电磁学与电动力学

（上册）

习　题

第1章　真空中的静电场

1.1　把总电量为 Q 的同一种电荷分成两部分，一部分均匀分布在地球上，另一部分均匀分布在月球上，使它们之间的库仑力正好抵消万有引力. 已知 $1/(4\pi\varepsilon_0)=9.00\times10^9\,\mathrm{N\cdot m^2\cdot C^{-2}}$，引力常数 $G=6.67\times10^{-11}\,\mathrm{N\cdot m^2\cdot kg^{-2}}$，地球质量为 $5.98\times10^{24}\,\mathrm{kg}$，月球质量为 $7.34\times10^{22}\,\mathrm{kg}$.

（1）求 Q 的最小值；

（2）如果电荷分配与质量成正比，求 Q.

1.2　真空中有一点电荷 Q 固定不动，另一质量为 m、电荷为 $-q$ 的质点，在它们之间的库仑力的作用下，绕 Q 做匀速圆周运动，半径为 r，周期为 T. 证明

$$\frac{r^3}{T^2}=\frac{qQ}{16\pi^3\varepsilon_0 m}$$

1.3　有三个点电荷，电量都是 $q=1.6\times10^{-19}\,\mathrm{C}$，分别固定在边长为 $a=3.0\times10^{-10}\,\mathrm{m}$ 的正三角形三个顶点，在这三角形中心 O，有一个质量为 $m=2.3\times10^{-26}\,\mathrm{kg}$，电量为 $Q=-4.8\times10^{-19}\,\mathrm{C}$ 的粒子.

（1）证明：这个粒子处在平衡位置（即作用在它上面的库仑力为零）；

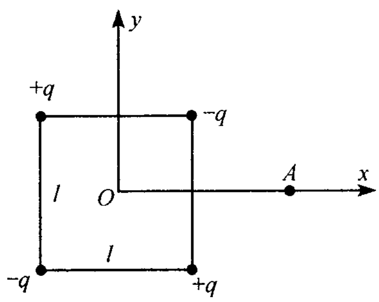
（2）求这粒子以 O 为中心沿一轴线（该轴线过 O 并与三角形的平面互相垂直）做微小振动的频率 ν.

1.4　电量为 Q 的两个点电荷，相距 $2l$，在其连线的中垂面上放一点电荷 q_0，求证该点电荷在中垂面上受力的极大值的轨迹是一个圆，并给出该圆的半径.

1.5　习题 1.5 图中的 q 和 l 都已知，这样的四个点电荷称作平面电四极子. 图中 A 点与电四极子在同一平面内，它到电四极子中心 O 的距离为 x，AO 与正方形的两边平行.

（1）求 A 点的电场强度 $\boldsymbol{E}$；

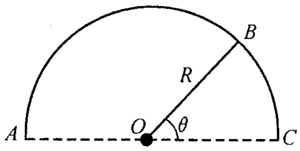
（2）当 $x\gg l$ 时，$\boldsymbol{E}=?$.



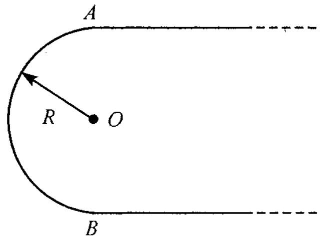
习题 1.5 图

1.6　如习题 1.6 图所示，电荷分布在半径为 R 的半圆环上，线电荷密度为 $\lambda_0\sin\theta$，λ_0 为常数，θ 为半径 OB 和直径 AC 间的夹角. 证明 AC 上任一点的电场强度都与 AC 垂直.

1.7　一无限长均匀带电导线，线电荷密度为 λ，一部分弯成半圆形，其余部分为两条无穷长平行直导线，两直线都与半圆的直径 AB 垂直，如习题 1.7 图所示，求圆心 O 处的电场强度.

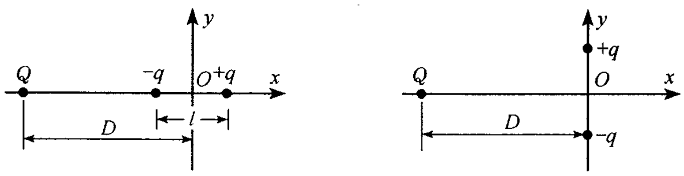


习题 1.6 图



习题 1.7 图

1.8 把电偶极矩为 $\boldsymbol{p}=q\boldsymbol{l}$ 的电偶极子放在点电荷 Q 的电场内，$\boldsymbol{p}$ 的中心 O 到 Q 的距离为 D，如习题 1.8 图所示. 若 $\boldsymbol{p}$ 分别(1)平行于 OQ；(2)垂直于 OQ，求偶极子所受的力和力矩.



习题 1.8 图

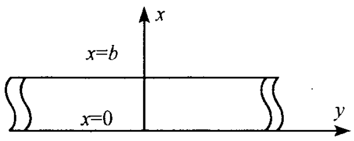
1.9 有两个同心的均匀带电球面，半径分别为 R_1 和 R_2，外球面的电荷面密度为 $+\sigma$，球外各处的电场强度都是零，试求：

(1) 内球面上的电荷面密度；

(2) 两球面间离球心为 r 处的电场强度 $\boldsymbol{E}$；

(3) 小球面内的电场强度 $\boldsymbol{E}$.

1.10 如习题 1.10 图所示，一厚度为 b 的无限大均匀带电板置于真空中，电荷体密度为 $\rho=kx(0\leqslant x\leqslant b)$，其中 k 是一正的常数，试求空间各点的电场强度.



习题 1.10 图

1.11 根据量子力学，氢原子在正常状态下核外电荷的分布如下：离核心 r 处，电荷的体密度 $\rho(r)=-qe^{-2r/a}/(\pi a^3)$，式中 $q=1.60\times10^{-19}$ C 是核外电荷总量的绝对值，$a=5.29\times10^{-11}$ m 是玻尔半径. 试求：

(1) 核外电荷的总电量；

(2) 核外电荷在 r 处的电场强度 $\boldsymbol{E}$.

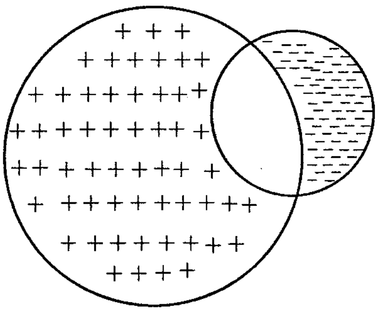
1.12 如习题 1.12 图所示，空间有两个球，球心间距离小于半径之和，因此有一部分重叠(见图). 今使一球充满密度为 ρ 的均匀正电荷，另一球充满密度为 $-\rho$ 的均匀负电荷，以至于重叠区域无电荷. 求这重叠区域内的电场强度 $\boldsymbol{E}$，说明 $\boldsymbol{E}$ 是匀强电场.

1.13 在半导体 p-n 结附近总是堆积着正、负电荷，在 n 区内有正电荷，p 区内有负电荷，两区电荷的代数和为零. 我们把 p-n 结看成一对带正、负电荷的无限大平板，它们相互接触(见附图). 取 x 轴的原点在 p、n 区的交界面上，n 区的范围是 $-x_n\leqslant x\leqslant0$，p 区的范围是 $0\leqslant x\leqslant x_p$. 设两区内电荷分布均匀，n 区为 $\rho_e(x)=N_{\mathrm{D}}e$，p 区为 $\rho_e(x)=N_{\mathrm{A}}e$，称为突

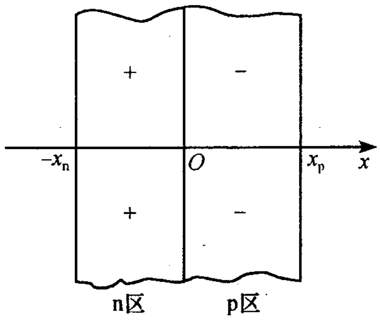
变结模型. 设 N_D、N_A 是常数，且 $N_D x_p = N_D x_n$，证明电场的分布为

(1) n 区：$E(x) = N_D e(x_n + x)/\varepsilon_0$；

(2) p 区：$E(x) = N_A e(x_p - x)/\varepsilon_0$.



习题 1.12 图



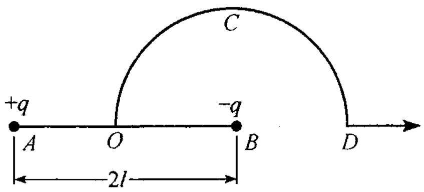
习题 1.13 图

1.14 设气体放电形成的等离子体圆柱内的体电荷分布可表为 $\rho_e(r) = \rho_0 \left[1 + (r/a)^2\right]^{-2}$，$r$ 是到其对称轴的距离，ρ_0 是轴线上的电荷密度，a 是常数，求电场分布.

1.15 如习题 1.15 图所示，$AB = 2l$，弧 OCD 是以 B 为中心，l 为半径的半圆. A 点有正电荷 $+q$，B 点有负电荷 $-q$.

(1) 把单位正电荷从 O 点沿弧 OCD 移到 D 点，电场力对它做了多少功?

(2) 把单位负电荷从 D 点沿 AB 延长线移到无穷远处，电场力对它做了多少功?

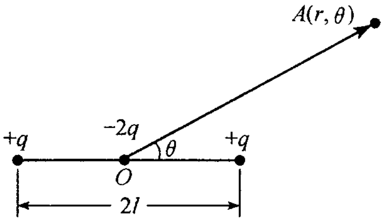


习题 1.15 图

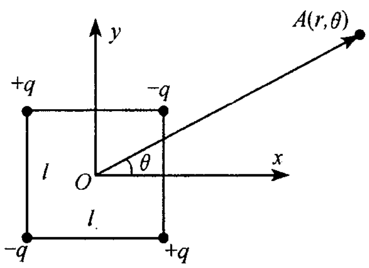
1.16 证明：在静电场中凡是电场线都是平行直线的地方，电场强度的大小必定处处相等. 换句话说，凡是电场强度的方向处处相同的地方，电场强度的大小必定处处相等.（提示：利用高斯定理和环路定理，分别证明沿同一电场线和不同电场线上任意两点的场强相等.）

1.17 线性电四极子如习题 1.17 图所示，求它在 $r \gg l$ 处的点 $A(r,\theta)$ 处所产生的电势 U 和电场强度 $\boldsymbol{E}$.

*1.18 面电四极子如习题 1.18 图所示，点 $A(r,\theta)$ 与四极子共面，极轴 ($\theta = 0$) 通过正方形中心并与两边平行. 设 $r \gg l$，求面电四极子在点 A 处产生的电势和电场强度.



习题 1.17 图



习题 1.18 图

1.19 两均匀带电的无限长直轴圆筒，内筒半径为 a，沿轴线单位长度的电量为 λ_e，外筒半径为 b，沿轴线单位长度的电量为 $-\lambda_e$. 试求：

(1) 离轴线为 r 处的电势 U；

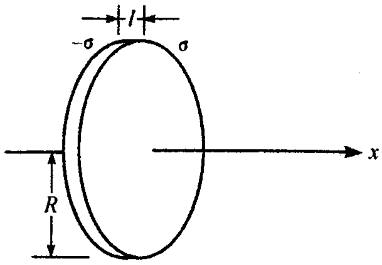
(2) 两筒的电势差.

1.20 设氢原子处于基态时的核外电荷呈球对称分布，其电荷密度为：$\rho(r)=-qe^{-2r/a}/(\pi a^3)$，$r$ 为离核的距离，q 为电子电荷的大小，a 是玻尔半径. 求在 r 处

(1) 核外电荷产生的电势；

(2) 所有电荷产生的电势.

*1.21 两个均匀带电的圆面共轴线，半径都为 R，相距为 l，电荷面密度分别为 $+\sigma$ 和 $-\sigma$，它们间轴线的中点为原点 O，沿轴线取为 x 轴，如习题 1.21 图所示. 已知 $l\ll R$，试求轴线上 x 处的电势和电场强度.



习题 1.21 图

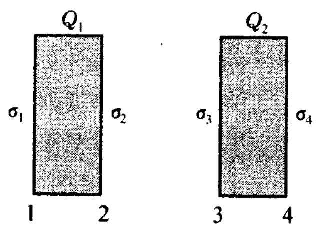
第 2 章　静电场中的导体和电介质

2.1 如习题 2.1 图所示的两块大小相同的平行金属板，所带的电量 Q_1 和 Q_2 不相等，若 $Q_1>Q_2$，略去边缘效应.

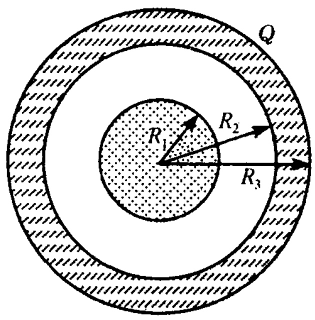
(1) 证明：相向的两面上电荷的面密度的大小相等而符号相反，相背的两面上电荷的面密度大小相等而符号相同.

(2) 计算金属板各面的电量.

2.2 如习题 2.2 图所示，半径为 R_1 的导体球外有同心的导体球壳，壳的内外半径分别为 R_2 和 R_3，已知球壳带的电量为 Q，内球的电势为零. 求内球的电荷量和球壳的电势.



习题 2.1 图



习题 2.2 图

2.3 一肥皂泡的半径为 r，肥皂水的表面张力系数为 α，外部空气的压强为 p. 使这肥皂泡带上电荷 Q 后，半径增大为 R，证明

$$(R^3-r^3)p+4\alpha(R^2-r^2)=\frac{Q^2}{32\pi^2\varepsilon_0 R}$$

2.4　有若干个互相绝缘的不带电的导体 $A,B,C,\cdots$，它们的电势都是零，如果把其中任一个 A 带上正电，证明：

(1) 所有这些导体的电势都高于零；

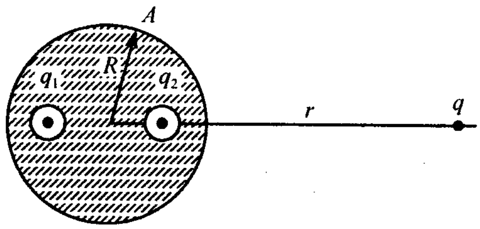
(2) 其他导体的电势都低于 A 的电势.

2.5　如习题 2.5 图所示，在金属球 A 内有两个球形空腔，此金属球整体上不带电，在两空腔中心各放置一点电荷 q_1 和 q_2，在金属球 A 之外远处放置一点电荷 q（q 至 A 中心距离 $r\gg$ 球 A 的半径 R）. 计算作用在 A、q_1、q_2、q 四物体上的静电力.

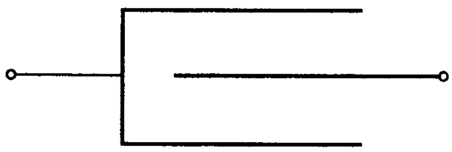
2.6　一电容器由三片面积都是 6.0cm² 的锡箔构成，相邻两箔间的距离都是 0.10mm，外边两箔片联在一起构成为一级，中间箔片作为另一极，如习题 2.6 图所示.

(1) 求电容 C；

(2) 若在这电容器上加 220V 的电压，问三锡箔上电荷的面密度各是多少？



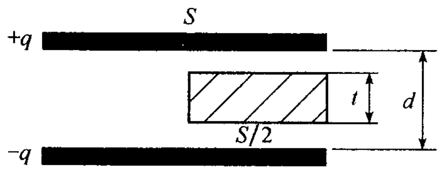
习题 2.5 图



习题 2.6 图

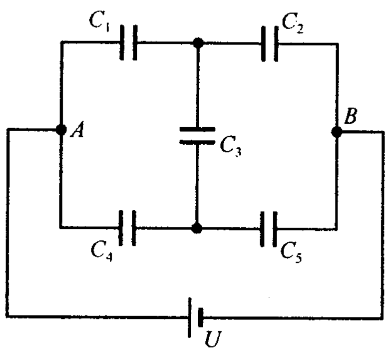
2.7　如习题 2.7 图所示，一平行板电容器中间插入一厚度为 t 的导体板，导体板的面积为电容器极板面积的一半. 求插入后的电容值.

2.8　有 5 个电容，如习题 2.8 图所示方式连接，$C_1=C_5=2\mu F$，$C_2=C_3=C_4=1\mu F$，并接到电压为 $U=600V$ 的电源上，求每个电容器上的电压值.

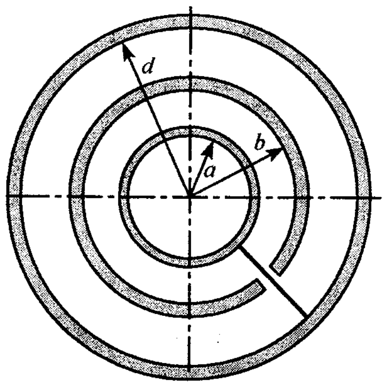


习题 2.7 图

2.9　如习题 2.9 图所示，三个共轴的金属圆筒，长度都是 l，半径分别为 a、b 和 d，里外两筒用导线联在一起作为一极，中间圆筒作为另一极. 略去边缘效应. 求电容 C.



习题 2.8 图



习题 2.9 图

2.10 在 100℃和 1.0atm 时,饱和水蒸气的密度为 $598\mathrm{g\cdot m^{-3}}$,水的相对分子质量为 18,水分子的电偶极矩为 $6.2\times10^{-30}\mathrm{C\cdot m}$. 求这时水蒸气电极化强度的最大值.

2.11 电介质强度是指电介质能经受的最大电场强度而不被击穿,迄今所知道的电介质强度的最大值约为 $1\times10^{9}\mathrm{V\cdot m^{-1}}$. 试问:

(1) 当金属导体处在这种介质中时,它的面电荷密度 σ 最大不能超过多少?

(2) 金属导体中原子的直径约为 $2\times10^{-10}\mathrm{m}$,金属导体表面一层原子中,缺少或多出一个电子的原子数最多不能超过百分之几?

2.12 如习题 2.12 图所示,一平行板电容器两极板的面积都是 $2.0\mathrm{m^2}$,相距为 5.0mm. 两板加上 10^4V 电压后,撤去电源,再在其间填满两层均匀介质,一层厚 2.0mm,相对介电常量为 $\varepsilon_{r1}=\varepsilon_1/\varepsilon_0=5.0$;另一层厚 3.0mm,$\varepsilon_{r2}=\varepsilon_2/\varepsilon_0=2.0$. 略去边缘效应.

(1) 求各介质中电极化强度 $\boldsymbol{P}$ 的大小;

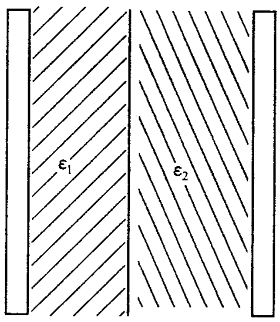
(2) 当电容器紧靠介质 2 的极板接地(即电势为零)时,另一极板(正极板)的电势是多少? 两介质接触面上的电势是多少?

2.13 平行板电容器两极板相距 3.0cm,其间放有一层相对介电常量为 $\varepsilon_r=2$ 的介质,位置与厚度如习题 2.13 图所示. 已知极板上面电荷密度为 σ,略去边缘效应,求:

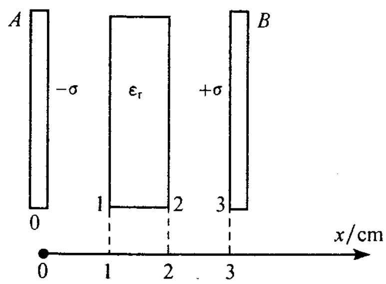
(1) 极板间各处 $\boldsymbol{P}$、$\boldsymbol{E}$ 和 $\boldsymbol{D}$ 的值;

(2) 极板间各处的电势(设 A 板的电势 $V_A=0$);

(3) 画出 E-x,D-x,V-x 曲线.



习题 2.12 图



习题 2.13 图

2.14 圆柱电容器是由半径为 R_1 的直导线和与它同轴的导体圆筒构成,圆筒内半径为 R_2,长为 l,其间充满了介电常量为 ε 的介质. 设沿轴线单位长度上,导线带电量为 λ_0,圆筒带电量为 $-\lambda_0$. 略去边缘效应,求:

(1) 介质中的电场强度 $\boldsymbol{E}$、电位移矢量 $\boldsymbol{D}$、极化强度 $\boldsymbol{P}$、极化电荷体密度 ρ' 和介质表面的极化电荷面密度 σ';

(2) 两极板的电势差 U;

(3) 电容 C.

2.15 球形电容器由半径为 R_1 的导体和与它同心的导体球壳构成,壳的内半径为 R_2,其间有两层均匀介质,分界面的半径为 r,相对介电常量分别为 ε_1 和 ε_2.

(1) 求电容 C;

(2) 当内球带电荷$-Q$时，求介质表面上极化电荷的面密度.

2.16　半径为a、$b(a<b)$的同心导体球壳之间充满非均匀介质，介电常量为$\varepsilon=\varepsilon_0/(1+kr)$，其中$k$为常数，$r$为径向距离. 内球壳表面有电荷$Q$，外球壳接地. 计算

(1) 系统的电容；

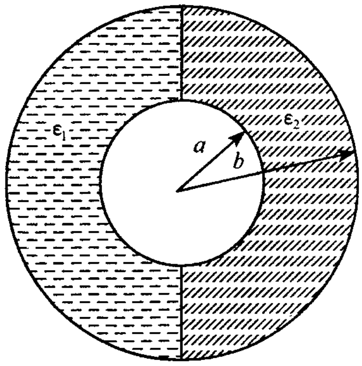
(2) 介质内的极化电荷密度；

(3) 球面上极化电荷面密度.

2.17　如习题2.17图所示，在内外半径为a、b的球形电容器的二个极板之间的区域中，一半充满介电常量为ε_1、另一半充满介电常量为ε_2的线性均匀介质. 内外极板自由电荷带电量分别为$+Q$和$-Q$，求

(1)两种介质中的电场强度；

(2)系统的电容.



习题 2.17 图

2.18　有一半径为R的金属球，外面包有一层相对介电常量为$\varepsilon_r=2$的均匀电介质，壳内外半径分别为R和$2R$，介质内均匀分布着电量为q_0的自由电荷，金属球接地. 求介质球壳外表面的电势.

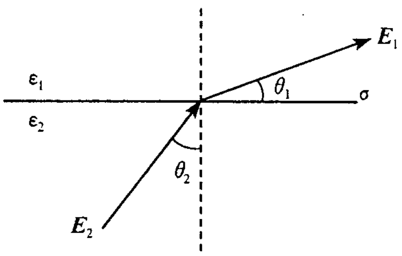
2.19　两介电常量分别为ε_1和ε_2的介质的接触面上有一层自由电荷，面密度为σ. 接触面两侧的电场强度分别为$\boldsymbol{E}_1$和$\boldsymbol{E}_2$，与接触面法线的夹角分别是θ_1和θ_2，如习题2.20图所示. 证明

$$\varepsilon_2\cot\theta_2=\varepsilon_1\left(1-\frac{\sigma}{\varepsilon_1 E_1\cos\theta_1}\right)\cot\theta_1$$

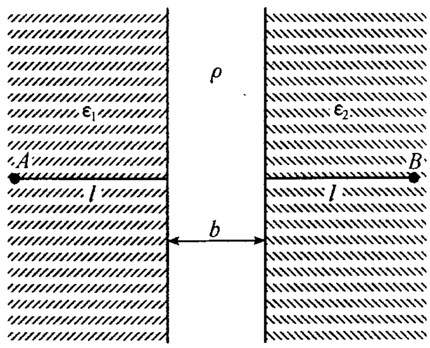
2.20　如习题2.20图所示，厚度为b的无限大平板内均匀分布有电荷密度为$\rho(>0)$的自由电荷，在板外侧分别有介电常量为ε_1和ε_2的电介质.

(1) 求板内外的电场分布；

(2) 板外的A点和B点分别相距左右两板壁为l，求电势差U_{AB}.



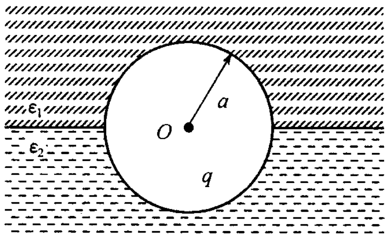
习题 2.19 图



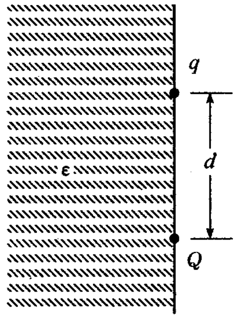
习题 2.20 图

2.21　如习题2.21图所示，一导体球外充满两半无限电介质，介电常量分别为ε_1和ε_2，介质界面为通过球心的无限平面. 设导体球半径为a，总电荷为q，求空间电场分布和导体球表面的自由面电荷分布.

2.22　如习题 2.22 图所示，一介电常量为 ε 的半无限电介质界面上有一点电荷 Q，求与之相距 d、位于同一界面上的另一点电荷 q 所受到的静电力.



习题 2.21 图



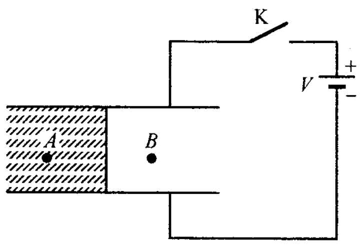
习题 2.22 图

2.23　把平行板电容器的两极板接到电源上(接通 K)，然后在电容器内左半区中放入介电常量为 ε 的电介质(见习题 2.23 图).

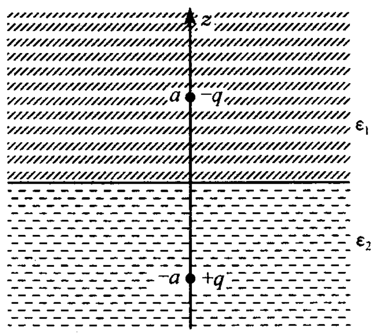
(1) 问 A、B 两点的场强哪个大？各为没有介质时的多少倍？

(2) 如果在充电后，先把电源断开(即断开 K)，再在左半区中放入介质，结果如何？

*2.24　如习题 2.24 图所示，整个空间以 $z=0$ 为界面，上下分别充满介电常量为 ε_1 和 ε_2 的介质. 在 $z=a$ 处和 $z=-a$ 处分别放置电量为 $-q$ 和 $+q$ 的点电荷，求 $-q$ 电荷受的作用力.



习题 2.23 图

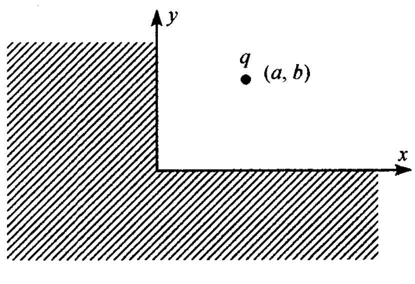


习题 2.24 图

2.25　一电量为 $+q$ 的点电荷位于 $(x,y)=(a,b)$，两半无限接地导体平面相交于 z 轴，如习题 2.25 图所示.

(1) 求 $+q$ 所在区域 $(x,y\geqslant 0,\quad -\infty<z<\infty)$ 中任一点的电场；

(2) 给出这区域的电势 $U(x,y,z)$ 和电场强度分量 $E_y(x,y,z)$. 利用 E_y 的表达式，确定哪一个导体平板表面 $E_y=0$，并计算 $E_y\neq 0$



习题 2.25 图

的导体平板的面电荷密度 σ_e.

*2.26　如习题 2.26 图所示，半径为 R 的导体球 A 上的总电荷为零. A 内有两个空腔，空腔中心分别放有点电荷 q_b 和 q_c，在距 A 球球心 d 处放置点电荷 q_d. 求

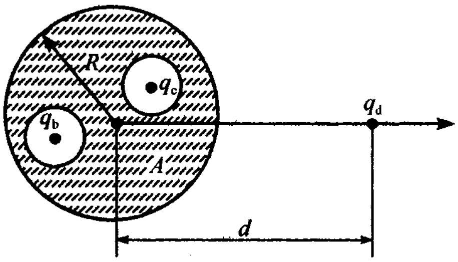
(1) q_b 和 q_c 受到的作用力；

(2) q_d 受到的作用力.

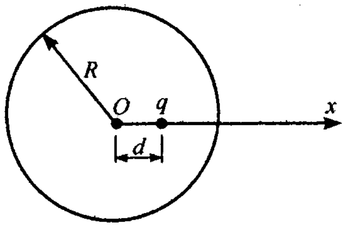
*2.27　如习题 2.27 图所示，一半径为 R 的导体球壳，球内部距离球心为 $d(d<R)$处有一点电荷 q，求

(1) 当球壳接地时球内的电场强度和电势；

(2) 当球壳不接地且带电量为 Q 时球内的电场强度和电势.



习题 2.26 图



习题 2.27 图

*2.28　一半径为 a 的无限长的直导线的线电荷密度为 λ_e，与一电势为零的无限大金属板相距为 b，$b\gg a$，试对单位长度导线，计算此系统的电容(提示：用电像法和条件 $b\gg a$).

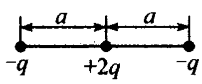
第3章　静　电　能

3.1　在铀 238(^{238}U)的原子核中，两质子间的距离约为 6.0×10^{-15} m. 已知质子电荷为 1.6×10^{-19} C，问它们之间的电势能有多少？相互作用的库仑力有多大？

3.2　三个点电荷，其所带电量及位置如习题 3.2 图所示，计算：

(1) 各对电荷之间的相互作用能；

(2) 电荷系统的相互作用能.



习题 3.2 图

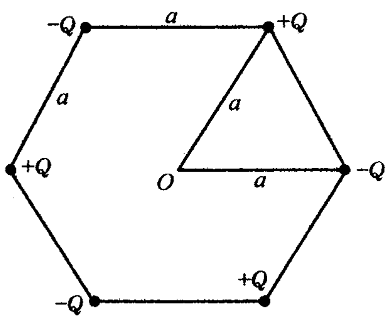
3.3　在边长为 a 的正六边形各顶点有固定的点电荷，它们的电量交替为 Q 和 $-Q$，参见习题 3.3 图.

(1) 求系统的电势能相互作用能；

(2) 若外力将其中相邻的两个点电荷缓慢地移到无限远处，在移动过程中维持这两个点电荷的距离以及其余电荷的位置不变，问外力需做多少功？

3.4　假定电子是球形的，并且它的静止能量 mc^2 (m 是它的静质量，c 是真空中光速)就是来自它的静电能量，这样就可以由它的电荷分布算出它的半径来.

(1) 假定电子电荷 e 均匀分布在球面上，求电子的半径；

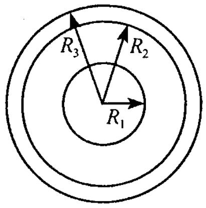


习题 3.3 图

(2) 假定电子电荷 e 均匀分布在球体内，求电子的半径；

(3) 由于假定电荷分布情况不同，算出的电子半径便稍有不同. 目前把 $r_0=e^2/(4\pi\varepsilon_0 mc^2)$ 称作电子的经典半径. 已知电子电荷大小 $e=1.6\times10^{-19}$C，电子的静质量 $m=9.11\times10^{-31}$kg，光速 $c=3.0\times10^8\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$，求 r_0 的值.

3.5 如习题 3.5 图所示，半径为 $R_1=2.0$cm 的导体球外套一个与它同心的导体球壳，壳的内外半径分别为 $R_2=4.0$cm 和 $R_3=5.0$cm，球与壳间充满空气，壳外也是空气，球和壳原来都不带电. 现在使球带电 3.0×10^{-8}C，问这个系统储藏了多少电能？如果用导线把球与壳联在一起，结果如何？



习题 3.5 图

3.6 铀 235 原子核可当作半径 $r=9.2\times10^{-15}$m 的球，它有 92 个质子，每个质子的电荷为 $e=1.6\times10^{-19}$C. 假设这些电荷均匀分布在上述球体内.

(1) 求铀 235 原子核的静电势能；

(2) 当一个铀 235 原子核分裂成两个相同的碎片，每个都可当作均匀带电球时，求放出的能量；

(3) 1kg 铀 235 裂变时，能放出多少量？

3.7 半径为 a 的导体圆柱外套有一个半径为 b 的同轴导体圆筒，长度都是 l，其间充满介电常量为 ε 的均匀介质，圆柱带电为 Q，圆筒带电为 $-Q$，略去边缘效应.

(1) 在半径为 $r(a<r<b)$ 处，电场能量密度是多少？

(2) 整个介质内的电场总能量 W 是多少？

(3) 试证明：$W=Q^2/(2C)$，C 是圆柱和圆筒间的电容.

3.8 圆柱形电容器由一根长直导线和套在它外面的共轴导体圆筒构成. 设导线的半径为 a，圆筒的内半径为 b. 证明：电容器所存储的能量有一半是在半径为 $r=(ab)^{1/2}$ 的圆柱体内.

3.9 由两共轴金属圆柱构成一空气电容器，设空气击穿场强为 E_b，内外导体圆柱半径为 R_1、R_2，导体单位长度带电荷为 λ_e.

(1) 在空气介质不致击穿的前提下，应如何选择 R_1 以使两导体间的电势差最大？

(2) 在空气介质不致击穿的前提下，应如何选择 R_1 以使电容器的储能最大？

(3) 当空气击穿的场强 $E_b=3\times10^6\,\mathrm{V\cdot m^{-1}}$、$R_2=1$cm 时，分别计算在(1)和(2)两种选择方案下电容器的极大电势差.

3.10 一球形电容器，内球壳的外半径为 R_1，带电量为 Q；外球壳的内半径为 R_2，带电量为 $-Q$. 求(1)二球壳各自的自能，(2)二球壳之间的互能，(3)系统的总能量.

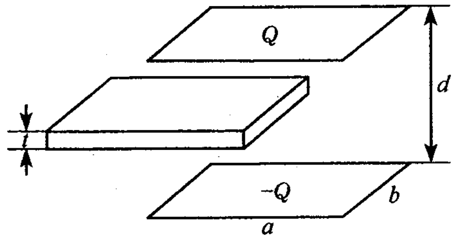
*3.11 长为 L 的圆柱形电容器由半径为 a 的内芯导线与半径为 b 的外部导体薄壳所组成，其间填满了介电常量为 ε 的电介质. 把电容器与电势为 V 的电池相连接，并将电介质从电容器中拉出一部分. 当不计边缘效应时，要维持电介质在拉出位置不动，需施多大的力？此力沿何方向？

*3.12 如习题 3.12 图所示，一平行板电容器的两极板都是长为 a 宽为 b、面积为 $S=ab$ 的长方形金属片，两片相距为 d，分别带有电荷 Q 和 $-Q$. 一块厚为 t、相对介电常量为 ε_r 的

均匀介质片(面积和宽度都与极板相同)平行地放在两极板间,并沿着长度方向部分抽出. 略去边缘效应,证明:当介质片在极板间的长度为 x 时,把它拉向原来位置的静电力为

$$F=\frac{Q^2b(d-t')t'd}{2\varepsilon_0[S(d-t')+xbt']^2}$$

式中,$t'=(\varepsilon_r-1)t/\varepsilon_r$.



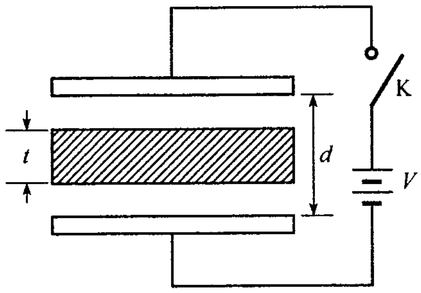
习题 3.12 图

*3.13 如习题 3.13 图所示,一平行板电容器极板的面积为 S,极板间距离为 d,在它中间有一块厚为 t、相对介电常量为 ε_r 的介质平板,把两极板充电到电势差为 V. 略去边缘效应.

(1) 断开电源,把这介质板抽出,问抽出时要做多少功?

(2) 如果在不断开电源的情况下抽出,则要做多少功?

(3) 如果将中间的介质板换上同样厚的导体板,结果又如何?



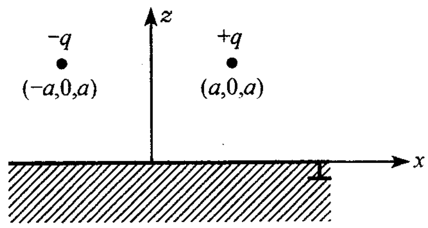
习题 3.13 图

*3.14 如习题 3.14 图所示,在接地导体 $z=0$ 平面的上方 $(x,y,z)=(a,0,-a)$ 和 $(-a,0,a)$ 处分别有点电荷 $+q$ 和 $-q$.

(1) 求作用在 $+q$ 上的作用力;

(2) 为了得到这样一个电荷系统,求反抗静电力所做的功;

(3) 求点 $(a,0,0)$ 处的电荷面密度.



习题 3.14 图

*3.15 一个半径为 a、带电量为 q 的导体球放入均匀电场 E_0 中,求:

(1) 感应后球的偶极矩;

(2) 球内外的电势;

(3) 感应电偶极矩所对应的球面电荷分布的静电自能.

第 4 章　稳 恒 电 流

4.1 电荷 Q 均匀地分布在半径为 R 的球体内,该球以匀角速度 ω 绕它的某个直径旋转,求球内离转轴为 r 处的电流密度的大小.

4.2 一条铝线的横截面积为 0.10mm^2,在室温 300K 时载有 5.0×10^{-4} A 的电流. 设每个铝原子有三个电子参与导电. 已知铝的相对原子质量为 27,室温下的密度为 $2.7\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$,电阻率为 $2.8\times10^{-8}\,\Omega\cdot\text{m}$,电子的质量为 $m=9.1\times10^{-31}$ kg,阿伏伽德罗常数为 $6.0\times$

$10^{23}\,\mathrm{mol}^{-1}$，玻尔兹曼常量为 $k=1.38\times10^{-23}\,\mathrm{J\cdot K^{-1}}$. 求这条铝线内

(1) 电子定向运动的平均速度；

(2) 电子热运动的方均根速率；

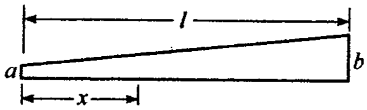
(3) 一个电子两次相继碰撞之间的时间；

(4) 电子的平均自由程；

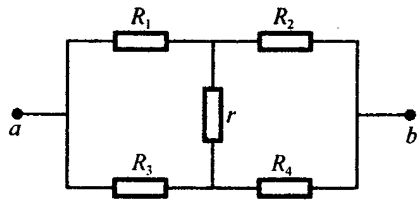
(5) 电场强度的大小.

4.3 一段长为 l 的圆台状导线，它的横截面积 A 是 x 的函数，x 是到导线左端的距离，沿导线轴线的半截面形状示于习题 4.3 图. 导线左端的横截面是半径为 a 的圆，右端的横截面是半径为 b 的圆，电导率 σ 是常数. 计算整段导线的电阻.

4.4 五个电阻按习题 4.4 图所示连接，求 a、b 间的电阻.



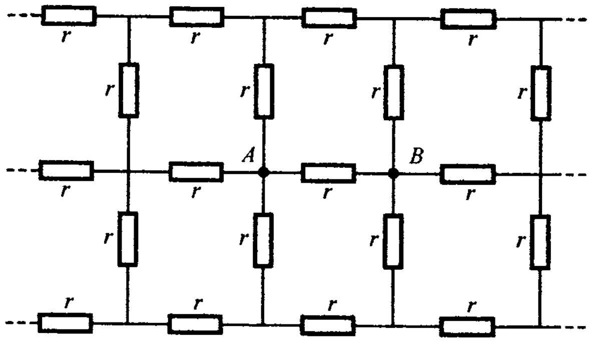
习题 4.3 图



习题 4.4 图

4.5 在半径为 a、b 的同心球壳导体之间填满电导率为 σ 的导电介质，求两球壳之间的电阻.

4.6 如习题 4.6 图所示的无限网格电路，全部电阻的阻值相同，设为 r，求 A 和 B 之间的等效电阻 R_{AB}.



习题 4.6 图

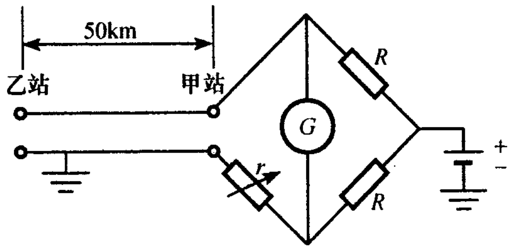
4.7 甲乙两站相距 50km，其间有两条相同的电话线，有一条因某处触地而发生故障，甲站的检修人员用习题 4.7 图中的办法找出触地处到甲站的距离 x：让乙站把两条电话线短路(即接在一起)，作为电桥的一臂，调节 r 使通过检流计 G 的电流为零. 已知电话线每千米长的电阻为 6Ω，测得 $r=360\Omega$，求 x.

4.8 丹聂尔电池由两个同轴圆筒构成，长为 l，外筒是内半径 b 的铜，内筒是外半径为 a 的锌，两筒间充满介电常量为 ε、电阻率为 ρ 的硫酸铜溶液，如习题 4.8 图所示. 略去边缘效应，求

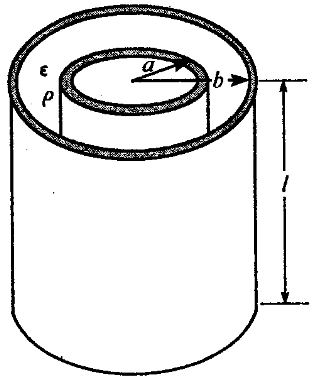
(1) 该电池的内阻；

(2) 该电池的电容；

(3) 电阻与电容之间的关系.



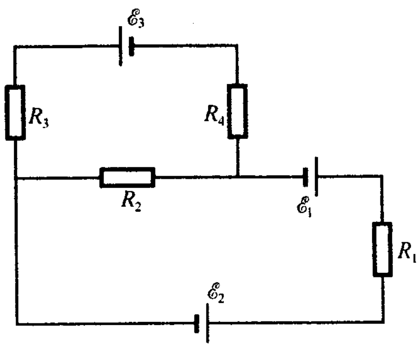
习题 4.7 图



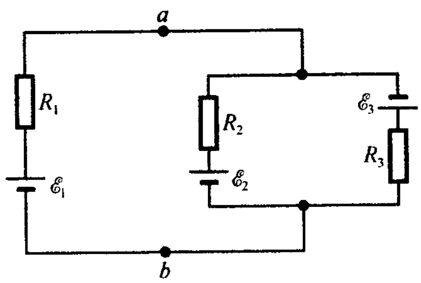
习题 4.8 图

4.9　如习题 4.9 图所示，3 个电源的电动势分别为 $\mathscr{E}_1=12.0\text{V}$，$\mathscr{E}_2=\mathscr{E}_3=6.0\text{V}$，电阻 $R_1=R_2=R_3=3\Omega$，$R_4=6\Omega$，求 R_4 上的电压和通过 R_2 的电流.

4.10　一直流电路如习题 4.10 图所示，其中，$\mathscr{E}_1=3\text{V}$，$\mathscr{E}_2=1.5\text{V}$，$\mathscr{E}_3=2.2\text{V}$；$R_1=1.5\Omega$，$R_2=2.0\Omega$，$R_3=1.4\Omega$；电源的内阻不计，试求 a、b 两点之间的电势差.



习题 4.9 图

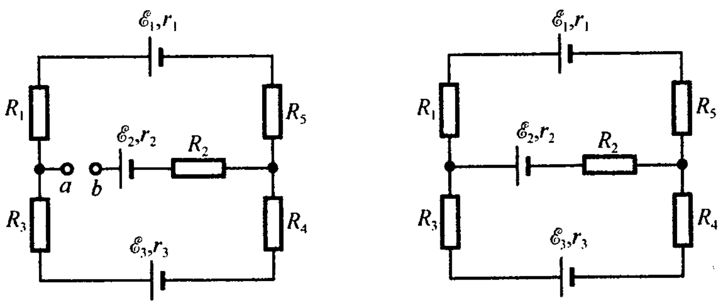


习题 4.10 图

4.11　一电路如习题 4.11 图所示. 已知 $\mathscr{E}_1=12\text{V}$，$\mathscr{E}_2=10\text{V}$，$\mathscr{E}_3=8\text{V}$，$r_1=r_2=r_3=1\Omega$，$R_1=R_3=R_4=R_5=2\Omega$，$R_2=3\Omega$，求

(1) 图(a)中 a，b 两点间电压；

(2) 图(b)中通过 R_1 的电流.



(a)　　　　(b)

习题 4.11 图

4.12　在习题4.12图所示电路中,已知:$\mathscr{E}_1=6\mathrm{V}$,$\mathscr{E}_2=4.5\mathrm{V}$,$\mathscr{E}_3=2.5\mathrm{V}$,$R_1=R_2=0.5\Omega$,$R_3=2.5\Omega$,忽略电源内阻,求通过电阻$R_1$、$R_2$和$R_3$的电流.

*4.13　两同心导体球壳半径$R_1<R_2$,球壳间充满电导率为σ、介电常量为ε的均匀介质.设$t=0$时刻内球壳带电Q,试计算

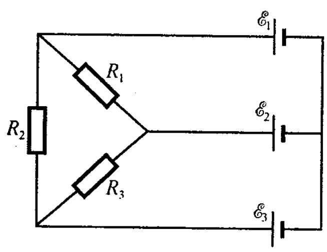
(1) 介质中的电流强度;

(2) 电流总共产生多少焦耳热.

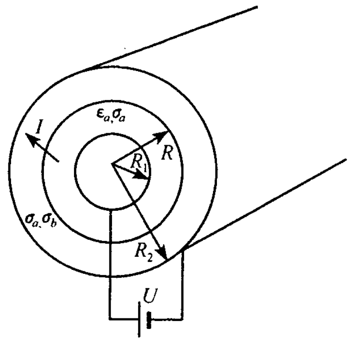
*4.14　有半径分别为R_1和R_2的同轴导体圆筒,长为$L(L\gg R_1,R_2)$.设两筒间充满两层均匀介质,其分界面是与导体圆筒同轴的圆柱面,半径为R,介质a,b的介电常量分别为ε_a和ε_b,电导率分别为σ_a和σ_b.在两筒间加上恒定电压U,求

(1) 两导体圆筒间的电阻和电流;

(2) 各界面的自由电荷分布.



习题4.12图



习题4.14图

4.15　将两个导体嵌入到电导率为$10^{-4}\Omega\cdot\mathrm{m}^{-1}$、介电常量为$\varepsilon=80\varepsilon_0$的介质中,测得这两个导体之间的电阻为$10^5\Omega$,计算这两个导体之间的电容.

第5章　真空中的静磁场

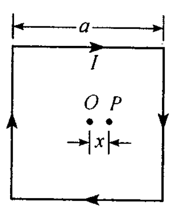
5.1　有一能量为5.0MeV的质子垂直通过一均匀磁场.设$B=1.5\mathrm{T}$,求质子受的力.

*5.2　一边长为a的正方形回路载有电流I(见习题5.2图).

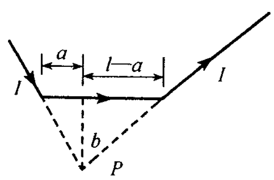
(1) 求正方形中心处$\boldsymbol{B}$的大小;

(2) 求正方形轴线上与中心相距为x的任一点处$\boldsymbol{B}$的大小.

5.3　一根导线折成如习题5.3图所示的形状,通有电流I,求点P处$\boldsymbol{B}$的大小和方向.



习题5.2图



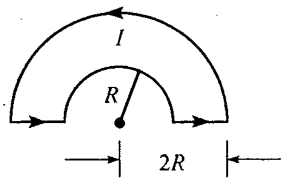
习题5.3图

5.4　一导线回路是由两个径向线段连接的两个同心半圆构成(见习题 5.4 图),该回路载有电流 I,求圆心处的磁场.

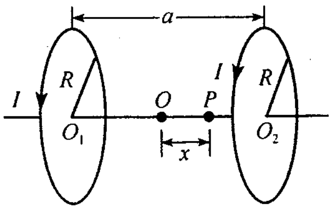
*5.5　如习题 5.5 图所示,两圆线圈半径为 R,平行地共轴放置,圆心 O_1、O_2 相距为 a,所载电流均为 I,且电流方向相同.

(1) 以 O_1O_2 连线的中点为原点 O,求轴线上坐标为 x 的任一点处的磁感应强度.

(2) 试证明:当 $a=R$ 时,O 点处的磁场最为均匀(这样放置的一对线圈称作亥姆霍兹线圈,常用它获得近似均匀的磁场.)(提示:求磁场 $\boldsymbol{B}$ 在 $x=0$ 处一阶和二阶导数,证其为零).



习题 5.4 图



习题 5.5 图

5.6　假定地球的磁场是由地球中心的小电流环产生的,已知地面磁极(电流环轴线与地面的交点)附近磁场为 0.8G,地球半径 $R=6\times10^6$ m,求小电流环的磁矩.

5.7　螺线管线圈的直径是它的轴长的 4 倍,每厘米长度内的匝数 $n=200$,所通电流 $I=0.10$A,求:

(1) 螺线管中心处磁感应强度的大小;

(2) 在管的一端中心处的磁感应强度的大小.

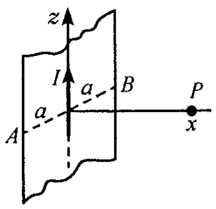
5.8　电流均匀地流过宽为 $2a$ 的平面导体薄板,电流强度为 I,通过板的中线并与板面垂直的平面上有一点 P,P 到板的垂直距离为 x(见习题 5.8 图).设板厚略去不计,求点 P 处的磁感应强度的大小.

*5.9　半径为 R 的球面上均匀分布着电荷 q,该球面以角速度 ω 绕它的直径旋转,求转轴上球内和球外任一点(该点到球心的距离为 x)的磁感应强度,并求这个系统的磁矩.

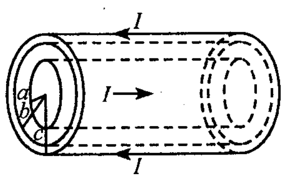
5.10　如习题 5.10 图所示,一根很长的同轴电缆,由一导体圆柱(半径为 a)和与之共轴的导体圆管(内、外半径分别为 b、c)构成,沿导体柱和导体管通以反向电流,电流强度均为 I,且均匀地分布在导体的横截面上,求下述各区内磁感应强度

(1) 导体圆柱内($r<a$);

(2) 两导体之间($a<r<b$);



习题 5.8 图



习题 5.10 图

(3) 导体圆管内($b<r<c$);

(4) 电缆外($r>c$).

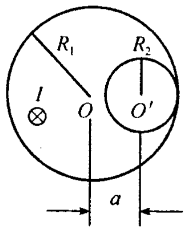
5.11 如习题 5.11 图所示,一根外半径为 R_1 的无限长圆柱形导体管,管内空心部分的半径为 R_2,空心部分的轴与圆柱的轴相平行,两轴间距离为 a,且 $a>R_2$. 现有电流 I 沿导体管流动,电流均匀分布在管的横截面上,求

(1) 圆柱轴线上的磁感应强度值;

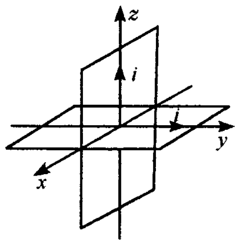
(2) 空心部分轴线上的磁感应强度值;

(3) 设 $R_1=10\text{mm}$,$R_2=0.5\text{mm}$,$a=5.0\text{mm}$,$I=20\text{A}$,分别计算上述两处磁感应强度值.

5.12 有两块非常大的导体板,一个在 xy 平面上,另一个在 xz 平面上,将空间划分为四个“象限”. 设每块板载有均匀分布的电流,面电流密度是 i(习题 5.12 图),求各象限内的磁场.



习题 5.11 图



习题 5.12 图

5.13 矩形截面的螺绕环,尺寸见习题 5.13 图,电流强度为 I,线圈总匝数为 N.

(1) 求环内磁感应强度的分布;

(2) 证明通过螺绕环截面(图中阴影区)磁通量为

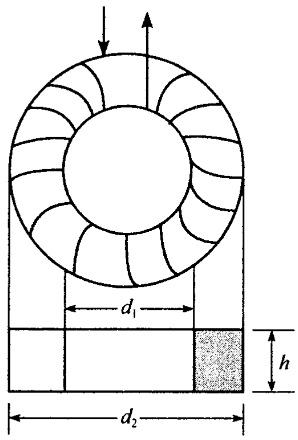
$$\Phi_B=(\mu_0 NIh/2\pi)\ln(d_2/d_1)$$

5.14 脉冲星或中子星表面的磁场有 10^8T 那样强. 考虑这样一个中子星表面上一个氢原子中的电子,电子距质子 $0.53\times10^{-10}\text{m}$,其速度是 $2.2\times10^6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. 试将质子作用到电子上的电力与中子星磁场作用到电子上的磁力加以比较.

5.15 一电子在 $B=20\times10^{-4}\text{T}$ 的磁场中沿半径为 $R=2.0\text{cm}$ 的螺旋线运动,螺距为 $h=5.0\text{cm}$,如习题 5.15 图所示.

(1) 求电子的速度;

(2) 确定磁场 $\boldsymbol{B}$ 的方向.

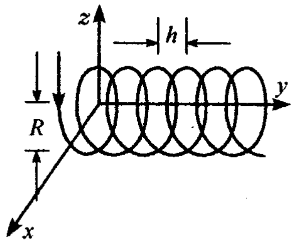


习题 5.13 图

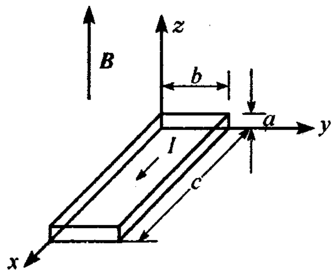
5.16 如习题 5.16 图所示,一块半导体样品的体积为 $a\times b\times c$,沿 x 方向有电流 I,在 z 轴方向加有均匀磁场 $\boldsymbol{B}$. 已知 $a=0.10\text{cm}$,$b=0.35\text{cm}$,$c=1.0\text{cm}$,$I=1.0\text{mA}$,$B=3000\text{G}$,片两侧的电势差的实验结果为 $U=6.55\text{mV}$.

(1) 问这半导体是正电荷导电(p 型)还是负电荷导电(n 型)?

(2) 求载流子浓度(即单位体积内参加导电的带电粒子数).



习题 5.15 图



习题 5.16 图

5.17 设在一均匀磁场 $\boldsymbol{B}_0$ 中有一带电粒子在与 $\boldsymbol{B}_0$ 垂直的平面内做圆周运动，速率为 v_0，电荷为 e，质量为 m. 当磁场由 B_0 缓慢变化到 B 时，求粒子的运动速率和回旋半径 r.

5.18 有一磁镜装置，磁镜比为 $R_m=4$，在磁镜装置中心部位有一各向同性带电粒子源，问从磁镜中逃逸的粒子占多少比例？

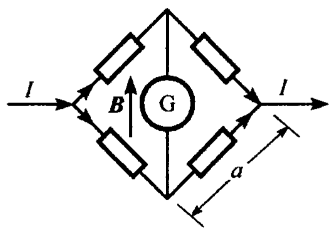
第 6 章　介质中的静磁场

6.1 长度 10cm 的导线置于均匀磁场中，$\boldsymbol{B}=(2\boldsymbol{e}_x-3\boldsymbol{e}_y+5\boldsymbol{e}_z)$T. 此线载有电流 3A，流动方向与 $-\boldsymbol{e}_x+4\boldsymbol{e}_y+3\boldsymbol{e}_z$ 平行，求磁场作用于导线上的总力 $\boldsymbol{F}$.

6.2 惠斯登电桥由边长为 a 的正方形构成(习题 6.2 图)，它被放在磁场 $\boldsymbol{B}$ 中，$\boldsymbol{B}$ 位于电桥所在的平面内并与包含检流计的支路平行，流入电桥的总电流是 I.

(1) 作用在电桥上的净力 $\boldsymbol{F}$ 是多少？

(2) 此解答是否依赖于电桥平衡？



习题 6.2 图

6.3 一个半径为 R、载有电流 I 的圆形回路处于一恒定磁场 $\boldsymbol{B}$ 中，$\boldsymbol{B}$ 与回路平面垂直.

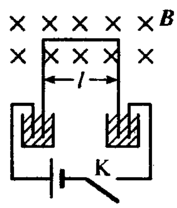
(1) 求圆导线内部的张力；

(2) 若 $I=7.0$A，$R=5.0\times10^{-2}$m，$B=1.0$Wb · m^{-2}，计算张力大小.

6.4 一段导线弯成习题 6.4 图所示的形状，它的质量为 m. 上面水平一段长为 l，处在均匀磁场中，磁感应强度 $\boldsymbol{B}$ 与导线垂直. 导线下面两端分别插在两个浅水银槽里，并通过水银槽与一带开关 K 的外电源连接. 当 K 一接通，导线便从水银槽里跳起来.

(1) 设跳起来的高度为 h，求通过导线的电量 q；

(2) 当 $m=10$g，$l=20$cm，$h=2.0$m，$B=0.10$T 时，求 q 的值.

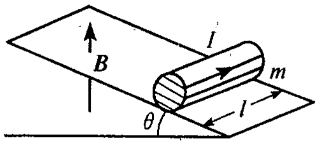


习题 6.4 图

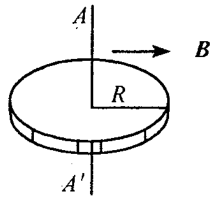
6.5 如习题 6.5 图所示，斜面上放有一木制圆柱，圆柱质量 m 为 0.25kg，半径为 R，长 l 为 10cm. 圆柱上绕有 10 匝导线，导线回路平面与斜面平行且通过圆柱轴. 设斜面倾角为 θ，一均匀磁场竖直向上，磁感应强度 $\boldsymbol{B}$ 为 0.50T. 问通过回路的电流 I 至少有多大，圆柱体才不至沿斜面向下滚动？

6.6 如习题 6.6 图所示，一平面塑料圆盘，半径为 R，表面带有面密度为 σ 的电荷. 假定圆盘

绕其轴线 AA' 以角速度 ω 转动,磁场 $\boldsymbol{B}$ 的方向垂直于转轴 AA'. 试证磁场作用于圆盘的力矩大小为 $L=\pi\sigma\omega R^4 B/4$.



习题 6.5 图



习题 6.6 图

*6.7 电流 I 沿半径 a 的导体圆柱壳均匀分布,通过圆柱轴将导体壳劈成两半,求两部分单位长度的吸力.

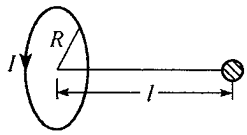
6.8 顺磁质分子的磁矩和玻尔磁矩 $m_B=eh/(4\pi m_e)$ 同量级. 设顺磁质温度为 $T=300\text{K}$,磁感应强度 $B=1\text{T}$,问 kT 是 $m_B B$ 的多少倍?($h=6.626\times10^{-34}\text{J}\cdot\text{s}^{-1}$,$e=1.602\times10^{-19}\text{C}$,$m_e=9.11\times10^{-31}\text{kg}$,$k=1.3\times10^{-23}\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$).

6.9 一无限长的直圆柱形铜导线外包一层磁导率为 μ 的圆筒形磁介质,导线半径为 R_1,磁介质的外半径为 R_2,导线内有电流 I 通过.

(1) 求介质内、外的磁场强度和磁感应强度的分布,并画出 H-r、B-r 曲线.

(2) 求介质内、外表面的磁化面电流密度.

6.10 一抗磁质小球的质量为 0.10g,密度 $\rho=9.8\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$,磁化率为 $\chi_m=-1.82\times10^{-4}$,放在一个半径 $R=10\text{cm}$ 的圆线圈的轴线上且距圆心为 $l=10\text{cm}$ 处(见习题 6.10 图). 线圈中载有电流 $I=100\text{A}$. 求电流作用在这小球上力的大小和方向.



习题 6.10 图

6.11 螺绕环的导线内通有电流 20A. 利用冲击电流计测得环内磁感应强度的大小是 $1.0\ \text{Wb}\cdot\text{m}^{-2}$. 已知环的周长是 40cm,绕有导线 400 匝. 计算

(1) 磁场强度;

(2) 磁化强度;

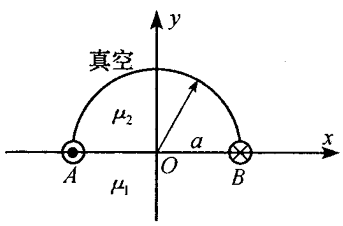
(3) 磁化率;

(4) 磁化面电流和相对磁导率.

6.12 一半径为 a 的无限长磁介质圆柱,磁导率为 μ,柱外为真空,沿圆柱轴有一线电流 I,求磁介质中的磁场强度和磁感应强度以及磁介质圆柱表面的束缚电流分布.

6.13 在空气(相对磁导率 $\mu_r=1$)和软铁($\mu_r=7000$)的交界面上,软铁上的磁感应强度 $\boldsymbol{B}$ 与交界面法线的夹角为 85°,求空气中磁感应强度与交界面法线的夹角.

*6.14 如习题 6.14 图所示,一半无限大磁导率为 μ_1 的磁介质表面放一磁导率为 μ_2 的无限长磁介质半圆柱,半径为 a. 设在 A、B 两处置入反向直流电流 I,电流方向与圆柱轴平行. 求空间磁感应强度的分布.



习题 6.14 图

*6.15 在一理想导体平面上方的真空中有一圆载流线圈,线圈平面与导体平面平行,相距为 d. 设线圈电流为 I,半

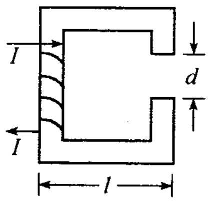
径为 a，求圆线圈轴线上磁感应强度的分布. 当 $a \ll d$ 时，求圆线圈所受的浮力.

* 6.16　一无穷长直载流导线和一无穷长磁介质圆柱平行，导线和圆柱轴的距离为 d，电流为 I，介质圆柱半径为 a，磁导率为 μ，求单位长度导线上所受的力.

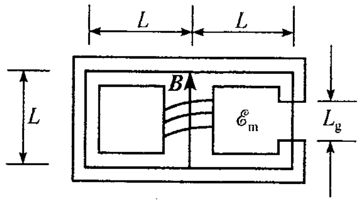
6.17　已知一个电磁铁由绕有 N 匝载流线圈的 C 形铁片($\mu \gg \mu_0$)所构成(见习题 6.17 图). 如果电磁铁的横截面积为 A，电流为 I，空隙宽度为 d，C 形铁片各边的长度同为 l，求空隙中的磁感应强度.

6.18　请你设计一块磁铁(使用最少量的铜)，使得在横截面积为 $1\text{m} \times 2\text{m}$，长为 0.1m 的气隙中产生 10^4G 的磁场. 假定铁芯的磁导率很高，计算所消耗的功率与所需铜的质量，以及磁铁两磁极之间的引力.(已知铜的电阻率是 $2 \times 10^{-6}\,\Omega \cdot \text{cm}$，密度是 $8\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$，容许通过的最大电流密度是 $1000\text{A} \cdot \text{cm}^{-2}$.)

6.19　如习题 6.19 图所示，设 $L = 20\text{cm}$，$L_g = 0.5\text{cm}$，$\mu_r = 1200$，芯的截面是 4cm^2，磁动势 $\mathscr{E}_m = 597\text{V}$，求通过气隙的磁感应强度.



习题 6.17 图



习题 6.19 图

* 6.20　一长铁芯沿轴向插入一长螺线管内，铁芯由两节拼凑而成，求两节之间的吸力. 设螺线管单位长度匝数为 n，电流为 I，铁芯截面积为 S，磁导率为 μ.

* 6.21　一圆柱形永磁铁，直径 10mm，长 100mm，均匀磁化后磁极化强度 $J = 1.20\text{Wb} \cdot \text{m}^{-2}$.

(1) 求它两端的磁极强度(即总磁通量)；

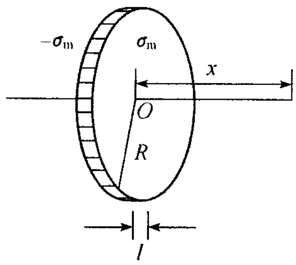
(2) 求它的磁矩；

(3) 磁铁中心处的磁场强度 H 和磁感应强度 B. 此外，$\boldsymbol{H}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 的方向有什么关系？

* 6.22　(1) 一圆磁盘半径为 R，厚度为 l，片的两面均匀分布着磁荷，面密度分别为 σ_m 和 $-\sigma_m$(见习题 6.22 图). 求轴线上离圆心为 x 处的磁场强度 $\boldsymbol{H}$.

(2) 此磁盘的磁偶极矩 $\boldsymbol{p}_m$ 和磁矩 $\boldsymbol{m}$ 为多少？

(3) 试证明，当 $l \ll R$ 时，磁盘外轴线上的磁场分布与一个磁矩和半径相同的电流环所产生的磁场一样.



习题 6.22 图

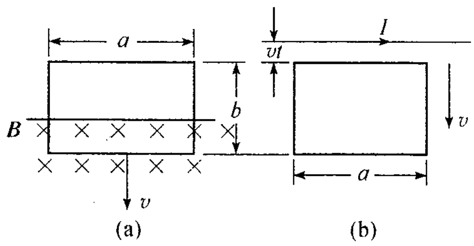
第 7 章　电 磁 感 应

7.1　(1) 电阻为 R 的矩形线圈以常速度 v 进入匀强磁场 B 中，见习题 7.1(a)图，求线圈中感应电动势和线圈所受的力.

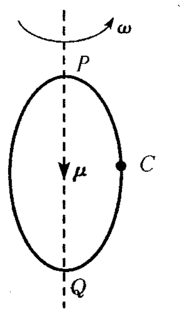
(2) 如果矩形线圈以常速度 v 离开载有稳恒电流 I 的长直导线，见习题 7.1(b)图. 求矩

形线圈中的感应电动势.

7.2　如习题 7.2 图所示,一个半径为 R 的圆线圈绕其直径 PQ 以角速度 ω 匀速转动. 在线圈中心沿 PQ 方向放置一个小磁体,它的磁矩为 $\boldsymbol{\mu}$. 试求在点 P(或点 Q)与 PQ 弧中点 C 之间的那段导线上产生的感应电动势.



习题 7.1 图



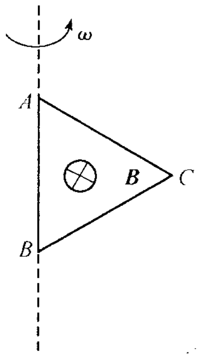
习题 7.2 图

7.3　如习题 7.3 图所示,一正三角形线圈的电阻为 R,边长为 a,以常角速度 ω 绕 AB 轴旋转,均匀磁场 $\boldsymbol{B}$ 与转轴 AB 垂直. 求线圈每两个顶点之间的电势差.

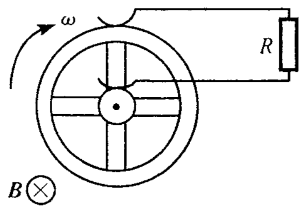
7.4　习题 7.4 图中的轮子由一个半径为 a 的圆环和四根辐条组成,两个金属刷子分别接触在轮轴和轮边上并与外电阻 R 连接,外磁场 $\boldsymbol{B}$ 与轴线平行.

(1) 这个轮子产生的感应电动势多大?

(2) 设每根辐条电阻为 r,圆环电阻可以忽略,问 R 取何值时,可获得最大输出功率?



习题 7.3 图



习题 7.4 图

7.5　一列火车中的一节闷罐车箱宽 2.5m,长 9.5m,高 3.5m,车壁由金属薄板制成. 在地球磁场的竖直分量为 0.62×10^{-4}T 的地方,这个闷罐车以 $60\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度在水平轨道上向北运动.

(1) 这个闷罐车两边之间的金属板上的感应电动势是多少?

(2) 若考虑车两边积累的电荷所引起的电场,问车内净电场是多少?

(3) 若将两边当作两个非常长的平行平板处理,那么每一边上的面电荷密度是多少?

7.6　一导体盘的半径为 a,厚度为 δ,电导率为 σ,将其放在相对盘轴 z 对称的磁场 $\boldsymbol{B}$ 中

$$\boldsymbol{B} = B_0(t)\hat{z}\quad (0\leqslant\rho\leqslant R);\quad \boldsymbol{B}=0\quad (\rho>R),\quad R<a$$

(1) 确定空间的感应电场;

(2) 确定导体盘的电流密度;

(3) 证明盘耗散的总功率为

$$P=\frac{\pi\rho}{8}\sigma R^4\left(\frac{\mathrm{d}B_0}{\mathrm{d}t}\right)^2\left(1+4\ln\frac{a}{R}\right)$$

*7.7 电子感应加速器是应用电磁感应效应加速环形真空室中电子的装置.如果电子回旋周期为1/60s,回旋半径为40cm,在一个回旋周期内磁通量密度的改变量为5Wb·m^{-2},那么电子回旋一周得到多少能量?加速电子的电场强度是多大?

7.8 一个大线圈和一个小线圈同心且位于同一平面内,大线圈的半径为50cm,有1×10^4匝,小线圈的面积为3cm^2,有5×10^3匝.

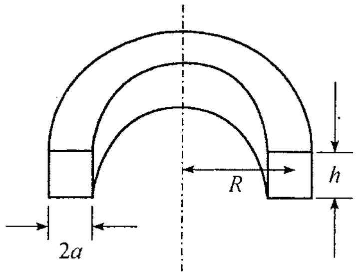
(1) 当大线圈中的电流变化率为5×10^3A·s^{-1}时,在小线圈中的感应电动势为多少(假定小线圈处的磁场近似均匀)?

(2) 如果大线圈载有电流0.2A,且绕它的水平方向的直径以每分钟2×10^3转的速度匀速转动,小线圈在大线圈中心处的水平面上静止,求小线圈中的作为时间函数的感应电动势.

7.9 一环形螺线管有N匝,环半径为R,环的横截面为矩形,其尺寸如习题7.9图所示.

(1) 求此螺线管的自感系数;

(2) 求这个环形螺线管和位于它的对称轴处的长直导线之间的互感系数.



习题7.9图

7.10 在一个半径为10cm、截面积为12cm^{2}的圆形铁环上均匀地绕有1200匝绝缘导线,环上有一宽度为1mm的气隙.设铁的相对磁导率是700,它与磁场强度无关,且忽略磁滞效应.

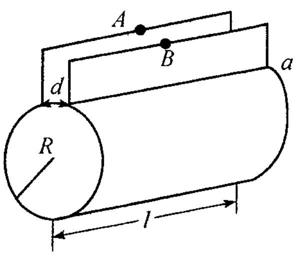
(1) 当有1A的电流通过线圈时,求气隙中的磁场;

(2) 计算该线圈的自感系数.

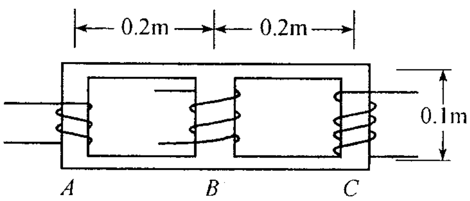
7.11 一块铜片被弯成如习题7.11图所示形状,已知$R=2$cm,$l=10$cm,$a=2$cm,$d=0.4$cm.估计这个构件的最低共振频率.当频率远小于共振频率时,从A、B两点测量到的电感是多少?

7.12 一个变压器如习题7.12图所示,线圈A、B、C的匝数分别为500,1000,500,截面积分别是0.005m^2,0.001m^2,0.0005m^2,铁芯的水平臂截面积是0.002m^2,如果铁芯的相对磁导率$\mu_r=10000$,求:

(1) 线圈A和C间的互感;



习题7.11图



习题7.12图

(2) 线圈 A 和 B 间的互感.

7.13 一电磁铁由 N 匝线圈紧绕在环形轭铁上构成,从轭铁上切去一小段形成气隙,如习题 7.13 图所示. 轭铁环的半径为 b,环截面的半径为 a,气隙宽度为 w,铁的磁导率 μ 为常数. 线圈由半径为 r、电阻率为 ρ 的导线构成,磁铁线圈两端加有电压 V. 为简单起见,假设 $b/a\gg1$,$a/r\gg1$. 推导下列各量的表达式:

(1) 气隙中的稳定磁场;

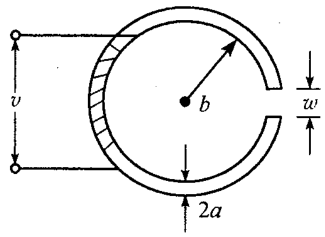
(2) 稳态时线圈损耗的功率;

(3) 当电压 V 变化时线圈中电流变化的时间常数.

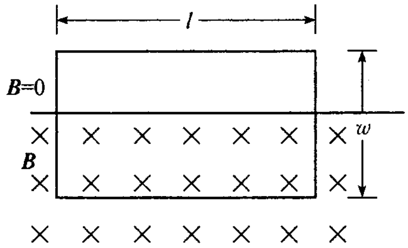
*7.14 一个边长分别为 l 和 w 的长方形线圈,在 $t=0$ 时刻正好从如习题 7.14 图所示的磁场为 $\boldsymbol{B}$ 的区域上方由静止开始向上运动. 线圈的电阻为 R,自感为 L,质量为 m,它的上边处在零磁场区.

(1) 假定自感可以忽略而电阻不能忽略,求出线圈的作为时间函数的电流和速度;

(2) 假定电阻可以忽略而电感不可以忽略,求出线圈的作为时间函数的电流和速度.



习题 7.13 图



习题 7.14 图

7.15 空心螺线管长 0.5m,截面 1cm^2,匝数 1000. 忽略边缘效应,它的自感多大? 一个 100 匝的副线圈也绕在这个螺线管的中部,互感多大? 现有 1A 的稳恒电流流入副线圈,螺线管连接着 $10^3\,\Omega$ 的负载. 如果上述稳恒电流突然停止,将有多少电荷流过电阻?

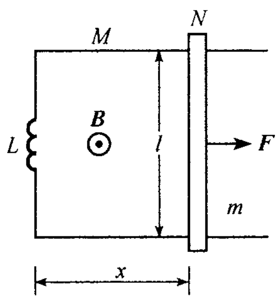
*7.16 如习题 7.16 图所示,无电阻的电感器 L 连接金属导轨 M 的一端,施一恒力 F,向右拉动金属棒 N. 该棒长为 l,质量为 m,在导轨上无摩擦地滑动,并切割磁力线. 如果它在水平方向上的初始位置是 $x(0)=0$,初始速度是 $v(0)=0$,那么,

(1) 电路中电流 I 和坐标 x 之间的关系如何?

(2) 滑动棒的运动方程是什么?

(3) 求 $x(t)$;

(4) 试分析滑动棒运动过程中的能量转换过程.



习题 7.16 图

7.17 由 $3\times10^6\,\Omega$ 的电阻、$1\mu\text{F}$ 电容和 $\mathscr{E}=4\text{V}$ 的电源连接成简单回路,试求在电路接通后 1s 的时刻,下列各量的变化率:

(1) 电容上电荷增加的速率;

(2) 电容器内储存能量的速率;

(3) 电阻上产生的热功率;

(4) 电源提供的功率.

第 8 章　磁　能

8.1 有一个平绕于圆筒上的螺旋线圈，长 10cm，直径 1cm，共 1000 匝，用每千米电阻为 247Ω 的漆包线绕制．求线圈的自感系数和电阻．如果把这线圈接到电动势为 2V 的蓄电池上，问：

(1) 线圈中通电开始时的电流增长率是多少？

(2) 线圈中的电流达到稳定后，稳定电流是多少？

(3) 这回路的时间常数是多少？经过多少时间电流达到稳定值的一半？

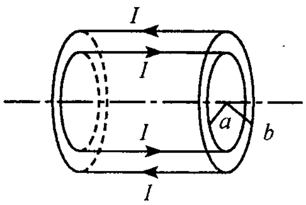
(4) 电流稳定后，线圈中所储存的磁能是多少？磁能密度是多少？

8.2 (1) 利用磁场能量方法计算如习题 8.2 图所示的两个同轴导体圆柱面组成的传输线单位长度的自感系数 L.

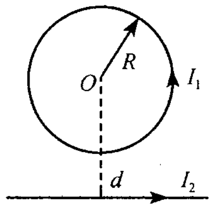
(2) 如果电流为常数，而将外圆柱面半径加倍，那么磁能增加多少？

(3) 在上述过程中，磁场做了多少功？电池提供了多少能量？二者与磁能的增加有何关系？

8.3 如习题 8.3 图所示，一个半径为 R 的单匝圆线圈与长直导线共面，圆心与直导线的距离为 d，且 $d>R$．设线圈和直导线的电流分别为 I_1、I_2，求相互作用能．



习题 8.2 图

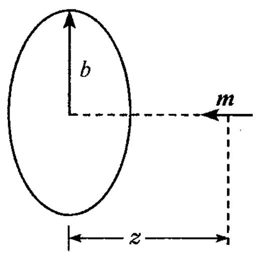


习题 8.3 图

8.4 把一磁偶极子 $\boldsymbol{m}$ 从无穷远移到一个完全导电环(具有零电阻)轴上一点，环半径为 b，自感为 L．在终了位置上 $\boldsymbol{m}$ 的方向沿圆环的轴，与环心相距为 z．当磁偶极子在无穷远处时，环上的电流为零，见习题 8.4 图．

(1) 在终了位置时，计算环上的电流；

(2) 计算此位置上的磁偶极子与环之间的相互作用能．



习题 8.4 图

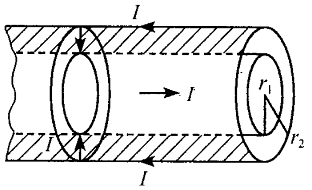
8.5 将题 8.2 中的导体圆柱面换成实心圆柱体，并假定电流沿截面均匀分布，求单位长度的自感系数．

*8.6 一同轴电缆的芯子和外壳有无限大的电导率，它们的半径分别为 r_1 和 r_2．该电缆被一个可移动的隔板短路(习题 8.6 图)．当电流 I 流过这个电缆时，求作用到这个隔板上的力．

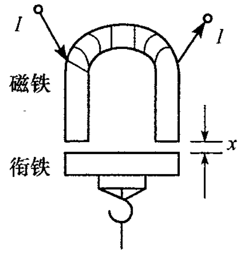
*8.7 一电磁铁示于习题 8.7 图．用虚功原理证明：

(1) 电磁铁吸引衔铁的起重力为 $F=SB^2/(2\mu_0)$，式中 S 为两磁极与衔铁相接触的总面积，B 为电磁铁内的磁感应强度(设磁铁内的 $H\ll M$)．

(2) 起重力与磁极、衔铁间的距离 x 有无关系？



习题 8.6 图



习题 8.7 图

第9章　交流电路

9.1　(1) 计算 10H 的电感在频率为 50Hz、60Hz、600Hz 时的阻抗值；

(2) 计算 10μF 的电容在上述频率下的阻抗值；

(3) 在 60Hz 频率下，L 和 C 为何值时它们的阻抗都为 100Ω？

9.2　(1) $L=31.8$mH 的线圈，其电阻可略去不计，当加上 220V、50Hz 的交流电压时，求它的阻抗和通过它的电流；

(2) $C=79.6\mu$F 的电容接到 220V、50Hz 的交流电源上，求它的阻抗和通过它的电流.

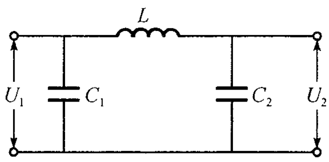
9.3　交流电压的峰值 $V_m=1$V、频率 = 50Hz，将这个电压接在 RLC 串联电路的两端，$R=40\Omega$，$L=0.1$H，$C=50\mu$F.

(1) 计算这个电路的总阻抗；

(2) 计算阻抗幅角 φ；

(3) 计算每个组件两端上的电压峰值.

9.4　在习题 9.4 图所示的滤波电路中，$C_1=C_2=10\mu$F. 在频率 $f=1000$Hz 下，欲使输出电压 U_2 为输入电压 U_1 的 1/10，求此时扼流圈的自感 L.



习题 9.4 图

9.5　一个 50Hz 的交流电压加在 RLC 串联电路上，$R=40\Omega$，$L=0.1$H，$C=50\mu$F.

(1) 求 RLC 电路的功率因子；

(2) 如果电压源有效值 $V=100$V，那么这个电路的电流最大值是多少？

(3) 功率损失多大？

9.6　在 RLC 串联电路里，电源具有 50V 的恒定电压振幅，$R=300\Omega$，$L=0.9$H，$C=20\mu$F.

(1) 计算电源角频率分别为 500rad · s^{-1} 和 1000rad · s^{-1} 时的电路阻抗；

(2) 在电源频率从 1000rad · s^{-1} 缓慢下降到 500rad · s^{-1} 时，描述电源振幅如何随频率变化；

(3) 当 $\omega=500$rad · s^{-1} 时，求相位角. 画出 $\omega=500$rad · s^{-1} 时的复矢量图；

(4) 在什么频率下电路发生共振？共振时的功率因子多大？

(5) 如果电阻减到 100Ω，求电路的共振频率. 这时共振的电流有效值是多少？

9.7　100Ω 的电阻器，0.1μF 的电容器以及 0.1H 的电感器并联在电压振幅为 100V 的电源

上，求

(1) 共振频率和共振角频率；

(2) 在共振频率时，通过这并联组合电路的最大总电流；

(3) 共振时通过电阻的最大电流；

(4) 共振时通过电感的最大电流；

(5) 共振时储存在电感里的最大能量和储存在电容里的最大能量.

9.8 一变压器的原线圈为 660 匝，接在 220V 的交流电源上，测得三个副线圈的电压分别为 5V、6.8V、350V，分别求它们的匝数. 设这三个副线圈中的电流分别是 3A、2A、280μA，问通过原线圈中的电流是多少？

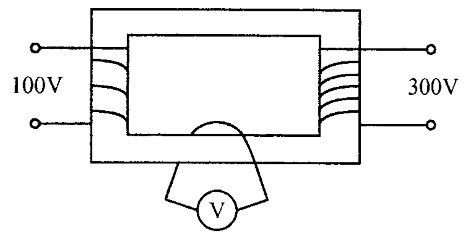
9.9 一升压变压器把 100V 交流电压升高到 3300V. 今有一根导线绕过铁芯接在一伏特计 V 上，如习题 9.9 图所示. 伏特计的读数是 0.50V，该变压器两绕组的匝数各是多少？

* 9.10 一交流惠斯登电桥示于习题 9.10 图.

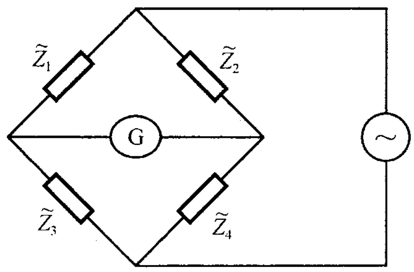
(1) 当无电流通过检流计 G 时，求复阻抗之间满足的关系式；

(2) 如果电源的频率变化，情况如何？

(3) 让 $\tilde{Z}_1=R_1$，$\tilde{Z}_3=R_3$，$\tilde{Z}_2=R_2+\mathrm{j}\omega L$，第四个臂上的阻抗有一未知的电阻 R 和未知感抗 $X=\omega L$. 电桥在频率为 ω 时达到平衡状态，计算 R 和 L.



习题 9.9 图



习题 9.10 图

第 10 章 麦克斯韦电磁理论

10.1 一漏电电容器的平板之间的空间填满电阻为 $5.0\times10^5\,\Omega$ 的物质，电容器的电容是 2.0×10^{-6}F，它的极板是圆形的，半径为 30cm，内部电场均匀，在 $t=0$ 时刻，电容器两端的初始电压是零.

(1) 如果电压以恒定速率 $1.0\times10^3\,\mathrm{V\cdot s^{-1}}$增加，那么位移电流是多少？

(2) 通过电容器的真实漏电流在什么时间等于位移电流？

(3) 在半径 $r=20$cm 处，在 $t=0$，1.0，2.0s 时刻，极板之间的磁场大小各是多少？

10.2 设一导线的电导率为 σ，介电常量为 ε，通以角频率 ω 的交流电.

(1) 导线中传导电流与位移电流之比是多少？

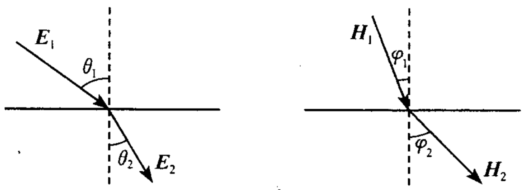
(2) 已知铜的电导率 $\sigma=5.9\times10^7\,\Omega^{-1}\cdot\mathrm{m}^{-1}$，分别计算铜导线载有频率为 50Hz 和 3.0×10^{11}Hz的交流电时，传导电流密度与位移电流密度的大小之比.

10.3　一平行板电容器的两板均为半径为 a 的圆板，接于一交流电源，板上电量的变化为 $Q=Q_0\sin\omega t$，试求两板之间($r<a$)和外部的磁场强度.

10.4　两种各向同性介质相接，它们的介电常量和磁导率分别为 ε_1、μ_1 和 ε_2、μ_2. 设交界面上无自由电荷和传导电流，在交界面两边，电场强度和交界面法线的夹角分别为 θ_1 和 θ_2，磁场强度与交界面法线的夹角分别为 φ_1 和 φ_2，见习题 10.4 图. 证明：

$$\varepsilon_1\cot\theta_1=\varepsilon_2\cot\theta_2$$

$$\mu_1\cot\varphi_1=\mu_2\cot\varphi_2$$



习题 10.4 图

10.5　频率为 5×10^9 Hz 的电磁波在某介质中传播，其电场强度的振幅为 $10\text{mV}\cdot\text{m}^{-1}$. 设介质的相对介电常量为 2.53，相对磁导率为 1. 试求

(1) 传播速度；

(2) 波长；

(3) 磁场强度的振幅.

10.6　一个频率为 7.94×10^7 Hz 的无线电波在距离发射机 100km 处的电场强度振幅为 $E=15\text{mV}\cdot\text{m}^{-1}$. 我们假设发射机在各个方向上传送的功率均匀. 求

(1) 在该点的磁场强度振幅 H；

(2) 波数 k；

(3) 波长 λ；

(4) 发射机发射的功率 P.

10.7　一条圆柱状导线，其截面是半径为 a 的圆，其电阻率为 ρ，通过恒定的电流 I. 求导线内部距离轴为 r 处的 $\boldsymbol{E}$，$\boldsymbol{H}$ 和坡印廷矢量 $\boldsymbol{S}$ 的大小和方向，并将坡印廷矢量大小与长度为 l、半径为 r 的导体体积内能量的耗散率进行比较.

10.8　在地球轨道上太阳辐射的平均强度(即平均能流密度)是 $\overline{S}=1353\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$.

(1) 求在太阳表面处太阳辐射的平均强度 $\overline{S}$；

(2) 求在太阳表面处电场强度的有效值；

(3) 求在太阳表面处磁场强度的有效值. 设太阳半径为 7×10^8m，太阳到地球的距离是 1.5×10^{11}m.

10.9　强度为 S 的光入射到一镜子上，入射光线与镜子平面法线成 θ 角.

(1) 光线对镜子压力 p 多大?

(2) 如果入射光能被镜子吸收的份额为 a，那么压力 p 是多少?

10.10　一球形电容器，内外半径为 r_1、r_2，带电为 Q，自转转动惯量为 I，静置于一均匀磁场 $\boldsymbol{B}$ 中，当将 $\boldsymbol{B}$ 撤销时，求电容器自转角速度的大小和方向.