# 第一课：绪论

Sunday, August 25, 2019 23:53

1. 主讲老师：郭文滨；
    a. 教材：《光电子学教程》，张季雄；
2. 电子学：
    a. 研究电子的特性和行为；
    b. 研究电子运动的各种物理过程和物理现象并加以广泛利用的科学；
    c. 研究电波振荡、传播，电信号的放大、变换，频率的稳定、混合、检波等；
3. 光电子学：
    a. 研究对象：光与物质的相互作用；
    b. 将电子学使用的电磁波频率提高到光频，以前由电子方法实现的任务现在用光学方法来完成，产生电子学所不可能产生的许多新功能；
4. 光电子器件(Optoelectronic Device)：
    a. 光源：发光二极管、激光器、灯具等；
    b. 光辐射探测器：光电转换、光伏器件；
    c. 光波调制器：电光效应、电光调制器、光开关；
    d. 光波导：光放大器、信息传输、光能传输、光纤传感；
    e. 显示显像器件；
5. 波分复用：WDM
    a. 密集波分复用：DWDM；
6.

# 第三课：物质的微观结构与能量状态和热辐射的一般概念

Sunday, September 1, 2019 11:52 PM

1. 原子的微观结构：
    a. 泡利不相容原理：不能有两个电子同时处在同一个状态；
    b. 能量最低原理：电子填充能级总是从能量最低能级开始，最低能级填满后再填充较高能级；
2. 热的传递方式：传导、对流、辐射；
3. 热辐射的重要规律：
    a. 基尔霍夫辐射定律；
    b. 普朗克辐射分布定律；
    c. 斯蒂藩-玻尔兹曼定律；
    d. 维恩位移定律；
4. 辐射能量密度$\omega$：单位体积内所具有的辐射能；
5. 辐射通量$\Phi$：单位时间内通过某一截面的辐射能；
6. 辐射出射度$M_e$：从物体的表面单位面积上所辐射的通量；
7. 辐射强度$I_e$：辐射源在某一方向上单位立体角内的辐射通量；
8. 朗伯光源(朗伯辐射体)：辐射源各个方向上的辐射亮度不变，辐射强度随观察方向与面源法线之间的夹角$\theta$的变化遵守余弦规律的辐射源；
9. 辐射照度$E_e$：单位受光面积所接收的辐射通量；

# 第五课：自发辐射、受激吸收和受激辐射

Sunday, September 8, 2019 11:58 PM

1. 辐射跃迁的产生条件：有光子产生或吸收；
2. 自发辐射：高能级不稳定，寿命短，由自发辐射产生的光为荧光$\hbar\nu = \mathrm{E}_2 - \mathrm{E}_1$；
   a. 自发辐射跃迁几率：$A_{21} = \frac{dn_{21}}{dt}_{\text{自发}} \cdot \frac{1}{n^2}$；
3. 受激吸收：$dn_{12} \propto \omega(\nu) n_1 dt = B_{12}\omega(\nu) n_1 dt \Rightarrow W_{12} = B_{12}\omega(\nu) = \frac{dn_{12}}{dt} \cdot \frac{1}{n^2}$（$B_{12}$为爱因斯坦受激吸收系数）；
4. 受激辐射：$dn_{21} \propto \omega(\nu) \cdot n_2 \cdot dt = B_{21} \cdot \omega(\nu) n_2 dt \Rightarrow W_{21} = B_{21} \cdot \omega(\nu) = \frac{dn_{21}}{dt} \cdot \frac{1}{n^2}$；
5. 爱因斯坦三系数$A_{21}, B_{12}, B_{21}$的相互关系：在热平衡状态下的黑体辐射，单位时间内物质辐射出的光子数等于吸收的光子数：$\frac{dn_{21}}{dt}_{\text{自发}} + \frac{dn_{21}}{dt}_{\text{受辐}} = \frac{\mathrm{dn}_{12}}{\mathrm{dt}}_{\text{受吸}} \Rightarrow \mathrm{A}_{21}\mathrm{n}_2 + \mathrm{B}_{21}\omega(\nu)\mathrm{n}_2 = \mathrm{B}_{12}\omega(\nu)\mathrm{n}_1$；
   a. 腔内粒子服从玻尔兹曼分布律：$\frac{n_2}{n_1} = \frac{g_2}{g_1} e^{-\frac{E_2 - E_1}{kT}}$（$g_1, g_2$为能级$E_1, E_2$的简并度，k为玻尔兹曼常数）；
6. 受激辐射功率与自发辐射功率：
   a. 自发辐射光强：$\mathrm{I}_{\text{自}} = \mathrm{n}_2\mathrm{A}_{21}\hbar\nu$；
   b. 受激辐射光强：$I_{\text{受辐}} = \mathrm{n}_2\mathrm{B}_{21}\omega(\nu)\hbar\nu = \mathrm{n}_2\mathrm{W}_{21} \cdot \hbar\nu$；
   c. 二者之比：$\frac{I_{\text{受辐}}}{\mathrm{I}_{\text{自}}} = \frac{\mathrm{B}_{21}\omega(\nu)}{\mathrm{A}_{21}} = \frac{\mathrm{W}_{21}}{\mathrm{A}_{21}} = \frac{\mathrm{c}^3}{8\pi\hbar\nu\eta^3} \cdot \omega(\nu)$；

# 第六课：谱线形状和宽度

Monday, September 9, 2019 1:25 AM

1. 自然加宽线性函数：$\Delta\nu_N = \frac{\gamma}{2\pi}$;
2. 谱线加宽对自发辐射没有影响(因为没有外来能量的参与)；
3. 均匀加宽和非均匀加宽：
    a. 均匀加宽：
        i. 自然加宽；
        ii. 碰撞加宽；
    b. 非均匀加宽：粒子所发出的光只对谱线内某些确定的频率有贡献；
        i. 多普勒加宽；
        ii. 综合加宽；

# 第七课：介质中的光增益

Wednesday, 11 September, 2019 00:23

1. 激光器的构成：
   a. 工作物质；
   b. 谐振腔；
   c. 激励源；
2. 激光形成的条件：
   a. 粒子数反转分布；
   b. 光行进中的增益大于损耗；
3. 激发态能级的平均寿命：
   a. 二能级系统粒子的平均寿命：
      i. 设：$t = 0, N_{20}$；
      ii. $t$时刻有：$N_2(t) = N_{20} \cdot e^{(-A_{21}t)}$；
      iii. $\Rightarrow -dN_2(t) = A_{21}N_2(t)dt$；
   b. 二能级系统：
      i. $dN_m = -A_{mn}N_m dt$；
      ii. $N_m(t) = N_m e^{(-A_{mn}t)} = N_m e^{-\frac{1}{\tau_{mn}}}$；
      iii. $\tau_{mn} = \frac{1}{A_{mn}}$，$E_m$能级上粒子的平均寿命；
   c. 三能级系统：
      i. $\tau = \frac{1}{A_{mn}+A_{mp}}$；
   d. 更一般的情况：
      i. $\tau_m = \frac{1}{A_{mn}}$；
4. 激励能源(泵浦)：由外界能源向粒子系统输入能量，使大量粒子跃迁到高能级；
   a. 激励方法(按激励能源分类)：光激励、电激励(气体放电激励)、化学激励、热激励等；
   b. 粒子数密度的差值：$\Delta n^0 = n_2^0 - n_1^0 = R_2\tau_2 - (R_1 + R_2)\tau_1$；
5. 激励(泵浦)：实现粒子数反转的必要条件；
6. 激活介质：能够产生粒子数反转的介质；
7. 具有亚稳态的能级：实现粒子数反转的可能性大大增加；
8. 重要推导：
   a. 激发态能级寿命($\tau_{mn} = \frac{1}{A_{mn}}$)的推导P30(8式)；
   b. 粒子数密度差值($\Delta n^0 = n_2^0 - n_1^0 = R_2\tau_2 - (R_1 + R_2)\tau_1$)的推导P35(5式)；

# 第十课：介质中的增益饱和

Wednesday, September 18, 2019 12:13 AM

1. 反转粒子数饱和：
   a. 反转粒子数：$\Delta n = n_2 - n_1 = \frac{\Delta n^0}{1+B_{21}\cdot\frac{I\eta}{C}\tau_2 g(\nu)}$；
   b. 均匀分布情况下：$g(\nu) = \frac{\Delta V_H}{2\pi}\cdot\frac{1}{(\nu-\nu_0)^2+\left(\frac{\Delta V_H}{2}\right)^2}$；
      i. $\Delta n = \frac{\Delta n^0}{1+B_{21}\cdot\frac{I\eta}{C}\cdot\tau_2\cdot\frac{\Delta V_H}{2\pi}\cdot\frac{1}{(\nu-\nu_0)^2+\left(\frac{\Delta V_H}{2}\right)^2}}$；
      ii. $I_s = \frac{\pi C\Delta V_H}{2\eta B_{21}\tau_2}$；
2. 增益饱和：增益系数随光强增大而减小的现象；
   a. 增益：$G(\nu) = (n_2 - n_1)\cdot\frac{A_{21}\lambda^2}{8\pi}\cdot g(\nu)$；
   b. 增益饱和主要是由于介质的粒子数密度反转分布的饱和引起的；
3. 烧孔效应：由于光强增大，引起反转粒子数下降，形成了以频率$\nu_A$为中心的凹陷；
   a. 洞深=小信号反转粒子数减去有饱和效应的反转粒子数；
      i. $\Delta n^0(\nu_A) - \frac{1}{1+\frac{I}{I_s}}\cdot\Delta n^0(\nu_A) = \frac{I}{I+I_s}\cdot\Delta n^0(\nu_A)$；
   b. 引起显著饱和效应的频率范围；
      i. $\nu - \nu_A = \pm\sqrt{1\pm\frac{I}{I_s}}\cdot\frac{\Delta\nu_H}{2}$；
   c. 当$I = I_s$时，相应的反转粒子数密度下降为：$\frac{3}{4}\cdot\Delta n^0$；

# 第十一课：激光特性

Monday, September 23, 2019 12:00 AM

1. 激光(Laser)，全名“辐射的受激发射光放大”(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)；
2. 实现激光的必要条件：实现粒子数反转；
3. 实际介质并不足够长，只有采用光学谐振腔：由两个反射镜和激活介质构成一个光学谐振腔；
4. 光学谐振腔的作用：
   a. 延长介质长度，增强光放大；
   b. 使激光具有极好的方向性，只沿轴线发射；
   c. 使激光具有极好的单色性(选频性)；
      i. 对于可能有多种跃迁的情况，利用光的干涉条件；
   d. 谐振腔的长度与波长满足：$L = k \cdot \frac{\lambda}{2}$，不满足此频率的光将得不到加强而被淘汰；
5. 阈值，维持振荡的条件：维持振荡所需最小反转密度叫阈值反转密度；
6. 激光的特性：
   a. 时间相干性与单色性；
      i. 单色性好：单色性用光谱宽度$\Delta\nu$或$\Delta\lambda$描述，$\Delta\nu$或$\Delta\lambda$越小，单色性越好
   b. 空间相干性与方向性；
      i. 方向性好：光束方向性用发散角$\theta$描述，$\theta$越小方向性越好；
   c. 光子简并度与强度；
      i. 高亮度：$Le = \frac{\partial^2 \phi_e}{\partial\Omega\partial(A\cdot\cos\theta)}$表示在某一方向上单位投影表面在单位立体角内的辐射通量；
7. 时间相干性：在空间同一点上，两个不同时刻的光波场之间的相干性。如果不同时刻发出的光波能够在空间上一点上发生干涉现象，则时间间隔处于之内的光波场都是明显相干的。
   a. 相干时间：$\tau = \frac{1}{\Delta\nu}$；
      i. $\because \lambda \gg \Delta\lambda, k \approx \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \Rightarrow \Delta l_{max} \approx \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$；
      ii. $\Delta l_{max}$称为相干长度($l_c$)；
      iii. 光波通过相干长度的时间：
      iv. $\tau_c = \frac{l_c}{c} \Rightarrow l_c = c \cdot \tau = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$
      v. $\because \lambda = \frac{c}{\nu} \Rightarrow d\lambda = -\frac{c}{\nu^2}d\nu \Rightarrow \frac{d\lambda}{\lambda} = -\frac{d\nu}{\nu}$；
      vi. $c \cdot \tau_c = \frac{\lambda^2}{\lambda} \Rightarrow \frac{d\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\lambda}{c\tau_c} = -\frac{d\nu}{\nu} \Rightarrow \tau_c \cdot d\nu = -\frac{\lambda\nu}{c} \Rightarrow \tau_c \cdot \Delta\nu = 1$；
      vii. $\Rightarrow \tau_c = \frac{1}{\Delta\nu}$；
8. 空间相干性：同一时刻两个空间不同点上的光波场之间的相干性。当光源大到一定程度时，可见度甚至可以下降到零，观察不到干涉条纹；
   a. 相干体积：
      i. $\because \overline{P_1S_1}^2 = R^2 + \frac{1}{4}(L_x - \Delta x)^2, \overline{P_1S_2}^2 = R^2 + \frac{1}{4}(L_x + \Delta x)^2$；
      ii. $\Rightarrow \Delta L_{p_1} \approx \frac{\Delta x L_x}{2R}$；

# 第十二课：跳模现象

Monday, September 30, 2019 12:00 AM

1. 跳模现象：激光频率降至一定程度时又跳回原来的频率；

# 第十三课：激光的横模及高斯光束

Tuesday, October 8, 2019 11:58 PM

1. 对于共焦腔：$\nu_{nmq}=\frac{c}{2\eta L}\left[q+\frac{1}{\pi}(m+n+1)\arccos\sqrt{\left(1-\frac{l}{R_1}\right)\left(1-\frac{l}{R_2}\right)}\right]=\frac{c}{4\eta L}[2q+(m+n+1)]$；
2. 若对于横模若$m=n=0$，则为基模；
3. 基模高斯光束的光斑尺寸：$\omega(z)=\omega_0\left[1+\left(\frac{z\lambda}{\pi\omega_0^2}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$；
   a. 曲率半径：$R(z)=z\left[1+\left(\frac{\pi\omega_0^2}{\lambda z}\right)^2\right]$；
   b. 相位：$\phi(z)=\arctan\frac{\lambda z}{\pi\omega_0^2}$；
4. 当准直距离为$z=z_0=\frac{\pi\omega_0^2}{\lambda}$时，$R(z_0)=2\cdot\frac{\pi\omega_0^2}{\lambda}=2z_0$；

# 第十四课：光辐射在介质波导中的传播

Wednesday, October 9, 2019 12:56 AM

1. 圆柱波导：光导纤维；
2. 光的反射与折射：$\begin{cases} \theta_i = \theta_r \\ n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_t \end{cases}$；
3. 菲涅尔公式：$r_{TE} = \frac{E_r}{E_i} = \frac{n_1 \cos\theta_i - n_2 \cos\theta_t}{n_1 \cos\theta_i + n_2 \cos\theta_t}$；
4. 全反射相移：
   a. 临界角：$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$；
   b. 当$r_{TE} = 1$时，无相移；
   c. $\cos\theta_t = j\sqrt{\left(\frac{n_1}{n_2}\sin^2\theta\right)^2 - 1} = e^{i2\phi_{TE}}$；
5. 倏逝波和古斯-汉森位移：

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

$$\sin\theta_2 = \frac{n_1}{n_2}\sin\theta_1$$

$$\cos\theta_2 = \sqrt{1 - \sin^2\theta_2} = i \cdot \sqrt{\left(\frac{n_1}{n_2}\sin\theta_1\right)^2 - 1}$$

$$z_2 = x_2 \cdot \tan\theta_1$$

$$\Delta_{TE} = 2z_2 = 2x_2 \cdot \tan\theta_i$$

$$\Delta_{TM} = 2z_2 = 2x_2 \cdot \tan\theta_i \cdot \frac{1}{n_{21}^2} = \frac{\Delta_{TE}}{n_{21}^2}$$

# 第十五课：光纤的损耗与色散及光辐射探测

Wednesday, October 16, 2019 12:02 AM

1. 光纤损耗的计算：$\alpha = \frac{10}{z}\lg\frac{P_i}{P_o}(dB/km)$；
2. 光纤的色散$\begin{cases}\text{模内色散}.\\ \text{模间色散}'\end{cases}$
3. 群速度：$v_g = \left.\frac{d\omega}{d\beta}\right|_{f_0}$（$\beta$相移常数是频率的函数）；
4. 单位长度时延：$\tau = \frac{1}{v_g} = \left.\frac{d\beta}{d\omega}\right|_{f_0}$；
5. 时延差：$\Delta\tau = D_{max}\Delta\lambda$；
6. 光源频谱宽度：$\Delta\lambda$；
7. 材料色散系数：$D_{max}$；
8. 降低材料色散的途径：
   a. 使用光谱宽度窄的光源；
   b. 工作在零色散波长附近；
   c. 使用波长较长的光源；
9. 光辐射的探测：
   a. 本征吸收：$h\nu \geq E_g = h\nu_0$，$\nu_0$为能够引起本征吸收的最低频率；
   b. 长波限：$\lambda_0 = \frac{hc}{E_g} = \frac{1.24}{E_g}(\mu m)$；
   c. 产生本征吸收的条件：$\nu > \nu_0$或$\lambda < \lambda_0$；
   d. 激子：本质是电子-空穴对，处于一种中间状态；
      i. 吸收能量时，电子和空穴分离；
      ii. 释放能量时，电子和空穴复合；
   e. ；

# 第十六课：光电效应

Wednesday, October 23, 2019 8:16 AM

1. 光电效应：当光照射时，材料的电学性质发生变化的现象；
    a. 外光电效应：光照射时，有电子发射；
    b. 内光电效应：光照射时，材料的电性质发生改变；
2. 光电导弛豫效应：光照射到材料上时，光生载流子要经历一个慢慢增大的过程，最终趋于稳定。光照结束后，也要经历一段时间，电子和空穴复合完毕后，光生载流子才降低到零，这种效应反映了光生载流子作用的快慢；

# 第十七课：光热效应

Monday, October 28, 2019 8:00 AM

1. 光热效应：某些物质在收到光照射后，由于温度变化而造成材料性质的变化；
2. 热释电效应：
    a. 热释电晶体：铁电体；
        i. 铁电体的特点：在某个温度内具有自发极化；
        ii. 外电场可改变自发极化的方向；
        iii. 具电畴结构；
        iv. 交变电场作用下，具有电滞回线现象；
3. 测辐射热计效应：入射光的照射，使材料由于受热而造成电阻率改变的现象；
    a. 电阻变化与温度变化的关系：$\Delta R = \alpha_T R \Delta T$；
    b. 电阻温度系数：$\alpha_T = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dT}$；
    c. 对于金属材料：$\alpha_T = \frac{1}{R}$；
4. 温差电效应：
    a. 温差电效应的类型:
        i. 珀尔帖效应：$\frac{d\theta_p}{dt} = \Pi I$；
        ii. 塞贝克效应：$dV = S\Delta T,\ V = \int_{T_0}^{T} S dT$；
        iii. 汤姆逊效应(单一均匀导体)：$\frac{d\theta}{dt} = \mu \cdot \frac{dT}{dx} I$；
5. 光电效应与光热效应的比较：
    a. 热探测：
        i. 无波长选择性；
        ii. 响应时间长；
        iii. 材料对红外波段的热效应更强，广泛应用于长波长红外线的测量；
    b. 光电探测：
        i. 有波长选择性；
        ii. 响应速度快；

# 第十八课：发光器件

Monday, October 28, 2019 8:35 AM

1. 光源：

光源
- 相干光源(激光受激辐射光)
  - 气体激光器
  - 固体激光器
  - 染料激光器(罗丹明-6G)
  - 半导体激光器(LG)
- 非相干光源(自发幅射光)
  - 发光二极管(LED)
  - 白炽灯
  - 卤钨灯

2. 气体激光器：

气体激光器
- 原子气体激光器
- 分子气体激光器
- 离子气体激光器
  - 惰性气体离子($Ar^+$)
  - 金属蒸汽离子

   a. 气体激光器的特点：

      i. 工作波长极其丰富，从真空紫外到毫米波范围，输出谱线上万条；

      ii. 激光器性能有很大提高；

   b. (外)量子效率：

$$\eta = \frac{\text{激光辐射能量}}{\text{激励能量}} = \frac{E_2 - E_1}{E_2} = \frac{h\nu}{E_2}$$

   *c.*