《大学物理(下)》期末复习提要

第九章　静电场

1．电场强度

（1）库仑定律： $\vec{F}=\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{q_1q_2}{r^2}\vec{e}_r$　　其中 $\vec{e}_r=\vec{r}/r$　$\varepsilon_0=8.85\times10^{-12}\ \mathrm{C^2\cdot N^{-1}\cdot m^{-2}}$

（2）电场强度定义： $\vec{E}=\dfrac{\vec{F}}{q_0}$

（3）点电荷的电场强度：$\vec{E}=\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Q}{r^2}\vec{e}_r$

（4）电场强度通量：

任意曲面　　$\Phi_\mathrm{e}=\int_S\vec{E}\cdot\mathrm{d}\vec{S}=\int_S E\mathrm{d}S\cos\theta$　（θ：曲面 $\vec{S}$ 单位法线矢量与 $\vec{E}$ 的夹角）

闭合曲面　　$\Phi_\mathrm{e}=\oint_S\vec{E}\cdot\mathrm{d}\vec{S}=\oint_S E\mathrm{d}S\cos\theta$　（$\vec{S}$ 的方向取外法线方向）

（5）高斯定理：　$\Phi_\mathrm{e}=\oint_S\vec{E}\cdot\mathrm{d}\vec{S}=\dfrac{1}{\varepsilon_0}\sum q$　（表明电场为有源场）

（6）电场强度计算

① 电场强度叠加原理：

点电荷系：$\vec{E}=\sum_{i=1}^{n}\vec{E}_i=\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{i=1}^{n}\dfrac{Q_i}{r_i^2}\vec{e}_i$（直角坐标系下，将 $\vec{E}_i$ 分解再解析求矢量和）

连续带电体：　$\mathrm{d}\vec{E}=\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{\mathrm{d}q}{r^2}\vec{e}_r$　　$\mathrm{d}q=\begin{cases}\lambda\mathrm{d}l & \text{线电荷}\\ \sigma\mathrm{d}s & \text{面电荷}\\ \rho\mathrm{d}v & \text{体电荷}\end{cases}$

$$\vec{E}=\int\mathrm{d}\vec{E}=\int\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\mathrm{d}q}{r^2}\vec{e}_r\qquad E_x=\int\mathrm{d}E_x\qquad E_y=\int\mathrm{d}E_y\qquad E_z=\int\mathrm{d}E_z$$

② 高斯定理（带电体具有高度对称性）

$\oint_S\vec{E}\cdot\mathrm{d}\vec{S}=E\cdot4\pi r^2=\dfrac{\sum q_i}{\varepsilon_0}$　电荷分布具有球对称性，作球面为高斯面

$\oint_S\vec{E}\cdot\mathrm{d}\vec{S}=E\cdot2\pi rh=\dfrac{\sum q_i}{\varepsilon_0}$　电荷分布具有柱面对称性，作圆柱面为高斯面

△ 一些带电体电场的电场强度分布：

均匀带电球壳： $E=\begin{cases}0 & r<R \\ \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} & r\ge R\end{cases}$ 方向：沿径矢方向

无限长均匀带电直导线： $E=\dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$ 方向：沿垂直于直线的径矢方向

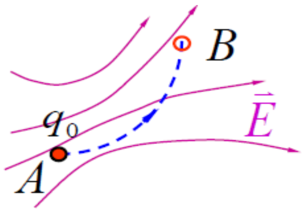
无限大均匀带电平面： $E=\sigma/2\varepsilon_0$ 方向：垂直于平面

2. 电势

（1）环路定理 $\oint_l \vec{E}\cdot d\vec{l}=0$ （静电场为保守场，静电力为保守力）

（2）电势定义： $V_A=\dfrac{E_{pA}}{q_0}$ $V_A=\int_{r_A}^{r_0}\vec{E}\cdot d\vec{l}$ r_0：电势零点

电势能 $E_{pA}=q_0V_A$



（3）电势差： $U_{AB}=\int_{r_A}^{r_B}\vec{E}\cdot d\vec{l}=V_A-V_B$

（4）电场力做功： $W_{AB}=q_0\int_{AB}\vec{E}\cdot d\vec{l}=q_0U_{AB}=q_0(V_A-V_B)=E_{pA}-E_{pB}$

（5）点电荷电势： $V=\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Q}{r}$ （$V_\infty=0$）

（6）电势计算：

① 电势叠加原理：

点电荷系： $V=\sum_{i=1}^{n}V_i=\sum_{i=1}^{n}\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Q_i}{r_i}$

连续带电体： $dV=\dfrac{dq}{4\pi\varepsilon_0 r}$ $V=\int dV=\int\dfrac{dq}{4\pi\varepsilon_0 r}$

② 定义法 $V=\int_r^{r_0}\vec{E}\cdot d\vec{l}$

△ 均匀带电球壳电势：

$$V=\begin{cases}\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 R} & r<R \\ \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r} & r\ge R\end{cases}$$

R：为球壳半径

第十章 静电场中的导体

1．静电平衡

（1）电场强度条件：

①导体内部 $\vec{E}=0$

②导体表面 $\vec{E}$ 的方向：垂直于导体表面；大小：$E=\dfrac{\sigma}{\varepsilon_0}$

（2）电势条件：导体是一等势体，导体表面是一等势面。

（3）电荷分布： 导体内部无净电荷，导体所带电荷只能分布在导体表面，电荷面密度与导体表面的曲率半径成反比。

2．电容

（1）孤立导体电容： $C=\dfrac{Q}{V}$

（2）电容器电容： $C=\dfrac{Q}{U}$ $U=\int_{+}^{-}\vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{l}$ △ 平行板电容器电容：$C=\varepsilon_0\dfrac{S}{d}$

（3）电容器的串并联：

串联：$\dfrac{1}{C}=\dfrac{1}{C_1}+\dfrac{1}{C_2}+\ldots+\dfrac{1}{C_n}$ 特点：各电容器电荷相等，总电压等于各电容器电压之和

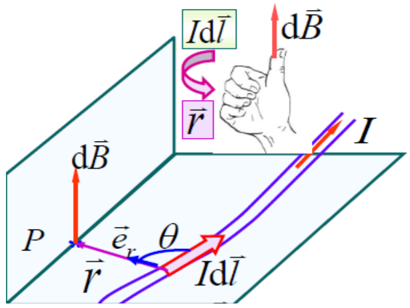
并联：$C=C_1+C_2+\ldots C_n$ 特点：各电容器电压相等，总电荷等于各电容器电荷之和

（4）电容器储存电能：$W_e=\dfrac{1}{2}UQ=\dfrac{1}{2}\dfrac{Q^2}{C}=\dfrac{1}{2}CU^2$

3. 静电场的能量

能量密度：$w_e=\dfrac{1}{2}\varepsilon_0E^2$ 总能量：$W_e=\int_V w_e\mathrm{d}V=\int_V\dfrac{1}{2}\varepsilon_0E^2\mathrm{d}V$

第十一章 稳恒磁场



1． 毕奥-萨伐尔定律

$$\mathrm{d}\vec{B}=\frac{\mu_0 I\mathrm{d}\vec{l}}{4\pi r^2}\times\vec{e}_r \qquad \vec{e}_r=\vec{r}/r \qquad \mu_0=4\pi\times10^{-7}\,\mathbf{N}\cdot\mathbf{A}^{-2}$$

大小： $\mathrm{d}B=\dfrac{\mu_0 I\mathrm{d}l}{4\pi r^2}\sin\theta$ 方向：$Id\vec{l}\times\vec{r}$ （右手螺旋）

$$\vec{B}=\int\mathrm{d}\vec{B} \qquad B_x=\int\mathrm{d}B_x \qquad B_y=\int\mathrm{d}B_y \qquad B_z=\int\mathrm{d}B_z$$

△一些典型的载流导线产生的磁场的磁感强度

①有限长载流直导线： $B=\frac{\mu_0 I}{4\pi r_0}(\cos\theta_1-\cos\theta_2)$ 方向：右手螺旋

θ_1：电流始端到场点连线与电流正向之间的夹角

θ_2：电流末端到场点连线与电流正向之间的夹角

② 无限长载流直导线： $B=\frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ ③半无限长端点处： $B=\frac{\mu_0 I}{4\pi r}$

④直导线延长线上一点： $B=0$

⑤载流圆环圆心处： $B=\frac{\mu_0 I}{2R}$ 方向：右手螺旋

⑥载流圆弧圆心处： $B=\frac{\mu_0 I}{2R}\cdot\frac{l_{弧}}{l_{圆}}=\frac{\mu_0 I}{2R}\cdot\frac{\theta}{2\pi}$ θ：为弧长对应的圆心角

⑦无限长长直密绕螺线管： $B=\mu_0 nI$ n：单位长度的匝数

△多段载流导线： 磁场叠加 $\vec{B}=\sum\vec{B}_i$

2． 磁场的高斯定理

$$\oint_S \vec{B}\cdot\mathrm{d}\vec{S}=0$$ （磁场为无源场）

磁通量 $\Phi_m=\int_s\vec{B}\cdot\mathrm{d}\vec{S}=\int_s B\mathrm{d}S\cos\theta$ （θ：曲面 $\vec{S}$ 单位法线矢量与 $\vec{B}$ 的夹角）

3． 安培环路定理

$$\oint_l \vec{B}\cdot\mathrm{d}\vec{l}=\mu_0\sum I_i$$ 电流与回路绕行方向成右手螺旋关系，电流取正，反之取负。

△电流分布在无限长圆柱体圆柱面上时，取积分回路为圆周，由安培环路定理计算磁感强度

$$\oint_l \vec{B}\cdot\mathrm{d}\vec{l}=B\cdot 2\pi r=\mu_0\sum I_i$$

4．磁力

（1）洛伦兹力 $\vec{F}_{\mathbf{m}}=q(\vec{v}\times\vec{B})$

大小： $F_{\mathbf{m}}=qvB\sin\theta$ 方向： 正电荷 $\vec{v}\times\vec{B}$ 的方向； 负电荷 与 $\vec{v}\times\vec{B}$ 的方向相反

△运动电荷在均匀磁场中的运动

① $\vec{v}\parallel\vec{B}$：匀速直线运动

② $\vec{v}\perp\vec{B}$：匀速圆周运动

$qvB=m\dfrac{v^2}{R}\rightarrow$ 回旋半径：$R=\dfrac{mv}{qB}$　　回旋周期 ：$T=\dfrac{2\pi R}{v}=\dfrac{2\pi m}{qB}$

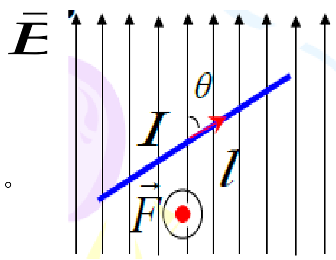
③ $\vec{v}$ 与 $\vec{B}$ 成任一夹角 θ：螺旋运动

（2）安培力

安培定律：　$\mathbf{d}\vec{F}=\boldsymbol{I}\mathbf{d}\vec{l}\times\vec{B}$

大小：　$\mathrm{d}F=I\mathrm{d}lB\sin\theta$　方向：$\boldsymbol{I}\mathbf{d}\vec{l}\times\vec{B}$ 的方向（右手螺旋）　　$\vec{F}=\int_l \mathbf{d}\vec{F}$

△均匀磁场中，任意载流导线的安培力



大小：　$F=BIl\sin\theta$　方向：电流 $\times\vec{B}$　（右手螺旋）

θ：电流或等效电流与 $\vec{B}$ 的夹角　　l：直导线或任意载流导线始末端点的长度。

第十二章　电磁感应

1. 法拉第电磁感应定律

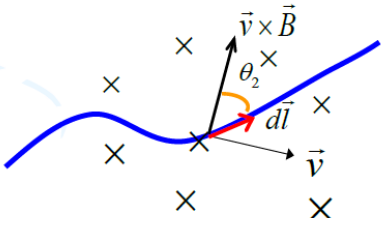
$$\varepsilon_{\mathrm{i}}=-N\frac{\mathrm{d}\Phi_m}{\mathrm{d}t}=-\frac{\mathrm{d}\psi}{\mathrm{d}t}$$

磁链（总磁通量）：$\psi=N\Phi_m$　感应电流：　$i_R=\dfrac{\varepsilon_{\mathrm{i}}}{R}$　　感应电荷：$q_i=\dfrac{|\psi_2-\psi_1|}{R}$

2. 楞次定律

感应电流产生的磁场，总是要阻碍引起感应电流磁场的磁通量的变化（判断感应电流或感应电动势的方向）

3. 动生电动势　　（洛伦兹力提供非静电力）



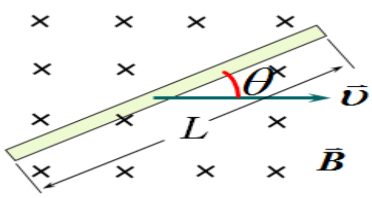
$$d\varepsilon_{\mathrm{i}}=(\vec{v}\times\vec{B})\cdot\mathrm{d}\vec{l}=vB\sin\theta_1\mathrm{d}l\cos\theta_2$$

$$\varepsilon_i=\int_l\mathrm{d}\varepsilon_{\mathrm{i}}=\int_l(\vec{v}\times\vec{B})\cdot\mathrm{d}\vec{l}=\int_l vB\sin\theta_1\mathrm{d}l\cos\theta_2$$

θ_1：$\vec{v}$ 与 $\vec{B}$ 的夹角 ；　θ_2：$\vec{v}\times\vec{B}$ 与 $\mathrm{d}\vec{l}$ 的夹角

方向：沿着 $\vec{v}\times\vec{B}$ 的方向或由 ε_i 计算的正负判断，并且由电势低的地方指向电势高的地方。

△均匀磁场中，直导线平动切割磁力线　$\varepsilon_i=BvL\sin\theta$



4. **感生电动势** （由感生电场引起）

$$\varepsilon_{\mathrm{i}}=\oint_L \vec{E}_{\mathrm{k}}\cdot \mathrm{d}\vec{l}=-\frac{\mathrm{d}\Phi_m}{\mathrm{d}t}=-\int_S\frac{\mathrm{d}\vec{B}}{\mathrm{d}t}\cdot\mathrm{d}\vec{s}$$

$\vec{E}_{\mathrm{k}}$：感生电场，为非保守场

方向：规定回路的绕行方向（与面积的单位法线矢量成右手螺旋关系）由 ε_i 计算的正负判断，$\varepsilon_i>0$ 与回路的绕行方向相同，$\varepsilon_i<0$ 与回路的绕行方向相反或由楞次定律判断。

5. 自感与互感

（1）自感

自感系数：$L=\dfrac{\psi}{I}$ 自感电动势：$\varepsilon_L=-L\dfrac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t}$

△ 长直密绕螺线管 $L=\mu_0 n^2 V$

（2） 互感

互感系数：$M=\dfrac{\psi_{21}}{I_1}=\dfrac{\psi_{12}}{I_2}$ 互感电动势：$\varepsilon_{12}=-M\dfrac{\mathrm{d}I_2}{\mathrm{d}t}$ $\varepsilon_{21}=-M\dfrac{\mathrm{d}I_1}{\mathrm{d}t}$

6. 磁场的能量

（1）载流线圈存储的磁能： $W_{\mathrm{m}}=\dfrac{1}{2}LI^2$

（2）磁场的能量密度： $w_{\mathrm{m}}=\dfrac{B^2}{2\mu_0}$ 磁场能量： $W_{\mathrm{m}}=\int_V w_{\mathrm{m}}\mathrm{d}V$

第十三章 狭义相对论

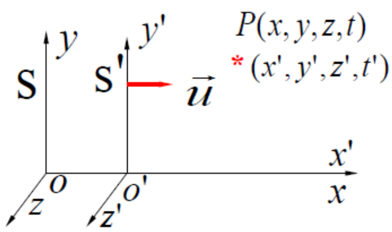
1. 狭义相对论基本原理

（1）相对性原理 ：物理定律在所有的惯性系中都具有相同的表达形式 。

（2）光速不变原理：真空中的光速是常量，它与光源或观察者的运动无关，即不依赖于惯性系的选择。

2. 洛伦兹变换

$$x'=\frac{x-ut}{\sqrt{1-\left(\frac{u}{c}\right)^2}}\ ;\ y'=y\ ;\ z'=z\ ;\ t'=\frac{t-\frac{u}{c^2}x}{\sqrt{1-\left(\frac{u}{c}\right)^2}}$$



逆变换：

$$x=\frac{x'+ut'}{\sqrt{1-\left(\frac{u}{c}\right)^2}}\quad;\quad y'=y\quad;\quad z'=z\quad;\quad t=\frac{t'+\frac{u}{c^2}x'}{\sqrt{1-\left(\frac{u}{c}\right)^2}}$$

3. 狭义相对论时空观

（1）同时具有相对性：某一惯性系中同时不同地发生的两个事件，在另一与之相对运动的惯性系中不同时发生；某一惯性系中同时同地发生的两个事件，在其他惯性系也同时发生。

（2）时间延缓（动钟变慢）

$$\tau=\frac{\tau_0}{\sqrt{1-\left(\frac{u}{c}\right)^2}}$$ τ_0：固有时间

（3）长度收缩（动尺变短）

$$l=l_0\sqrt{1-\left(\frac{u}{c}\right)^2}$$ l_0：固有长度

4. 相对论力学量

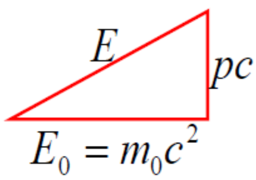
（1）相对论质量： $m=\dfrac{m_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}$ m_0：静止质量

（2）相对论动量： $\vec{p}=m\vec{v}=\dfrac{m_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}\vec{v}$

（3）相对论能量： $E=mc^2$ $\Delta E=(\Delta m)c^2$ 静能： $E_0=m_0c^2$

（4）相对论动能： $E_k=mc^2-m_0c^2=E-E_0$

（5）动量能量关系：$E^2=E_0^2+p^2c^2$ 光子： $m_0=0$ $E=pc$



第十四章 量子物理

1. 黑体辐射

（1）黑体：能够吸收一切外来电磁辐射的物体。黑体往外辐射能力也最强，且与温度有关。

（2）普朗克假设： $\varepsilon=nh\nu$ $(n=1,2,3,\cdots)$ 普朗克常数 $h=6.63\times10^{-34}\,\mathbf{J\cdot s}$

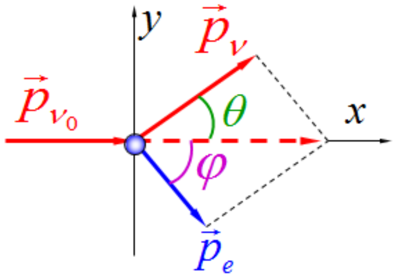
2. 光电效应

（1）爱因斯坦方程：$h\nu=\frac{1}{2}m_e v_m^2+W$

截止电压U_c：$eU_c=E_{k\max}=\frac{1}{2}m_e v_m^2$；　　逸出功$W=h\nu_0$；　　红限频率$\nu_0=\frac{W}{h}$

（2）光的波粒二象性：　$E=h\nu$；　　$p=\frac{h}{\lambda}$　　　（$c=\lambda\nu$）

3. 康普顿效应



（1）能量守恒：$h\nu_0+m_{e0}c^2=h\nu+m_ec^2$

反冲电子动能　$E_k=m_ec^2-m_{e0}c^2=h(\nu_0-\nu)$

（2）动量守恒：$\vec{p}_{\nu_0}=\vec{p}_e+\vec{p}_\nu$　　（用几何运算讨论）

（3）康普顿公式：　散射光子波长变化$\Delta\lambda=\lambda-\lambda_0=\frac{h}{m_{e0}c}(1-\cos\theta)=\lambda_c(1-\cos\theta)$

康普顿波长　$\lambda_c=\frac{h}{m_{e0}c}=2.43\times10^{-12}\,\mathrm{m}=2.43\times10^{-3}\,\mathrm{nm}$

4. 氢原子的波尔模型

（1）角动量量子化：　$L_n=mv_nr_n=n\frac{h}{2\pi}=n\hbar$　　$n=1,2,3,\cdots$

（2）轨道半径量子化：$r_n=a_0n^2$　a_0：波尔半径

（3）能级量子化：$E_n=\frac{E_1}{n^2}$　　$n=1,2,3$；　基态能量$E_1=-13.6\mathrm{eV}$

△ n=1 基态，n=2 第一激发态，n=3 第二激发态……；电离能$\Delta E=E_\infty-E_n=-E_n$

（4）能级跃迁：　$h\nu_{nk}=|E_n-E_k|$

里德伯公式　$\sigma_{nk}=\frac{1}{\lambda}=R_H(\frac{1}{k^2}-\frac{1}{n^2})$，　$n>k$。R_H：里德伯常数；$k=2$时巴尔末系。

5. 实物粒子的波粒二象性　　　$E=h\nu$　；　$p=\frac{h}{\lambda}$

德布罗意波长计算：　$\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{mv}=\frac{h}{m_0v}\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}=\frac{hc}{\sqrt{E_k^2+2E_kE_0}}$

非相对论情况$v\ll c$时，$\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{m_0v}=\frac{h}{\sqrt{2m_0E_k}}$

6. 不确定关系　　　$\Delta x\Delta p_x\geq h$