静电场

一 电场 电场强度

✓ 库仑定律

$$\boldsymbol{F}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qq_0}{r^2}\boldsymbol{r}_0$$

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

✓ 场强叠加原理

$$\boldsymbol{E}=\boldsymbol{E}_1+\boldsymbol{E}_2+\quad+\boldsymbol{E}_n=\sum_{n=1}^{n}\boldsymbol{E}_n$$

✓ 场强的计算

点电荷的电场

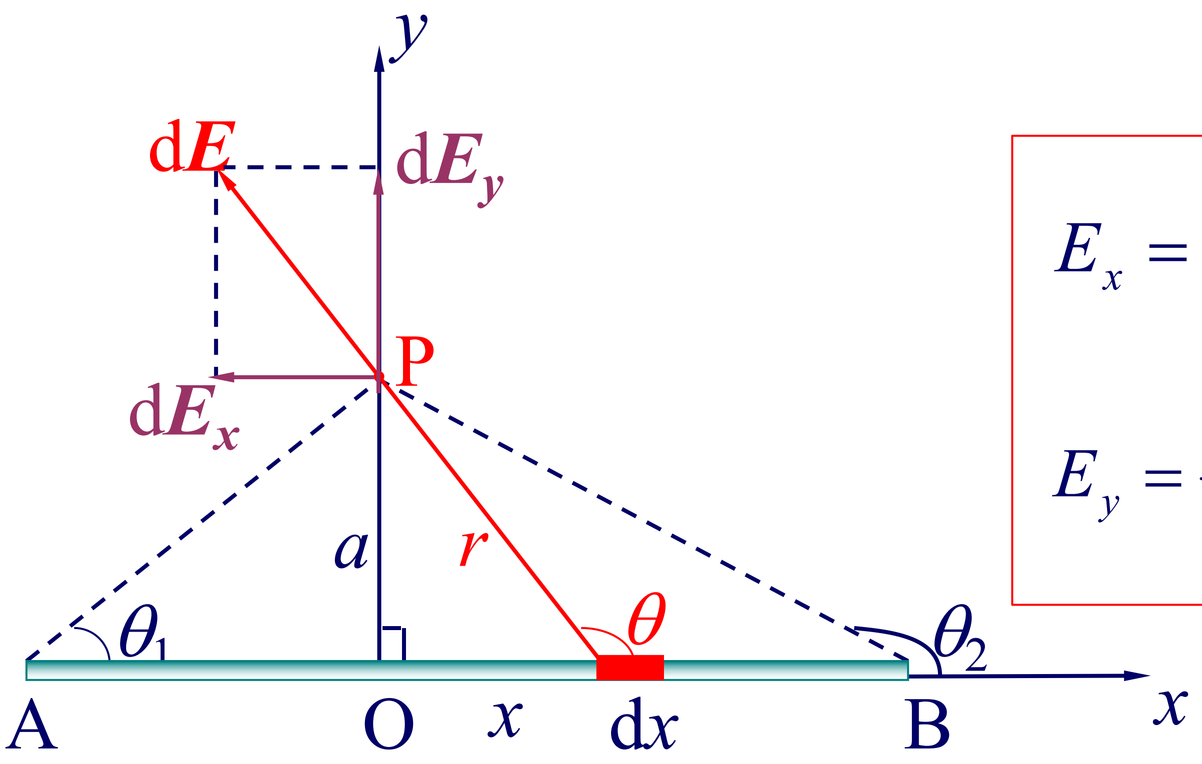
$$\boldsymbol{E}=\frac{\boldsymbol{F}}{q_0}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}\boldsymbol{r}_0$$

点电荷系的电场

$$\boldsymbol{E}=\sum_{i=1}^{n}\boldsymbol{E}_i=\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_i}{r_i^2}\boldsymbol{r}_{i0}$$

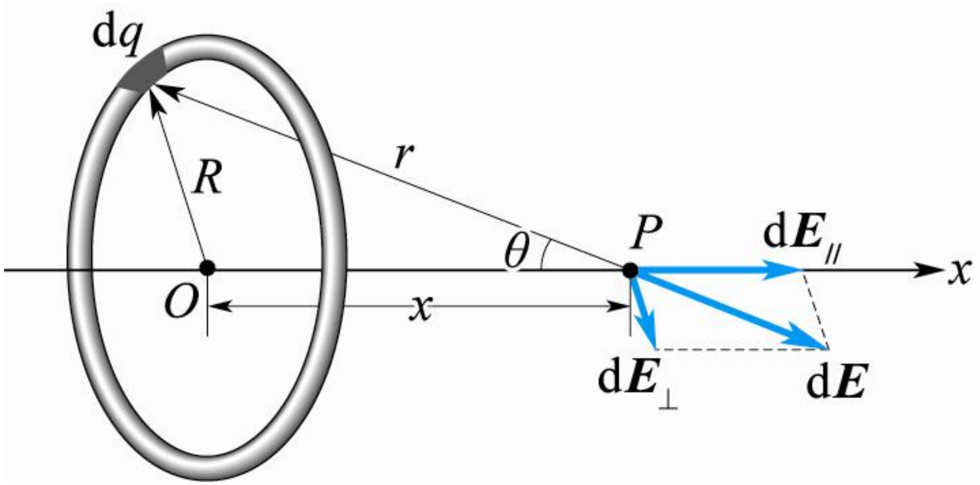
电荷连续分布的带电体的电场

$$E=\int_V \mathrm{d}E=\int_V \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\mathrm{d}q}{r^2}r_0$$

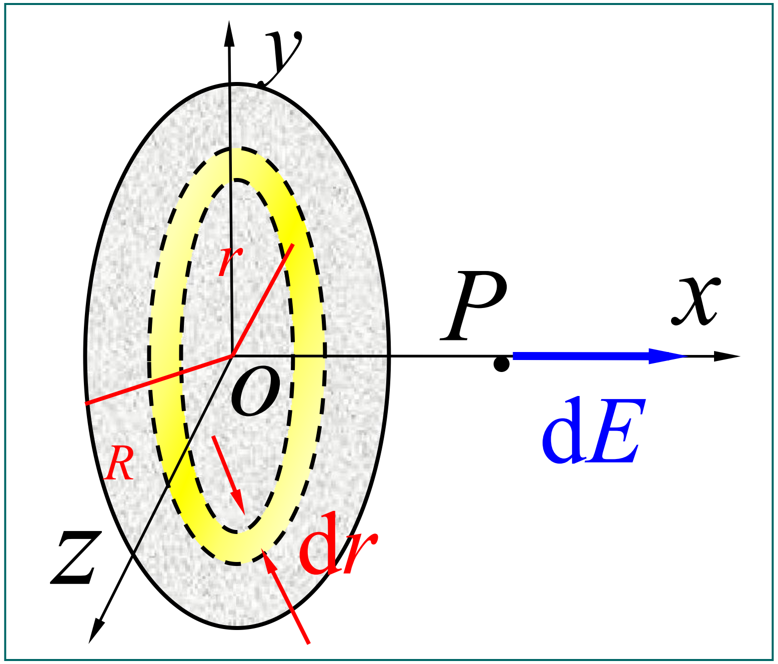


$$E_x=\frac{\lambda}{4\pi\varepsilon_0 a}\left(\sin\theta_2-\sin\theta_1\right)$$

$$E_y=\frac{\lambda}{4\pi\varepsilon_0 a}\left(\cos\theta_1-\cos\theta_2\right)$$



$$E=\frac{qx}{4\pi\varepsilon_0(x^2+R^2)^{3/2}}$$



$$E=\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\left[1-\frac{x}{(x^2+R^2)^{1/2}}\right]$$

二 电通量 高斯定理

✓ S 为封闭曲面时 $$\Phi_{\mathrm{e}} = \oint_{S} \boldsymbol{E} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{S}$$

✓ 高斯定理 $$\Phi_{\mathrm{e}} = \oint_{\mathrm{S}} \boldsymbol{E} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{S} = \sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{n}} \oint_{\mathrm{S}} \boldsymbol{E}_i \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{S} = \frac{\sum q_i}{\varepsilon_0}$$

求对称性源电荷分布的场强：

带电体的电荷（场强）分布要具有高度的对称性：

常见的高对称性电荷分布有：

（1）球对称性：→ 选同心球面为高斯面

均匀带电的球体、球面和点电荷

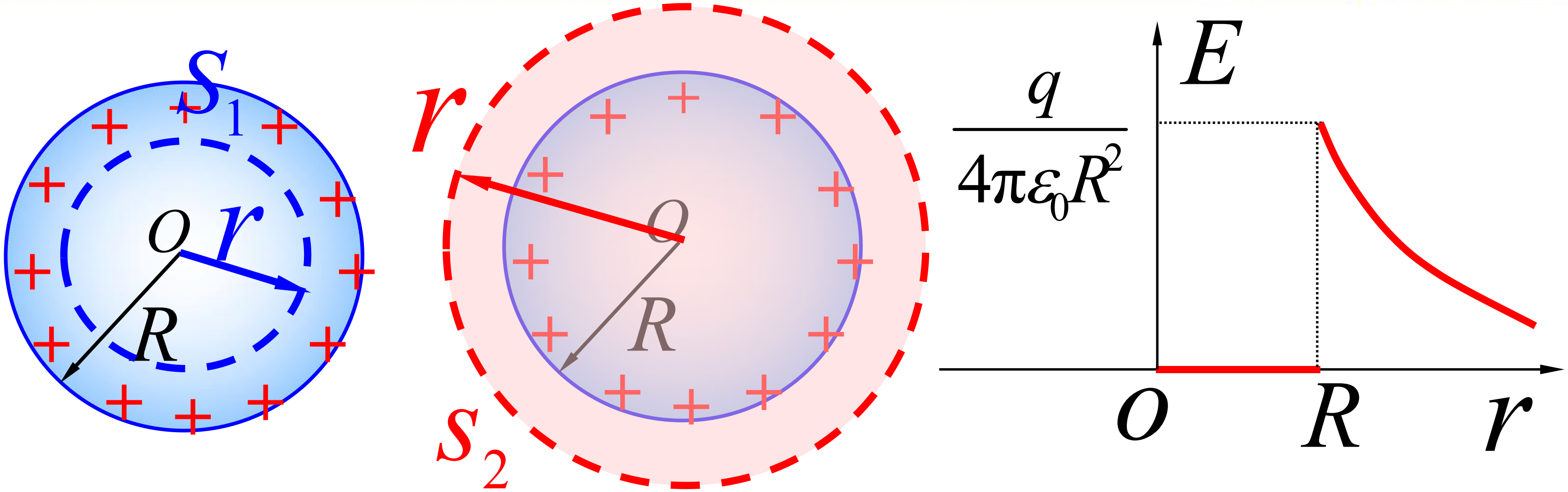
（2）柱对称性：→ 选同轴封闭圆柱面为高斯面 $\Phi_{侧面}$

均匀带电的无限长的柱体、柱面和带电直线

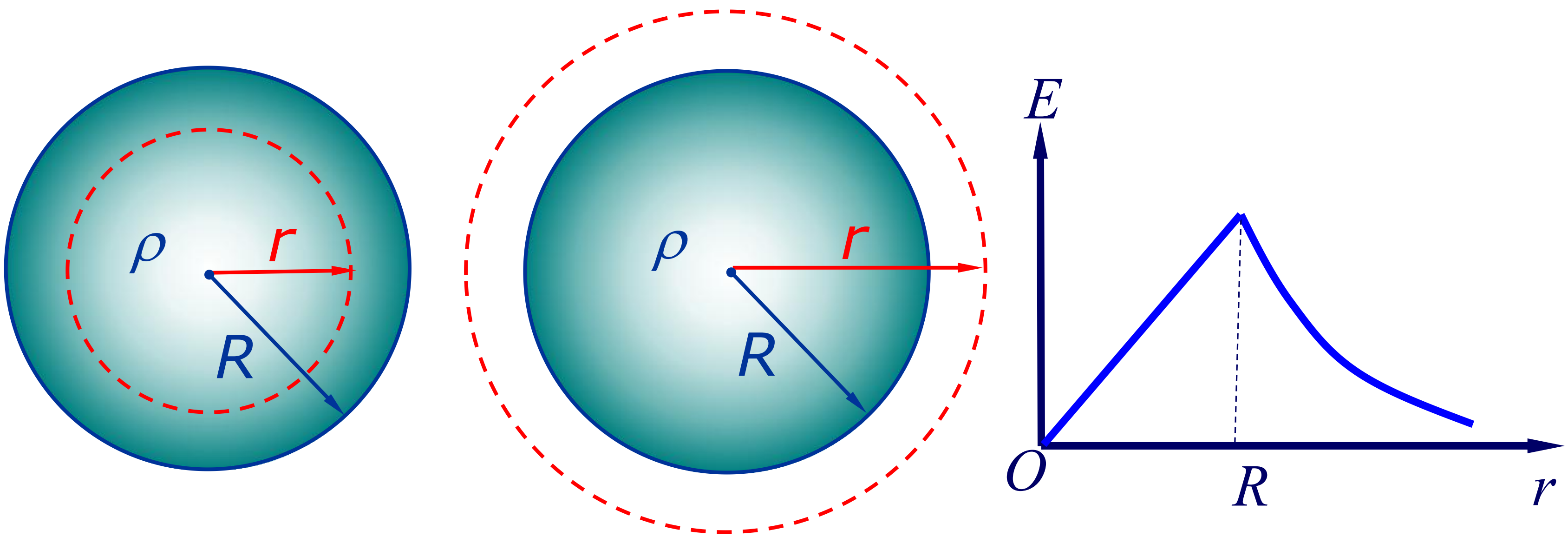
（3）平面对称性：→ 垂直的封闭圆柱面为高斯面 $\Phi_{底面}$

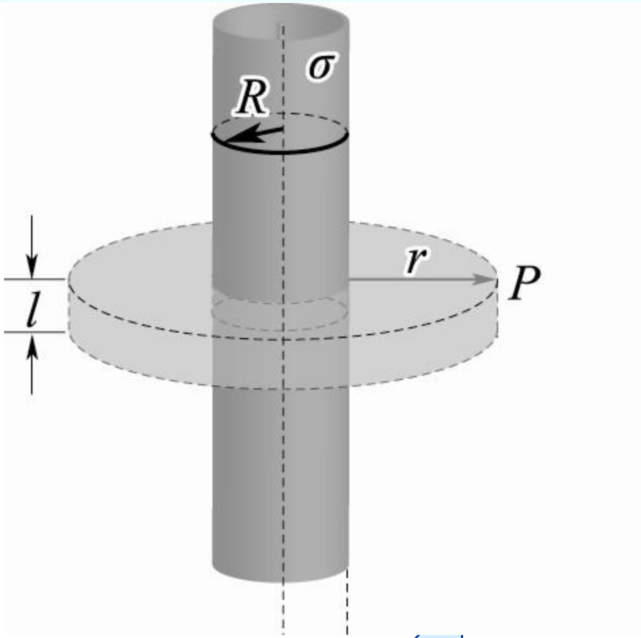
均匀带电的无限大平板和平面

球壳

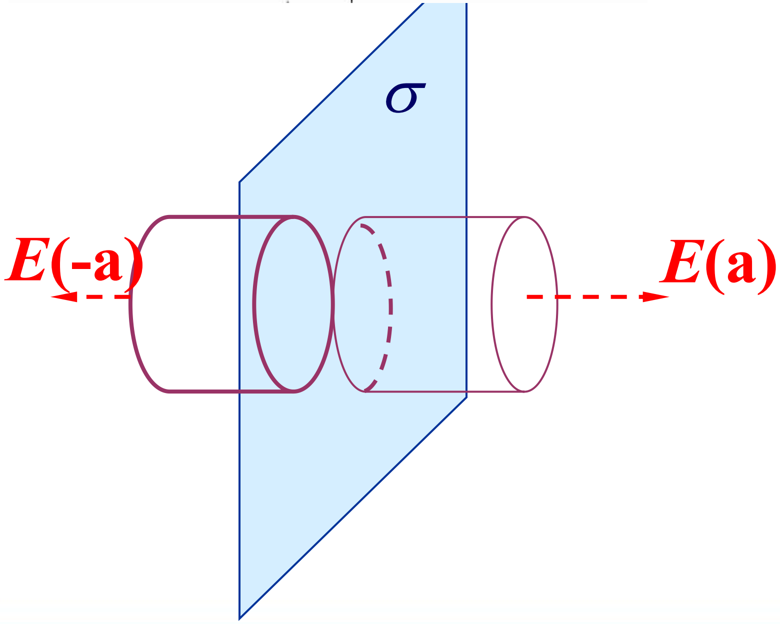


球体





$$E = \frac{R\sigma}{\varepsilon_0 r}(r > R)$$



$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

三 电场力的功 电势

1. 电场力的功

$$W_{ab}=\int_a^b q_0 E\cdot \mathrm{d}l=\sum_{i=1}^{n}\frac{q_0 q_i}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_{ai}}-\frac{1}{r_{bi}}\right)$$

结论：试验电荷在任何静电场中移动时，静电场力所作的功，只与电场的性质、试验电荷的电量大小及路径起点和终点的位置有关，而与路径无关.

2. 静电场的环流定理

$$\oint_l E\cdot \mathrm{d}l=0$$

静电场的环流定理：在静电场中，场强E的环流恒等于零。（静电场是保守场）

3. 电势　电势差

$$U_a = \frac{W_a}{q_0} = \frac{W_{a\infty}}{q_0} = \int_a^{\infty} E \cdot \mathrm{d}l$$

$$W = q_0(U_a - U_b)$$

✓ **电势零点选择方法：**有限带电体以无穷远为电势零点，实际问题中常选择地球电势为零.

4. 电势的计算

点电荷电场的电势

$$U_a = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

电势叠加原理

$$U_a = \sum_{i=1}^{n} \frac{q_i}{4\pi\varepsilon_0 r_i}$$

$$U = \int_V \mathrm{d}U = \int_V \frac{\mathrm{d}q}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

五　静电场中的导体

导体的静电平衡

$$\boxed{E = E_0 + E' = 0}$$

导体内电场强度　外电场强度　感应电荷电场强度

空腔内无带电体的情况　$\oint_S E \cdot \mathrm{d}S = 0$，$\sum q_i = 0$

空腔内有带电体情况　$\oint_{S_1} E \cdot \mathrm{d}S = 0$，$\sum q_i = 0$

空腔导体可以屏蔽外电场，使空腔内物体不受外电场影响. 这时, 整个空腔导体和腔内的电势也必处处相等.

接地导体的电势为零!

六　静电场中的电介质

□ 有电介质时的高斯定理

$$\oint_S \boldsymbol{D}\cdot \mathrm{d}\boldsymbol{S}=\sum q$$

电位移矢量 $\boldsymbol{D}=\varepsilon_0\boldsymbol{E}+\boldsymbol{P}=\varepsilon_0\varepsilon_r\boldsymbol{E}=\varepsilon\boldsymbol{E}$

在静电场中通过任意闭合曲面的电位移通量等于闭合面内自由电荷的代数和.

七　电容　电容器

$$\frac{q}{U}=C$$

$$C=\frac{q}{U_A-U_B}=\frac{q}{U_{AB}}$$

电容的大小仅与导体的尺寸、形状、相对位置、其间的电介质有关. 与q和U无关.

八　电场的能量

电容器贮存的电能（任何结构电容器）

$$W_e=\frac{1}{2}CU^2=\frac{1}{2}UQ$$

电场能量体密度 $$w_e=\frac{W_e}{V}=\frac{1}{2}DE$$

在真空中 $$D=\varepsilon_0 E \Rightarrow W_e=\int_V \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 \mathrm{d}V$$

稳恒磁场

一、磁场 磁感应强度

✓磁感强度大小 $B=\dfrac{M_{\max}}{P_m}$ 线圈磁矩 $P_{\mathrm{m}}=I_0\Delta S n$

✓磁通量 $\Phi_m=\int_s B\cdot \mathrm{d}S$

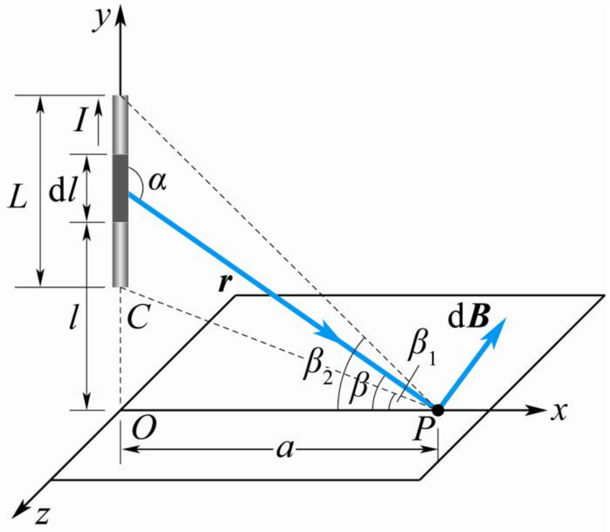
✓ 磁场中的高斯定理 $\oint_S B\cdot \mathrm{d}S=0$

✓ 毕奥—萨伐尔定律

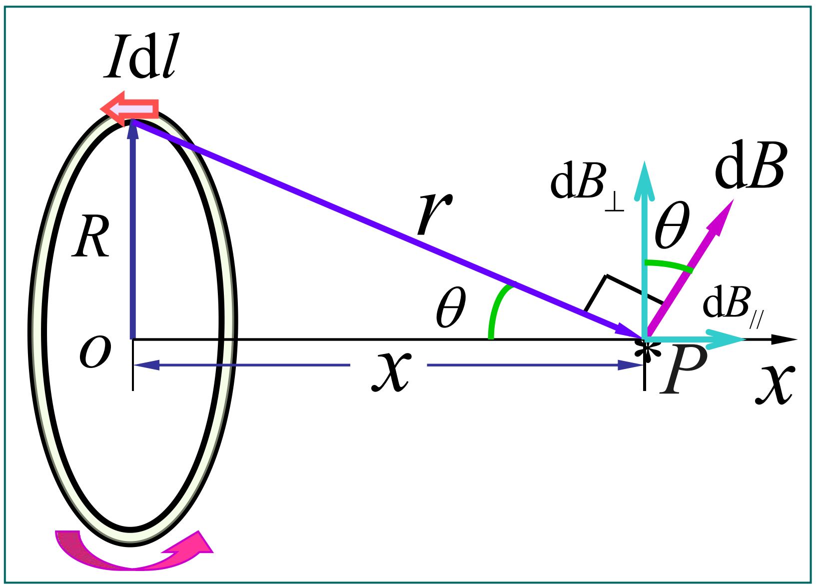
$$\mathrm{d}B=\frac{\mu_0 I\mathrm{d}l\sin(I\mathrm{d}l,r)}{4\pi r^2}$$

或

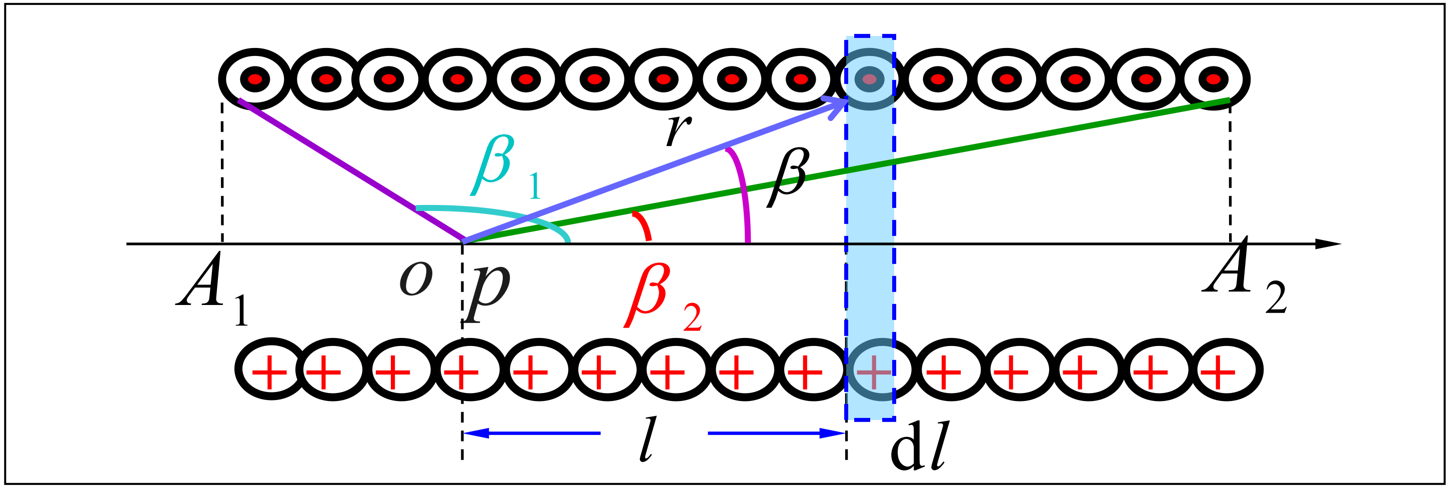
$$\mathrm{d}B=\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\mathrm{d}l\times r}{r^3}$$



$$B=\frac{\mu_0 I}{4\pi a}(\sin\beta_2-\sin\beta_1)$$



$$B=\frac{\mu_0}{2}\frac{R^2 I}{(R^2+x^2)^{3/2}}$$



$$B = \frac{\mu_0}{2} nI(\cos\beta_2 - \cos\beta_1)$$

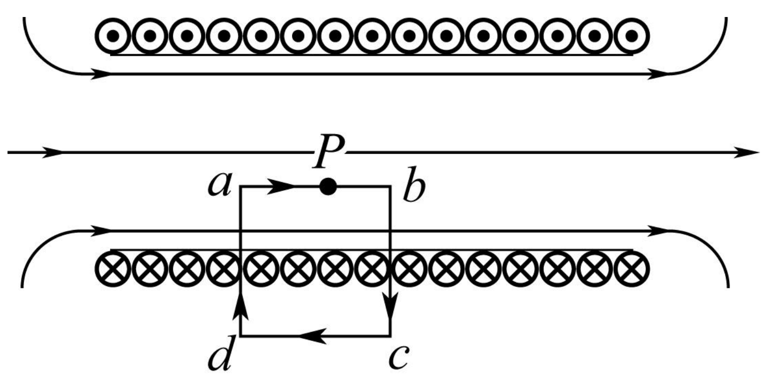
二、安培环路定理

✓安培环路定理

$$\boxed{\int_L B \cdot \mathrm{d}l = \mu_0 \sum I_i}$$

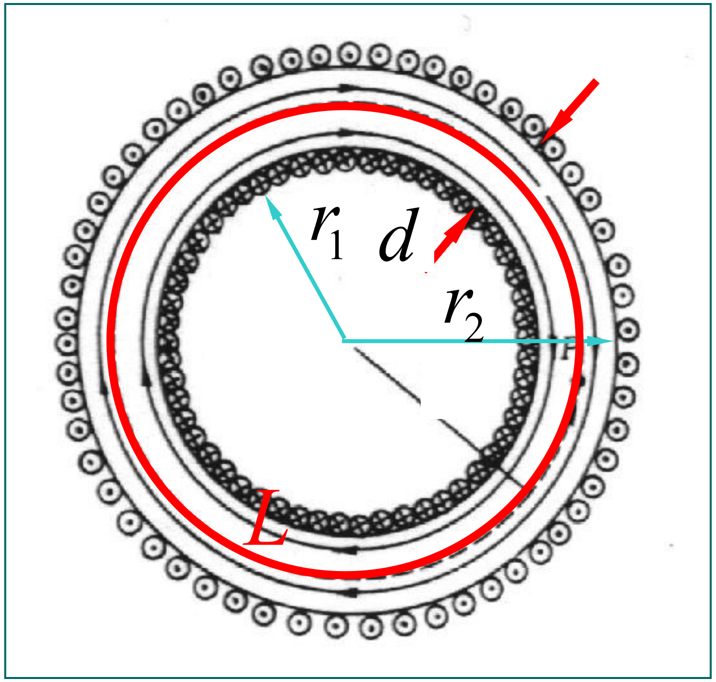
✓安培环路定理的应用

- 长直载流螺线管内磁场分布



$$\boxed{B = \mu_0 nI}$$

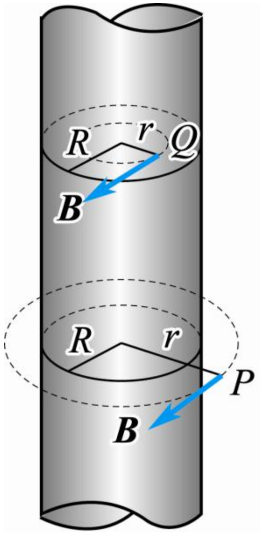
• 环形载流螺线管内磁场分布



$$B=\mu_0\frac{N}{L}I$$

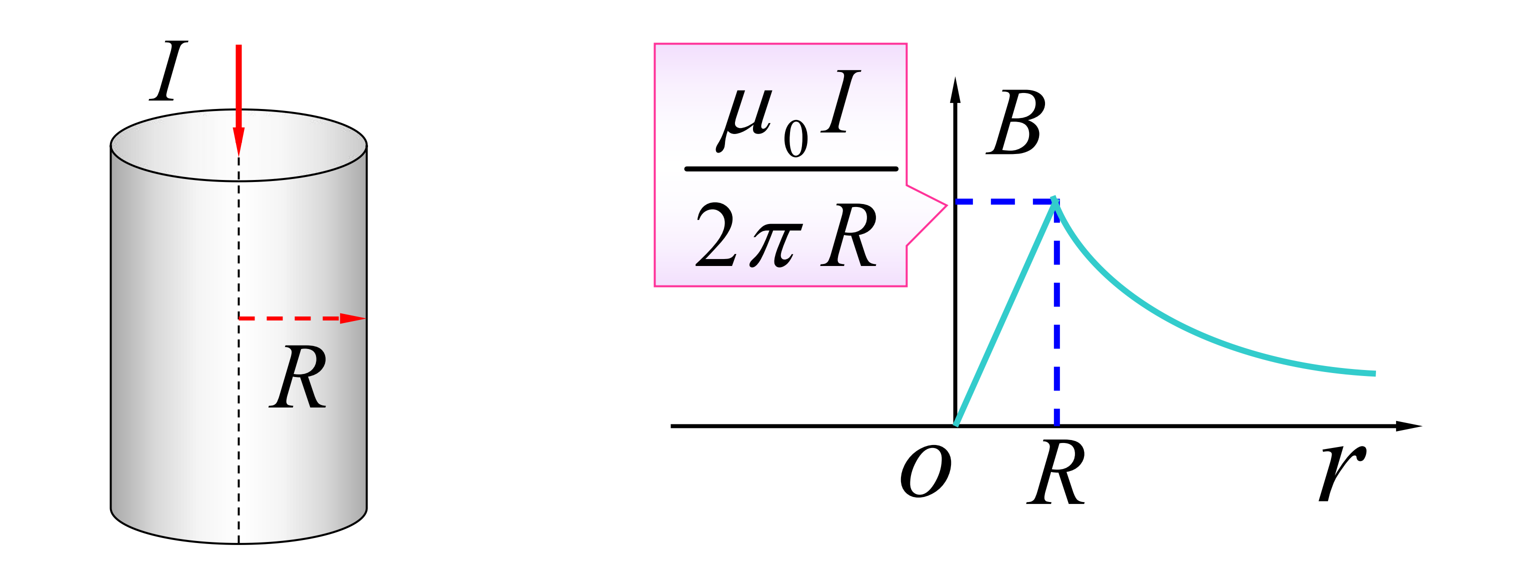
当 $L>>d$ 时，$\frac{N}{L}=n \quad B=\mu_0 nI$

- 无限长载流圆柱导体内外磁场分布



$$B=\frac{\mu_0 Ir}{2\pi R^2}\quad (r<R)$$

$$B=\frac{\mu_0 I}{2\pi r}\quad (r>R)$$



三、磁场对载流导线的作用

✓安培定律 $\mathrm{d}F = kBI\mathrm{d}l\sin(I\mathrm{d}l, B)$ $d\vec{F} = Id\vec{l} \times \vec{B}$

✓无限长两平行载流直导线间的相互作用力

$$\frac{\mathrm{d}F_2}{\mathrm{d}l_2} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} \qquad \frac{\mathrm{d}F_1}{\mathrm{d}l_1} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a}$$

✓磁场对载流线圈的作用

$$\boxed{M = P_m \times B}$$

（适用于均匀磁场中任意线圈）

✓磁力的功 $\boxed{W = I\Delta\Phi}$

对于变化的电流或非匀强场 $\boxed{W = \int_{\Phi_{\mathrm{m1}}}^{\Phi_{\mathrm{m2}}} I\mathrm{d}\Phi_{\mathrm{m}}}$

四、磁场对运动电荷的作用

✓洛仑兹力 $\boxed{f = \dfrac{\mathrm{d}F}{\mathrm{d}N} = qvB\sin(v, B)}$ $\vec{f} = q\vec{v} \times \vec{B}$

✓带电粒子在匀强磁场中的运动 $\boxed{F = qv \times B = m\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}}$

- v 与 B 平行或反平行

$\boxed{v = \text{恒矢量}}$ 带电粒子仍作匀速直线运动，不受磁场的影响.

- $v \perp B$

轨道半径 $\boxed{R = \dfrac{mv}{qB}}$ 回旋频率 $\boxed{\nu = \dfrac{1}{T} = \dfrac{qB}{2\pi m}}$

- v 与 B 斜交成 θ 角

周期 $T = \dfrac{2\pi R}{v_{\perp}} = \dfrac{2\pi m}{qB}$

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

✓霍耳效应 $\boxed{U_H = R_H \dfrac{IB}{d}}$

- 霍耳系数的微观解释 $\boxed{f_m = qvB}$ 霍耳系数 $\boxed{R_H = \dfrac{1}{nq}}$

电磁感应

一、电磁感应定律

✓法拉第电磁感应定律 $\varepsilon_{\mathrm{i}} = -\dfrac{\mathrm{d}\Phi_{\mathrm{m}}}{\mathrm{d}t}$

✓楞次定律　闭合回路中感应电流的方向，总是使它所激发的磁场来阻止引起感应电流的磁通量的变化.
(感应电流的效果，总是反抗引起感应电流的原因.)

二、动生电动势与感生电动势

✓动生电动势 $\varepsilon_{\mathrm{i}} = \int_L (\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B}) \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l}$

✓感生电动势 $\varepsilon_{\mathrm{i}} = \int_L \boldsymbol{E}_{\mathrm{r}} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} = -\int_S \dfrac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{s}$

四、自感应与互感应

✓自感应

- 自感 $L=\Psi_{自}/I$ $L=-\varepsilon_{自}\Big/\dfrac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t}$
- 自感电动势 $\boxed{\varepsilon_{自}=-L\dfrac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t}}$

✓互感

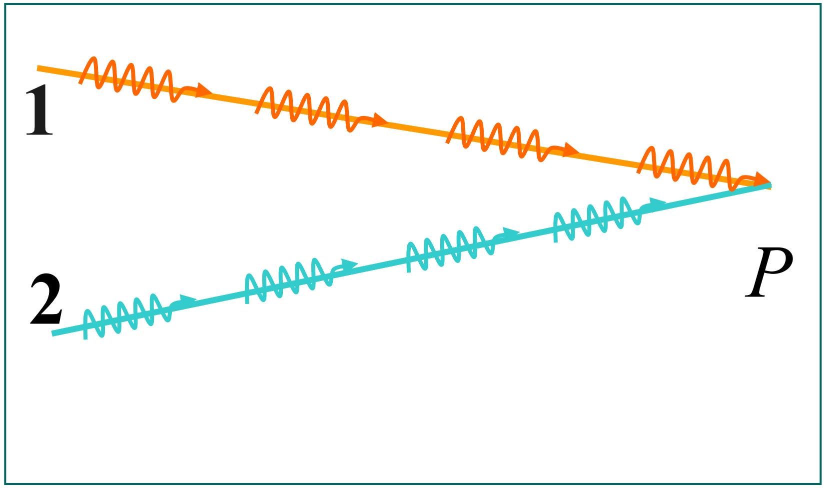
- 互感系数 $M=\dfrac{\Psi_{21}}{I_1}=\dfrac{\Psi_{12}}{I_2}$ $M=-\dfrac{\varepsilon_{21}}{\mathrm{d}I_1/\mathrm{d}t}=-\dfrac{\varepsilon_{12}}{\mathrm{d}I_2/\mathrm{d}t}$
- 互感电动势 $\boxed{\varepsilon_{21}=-M\dfrac{\mathrm{d}I_1}{\mathrm{d}t}}$ $\boxed{\varepsilon_{12}=-M\dfrac{\mathrm{d}I_2}{\mathrm{d}t}}$

光的干涉

一、光源 光的相干性

$$E^2 = E_{10}^2 + E_{20}^2 + 2E_{10}E_{20}\cos\Delta\varphi$$

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\Delta\varphi$$

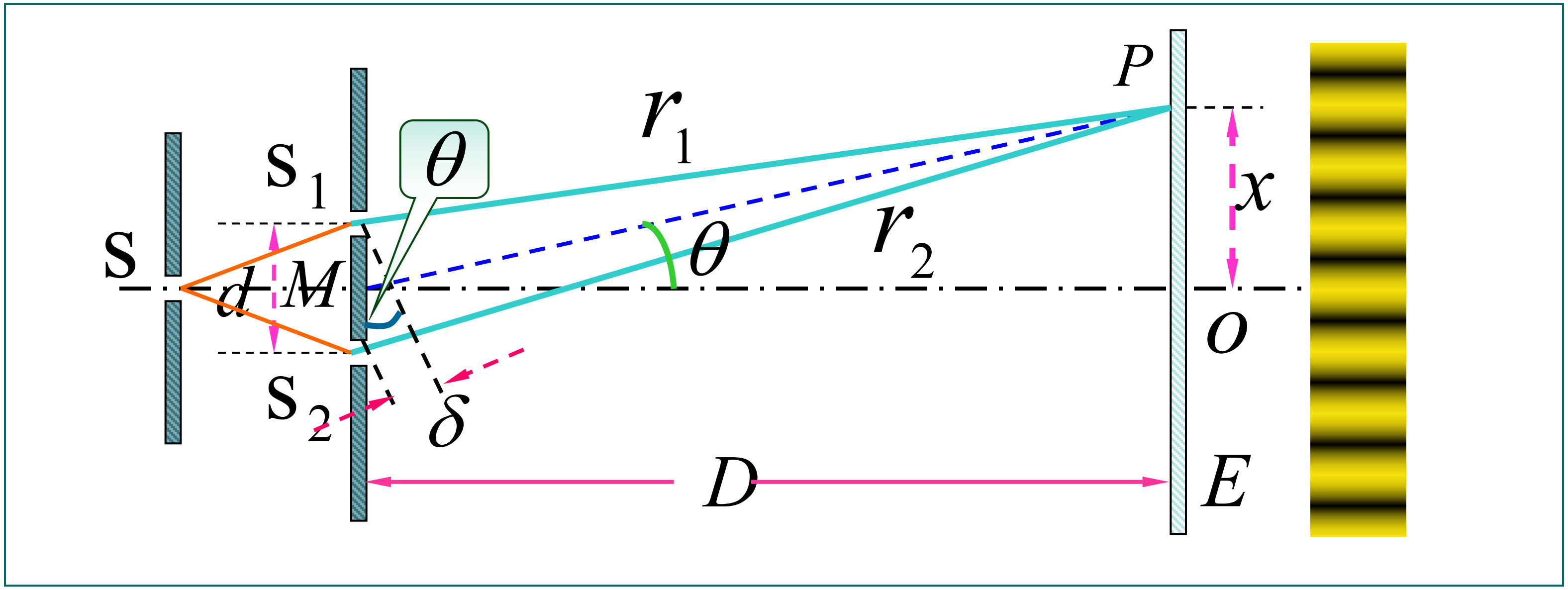


（1）相干条件：振动方向相同；频率相同；相位差恒定

（2）相干光的产生：波阵面分割法；振幅分割法.

杨氏双缝干涉　　薄膜干涉

二、杨氏双缝干涉实验



$$\delta = r_2 - r_1 = d\sin\theta = \begin{cases} \pm k\lambda & \text{干涉加强} \\ \pm(2k-1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{干涉减弱} \end{cases} \quad k = 0, 1, 2,$$

$$x = \begin{cases} \pm k\dfrac{D}{d}\lambda & \text{明纹} \\ \pm(2k-1)\dfrac{D}{d}\dfrac{\lambda}{2} & \text{暗纹} \end{cases} \quad k = 0, 1, 2,$$

三、光程与光程差

（1）光程：媒质折射率n与光的几何路程r的乘积

当光经历几种介质时：$\boxed{光程 = \sum n_i r_i}$

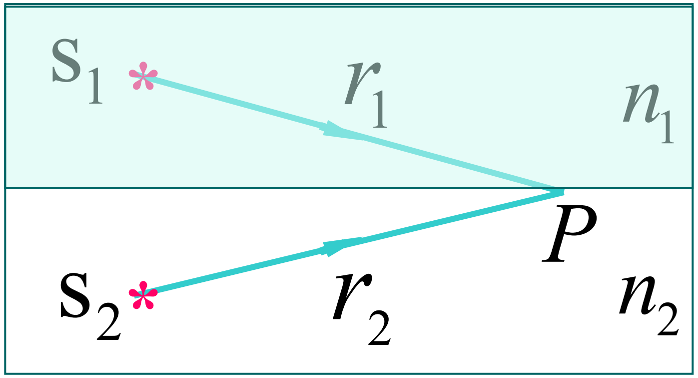
物理意义：光程就是光在媒质中通过的几何路程，按波数相等折合到真空中的路程.

$$\frac{r}{\lambda_n} = \frac{nr}{\lambda}$$

（2）光程差

光程差 $\Delta = n_1 r_1 - n_2 r_2$

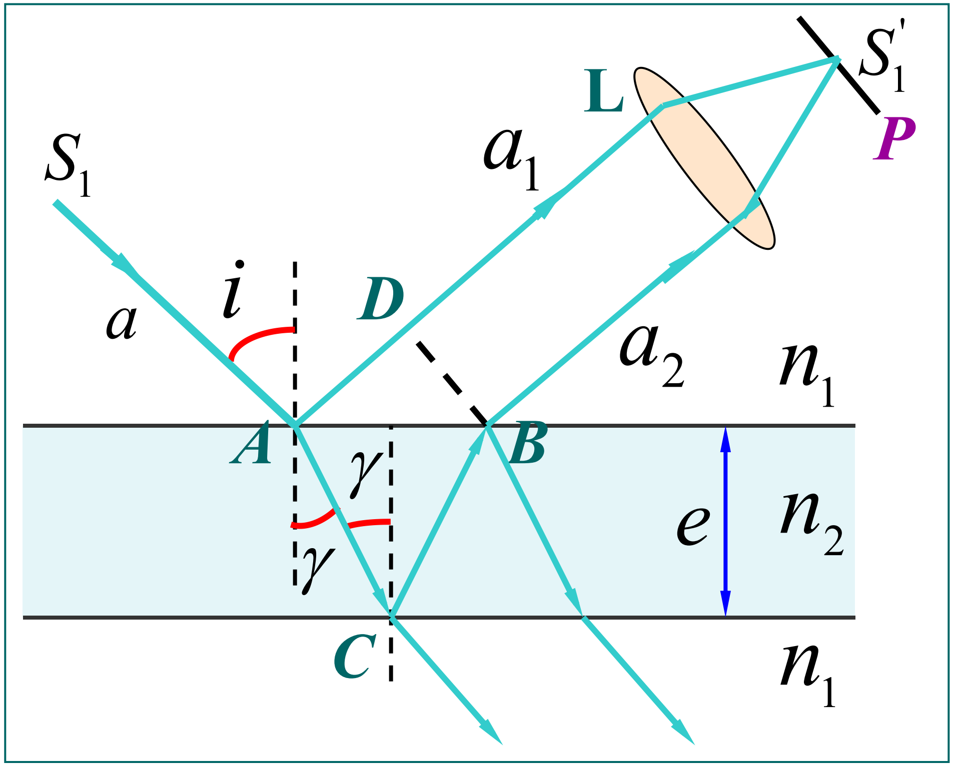
位相差 $\Delta\varphi = \dfrac{2\pi}{\lambda}\Delta$



四、薄膜干涉——等倾干涉

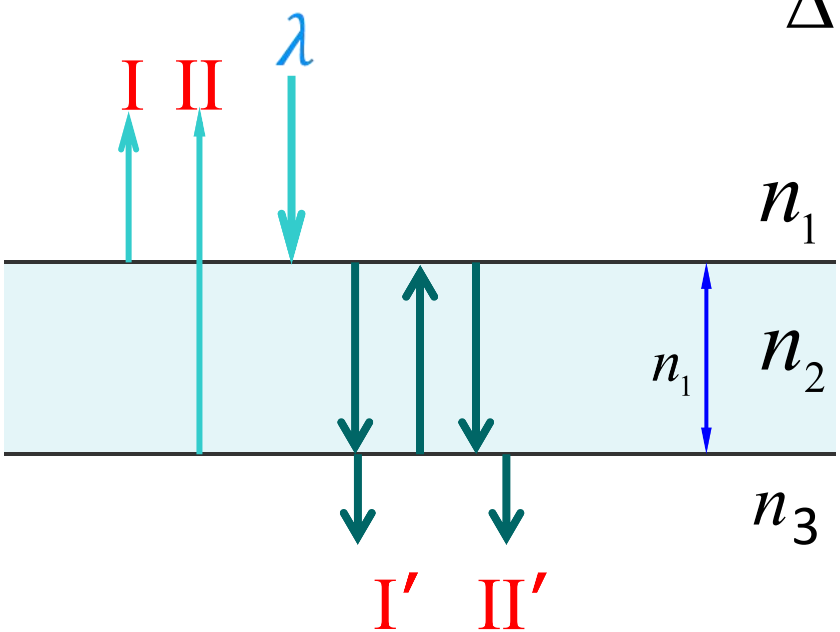
✓ 反射光的光程差 $\Delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \dfrac{\lambda}{2}$ $\quad n_1 < n_2$

$$\Delta = \begin{cases} k\lambda \quad \text{加强（明）} \\ (k = 1,2, \ \ ) \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} \quad \text{减弱（暗）} \\ (k = 0,1,2, \ \ ) \end{cases}$$



✓ 透射光的光程差 $\Delta_{透} = 2d\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i}$

五、增透膜与增反膜



$$\Delta=\begin{cases}(2n_2e+\dfrac{\lambda}{2})-\dfrac{\lambda}{2} & n_1<n_2<n_3\\ (2n_2e+0)-0 & n_1>n_2>n_3\\ (2n_2e+0)-\dfrac{\lambda}{2} & n_1<n_2>n_3\\ (2n_2e+\dfrac{\lambda}{2})-0 & n_1>n_2<n_3\end{cases}$$

I与II干涉相长(I′与II′干涉相消)

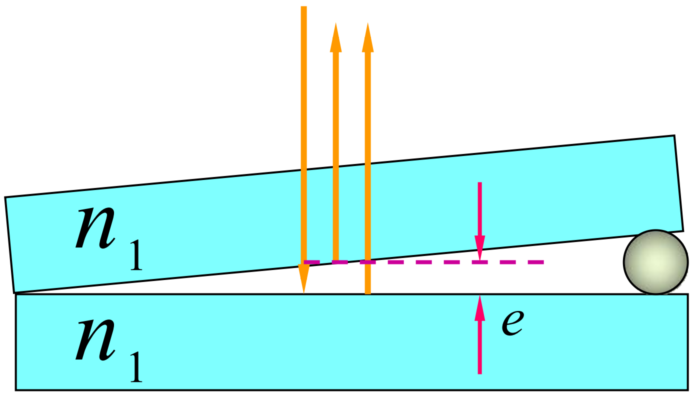
增反膜

I与II干涉相消(I′与II′干涉相长)

增透膜

六、劈尖干涉　牛顿环

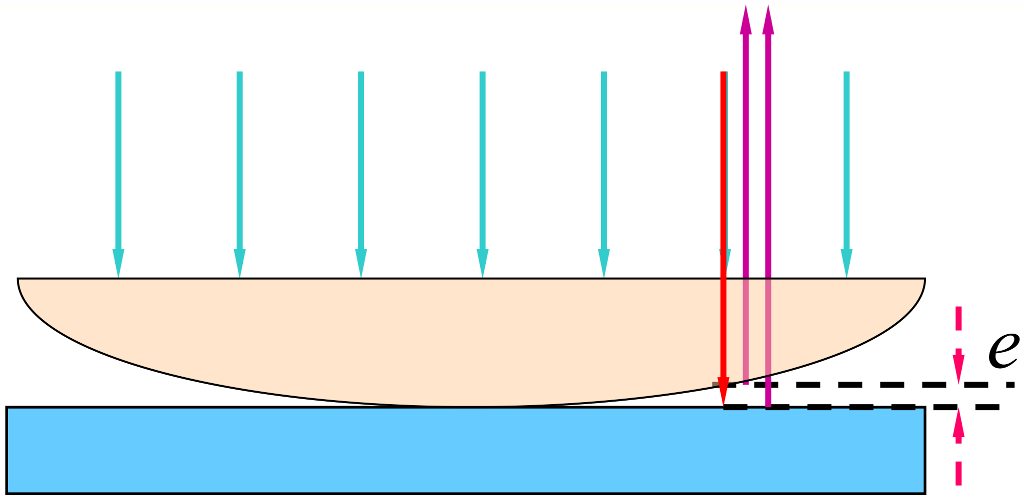
✓ 劈尖干涉



$$\boxed{\Delta = 2e + \frac{\lambda}{2}}$$

$$\Delta = \begin{cases} k\lambda, \quad k = 1,2, & \text{明条纹} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2}, \quad k = 0,1, & \text{暗条纹} \end{cases}$$

✓ 牛顿环



$$\boxed{\Delta = 2e + \frac{\lambda}{2}}$$

$$\begin{cases} r = \sqrt{\dfrac{(2k-1)R\lambda}{2}} & k = 1,2, \quad \text{明环} \\ r = \sqrt{kR\lambda} & k = 0,1,2, \quad \text{暗环} \end{cases}$$

✓ 测量平凸透镜曲率半径

$$\boxed{R = \frac{r_{k+m}^2 - r_k^2}{m\lambda}}$$

七、迈克耳孙干涉仪

利用分振幅法垂直的平面镜形成一等效的空气薄膜使两相互相干光束在空间完全分开，并可用移动反射镜或在光路中加入介质片的方法改变两光束的光程差.

移动反射镜 $$\Delta d = \Delta N \frac{\lambda}{2}$$

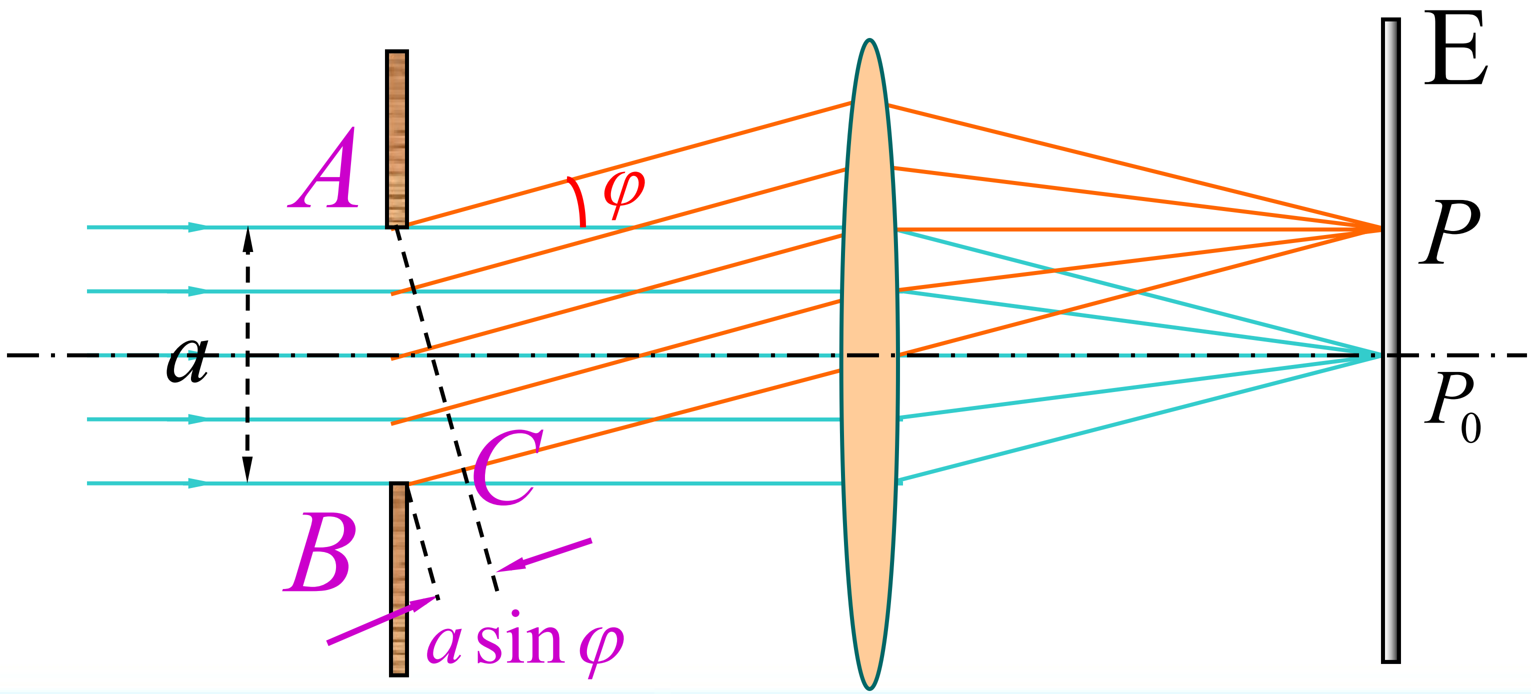
光路中加入介质片 $$2(n-1)e = \Delta k\lambda$$

光的衍射

一、惠更斯—菲涅耳原理

从同一波阵面上各点发出的子波，在传播过程中相遇时，也能相互叠加而产生干涉现象，空间各点波的强度，由各子波在该点的相干叠加所决定.

二、单缝夫琅禾费衍射



✓ 单缝衍射：可用半波带法分析，单色光垂直入射时

$$a\sin\varphi\begin{cases}=0 & \text{中央明纹中心}\\ =\pm k\lambda & \text{暗条纹} \quad \text{偶数个半波带}\\ =\pm(2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{明条纹} \quad \text{奇数个半波带}\\ \neq k\dfrac{\lambda}{2} & \text{（介于明暗之间）}\end{cases} \qquad k=1,2,3,$$

✓ 中央明纹的宽度

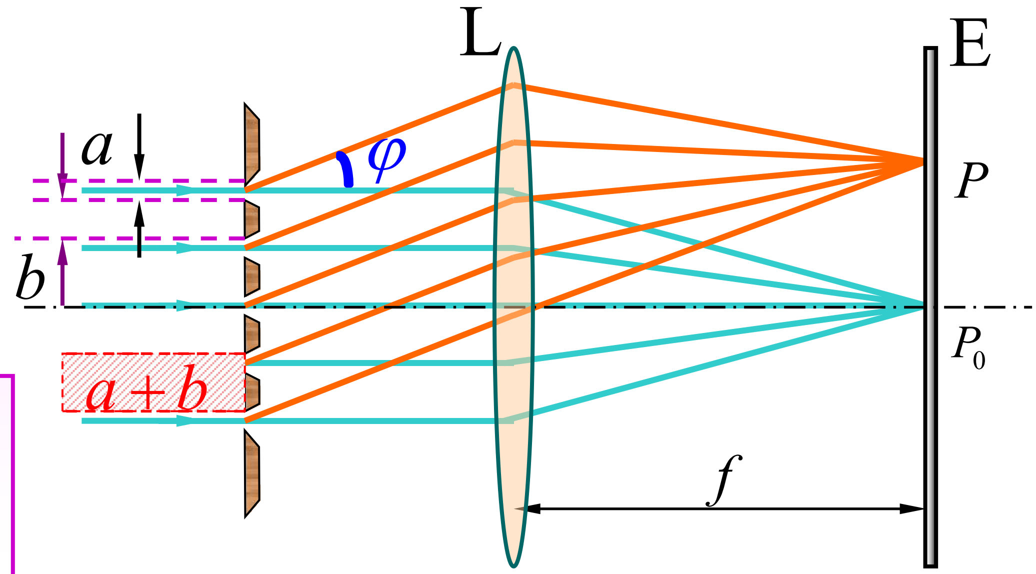
角宽度 $\Delta\varphi_0 \approx 2\dfrac{\lambda}{a}$

线宽度 $\Delta x_0 \approx 2\dfrac{\lambda}{a}f$

✓ 其它明条纹的宽度为中央明纹宽度的一半

三、衍射光栅

光栅的衍射条纹是单缝衍射和多缝干涉的总效果.



明条纹位置满足：

$$(a+b)\sin\varphi = k\lambda$$

$$k = 0, \pm 1, \pm 2,$$

如果平行光倾斜地入射到光栅上

光栅公式

$$(a+b)(\sin\varphi \pm \sin\theta) = k\lambda$$

$$k = 0, \pm 1, \pm 2,$$

缺级条件 $k = k'\dfrac{a+b}{a} \qquad k' = 1, 2, 3,$

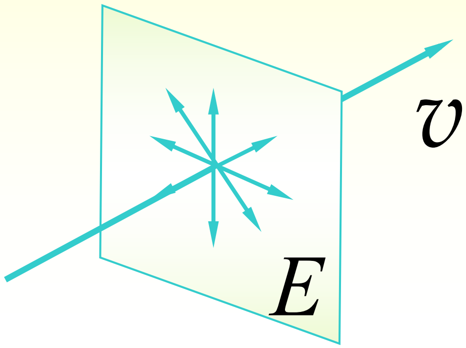
一般只要 $\dfrac{a+b}{a}$ 为**整数比**时，对应的k级明条纹位置一定出现**缺级现象**.

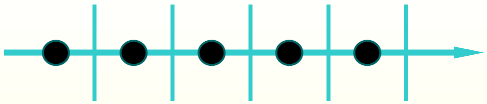
光的偏振

一、光的偏振

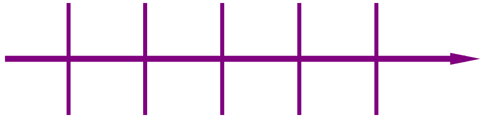
光波是横波，电场矢量表示光矢量，光矢量方向和光传播方向构成振动面.

三类偏振态：自然光、偏振光、部分偏振光.

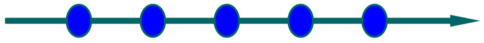




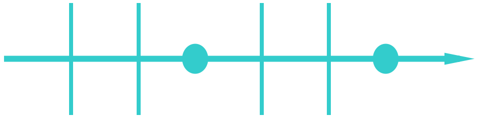
符号表示



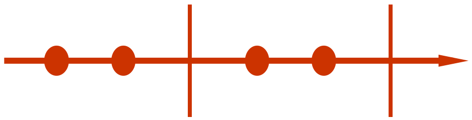
光振动方向在纸面内



光振动方向垂直纸面

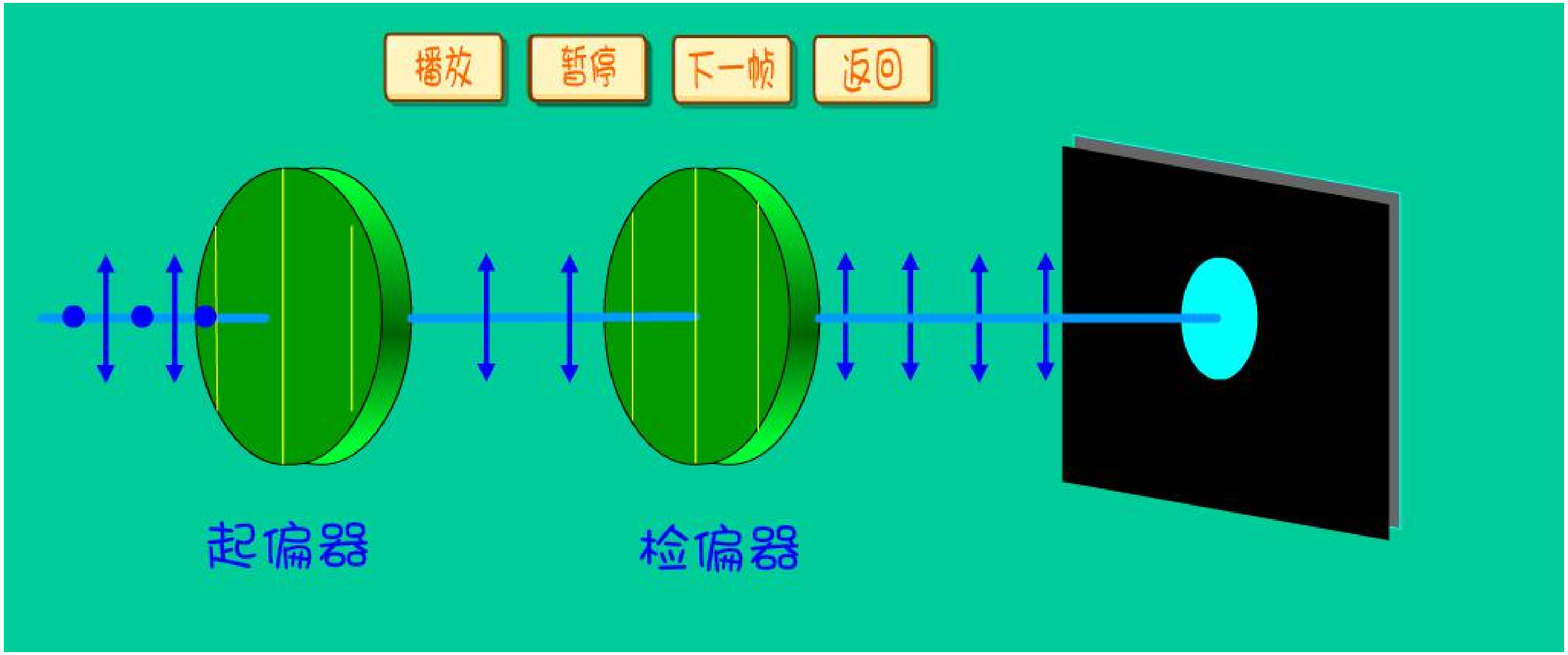


纸面内的光振动较强



垂直纸面的光振动较强

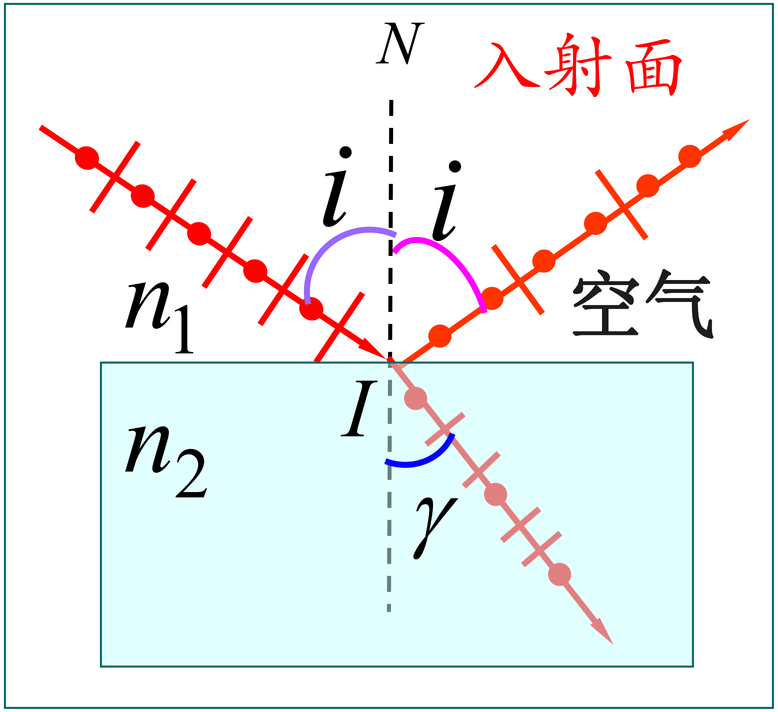
二、**线偏振光**：可用偏振片产生和检验.



马吕斯定律　强度为 I_0 的偏振光通过检偏振器后，出射光的强度为

$$I = I_0 \cos^2 \alpha$$

三、光反射与折射时的偏振



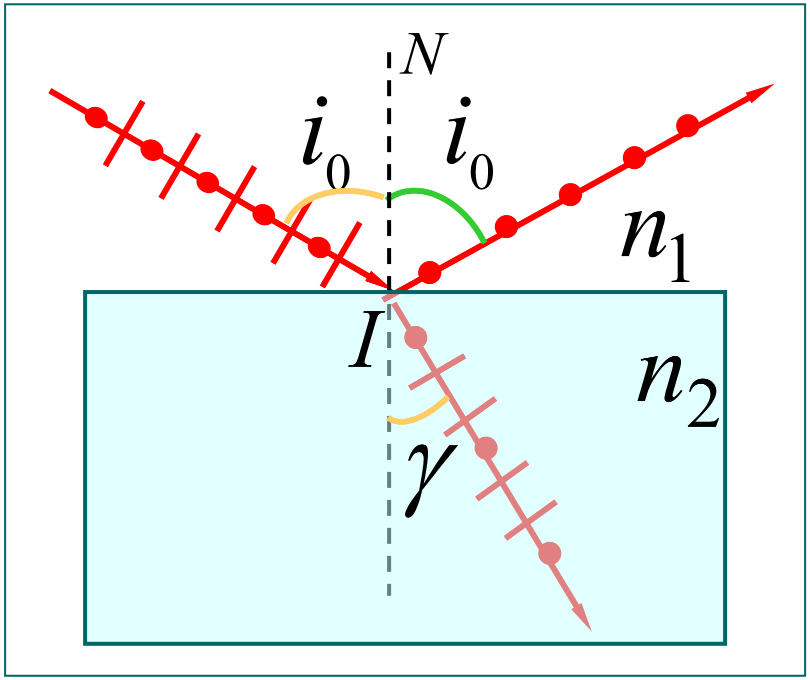
◆ 反射光 垂直振动大于平行振动.

◆ 折射光 平行振动大于垂直振动.

理论和实验证明：反射光的偏振化程度与入射角有关.

布儒斯特定律：当入射角为布儒斯特角 i_0 时，反射光为完全偏振光，且振动面垂直入射面，折射光为部分偏振光。

$$\tan i_0 = n_2 / n_1$$


N
i_0
i_0
n_1
I
n_2
γ