2020级电磁学基础一（不完整的回忆版-顺序不分先后）

概念题：60分

计算题：40分

简答

一、请写出自由空间内传播的电磁波的至少五条性质。

（1）电磁波是横波．令 $\boldsymbol{k}$ 代表电磁波传播方向的单位矢量，则振动的电场强度矢量 $\boldsymbol{E}$ 和磁场强度矢量 $\boldsymbol{H}$ 都与 $\boldsymbol{k}$ 垂直，即

$$\boldsymbol{E}\perp\boldsymbol{k},\quad \boldsymbol{H}\perp\boldsymbol{k}. \tag{8.33}$$

（2）电场强度矢量与磁场强度矢量垂直，即

$$\boldsymbol{E}\perp\boldsymbol{H}. \tag{8.34}$$

（3）$\boldsymbol{E}$ 和 $\boldsymbol{H}$ 同相位，并且在任何时刻、任何地点，$\boldsymbol{E}$、$\boldsymbol{H}$ 和 $\boldsymbol{k}$ 三个矢量总构成右旋系，即 $\boldsymbol{E}\times\boldsymbol{H}$ 的方向总是沿着传播方向 $\boldsymbol{k}$ 的，如图 8-18 所示．

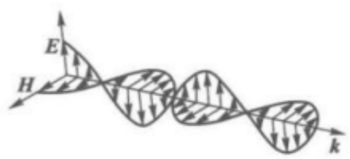


图 8-18　$\boldsymbol{E}$、$\boldsymbol{H}$、$\boldsymbol{k}$ 构成右旋直角坐标系

（4）$\boldsymbol{E}$ 与 $\boldsymbol{H}$ 的幅值成比例，令 E_0 和 H_0 分别代表 $\boldsymbol{E}$ 和 $\boldsymbol{H}$ 的幅值，E_0 和 H_0 的比例关系为

$$\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0}\,E_0=\sqrt{\mu\mu_0}\,H_0. \tag{8.35}$$

（5）电磁波的传播速度为

$$v=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0}}, \tag{8.36}$$

在真空中 $\varepsilon=\mu=1$，电磁波的速度为

$$c=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}. \tag{8.37}$$

二、请写出真空情况下以及在线性均匀介质中的麦克斯韦方程组（同时写出积分形式和微分形式）

1.真空情况（自由空间）

$$\left.\begin{aligned}
&\nabla\cdot\boldsymbol{E}=0, && (\mathrm{I})\\
&\nabla\times\boldsymbol{E}=-\mu\mu_0\frac{\partial\boldsymbol{H}}{\partial t}, && (\mathrm{II})\\
&\nabla\cdot\boldsymbol{H}=0, && (\mathrm{III})\\
&\nabla\times\boldsymbol{H}=\varepsilon\varepsilon_0\frac{\partial\boldsymbol{E}}{\partial t}. && (\mathrm{IV})
\end{aligned}\right\}$$

2.介质情况

$$\left.\begin{aligned}
&\nabla\cdot\boldsymbol{D}=\rho_{e0}, && (\mathrm{I})\\
&\nabla\times\boldsymbol{E}=-\frac{\partial\boldsymbol{B}}{\partial t}, && (\mathrm{II})\\
&\nabla\cdot\boldsymbol{B}=0, && (\mathrm{III})\\
&\nabla\times\boldsymbol{H}=\boldsymbol{j}_0+\frac{\partial\boldsymbol{D}}{\partial t}. && (\mathrm{IV})
\end{aligned}\right\}$$

$$
\left.\begin{aligned}
&\oint\!\!\!\!\oint_S \boldsymbol{D}\cdot \mathrm{d}\boldsymbol{S}=q_0, && (\mathrm{I})\\
&\oint_L \boldsymbol{E}\cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l}=-\iint \frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t}\cdot \mathrm{d}\boldsymbol{S}, && (\mathrm{II})\\
&\oint\!\!\!\!\oint_S \boldsymbol{B}\cdot \mathrm{d}\boldsymbol{S}=0, && (\mathrm{III})\\
&\oint_L \boldsymbol{H}\cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l}=I_0+\iint \frac{\partial \boldsymbol{D}}{\partial t}\cdot \mathrm{d}\boldsymbol{S}. && (\mathrm{IV})
\end{aligned}\right\}
$$

三、请写出磁性介质的分类及其特点

首先，磁矩大体分为两种，一种是轨道磁矩，一种是自旋磁矩。

下面我们简单介绍一下物质的顺磁性和抗磁性的微观机制．为此我们先看一下分子磁矩 $\boldsymbol{m}_{分子}$ 的来源．近代科学实践证明：电子在原子或分子中的运动包括轨道运动和自旋两部分．绕原

子核轨道旋转运动的电子相当于一个电流环，从而有一定的磁矩，称为轨道磁矩．与电子自旋运动相联系的还有一定的自旋磁矩．由于电子带负电，其磁矩 $\boldsymbol{m}$ 和角速度 $\boldsymbol{\omega}$ 的方向总是相反的（参看图 6-20）．$\boldsymbol{m}$ 与 $\boldsymbol{\omega}$ 的关系可如下求得：设电子以半径 r、角速度 $\boldsymbol{\omega}$ 做圆周运动，则它每经过时间 $T=\dfrac{2\pi}{\omega}$ 绕行一周．若把它看成一个环行电流，则电流强度 $I=-\dfrac{e}{T}=-\dfrac{e\omega}{2\pi}$，面积 $S=\pi r^2$，于是

$$
\boldsymbol{m}=IS\boldsymbol{e}_n=-\frac{er^2}{2}\boldsymbol{\omega}. \qquad (6.60)
$$

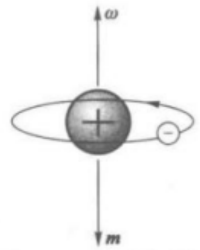


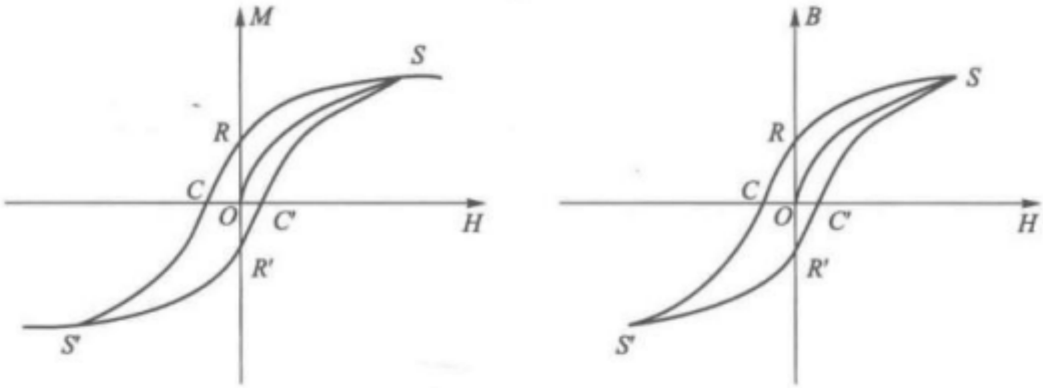
图 6-20　电子的磁矩与角动量方向相反

总体而言，根据磁化率的正负，分为顺磁质和抗磁质。

在顺磁性物质中，分子具有固有磁矩。没有外磁场时，由于热运动，各个分子磁矩的取向无规，在每个宏观体积元内的总磁矩为0，介质处于未磁化状态。在外磁场中，每个磁矩在一定程度上沿着外场方向排列起来，这就是顺磁效应的来源。而热运动对磁矩排列起干扰作用，故温度愈高，顺磁效应越弱，也就是说磁化率随着温度升高而减小。

抗磁效应来自于外部磁场造成的轨道角速度的减小，而电子角速度的减小将造成轨道磁矩的减小，从而导致附加的感生磁矩总与外磁场的方向相反。每个电子的感生磁矩都与外磁场方向相反，从而整个分子内将产生与外磁场方向相反的感生磁矩。——需要注意，抗磁效应同样存在于有固有磁矩的顺磁质分子中，只不过一般来说顺磁效应会掩盖住抗磁效应。

——还有一种特殊的，磁性很强的磁介质——铁磁质，它的磁化关系不是线性的，而需要通过磁滞回线来描述



(a)　　　　　　　　　　　　　　　　(b)

铁磁质分为软磁材料和硬磁材料，对于软磁材料而言，在电流切断后没有剩磁；对于硬磁材料而言，在外加的磁化场退去后仍然有剩余磁化强度。

四、关于分子环流的估算题

利用安培环路定理，原子数密度，铁的质量密度，估算铁原子所带的单位磁矩（记忆不详）

五，带电与不带电的的静电屏蔽的讨论

1.内部无电荷

（1）基本性质

当导体壳内没有其他带电体时，在静电平衡下：①导体壳的内表面上处处没有电荷，电荷只能分布在外表面；②空腔内没有电场，或者说，空腔内的电势处处相等.

为了证明上述结论，我们在导体壳内、外表面之间取一闭合曲面 S，将空腔包围起来（图 2-9）. 由于闭合面 S 完全处于导体内部，根据平衡条件，其上场强处处为 0，因此没有电场强度通量穿过它. 按照高斯定理，在 S 内部（即导体壳的内表面上）电荷的代数和为 0.

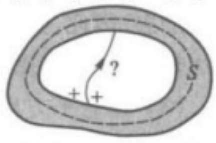


图 2-9　证明导体空腔的性质

我们还需进一步证明，在导体壳的内表面上不仅电荷的代数和为 0，而且各处的电荷面密度 σ_e 也为 0. 利用反证法，假定内表面上 σ_e 并不处处为 0，由于电荷的代数和为 0，必然有些地方 $\sigma_e>0$，有些地方 $\sigma_e<0$，按照 2.1.2 节中的分析，$\sigma_e>0$ 的地方 $E_n>0$，$\sigma_e<0$ 的地方 $E_n<0$（这里法线矢量 $\boldsymbol{e}_n$ 是由壳内壁指向腔内的）. 在 §1.3 里我们曾经论证，电场线只能从正电荷出发，到负电荷终止，不能在没有电荷的地方中断. 按照我们的前提，空腔中没有电荷，所以从内表面 $\sigma_e>0$ 的地方发出的电场线，不会在腔内中断，只能终止在表面上某个 $\sigma_e<0$ 的地方. 如果存在这样一根电场线，电场沿此电场线的积分必不为 0. 也就是说，这电场线的两个端点之间有电势差. 但这根电场线的两端都在同一导体上，静电平衡要求这两点的电势相等. 因此上述结论与平衡条件相违背. 由此可见，达到静电平衡时，导体壳内表面上 σ_e 必须处处为 0.

下面证明腔内没有电场. 由于内表面附近 $E_n=\dfrac{\sigma_e}{\varepsilon_0}=0$，且电场线既不可能起、止于内表面，又不可能在腔内有端点或形成闭合线. 所以腔内不可能有电场线和电场. 没有电场就没有电势差，故腔内空间各点的电势处处相等.

2.内部有电荷

2.1.4 导体壳(腔内有带电体的情形)

(1) 基本性质

当导体壳腔内有其他带电体时,在静电平衡状态下,导体壳的内表面所带电荷与腔内电荷的代数和为0.例如腔内有一物体带电荷 q,则内表面带电荷 $-q$.

证明:如图2-15,在导体壳内、外表面之间作一高斯面 S(图中虚线),由于高斯面处在导体内部,在静电平衡时场强处处为0,所以通过 S 的电场强度通量为0.根据高斯定理,S 内 $\sum q=0$,

所以如果导体壳内有一带电体 q,则内表面必定带电荷 $-q$.

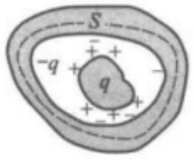


图 2-15 导体腔内有带电体时的性质

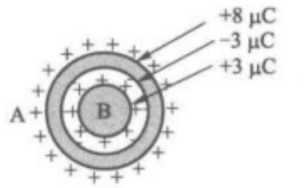


图 2-16 例题—同心导体球各表面上电荷的分配

六、平行板的导体和介质的问题

主要在让算电荷固定和电压固定这两种不同的情况,记忆不详。

计算

一、电势和电场强度计算(记忆不详)

计算均匀带电和不均匀带电(给出电荷分布)的半环形线在其圆心处的电势和电场。

二、交流电路的计算(并不复杂,只有串并联),用复数法或者矢量图法计算出电路的某两端口之间的复阻抗及其共振频率(阻抗极小时某些元件(电容,电感,电阻)参数满足的关系)

三、电磁感应计算

计算圆形导线中一段的感生电动势和电流,用到的技巧是连接圆心和圆上一点的导线中感生电动势为0(涡旋电场和这段导线垂直),从而构造出辅助的电路。

四、忘记了,总共是四道计算题。