1. 几何光学

（1） 光线的实验定律：

（i） 均匀媒质中，光沿直线传播。

（ii） 反射定律 $i' = i$。

（iii） 折射定律 $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$ 。

（iv） 反射光线、折射光线均在由**入射光线**和入射点处界面的**法线**构成的**入射面**内；且与入射光线分别处在法线的两侧。

（2） 光线的成像定理：在做了符号约定的前提下，物像之间的对应关系。

（i） 单折射球面：$\frac{n}{s} + \frac{n'}{s'} = \frac{n'-n}{r}$，$\Phi = \frac{n'-n}{r}$ 为折射面的**光焦度**；横向放大率 $\beta = -\frac{n}{n'}\frac{s'}{s}$。

（ii） 单反射球面：$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{-2}{r}$，$\Phi = \frac{-2n}{r}$ 为反射面的光焦度；横向放大率 $\beta = -\frac{s'}{s}$。

（iii） 单薄透镜：$\frac{n}{s} + \frac{n'}{s'} = \frac{n_L - n}{r_1} + \frac{n' - n_L}{r_2}$，$\Phi = \frac{n_L - n}{r_1} + \frac{n' - n_L}{r_2}$ 为薄透镜的光焦度；横向放大率 $\beta = -\frac{n}{n'}\frac{s'}{s}$。

（iv） **物方焦距** $f = \frac{n}{\Phi}$，**像方焦距** $f' = \frac{n'}{\Phi}$；**高斯公式** $\frac{f}{s} + \frac{f'}{s'} = 1$。

（v） 球面半径 $r = \infty$，成为平面，平面的光焦度 $\Phi = 0$。

（vi） 光具组成像：逐次成像，递推公式 $s_2 = d_{12} - s_1'$；物像之间距离（设共有 m 次成像）$\Delta = s_1 + d_{1m} + s_m'$

2. 光的波动模型

（1） 产生光波的微观机制：光波由原子等微观粒子的热运动产生（**热辐射**）或偶极振荡产生（**电偶极辐射**，也就是荧光辐射，亦即跃迁辐射）。因而任何实际的光源都发出数量巨大的且初相位完全随机的波列，这样的光波列之间是**非相干**的；只有从一列光波分出的波列才是**相干**的；因而总是通过**分波列**的方式获得相干光。

（2） 定态光波的数学表达式：波面就是等相位面，是振动相同的面

（i） 球面光波 $E(r,t) = \frac{a}{r}\cos(\omega t - kr + \varphi_0)$（发散），$E(r,t) = \frac{a}{r}\cos(\omega t + kr + \varphi_0)$（会聚）。

（ii） 平面光波：$E(r,t) = A\cos(\omega t - \boldsymbol{k}\cdot\boldsymbol{r} + \varphi_0)$。

（3） 光波的**复指数**表达式：$E(P,t) = A\mathrm{e}^{\pm i(\omega t - \varphi_P)} = A\mathrm{e}^{\mp i\varphi_P}\mathrm{e}^{\pm i\omega t}$

（4） 光波的**复振幅**与**振幅矢量**表示：复振幅是复指数表达式中的定态部分，即 $\tilde{U}(P) = A(P)\mathrm{e}^{i\varphi(P)}$；复振幅在复平面的矢量就是光波的振幅矢量。

3. 光波的相干叠加与非相干叠加

（1） 相干叠加：两列相干光的叠加强度 $I = A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos\Delta\varphi$。

（2） 非相干叠加：如光波不相干，相遇的光波光强相加，不产生干涉。

（3） 从每一列波分出的波列是相干的。

（4） 波长不同的分立光波列叠加形成**光学拍**。

（5） 波长连续变化的非单色光叠加形成**波包**，非单色光的相干长度（也称波包的相干长度）$\Delta L = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda} = \frac{c}{\Delta\nu}$，相干时间 $\Delta\tau = \frac{L}{c} = \frac{1}{\Delta\nu}$。

（6） 光的干涉：分立的（可数的）光波列之间的相干叠加。

（i）干涉相长（亮纹）：相位差 $\Delta\varphi = 2j\pi$，光程差 $\Delta L = j\lambda$，j 为**亮纹的级数**。

（7） 光的衍射：次波之间的相干叠加

（i） 惠更斯次波模型；

（ii） 惠更斯-菲涅耳原理：次波的倾斜因子与相位滞后；

（iii） 菲涅耳-基尔霍夫衍射积分公式；

（iv） 菲涅耳衍射：半波带法 $A(P) = \frac{1}{2}[A_1 + (-1)^{n-1}A_n]$；半波带方程 $\frac{1}{r_0} + \frac{1}{R} = \frac{n\lambda}{\rho^2}$；菲涅耳波带片，主焦距 $f = \frac{\rho_n^2}{n\lambda}$。

（v） 夫琅禾费单缝衍射：$A_\theta = A(\theta_0)\frac{\sin u}{u}$，$I_\theta = I(\theta_0)\frac{\sin^2 u}{u^2}$，其中 $u = \frac{\pi a(\sin\theta \pm \sin\theta_0)}{\lambda}$，$a$ 为缝宽；中央主极大的角宽度 $\Delta\theta_0 = \frac{2\lambda}{a}$；其他极大的角宽度 $\Delta\theta = \frac{\lambda}{a}$，**衍射的反比关系**。

（vi） 夫琅禾费圆孔衍射：**艾里斑**的半角宽度 $\Delta\theta_0 = 0.610\frac{\lambda}{R} = 1.220\frac{\lambda}{D}$。

（vii） 瑞利判据与望远镜的分辨本领：分开的角距离大于艾里斑的半角宽度。

4. 光的干涉装置

（1） 分波前的干涉装置：

（i） 杨氏双缝（或双孔）干涉装置：傍轴条件下，缝后的光程差 $\Delta L = \frac{d}{D}x$，相邻条纹的间隔 $\Delta x = \frac{D}{d}\lambda$。

（ii） 菲涅耳双棱镜、菲涅耳双面镜；

（iii） 劳埃德镜（有半波损失）；

（iv） 梅斯林对切透镜，比累对切透镜，等等

（2） 分振幅的干涉装置（薄膜干涉）：

（i） 等倾干涉：相邻反射光波之间的光程差（不包含半波损失）$\Delta L = 2n_2 h\cos i_2 = 2h\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i_1}$ 。

（ii） 迈克耳孙干涉仪 $\Delta L = 2h\cos i$。

（iii） 等厚干涉：正入射时相邻亮纹处薄膜的厚度差 $\Delta h = \frac{\lambda}{2n_2}$。

（iv） 牛顿环：$\Delta h = \frac{r_j^2}{2R}$，$\frac{r_{j+m}^2}{R} - \frac{r_j^2}{R} = m\lambda$。

（3） 干涉条纹的反衬度：$\gamma = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$。

（4） 光波的空间相干性：扩展光源导致干涉花样反衬度下降，$b < \frac{l}{d}\lambda$；**相干孔径** $\Delta\theta_0 = \frac{\lambda}{b}$，**空间相干性的反比关系**。对双缝干涉而言，对称型扩展光源边缘对两缝的光程差（即缝前光程差）达到半个波长，干涉条纹即消失。

（5） 光波的时间相干性：光的非单色性导致不同级数的干涉条纹重叠或交叉，干涉条纹不重叠的最大光程差被称作**相干长度** $\Delta L = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$，相应的**相干时间**为 $\Delta\tau = \frac{L}{c} = \frac{1}{\Delta\nu}$，**时间相干性的反比关系**。

（6） 菲涅耳公式：电介质界面处光波的电场强度（也是复振幅）的反射率和透射率，可用于判断半波损失；能够明确半波损失的三种情形。

（7） 斯托克斯倒逆关系：光的可逆性原理，$\begin{cases}\tilde{r}^2 + \tilde{t}\tilde{t}' = 1\\ \tilde{r} + \tilde{r}' = 0\end{cases}$，$\begin{cases}|\tilde{r}|^2 = |\tilde{r}'|^2\\ \tilde{r}^2 = 1 - \tilde{t}\tilde{t}'\end{cases}$，

（8） 法布里-珀罗干涉仪与标准具：高反射率薄膜导致的多光束干涉

（i） 相邻波列之间的光程差 $\Delta L = 2n_2 h\cos i_2$，相位差 $\Delta\varphi = \frac{4\pi n_2 h\cos i_2}{\lambda}$

（ii） 透射光的干涉花样是暗背景上的细锐亮条纹，反射光的干涉花样是亮背景上的细锐暗条纹。

（iii） 半值的相位差范围 $\varepsilon = \frac{2(1-\rho)}{\sqrt{\rho}}$，半值角宽度 $\Delta i = \frac{\lambda}{4\pi n_2 h\sin i_2}\varepsilon$；

半值波长范围 $\Delta\lambda = \frac{\lambda^2\varepsilon}{4\pi n_2 h\cos i_2}$；角距离 $\delta i = \frac{j}{2n_2 h\sin i_2}\delta\lambda$，泰勒判据 $\delta i_{\min} = \Delta i$，可分辨最小波长间隔 $\delta\lambda_{\min} = \frac{\lambda\varepsilon}{2j\pi}$，波长分辨本领 $A = \frac{\lambda}{\delta\lambda_{\min}} = \frac{2j\pi}{\varepsilon} = \frac{j\pi\sqrt{\rho}}{1-\rho}$

（iv） 满足 $2n_2 h = j\lambda$ 的每一波长成分，称作一个纵模。

5. 衍射光栅与光谱仪

（3） 衍射光栅：

（v） 光栅是具有空间周期性结构的衍射屏，是夫琅禾费衍射装置。

（vi） 光栅的周期记为 d，称作光栅常数。

（vii） 平面型黑白光栅，透光缝宽记为 a，不透光宽度记为 b，$a+b=d$。

（4） 周期性光栅夫琅禾费衍射合振动的复振幅为 $A(\theta) = A_\theta\frac{\sin u}{u}\frac{\sin N\beta}{\sin\beta}$，其中 $u = \frac{\pi a(\sin\theta_0 \pm \sin\theta)}{\lambda}$，$\beta = \frac{\pi d(\sin\theta_0 \pm \sin\theta)}{\lambda}$，$\theta_0$ 和 θ 分别是光的入射角和衍射角，角度从光栅平面法线算起，均为锐角，不区分正负。

（5） $A_\theta\frac{\sin u}{u}$ 是单元（单缝）衍射因子，其中 A_θ 是单缝在几何像点的合振动的振幅。

（6） $\frac{\sin N\beta}{\sin\beta}$ 是缝间干涉因子，N 为光栅的周期数。

（7） 光栅方程：缝间干涉极大值的条件，$d(\sin\theta_j \pm \sin\theta_0) = j\lambda$，$j$ 为光谱线的级数。

（8） 光谱线缺级：光谱线恰处在单缝衍射极小值的角度，$j = m\frac{d}{a}$，m 为非零整数。

（9） 光谱线的半角宽度：极大值到与其相邻极小值的角距离，$\Delta\theta = \frac{\lambda}{Nd\cos\theta}$。

（10） 光栅的色分辨本领：能够分辨的最小波长间隔 $\delta\lambda_{\min} = \frac{\lambda}{jN}$；分辨本领 $A = \frac{\lambda}{\delta\lambda_{\min}} = jN$。

（11） 闪耀光栅：闪耀面（即单缝反射面）与光栅平面之间保持夹角 θ_B（闪耀角），从而使具有色散的非零级光谱线处在单元衍射极大值的方向。

（12） 闪耀光栅两种常用的照明方式（入射方式）：（i）入射光沿着闪耀面的法线方向，$2d\sin\theta_B = j\lambda$，1 级闪耀波长为 $\lambda_{1B} = 2d\sin\theta_B$；（ii）入射光沿着光栅平面的

法线方向，$d\sin 2\theta_B = j\lambda$，1 级闪耀波长为 $\lambda_{1B} = d\sin 2\theta_B$。

（13） 正弦光栅：透过率为 $t = \frac{1}{2}(1+\cos\frac{2\pi}{d}x)$

（14） 正弦光栅衍射 $\tilde{U}(\theta) = \tilde{U}(0)[\frac{\sin\beta}{\beta} + \frac{1}{2}\frac{\sin(\beta-\pi)}{\beta-\pi} + \frac{1}{2}\frac{\sin(\beta+\pi)}{\beta+\pi}]\frac{\sin N\beta}{\sin\beta}$。

（15） 正弦光栅的光谱线：除了 j =0,±1 之外，全部缺级。

（16） X 射线在晶体中的衍射：Bragg 方程 $2d\sin\theta = j\lambda$，d 为晶格常数，θ 为光线相对于镜面的掠射角。

6. 光的偏振

（5） 自然光不具有偏振性。

（6） 部分偏振光是偏振光，但不能看做是两列正交的偏振光的叠加。部分偏振光的偏振度定义为 $P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$。

（7） 平面偏振光：两正交分量之间的相位差 Δφ=0，或 π。

（8） 圆偏振光：两正交分量振幅相等，相位差 Δφ=±π/2。

（9） 椭圆偏振光：两正交分量间的相位差为定值。

$$\begin{cases} E_x = A_x\cos\omega t \\ E_y = A_y\cos(\omega t + \Delta\varphi) \end{cases}$$

（10） 布儒斯特定律：自然光通过反射或折射成为线偏光，布儒斯特角 $i_B = \arctan\frac{n_2}{n_1}$。

（11） 也可以进一步再通过全反射获得椭偏光或圆偏光。

7. 光在晶体中的双折射

（8） 一列（一束）光进入双折射晶体，分为两列（两束），分别为 o 光（寻常光）和 e 光（非常光），均是线偏振的。

（9） 晶体的光轴：晶体中沿光轴传播的光，不发生双折射。

（10） 晶体的主截面：晶体入射表面的法线与光轴形成的相互平行的平面族。

（11） 光的主平面：晶体中的光线与光轴形成的平面族。o 光的电矢量垂直于 o 光的主平面；e 光的电矢量平行于 e 光的主平面。

（12） e 光的主折射率：e 光沿着与光轴垂直方向传播时的折射率是 e 光的主折射率 n_e。正晶体，$n_e > n_o$，例如石英；负晶体，$n_e < n_o$，例如方解石。

（13） 双折射的惠更斯作图法：（i）o 光的波面为球面；（ii）e 光的波面是以光轴为对称轴的旋转椭球面；椭球面与球面在光轴处相切。（iii）旋转椭球面的另一轴沿光轴方向。

（14） 偏振棱镜：利用双折射获得平面偏振光。

（15） 波片（波晶片）：光轴与入射表面平行，平行光正入射，o 光与 e 光之间的光程差 $\Delta L = (n_o - n_e)d = \Delta n d$。常用的有半波片和 1/4 波片。

（16） 补偿器：两块光轴相互垂直的直角三棱镜组合而成，例如巴禅涅补偿器和索列尔补偿器，$\Delta L = (n_o - n_e)(d_1 - d_2) = \Delta n \Delta d$。

（17） 波片可用来改变光的偏振态，也可用来鉴定光的偏振态。

（18） 偏振光的干涉：偏振光通过晶体（波片或补偿器）后再通过一个偏振片，相互平行的分量进行相干叠加。

（19） 电光效应：利用电场使某些材料具有双折射的特性，并通过改变电场改变感生折射率差。

8. 旋光

（1） 自然旋光：线偏光沿石英的光轴传播，振动面会转过一定角度；某些溶液也能够产生旋光。

（2） 菲涅耳对旋光的解释：平面偏振光是两列分别左旋和右旋的圆偏振光合成的。

（3） 磁致旋光：法拉第磁光效应。

9. 光波与物质的相互作用

（1） 光的吸收：（i）线性吸收规律 $\mathrm{d}I = -\alpha I\mathrm{d}x$ （ii）透射光 $I = I_0 \mathrm{e}^{-\alpha x}$。（iii）普遍吸收与选择吸收。

（2） 光的色散：柯希经验公式；反常色散。

（3） 光的散射：（i）瑞利散射：散射光强与波长的 4 次方成反比。（ii）米-德拜散射：散射光强不依赖于光的波长。

10.光的量子性

（9） 黑体辐射的定律：

（i） Stefan-Boltzmann 定律：辐射强度 $\Phi(T) = \int_0^\infty E(\lambda,T)\mathrm{d}\lambda = \sigma T^4$。

（ii） Wein 位移定律： $T\lambda_m = b$

（iii） Rayleigh-Jeans 定律：波的谱密度 $\rho(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3}$，或 $\rho(\lambda) = \frac{8\pi}{\lambda^4}$。

（iv） Plank 与 Einstein 光量子：光子能量 ε = $h\nu$。

（v） 康普顿散射：光子的动量 $p_\varphi = \frac{h\nu}{c}$，$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c}(1-\cos\theta)$。

（vi） de Broglie 物质波： $p = \frac{h}{\lambda}$。