

## 上节课主要内容

**电荷守恒定律**

积分形式  $\oint_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = -\frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \rho \cdot dV$   $\vec{j} = \vec{j}(x, y, z)$   
 $\oint_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = \iiint_V \nabla \cdot \vec{j} dV$

微分形式  $\nabla \cdot \vec{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$   $\rightarrow \frac{\partial j_x}{\partial x} + \frac{\partial j_y}{\partial y} + \frac{\partial j_z}{\partial z} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$

**库仑定律**  $\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \vec{e}_r, \quad k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$

## § 1.2.2 叠加原理



## 一、叠加原理表述

**叠加原理:** 对任何线性系统“在给定地点与时间，由两个或多个刺激产生的合成反应，是由每个刺激单独产生的反应之和。”

$F(x_1 + x_2 + \dots) = F(x_1) + F(x_2) + \dots$



① 叠加原理适用于任何线性系统，包括代数方程、线性微分方程、以及这些形式的方程组。  
 ② 输入与反应可以是数、函数、矢量、矢量场、随时间变化的信号、或任何满足一定公理的其它对象。  
 ③ 涉及到矢量与矢量场时，叠加理解为矢量和。

3

$E_k = \frac{1}{2}mv^2$	$m = m_1 + m_2$	$E_k(m) = E_{k1}(m_1) + E_{k2}(m_2)$ 线性
$v = v_1 + v_2$	$E_k(v) \neq E_{k1}(v_1) + E_{k2}(v_2)$	非线性
$E_P = \frac{1}{2}kx^2$	$x = x_1 + x_2$	$E_P(x) \neq E_{P1}(x_1) + E_{P2}(x_2)$ 非线性
$\vec{F} = -k\vec{r}$	$\vec{r} = \vec{r}_1 + \vec{r}_2$	$\vec{F}(\vec{r}) = \vec{F}_1(\vec{r}_1) + \vec{F}_2(\vec{r}_2)$ 线性
$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{e}_r$	$q = q_1 + q_2$	$\vec{F} = \vec{F}_1(q_1, r) + \vec{F}_2(q_2, r)$ 线性
		矢量叠加

4

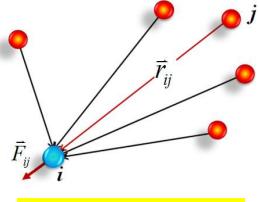
## 静电学 = 库仑定律 + 叠加原理

空间中任意两点电荷间都存在相互作用的库仑力。

两个点电荷间的作用力不因第三个电荷的存在而改变；

不管一个体系中存在多少个点电荷，每一对点电荷之间的作用力都服从库仑定律；

任一点电荷所受到的力，等于所有其他点电荷单独作用于该点电荷的库仑力的矢量和，这一结论称为叠加原理。



$$\vec{F}_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{q_i q_j}{4\pi\epsilon_0 r_{ij}^2} \vec{e}_{ij}$$

N个点电荷组成的体系

## 二、带电体系对点电荷的作用力

设想把带电体分割为许多尺寸很小的、可当作点电荷处理的“电荷元”。

于是，整个带电体与由多个点电荷组成的点电荷系统等效。

**电荷密度**  $\rho = \frac{\Delta q}{\Delta V}$   $\Delta V = (\Delta S) d_{\perp}$   
**体电荷密度**  $\rho = \frac{\Delta q}{\Delta V}$   $\Delta S = (\Delta l) d_{\perp}$

**面电荷密度**  $\sigma = \frac{\Delta q}{\Delta S}$   
**线电荷密度**  $\lambda = \frac{\Delta q}{\Delta l}$   $\sigma = \rho d_{\perp}$   
 $\lambda = \sigma d_{\perp}$

体积元 $\Delta V$ 、面积元 $\Delta S$ 、线元 $\Delta l$ 的尺度远大于带电体中的微观带电粒子间的平均距离，但远小于电荷分布的非均匀尺度，即为微观大、宏观小。

利用叠加原理，可求出体电荷、面电荷、线电荷对点电荷的作用力

**体带电体—点电荷**

$$\bar{F} = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0} \iiint_V \frac{\rho(r')}{|\bar{r} - \bar{r}'|^3} (\bar{r} - \bar{r}') dV'$$

**面带电体—点电荷**

$$\bar{F} = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0} \iint_S \frac{\sigma(r')}{|\bar{r} - \bar{r}'|^3} (\bar{r} - \bar{r}') dS'$$

**线带电体—点电荷**

$$\bar{F} = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0} \int_L \frac{\lambda(r')}{|\bar{r} - \bar{r}'|^3} (\bar{r} - \bar{r}') dl'$$

### 三、各种带电体系之间的作用力

**体带电体—体带电体**

$$\bar{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \iiint_V \iiint_{V'} \frac{\rho(\bar{r})\rho(\bar{r}')}{|\bar{r} - \bar{r}'|^3} (\bar{r} - \bar{r}') dV dV'$$

**矢量和**

**面带电体—面带电体**

$$\bar{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \iint_S \iint_S \frac{\sigma(\bar{r})\sigma(\bar{r}')}{|\bar{r} - \bar{r}'|^3} (\bar{r} - \bar{r}') dS dS'$$

**矢量和**

### 面带电体—体带电体

$$\bar{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \iint_S \iiint_{V'} \frac{\sigma(\bar{r})\rho(\bar{r}')}{|\bar{r} - \bar{r}'|^3} (\bar{r} - \bar{r}') dS dV'$$

**【例3】** 电量Q均匀分布于长为L的细棒上，求细棒对检验电荷 $q_0$ 施加的力 ( $q_0$ 位于细棒中垂线上，距离为h)

**解** 细棒的线电荷密度为： $\lambda = \frac{Q}{L}$

将细棒上的电荷划分成一系列线电荷元 $dq$

$$dq = \lambda dx = \frac{Q}{L} dx$$

检验电荷 $q_0$ 位于细棒中垂线上，由对称性可得合力在y方向

$$dF_y = dF \cos \theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0 \lambda dx}{R^2} \cos \theta$$

$$x = h \tan \theta \Rightarrow dx = \frac{hd\theta}{\cos^2 \theta}$$

$$R = h / \cos \theta$$

$$\begin{aligned} F &= F_y = 2 \int dF_y \\ &= 2 \int_0^{\theta_{\max}} \frac{q_0 \lambda}{4\pi\epsilon_0 h} \cos \theta d\theta \\ &= \frac{2q_0 \lambda}{4\pi\epsilon_0 h} \sin \theta_{\max} \\ &= \frac{2q_0 \lambda}{4\pi\epsilon_0 h} \frac{L/2}{\sqrt{h^2 + (L/2)^2}} \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0 h} \frac{q_0 Q}{\sqrt{h^2 + (L/2)^2}} \end{aligned}$$

方向：沿y轴方向

无限长细棒  $L \rightarrow \infty$   $\theta \rightarrow \pi/2$   $\rightarrow F = \frac{1}{2\pi\epsilon_0 h} \frac{q_0 Q}{L} = \frac{q_0 \lambda}{2\pi\epsilon_0 h}$  与 $h$ (不是 $h^2$ )成反比

### § 1-3 电场强度

#### § 1.3.1 电场

## 一、相互作用的传递

**超距作用**

- 无需传递时间，速度无限大
- 直接传递、无需媒介

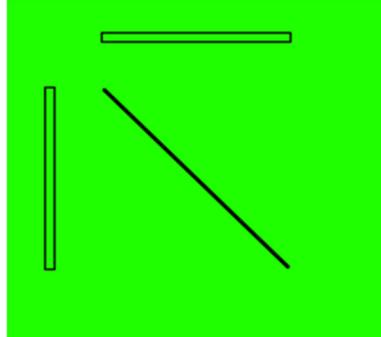
**近距作用**

- 需要传递时间，速度有限
- 需要通过接触或媒介(以太)

Who is right?

13

### Michelson测量“以太风”的实验



若“以太风”速度不为零，即装置相对以太运动，则两列光波相位不同。两束光复合时会产生干涉条纹，在不同的方位干涉条纹会移过基准线，从而可以测量地球中的以太速度；但是得到了零结果。

迈克尔逊认为实验是失败的，原因是：

- 1.零结果本身；
- 2.实验设计的误差；
- 3.理论上什么是“绝对速度”

**Michelson的干涉折射计(Interferometer): 将单一光束分成互相垂直的两路，来比较这两路的光速。**

14

1887年他与 *E.W.Morley* 合作，对实验进行改进：

- (1) 将光程长度增大10倍；
- (2) 将石板漂浮在水银面上，用以减小转动摩擦；
- (3) 延长探测时间至五天，探测地球沿其轨道与静止以太之间的相对运动。

结果仍然是零，他们非常失望。然而用这台新干涉仪获得了四亿分之一的灵敏度，这本身就是一种收获。

后来迈克尔逊用他的干涉折射计作为比长仪，于1893年确定了巴黎的米尺等于镉红线的1553 163.5个波长。这个精确测量使迈克尔逊闻名全球。

1907年迈克尔逊因为他的“零”结果(说明“以太”根本不存在)荣获诺贝尔奖，表彰他对光学精密仪器及对光谱学与计量学的贡献。

15

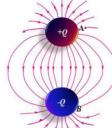
## 二、场的提出，法拉第的力线思想

Faraday 对电磁现象进行了广泛深入的实验研究，提出了近距作用的物理解释。他借助于力线概念把电场和磁场的许多性质简单而又形象地表示出来。他还发现了电磁感应现象。

Maxwell 在Faraday的基础上，发展了近距作用观点的场论思想，建立了 Maxwell 方程，奠定了经典电动力学的理论基础。

Faraday 和 Maxwell 一起当之无愧地被誉为19世纪最伟大的物理学家。

近距作用观点中场的思想的确立，开始了牛顿以来物理学最伟大的变革。




16

## 三、电 场

近代物理的发展证明，超距作用的观点是错误的，近距作用的观点才是正确的。

电力虽然以极快的速度传递，但该速度仍然有限，磁力也是以有限的速度传递的。

真空中，电(磁)力传播的速度是光速  $c$ 。

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 2.99792458(12) \times 10^8 \text{ m/s} \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

**介质中**  $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} = \frac{c}{n}$   $n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}$

$\epsilon_r$  为介质的相对介电常数  
 $\mu_r$  为介质的相对磁导率  
 $n$  为介质的折射率

17

“以太”并不存在，电力(磁力)通过电场(磁场)传递。

凡是有电荷的地方，周围就存在电场，即电荷在自己的周围产生电场或激发电场。

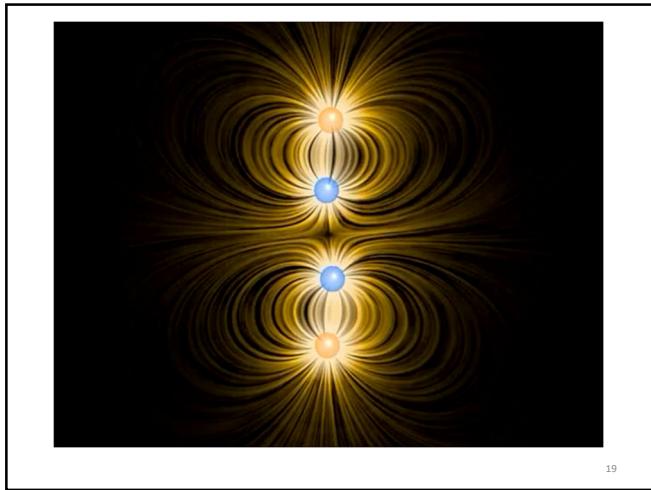
电场对处在场内的其他电荷有力作用。

电荷受到电场的作用力，仅由该电荷所在处的电场决定，与其他地方的电场无关，这就是场的观点。

按照这种观点，电荷间的相互作用可表示为

**电荷**  **电场**  **电荷**

18



**超距作用**

- ◆ 无媒介，力的传播速度无限大，不需要时间
- ◆  $q_1$ 所受的力 $F$ 随 $q_2$ 的运动(位置)同步变化

**$q_1$ 静止,  $q_2$ 运动**

$q_1$ 静止,  $q_2$ 运动

$F_{21}$ ,  $r$ ,  $t$ ,  $q_2$

$\Delta t = \frac{r'}{c}$

$F'_{21}(t'+\Delta t)$ ,  $r'$ ,  $t'$ ,  $q_2$

**场的观点**

- ◆  $q_2$ 在新位置产生的场以有限的速度 $c$ 向 $q_1$ 传播，场传播到 $q_1$ 历时 $\Delta t$ 后 $q_1$ 受到的力 $F$ 才发生变化。
- ◆  $q_1$ 所受的力并不同步变化(比位置的变化推迟 $\Delta t$ )

实验证明场的观点是正确的

20

### 相互作用的物理图像

**经典图像**

- ◆ 电荷的存在改变了空间自身的性质，导致了“隆起和凹陷”，决定了其他电荷如何运动。
- ◆ 包含电荷的空间，其特征由电场表征；
- ◆ 力是空间自身的一个整体性质。

**量子图像**

- ◆ 带电粒子通过交换光子相互作用；
- ◆ 光子携带能量、动量、角动量；
- ◆ 力是一种局部现象：是交换光子时电荷表现的一种性质。

21

### 四、静电场

- ◆ 静电场：静止电荷产生的电场称为静电场
- ◆ 静电力：静电场对其他静止电荷的作用力

$$\frac{\partial \rho(\vec{r}, t)}{\partial t} = 0 \quad \text{or} \quad \frac{\partial \vec{E}(\vec{r}, t)}{\partial t} = 0$$

- ◆ 电场并不限于静电场，凡对静止电荷有作用力的场都是电场。

22

### § 1.3.2 电场强度

#### 一、电场强度

##### 1. 试探点电荷

- ◆ 电量充分小，以免改变被研究物体的电荷或电场分布；
- ◆ 线度充分小，即近似为点电荷

电量 $q$ 较大时, 由于感应带电,  $q$ 的存在会改变大球表面的电荷分布

23

#### 2. 电场强度

电场内任意一点的电场强度：

- ◆ 数值上：等于一个单位电量的电荷在该点受到的作用力；
- ◆ 方向上：与正电荷在该点受力的方向相同。

$$\bar{E}(r) = \frac{\bar{F}_0}{q_0}$$

$\bar{E}(r)$ 是与试探点电荷 $q_0$ 无关的物理量，反映了 $r$ 处空间本身的特性；

24

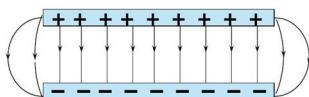
### 3. 电场强度的单位

- 电场强度  $E$  的单位为  $(N/C)$

$$\bar{E}(r) = \bar{F}_0 / q_0$$

- 但电场强度的常用单位是  $(V/m)$ , 两者等效

$$\bar{E} = -\nabla U \quad (\text{这个公式后面会讲})$$



$$E = \frac{U}{d}$$

25

### 电场对电荷的作用是局域的

- 电场就是带电体周围的一个具有特定性质的空间。在电场分布空间的任一点, 电荷都会受到一定大小、方向的作用力。

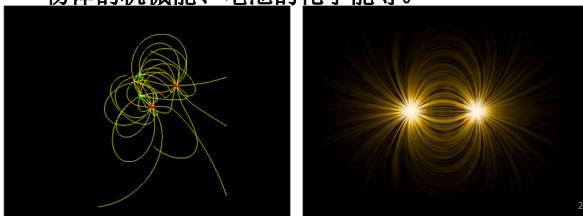
$$\bar{F}(r) = q\bar{E}(r) \quad \bar{E}(r) = \bar{E}(x, y, z)$$

- 电场对电荷的作用是一种 **局域作用**, 即处于某点的电荷只受到该点处电场的作用, **该点邻近处的电场对其没有作用**。

26

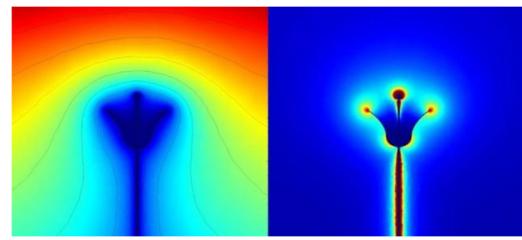
### 电场是一种客观物质

- 电场并不是形式的、数学的观念。
- 电场与实物(由原子或分子构成的物质)一样, 具有动量和能量, 服从一定的运动规律, 可脱离电荷和电流单独存在, 是物质的一种形式。
- 电场的能量也可以转换成其它形式的能量, 如物体的机械能、电池的化学能等。



Study finds bees and flowers communicate using electrical fields

蜜蜂用刚毛感应花朵电场



Electric potential distribution

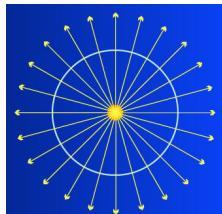
Electric field distribution

来自地面和大气中不平衡的电荷

### 4. 点电荷的电场

对点电荷  $q$ , 一般取  $q$  的位置为坐标原点, 在  $r$  处放置一个试探点电荷  $q_0$ , 则

$$\bar{E}(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{e}_r$$



**对称性:** 球对称

**方向:**

- (1) 从正的源电荷指向场点;
- (2) 从场点指向负的源电荷。

29

## 二、各种带电体的场强公式

### 1. 点电荷系

空间点电荷体系的电场强度, 可由力的叠加原理或电场的叠加原理来求得:

$$\bar{E}(r) = \sum_i \bar{E}_i(r) = \sum_i \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|^3} (\vec{r} - \vec{r}_i)$$

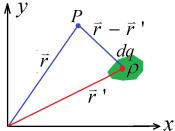
矢量叠加

30

## 2. 带电体的电场强度

电荷元  $dq$  产生的电场强度为:

$$d\vec{E}(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} (\vec{r} - \vec{r}')$$



由叠加原理, 带电体在空间的电场强度:

**体分布**

$$\vec{E}(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \iiint_V \frac{\rho(\vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} (\vec{r} - \vec{r}') dV'$$

**面分布**

$$\vec{E}(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \iint_S \frac{\sigma(\vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} (\vec{r} - \vec{r}') dS'$$

**线分布**

$$\vec{E}(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_L \frac{\lambda(\vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} (\vec{r} - \vec{r}') dl'$$

31

## 3. 电场强度的计算

电场强度是矢量, 可以化矢量积分为标量积分:

$$d\vec{E} = dE_x \vec{e}_x + dE_y \vec{e}_y + dE_z \vec{e}_z$$

$$\vec{E} = \int dE_x \vec{e}_x + \int dE_y \vec{e}_y + \int dE_z \vec{e}_z$$

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$$

与  $x, y, z$  轴的夹角  $\alpha, \beta, \gamma$  为:

$$\cos \alpha = \frac{E_x}{E}, \cos \beta = \frac{E_y}{E}, \cos \gamma = \frac{E_z}{E}$$

32

## 4. 一些典型的电场强度数值

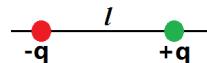
地点	电场强度(N/C)
铀核表面	$2 \times 10^{21}$
中子星表面	$1 \times 10^{14}$
氢原子电子内轨道处	$6 \times 10^{11}$
X射线管内	$5 \times 10^6$
空气击穿电场强度	$3 \times 10^6$
范德格拉夫静电加速器内	$2 \times 10^6$
电视机内的电子枪	$1 \times 10^5$
闪电闪内	$1 \times 10^4$
雷达发射机边	$7 \times 10^3$
太阳光内(平均)	$1 \times 10^3$
暗天大气中(地面)	$1 \times 10^2$
小型激光光束内	$1 \times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

量级相差很大

33

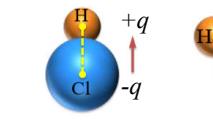
## 三、典型例子

### 1. 电偶极子



定义: 电量相等、符号相反、相隔某一微小距离  $l$  的两点电荷组成的系统

自然界中, 很多分子的正、负电荷并不完全重合, 因此具有非零的电偶极矩  $p$



$$p = 3.43 \times 10^{-30} \text{ C} \cdot \text{m}$$

$$\bar{p} = q\vec{l}$$

$$p = 6.13 \times 10^{-30} \text{ C} \cdot \text{m}$$

$$p = 4.77 \times 10^{-30} \text{ C} \cdot \text{m}$$

34

**【例4】** 求电偶极子的电场分布: (a) 中垂面上的电场强度; (b) 延长线的电场强度; (c) 空间任一点的电场强度

**【解】**

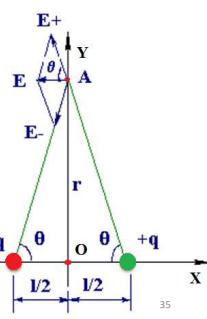
(a) 中垂面上

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

$$E_y = E_{+y} + E_{-y} = 0$$

$$E_x = E_{+x} + E_{-x} = -2E_+ \cos \theta$$

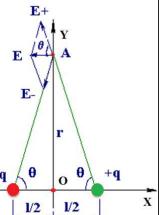
$$= -2E_+ \frac{l/2}{\sqrt{r^2 + l^2/4}} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{ql}{(r^2 + l^2/4)^{3/2}}$$



35

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

$$= -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{r^3} \quad \text{当 } r \gg l \text{ 时}$$

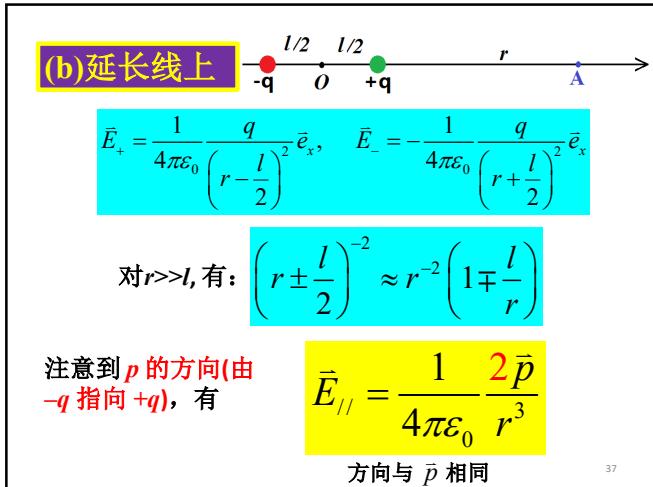


$p$  为电偶极矩,  $\bar{p} = q\vec{l}$ , 其方向由  $-q$  指向  $+q$

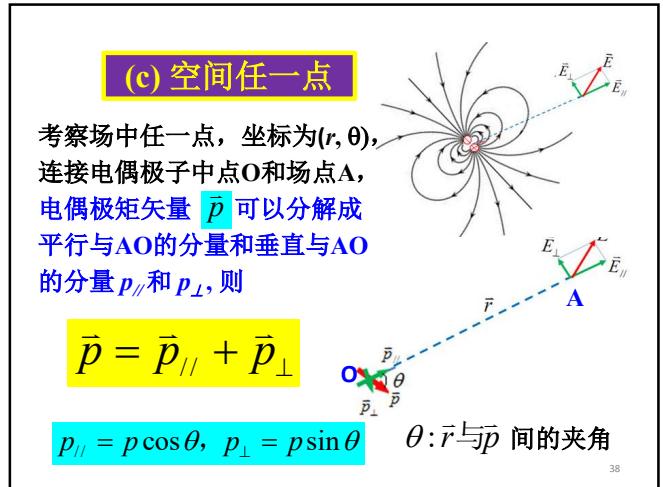
所以, 中轴线上任意一点的电场强度为:

$$\bar{E}_\perp = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\bar{p}}{r^3} \quad \text{方向与 } \bar{p} \text{ 相反}$$

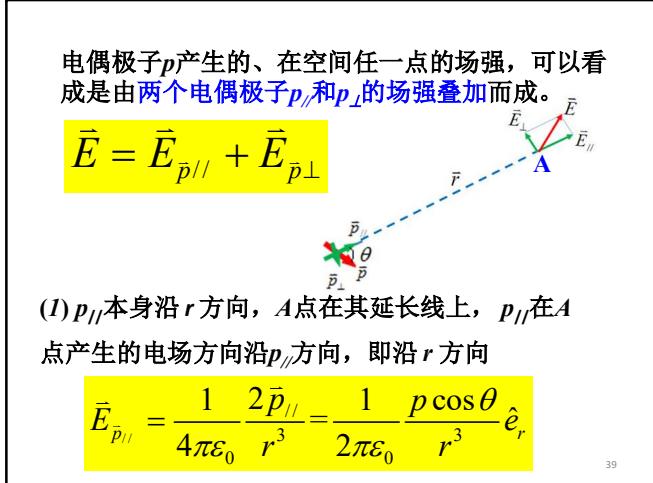
36



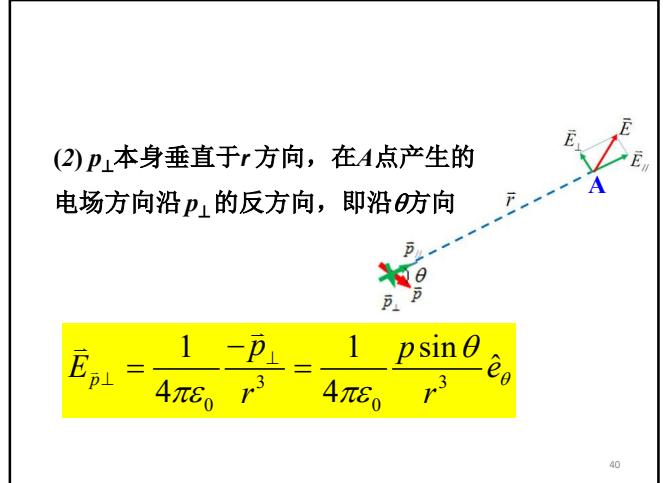
37



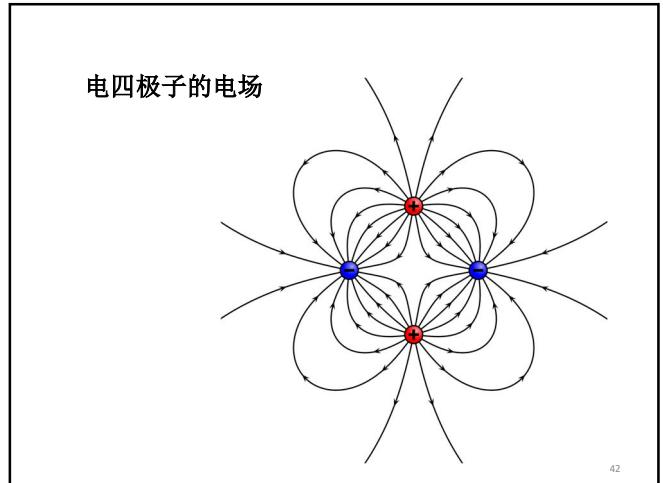
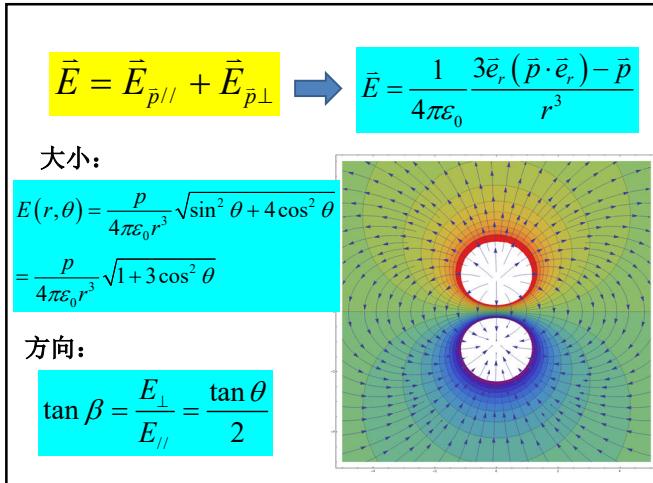
38



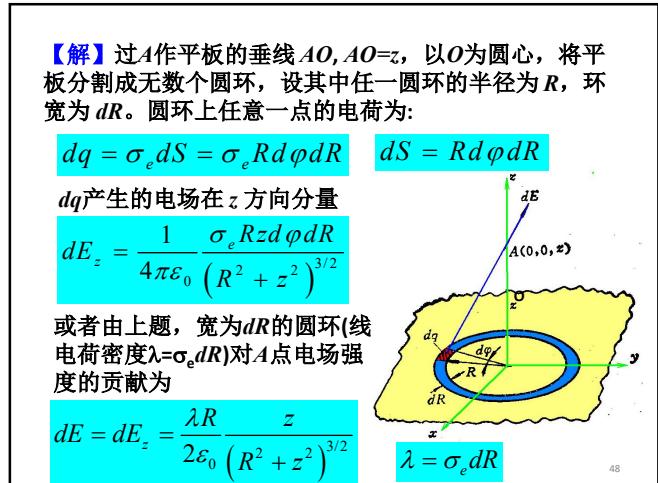
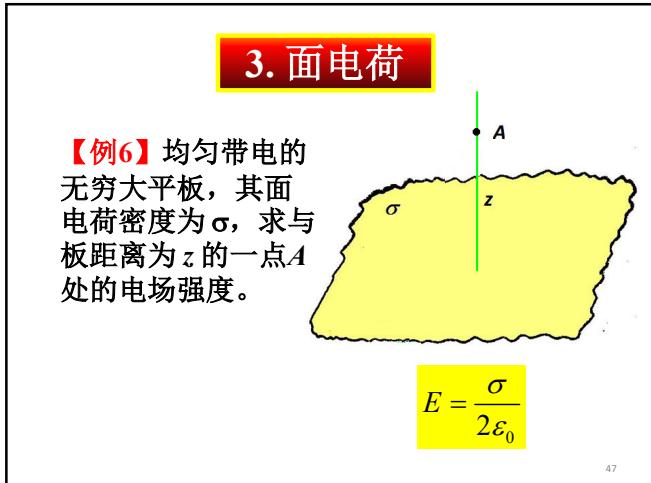
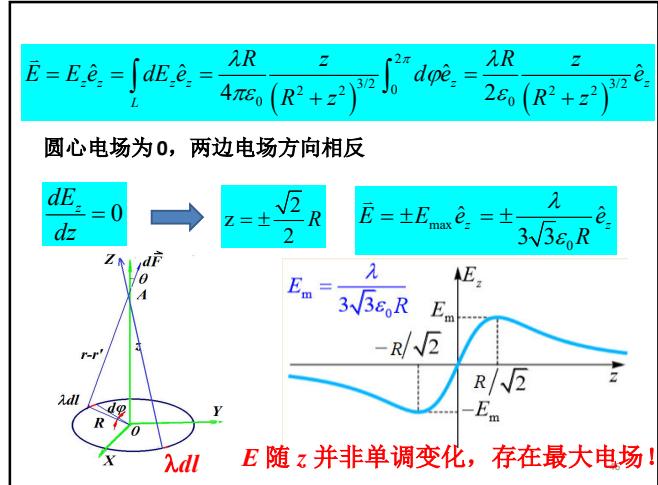
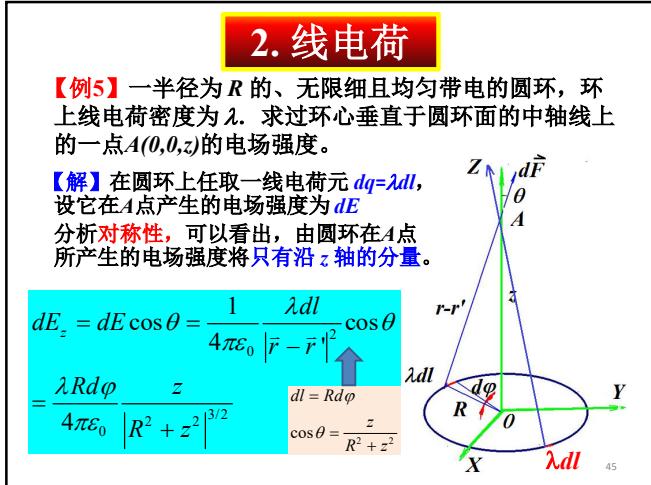
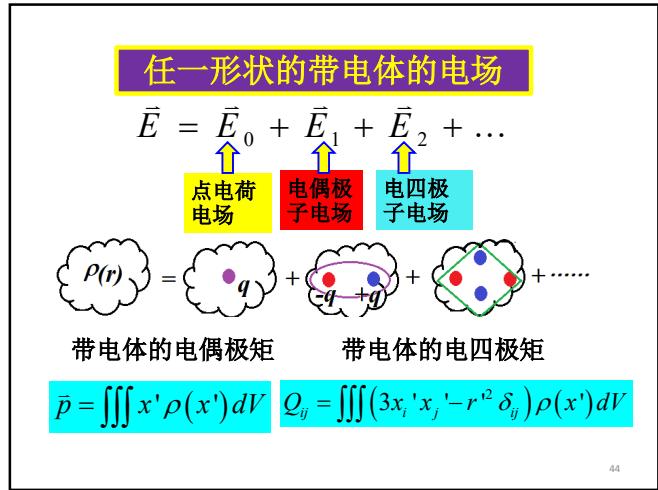
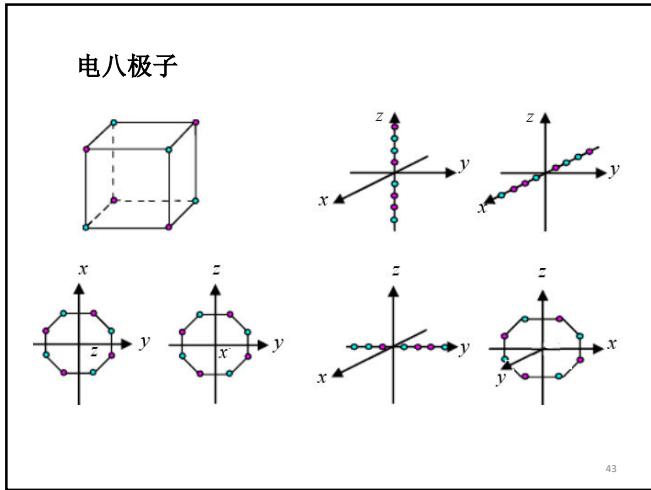
39



40



42



则总的电场强度为：

$$E = E_z = \int dE_z$$

$$= \frac{\sigma_e z}{2\epsilon_0} \int_0^{\infty} \frac{R}{(R^2 + z^2)^{3/2}} dR$$

$$= \frac{\sigma_e z}{2\epsilon_0} \left[ \frac{-1}{(R^2 + z^2)^{1/2}} \right]_0^{\infty}$$

$$\therefore E = \frac{\sigma_e}{2\epsilon_0} \quad \text{均匀电场, 与A点距平面距离 } z \text{ 无关!}$$

方向: 垂直于面, 指向面外侧  
面两边电场方向相反

49

有限大(半径为  $a$ )均匀圆盘

$$\bar{E} = E_z \bar{e}_z$$

$$= \frac{\sigma_e z}{2\epsilon_0} \int_0^a \frac{R}{(R^2 + z^2)^{3/2}} dR \bar{e}_z$$

$$= \frac{\sigma_e z}{2\epsilon_0} \left[ \frac{1}{|z|} - \frac{1}{(a^2 + z^2)^{1/2}} \right] \bar{e}_z$$

50

**【例7】**求均匀带电半球面在球心的电场。

51

球坐标系( $r, \theta, \phi$ )      柱坐标系( $r, z, \phi$ )

52

**【解】**设球面半径为  $r$ , 电荷面密度为  $\sigma$ 。取一球面坐标, 原点与球心重合, 如图所示。球坐标中的面元  $dS$  可以看作是边长为  $rd\theta$  和  $rsin\theta d\phi$  的矩形, 其面积为

$$dS = r^2 \sin \theta d\theta d\phi$$

面元上的电荷在  $O$  点的场强为:

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\sigma dS}{r^2}$$

当  $\sigma$  为正时,  $dE$  的方向由  $dS$  指向球心。

53

由于对称性, 只有  $dE$  沿  $Z$  轴的分量  $dE_z$  才对  $O$  点的合电场有贡献

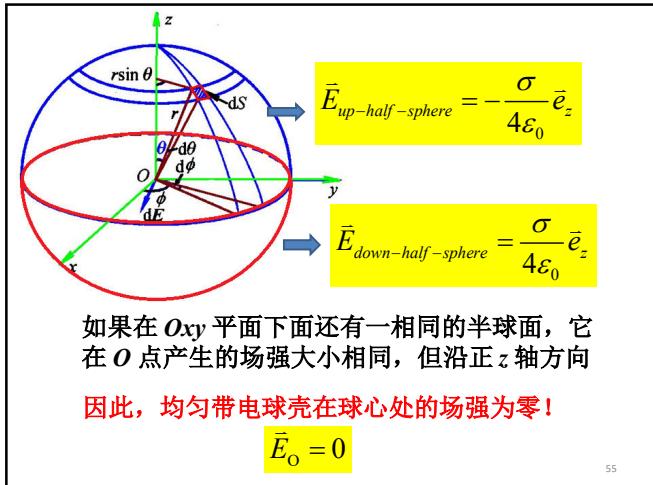
$$dE_z = -dE \cos \theta = -\frac{\sigma}{4\pi\epsilon_0} \sin \theta \cos \theta d\theta d\phi$$

$$E = E_z = -\frac{\sigma}{4\pi\epsilon_0} \int_0^{\pi/2} \sin \theta \cos \theta d\theta \int_0^{2\pi} d\phi = -\frac{\sigma}{4\epsilon_0}$$

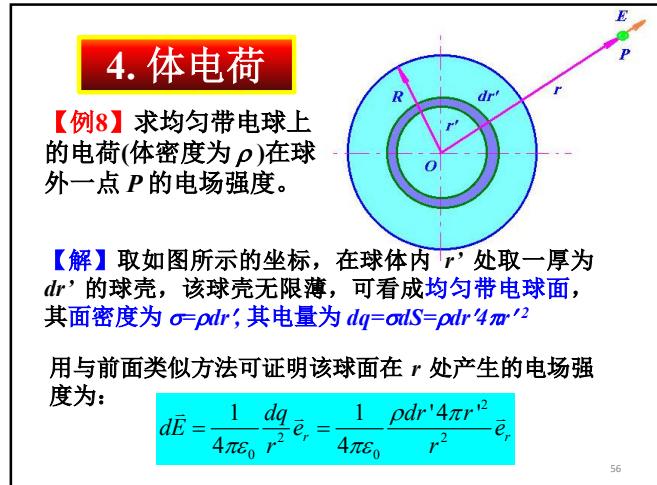
$$\bar{E} = -\frac{\sigma}{4\epsilon_0} \bar{e}_z$$

负号表示电场沿  $z$  轴负方向  
电场大小与  $\sigma$  成正比, 与  $R$  无关

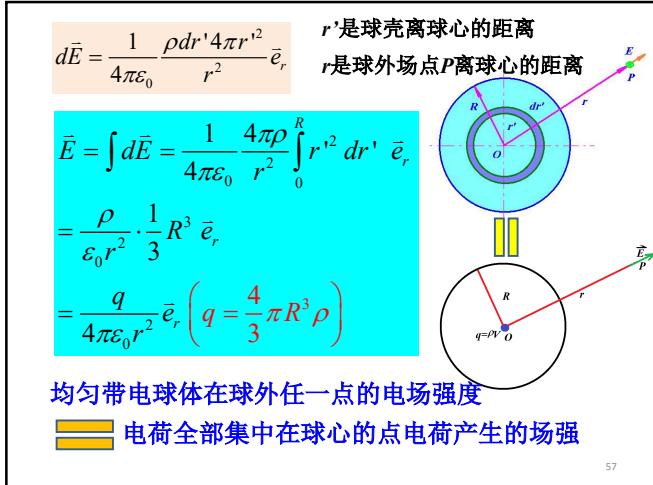
54



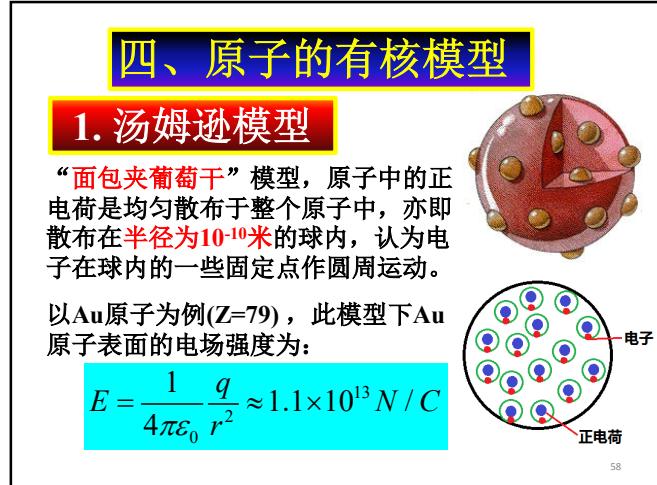
55



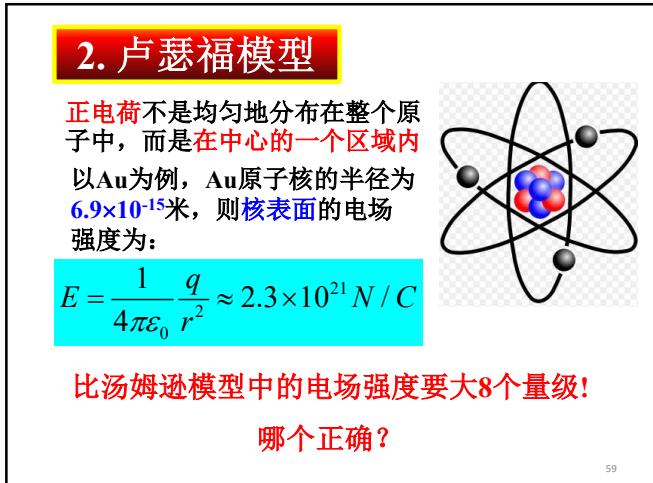
56



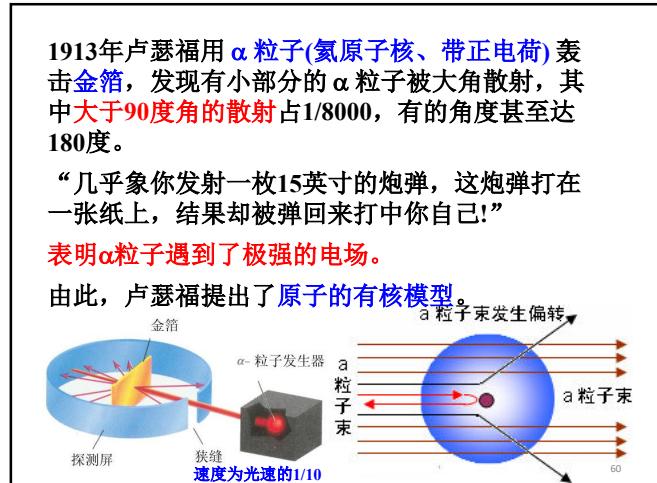
57



58



59



60

**诺贝尔奖导师—卢瑟福**

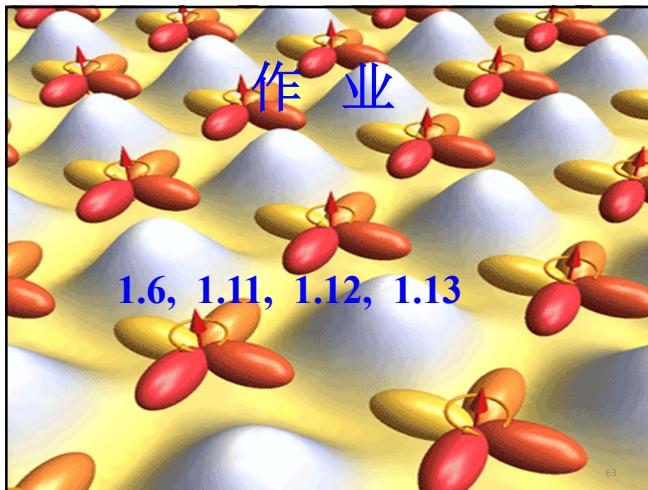
- ◆ 卢瑟福是原子核物理之父亲，获1908年诺贝尔化学奖
- ◆ 此外他直接培养、并沿着他指导的研究方向进行研究而获诺贝尔奖的达11人之多
- ◆ 其中有他在蒙特利尔的麦吉尔大学时的助手索迪(1921年)和哈恩(1944年)，在曼彻斯特大学时的玻尔(1922年)和海威西(1943年)，在剑桥大学时的查德威克(1935年)、阿普顿(1947年)、希莱克特(1948年)、鲍威尔(1950年)、考克饶夫和瓦尔顿(1951年)、卡皮查(1978年)。
- ◆ 与他的作用有关、而在后来获诺贝尔奖的，有阿斯顿(1922年)、狄拉克(1933年)和贝特(1976年)等。
- ◆ 这在诺贝尔奖史上是绝无仅有的。

61

## 问 题

1. 研究电力与距离不成平方反比关系(例如成3次方反比)情况下，各种对称带电体，例如长直线、平面、球、圆柱等周围的电场分布。
2. 模拟计算各种形状的带电体在空间的电场。
3. 估算卢瑟福实验中 $\alpha$ 粒子束轰击金箔表面时，汤姆逊模型和卢瑟福模型下在各个角度的散射几率。

62



63