学院________________ 姓名 ________________ 学号________________ 任课老师________________选课号__________

………密………封………线………以………内………答………题………无………效……

电子科技大学二零零__五__至二零零__六__学年第__二__学期期__末__考试

__电磁场与波__课程考试题 __A__卷 （__120__分钟） 考试形式：__闭卷__ 考试日期 200__6__年__7__月__6__日

课程成绩构成：平时__10__分， 期中__10__分， 实验__10__分， 期末__70__分

一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	合计

一． 填空题（每空 1 分，共 30 分）

1. 对于时谐电磁场，麦克斯韦第一方程的复数形式$\nabla\times\overline{H}=$________________,其物理意义是__________________________；第二方程的复数形式$\nabla\times\overline{E}=$________________，其物理意义是__________________________________。对于静态电磁场，这两个方程分别为$\nabla\times\overline{H}=$____________、$\nabla\times\overline{E}=$______________，它们是各自独立的。

2. 时变电磁场中引入矢量位$\overline{A}$，场量$\overline{B}=$________________。

3. 线性和各向同性媒质的本构关系是________________、________________、________________。

4. 瞬时能流密度矢量（或瞬时坡印廷矢量）$\overline{S}(\bar{r},t)=$________________，其物理意义是____。

5. 镜像法的理论根据是____。

6.均匀平面波在自由空间（参数为$\varepsilon_0=\dfrac{1}{4\pi\times9\times10^9}F/m,\mu_0=4\pi\times10^{-7}H/m,\sigma=0$）的频率$f_0$＝100MHz、波长$\lambda_0$＝3m、相速$v_0=3\times10^8 m/s$，当其在介电常数$\varepsilon=4\varepsilon_0$的电介质中传播时，频率$f$＝____________，波长$\lambda=$______________，相速$v=$________________。

7. 均匀平面波在导电媒质中传播时，电场和磁场的振幅将按指数规律________，电场和磁场的相位__________________，波阻抗为______数；相速不仅与媒质参数有关，还与__________有关，这种现象称为__________________。

8. 临界角$\theta_c = \arcsin(\sqrt{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}})$，产生全反射的条件是______________________。

9. 布儒斯特角$\theta_b = \arctan(\sqrt{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}})$，产生全透射的条件是______________________。

10. 横截面尺寸为 a×b 的矩阵波导中能传输________波和________波，其截止频率$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\varepsilon}}\sqrt{(\frac{m\pi}{a})^2 + (\frac{n\pi}{b})^2}$，只有当波的工作频率 f_____________时，这两种波才能传输。

11. 矩形波导的主模是______________，其截止波长$\lambda_c =$_____________。

12. 电偶极子的远区辐射场的振幅与距离 r 成______比，辐射场有方向性，其方向性函数为____________________。

二． 选择填空题（3 选 1，每小题 1 分，共 10 分）

1. 空气（$\varepsilon_1 = \varepsilon_0$）和电介质（$\varepsilon_2 = 4\varepsilon_0$）的分界面是 z=0 的平面。若已知空气中的电场强度$\overline{E_1} = \overline{e_x}2 + \overline{e_z}4$，则电介质中分界面上的电场强度$\overline{E_2}$＝（ ）。

a. $\overline{e_x}2 + \overline{e_z}$ ； b. $\overline{e_x}2 + \overline{e_z}4$ ； c. $\overline{e_x}0.5 + \overline{e_z}$

2.以下三个矢量函数中，只有（ ）才是表示磁感应强度的矢量。

a. $\overline{B_1} = \overline{e_x}ax + \overline{e_y}by$ ； b. $\overline{B_2} = \overline{e_x}ay + \overline{e_y}bx$ ； c. $\overline{B_3} = \overline{e_x}x^2 + \overline{e_y}xy$

3.在导电媒质中，传导电流密度$\overline{J_c}$与位移电流密度$\overline{J_d}$的相位（ ）。

a. 相同 ； b. 相差 45° ； c. 相差 90°

4. 用场矢量的复数形式计算平均坡印廷矢量的正确公式是（ ）。

a. $\overline{S_{av}} = \frac{1}{2}\mathrm{Re}\left[\overline{E} \times \overline{H}\right]$ ； b. $\overline{S_{av}} = \frac{1}{2}\mathrm{Re}\left[\overline{E}^* \times \overline{H}^*\right]$ ； c. $\overline{S_{av}} = \frac{1}{2}\mathrm{Re}\left[\overline{E} \times \overline{H}^*\right]$

5.只有（　　　）才是自由空间均匀平面波的电场的正确表示式。

a. $\overline{E}=\overline{e_x}10\cos(2\pi\times10^8t-2\pi z)$; b. $\overline{E}=\overline{e_x}10\cos(2\pi\times10^8t-\pi z)$

c. $\overline{E}=\overline{e_x}10\cos(2\pi\times10^8t-\frac{2\pi}{3}z)$

6.在良导体中，趋肤深度（或穿透深度）与波的频率以及媒质参数的关系式为（　　　）。

a. $\delta=\pi f\mu\sigma$; b. $\delta=\frac{1}{\sqrt{\pi f\mu\sigma}}$; c. $\delta=\sqrt{\pi f\mu\sigma}$

7.均匀平面波在良导体中传播时，衰减常数α和相位常数β的大小满足（　　　）。

a. $\alpha>>\beta$; b. $\alpha\approx\beta$; c. $\alpha<<\beta$

8.均匀平面波对理想介质分界面垂直入射时，反射系数为（　　　）。

a. $\Gamma=\frac{2\eta_1}{\eta_1+\eta_2}$; b. $\Gamma=\frac{2\eta_2}{\eta_1+\eta_2}$; c. $\Gamma=\frac{\eta_2-\eta_1}{\eta_1+\eta_2}$

9.在矩形波导中，只有当工作波长λ与波系的截止波长λ_c满足关系式（　　　），波才能传播。

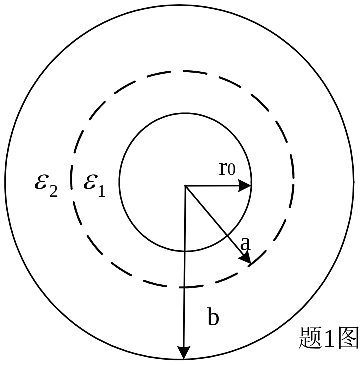
a. $\lambda<\lambda_c$; b. $\lambda>\lambda_c$; c. $\lambda=\lambda_c$

10.在电偶极子的远区，电磁波是（　　　）。

a. 非均匀球面波 ; b. 非均匀平面波 ; c. 均匀平面波

三．计算题（1、2、3、4 为必作题；5、6 任选一题；共 60 分）

1. （12 分）具有两层同轴电介质的圆柱形电容器，内导体半径 r_0 =1cm；内层介质的相对介电常数 $\varepsilon_{r1}=3$，外层介质的相对介电常数 $\varepsilon_{r2}=2$，其横截面如图。为了使两层电介质中的最大电场强度相等，且内、外两层间的电压也相等，试确定两层电介质的厚度。

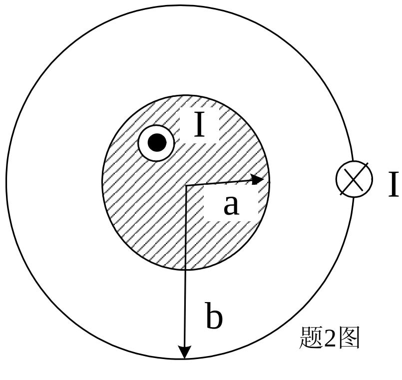


题1图

2. (14 分)同轴线的内导体半径为 a，外导体的内半径为 b（外导体的厚度可忽略不计），材料为金属铜，磁导率为 μ_0；内、外导体之间填充聚乙烯，其磁导率也为 μ_0；设同轴线中的电流为 I，横截面如图。

试求：（1）同轴线内导体中以及内、外导体之间的磁场强度分布；

（2）同轴线单位长度的外自感。



题2图

3.（14 分）在无源的自由空间中，电场强度的表示式为

$$\overline{E}(z,t)=\overline{e_x}1000\cos(1.26\times10^{8}t-kz)\ \text{V/m}$$

（1）写出电场强度的复数表示式 $\overline{E}(z)$；

（2）应用麦克斯韦方程求出与 $\overline{E}(z,t)$ 相应的磁场强度 $\overline{H}(z,t)$；

（3）求平均坡印廷矢量 $\overline{S_{av}}$。

4.（14 分）无源空间中（媒质参数为 $\varepsilon=9\varepsilon_0,\mu=\mu_0,\sigma=0$），已知均匀平面波的电场复数表示式为 $\overline{E}(x)=10(\overline{e_y}+j\overline{e_z})e^{-j25x}$ v/m

（1）确定均匀平面波的传播方向和频率；

（2）求出与 $\overline{E}(x)$ 相应的磁场表示式 $\overline{H}(x)$；

（3）描述该均匀平面波的极化形式；

（4）当该均匀平面波垂直入射到理想导体平面时，求该反射波的电场表示式，并描述其极化特性。

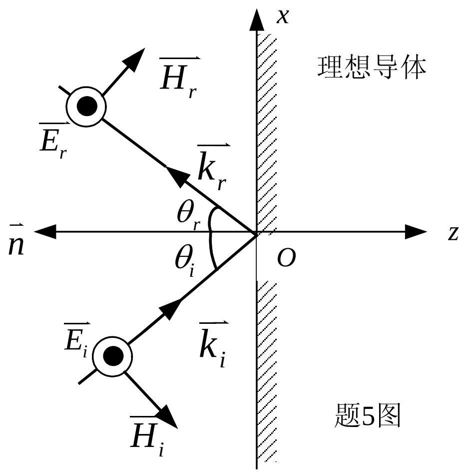
5. (6 分)有一正弦均匀平面波从空气中斜射入到 z=0 的理想导体平面上，如图示。已知入射波的电场为 $\overline{E_i}(x,z)=\overline{e_y}10e^{-j(6x+8z)}$ v/m

（1）求均匀平面波的波长 λ；

（2）求入射角 θ_i；

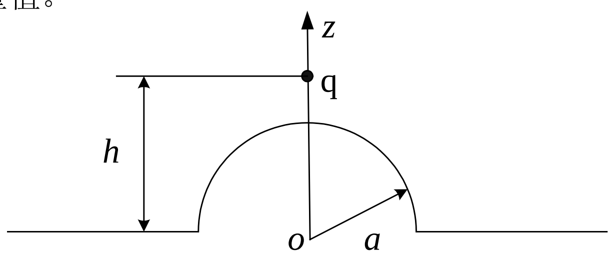
（3）求入射波的磁场 $\overline{H_i}(x,z)$；

（4）求反射波的电场 $\overline{E_r}(x,z)$。



题5图

6.（6 分）在接地的导体平面上有一个半径为 a 的半球形凸起部分，半球的球心在导体平面上，如图示。今在半球对称轴上离球心 h 处放一个点电荷 q，若指定采用镜像法求解上半空间任一点的电位，试绘图标明镜像电荷的位置和量值。



题6图

附录：圆柱坐标系和球坐标系下梯度、散度、旋度和拉普拉斯运算公式

（a）圆柱坐标系

$$\nabla u=\vec{e}_\rho\frac{\partial u}{\partial\rho}+\vec{e}_\varphi\frac{\partial u}{\rho\partial\varphi}+\vec{e}_z\frac{\partial u}{\partial z},\quad \nabla\bullet\vec{A}=\frac{\partial}{\rho\partial\rho}(\rho A_\rho)+\frac{\partial}{\rho\partial\varphi}A_\varphi+\frac{\partial}{\partial z}A_z,$$

$$\nabla\times\vec{A}=\frac{1}{\rho}\begin{vmatrix}\vec{e}_\rho & \rho\vec{e}_\varphi & \vec{e}_z\\ \frac{\partial}{\partial\rho} & \frac{\partial}{\partial\varphi} & \frac{\partial}{\partial z}\\ A_\rho & \rho A_\varphi & A_z\end{vmatrix},\quad \nabla^2 u=\frac{\partial}{\rho\partial\rho}(\rho\frac{\partial u}{\rho})+\frac{\partial^2 u}{\rho^2\partial\varphi^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

（b）球坐标系

$$\nabla u=\vec{e}_r\frac{\partial u}{\partial r}+\vec{e}_\theta\frac{\partial u}{r\partial\theta}+\vec{e}_\varphi\frac{\partial u}{r\sin\theta\,\partial\varphi},\quad \nabla\bullet\vec{A}=\frac{\partial}{r^2\partial r}(r^2A_r)+\frac{\partial}{r\sin\theta\,\partial\theta}(\sin\theta A_\theta)+\frac{\partial}{r\sin\theta\,\partial\varphi}A_\varphi$$

$$\nabla\times\vec{A}=\frac{1}{r^2\sin\theta}\begin{vmatrix}\vec{e}_r & r\vec{e}_\theta & \mathrm{r}\sin\theta\,\vec{e}_\varphi\\ \frac{\partial}{\partial r} & \frac{\partial}{\partial\theta} & \frac{\partial}{\partial\varphi}\\ A_r & rA_\theta & r\sin\theta A_\varphi\end{vmatrix},\quad \nabla^2 u=\frac{\partial}{r^2\partial r}(r^2\frac{\partial u}{r})+\frac{1}{r^2\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}(\sin\theta\frac{\partial u}{\partial\theta})+\frac{1}{r^2\sin^2\theta}\frac{\partial^2 u}{\partial\varphi^2}$$

A卷“计算题”参考答案与评分标准

（12 分）1. 解：设外导体的内半径为 b，内外两层电介质的分界面半径为 a，设内导体上单位长度所带电荷为 ρ_l；利用高斯定理得

（2 分） $$\overline{E_1}=\overline{e_\rho}\frac{\rho_l}{2\pi\varepsilon_1\rho}=\overline{e_\rho}\frac{\rho_l}{2\pi\times3\varepsilon_0\rho}\quad r_0\le\rho\le a$$

（2 分） $$\overline{E_2}=\overline{e_\rho}\frac{\rho_l}{2\pi\varepsilon_2\rho}=\overline{e_\rho}\frac{\rho_l}{2\pi\times2\varepsilon_0\rho}\quad a\le\rho\le b$$

（1 分） 而 $$E_{1\max}\big|_{\rho=r_0}=\frac{\rho_l}{6\pi\varepsilon_0\times10^{-2}}$$

（1 分） $$E_{2\max}\big|_{\rho=a}=\frac{\rho_l}{4\pi\varepsilon_0 a}$$

由 $E_{1\max}=E_{2\max}$， 得 $a=1.5\times10^{-2}m=1.5cm$

内、外两层间的电压分别为

（2 分） $$U_1=\int_{r_0}^{a}\overline{E_1}\cdot\overline{d\rho}=\int_{10^{-2}}^{1.5\times10^{-2}}\frac{\rho_l}{6\pi\varepsilon_0\rho}d\rho=\frac{\rho_l}{6\pi\varepsilon_0}\ln1.5$$

（2 分） $$U_2=\int_{a}^{b}\overline{E_2}\cdot\overline{d\rho}=\int_{1.5\times10^{-2}}^{b}\frac{\rho_l}{4\pi\varepsilon_0\rho}d\rho=\frac{\rho_l}{4\pi\varepsilon_0}\ln\frac{b}{1.5\times10^{-2}}$$

由$U_1=U_2$，求得

$$\ln b=\frac{4\ln1.5+b\ln\left(1.5\times10^{-2}\right)}{6}$$

故$b=1.96\times10^{-2}=1.96cm$

(1 分) 则得：内介质层的厚度＝a－r_0＝1.5-1＝0.5cm

(1 分) 外介质层的厚度＝b－a＝1.96－1.5＝0.46cm

（14 分）2. 解：（1）内导体中的电流密度 $\overline{J}=\overline{e_z}\dfrac{I}{\pi a^2}$ （2 分）

据安培环路定律求得内导体中的电磁场强度为

（2 分） $\overline{H_i}=\overline{e_\phi}\dfrac{I'}{2\pi\rho}=\overline{e_\phi}\dfrac{1}{2\pi\rho}\cdot\dfrac{I}{\pi a^2}\pi\rho^2=\overline{e_\phi}\dfrac{I\rho}{2\pi a^2}\quad 0\le\rho\le a$

内、外导体间的磁场则为

（2 分） $\overline{H_o}=\overline{e_\phi}\dfrac{I}{2\pi\rho}\quad a\le\rho\le b$

（2）穿过轴向为单位长度、宽度为 $d\rho$ 构成的面积元

$\overline{ds}=\overline{e_\phi}1d\rho=\overline{e_\phi}d\rho$ 的磁通为

（2 分） $d\Psi_0=\overline{B_0}\cdot\overline{dS}=\dfrac{\mu_0 I}{2\pi\rho}d\rho$

（4 分） 故 $\Psi_0=\int d\Psi_0=\int_a^b\dfrac{\mu_0 I}{2\pi\rho}d\rho=\dfrac{\mu_0 I}{2\pi}\ln\dfrac{b}{a}$

（2 分） 则 $L_0=\dfrac{\Psi_0}{I}=\dfrac{\mu_0}{2\pi}\ln\dfrac{b}{a}$

（14 分）3. 解 （1）对自由空间， $v=v_0=3\times10^8 m/s$ ，故

（2 分） $k_0=\dfrac{\omega}{v_0}=\dfrac{1.26\times10^8}{3\times10^8}=0.42rad/m$

（2 分） 则 $\overline{E}(z)=\overline{e_x}1000e^{-j0.42z}V/m$

（2）据 $\nabla\times\overline{E}=-j\omega\mu_0\overline{H}$ 得

（4 分）
$$\begin{aligned}\overline{H}(z)&=-\frac{1}{j\omega\mu_0}\nabla\times\overline{E}(z)=-\overline{e_y}\frac{1}{j\omega\mu_0}\frac{\partial E_x}{\partial z}\\&=\overline{e_y}\frac{1000k}{\omega\mu_0}e^{-jkz}=\overline{e_y}\frac{420}{1.26\times10^8\times4\pi\times10^{-7}}e^{-j0.42z}\\&=\overline{e_y}2.65e^{-j0.42z}A/m\end{aligned}$$

（2 分） 故 $\overline{H}(z,t)=\mathrm{Re}[\overline{H}(z)e^{j\omega t}]=\overline{e_y}2.65\cos(1.26\times10^8t-0.42z)\quad A/m$

（4 分） （3） $\overline{S_{av}}=\dfrac{1}{2}\mathrm{Re}[\overline{E}(z)\times\overline{H^*}(z)]=\dfrac{1}{2}\mathrm{Re}[\overline{e_x}1000e^{-j0.42z}\times\overline{e_y}2.65e^{-j0.42z}]=\overline{e_z}1325w/m^2$

（14 分）4. 解：沿+x 轴方向传播 （1 分）

相速 $v=\frac{v_0}{\sqrt{\varepsilon_r}}=\frac{3\times10^8}{\sqrt{9}}=10^8 m/s$

而相位常数 $k=25 rad/m$

（2 分） 故 $\omega=kv=25\times10^8 rad/s$

$$f=\frac{\omega}{2\pi}=\frac{25}{2\pi}\times10^8 Hz$$

（2）据 $\nabla\times\overline{E}=-j\omega\mu_0\overline{H}$ 得

$$\overline{H}(x)=-\frac{1}{j\omega\mu_0}\nabla\times\overline{E}(x)=-\frac{1}{j\omega\mu_0}\begin{vmatrix}\overline{e_x} & \overline{e_y} & \overline{e_z}\\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z}\\ 0 & E_y & E_z\end{vmatrix}=-\frac{1}{j\omega\mu_0}(-\overline{e_y}\frac{\partial E_z}{\partial x}+\overline{e_z}\frac{\partial E_y}{\partial x})$$

（4 分） $$=-\frac{1}{j\omega\mu_0}\{-\overline{e_y}[j10e^{-j25x}(-j25)]+\overline{e_z}\frac{\partial E_y}{\partial x}[j10e^{-j25x}(-j25)]\}$$

$$=\frac{25\times10e^{-j25x}}{j\omega\mu_0}(-j\overline{e_y}+\overline{e_z})=\frac{1}{4\pi}(-j\overline{e_y}+\overline{e_z})e^{-j25x}\quad A/m$$

或 $$\overline{H}(x)=\frac{1}{\eta}\overline{e_x}\times\overline{E}(x)=\frac{1}{\eta/\sqrt{\varepsilon_r}}\overline{e_x}\times10(\overline{e_y}+j\overline{e_z})e^{-j25x}$$

$$=-\frac{10}{40\pi}(-j\overline{e_y}+\overline{e_z})e^{-j25x}=\frac{1}{4\pi}(-j\overline{e_y}+\overline{e_z})e^{-j25x}\quad A/m$$

式中 $$\eta=\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_r\varepsilon_0}}=\sqrt{\frac{\mu_0}{9\varepsilon_0}}=40\pi\quad\Omega$$

（2 分） （3）沿+x 轴方向传播的左旋圆极化波

（4）反射系数 $\Gamma=-1$，故反射波电场为

（3 分） $$\overline{E_r}(x)=-10(\overline{e_y}+j\overline{e_z})e^{j25x}$$

（1 分） 可见，反射波是-x 轴方向传播的右旋圆极化波。

（6 分） 5. 解：（1）入射波的波矢量为

$$\overline{k_i}=\overline{e_i}k_i=(\overline{e_x}\sin\theta_i+\overline{e_z}\cos\theta_i)k_i$$

入射波的相位因子为

$$e^{-j\overline{k_i}\cdot\overline{r}}=e^{-jk_i(\overline{e_x}\sin\theta_i+\overline{e_z}\cos\theta_i)\cdot(\overline{e_x}x+\overline{e_z}z)}=e^{-j(k_i\sin\theta_i x+k_i z\cos\theta_i)}$$

对此题给条件，得 $k_i\sin\theta_i=6$，$k_i\cos\theta_i=8$，故 $k_i=\sqrt{k_x^{\,2}+k_z^{\,2}}=\sqrt{6^2+8^2}=10$

（2 分） 则 $\lambda=\frac{2\pi}{k_i}=\frac{2\pi}{10}=0.628m$

（2）由 $k_{ix}=k_x\sin\theta_i$

（1 分） 得 $\sin\theta_i=\frac{k_{ix}}{k_i}=\frac{6}{10}=0.6$，故 θ_i =36.9°

或 由 $k_{iz}=k_i\cos\theta_i$

得 $\cos\theta_i=\frac{k_{iz}}{k_i}=\frac{8}{10}=0.8$，故 θ_i =36.9°

（1 分） （3）入射波传播方向的单位矢量为

$$\overline{e_i}=\frac{\overline{k_i}}{k}=\frac{\overline{e_x}6+\overline{e_z}8}{10}=0.6\overline{e_x}+0.8\overline{e_z}$$

故 $\overline{H_i}(x,z)=\frac{1}{\eta_0}\overline{e_i}\times\overline{E_i}(x,z)=\frac{1}{120\pi}(-\overline{e_x}8+\overline{e_z}6)e^{-j(6x+8z)}\quad A/m$

（1 分） （4）据斯耐尔反射定律，$\theta_r=\theta_i=36.9°$

而反射波波矢量 $\overline{k_r}=\overline{e_r}k_r=k_r(\overline{e_x}\sin\theta_r-\overline{e_z}\cos\theta_r)=\overline{e_x}6-\overline{e_z}8$

即 $\overline{e_r}=\frac{\overline{k_r}}{k_r}=\frac{\overline{e_x}6-\overline{e_z}8}{10}=\overline{e_x}0.6-\overline{e_z}0.8$

又在理想导体平面上，垂直极化波的反射系数 $\Gamma_\perp=-1$

则 $\overline{E_r}(x,z)=-\overline{e_y}10e^{-j(6x-8z)}\quad V/m$

（6 分）6. 解：综合应用点电荷对接地导体平面和接地导体球面的镜像法，得

（2 分） $q_1^{'}=-\frac{aq}{h}$， $b=\frac{a^2}{h}$

（2 分） $q_2^{'}=-q$

（2 分） $q_3^{'}=-q_1=\frac{aq}{h}$