

# 大学物理讨论课系列之光学讲义

清华大学

王树超 2014.12月

## 本科生专用试卷

考场纪律

- 一、学生应试时必须携带学生证，以备查对，学生必须按照监考教师指定的座位就坐。
- 二、除答卷必须用的笔、橡皮及教师指定的考试用具外，不得携带任何书籍、笔记、草稿纸等。
- 三、答卷时不准互借文具（包括计算器）。题纸上如有字迹不清等问题，学生应举手请监考教师解决。
- 四、学生应独立答卷，严禁左顾右盼、交头接耳、抄袭或看别人答卷等各种形式的作弊行为，如有违反，当场取消其考试资格，答卷作废。
- 五、在规定的时间内答卷，不得拖延。交卷时间到，学生须在原座位安静地等候监考教师收卷后，方可离开考场。

系别 \_\_\_\_\_ 班号 \_\_\_\_\_ 学号 \_\_\_\_\_ 姓名 \_\_\_\_\_ 成绩 \_\_\_\_\_  
 考试课程 \_\_\_\_\_ 日期 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日 阅卷教师 \_\_\_\_\_

题号	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	总分
成绩													

### 习题讨论课 (干涉、衍射、偏振)

话题一：费马原理/几何光学

王树超 2014.12月

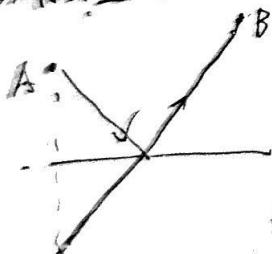
光程:  $l = \int n dl$

$$l = \int_{\omega A}^B n dl \quad \left\{ \text{不能简单给出这两份} \right\}$$

理解: ① 通过相同的光程, 所用的时间相同  
 ② 通过相同的光程, 相位的改变数相同。

费马原理:

从小马过河说起



如果小马喝水以后, 速度提高, 会怎样选择呢?  
 思考:

引出物像之间的等光程原理



平行光源可以看成  
 物点在无穷远。

## 二：光的干涉

复振幅矢量： $\vec{E}_1(p) = E_{10}(p) \exp[i\varphi_1(p)]$   
 $\vec{E}_2(p) = E_{20}(p) \exp[i\varphi_2(p)]$

矢量求和： $\vec{E}(p) = \vec{E}_1(p) + \vec{E}_2(p)$

$I(p) = \vec{E}(p) \cdot \vec{E}^*(p) = |\vec{E}(p)|^2 = E_{10}^2(p) + E_{20}^2(p) + 2E_{10}(p) \cdot E_{20}(p) \cos \Delta\varphi(p)$   
 $= I_1(p) + I_2(p) + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\varphi(p)$

$\Delta\varphi(p) = \varphi_2(p) - \varphi_1(p)$

条纹对比度  $V = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$

$\varphi_1 = k \cdot \vec{r} + \varphi_{10}$

$\varphi_2 = k \cdot \vec{r} + \varphi_{20}$

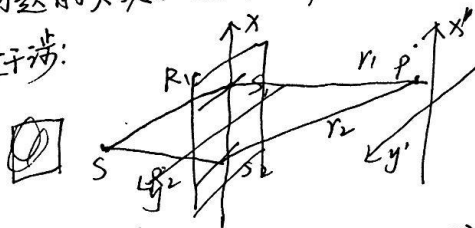
$\Delta\varphi = 0, I_{max} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}$   
 $I_{min} = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2}$

$\Delta\varphi = (2m+1)\pi$

两束光相位的不同是由光程不同引起的  
 和初相位不同

引出双缝干涉，由于光源相同，初相相同，那么条纹完全由光程差决定  
 干涉问题的灵魂就是找光程差

### ① 双缝干涉：



已知的光程差： $\Delta = R_2 + r_2 - (R_1 + r_1) = (R_2 - R_1) + (r_2 - r_1)$   
 $\delta = \frac{2\pi}{\lambda} (r_2 - r_1)$

将S放在S1S2中垂线上，则  $\Delta = r_2 - r_1$  水平移动S → 条纹不变

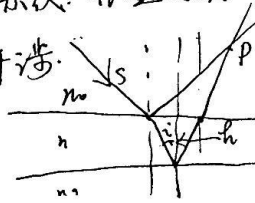
$\Delta = r_2 - r_1 = m\lambda$  (亮纹)  $\Delta = r_2 - r_1 = (m + \frac{1}{2})\lambda$

“中央亮条纹” →  $\Delta = 0$  处

讲到这，第一题还有不明白的同学吗？

② 等倾条纹：很遗憾，没有相关的题，还剩时间就讲

③ 等厚干涉：



$\Delta = 2nh \cos i$  ( $+\frac{\lambda}{2}$ ) 半波损 (视情况而定)

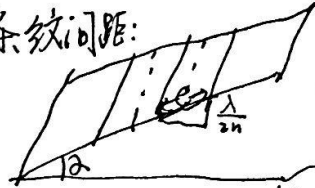
# 1. 楔形板的等厚干涉

从光程差入手  $i=0 \rightarrow \Delta = 2nh\left(1 + \frac{\lambda}{2}\right)$

亮条纹条件:  $\Delta = m\lambda \Rightarrow h = \frac{(m + \frac{1}{2})\lambda}{2n} \quad (m=0, 1, 2, \dots)$

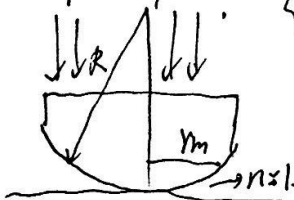
暗条纹条件:  $\Delta = (m + \frac{1}{2})\lambda \Rightarrow h = \frac{m\lambda}{2n}$

条纹间距:  $e = e_2 = \frac{\lambda}{2n} \Rightarrow e = \frac{\lambda}{2n\alpha}$



# 2. 牛顿环

牛顿: 我所以看得更远, 是因为我站在巨人的肩上



$\Delta = 2h + \frac{\lambda}{2}$   
中心点  $\Delta = \frac{\lambda}{2}$  为暗点

第m个暗环半径  $r_m$   $\Delta = (m + \frac{1}{2})\lambda$ , 即  $h = m\frac{\lambda}{2}$

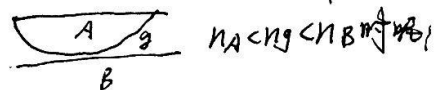
由几何关系:  $r_m^2 = h(2R - h) \approx 2Rh = mR\lambda \Rightarrow r_m = \sqrt{mR\lambda}$

亮条纹:  $r_m = \sqrt{(m - \frac{1}{2})R\lambda}$

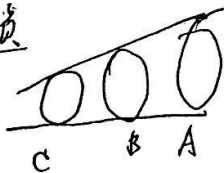
间距  $e_m = \frac{dr_m}{dm} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R\lambda}{m}} = \frac{R\lambda}{2r_m}$

特点: 中心点向外, 干涉级m逐渐增高. 间距  $e_m \downarrow$ , 越向外越密.

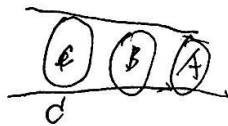
问: 所有牛顿环中间都是暗纹吗?



# 看第二题



还是



$2n\lambda(ds - dc) = \lambda$

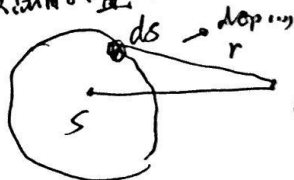
$ds - dc = \frac{\lambda}{2n} \quad (n=1)$

向下挤压  $cd$  或  $A$  时

看条纹变疏还是变密

### 题三：光的衍射

惠更斯-菲涅耳原理：波前上每一点都可以看做是次波中心，光场中某一点的扰动是包围光源的任一闭曲面上所有点发出的次波在该点的叠加。



$$E(P) = \oint d\vec{E}(P)$$



$N$ 多 (无穷多) 小细缝的叠加

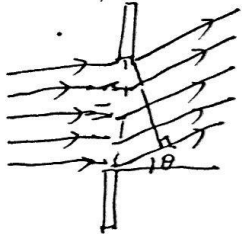
干涉和衍射没有本质区别：都是波矢量的叠加。

菲涅耳衍射



夫琅禾费衍射：①单缝衍射 (连通孔径)

★光程差：

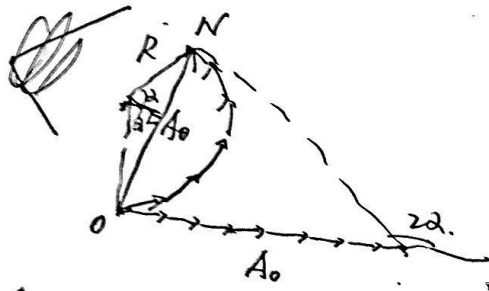


$$A = a \sin \theta$$

$$A\theta = 2R \sin \alpha$$

$$\Rightarrow A_0 = A \cdot \frac{\sin \alpha}{\alpha}$$

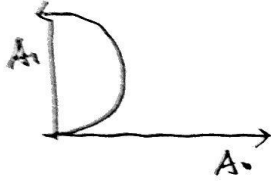
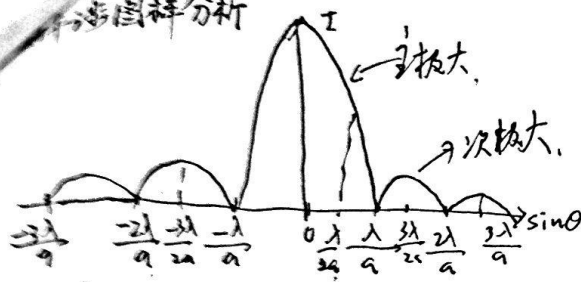
矢量图解法：



$$A_0 = R \cdot 2\alpha$$

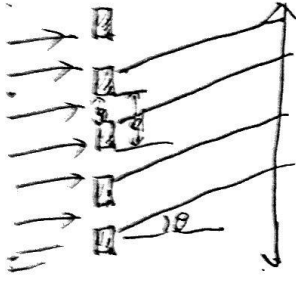
$$\Rightarrow I_\theta = I_0 \left( \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2$$

# 干涉图样分析



转半为一个主极强。  
由于没遇到零点，所以第一主极强没在主极大里  
主极强(0级)是其他次极强宽度两倍。  
(有2个一级主极强没在里面)。

## ②多缝衍射(非连通孔)



有三个长度在起作用  
(越小影响越大，故由小到大大分析之)

$a$ : "单缝衍射因子" 决定的光程差  $a \sin \theta$   
矢量图之转一圈，会出现零点  $(\pm \frac{\lambda}{a}, \pm \frac{2\lambda}{a}, \dots)$



$$\delta = d \sin \theta$$

$d$ : "邻缝干涉因子": 矢量图之转一圈 (相邻的缝同步时)  
为相长干涉，故有主极强  $(\pm \frac{\lambda}{d}, \pm \frac{2\lambda}{d}, \dots)$

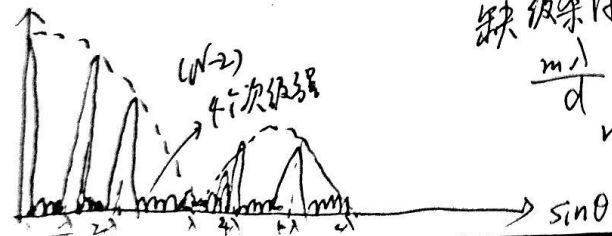
## ③多缝干涉因子

矢量图之转一圈，相消，故  $\pm \frac{\lambda}{Nd}, \pm \frac{2\lambda}{Nd}, \dots$  为零点。



转半圈，为次极强  $\pm \frac{2\lambda}{Nd}, \pm \frac{3\lambda}{Nd}, \dots$   
淹没在主极大里

假如  $N=6, d=3a$



缺级条件:

$$\frac{m\lambda}{d} = \frac{n'\lambda}{a}$$

$$m = \frac{d}{a} \cdot n' = 6n'$$

的半角宽度

$$d \cos \theta = \cos \theta d \theta$$

两端零点在  $\frac{\lambda}{Nd}$  处.

$$\Delta \theta_m = \frac{\lambda}{Nd \cos \theta_m}$$

讨论题目 62 和 三和五

五. (1)  $d = 2.4 \times 10^{-4} \text{ m} = 24 \text{ nm} \rightarrow d \sin \theta = 2\lambda$  = 级主极大

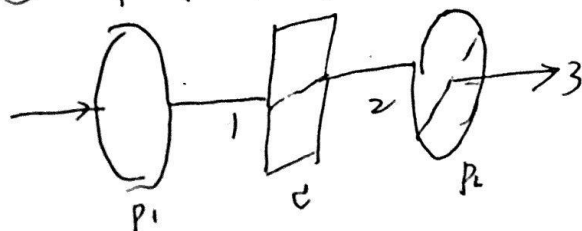
(2) 由缺级  $\frac{1}{3}d = a = 8 \text{ nm}$

(3) 屏幕可以看到的级次为  $d \sin \theta = m\lambda$ ,  $m=3$   
3 看不到, 故有  $(0, \pm 1, \pm 2)$

(4)  $\frac{\lambda}{Nd \cos \theta_m}$

话题四: 晶体. 玻片. 光的偏振.

马吕斯定律:  $I = I_0 \cos^2 \theta$



LP:  $I_1 = \frac{1}{2} I_0$   $\rightarrow$  线偏振

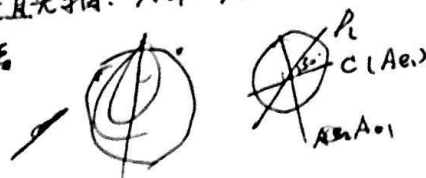
LC:  $I_2$  不变为  $\frac{1}{2} I_0$

光轴:  $A_{e1} = A_1 \cos 60^\circ$   
垂直光轴:  $A_{o1} = A_1 \sin 30^\circ$

0 光相对 e 光的光程差

$\Rightarrow$  相位差  $\frac{\pi}{2}$ . 有圆偏振光.

过 P2: 偏振后



$$\rightarrow \frac{3}{16} I_0$$

$\rightarrow$  线偏振光

$$A_{e1} = A_{e1} \cos 30^\circ = A_1 \cos 60^\circ \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{4} A_1$$

$$A_{o2} = A_{o1} \cos 60^\circ = A_1 \sin 30^\circ \cos 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{4} A_1$$

斯原理

$V_e > V_0$  负晶体

$V_e < V_0$  正晶体

