一、几何光学

1.几何光学三定律（$a \gg \lambda$）：光的直线传播定律；光的反射和折射定律；独立传播定律。全反射、色散。光的可逆性原理、惠更斯原理、费马原理。

2.成像：反射等光程面为圆锥曲面；球面折射只有齐明点严格成像，$r_1 r_2 = r^2, n_1 r_1 = n_2 r_2$。

<table>
<tr><td>类型</td><td>公式</td><td>规定</td></tr>
<tr><td>球面傍轴光束成像</td><td>物像距公式：$\frac{f}{s}+\frac{f'}{s'}=1$
（折射：$\frac{n}{s}+\frac{n'}{s'}=-\frac{n-n'}{r}$，反射：$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=-\frac{2}{r}$）
横向放大率公式：$V=\frac{y'}{y}=-\frac{ns'}{n's}$
拉格朗日-亥姆霍兹定理：$ynu=const$</td><td rowspan="3">入射光从左至右（自光心计）：（1）s：物点Q位于顶点A左边（2）s'：像点Q’位于顶点A右边（3）r：圆心O位于顶点A右边（4）y,y': 物像点位于轴上方（5）u: 光轴逆时针转至光线（6）x：物点Q在物焦点F左边（7）x'：像点Q’在像焦点F’右边</td></tr>
<tr><td>薄透镜</td><td>物像距公式高斯形式：$\frac{f}{s}+\frac{f'}{s'}=1$
（$f=\frac{f_1 f_2}{f'_1+f_2}, f'=\frac{f'_1 f'_2}{f_1+f'_2}$）
空气中，$F=\frac{1}{(n-1)(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2})}$
牛顿形式：$xx'=ff'$
横向放大率公式：$V=-\frac{ns'}{n's}=-\frac{f}{x}=-\frac{x'}{f'}$</td></tr>
<tr><td>密接薄透镜组</td><td>物像距公式：$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$
（$P=P_1+P_2$，物像方折射率为1，否则$P=\frac{n}{f}$）</td></tr>
<tr><td>理想光具组</td><td>物像距公式高斯形式：$\frac{f}{s}+\frac{f'}{s'}=1$
牛顿形式：$xx'=ff'$
横向放大率公式：$V=-\frac{fs'}{f's}=-\frac{f}{x}=-\frac{x'}{f'}$</td><td>入射光从左至右（自主点计）：（8）Δ: F_2在F'_1右边（9）d：H_2在H'_1右边（10）：X_H：</td></tr>
</table>

	角放大率：$W=\frac{tanu'}{tanu}=-\frac{s}{s'}$ $VW=\frac{f}{f'}$（亥姆霍兹公式：$yntanu=const$，单球面宽光束成像）	H 在H_1左边，$X_{H'}$：H'在H'_2右边
理想光具组的联合	$$f=-\frac{f_1f_2}{\Delta},f'=-\frac{f'_1f'_2}{\Delta}$$ $$X_H=f_1\frac{d}{\Delta},X_{H'}=f'_2\frac{d}{\Delta}$$ （$P=P_1+P_2-P_1P_2d$，两个薄透镜联合）	

3.光学仪器

名称	特征
投影仪器	$s\approx f,s'\gg f,V=-\frac{s'}{s}=-s'/f$
照相机	$s'\approx f',s\gg f$，此时小范围调整s'，可以大幅改变s；光阑直径越小，$\delta x'/\delta x=-f^2/x^2$越小，越利于加大景深
眼睛	明视距离$s_0=25cm$，最小分辨角$\delta\theta_e=1'$
放大镜和目镜	$f\ll s_0$，物在 F 内侧附近，视角放大率$M=\frac{\omega'}{\omega}=\frac{s_0}{f}$，规定$\omega$与$u$相反
显微镜	在目镜前增加一个焦距极短的物镜，物镜与目镜间隔比焦距大得多，物体在物镜焦点F_O外侧附近，成实像于目镜焦点F_E内侧附近。视角放大率$M=V_OM_E=-\frac{\Delta s_0}{f_Of_E}$。
望远镜	物镜焦距较长，物镜后焦点与目镜前焦点几乎重合，$M=-\frac{f_O}{f_E}$
棱镜光谱仪	角色散本领$D=\frac{d\delta}{d\lambda}=\frac{b}{a}\frac{dn}{d\lambda}$，$b$为棱镜底长，$a$为光束宽度，$R=b\frac{dn}{d\lambda}$

4.阿贝正弦条件：$ynsinu=y'n'sinu'$，这是轴上物点以大孔径光束成像的条件，满足该条件的轴上物点称为齐明点

5.单色像差：球面像差（轴上物点发出的大孔径光线不聚焦于一点）；彗形象差（轴外五点发出的宽光束不再交于一点，形成彗星亮斑）；像散（轴外物点发出宽光束，水平和竖直方向光线汇聚于不同平面，明晰圈是放置底片最好的位置）；像场弯曲（物平面对应的明晰圈轨迹是曲面）；畸变（对于物平面上所有点，横向放大率不同）。将$sin\theta$的第一个非线性项计入横向相差，表达式含五项，系数称为赛德尔系数，对应五中单色像差，称为初级像差或三级像差理论。色差：折射率随波长改变，分为轴向色差，横向色差。

6.视见函数$V(\lambda)=\frac{\Delta\Psi_{5500}}{\Delta\Psi_{\lambda}}$，它分为适光性视见函数和适暗性视见函数。量度对眼睛的有效光通量，需要将实际辐射能通量乘以视见函数，即$\Phi=K_M\int V(\lambda)\psi(\lambda)d\lambda$，$K_M$是最大光功当量，光通量单位为流明。点光源沿某方向的发光强度$I=\frac{d\Phi}{d\Omega}$，单位是坎德拉。面元 dS 沿某方向的亮度$B=dI/dScos\theta$，单位是熙提。余弦发射体（朗伯发光体）满足朗伯定律$dI\propto cos\theta$，均匀球形余弦发射体从远处看来与同半径的均匀发光圆盘无异。照度$E=\frac{d\Phi'}{dS'}$，单位是勒克斯，点光源产生的照度$E=\frac{Icos\theta'}{r^2}$，面光源产生的照度$E=\iint\frac{BdScos\theta cos\theta'}{r^2}$。

7.漫射体$B=\frac{E}{\pi}$。$B'=k(n'/n)^2B$，B'为像的亮度，B为物的亮度，k为透光系数，光具组基本不改变像的亮度。傍轴条件下，像的照度$E=k\pi B(n'/n)^2{u'_0}^2=\frac{k\pi B{u_0}^2}{V^2}=\frac{k\pi B}{4}\left(\frac{D}{f}\right)^2$，像距远大于焦距时照度与横向放大率的平方呈反比，物距远大于焦距时，照度不随物距改变，$\frac{D}{f}$称为相对孔径。天然主观亮度$H_0=(n'/n)^2\frac{k\pi B}{4}\left(\frac{D}{f}\right)^2$。对于望远镜$D'=D/M$，对于显微镜$D'\propto N.A./M$，$N.A.=nsinu_0$称为数值孔径。如果放大率小于正常放大率，主观亮度与天然主观亮度相等，否则小于天然主观亮度。

二、波动光学

1.波的复振幅$\widetilde{U}(P,t)=A(P)e^{i\varphi(P)}e^{-i\omega t}$，指数上因子为相位的相反数。平面波$A(P)=A,\varphi(P)=\boldsymbol{k}\cdot\boldsymbol{r}+\varphi_0$，球面波$A(P)=a/r,\varphi(P)=kr+\varphi_0$。

2.轴上物点傍轴条件：$z^2\gg\rho^2$，此时$A(P)\approx a/z$；远场条件：$z\gg\frac{\rho^2}{\lambda}$，此时$\varphi(P)\approx kz$，一般远场条件强于傍轴条件。对于轴外物点，当物点和场点都满足傍轴条件时，$\widetilde{U}(x',y')=\frac{a}{z}exp[ik(r_0+\frac{x^2+y^2}{2z})]exp[-ik\frac{xx'+yy'}{z}]=\frac{a}{z}exp[ik(r'_0+\frac{x'^2+y'^2}{2z})]exp[-ik\frac{xx'+yy'}{z}]$。

3.$I(P)=I_1(P)+I_2(P)+2\sqrt{I_1(P)I_2(P)}cos\delta(P)$，这种因波的叠加从而引起强度重新分布的现象，叫做波的干涉。相干条件：频率相同；存在相互平行的振动分量；相位差$\delta(P)$恒定。干涉条纹衬比度$\gamma=\frac{I_M-I_m}{I_M+I_m}=\frac{2(A_1/A_2)}{1+(A_1/A_2)^2}$，于是$I=I_0(1+\gamma cos\delta)$。

4.杨氏双缝干涉实验干涉条纹间距$\Delta x=\frac{\lambda D}{d}$。两束平行光的干涉场$I(x,y)=(A_1^2+A_2^2)\{1+\gamma cos[k(cos\alpha_1-cos\alpha_2)x+k(cos\beta_1-cos\beta_2)y+\varphi_{20}-\varphi_{10}]\}$，$\Delta x=\frac{\lambda}{cos\alpha_1-cos\alpha_2},\Delta y=\frac{\lambda}{cos\beta_1-cos\beta_2}$，条纹间隔的倒数称为空间频率，$f_x=\frac{cos\alpha_1-cos\alpha_2}{\lambda},f_y=\frac{cos\beta_1-cos\beta_2}{\lambda}$。

5.菲涅耳衍射积分公式由面元、次波源、球面波因子、倾斜因子、比例常数组成。基尔霍夫边界条件：只需取光孔部分，即瞳函数。菲涅耳-基尔霍夫衍射公式：$\widetilde{U}(P)=\frac{-i}{2\lambda}\iint\widetilde{U}_0(Q)\frac{e^{ikr}}{r}(cos\theta_0+cos\theta)d\Sigma$，当光孔和接受范围满足傍轴条件时，$\widetilde{U}(P)=\frac{-i}{\lambda r_0}\iint\widetilde{U}_0(Q)e^{ikr}d\Sigma$。

6.巴比涅原理：互补屏衍射场中的复振幅之和等于自由波场的复振幅。对于点光源照明情况，在像平面接受，除几何像点外，互补屏产生的衍射图样相同。

7.半波带法、矢量图解法（小振幅$A(P)\propto\frac{\pi R\lambda}{R+b}f(\theta)$缓慢减小，相位随划分等间隔变化）。

8.菲涅尔波带片：$\rho_k=\sqrt{kb\lambda}\sqrt{\frac{R}{R+b}}$，对于平行光，$R\to\infty$，$\rho_k=\sqrt{kb\lambda}$。$\frac{1}{R}+\frac{1}{b}=$

$\frac{1}{f}, f=\rho_1^2/\lambda$，它有一系列焦点。

9.夫琅禾费矩孔衍射：$I(\theta)=I_0\left(\frac{sin\alpha}{\alpha}\right)^2\left(\frac{sin\beta}{\beta}\right)^2, I_0\propto\left(\frac{ab}{\lambda}\right)^2$，单缝衍射因子 $\left(\frac{sin\alpha}{\alpha}\right)^2, \alpha=\frac{\pi a}{\lambda}(n_2sin\theta-n_1sin\theta_0)$，存在主极强、次极强以及暗斑，零级亮斑半角宽$\Delta\theta=\frac{\lambda}{a\sqrt{n_2^2-n_1^2sin\theta_0}}$，即$\sqrt{n_2^2-n_1^2sin\theta_0}a\Delta\theta=\lambda$，称为衍射反比关系，是其他亮斑的两倍。夫琅禾费圆孔衍射$I(\theta)=I_0\left(\frac{2J_1(x)}{x}\right)^2, x=\frac{\pi D}{\lambda}sin\theta, \Delta\theta=1.22\frac{\lambda}{D}$。

10.对于望远镜，瑞利判据：$\delta\theta_m=1.22\frac{\lambda}{D}$，目镜的作用是将仪器最小分辨角放大到人眼所能分辨的最小角度。对于显微镜，$\delta y_m=0.61\frac{\lambda}{N.A.}$，目镜的作用是将仪器最小分辨距离放大到人眼在明视距离所能分辨的最小距离。

11.光波是横波，有五种偏振态。马吕斯定律：$I_2=I_1cos^2\theta$。偏振度$P=\frac{I_M-I_m}{I_M+I_m}$。

12.$\boldsymbol{p},\boldsymbol{s},\boldsymbol{k}$组成右手系，菲涅耳反射折射公式：$\begin{cases} r_p=\frac{tan(i_1-i_2)}{tan(i_1+i_2)} \\ r_s=\frac{sin(i_2-i_1)}{sin(i_1+i_2)} \\ t_p=\frac{2n_1cosi_1}{n_2cosi_1+n_1cosi_2} \\ t_s=\frac{2n_1cosi_1}{n_1cosi_1+n_2cosi_2} \end{cases}$，$I\propto n|E|^2, W=IS$。光束正入射时，$\begin{cases} r_p=\frac{n_2-n_1}{n_2+n_1}=-r_s \\ t_p=t_s=\frac{2n_1}{n_2+n_1} \end{cases}$。布儒斯特角：入射角$i_B=arctan\frac{n_2}{n_1}$使得$r_p=0$。斯托克斯倒逆关系$\begin{cases} r+r'=0 \\ r^2+tt'=1 \end{cases}$。$E_1$与$E_2$总是同相位，外反射$\boldsymbol{p}$分量由同相在$i_B$突变，$\boldsymbol{s}$分量一直反相，内反射$\boldsymbol{p}$分量由反相在$i_B$突变，$\boldsymbol{s}$分量一直同相（全反射后为复数）。光在外反射情形下，正入射和掠入射会有半波损产生，介质层上下表面的反射光束之间总有半波损。

三、干涉装置 光场的时空相干性

1.分波前装置（1）菲涅耳双面镜$\Delta x=\frac{(B+C)\lambda}{2B\alpha}$和双棱镜$\Delta x=\frac{(B+C)\lambda}{2(n-1)\alpha B}$（2）劳埃德境$\Delta x=\frac{D\lambda}{2a}$。分振幅装置（1）等厚条纹$\Delta L\approx 2nhcosi$（楔形薄膜$\Delta x=\frac{\lambda}{2\alpha}$，牛顿圈第 k 级暗纹半径$r_k=\sqrt{kR\lambda}$）（2）等倾条纹$\Delta L=2nhcosi$，离中心远的地方条纹

较密，厚度增加时从中心产生新条纹。定域中心位于反射线的交点，光场空间相干性反比公式$b\Delta\theta_0 \approx \lambda$决定定域深度。

2.迈克尔逊干涉仪：（1）双线结构使条纹衬比度随ΔL作周期性变化，空间周期为$2\pi/\Delta k$；（2）单色线宽使衬比度随ΔL单调下降，最大光程差$\Delta L_M = 2\pi/\Delta k$。点光源每次发射的波列程长$L_0 = c\tau_0$称为相干长度，$\tau_0$称为相干时间，$L_0 \approx \Delta L_M$，于是$\tau_0 \Delta v \approx 1$，称为时间相干性的反比公式。

3.多光束干涉法布里-珀罗干涉仪的I_T极大值在$\frac{2\pi}{\lambda}\Delta L = 2k\pi$时取极大值，在$\frac{2\pi}{\lambda}\Delta L = 2(k+1)\pi$时取极小值，$I_R$相反。半值宽度（以相位衡量）$\varepsilon = \frac{2(1-R)}{\sqrt{R}}$。以单色扩展光入射，半角宽度$\Delta i_k = \frac{\lambda}{2k\pi}\frac{k}{2nhsini_k}\varepsilon$，以非单色平行光入射，纵模间隔$\Delta\nu = \frac{c}{2nh}$，单模线宽$\Delta\lambda_k = \frac{\lambda}{2k\pi}\varepsilon$。角色散本领$\delta i_k = \frac{k}{2nhsini_k}\delta\lambda$，作为可分辨极限，要求$\delta i_k = \Delta i_k$，最小波长间隔$\delta\lambda$恰为单模线宽，色分辨本领$\frac{\lambda}{\delta\lambda} = 2k\pi\frac{1}{\varepsilon}$。

四、衍射光栅

1.多缝夫琅禾费衍射$I(\theta) = I_0\left(\frac{sin\alpha}{\alpha}\right)^2\left(\frac{sinN\beta}{\beta}\right)^2, \alpha = \frac{\pi a}{\lambda}sin\theta$，$\beta = \frac{\pi d}{\lambda}sin\theta$。主极强出现在$sin\theta = k\frac{\lambda}{d}$处，最大级别$|k| < d/\lambda$；每两个主极强之间有$N-1$条暗线，相邻暗线有一个次极强，主极强半角宽$\Delta\theta = \frac{\lambda}{Ndcos\theta_k}$，对于幕中央附近，$\Delta\theta = \frac{\lambda}{Nd}$。单缝衍射因子影响强度在各级主极强间的分配，遇到单缝衍射因子为零的主极强消失，称为缺级。对于一维周期性衍射屏，$\widetilde{U}(\theta) = e^{ikL_0(\theta)}\frac{sinN\beta}{\beta}\widetilde{u}(\theta)$，对于阶跃函数，$\widetilde{u}(\theta) \propto \frac{sin\alpha}{\alpha}$，对于正弦函数，$\widetilde{u}(\theta) \propto \frac{sin\beta}{\beta} + \frac{1}{2}\frac{sin(\beta-\pi)}{\beta-\pi} + \frac{1}{2}\frac{sin(\beta+\pi)}{\beta+\pi}$。

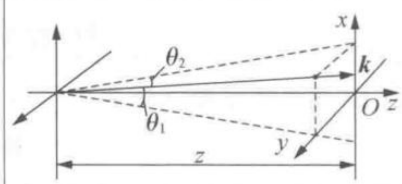
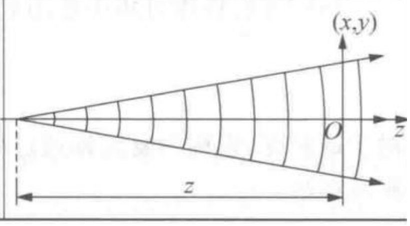
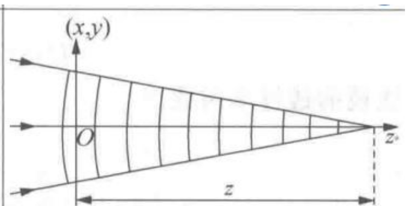
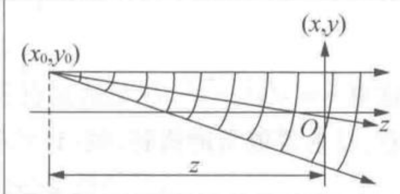
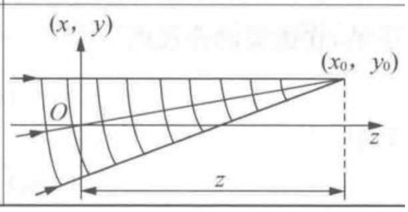
2.光栅光谱仪角色散本领$D_\theta = \frac{\delta\theta}{\delta\lambda} = \frac{k}{dcos\theta_k}$，线色散本领$D_l = \frac{\delta l}{\delta\lambda} = fD_\theta$，瑞利判据$\Delta\theta = \delta\theta$，色分辨本领$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = kN$。$\lambda_M < d$，对一级光谱，$\lambda_m > \lambda_M/2$。闪耀光栅闪耀角$\theta_b$，垂直反射面入射 $2dsin\theta_b = k\lambda$，垂直光栅平面入射$dsin2\theta_b = k\lambda$。

3.晶体光栅布拉格条件 $2dsin\theta = k\lambda$。

五、傅里叶变换光学

1.屏函数$\tilde{t}(x,y)=\tilde{U}_2(x,y)/\tilde{U}_1(x,y)$。$\tilde{t}_L(x,y)=\begin{cases}exp[i\varphi_L(x,y)],r<D/2\\0,r>D/2\end{cases}$，傍轴条件下，$\varphi_L(x,y)=-k\frac{x^2+y^2}{2F}$,$F$是几何光学透镜焦距。$\tilde{t}_P(x,y)=exp[-ik(n-1)(\alpha_1x+\alpha_2y)]$，$\alpha_1,\alpha_2$是斜面法线的两个余角。

表Ⅴ-1 平面波和球面波在波前上的相因子

波的类型	特征	相因子	图解
(1)平面波	$\begin{cases}\text{传播方向}(\theta_1,\theta_2)\\\text{当}\ \theta_1=\theta_2=0\ \text{时}\end{cases}$	$\begin{cases}\exp[ik(\sin\theta_1x+\sin\theta_2y)]\\1\end{cases}$	
(2)发散球面波	中心在轴上坐标$(0,0,-z)$	$\exp\left[ik\frac{x^2+y^2}{2z}\right]$	
(3)会聚球面波	中心在轴上坐标$(0,0,z)$	$\exp\left[-ik\frac{x^2+y^2}{2z}\right]$	
(4)发散球面波	中心在轴外坐标$(x_0,y_0,-z)$	$\exp\left[ik\left(\frac{x^2+y^2}{2z}-\frac{xx_0+yy_0}{z}\right)\right]$	
(5)会聚球面波	中心在轴外坐标(x_0,y_0,z)	$\exp\left[-ik\left(\frac{x^2+y^2}{2z}-\frac{xx_0+yy_0}{z}\right)\right]$	

2.正弦光栅屏函数$\tilde{t}(x,y)=t_0+t_1cos(q_xx+q_yy+\varphi_0)$，制作时是拍摄一张两平行光束干涉条纹照相底片，线性冲洗保证$\tilde{t}(x,y)=t_0+\beta I(x,y)$。从正弦光栅输出的是三列平面波，方向角$sin\theta=0,\pm f\lambda$，在透镜后焦面上形成 0，$\pm1$ 级衍射斑，半角宽$\Delta\theta=\frac{\lambda}{dcos\theta_k}$。正弦光栅平行密接额外产生差频、和频的$\pm1$ 级衍射波，

正交密接额外产生交叉项的±1级衍射波，它们都共九列平面波。任意光栅的屏函数可以傅里叶展开，周期函数基频$f_1 = 1/d$，傅里叶系数$\tilde{t}_n = \frac{1}{d}\int_{-d/2}^{d/2}\tilde{t}(x)e^{-i2\pi f_n x}dx$。

3.阿贝成像原理：物是一系列不同空间频率信息的集合，在透镜后焦面形成衍射斑，衍射斑发射的球面波在像平面成像。决定像质的是衬比度，物像的衬比度不变。相衬显微镜改变了零级的相位，使衍射场照明不再均匀。

4.夫琅禾费衍射积分的被积函数由透过率函数和线性相因子组成，在照明光源的像面上接收到的衍射场就是夫琅禾费衍射场。

5.把衍射屏放在透镜前焦面上，后焦面上的夫琅禾费衍射场就是屏函数的傅里叶变换。

六、全息照相

七、光在晶体中的传播

1.双折射：光在晶体内分为 o 光和 e 光，光轴方向两光不分开，入射界面法线与光轴组成的平面为主截面，双折射光是线偏振光。o 光速度v_o，e 光沿光轴v_o，垂直光轴v_e，光线与光轴组成主平面，o 光振动与主平面垂直，e 光与主平面平行。$v_e > v_o$，即$n_e < n_o$，称为负晶体，否则为正晶体。

2.晶体偏振器：罗雄棱镜（e 光偏离）、渥拉斯顿棱镜（o,e 偏离）、尼克耳棱镜（折射率小的透过，入射光线上下极限角各 14°）。波晶片（表面与光轴平行），相位差$\varDelta = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)d$。

3.$\begin{cases} E_x = A_x cos\omega t \\ E_y = A_y cos(\omega t + \delta) \end{cases}$，$\frac{E_x^2}{A_x^2} + \frac{E_y^2}{A_y^2} - 2\frac{E_x}{A_x}\frac{E_y}{A_y}cos\delta = sin^2\delta$，这是一般椭圆方程。

入射光	$\lambda/4$ 片位置	出射光
线偏振	e 轴或 o 轴与偏振方向一致*	线偏振
	e 轴与 o 轴与偏振方向成 45°角	圆偏振
	其他位置	椭圆偏振
圆偏振	任何位置	线偏振
椭圆偏振	e 轴与 o 轴与椭圆主轴一致	线偏振
	其他位置	椭圆偏振

<table>
<tr><td>第一步</td><td colspan="5">令入射光通过偏振片Ⅰ，改变偏振片Ⅰ的透振方向 P_1，观察透射光强度的变化（图 3-10(a)）</td></tr>
<tr><td>观察到的现象</td><td>有消光</td><td colspan="2">强度无变化</td><td colspan="2">强度有变化，但无消光</td></tr>
<tr><td>结论</td><td>线偏振</td><td colspan="2">自然光或圆偏振</td><td colspan="2">部分偏振或椭圆偏振</td></tr>
<tr><td>第二步</td><td></td><td colspan="2">a. 令入射光依次通过 $\lambda/4$ 片和偏振片Ⅱ，改变偏振片Ⅱ的透振方向 P_2，观察透射光的强度变化（图 3-10(b)）</td><td colspan="2">b. 同 a，只是 $\lambda/4$ 片的光轴方向必须与第一步中偏振片Ⅰ产生的强度极大或极小的透振方向重合</td></tr>
<tr><td>观察到的现象</td><td></td><td>有消光</td><td>无消光</td><td>有消光</td><td>无消光</td></tr>
<tr><td>结论</td><td></td><td>圆偏振</td><td>自然光</td><td>椭圆偏振</td><td>部分偏振</td></tr>
</table>

4.在两偏振片间插入波晶片，波晶片 e 轴与P_1夹角α，与P_2夹角β，强度$I_2 = A_1^2(cos^2\alpha cos^2\beta + sin^2\alpha sin^2\beta + 2cos\alpha cos\beta sin\alpha sin\beta cos\delta)$ ， $\delta = \delta_{入} + \frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d + \begin{cases}0\\ \pi\end{cases}$。（1）$P_1$与$P_2$垂直，e 轴为分角线；（2）将（1）中$P_2$转至$P_1$方向。这时$I_2 = \frac{A_1^2}{2}(1 \mp cos\Delta)$，是纯粹由波晶片产生的相位差。

随着P_2转动，将显示色彩变换，这是显色偏振。

如果各处厚度d不同相位差δ不同，出现等厚干涉条纹。波长为λ正入射且P_1与P_2垂直时，满足$\Delta = 2k\pi$的地方出现暗纹，满足$\Delta = (2k+1)\pi$的地方出现亮纹。把P_2转到与P_1平行处，在某色光出现暗纹的地方出现该色的亮纹。用白光照明，在某色光出现暗纹的地方出现互补色的亮纹。

玻璃和塑料，如果经过很好的退火，是各向同性的，若退火不好，就会有局部应力凝固在里面，产生一定程度的各向异性，从而产生双折射，本来没有应力的一块玻璃和塑料被施加外加应力时，它在偏振片间也会出现干涉条纹，应力越

集中，各向异性越强，可用光测弹性。

在一个有平行玻璃窗的小盒内封存着一对平行板电极，盒内充有硝基苯液体，两偏振片的透振方向垂直，极间电场与它们成 45° 。当不加电压时，盒内没有双折射效应，当强电场适当时，盒内液体变成了双折射物质。这种现象称为克尔效应。在克尔效应中，$(n_e-n_o)\propto E^2$，即$\frac{\Delta}{2\pi}=B\frac{E^2d}{\lambda}$，$B$称为克尔常数。$\delta$与电场的正负取向无关。

KDP 晶体在自由状态下时单轴晶体，在电场作用下会变成双轴晶体，沿原来光轴的方向产生附加的双折射效应，$\Delta\propto E$，称为泡克耳斯效应或晶体的线性电光效应。

5.旋光：平面晶片（垂直光轴），线偏振光入射，透射出旋转了一个角度ψ的线偏振光。$\psi=\alpha d$，α称为石英的旋光率，数值因波长而异。在白光照射下，各种颜色的光不能同时消光，在检偏器后观察到的是色彩的变化，称为旋光色散。石英晶体有左旋和右旋两种变体，两种晶体旋光方向相反。菲涅耳假设，在旋光晶体中线偏振光沿光轴传播时分解成左旋和右旋圆偏振光（L 光和 R 光），它们的传播速度略有不同，或者说折射率略有不同，从而产生不同的相位滞后$\varphi_L=\frac{2\pi}{\lambda}n_Ld,\varphi_R=\frac{2\pi}{\lambda}n_Rd$。圆偏振光的相位就是旋转电矢量的角位移，相位滞后即角度倒转。$\psi=\frac{1}{2}(\varphi_R-\varphi_L)=\frac{\pi}{\lambda}(n_R-n_L)d$。当$n_R>n_L$时，晶体左旋，当$n_R<n_L$，晶体右旋。

实验表明，$\psi=[\alpha]Nl$，N为溶液浓度，l为管长，$[\alpha]$为比旋光率。

对于给定的介质，$\psi=VlB$，V叫做维尔德常数。一般物质的维尔德常数都很小。光的传播方向反转时，法拉第旋转的左右方向互换。当线偏振光通过磁光介质时，如果沿磁场方向传播，振动面右旋，沿反方向传播时，振动面左旋。

八、光的吸收、色散和散射

1.单色平行光通过均匀介质时，$I=I_0e^{-\alpha l}$, α称为吸收系数，这是布格尔定律或朗伯定律。当光被透明溶剂中溶解的物质吸收时，吸收系数$\alpha=AC$, C是溶液浓度，$I=I_0e^{-ACl}$，这是比尔定律。如果记$\tilde{n}=n(1+i\kappa)$，κ为衰减指数，那么$\alpha=4\pi n\kappa/\lambda$，$\lambda$为真空中波长，$\tilde{n}$的虚部反应了因介质的吸收而产生的电磁波衰减。

2.正常色散的经验公式$n=A+B/\lambda^2+C/\lambda^3$，当$\lambda$变化范围不大时，取$n=A+B/\lambda^2$。在相邻的两个吸收带之间$n$单调下降，每次经过一个吸收带，$n$急剧增大，总的趋势是曲线随$\lambda$的增加而抬高，即各正常色散区的柯西公式中$A$加大，$\lambda=0$ 时，任何物质的折射率都等于 1，极短波略小于 1，即从真空射向其外表面的电磁波可以发生全反射。

3. $v_g=d\omega/dk, v_p=\omega/k, v_g=v_p+kdv_p/dk=v_p-\lambda dv_p/d\lambda=\frac{c}{n}(1+\frac{\lambda}{n}\frac{dn}{d\lambda})$，这就是瑞利的群速公式，它可以近似为$\frac{c}{v_g}\approx n-\lambda\frac{dn}{d\lambda}$。

4.散射体的尺度比波长小时，散射光强正比于ω^4。对于较大颗粒，光的散射不遵循瑞利散射定律。只有$ka<0.3$ 的球形质点满足，当ka较大时，散射强度与波长的依赖关系并不明显。

九、光的量子性 激光

1.基尔霍夫热辐射定律：任何物体在同一温度T下，$r(v,T)/a(v,T)=F(v,T)$，$F(v,T)$是一个与物质无关的普适常数。热平衡状态下的$u_T(v)$由v,T唯一确定，与物质无关，称为热辐射的标准能谱。$F(v,T)=\frac{c}{4}u_T(v)$。$a(v,T)\equiv 1$ 的物体称为绝对黑体，$r_0(v,T)=\frac{c}{4}u_T(v)$。黑体辐射的辐射本领$R_T=\sigma T^4$，$\sigma$是普适常数，这是斯特潘-玻尔兹曼定律，$\sigma$称为斯特藩-玻尔兹曼常数。$r_0(\lambda,T)-\lambda$曲线有极大值$\lambda_M$，$\lambda_M T=b$，$b$称为维恩常数，这时维恩位移定律。普朗克公式，$r_0(v,T)=$

$\frac{2\pi h}{c^2}\frac{v^3}{e^{hv/kT}-1}$，频率为$v$的谐振子，其能量取值为$\varepsilon_0 = hv$的整数倍，$\varepsilon_0$称为能量子。

2.爱因斯坦公式：$hv = \frac{1}{2}mv_0^2 + A = eV_0 + A$。光子动量$p = \frac{E}{c} = \frac{hv}{c}$。实物粒子的物质波波长$\lambda = \frac{h}{mv}$。

3.设原子体系的热平衡温度为T，在能级E_n上的原子数为$N_n \propto e^{-\frac{E_n}{kT}}$，称为玻尔兹曼正则分布律。考虑能级$E_2 > E_1$，受激辐射$(\frac{dN_{21}}{dt})_B = B_{21}u(v)N_2$，受激吸收$(\frac{dN_{12}}{dt})_B = B_{12}u(v)N_1$，自发辐射$(\frac{dN_{12}}{dt})_A = A_{21}N_2$，其中$B_{21}, B_{12}, A_{21}$称为爱因斯坦系数，是原子本身的属性。在细致平衡条件下，$(\frac{dN_{21}}{dt})_B + (\frac{dN_{12}}{dt})_A = (\frac{dN_{12}}{dt})_B$，于是$\frac{A_{21}}{B_{12}} = \frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi hv^3}{c^3}$。

4.介质对光的放大能力用增益系数G描述，$dI = GIdx$，如果G的变化可以忽略，那么$I = I_0e^{Gx}$。G与光的频率和强度都有关系，典型的是随光照强度增加而下降。实现反转分布，必须内有亚稳态，外有激励能源（泵浦）。激活介质的两端相互平行的反射面构成了光学谐振腔。理想情况下，经过一次循环后$\frac{I_5}{I_1} = R_1R_2e^{2GL}$，对于给定谐振腔，它取决于$G$，阈值条件$R_1R_2e^{2G_mL} = 1, G_m$称为谐振腔的阈值增益。安装布儒斯特窗的外腔式激光器对光的偏振状态还具有选择性，它产生的激光是线偏振的，振动面是窗口法线与管轴所成平面。

5.纵模间隔$\Delta v_m = \frac{c}{2nL}$，单模线宽$\Delta v_c = \frac{c(1-R)}{2\pi nL\sqrt{R}}$，激活介质线宽$v_0 = \frac{E_2-E_1}{h}$。