

等倾干涉
 $\Delta = 2nh\cos\theta + \frac{\lambda}{2}$
 越接近条纹中心
 $\theta \downarrow \Delta \uparrow$ m 个级次 \uparrow
 中心级次高
 等厚干涉一半级环

题号	一	二	三	四	成绩	核分人签字
得分						

一、简答题(任选 5 题, 每题 8 分, 共计 40 分)

1、画出下列相干光源照射楔形平板产生干涉条纹的定域面的位置, 并简要说明。

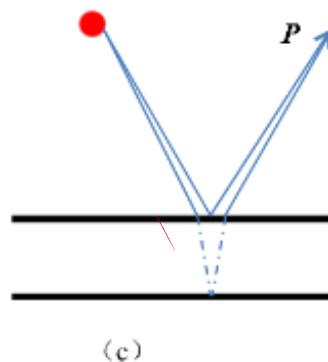
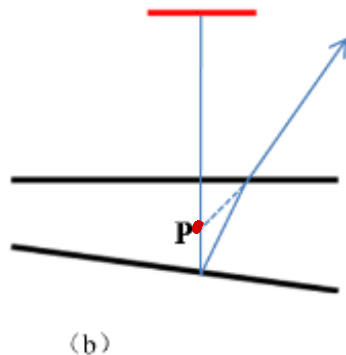
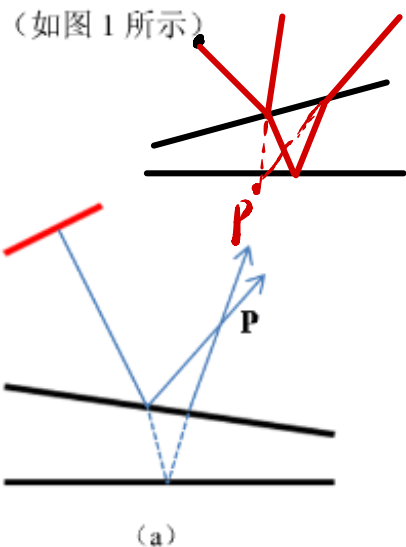


图 1

(a) 定域面在板上 (b) 定域面在板内 (c) 平行板的定域面

2、简述产生干涉必须满足的条件有哪些?

答: 干涉现象的产生必须满足以下 3 个必要条件:

- 1) 参与干涉的各波的频率相同;
- 2) 各波见的位相差恒定;
- 3) 各波的振动方向相同;

频率相同
 位相差恒定
 振动方向

以及, 叠加的各光波间的光程差不超过光源波列的相干长度。

角半径
 $\theta \propto \sqrt{m\lambda}$

3、F-P 标准具可用作光谱线超精细结构的研究, 设光源中含有两条谱线 λ_1 (虚线) 和 λ_2 (实线), 说明图 2 中 4 个参数的物理意义, 及相互关系。

答: 如图中 $\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda$, $\Delta\lambda < 0$, $\lambda_2 < \lambda_1$

波长为 λ_1 形成一组干涉级为 m_1 的等倾干涉条纹;

波长为 λ_2 形成一组干涉级为 m_2 的等倾干涉条纹。(2 分)

e 是同一波长的相邻条纹的间距;

Δe 是不同波长的相同级次的干涉条纹的间距,

称为条纹的相对位移。(2 分)

当两波长差增大, 也相应增大。

当波长长的的高级次条纹与波长短的的低级次的条纹重叠

即称为越级次, 换句话说, 的 m_1 级次条纹与的 (m_2) 级次条纹重叠,

就说波长的条纹越级, 即存在这样的关系: $\lambda_1 m = \lambda_2 (m-1)$ (4 分)

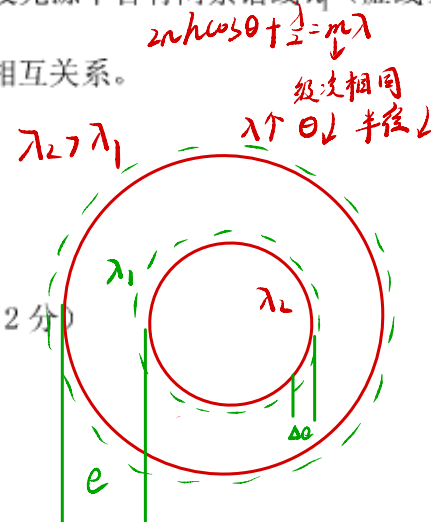


图 2

4、简述平行平板的等倾干涉条纹与等厚干涉牛顿环的相同点与不同点。

答：(4 分) 相同点：

- 1) 两种干涉条纹均是一组明暗相间的同心圆环组成；
- 2) 条纹间距随着离中心距离的增大而减小，即中心条纹疏间距大，边缘的条纹密间距小；

(4 分) 不同点：

- 1) 牛顿环圆条纹的中心总是暗的，而等倾干涉圆条纹的中心是亮暗，由对应的中心干涉级次决定；
- 2) 牛顿环干涉条纹的干涉级次由中心向外增大；等倾干涉圆条纹的干涉级次由中心向外减小，即圆心的干涉级次最高。

5、在图 3 所示牛顿环装置中，用平行光垂直照明。

(1) 当透镜沿光轴靠近平板时 (图 3(a))，条纹将如何变化？为什么？

(2) 若透镜曲率半径变小 (图 3(b))，则干涉条纹有何变化？为什么？

牛顿环 中间级次大
中间疏 边上密



图 3

$$2nh\cos\theta + \frac{\lambda}{2} = m\lambda$$

$$2nh\cos\theta + \frac{\lambda}{2} = m\lambda$$

答：(1) 中心圆条纹向边缘移动，从中心冒出，条纹由密变疏。

因为当透镜向平板靠近是，由于 h 减少后光程差减小，所以条纹向透镜移动前光程差/级次较大的方向即边缘移动。(4 分)

(2) 条纹由外向中心收缩，条纹由疏变密，圆条纹间距变小，条纹数增加。

因为当透镜曲率半径变小后，相同位置处的 h 增大，光程差增大，条纹由曲率变小前光程差大的级次条纹替代，即级次大的外围条纹向中心移动，所以条纹数增多。(4 分)

6、分析迈克尔逊测星干涉仪工作原理 (如图 4)。

答：迈克尔逊测星干涉仪利用了扩展光源的临界临界宽度的概念，即当条纹可见度为 0 时的光源宽度。(3 分)

如图所示，L 是望远镜，反射镜 M_1 和 M_2 分别把由被测星体发射来的两束光反射给反射镜 M_2 与 M_3 ，反射镜 M_2 与 M_3 再反射进望远镜 L，在焦平面，即观察平面上会聚，产生干涉。反射镜 M_2 与 M_3 能移动，其间距离为 d ，当在观察到的干涉条纹正好消失时，得到的星体大小的一维尺寸相当于一个扩展光源临界宽度的大小。(5 分)

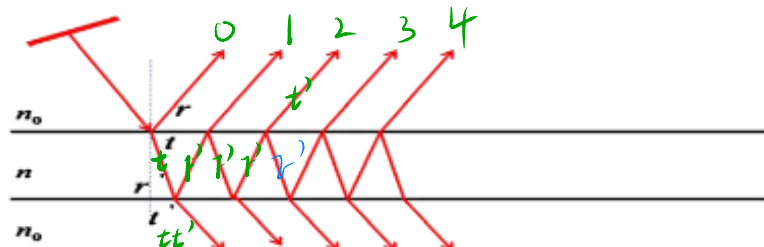
临界宽度
 $b = \frac{\lambda L}{\alpha} = \frac{\lambda}{\theta}$

$$\alpha = \frac{1.22\lambda}{\theta}$$

图 4

三、计算题 (任选 4 题, 每题 15 分, 共计 60 分)

1、完成图 5 中被平行平板上下介面反射和透射的各条光线, 写出各条光束的复振幅的表达式, 上下介面的反射系数与透射系数分别是 r, t, r', t' 。



解: 设入射光的振幅为 A , 则有

反射光

$$A_0^{(r)} = rA$$

$$A_1^{(r)} = tr't'A$$

$$A_2^{(r)} = tr'^2t'A$$

$$A_3^{(r)} = tr'^5t'A$$

.....

$$A_p^{(r)} = tr'^{(2p-1)}t'A$$

透射光

$$A_1^{(t)} = tt'A$$

$$A_2^{(t)} = tr'^2t'A$$

$$A_3^{(t)} = tr'^4t'A$$

$$A_4^{(t)} = tr'^6t'A$$

.....

$$A_p^{(t)} = tr'^{(2p-2)}t'A$$

2、在等倾干涉实验中, 若照明光波的波长 $\lambda = 600nm$, 平板的厚度 $h = 2.5mm$, 折射率 $n = 1.5$, 其下表面涂上某种高折射率介质($n_H > 1.5$), 问

1) 在反射光方向观察到的圆条纹中心是暗还是亮?

2) 由中心向外计算, 第 8 个亮环的半径是多少? (设观察望远镜物镜的焦距为 10cm。)第 8 个亮环处的条纹间距是多少?

解:

$$(1) 2nh + \lambda = m\lambda \quad m = 12501, \text{ 亮纹} \quad (4 \text{ 分})$$

$$(2) q=1, n=1.5, n'=1, N=8$$

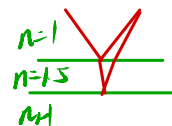
$$\theta_{1N} \approx \frac{1}{n'} \sqrt{\frac{n\lambda}{h}} \cdot \sqrt{N-1+q} = 0.0537 \text{ rad} \quad (3 \text{ 分})$$

$$r = \theta_{1N} f = 5.37 \text{ mm} \quad (2 \text{ 分})$$

$$|d\theta_1| = \left| \frac{n\lambda}{2n'^2 h \sin \theta_1} \right| = 0.00335 \text{ rad} \quad (3 \text{ 分})$$

$$e = f \cdot d\theta_1 = 0.0335 \text{ mm} \quad (2 \text{ 分})$$

先疏到光密存在半波损失



3、用 F-P 标准具分析汞的四种同位素（超精细结构分别为 546.0753nm、546.0745nm、546.0734nm、546.0728nm），问如何选取标准具的间距？（设标准具板面的反射率 $R=0.9$ ）。 4、试根据干涉条纹许可清晰度的条件求出在等厚干涉中光源的许可宽度。

解：最大波长差： $\Delta\lambda_{max} = 0.0025nm$,

(1 分)

标准具的自由光谱范围 $\frac{\lambda^2}{2h}$

(2 分)

应有 $\Delta\lambda_{max} < \frac{\lambda^2}{2h}$

(1 分)

所以 $h < 60mm$

(1 分)

最小波长差： $\Delta\lambda_{min} = 0.0006nm$

(1 分)

标准具分辨本领：

$$A = \frac{\lambda}{\Delta\lambda_m} = 0.97ms$$

(2 分)

其中，干涉级次 $m = 2h/\lambda$,

(1 分)

条纹精细度： $s = \frac{\pi\sqrt{R}}{1-R} = 30$

(1 分)

标准具能分辨的最小波长差： $\Delta\lambda_m = \frac{\lambda^2}{0.97 \times 2hs}$

应有 $\Delta\lambda_{min} > \frac{\lambda^2}{0.97 \times 2hs}$

(1 分)

所以 $h > 8.5mm$

(1 分)

解：光源中心点 $\Delta_1 = 2nh$

(2 分)

光源边缘点 $\Delta_2 = 2nh \cos \theta_2$

(2 分)

$$\Delta = \Delta_1 - \Delta_2 = 2nh - 2nh \cos \theta_2 \leq \lambda/4$$

(3 分)

$$\Delta \approx nh\theta_2^2 = \frac{n'^2h}{n}\theta_1^2 \leq \frac{\lambda}{4}$$

(2 分)

$\left\{ \begin{array}{l} n' \text{ 空气} \\ n \text{ 介质} \end{array} \right.$

$$\theta_1 = \frac{1}{2n'} \sqrt{\frac{n\lambda}{h}}$$

(1 分)

$$\text{光源宽度 } d = 2\theta_1 f = \frac{f}{n'} \sqrt{\frac{n\lambda}{h}}$$

(2 分)

5、洛埃镜实验中,光源 S_1 到观察屏距离 1.5m,到洛埃镜的垂直距离 2mm,洛埃镜长 40cm,置于光源与屏之间的中央,如图 6 所示。问:屏上可以看到干涉条纹的区域?若波长 500nm,干涉条纹间距是多少?屏上可见几条条纹?

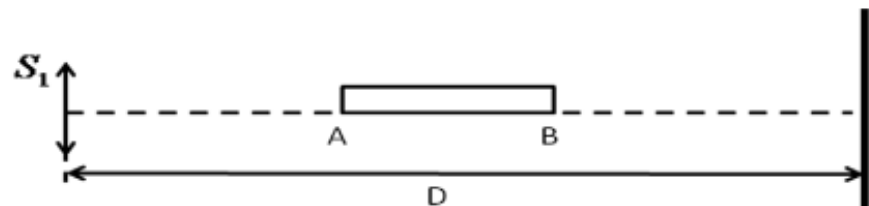
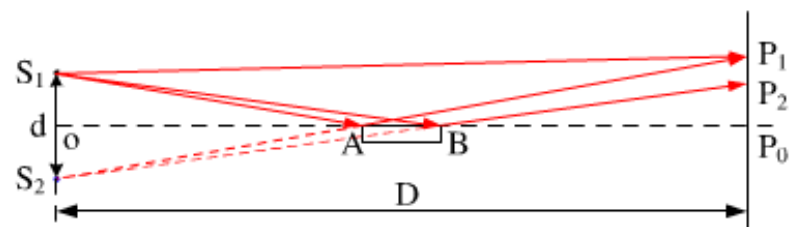


图 6

解:



(1) 两束光(反射与直射)交汇的区域 P_1P_2 。(4 分)

(2) $d=4\text{mm}$, $D=1500\text{mm}$

$$e = \frac{\lambda D}{d} = 0.1875\text{mm} \quad (4 \text{ 分})$$

$$(3) \quad P_1P_0 = \frac{S_1O}{D/2 - AB/2} (D/2 + AB/2) = 3.45\text{mm}$$

$$N_1 = \frac{P_1P_0}{e} = 18.4$$

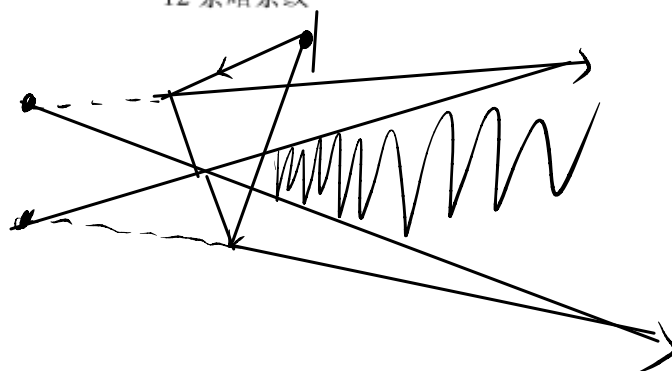
$$P_2P_0 = \frac{S_1O}{D/2 + AB/2} (D/2 - AB/2) = 1.16\text{mm}$$

$$N_2 = \frac{P_2P_0}{e} = 6.19$$

$$N = N_1 - N_2 = 12.21$$

12 条暗条纹

(4 分)



(考试时间: 2小时)

题号	一	二	三	四	五	六	七	八	成绩	核分人签字
得分										

一、填空题(每题2分, 共20分)

- 一平面波的复振幅表达式为 $u(x, y, z) = A \exp[j(2x - 3y + 4z)]$, 波长 $\frac{2\sqrt{5}\pi}{4}$, 沿 z 方向的空间频率 $\frac{2}{\lambda}$ 。
 $k \cos \alpha = 2$ $k \cos \beta = -3$ $k \cos \gamma = 4$ $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ $\frac{2\pi}{\lambda} \cdot 4 \cdot z = 4z$ $\frac{4}{\lambda}$
- 频率相同、振动方向相互垂直的两束单色光波叠加, 其合成光波偏振态取决于 振幅比 和 位相差。
- 自然光沿晶体某一方向传播时, 两束光路不分开, 则这个方向 晶体光轴方向。
- 光线以入射角 i 由空气射入折射率为 n 的介质, 预使反射光线垂直于折射光线, 则入射角 i 和折射率 n 的关系 $i = \arctan n$ 。
- 一束右旋圆偏振光, 从一玻璃表面垂直反射出来后, 是 左 旋。
- 衍射系统中, 特别关心三个波前上的场分布, 入射场 $\tilde{E}_1(x, y)$ 、出射场 $\tilde{E}_2(x, y)$ 和衍射场 $\tilde{E}'(x', y')$, 波前 $\tilde{E}_1(x, y)$ 转化为波前 $\tilde{E}_2(x, y)$ 是 衍射屏 的作用, 波前 $\tilde{E}_2(x, y)$ 导出波前 $\tilde{E}'(x', y')$ 是光的传播问题。
 $z_1 \pm \infty$ $z_2 \pm \infty$ $z_1 + z_2 + z_3 + (z_7 - z_8 \dots)$ $320 + \frac{z_0}{2}$
- 若一菲涅尔波带片只将前三个偶数半波带片挡住, 其余部分都开放, 则衍射场中心复振幅与自由传播时复振幅之比 7:1, 其强度之比为 49:1。
 $z = \frac{1}{2} z_1$ $320 + \frac{z_0}{2}$
- F-P 干涉仪自由光谱范围小主要来自于 $\Delta \lambda \propto R = \frac{\lambda}{2d}$ 间距 d 较大, 光栅自由光谱范围大主要来自于 干涉级次 m 较小。
 $\Delta \lambda = \frac{\lambda}{m}$

- 根据惠更斯-菲涅耳原理, 若已知光在某时刻的波振面为 S , 则 S 的前方某点 P 的光强度决定于波振面 S 上所有面积元发出的子波各自传到 P 点的 相干叠加。
- 一平面衍射光栅具有 N 条光缝, 则中央零级干涉明条纹和一侧第一级干涉明纹之间将出现的暗条纹数为 $N-1$ 。

二、简答(共30分, 每小题6分)

- 图1所示的棱镜是由两块方解石三棱镜和一块玻璃三棱镜粘合而成, 玻璃的折射率 $n = n_e$ (方解石 e 光的 n_e 折射率)。试画出自然光垂直入射时, 其出射光的传播方向和振动方向(标出 o 光和 e 光)。
 $n_o > n_e$

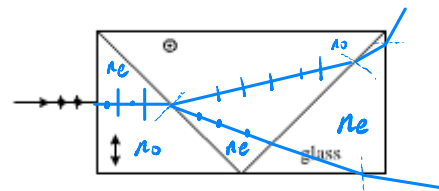


图1

- 简要分析图2所示夫琅和费衍射装置如有以下变动时, 衍射图样会发生怎样的变化? 为什么?
(1) 点光源向上移动;
(2) 增大衍射屏孔径。

1. 图样向下移动
2. 条纹变细
亮度变大
 $E = C \cos \theta$

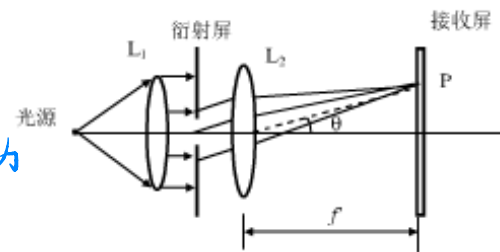


图2

5. 试利用琼斯矩阵证明一束左旋圆偏振光和一束右旋圆偏振光，当它们的振幅相等时，合成的光是平面偏振光。

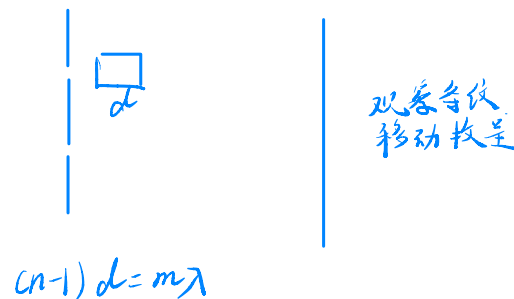
3. 对实际光波的两种说法——“光是由有限长的波列组成”和“光是非单色的”完全是等效的，它们是光源同一性质的不同表述。你是怎样理解这句话的，它们各自侧重点是？

光先是由有限长的波列组成 → 相干长度
 $\frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$

波长

频率

4. 能否用干涉法测量某一气体的折射率？如果能，试设计出相应的测量光路并简述其测量原理。



三、计算分析题（共 50 分，第一小题 12 分，第二小题 20 分，第三小题 18 分）

1. (12 分) 在 xyz 坐标系中，在 $(0,0,-d)$ 处有一单色点光源，求：

- ① 该点光源发出的球面波在 xy 平面上的复振幅分布；
- ② 旁轴条件下，在 xy 平面上的复振幅分布；
- ③ 一单色平面波正入射于 xy 平面上，并与该球面波干涉，试讨论其干涉场分布（旁轴近似）。

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + (z+d)^2}$$

$$E = \frac{A}{r} \exp(i k \sqrt{x^2 + y^2 + (z+d)^2})$$

$$\text{② 旁轴 } z^2 \gg (x^2 + y^2)_{\max} \quad x^2 + y^2 \ll z^2$$

$$E = \frac{A}{d} e^{i k d} \left(1 + \frac{x^2 + y^2}{2d^2} \right)$$

$$\text{③ } E = A e^{i k z}$$

$$I = |E_1|^2 + |E_2|^2 + E E^* + E^* E$$

2. (20 分) 对图 3 所示的衍射屏, 缝宽为 a , 两缝之间的距离为 d , 设用单位振幅的单色平面波垂直照明该衍射屏。试求

- ① 观察平面上的夫琅和费衍射图样的强度分布。
- ② 若对其中一个缝引入相位差 π , 上述结果有何变化?
- ③ 讨论当衍射狭缝宽度极小时, 衍射图样的强度分布

$$\textcircled{1} \quad \delta = \frac{1}{\lambda} a \sin \theta$$

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

$$E_1 = E_0 \frac{\sin \delta}{\delta}$$

$$E_2 = E_0 \frac{\sin \delta}{\delta} \exp(i\delta) \quad \text{相位差}$$

$$\textcircled{2} \quad E_1 = E_0 \frac{\sin \delta}{\delta} \quad E_2 = E_0 \frac{\sin \delta}{\delta} \exp(i\delta + \pi)$$

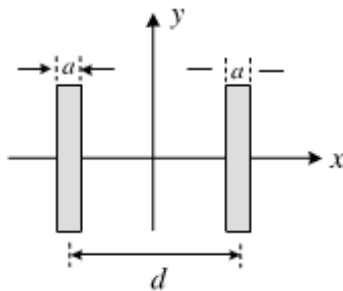


图 3



3. (18 分) 一单色自然光通过尼科耳 N_1 、 N_2 和晶片 C ，其次序如图 4 所示。 N_1 的主截面竖直， N_2 的主截面水平， C 为对应于这波长的 $\lambda/4$ 波片，其主截面与竖直方向成 30° 角，试问：①在 N_1 和 C 之间， C 和 N_2 之间，以及从 N_2 透射出来的光各是什么性质的光？并在图中画出示意图。②若入射光的强度为 I_0 ，则上述各部分的光的强度各是多少

(若为椭圆偏振光须说明分解为长短轴方向上的线偏振光的强度)？

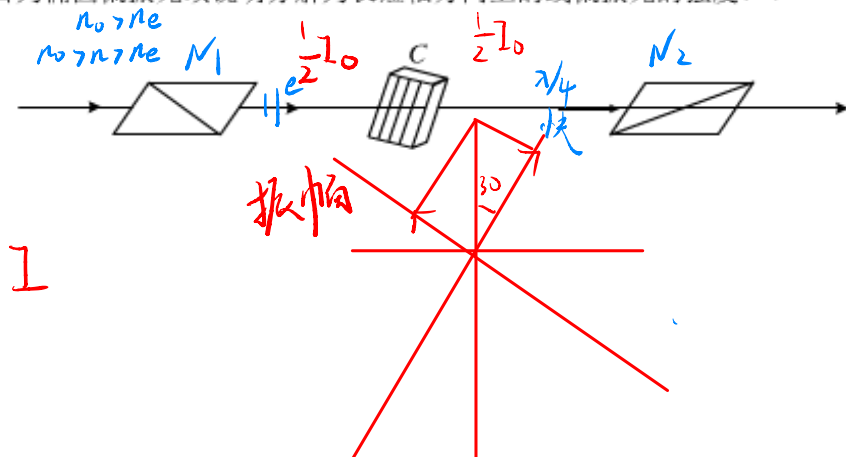


图 4

3. (18 分) 一单色自然光通过尼科耳 N_1 、 N_2 和晶片 C ，其次序如图 4 所示。 N_1 的主截面竖直， N_2 的主截面水平， C 为对应于这波长的 $\lambda/4$ 波片，其主截面与竖直方向成 30° 角，试问：①在 N_1 和 C 之间， C 和 N_2 之间，以及从 N_2 透射出来的光各是什么性质的光？并在图中画出示意图。②若入射光的强度为 I_0 ，则上述各部分的光的强度各是多少（若为椭圆偏振光须说明分解为长短轴方向上的线偏振光的强度）？

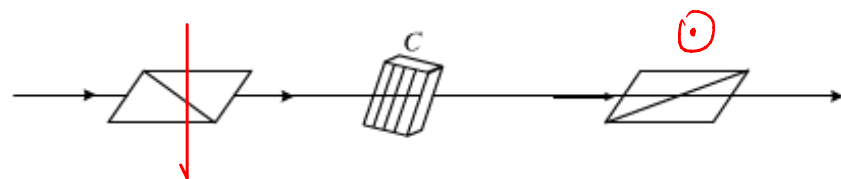


图 4

