

复习

第四篇

振动与波动

一. 简谐振动

1. 运动方程和振动曲线

$$F = -kx$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega^2 x = 0$$

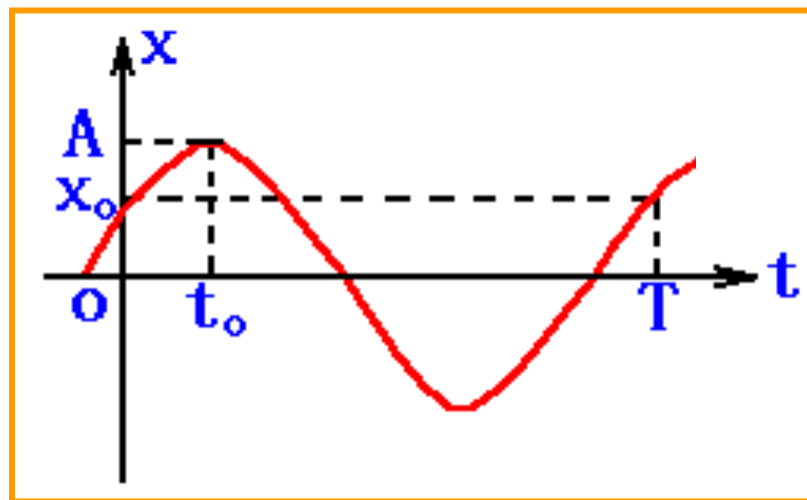
$$x = A \cos(\omega t + \varphi)$$

$$v = -A\omega \sin(\omega t + \varphi_0)$$

初始条件

在 $t = 0$ 时刻

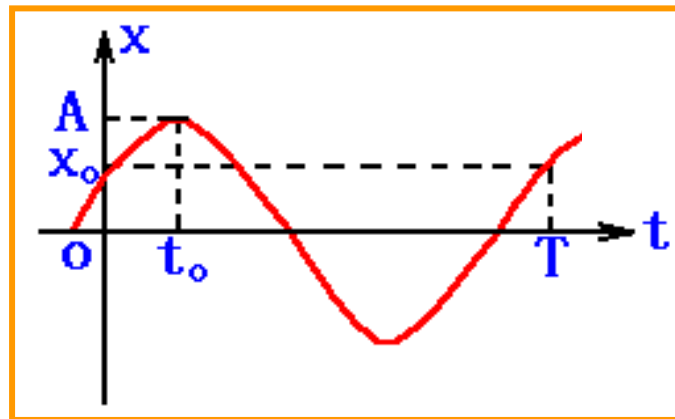
$$\left\{ \begin{array}{l} x_0 = A \cos \varphi_0 \\ v_0 = -A\omega \sin \varphi_0 \end{array} \right.$$



2. 特征量

$$1) \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad T = \frac{2\pi}{\omega}$$

由系统本身决定



$$2) \quad A = |x_{\max}| = \sqrt{x_0^2 + \frac{v_0^2}{\omega^2}} \quad \text{由初始条件决定}$$

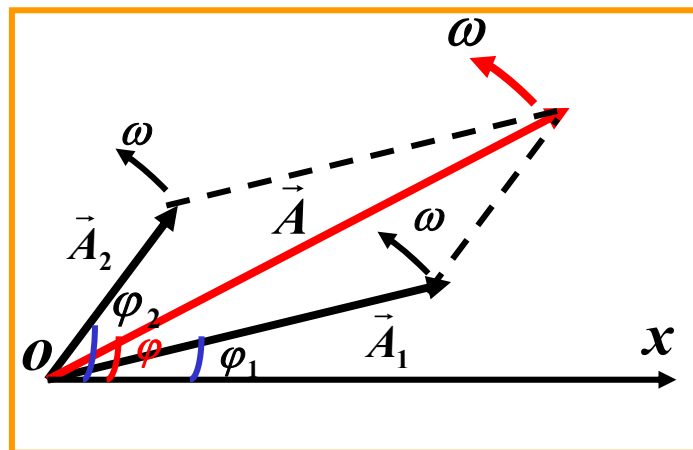
$$3) \quad \cos \varphi = \frac{x_0}{A} \quad \sin \varphi = -\frac{v_0}{\omega A}$$

$$\text{或} \quad \varphi = -\frac{t_0}{T} \cdot 2\pi \quad \text{由初始条件决定}$$

3. 能量

机械能守恒 $E = E_k + E_p = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2$

4. 同一直线上同频率的谐振动合成

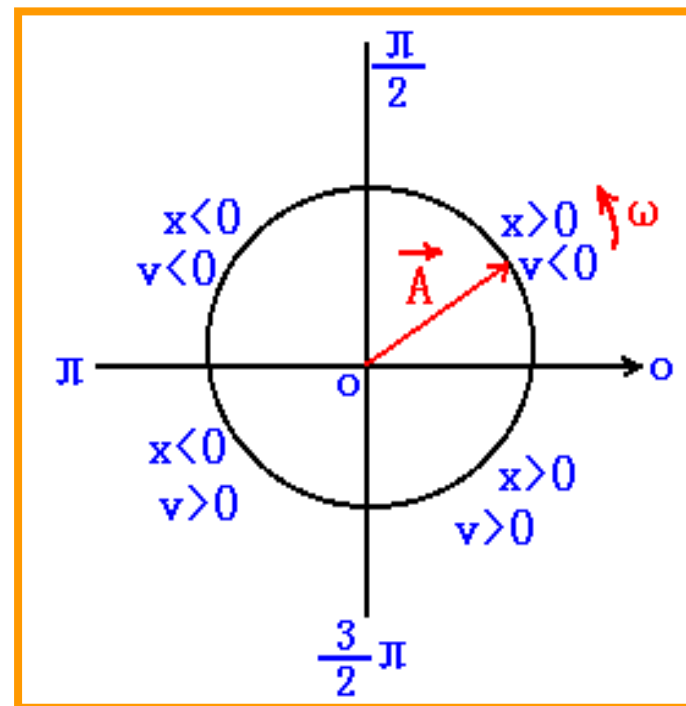


$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)}$$

$$\varphi = \arctg \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2}$$

解题注意:

1. 以振动系统的平衡位置为坐标原点和势能零点
2. 正确写出特征量和初始条件
3. 尽可能使用旋转矢量法使求解简便



二. 平面简谐行波

波—振动在空间的传播, 介质中质点振动的集体效应

注意 { 空间、时间上的周期性
沿波传播方向的滞后效应

1. 特征量

周期: 描述波的时间周期性, 由波源决定 $T = \frac{1}{\nu}$

波速 u 由介质决定, 传播的是相位和能量

波长: 描述波的空间周期性, 与波源、介质均有关

$$\lambda = uT$$

2. 波函数 (波动方程的积分形式)

参考点振动方程 $y_o = A \cos (\omega t + \varphi)$

波动方程 (以原点为参考点)

$$y = A \cos \left[\omega \left(t \pm \frac{x}{u} \right) + \varphi \right] = A \cos \left(\omega t + \varphi \pm 2\pi \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$y = A \cos \left[\omega \left(t \pm \frac{x}{u} \right) + \varphi \right] = A \cos \left(\omega t + \varphi \pm 2\pi \frac{x}{\lambda} \right)$$

注意

(1) x : 离参考点的距离

(2) \pm : 由传播方向决定 { 比参考点相位滞后 “-”
比参考点相位超前 “+”

(3) $y = y(x, t)$ 跑动的波形

x 一定 $y = y(t)$ 振动曲线方程

t 一定 $y = y(x)$ 波形曲线方程

3. 波的能量

能流密度 $\vec{I} = \frac{1}{2} \rho A^2 \omega^2 \vec{u}$

媒质元 $\left\{ \begin{array}{l} \text{非孤立系统, } E \text{ 不守恒} \\ E_p, E_k \text{ 同步调变化} \end{array} \right.$

4. 波的干涉

相干条件 $\left\{ \begin{array}{l} \text{振动方向相同} \\ \text{频率相同} \\ \text{相位差恒定} \end{array} \right.$

强度分布

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

干涉项

$$\Delta \varphi = \varphi_2 - \varphi_1 - 2\pi \frac{(r_2 - r_1)}{\lambda}$$

强弱条件

$$\Delta \varphi = \begin{cases} \pm 2\pi k & \text{相长} \\ \pm (2k+1)\pi & \text{相消} \end{cases} \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

5. 驻波

形成驻波的条件;

驻波特点;

半波损失;

求驻波方程;

波腹、波节位置

三. 光的干涉、衍射和偏振

1. 干涉和衍射

1) 共同本质

满足相干条件的波的叠加

有限个分立的相干波的叠加 — 干涉

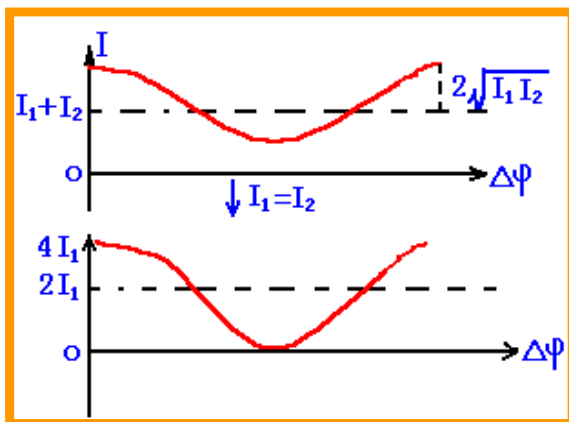
无限个子波相干叠加 — 衍射

2) 共同现象

光强在空间非均匀、稳定分布

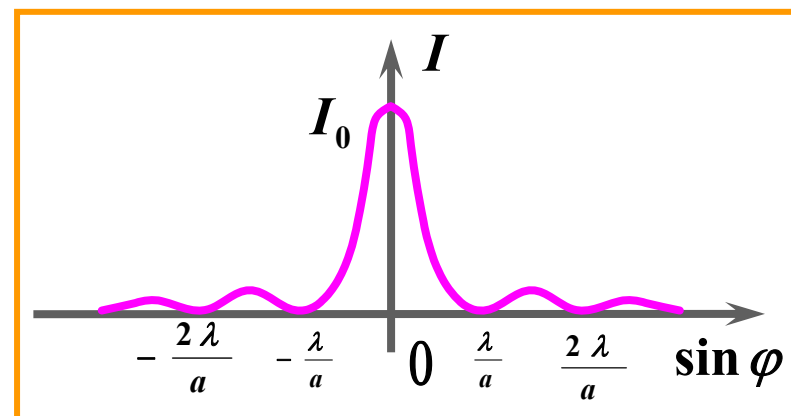
双光束干涉

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



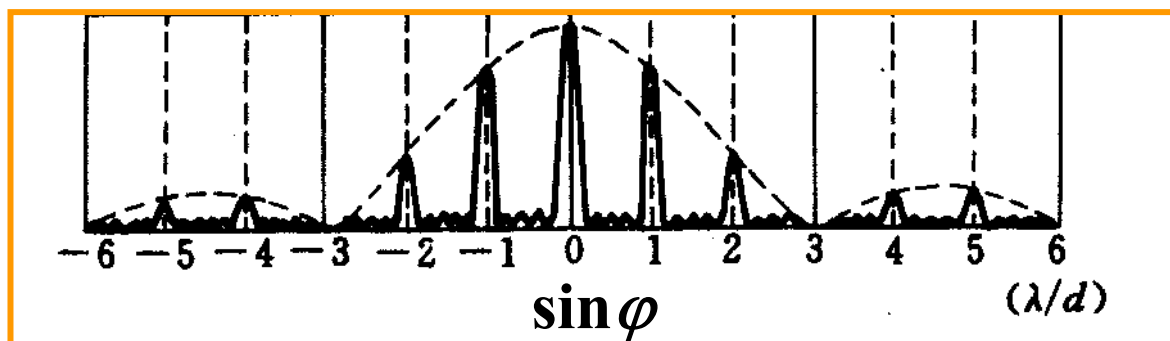
单缝衍射

$$I = I_0 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \quad \alpha = \frac{\pi a \sin \varphi}{\lambda}$$



光栅衍射

$$I = I_0 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \left(\frac{\sin N\beta}{\sin \beta} \right)^2$$



$$\alpha = \frac{\pi a \sin \varphi}{\lambda},$$

$$\beta = \frac{\pi d \sin \varphi}{\lambda}$$

3) 明暗纹条件

光程（等效真空程）= 几何路程 \times 折射率

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 + 2\pi \frac{\Delta}{\lambda} = \begin{cases} 2k\pi & \text{明} \\ (2k+1)\pi & \text{暗} \end{cases} \quad k = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$$

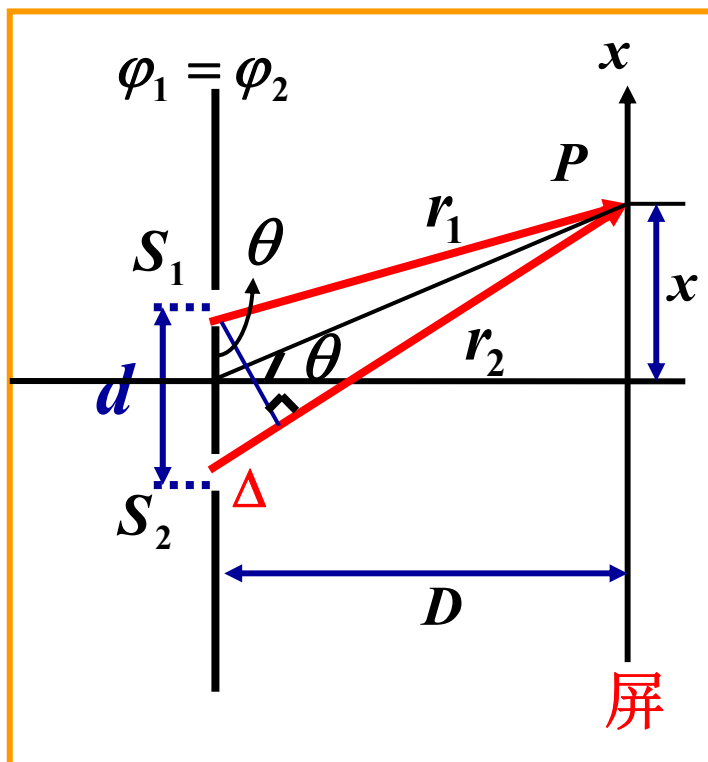
若 $\varphi_1 = \varphi_2$

$$\Delta = \begin{cases} k\lambda & \text{明} \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2} & \text{暗} \end{cases} \quad k = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$$

4) 典型装置

用于具体问题得出不同计算式，弄清道理、掌握特点

杨氏双缝干涉



$$\Delta = d \frac{x}{D}$$

$$x = \begin{cases} \pm \frac{kD}{d} \lambda & \text{明} \\ \pm (2k-1) \frac{D}{d} \cdot \frac{\lambda}{2} & \text{暗} \end{cases}$$

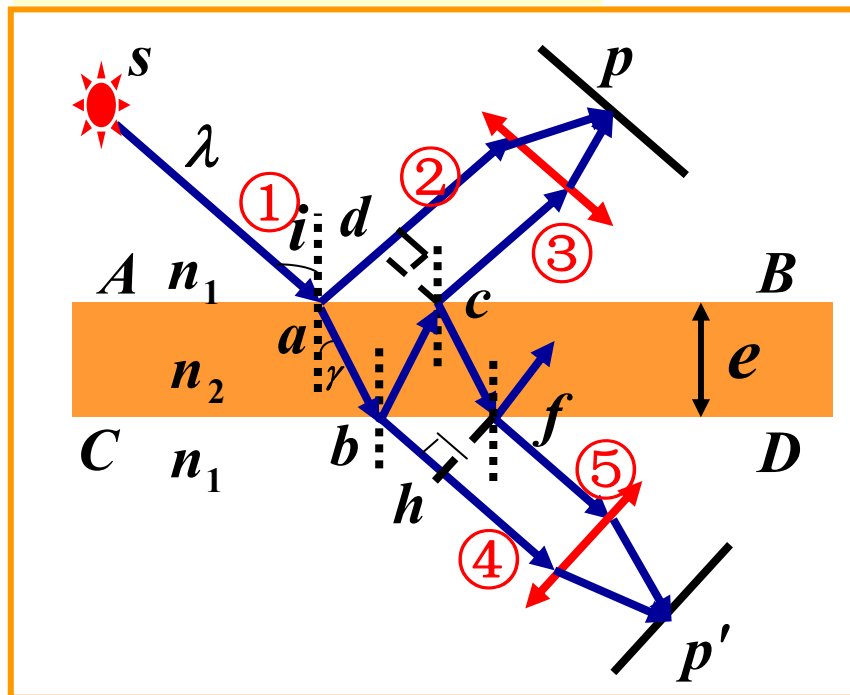
明 $k = 0, 1, 2, \dots$ k 取值与条纹级次一致

暗 $k = 1, 2, \dots$ k 取值与条纹级次一致

条纹间距: $\Delta x = \frac{D\lambda}{d}$

注意条纹的变化和演变 \rightarrow 费涅耳双镜、洛埃镜.....

薄膜等厚干涉



$$\Delta_{\text{反}} = 2e \sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2}$$

$$\Delta_{\text{透}} = 2e \sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i}$$

$\frac{\lambda}{2}$

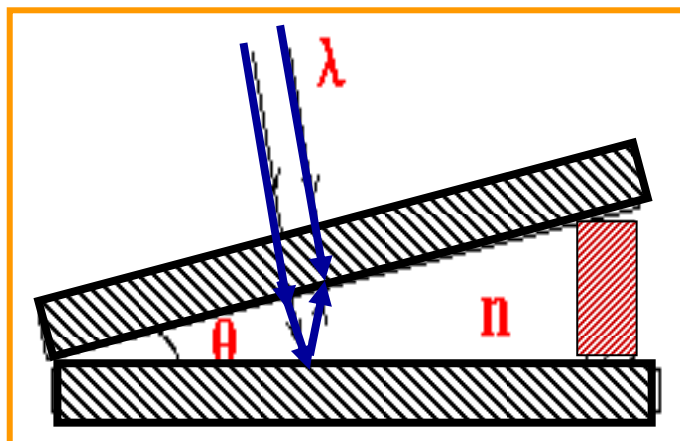
项：是否存在由具体情况决定

反射光和透射光明暗互补。

条纹形状和薄膜等厚线形状相同。

劈尖

单色、平行光垂直入射

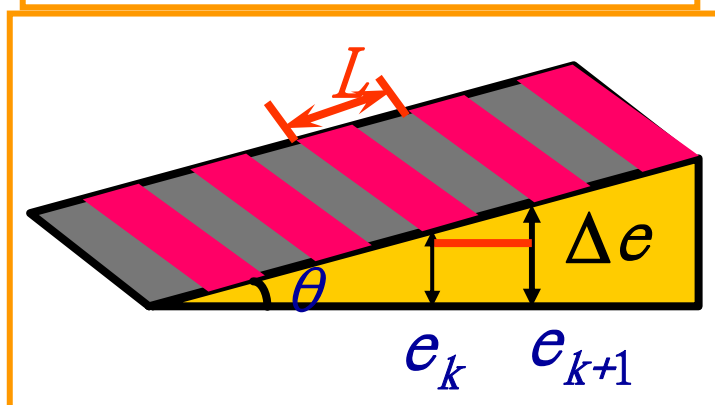


$$\Delta = 2ne + \frac{\lambda}{2}$$

$$= \begin{cases} k\lambda & \text{明 } k = 1, 2, \dots \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2} & \text{暗 } k = 0, 1, 2, \dots \end{cases}$$

平行于棱边，明、暗相间条纹

楞边处 $e = 0$ $\Delta = \frac{\lambda}{2}$, 为暗纹



相邻明（暗）纹对应薄膜厚度差：

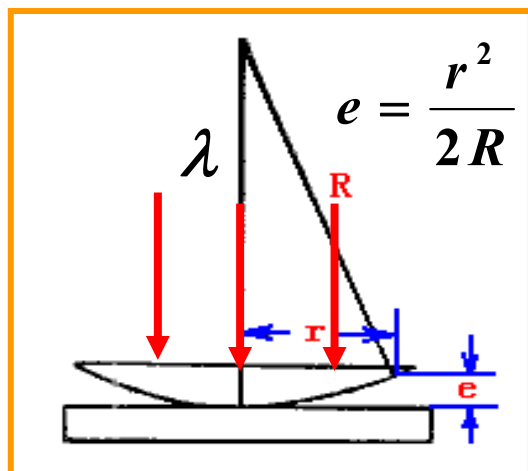
$$\Delta e = \frac{\lambda}{2n}$$

条纹宽度

$$L = \frac{\Delta e}{\sin \theta} = \frac{\lambda}{2n \sin \theta} \approx \frac{\lambda}{2n \theta}$$

牛顿环

单色平行光垂直入射

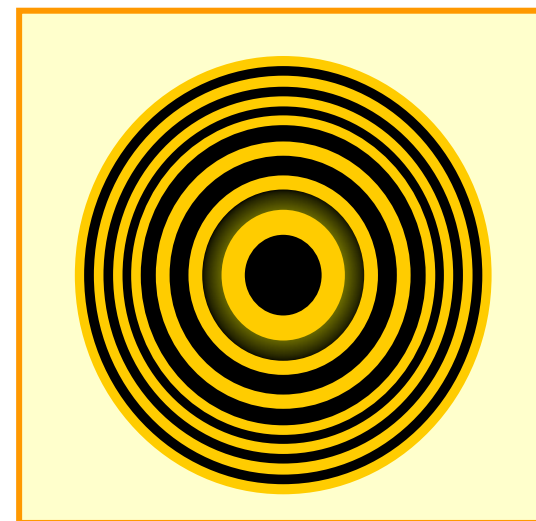


$$\Delta = 2ne + \frac{\lambda}{2}$$

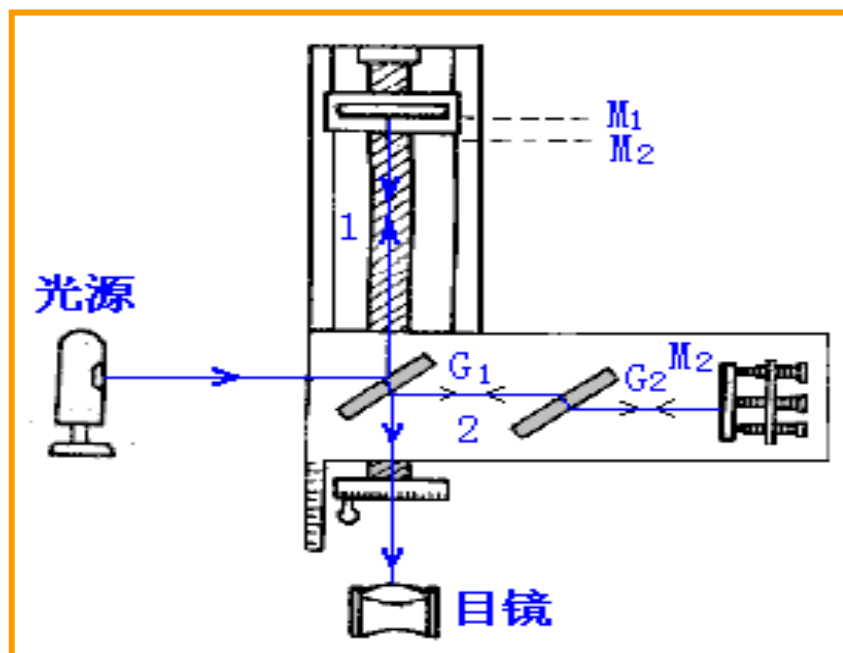
$$= \begin{cases} k\lambda & \text{明} & k = 1, 2, 3, \dots \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2} & \text{暗} & k = 0, 1, 2, \dots \end{cases}$$

条纹为以接触点为中心的明暗相间的同心圆环，条纹内疏外密

$$r = \begin{cases} \sqrt{\frac{(2k-1)R\lambda}{2n}} & \text{明} & k = 1, 2, 3, \dots \\ \sqrt{\frac{kR\lambda}{n}} & \text{暗} & k = 0, 1, 2, \dots \end{cases}$$



迈克尔孙干涉仪



M_1 垂直于 M_2

$M_1 \parallel M'_2$

等倾干涉

M_2 不严格垂直于 M_1

M_1 不平行于 M'_2

等厚干涉

$$\Delta d = \Delta N \cdot \frac{\lambda}{2}$$

单缝夫朗和费衍射 (半波带概念)

平行光垂直入射

$$\Delta = a \sin \varphi = \begin{cases} 0 \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2} \\ k\lambda \end{cases}$$

中央明纹

明

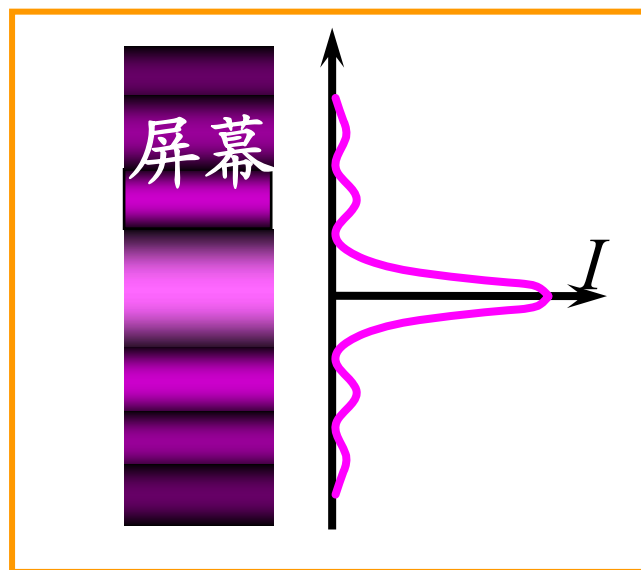
$$k = \pm 1, \pm 2 \dots$$

暗

衍射条纹角宽度

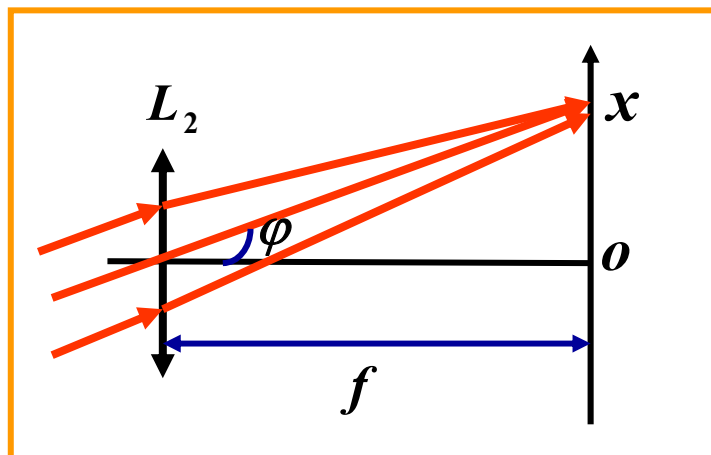
中央明纹 $\Delta\varphi = \frac{2\lambda}{a}$

其余明纹 $\Delta\varphi = \frac{\lambda}{a}$



中央明纹集中大部分能量，明条纹级次越高亮度越弱。

衍射条纹线宽度



中央明纹 $\Delta x = \frac{2\lambda}{a} \cdot f$

其余明纹 $\Delta x = \frac{\lambda}{a} \cdot f$

平行光非垂直入射（向上作为x轴正方向）：

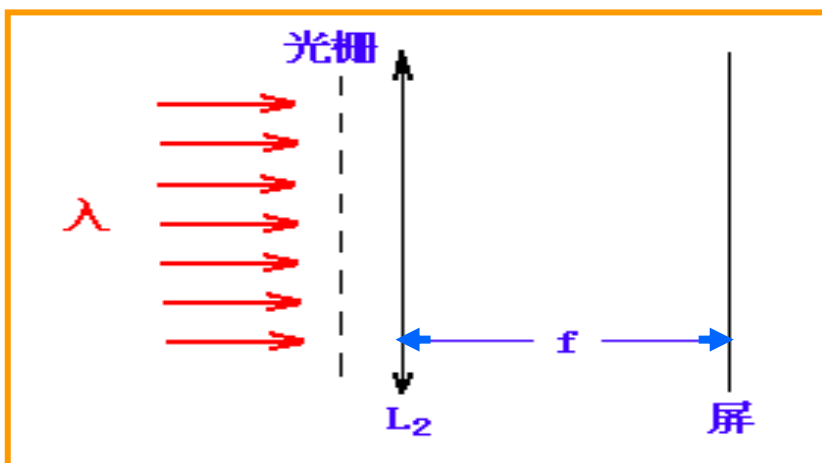


$$\Delta = -a \sin \theta + a \sin \varphi$$

$$\Delta = -a \sin \theta + a \sin \varphi$$

光栅夫朗和费衍射

光栅衍射是 N 缝干涉和 N 个单缝衍射的总效果



- 光栅常数 d

- 光栅公式

$$d \sin \varphi = \pm k \lambda$$

$$(k = 0, 1, 2 \cdots)$$

- 缺级 $\left\{ \begin{array}{l} d \sin \varphi = k \lambda \\ a \sin \varphi = k' \lambda \end{array} \right.$

$$k = \frac{d}{a} k' \quad (k' = \pm 1, \pm 2 \cdots)$$

- 最高级次 $k_m < \frac{d}{\lambda}$

- 单缝中央明纹区主明纹条数: $2\left(\frac{d}{a}\right)_{\text{进整}} - 1$
- 细窄明亮的主明纹
- 相邻主明纹间较宽暗区 (N-1条暗纹, N-2条次极大)
- 白光入射中央零级主明纹为白色, 其余各级为彩色光谱, 高级次重叠

5) 光学仪器分辨率

$$\Delta\varphi = 1.22 \frac{\lambda}{D} \qquad \frac{1}{\Delta\varphi} = \frac{1}{1.22} \frac{D}{\lambda}$$

2. 光的偏振

1) 光的五种偏振态

2) 起偏方法和规律

马吕斯定律

$$I = \begin{cases} I_0/2 & \text{入射光为自然光} \\ I_0 \cos^2 \alpha & \text{入射光为线偏振光} \end{cases}$$

布儒斯特定律

$$i_o = \arctg \frac{n_2}{n_1} \quad i + \gamma = \frac{\pi}{2}$$

3) 检偏方法和规律

每旋转检偏器一周，出射光

光强不变——入射光为自然光（或圆偏振光）

两次最强、两次消光——线偏振光

两次最强、两次最弱，无消光——部分偏振光
（或椭圆偏振光）

第五篇 量子现象和量子规律

一. 爱因斯坦光子论基本思想

$$\left\{ \begin{array}{l} E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \\ p = mc = \frac{h}{\lambda} \\ I = Nh\nu \end{array} \right.$$

二. 关于光电效应和康普顿效应的计算

$$\left\{ \begin{array}{l} h\nu = \frac{1}{2}mv_m^2 + A \\ eU_a = \frac{1}{2}mv_m^2 \\ A = h\nu_o \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \Delta\lambda = 2\lambda_c \sin^2 \frac{\varphi}{2} \\ \lambda_c = 0.024 \text{ \AA} \\ E, \vec{p} \text{ 守恒} \end{array} \right.$$

三. 氢原子光谱及有关计算

•里德伯公式: $\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2}\right)$

$$R=1.097\times 10^7 \text{ m}^{-1} \quad k=1,2,3, \dots \quad n=k+1, k+2, \dots$$

•玻尔能级及跃迁公式:

$$E = \frac{E_1}{n^2} \quad E_1 = -13.6 \text{ eV} \quad n = 1, 2, \dots$$

$$\Delta E = E_n - E_k = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

四. 激光

爱因斯坦辐射理论

- 自发辐射
- 受激吸收
- 受激辐射

激光工作原理，激光特点

激光器组成，各部分功能

五. 物质波概念，德布罗意公式，不确定关系

$$\left\{ \begin{array}{l} p = mv = \frac{h}{\lambda} \\ E = mc^2 = h\nu \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar \\ \Delta y \cdot \Delta p_y \geq \hbar \\ \Delta z \cdot \Delta p_z \geq \hbar \end{array} \right. \quad \Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$$

六. 物质波波函数的统计解释, 归一化条件和标准条件

1. 波函数:

ψ 概率幅

2. 波函数强度:

$|\psi|^2 = \psi \cdot \psi^*$ 粒子在空间分布的概率密度

3. 归一化条件: $\int |\psi|^2 dV = 1$

标准条件: 单值、有限、连续

七. 薛定谔方程, 一维无限深势阱

- 一维定态薛定谔方程: $\frac{d^2\Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U)\Psi = 0$

- 一维无限深势阱:

$$\Psi = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{n\pi x}{a} \quad (0 < x < a) \quad \text{驻波形式}$$

$$E = n^2 E_1 \quad (n = 1, 2, 3 \dots)$$

$$E_1 = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}$$

八. 原子壳层结构

- 描述电子状态的四个量子数及其物理意义
- 泡利不相容原理和能量最小原理
- 每壳层、支壳层最多容纳的电子数

$$2n^2 \quad 2(2l+1)$$

九. 固体能带结构

- 晶体能带结构特点，每个角量子数 l 一定的能带中最多容纳 $2(2l+1)N$ 个电子
- 导体、绝缘体、半导体能带特点

十. 重要实验

黑体辐射实验:

普朗克能量量子假说

光电效应实验:

爱因斯坦光子论

康普顿效应:

光子论检验

夫兰克—赫兹实验:

证明能级存在

戴维孙—革末实验:

证明电子的波动性

斯特恩—盖拉赫实验: 证明电子自旋

.....

第六篇 多粒子体系的热运动

一. M-B 统计在理想气体中的应用

1. 两个基本概念

$$\text{压强: } p = \frac{2}{3} n \bar{\varepsilon}_t \quad \text{温度: } \bar{\varepsilon}_t = \frac{3}{2} kT$$

2. 理想气体状态方程:

$$pV = \frac{M}{\mu} RT \quad p = nkT$$

3. 麦克斯韦分子速率分布

$$f(v) = \frac{dN}{Ndv}$$

三种统计平均速率

$$v_p = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = 1.41 \sqrt{\frac{RT}{\mu}}$$

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = 1.60 \sqrt{\frac{RT}{\mu}}$$

$$\sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = 1.73 \sqrt{\frac{RT}{\mu}}$$

$f(v)-v$ 曲线的意义

4. 能均分定律

平衡态下，物质分子在每个自由度上有相同的

平均动能 $\frac{1}{2}kT$

平均总动能 $\bar{\varepsilon}_k = \frac{i}{2}kT = \frac{1}{2}(t + r + s)kT$

$i = \begin{cases} 3 & \text{单原子分子} \\ 5 & \text{刚性双原子分子} \\ 6 & \text{刚性多原子分子} \end{cases}$

理想气体内能 $E = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} RT$

5. 分子平均碰撞频率和平均自由程

$$\bar{z} = \sqrt{2} \pi d^2 \bar{v} n$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\bar{v}}{\bar{z}} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n} = \frac{kT}{\sqrt{2} \pi d^2 p}$$

二. 热力学第一定律

系统与外界相互作用过程遵守能量转换和守恒定律

第一类永动机 ($\eta > 1$) 不能制成

引入系统状态函数：内能 E

定量表示 $Q = \Delta E + A$

准静态过程 $A = \int p dV$

理想气体 $\Delta E = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T$

•应用:

等值过程（等体、等压、等温）

$$C_V = \frac{i}{2}R; \quad C_p = C_V + R = \frac{i+2}{2}R \quad \gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i}$$

绝热过程

绝热方程

$$\left\{ \begin{array}{l} p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma, \\ T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}, \\ p_1^{\gamma-1} T_1^{-\gamma} = p_2^{\gamma-1} T_2^{-\gamma} \end{array} \right.$$

循环过程

$$\Delta E = 0 \quad Q_{\text{净}} = A_{\text{净}}$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{A_{\text{净}}}{Q_{\text{吸}}} \quad w = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

卡诺循环

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad w = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

三. 热力学第二定律

1. 两种标准表述

第二类永动机 ($\eta = 1$, $w = \infty$) 是不可能制成的。

热机角度：开尔文表述

制冷机角度：克劳修斯表述

2. 一切实际发生的宏观热力学过程都是不可逆的，其自发进行总是向着使系统的无序性增加的方向进行。

热力学概率

引入系统状态函数：熵

3. 熵

玻尔兹曼熵公式

$$S = k \ln \Omega$$

克劳修斯熵公式

$$\Delta S \geq \int \frac{dQ}{T}$$

4. 熵增加原理

孤立系统

自发过程

$$\left. \begin{array}{l} \text{孤立系统} \\ \text{自发过程} \end{array} \right\} \Delta S > 0$$

重点:

基本概念; 基本计算; 基本思想方法。

复习方法:

从薄到厚; 从厚到薄——理清知识线索, 纲举目张。

切实弄懂作业中的题, 举一反三。

如何检验《大学物理》学习是否达到预期目标?

以下三方面标准

1. 对所学习的基本概念和规律是否有正确、清晰的理解。脑子里有比较完整的知识框图和基本清晰的物理图像，能够解决简单的实际问题，而不是只留下支离破碎的公式或“一团乱麻”。
2. 学习兴趣是否有所提高。不仅着眼于学习物理知识，而且开始懂得欣赏物理学的美：物理现象奇妙瑰丽之美，理论描述简洁精确之美，理论结构和谐优雅之美。在生活、学习中有意无意地运用着物理学的思想方法。
3. 学习能力是否有所提高。是否通过包含物理在内的各门基础课的学习，养成了良好的学习习惯，摸索到一套适合自己的学习方法。