

## ➤2. 大学物理(下)重要知识点

**(一) 静电学** 电场强度、电势、静电场力及其做功、静电感应、真空及有电介质时的高斯定理、电通量、有电介质时的电场与电位移、电容、电场能量

**(二) 磁学及电磁感应** 磁感应强度、磁矩、洛伦兹力、霍尔效应、磁力、磁力矩及其做功、安培环路定理、磁通量、电磁感应、感应电动势的计算、自感、磁能。  
(不考第20章)

**(三) 近代物理** 洛伦兹变换、时间膨胀、尺度收缩、狭义相对论动力学问题、光电效应、康普敦效应、德布罗意波、波函数性质（概率波，不考薛定谔方程）、氢原子光谱及跃迁，氢原子的量子力学结论（能级、轨道角动量、角动量空间量子化）、四个量子数、壳层结构、不相容原理

# (三) 近代物理

狭义相对论：洛仑兹变换、时间膨胀、尺度收缩、狭义相对论动力学问题

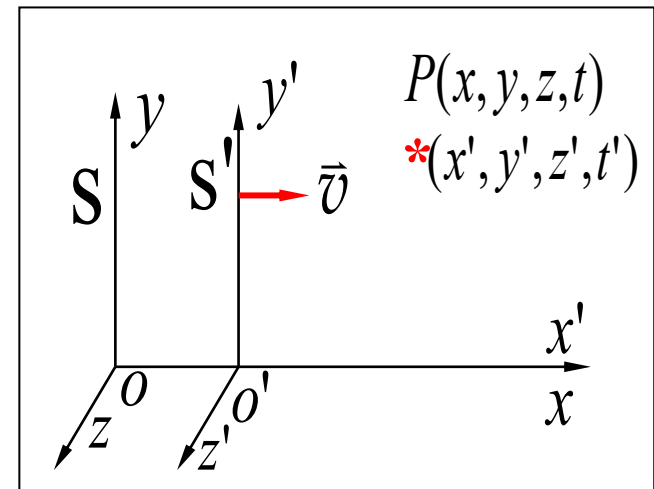
## ➤ 洛仑兹坐标变换

正变换

$$\begin{cases} x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \end{cases}$$

逆变换

$$\begin{cases} x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \\ y = y' \\ z = z' \\ t = \frac{t' + \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \end{cases}$$



## ➤时间膨胀

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}}$$

## ➤尺度收缩

$$l = l_0 \sqrt{1-(v/c)^2}$$

## ➤相对论动力学问题

### □质速关系

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \Rightarrow p = mv = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}} v$$

### □功和动能

$$E_K = E - E_0 = mc^2 - m_0 c^2$$

$$W = \Delta E = m_2 c^2 - m_1 c^2$$

### □能量和动量关系

$$E^2 = E_0^2 + p^2 c^2 \Rightarrow \text{光子 } p = \frac{E}{c}$$

## 8. (2011级, 洛仑兹变换, 同时的相对性)

(1) 对某观察者来说, 发生在某惯性系中同一地点、同一时刻的两个事件, 对于相对该惯性系作匀速直线运动的其它惯性系中的观察者来说, 它们是否同时发生?

(2) 在某惯性系中发生于同一时刻、不同地点的两个事件, 它们在其它惯性系中是否同时发生?

关于上述两个问题的正确答案是:

- (A) (1) 同时, (2) 不同时.      (B) (1) 不同时, (2) 同时.  
(C) (1) 同时, (2) 同时.      (D) (1) 不同时, (2) 不同时.      [ **A** ]

$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \quad \Rightarrow \quad \Delta t' = \frac{\Delta t - \frac{v}{c^2}\Delta x}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \quad \Rightarrow \quad \begin{array}{l} \Delta t = 0, \Delta x = 0, \text{ 则 } \Delta t' = 0 \\ \Delta t = 0, \Delta x \neq 0, \text{ 则 } \Delta t' \neq 0 \end{array}$$

## 18. (2012级, 时间膨胀)

$\mu$ 子是一种基本粒子, 在相对于 $\mu$ 子静止的坐标系中测得其寿命为 $\tau_0 = 3 \times 10^{-6} \text{ s}$ . 如果 $\mu$ 子相对于地球的速度为 $v = 0.8c$  ( $c$  为真空中光速), 则在地球坐标系中测出的 $\mu$ 子的寿命 $\tau =$  \_\_\_\_\_ 秒.

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

## 8. (2012级, 尺度收缩)

边长为 $a$ 的正方形薄板静止于惯性系 $K$ 的 $Oxy$ 平面内, 且两边分别与 $x, y$ 轴平行. 今有惯性系 $K'$ 以 $0.8c$  ( $c$ 为真空中光速)的速度相对于 $K$ 系沿 $x$ 轴作匀速直线运动, 则从 $K'$ 系测得薄板的面积为

- (A)  $0.6a^2$ .    (B)  $0.8a^2$ .    (C)  $a^2$ .    (D)  $a^2/0.6$ . [ **A** ]

长度收缩只发生在**运动方向**上, 在与运动方向**垂直**的方向上**不**发生长度收缩。

$$l_x = l_{x0} \sqrt{1 - (v/c)^2} = a \sqrt{1 - (0.8c/c)^2} = 0.6a \quad S = 0.6a \times a = 0.6a^2$$

## 7. (2011级, 相对论动力学问题)

把一个静止质量为 $m_0$ 的粒子, 由静止加速到 $v = 0.6c$  ( $c$ 为真空中光速) 需作的功等于

$$W = mc^2 - m_0c^2$$

(A)  $0.18m_0c^2$ .

(B)  $0.25 m_0c^2$ .

(C)  $0.36m_0c^2$ .

(D)  $1.25 m_0c^2$ .

[      ]

# 早期量子论：光电效应、康普敦效应、德布罗意波

## ➤ 光电效应

电子吸收光子能量后，一部分消耗于电子逸出金属表面时所做的功（逸出功 $A$ ），另一部分转化成电子的动能

爱因斯坦光电效应方程

$$h\nu = A + \frac{1}{2}mv^2$$

红限频率 $\nu_0$ 或红限波长 $\lambda_0$ ：刚好能发生光电效应的入射光最小频率或最大波长

$$h\nu_0 = h \frac{c}{\lambda_0} = A$$

当反向电压增至 $U_c$ （截止电压or遏止电压）时，光电流为零。

$$\frac{1}{2}mv^2 = eU_c$$

➤ 德布罗意波

$$\nu = E/h \quad \lambda = h/p \quad \text{光子}$$

➤ 康普敦效应：X射线被物质散射时，散射光中不仅有与入射光相同的波长成分，更有波长大于入射光波长的成分——证明了光具有粒子性。

康普顿公式：

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \varphi) = \lambda_C (1 - \cos \varphi)$$

康普顿波长

# 康普顿效应：高能光子与静止自由电子弹性碰撞

## □ 能量守恒

$$h\nu_0 + m_0c^2 = h\nu + mc^2$$

## □ 动量守恒

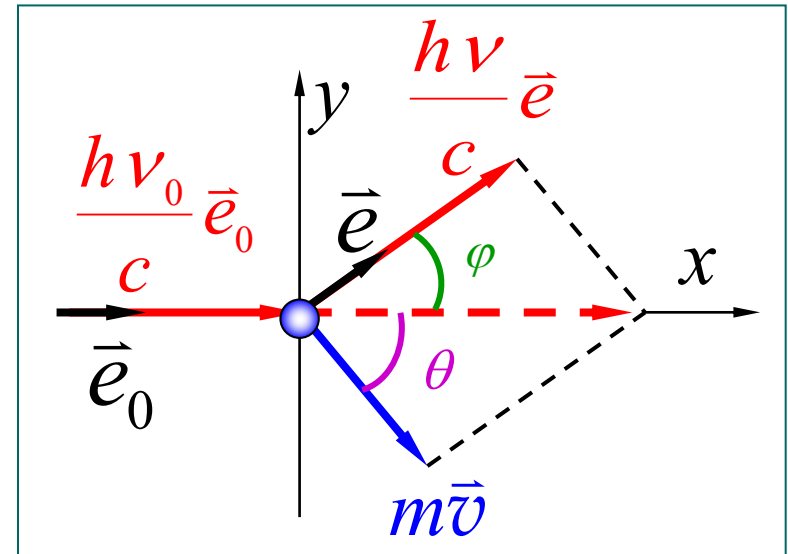
x方向:  $\frac{h\nu_0}{c} = \frac{h\nu}{c} \cos \varphi + m v \cos \theta$

y方向:  $0 = \frac{h\nu}{c} \sin \varphi - m v \sin \theta$

联立方程  $\frac{c}{\nu} - \frac{c}{\nu_0} = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \varphi) \Rightarrow \lambda - \lambda_0 = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \varphi)$

康普顿  
波长

$$\lambda_C = \frac{h}{m_0 c} = 2.43 \times 10^{-12} \text{ m} = 2.43 \times 10^{-3} \text{ nm}$$



$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$



## 9 (2012级, 光电效应)

已知一单色光照射在钠表面上, 测得光电子的最大动能是  $1.2 \text{ eV}$ , 而钠的红限波长是  $540 \text{ nm}$ , 那么入射光的波长是

- (A)  $535 \text{ nm}$ . (B)  $500 \text{ nm}$ .  
(C)  $435 \text{ nm}$ . (D)  $355 \text{ nm}$ .

[ **D** ]

(普朗克常量  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ,  $1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$ )

$$\left. \begin{aligned} h\nu &= A + \frac{1}{2}mv^2 \\ \lambda &= c/\nu \end{aligned} \right\} \lambda = \frac{ch}{A + \frac{1}{2}mv^2} = \frac{ch}{hc/\lambda_0 + E_k} = \frac{1}{1/\lambda_0 + E_k/hc}$$

## 7 (2010级, 光电效应, 洛伦兹力)

在均匀磁场  $B$  内放置一极薄的金属片, 其红限波长为  $\lambda_0$ . 今用单色光照射, 发现有电子放出, 有些放出的电子 (质量为  $m$ , 电荷的绝对值为  $e$ ) 在垂直于磁场的平面内作半径为  $R$  的圆周运动, 那么此照射光光子的能量是:

- (A)  $\frac{hc}{\lambda_0}$ . (B)  $\frac{hc}{\lambda_0} + \frac{(eRB)^2}{2m}$ .  $R = \frac{mv}{qB} \Rightarrow v = \frac{eBR}{m}$   
(C)  $\frac{hc}{\lambda_0} + \frac{eRB}{m}$ . (D)  $\frac{hc}{\lambda_0} + 2eRB$ .

[ **B** ]

$$\text{光子能量 } h\nu = A + \frac{1}{2}mv^2 = h \frac{c}{\lambda_0} + \frac{1}{2}m \left( \frac{eBR}{m} \right)^2$$

## 10 (2012级, 康普顿效应)

在康普顿散射中, 如果设反冲电子的速度为光速的 60%, 则因散射使电子获得的能量是其静止能量的

$$\Delta E = E - E_0 = mc^2 - m_0c^2$$

- (A) 2 倍. (B) 1.5 倍.  
(C) 0.5 倍. (D) 0.25 倍.

[ ]

表面是康普顿效应, 其实是相对论力学

## 19 (2011级, 德布罗意波, 康普顿效应, 相对论动力学)

令  $\lambda_c = h/(m_e c)$  (称为电子的康普顿波长, 其中  $m_e$  为电子静止质量,  $c$  为真空中光速,  $h$  为普朗克常量). 当电子的动能等于它的静止能量时, 它的德布罗意波长是  $\lambda = \underline{\hspace{2cm}} \lambda_c$ .

$$E_k = E - E_0 = E_0 \Rightarrow E = 2E_0$$

$$E^2 = E_0^2 + p^2 c^2 \Rightarrow p = \sqrt{E^2 - E_0^2} / c = \sqrt{3} E_0 / c = \sqrt{3} m_e c$$

$$\lambda = h/p = h / \sqrt{3} m_e c = \lambda_c / \sqrt{3}$$

**量子力学初步：**波函数性质（概率波，不考薛定谔方程）、氢原子光谱及跃迁，氢原子的量子力学结论（能级、轨道角动量、角动量空间量子化）、四个量子数、壳层结构、不相容原理

### ➤ 氢原子光谱及跃迁

$$E_n = E_1 / n^2 = -13.6\text{eV} / n^2$$

电子从 $E_n$ 向 $E_k$ 跃迁  
放出光子的频率：

$$\nu = \frac{E_n - E_k}{h} = \frac{13.6\text{eV}}{h} \left( \frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad k < n$$

里德伯公式  $\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$  **R:里德伯常数**

### ➤ 不相容原理

在一个原子中不可能有两个或两个以上的电子处于相同的状态，即不可能具有相同的四个量子数。

给定的主量子数(主壳层) $n$ ，最多容纳电子数 $2n^2$

## ➤ 波函数的性质

在 $a$ 到 $b$ 内发现粒子的概率:

$$P = \int_a^b |\Psi(x, t)|^2 dx = \int_a^b |\psi(x)|^2 dx$$

概率密度:  $|\Psi(x, t)|^2 = |\psi(x)|^2$

□ 某一时刻在**整个空间**内发现粒子的**概率**:

$$\int |\Psi|^2 dV = 1 \quad \text{归一化条件}$$

□ **有限性**  $\int |\Psi|^2 dV \leq 1$

□ **单值性**  $|\Psi|^2$  是单值的

□ **连续性**  $\Psi$  和  $d\Psi/dx$  一般连续

# ➤量子数

量子数	名称	取值	物理意义
$n$	主量子数	$1, 2, 3, \dots$	<b>能量是量子化</b> $E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} = -\frac{13.6\text{eV}}{n^2}$
$l$	轨道量子数	$0, 1, 2, \dots, n-1$	<b>“轨道”角动量是量子化</b> $L = \sqrt{l(l+1)}\hbar$
$m_l$	(轨道)磁量子数	$0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$	<b>角动量的空间取向是量子化</b> $L_z = m_l \hbar,$
$m_s$	自旋磁量子数	$\pm 1/2$	<b>自旋的空间取向是量子化</b> $S_z = m_s \hbar,$

**主壳层** 具有相同主量子数 $n$ 的电子构成一个壳层

$n$	1	2	3	4	5	6	7
	K	L	M	N	O	P	Q

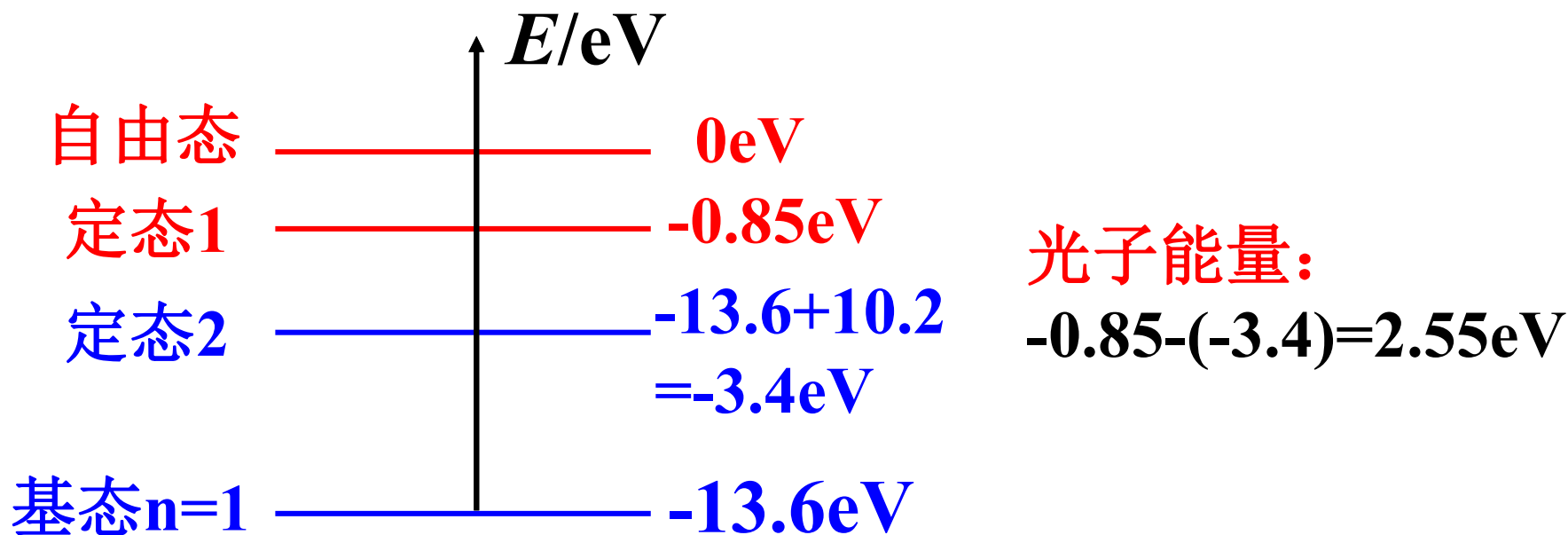
**次壳层**

$l$	0	1	2	3	4	5	6
	s	p	d	f	g	h	i

## 18 (2009级, 氢原子光谱及跃迁)

氢原子由定态 1 跃迁到定态 2 可发射一个光子. 已知定态 1 的电离能为  $0.85 \text{ eV}$ , 又知从基态使氢原子激发到定态 2 所需能量为  $10.2 \text{ eV}$ , 则在上述跃迁中氢原子所发射的光子的能量为\_\_\_\_\_eV.

**氢原子电离能:** 从定态(不一定是基态)到自由态( $0\text{eV}$ )所需最小能量。



## 20 (2012级, 不相容原理, 量子数)

在主量子数  $n=3$ , 自旋磁量子数  $m_s = \frac{1}{2}$  的量子态中, 能够填充的最大电子数是\_\_\_\_\_.

$m_s=1/2$ , 最大容纳电子数  $n^2$

## 10 (2011级, 量子数)

下列各组量子数中, 哪一组可以描述原子中电子的状态?

- (A)  $n=2, l=2, m_l=0, m_s=\frac{1}{2}$ .      (B)  $n=3, l=2, m_l=-1, m_s=-\frac{1}{2}$ .  
(C)  $n=1, l=2, m_l=1, m_s=\frac{1}{2}$ .      (D)  $n=1, l=0, m_l=1, m_s=-\frac{1}{2}$ .

根据量子数的取值规定

[ B ]

## 9 (2010级, 量子数)

在氢原子的 M 壳层中, 电子可能具有的量子数  $(n, l, m_l, m_s)$  是

- (A)  $(3, 2, 0, \frac{1}{2})$ .      (B)  $(2, 0, 0, \frac{1}{2})$ .      M壳层,  $n=3$

- (C)  $(3, 3, 1, -\frac{1}{2})$ .      (D)  $(2, 1, 0, -\frac{1}{2})$ .      [ A ]

## 20 (2011级, 波函数性质 (概率波))

粒子在一维无限深方势阱中运动 (势阱宽度为  $a$ ), 其波函数为

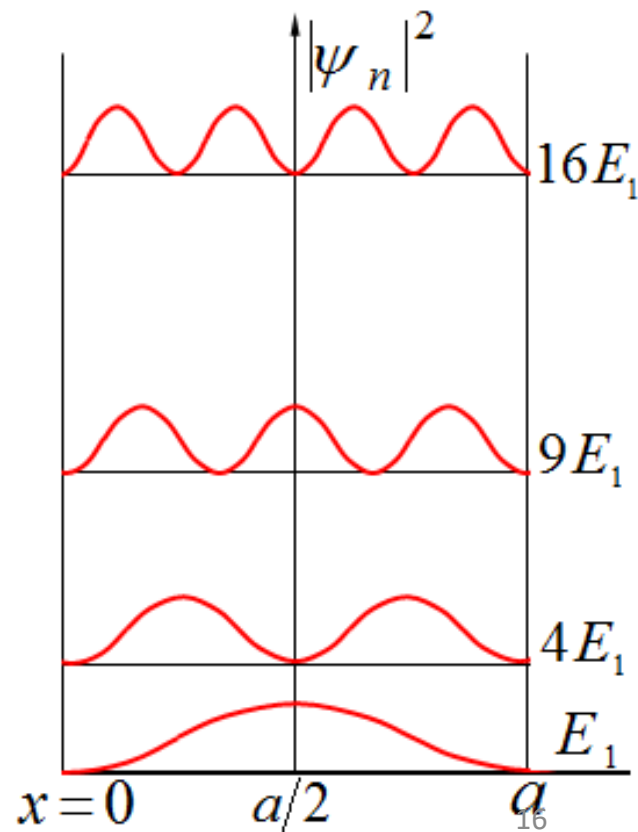
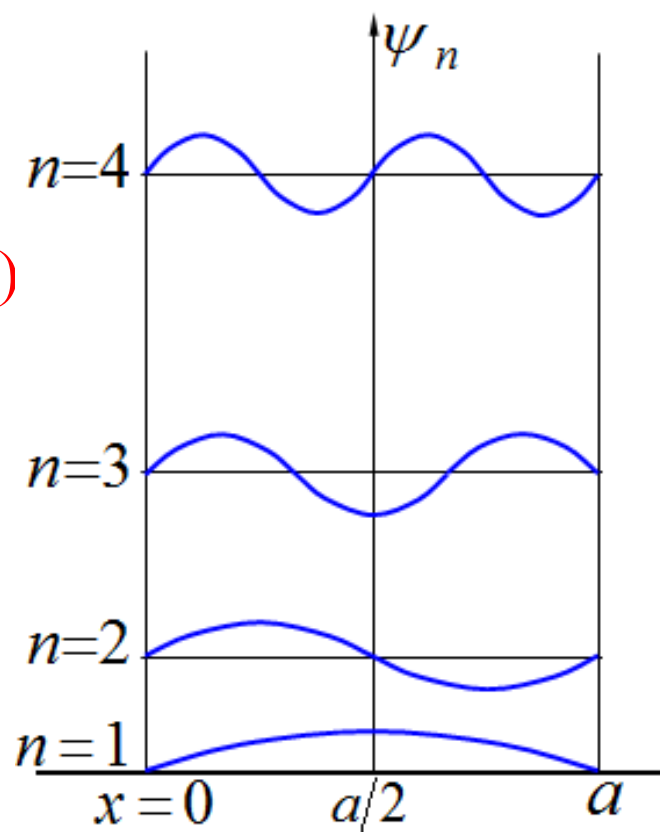
$$\psi(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{3\pi x}{a} \quad (0 < x < a),$$

粒子出现的概率最大的各个位置是  $x =$  \_\_\_\_\_.

一维无限深势阱

$$\varphi(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin\left(\frac{n\pi}{a}x\right)$$

➡  $n = 3$





# (一) 静电学

真空中的静电场：电场强度、电势、静电场力及其做功

## ➤ 电场强度

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

点电荷  $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \vec{e}_r$

无限长带  
电直线

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$$

电荷线密度

无限大带  
电平面

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

电荷面密度

在电介质中时， $\epsilon_0$ 换成 $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$

## ➤ 静电场力及其做功

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad A = \int_l q\vec{E} \cdot d\vec{l}$$

静电场力做功仅与始末位置有关，与路径无关，是保守力。

沿闭合路径一周，电场力作功为零  $\oint_l \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$

## ➤ 电势

$$U_{AB} = U_A - U_B = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad U_A = \int_A^\infty \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad \text{点电荷电势} \quad U = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

## 1 (2012级, 电场强度)

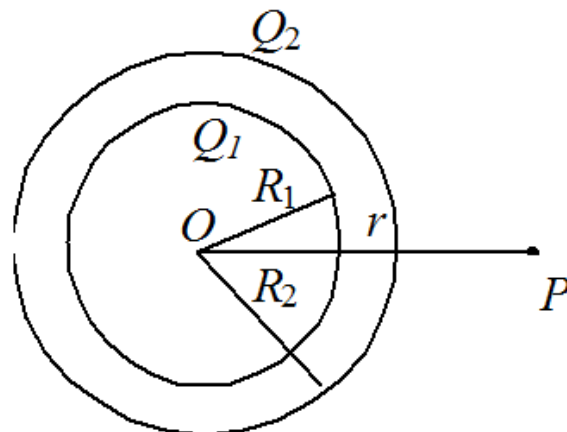
如图所示, 两个同心均匀带电球面, 内球面半径为  $R_1$ 、带有电荷  $Q_1$ , 外球面半径为  $R_2$ 、带有电荷  $Q_2$ , 则在外球面外面、距离球心为  $r$  处的  $P$  点的场强大小  $E$  为:

(A)  $\frac{Q_1 + Q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ .

(B)  $\frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 (r - R_1)^2} + \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0 (r - R_2)^2}$ .

(C)  $\frac{Q_1 + Q_2}{4\pi\epsilon_0 (R_2 - R_1)^2}$ .

(D)  $\frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ .



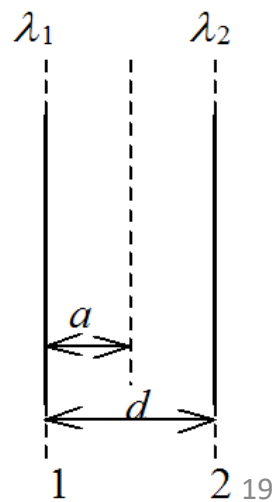
$\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i$  或直接高斯定理

[ A ]

## 11 (2012级, 电场强度)

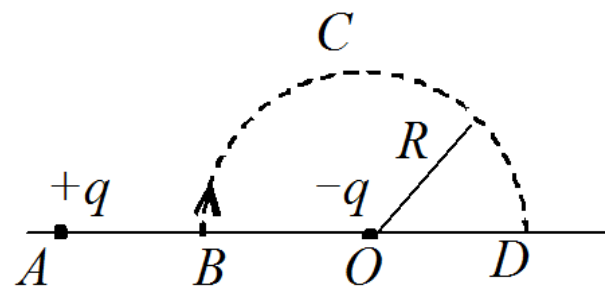
两根相互平行的“无限长”均匀带正电直线 1、2, 相距为  $d$ , 其电荷线密度分别为  $+\lambda_1$  和  $+\lambda_2$  如图所示, 则场强等于零的点与直线 1 的距离  $a$  为  $\frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} d$ .

无限长带  
电直线  $E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$   $E_1 + E_2 = \frac{\lambda_1}{2\pi\epsilon_0 a} - \frac{\lambda_2}{2\pi\epsilon_0 (d - a)} = 0$



### 13 (2012级, 静电场力及其做功)

图示  $BCD$  是以  $O$  点为圆心, 以  $R$  为半径的半圆弧, 在  $A$  点有一电荷为  $+q$  的点电荷,  $O$  点有一电荷为  $-q$  的点电荷. 线段  $\overline{BA} = R$ . 现将一单位正电荷从  $B$  点沿半圆弧轨道  $BCD$  移到  $D$  点, 则电场力所作的功为\_\_\_\_\_.



静电场力做功仅与始末位置有关, 与路径无关

正电荷  
做的功

$$A = \int_l q_0 \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_R^{3R} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} dr = \frac{q}{6\pi\epsilon_0 R}$$

负电荷不做  
功 (r不变)

# 静电场中的导体和电介质：静电感应、真空及有电介质时的高斯定理、电通量、有电介质时的电场与电位移、电容、电场能量

## ➤ 静电感应 静电平衡

- 导体内部任何一点处的电场强度为零
- 导体表面处的电场强度的方向, 都与导体表面垂直
- 导体是等势体
- 实心导体：导体内部无净电荷，电荷只能分布于导体外表面。
- 有空腔导体
  - 腔内无电荷：电荷分布在外表面上（内表面无电荷）
  - 空腔内有电荷 $+q$ ：内表面因静电感应出现等值异号的电荷 $-q$ ，外表面有感应电荷 $+q$ (电荷守恒)

## ➤ 真空及有电介质时的高斯定理

$$\text{真空: } \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum q \quad \text{有电介质: } \oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \sum q_{\text{自由}}$$

➤有电介质时的电场与电位移

$$\vec{E} = \vec{D} / \varepsilon = \vec{D} / \varepsilon_0 \varepsilon_r$$

真空中场强 $E_0$ 与有  
介质场强 $E_r$ 的关系

$$\vec{E} = \vec{E}_0 / \varepsilon_r \quad \vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E} = \varepsilon_0 \vec{E}_0$$

➤电通量

$$\Phi_e = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \int_S E \cos \theta dS$$

➤电容

孤立导体电容	$C = \frac{Q}{V}$	电容器电容	$C = \frac{Q}{U} = \frac{Q}{Ed}$	平行板电容器	$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S}{d}$
--------	-------------------	-------	----------------------------------	--------	---

电容器间电场强度为两极板(无限大带电平面)电场的叠加,  
但两极板各自感受到的电场强度为极板间电场强度的一半。

电容串联	$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_n}$	电容并联	$C = C_1 + C_2 + \cdots + C_n$
------	--	------	--------------------------------

➤电场  
能量

电容器  
电能

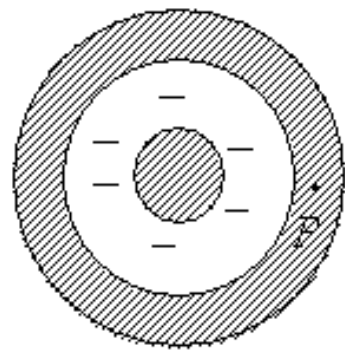
$$W_e = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} QU = \frac{1}{2} CU^2$$

电场能  
量密度

$$w_e = \frac{1}{2} \varepsilon E^2 = \frac{1}{2} ED$$

## 12 (2012级, 静电感应, 电势)

如图所示, 一带负电荷的金属球, 外面同心地罩一不带电的金属球壳, 则在球壳中一点  $P$  处的场强大小与电势(设无穷远处为电势零点)分别为:



- (A)  $E = 0, U > 0.$       (B)  $E = 0, U < 0.$   
(C)  $E = 0, U = 0.$       (D)  $E > 0, U < 0.$

静电平衡导体内部电场为零, 是等势体

$$U_A = \int_A^\infty \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad [ \quad \mathbf{B} \quad ]$$

## 12 (2012级, 电场能量, 电容)

一空气电容器充电后切断电源, 电容器储能  $W_0$ , 若此时在极板间灌入相对介电常量为  $\epsilon_r$  的煤油, 则电容器储能变为  $W_0$  的 \_\_\_\_\_ 倍. 如果灌煤油时电容器一直与电源相连接, 则电容器储能将是  $W_0$  的 \_\_\_\_\_ 倍.

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} = \epsilon_r C_0$$

切断电源,  $Q$  不变

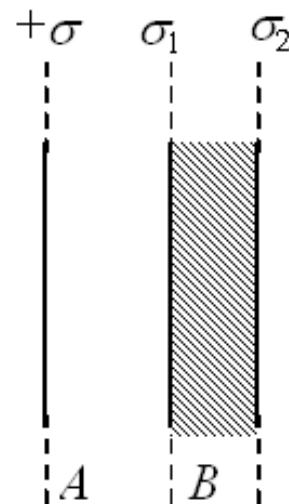
连接电源,  $U$  不变

$$W_e = \frac{Q^2}{2C} = \frac{W_0}{\epsilon_r}$$

$$W_e = \frac{1}{2} C U^2 = \epsilon_r W_0$$

## 2 (2011级, 静电感应, 电场强度)

一“无限大”均匀带电平面  $A$ , 其附近放一与它平行的有一定厚度的不带电的“无限大”平面导体板  $B$ , 如图所示. 已知  $A$  上的电荷面密度为  $+\sigma$ , 则在导体板  $B$  的两个表面 1 和 2 上的感生电荷面密度为:



(A)  $\sigma_1 = -\sigma, \sigma_2 = +\sigma.$

(B)  $\sigma_1 = -\frac{1}{2}\sigma, \sigma_2 = +\frac{1}{2}\sigma.$

(C)  $\sigma_1 = -\frac{1}{2}\sigma, \sigma_2 = -\frac{1}{2}\sigma.$

(D)  $\sigma_1 = -\sigma, \sigma_2 = 0.$

无限大带  
电平面  $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$

$$\frac{\sigma}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} - \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0} = 0$$

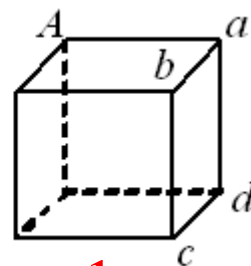
原来不带电  $\sigma_1 + \sigma_2 = 0$

$$\sigma_1 = -\frac{1}{2}\sigma, \sigma_2 = \frac{1}{2}\sigma$$

## 12 (2011级, 电通量, 高斯定理)

如图所示, 一点电荷  $q$  位于正立方体的  $A$  角上, 则

通过侧面  $abcd$  的电场强度通量  $\phi_e =$  \_\_\_\_\_.



以  $A$  为中心, 用 8 个立方体构建一个  $2*2*2$  的大立方体, 其外表面的电通量, 根据高斯定理:

$$\phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$\phi_e = \frac{1}{24} \phi = \frac{q}{24\epsilon_0}$$



## (二) 磁学及电磁感应

**稳恒磁场：** 磁感应强度，磁矩，安培环路定理、磁通量

### ➤ 磁感应强度

□ 电流元在空间产生的磁场（毕-萨定律）

$$\boxed{d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}} \quad d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin \theta}{r^2}$$

➤ 磁感强度叠加原理  $\vec{B} = \int d\vec{B} = \int \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$

• 若P点在直电流延长线上  $B = 0$

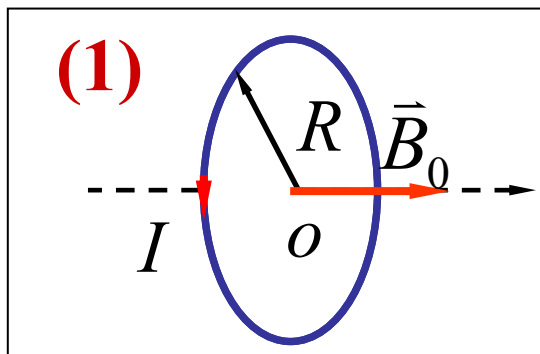
• 无限长载流导线的磁场  $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$

• 半无限长直线电流,在一端的垂线上,  $B_P = \frac{\mu_0 I}{4\pi r}$

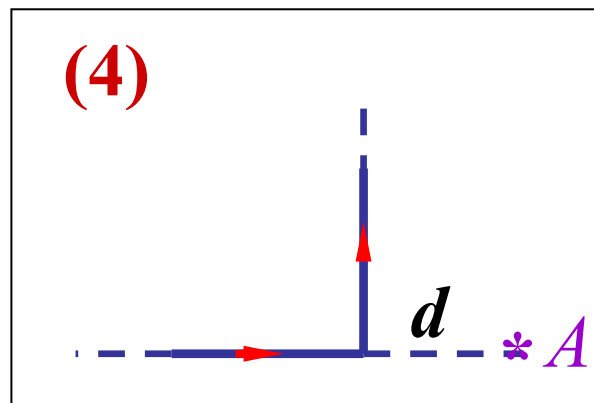
电流与磁  
感强度成  
右手螺旋

一个圆环

$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

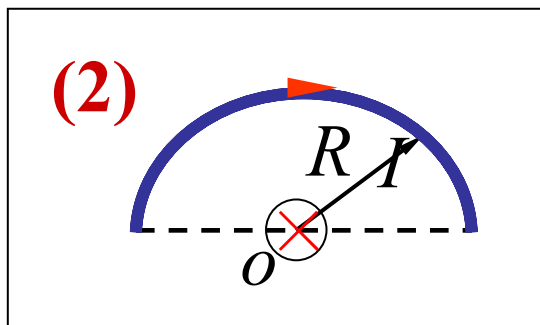


$$B_A = \frac{\mu_0 I}{4\pi d}$$

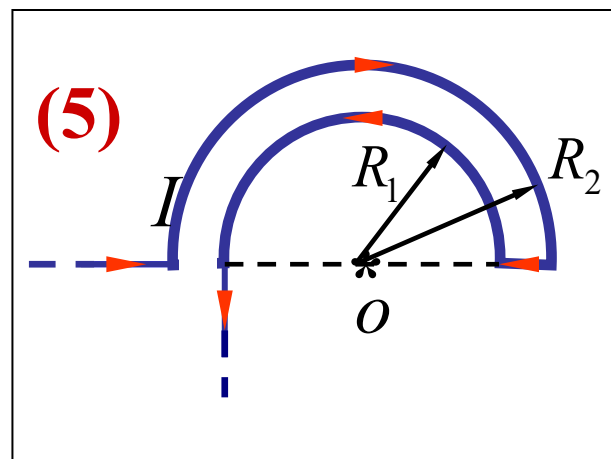


半个圆环

$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{4R}$$

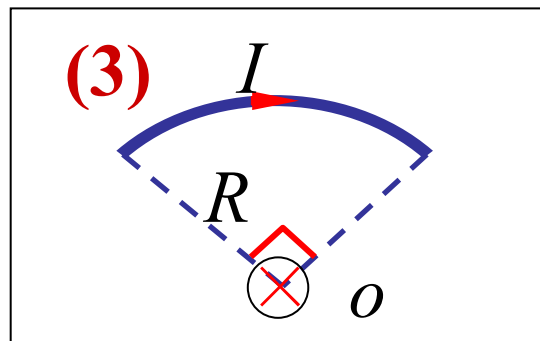


$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{4R_2} - \frac{\mu_0 I}{4R_1} - \frac{\mu_0 I}{4\pi R_1}$$



四分之一圆环

$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{8R}$$



在磁介质中， $\mu_0$ 换成 $\mu = \mu_0 \mu_r$

无限长的螺线管

$$B = \mu_0 n I \quad n: \text{单位长度的匝数}$$

半无限长螺线管的一端

$$B = \mu_0 n I / 2$$

#### 4 (2012级, 磁感应强度)

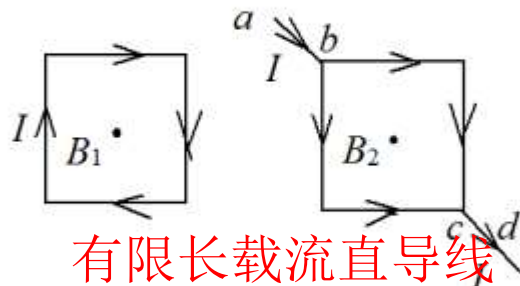
边长为  $l$  的正方形线圈, 分别用图示两种方式通以电流  $I$  (其中  $ab$ 、 $cd$  与正方形共面), 在这两种情况下, 线圈在其中心产生的磁感强度的大小分别为

(A)  $B_1 = 0, B_2 = 0.$

(B)  $B_1 = 0, B_2 = \frac{2\sqrt{2}\mu_0 I}{\pi l}.$

(C)  $B_1 = \frac{2\sqrt{2}\mu_0 I}{\pi l}, B_2 = 0.$

(D)  $B_1 = \frac{2\sqrt{2}\mu_0 I}{\pi l}, B_2 = \frac{2\sqrt{2}\mu_0 I}{\pi l}.$



$B_1 \neq 0, B_2 = 0$

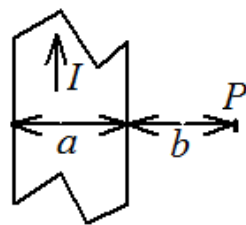
有限长载流直导线

[ C ]  $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi d} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$

$= \frac{\mu_0 I}{2\pi l} (\cos 45^\circ - \cos 135^\circ) = \frac{\sqrt{2}\mu_0 I}{2\pi l}$

#### 6 (2009级, 磁感应强度)

有一无限长通电流的扁平铜片, 宽度为  $a$ , 厚度不计, 电流  $I$  在铜片上均匀分布, 在铜片外与铜片共面, 离铜片右边缘为  $b$  处的  $P$  点(如图)的磁感强度  $\vec{B}$  的大小为

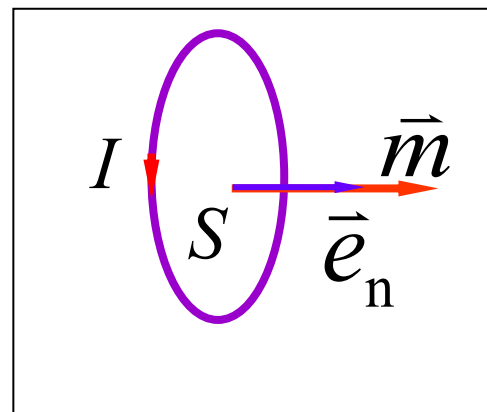


(A)  $\frac{\mu_0 I}{2\pi(a+b)}$  (B)  $\frac{\mu_0 I}{2\pi a} \ln \frac{a+b}{b}$  (C)  $\frac{\mu_0 I}{2\pi b} \ln \frac{a+b}{b}$  (D)  $\frac{\mu_0 I}{\pi(a+2b)}.$  [ B ]

无限长载流直导线  $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$   $B = \int \frac{\mu_0 dI}{2\pi r} = \frac{\mu_0}{2\pi} \int_b^{a+b} \frac{I}{a} \frac{dr}{r} = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \ln \frac{a+b}{b}$

## ➤磁矩

$$\vec{p}_m = NIS\vec{e}_n$$



单位正法线矢量  $\vec{e}_n$  的方向与电流方向满足右手螺旋关系。

## 6 (2011级, 磁感强度, 磁矩)

有一半径为  $R$  的单匝圆线圈, 通以电流  $I$ , 若将该导线弯成匝数  $N=2$  的平面圆线圈, 导线长度不变, 并通以同样的电流, 则线圈中心的磁感强度和线圈的磁矩分别是原来的

- (A) 4 倍和 1/8. (B) 4 倍和 1/2.  
(C) 2 倍和 1/4. (D) 2 倍和 1/2.

[ **B** ]

$$\text{圆心处磁感强度 } B_0 = \frac{\mu_0 I}{2R} \quad \frac{B_2}{B_1} = \frac{I_2 R_1}{I_1 R_2} = \frac{2}{1} \frac{2}{1} = 4$$

$$\text{磁矩 } \vec{p}_m = IS\vec{e}_n \quad \frac{p_{m_2}}{p_{m_1}} = \frac{I_2 S_2}{I_1 S_1} = \frac{2}{1} \frac{1}{4} = \frac{1}{2}$$

➤真空及有磁介质时的安培环路定理  $\vec{B} = \mu \vec{H} = \mu_0 \mu_r \vec{H}$

真空  $\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum I$  有磁介质  $\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum I_{\text{传导}}$

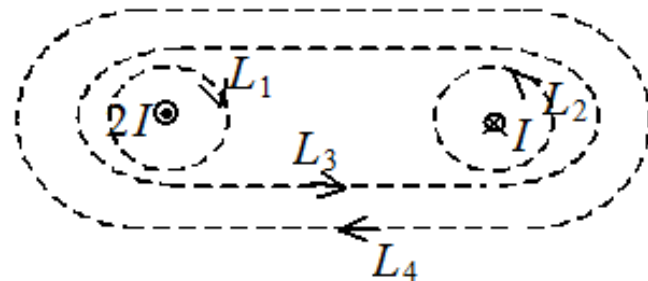
无限大均匀平面电流 (线密度为*i*)的磁场  $B = \frac{\mu_0 i}{2}$

➤磁通量  $\Phi = \int_s \vec{B} \cdot d\vec{S}$  磁场的高斯定理  $\oint_s \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$

注意面积*S*或面积元*dS*的方向：若计算某一面积的磁通量，只要选择与磁场方向夹角为锐角的法向(垂直于该面积)作为*S*的方向；若需计算通电线圈的磁通量（例如：计算磁力做功），应选择与线圈电流满足右手螺旋的法向作为*S*的方向。

## 5 (2012级, 安培环路定理)

如图, 流出纸面的电流为  $2I$ , 流进纸面的电流为  $I$ , 则下述各式中哪一个是正确的?



(A)  $\oint_{L_1} \vec{H} \cdot d\vec{l} = 2I.$

(B)  $\oint_{L_2} \vec{H} \cdot d\vec{l} = I$

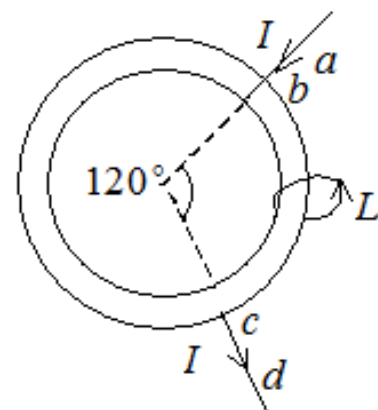
(C)  $\oint_{L_3} \vec{H} \cdot d\vec{l} = -I.$

(D)  $\oint_{L_4} \vec{H} \cdot d\vec{l} = -I. \quad \mathbf{D}$

**电流  $I$  正负的规定** :  $I$  与  $L$  成右螺旋时,  $I$  为**正**; 反之为**负**.

## 3 (2011级, 安培环路定理)

如图, 两根直导线  $ab$  和  $cd$  沿半径方向被接到一个截面处处相等的铁环上, 稳恒电流  $I$  从  $a$  端流入而从  $d$  端流出, 则磁感强度  $\vec{B}$  沿图中闭合路径  $L$  的积分  $\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l}$  等于



(A)  $\mu_0 I.$

(B)  $\frac{1}{3} \mu_0 I.$

(C)  $\mu_0 I / 4.$

(D)  $2\mu_0 I / 3. \quad [ \quad \mathbf{D} \quad ]$

$$R_{bc} = \frac{1}{3} R_{\text{铁环}}$$

$$I_{bc} = \frac{2}{3} I_{\text{总}}$$

$$\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{bc} = \mu_0 \frac{2}{3} I_{\text{总}}$$

# 磁场对电流的作用：洛伦兹力、霍尔效应、磁力，磁力矩及其做功

## ➤洛伦兹力(带电粒子受到的磁场力) 洛伦兹力不做功

$$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}$$

□在均匀  
磁场中

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{v}_0 \perp \vec{B} \\ \vec{v} = \vec{v}_{//} + \vec{v}_{\perp} \end{array} \right. \quad qv_0B = m \frac{v_0^2}{R}$$

回旋半径 回旋周期

$$R = \frac{mv_0}{qB} \quad T = \frac{2\pi m}{qB}$$

螺距

$$d = v_{//}T = v \cos \theta (2\pi m / qB)$$

## ➤磁力(安培力) $\vec{F} = \int_l I d\vec{l} \times \vec{B}$

## ➤磁力矩

均匀磁场中，任意形状  
刚性闭合平面通电线圈

$$\vec{F}_{\text{合}} = 0$$

$$\begin{aligned} \text{磁力矩 } \vec{M} &= NIS\vec{e}_n \times \vec{B} \\ &= \vec{p}_m \times \vec{B} \end{aligned}$$

任意平面载流导线在均匀磁场中所受的力，与其始点和终点相同的载流直导线所受的磁场力相同。

## ➤ 磁力矩做功

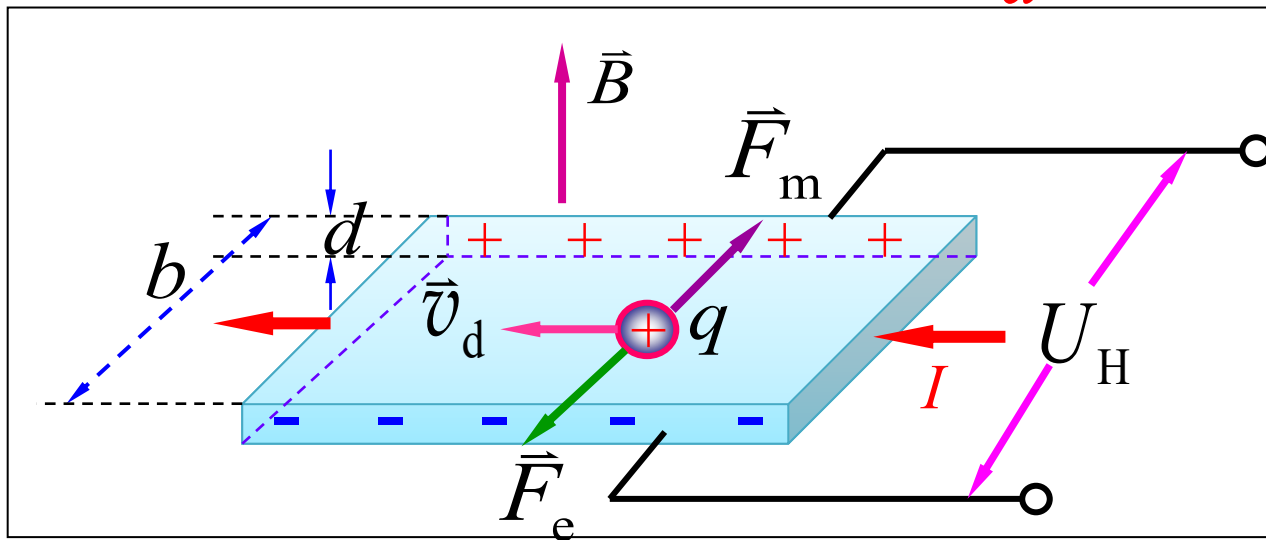
$$A = I \Delta \Phi_m$$

计算磁通量时注意，面积元的方向应与线圈电流成右手螺旋关系

在均匀磁场中，对任一形状的闭合电流回路，不论是形状改变还是位置改变，磁力或磁力矩作的功都等于电流与磁通增量的乘积。

32

➤ 霍尔效应 霍尔电压  $U_H = R_H \frac{IB}{d}$  霍尔系数  $R_H = \frac{1}{nq}$

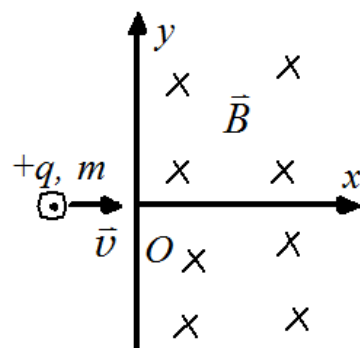


理解霍尔效应原理和现象，会利用霍尔效应判断半导体类型



### 3 (2012级, 洛伦兹力)

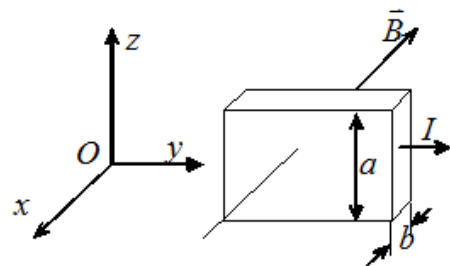
如图, 一个电荷为 $+q$ 、质量为 $m$ 的质点, 以速度 $\vec{v}$ 沿 $x$ 轴射入磁感强度为 $B$ 的均匀磁场中, 磁场方向垂直纸面向里, 其范围从 $x=0$ 延伸到无限远, 如果质点在 $x=0$ 和 $y=0$ 处进入磁场, 则它将以速度 $-\vec{v}$ 从磁场中某一点出来, 这点坐标是 $x=0$ 和



$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}$   
 判断方向 (A)  $y = +\frac{mv}{qB}$ . (B)  $y = +\frac{2mv}{qB}$ . 直径  $d = 2R = \frac{2mv_0}{qB}$   
 (C)  $y = -\frac{2mv}{qB}$ . (D)  $y = -\frac{mv}{qB}$ . [ **B** ]

### 14 (2011级, 霍尔效应, 洛伦兹力)

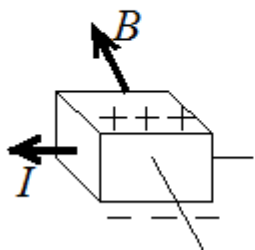
图示为磁场中的通电薄金属板, 当磁感强度 $\vec{B}$ 沿 $x$ 轴负向, 电流 $I$ 沿 $y$ 轴正向, 则金属板中对应于霍尔电势差的电场强度 $\vec{E}_H$ 的方向沿 $z$ 轴 正方向 (填正或负).



$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}$  电子受到向上的洛伦兹力, 在上侧面积累, 电场向上

### 13 (2009级, 霍尔效应)

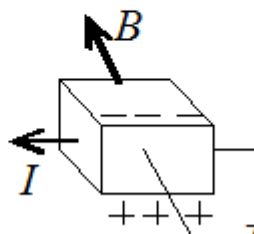
有半导体通以电流  $I$ , 放在均匀磁场  $B$  中, 其上下表面积累电荷如图所示. 试判断它们各是什么类型的半导体?



是 **N** 型,

$$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}$$

判断载流子受力方向



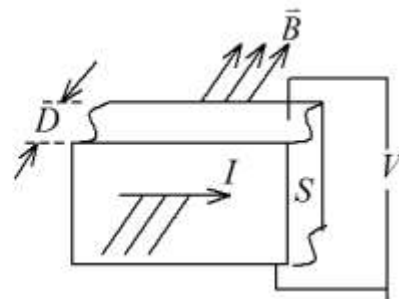
是 **P** 型

**N**型半导体: 电子 (负电荷)

**P**型半导体: 空穴 (正电荷)

### 4 (2013级, 霍尔效应)

一个通有电流  $I$  的导体, 厚度为  $D$ , 横截面积为  $S$ , 放置在磁感强度为  $B$  的匀强磁场中, 磁场方向垂直于导体的侧表面, 如图所示. 现测得导体上下两面电势差为  $V$ , 则此导体的霍尔系数等于



霍尔电压

$$U_H = R_H \frac{IB}{d} \quad R_H = \frac{U_H}{IB} d = \frac{VD}{IB}$$

(A)  $\frac{VDS}{IB}$

(B)  $\frac{IBV}{DS}$

(C)  $\frac{VS}{IBD}$

(D)  $\frac{VD}{IB}$

### 19. (2013级, 磁力)

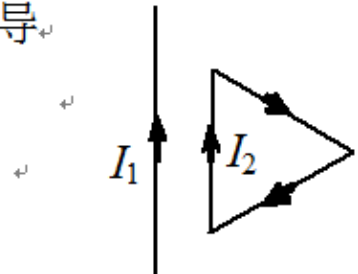
一根导线长为 0.2m, 载有电流 3A, 放在磁感应强度为 10T 的均匀磁场中, 并与磁场成  $30^\circ$  角, 则导线受到的磁力为\_\_\_\_\_N.

$$\vec{F} = \int_l I d\vec{l} \times \vec{B} = BIL \sin \theta = 10 \times 3 \times 0.2 \times \sin 30^\circ = 3N$$

### 5. (2011级, 磁力&磁力矩)

如图, 无限长直载流导线与正三角形载流线圈在同一平面内, 若长直导线固定不动, 则载流三角形线圈将

- (A) 向着长直导线平移.      (B) 离开长直导线平移.  
(C) 转动.      (D) 不动.      [ **A** ]



$$\vec{M} = NIS\vec{e}_n \times \vec{B} = \vec{p}_m \times \vec{B} = p_m B \sin 0 = 0 \quad \text{不转}$$

$$\vec{F} = \int_l I d\vec{l} \times \vec{B} = I \int_l d\vec{l} \times \vec{B}$$

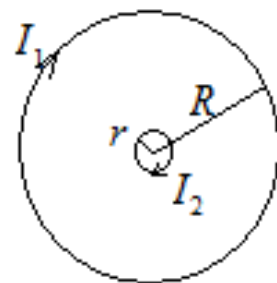
## 16 (2012级, 磁力矩)

将一个通过电流为  $I$  的闭合回路置于均匀磁场中, 回路所围面积的法线方向与磁场方向的夹角为  $\alpha$ . 若均匀磁场通过此回路的磁通量为  $\Phi$ , 则回路所受磁力矩的大小为\_\_\_\_\_.

$$\begin{aligned} \vec{M} &= IS\vec{e}_n \times \vec{B} & M &= ISB \sin \alpha \\ \Phi &= \int \vec{B} \cdot d\vec{S} = BS \cos \alpha & \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} & M = I\Phi \tan \alpha \end{aligned}$$

## 15 (2012级, 磁力矩做功)

两个在同一平面内的同心圆线圈, 大圆半径为  $R$ , 通有电流  $I_1$ , 小圆半径为  $r$ , 通有电流  $I_2$ , 电流方向如图, 且  $r \ll R$ . 那么小线圈从图示位置转到两线圈平面相互垂直位置的过程中, 磁力矩所作的功为\_\_\_\_\_.



小圆很小, 可看成匀强磁场

$$B_0 = \frac{\mu_0 I_1}{2R} \quad \Rightarrow \quad A = I_2 \Delta\Phi = I_2 (0 - BS) = -I_2 \frac{\mu_0 I_1}{2R} \pi r^2$$

# 电磁感应：电磁感应、感应电动势的计算、自感、磁能

## ➤ 电磁感应&感应电动势的计算 参考计算题部分

➤ **自感**：回路中的电流发生变化时，引起自身回路的磁通量发生变化，从而在回路自身产生感生电动势的现象。

自感电动势： $\varepsilon_L = -L \frac{dI}{dt}$       自感系数： $L = \psi / I = N\Phi / I$

步骤：先设电流  $I \rightarrow$  根据安培环路定理求  $H \rightarrow B \rightarrow \psi \rightarrow L$

长直密绕螺线管  $L = \mu n^2 Sl = \mu n^2 V$      $V$ ：螺线管的体积

## ➤ 磁能

自感线圈磁能  $W_m = \frac{1}{2} LI^2$       磁场能量密度  $w_m = \frac{B^2}{2\mu} = \frac{1}{2} \mu H^2 = \frac{1}{2} BH$

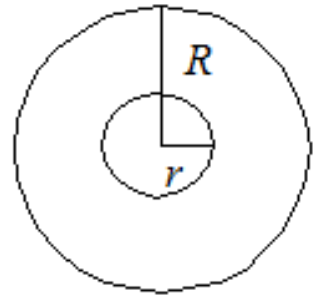
## 17 (2012级, 磁能, 自感)

真空中两只长直螺线管 1 和 2, 长度相等, 单层密绕匝数相同, 直径之比  $d_1/d_2 = 1/4$ . 当它们通以相同电流时, 两螺线管贮存的磁能之比为  $W_1/W_2 =$ \_\_\_\_\_.

$$\left. \begin{aligned} W_m &= \frac{1}{2} LI^2 \\ L &= \mu n^2 Sl = \mu n^2 V \end{aligned} \right\} W_1:W_2 = L_1:L_2 = S_1:S_2 = 1:16$$

## 17 (2010级, 感应电动势)

半径为  $r$  的小绝缘圆环, 置于半径为  $R$  的大导线圆环中心, 二者在同一平面内, 且  $r \ll R$ . 在大导线环中通有电流  $I = t$  安培, 其中  $t$  为时间, 则任一时刻小线环中感应电动势的大小为\_\_\_\_\_.



小圆很小, 可看成匀强磁场

$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{2R} = \frac{\mu_0 t}{2R} \rightarrow \varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{dBS}{dt} = -\frac{d}{dt} \left( \frac{\mu_0 t}{2R} \pi r^2 \right) = -\frac{\mu_0}{2R} \pi r^2$$