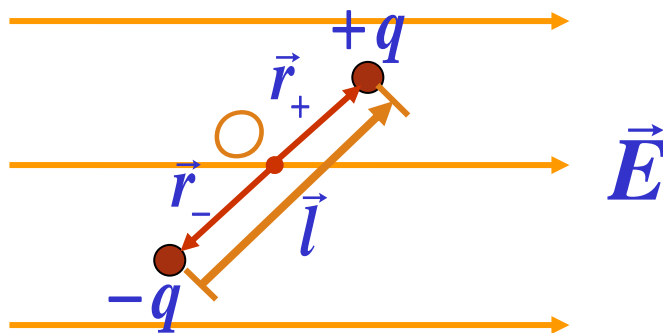
$$\begin{aligned} E &= E_x = -2E_+ \cos \theta \\ &= -2 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2 + \frac{l^2}{4}} \cos \theta \\ &\quad \frac{l/2}{\sqrt{r^2 + \frac{l^2}{4}}} \\ E &= -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{ql}{\left(r^2 + \frac{l^2}{4}\right)^{3/2}} \end{aligned}$$



$$\vec{E} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{p}}{r^3}$$

电偶极子

求解：计算电偶极子在均匀外电场中所受的力矩



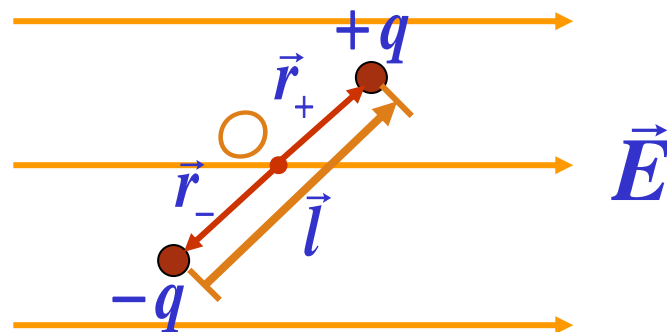
电偶极子所受对于其中点 O 的力矩为：

$$\begin{aligned}\vec{M} &= \vec{r}_+ \times \vec{F}_+ + \vec{r}_- \times \vec{F}_- = q\vec{r}_+ \times \vec{E} + (-q)\vec{r}_- \times \vec{E} \\ &= q(\vec{r}_+ - \vec{r}_-) \times \vec{E} = q\vec{l} \times \vec{E}\end{aligned}$$

思考：在非均匀外电场受力情况？

电偶极子在非均匀电场中的运动情况是：

- ☐ A 平动
- ☐ B 转动
- ☒ C 平动加转动
- ☐ D 静止



提交

1.2 电场、电场强度

1.2.2 电场强度

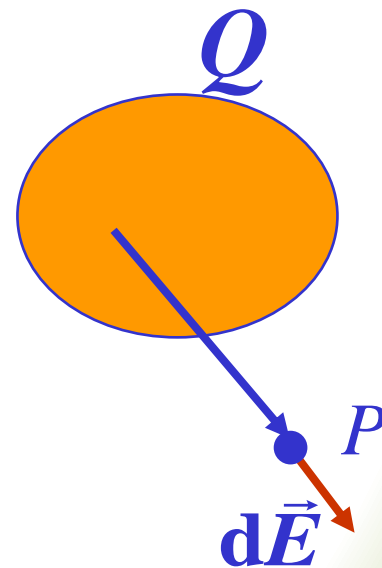
电荷连续分布的带电体的场强

把带电体看作是由许多个电荷元组成，每个电荷元可作为点电荷处理，然后利用场强叠加原理。

$$\vec{E} = \int d\vec{E} = \int \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{e}_r$$

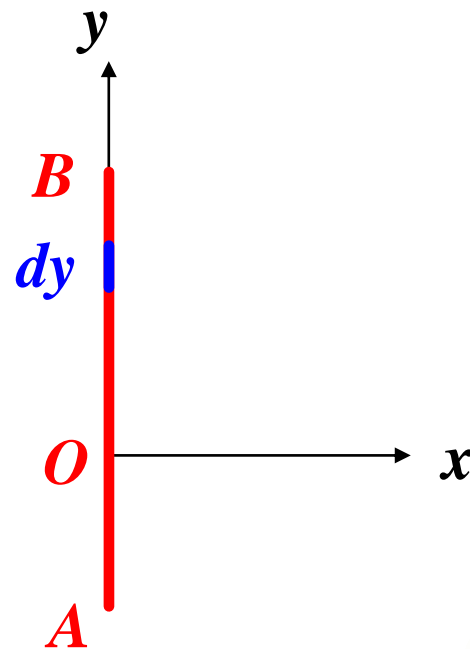
电荷密度

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{电荷体密度 } \rho = \frac{dq}{dV} \\ \text{电荷面密度 } \sigma = \frac{dq}{dS} \\ \text{电荷线密度 } \lambda = \frac{dq}{dl} \end{array} \right.$$



一个均匀带电棒，长 l ，带电 q ， dy 上的电荷量是（ ）

- A q/l
- ☒ B $(q/l)dy$
- C l/q
- D qdy



提交

练习题 1

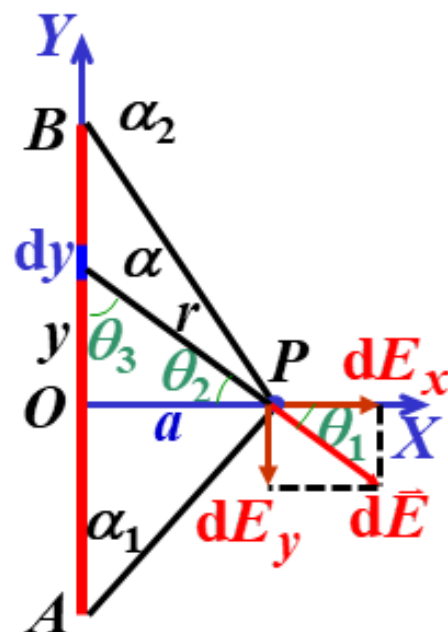
求均匀带电棒 (l, q) 附近P点场强

(1) 首先, 获得带电棒上元电荷 dq 在P点的场强。

$$dE = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 l r^2} dy$$

$$dE_x = \frac{q dy}{4\pi\epsilon_0 l r^2} \sin\alpha$$

$$dE_y = \frac{q dy}{4\pi\epsilon_0 l r^2} \cos\alpha$$



练习题

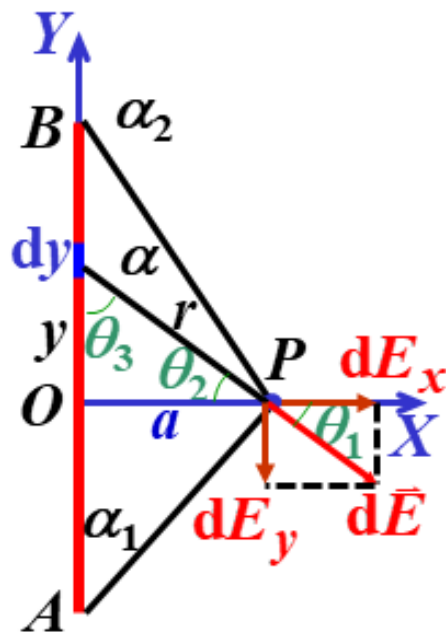
(2) 获得 r 和 dy 关于 α 的表达式

$$r = \frac{a}{\sin \alpha}$$

$$y = -a \cot \alpha$$

两边积分得到：

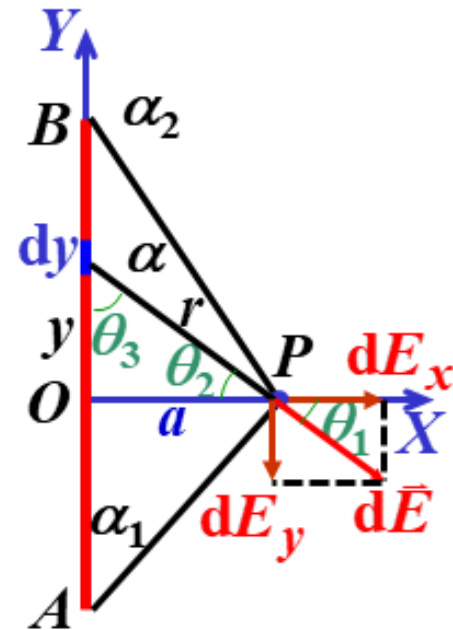
$$dy = \frac{a d\alpha}{\sin^2 \alpha}$$



练习题

(3) 通过积分获得带电棒上元电荷在P点的场强。

$$\begin{aligned} E_x &= \frac{q}{4\pi\epsilon_0 l a} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin\alpha d\alpha \\ &= \frac{q}{4\pi\epsilon_0 l a} (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2) \\ E_y &= \frac{q}{4\pi\epsilon_0 l a} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \cos\alpha d\alpha \\ &= \frac{q}{4\pi\epsilon_0 l a} (\sin\alpha_1 - \sin\alpha_2) \end{aligned}$$



练习题

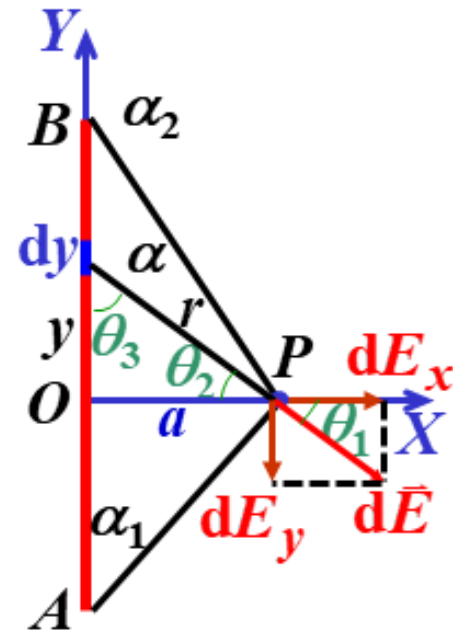
(4) 结论分析

一、中垂线上的场强分布：

$$\begin{aligned} E_x &= \frac{q}{2\pi\epsilon_0 l a} \cos\alpha \\ &= \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a^2 [1 + l^2/(4a^2)]^{1/2}} \end{aligned}$$

二、当带电线无限长时中垂线上的场强分布：

$$E_x = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 l a}$$



练习题

积分法求场强的步骤

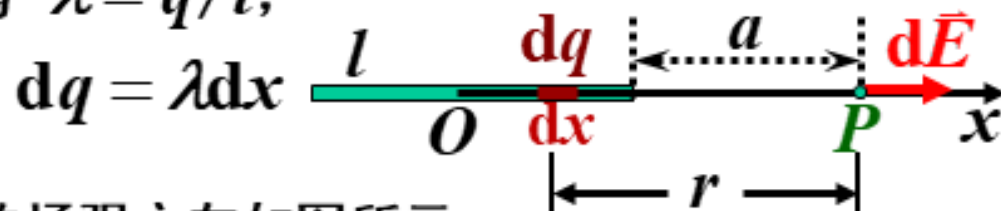
1. 选好微元，画出 $d\vec{E}$
2. 引入密度，写出 dE
3. 建立坐标，写出分量式
4. 统一变量，写出积分式
5. 定好上下限，注意对称性
6. 积分求结果，代数求数值

练习题 2

[例] 均匀带电细棒 (q, l)

求：如图所示 P 点的电场强度。

解：设电荷的线密度为 $\lambda = q/l$,



该电荷元在 P 点的场强方向如图所示，

$$\text{大小为: } dE = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{\lambda dx}{4\pi\epsilon_0 (l/2 + a - x)^2}$$

\therefore 各电荷元在 P 点的场强方向一致，

\therefore 场强大小直接相加。

于原点的选取无关！

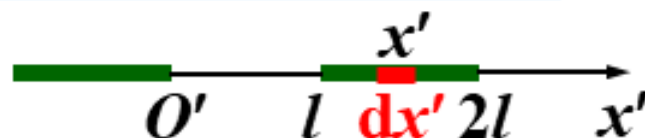
$$E = \int dE = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0} \int_{-l/2}^{l/2} \frac{dx}{\left(\frac{l}{2} + a - x\right)^2} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 l} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{l+a} \right)$$

方向沿 \vec{x}

[例] 长为 l ，电荷线密度为 λ 的两根相同的均匀带电细塑料棒，沿同一直线放置，两棒近端相距 l 。求两棒间静电相互作用力。

解： 左棒在 x' 处的电场

$$E(x') = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{x'} - \frac{1}{l+x'} \right)$$



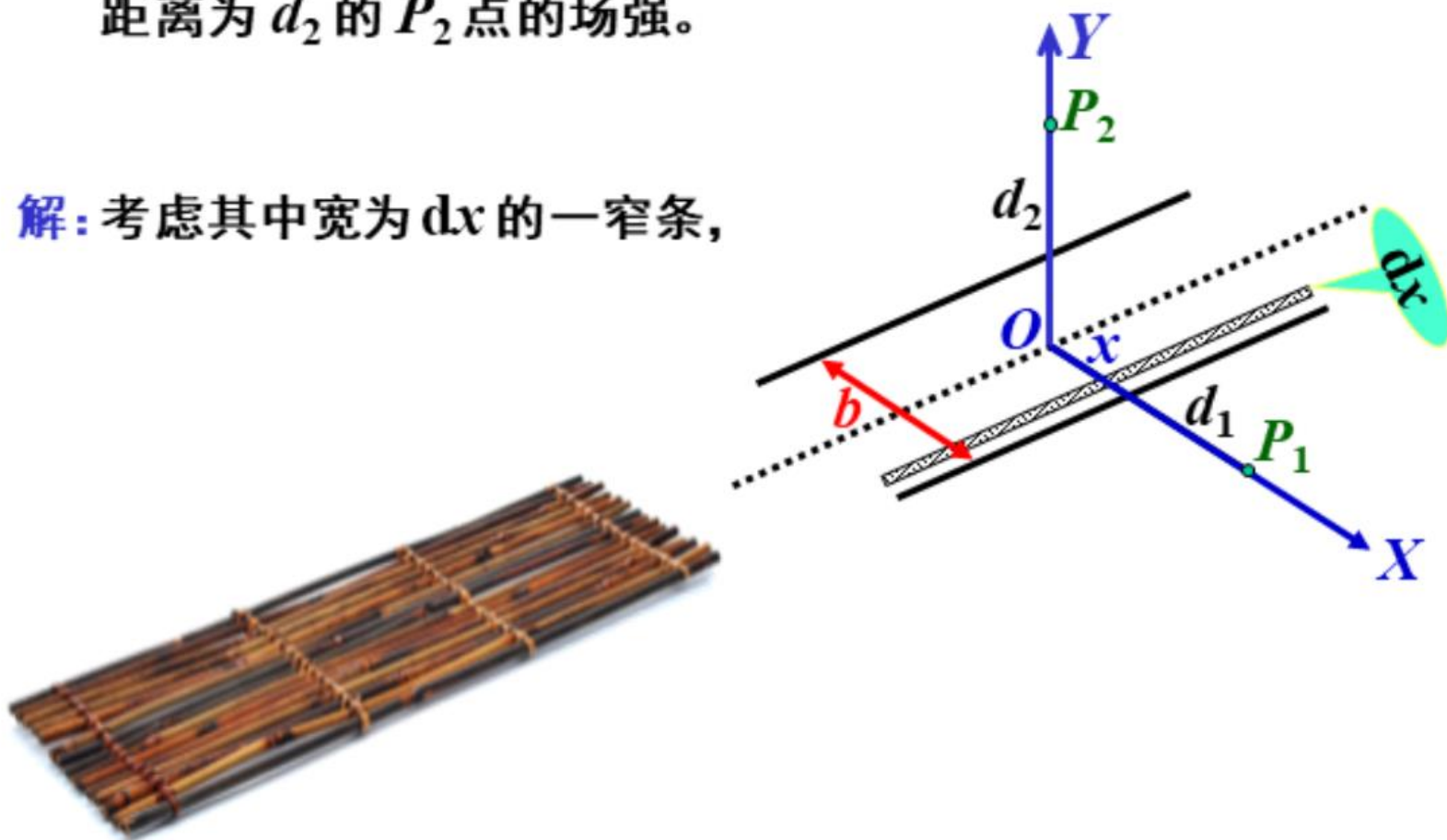
右棒小段 dx' 所受电场力为 $dF = E(x') \lambda dx'$
由积分可得右棒受力

$$\begin{aligned} F &= \int dF = \frac{\lambda^2}{4\pi\epsilon_0} \int_l^{2l} \left(\frac{1}{x'} - \frac{1}{l+x'} \right) dx' \\ &= \frac{\lambda^2}{4\pi\epsilon_0} \left(\ln \frac{2l}{l} - \ln \frac{2l+l}{l+l} \right) = \frac{\lambda^2}{4\pi\epsilon_0} \ln \frac{4}{3} \text{ 排斥力} \end{aligned}$$

练习题 3

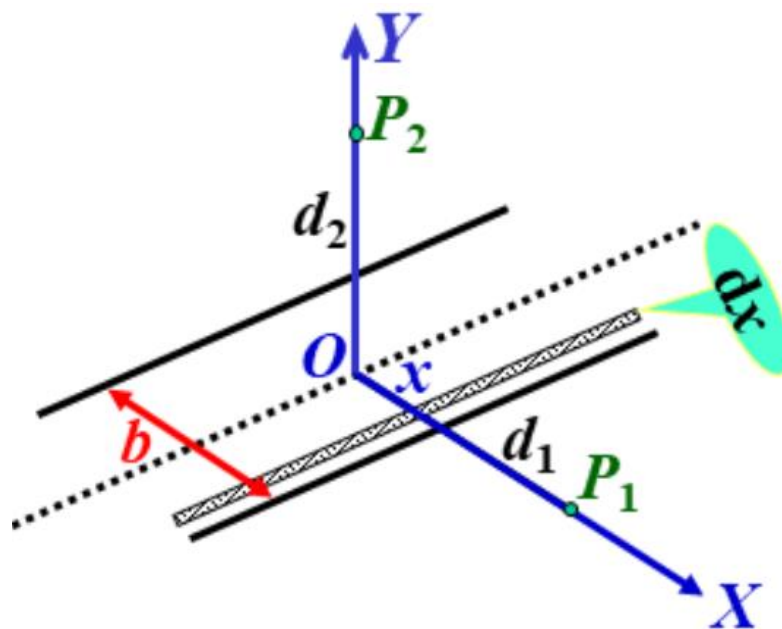
[例] 真空中有一无限长宽为 b 的薄平板，均匀带电，电荷面密度为 σ ($\sigma > 0$)。求：(1) 与平板共面且到平板中分线的距离为 d_1 ($d_1 > b/2$) 的 P_1 点的场强。(2) 过中分线的垂线上到平板距离为 d_2 的 P_2 点的场强。

解： 考虑其中宽为 dx 的一窄条，



面板上的宽为 dx 窄缝的线密度是 ()

- ☐ A σ/b
- ☐ B $\sigma \cdot b$
- ☒ C $\sigma \cdot dx$
- ☐ D σ/dx



提交

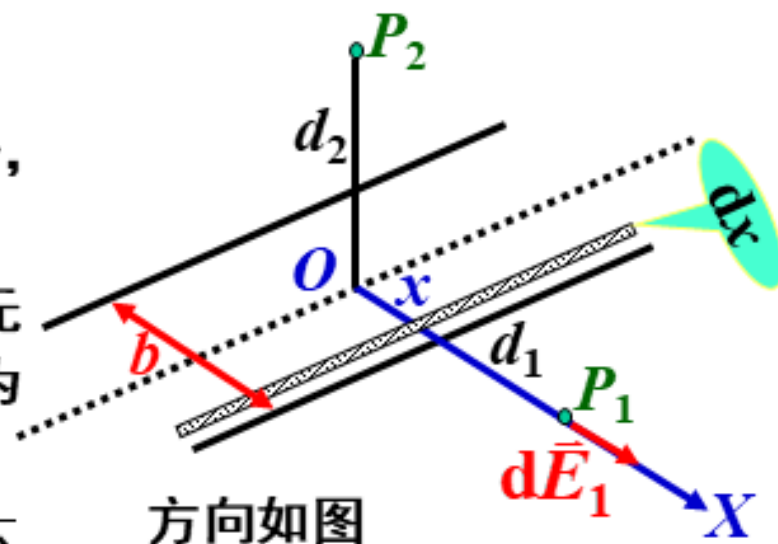
[例] 真空中有一无限长宽为 b 的薄平板，均匀带电，电荷面密度为 $\sigma (\sigma > 0)$ 。求：(1) 与平板共面且到平板中分线的距离为 $d_1 (d_1 > b/2)$ 的 P_1 点的场强。(2) 过中分线的垂线上到平板距离为 d_2 的 P_2 点的场强。

解： 考虑其中宽为 dx 的一窄条，

$$\lambda = \sigma dx$$

(1) 在 P_1 点，该电荷元 (无限长直线) 产生的场强为

$$dE_1 = \frac{\sigma dx}{2\pi\epsilon_0(d_1 - x)}$$



方向如图

当电荷元在平板上移动时， $d\vec{E}_1$ 的方向不变

$$E_1 = \int_{-b/2}^{b/2} \frac{\sigma dx}{2\pi\epsilon_0(d_1 - x)} = \frac{\sigma}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2d_1 + b}{2d_1 - b}$$

方向沿 x 轴正向。

讨论

对 P_1 点, 当 $d_1 \gg b$ 时

$$|m| < 1$$

$$\ln(1+m)$$

$$\approx m - \frac{1}{2}m^2$$

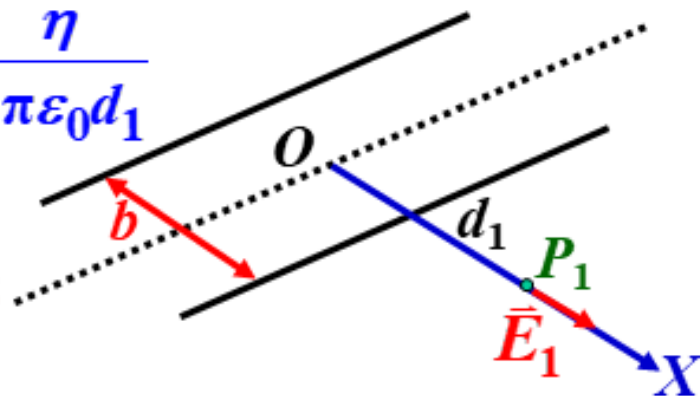
$$E_1 = \frac{\sigma}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2d_1 + b}{2d_1 - b} = \frac{\sigma}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{1 + b/(2d_1)}{1 - b/(2d_1)}$$

$$= \frac{\sigma}{2\pi\epsilon_0} \left[\ln \left(1 + \frac{b}{2d_1} \right) - \ln \left(1 - \frac{b}{2d_1} \right) \right]$$

$$\approx \frac{\sigma}{2\pi\epsilon_0} \left[\frac{b}{2d_1} - \frac{1}{2} \left(\frac{b}{2d_1} \right)^2 + \frac{b}{2d_1} + \frac{1}{2} \left(\frac{b}{2d_1} \right)^2 \right]$$

$$= \frac{\sigma b}{2\pi\epsilon_0 d_1} = \frac{\eta}{2\pi\epsilon_0 d_1}$$

此时, 无限长均匀
带电平板可视为无
限长带电直线。



(2) P_2 点的场强

$$dE_2 = \frac{\sigma dx}{2\pi\epsilon_0(d_2^2 + x^2)^{1/2}}$$

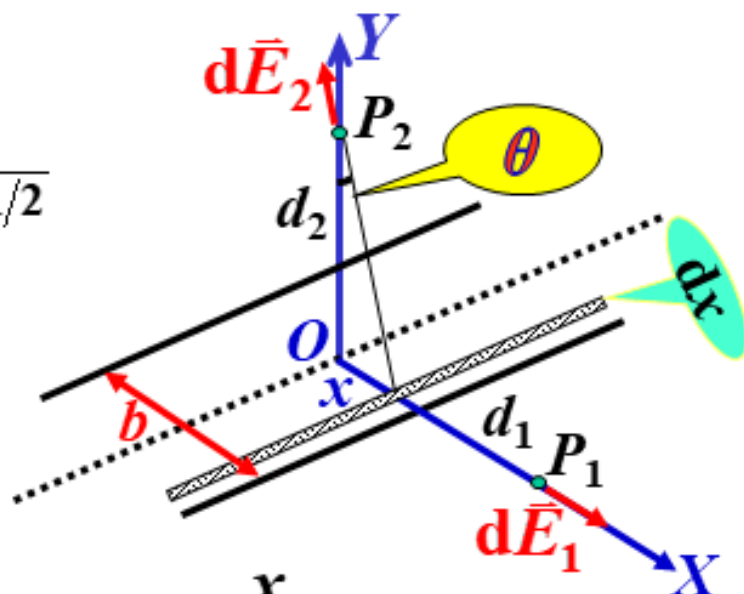
当电荷元沿 x 轴平移时,
 $d\vec{E}_2$ 的方向改变。

$$dE_{2x} = -dE_2 \sin \theta$$

$$= \frac{-\sigma dx}{2\pi\epsilon_0(d_2^2 + x^2)^{1/2}} \cdot \frac{x}{(d_2^2 + x^2)^{1/2}}$$

$$= -\frac{\sigma x dx}{2\pi\epsilon_0(d_2^2 + x^2)}$$

$$dE_{2y} = dE_2 \cos \theta = \frac{d_2 \sigma dx}{2\pi\epsilon_0(d_2^2 + x^2)}$$



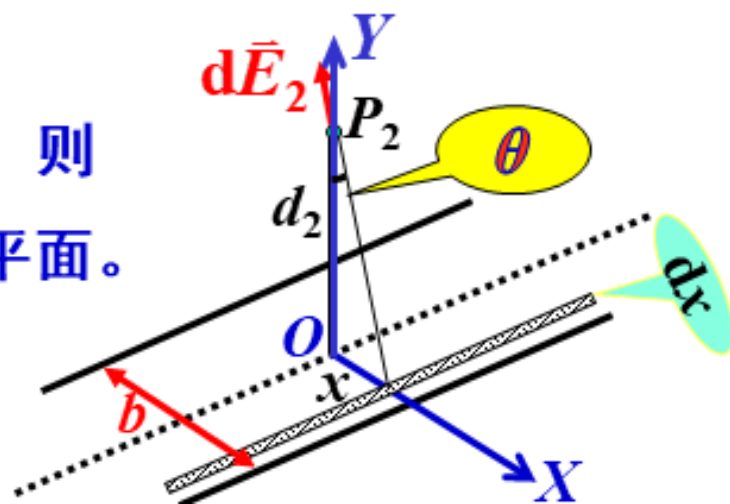
$$E_{2x} = \int dE_{2x} = \int_{-b/2}^{b/2} \frac{-\sigma}{2\pi\epsilon_0} \cdot \frac{x dx}{(d_2^2 + x^2)} = 0 \quad (\text{对称性的结果})$$

$$E_{2y} = \int dE_{2y} = \int_{-b/2}^{b/2} \frac{\sigma d_2}{2\pi\epsilon_0} \cdot \frac{dx}{(d_2^2 + x^2)}$$

$$= \frac{\sigma}{2\pi\epsilon_0} \left[\arctan \frac{b}{2d_2} - \arctan \left(-\frac{b}{2d_2} \right) \right]$$

讨论

对 P_2 点, 当 $b \gg d_2$ 时, 则
平板为无限大均匀带电平面。



$$E_{2x} = \int dE_{2x} = \int_{-b/2}^{b/2} \frac{-\sigma}{2\pi\epsilon_0} \cdot \frac{x dx}{(d_2^2 + x^2)} = 0 \quad (\text{对称性的结果})$$

$$E_{2y} = \int dE_{2y} = \int_{-b/2}^{b/2} \frac{\sigma d_2}{2\pi\epsilon_0} \cdot \frac{dx}{(d_2^2 + x^2)}$$



讨论

$$= \frac{\sigma}{2\pi\epsilon_0} \left[\arctan \frac{b}{2d_2} - \arctan \left(-\frac{b}{2d_2} \right) \right]$$

对 P_2 点, 当 $b \gg d_2$, 则平板为无限大均匀带电平面。

$$\arctan \frac{b}{2d_2} = \frac{\pi}{2}, \quad \arctan \left(-\frac{b}{2d_2} \right) = -\frac{\pi}{2}$$

匀强电场, $\sigma > 0$
则场强垂直带电平面并背离它,
反之, 则指向它。

$$E_2 = E_{2y} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \quad (\text{无限大均匀带电平面周围空间的场强})$$

一个均匀带电圆环，电荷量 q ，半径 R ，圆心 O 点的电场强度为（ ）

A

0

B

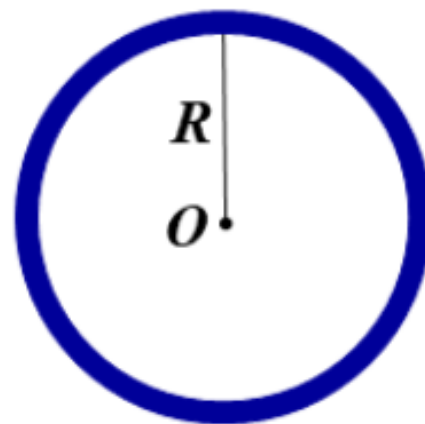
$$\frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2}$$

C

$$\frac{q}{2\pi\epsilon_0 R^2}$$

D

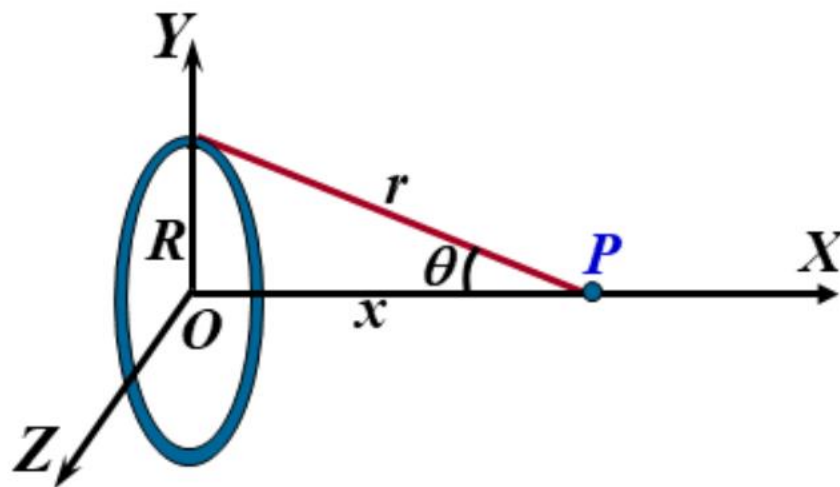
以上都不对



提交

一个均匀带电圆环，电荷量 q ，半径 R ，在轴线上 P 点的电场强度为（ ）

- A 0
- B $\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$
- ☒ C $\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cos\theta$
- D $\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \sin\theta$



提交

[例] 均匀带电圆环(Q, R)轴线上的场

$$\cos \theta = \frac{x}{r}$$

解：在圆环上任取电荷元 dq

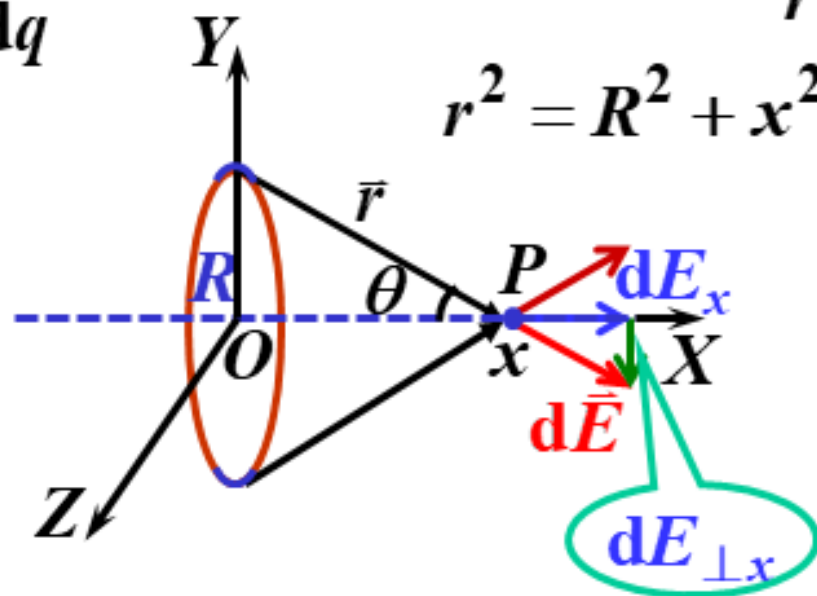
$$d\vec{E} = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{e}_r$$

$$dE_x = dE \cos \theta$$

$$\vec{E} = E_x \hat{i}$$

$$E = E_x = \int_{(Q)} \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cos \theta$$

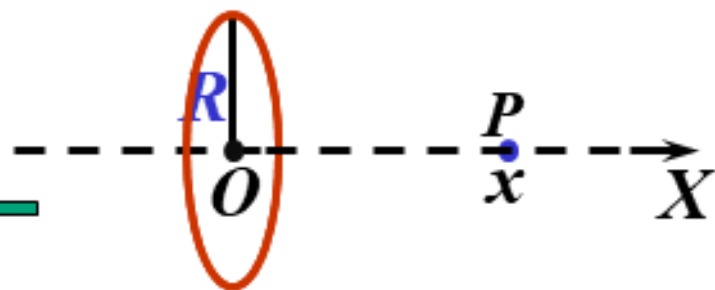
$$= \frac{\cos \theta}{4\pi\epsilon_0 r^2} \int_{(Q)} dq = \frac{Q \cos \theta}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$



由对称性分析可以知
垂直 X 轴的场强为 0

$$E = \frac{xQ}{4\pi\epsilon_0 (x^2 + R^2)^{3/2}}$$

$$E = \frac{xQ}{4\pi\epsilon_0(x^2 + R^2)^{3/2}}$$



讨论

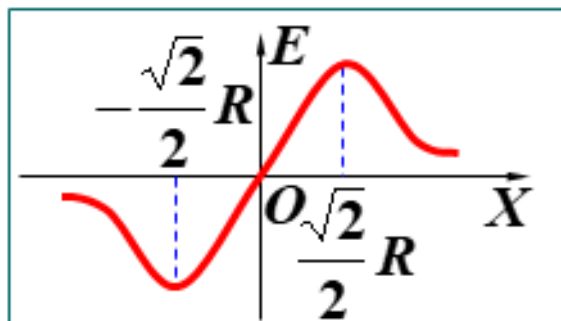
(1) 环心处, $x=0$, $E=0$;

(2) 当 $Q > 0$ 时, \vec{E} 沿轴线指向远离轴线的方向,
当 $Q < 0$ 时, \vec{E} 沿轴线指向环心;

(3) 当 $x \gg R$ 时, $E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 x^2}$

即远离环心处的电场相当于一个点电荷产生的电场。

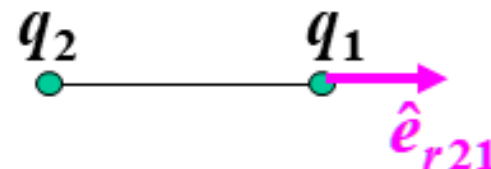
(4) $\frac{dE}{dx} = 0$, $x = \pm \frac{\sqrt{2}}{2} R$



你记住了吗?

1. 库仑定律

$$\vec{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{e}_{r21}$$



2. 电场力的叠加原理 $\vec{F} = \sum_i \vec{F}_i$

3. 电场强度定义

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

单位: N/C or V/m

记吧!

重点：利用电荷元场强公式和场强迭加原理，

通过矢量积分求场强： $\vec{E} = \int_{(Q)} d\vec{E}$

你记住了吗？

1. 点电荷

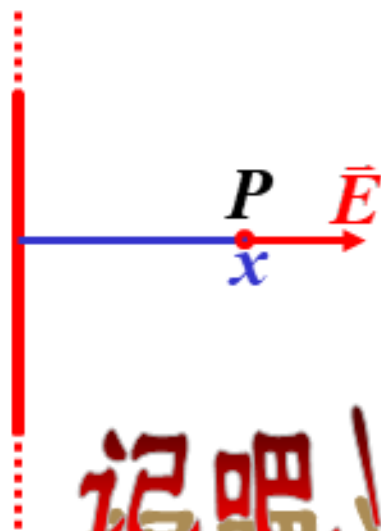
$$\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{e}_r$$

2. 无限长均匀带电线

$$\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 x} \hat{i}$$

3. 无限大均匀带电面

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{e}_n$$



记吧！



本周没有作业

祝大家中秋节快乐！

