I. 作业40答案

1、写出绝对黑体的定义。
答：能吸收照射在黑体上的所有电磁辐射的物体。
2、以实线表示确定频率的单色光照射某金属，产生光电效应的伏安曲线，虚线表示采用频率更高的单色光，但是保持光强不变进行光电效应实验的伏安曲线。问：图40-1 中哪个正确？为什么？

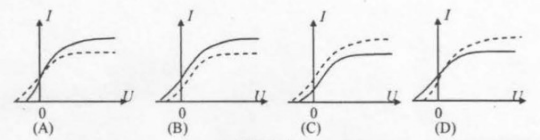


图 40-1

简单说明理由：由于频率越高，遏制电压越大，因此正确的图为A或是C；又在光强相同的情况下，频率越低，单位时间内入射到金属上的光子数越多，饱和电流强度也就越大，故答案为A.
3、设平衡热空腔上一面积为$4cm^2$的小孔，每分钟向外辐射能量$640J$，求空腔内的温度。
$(\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W/m\dot{K}, b = 2.898 \times 10^{-3} m\dot{K})$
解：由斯特藩——波尔兹曼定律知，总辐射出射度为

$$M = \sigma T^4$$

故辐射功率

$$P = A\sigma T^4$$

因此

$$T = \sqrt[4]{\frac{P}{A\sigma}} = \sqrt[4]{\frac{640J/60s}{4 \times 10^{-4} m^2 \times 5.67 \times 10^{-8} W/m \cdot K}} \approx 828K$$

4、从金属铝中逸出一个电子至少需要$4.2eV$的能量，今有波长$\lambda = 200nm$的紫外线照射铝表面，求：(1)铝的红限波长；(2) 遏制电压；(3)光电子的最大初动能。（$e = 1.6 \times 10^{-19} C, h = 6.626 \times 10^{-34} J \cdot s$）
解：（1）铝的红限波长

$$\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0} = \frac{hc}{E} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{4.2 \times 1.6 \times 10^{-19}} m \approx 2.96 \times 10^{-7} m = 296nm$$

（2）遏制电压

$$U_c = \frac{h\nu}{e} - U_0 = \frac{hc}{\lambda} - U_0 = \frac{6.622 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{200 \times 10^{-9} \times 1.6 \times 10^{-19}} - 4.2 \approx 2V$$

（3）光电子的最大初动能

$$\frac{1}{2} m v_m^2 = eU_c = 1.6 \times 10^{-19} C \times 2V = 3.2 \times 10^{-19} J = 2eV$$

5、在加热黑体过程中，其最大单色辐射本领的波长由$0.6\mu m$变到$0.4\mu m$，则其总辐射本领增加多少倍？
解：由维恩位移定律$\lambda_m T = b$知

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{\lambda_{m1}}{\lambda_{m2}}$$

又由斯特藩——波尔兹曼定律$M = \sigma T^4$知

$$\frac{M_2}{M_1} = (\frac{T_2}{T_1})^4 = (\frac{\lambda_{m1}}{\lambda_{m2}})^4 = (\frac{0.6\mu m}{0.4\mu m})^4 = 5.0625$$

6、什么是康普顿效应？写出康普顿效应散射光的的主要特点。
答：康普顿效应：当X射线在电子上发生散射时，在散射光中，除了与入射光波长相同的成分外，还有入射光比入射光波长长的成分。
特点：①散射光波长随散射角增大；②康普顿波长成分的强度随散射物质的原子序数增大而较小。

7、在康普顿散射中，设反冲电子的速度为$0.6c$，问：在散射过程中电子获得的能量是其静止能量的多少倍?
解：散射过程中电子获得的能量为

$$E_k = E - E_0 = m_0c^2/\sqrt{1-v^2/c^2} - m_0c^2$$

所以

$$\frac{E_k}{E_0} = \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} - 1 = \frac{1}{\sqrt{1-(0.6c)^2/c^2}} - 1 = 0.25$$

8、在康曾顿散射中，若照射光光子能量与电子的静止能量相等，求：(1)散射光光子的最小能量；(2)反冲电子的最大动量。
解：（1）散射后光子的波长为

$$\lambda = \lambda_0 + (2h/m_0c)\sin^2(\varphi/2)$$

故最长波长为

$$\lambda_m = \lambda_0 + 2h/m_0c$$

因此，散射光光子的最小能量（注$hc/\lambda_0 = m_0c^2 \approx 0.511MeV$）

$$E_{min} = \frac{hc}{\lambda_m} = \frac{hc}{\lambda_0 + \frac{2h}{m_0c}} = \frac{hc}{\lambda_0}/(1+\frac{2(hc/\lambda)}{m_0c}) = \frac{m_0c^2}{3} \approx 0.17MeV$$

（2）反冲电子的最大能量

$$E_{max} = E_0 + \frac{hc}{\lambda_0} - \frac{hc}{\lambda_m} = m_0c^2 + m_0c^2 - \frac{m_0c^2}{3} = \frac{5}{3}m_0c^2$$

最大动能

$$p_m = \frac{1}{c}\sqrt{E_{max}^2 - m_0^2c^4} = \frac{4}{3}m_0c \approx 3.6\times10^{-22}kg\cdot m/s$$

II. 作业41答案

1、设氢原子的质量为m，动能为E_k，不考虑相对论效应，求其德布罗意波长。
解：由

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

知

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$$

2、欲使电子腔中电子的德布罗意波长为$0.1nm$，求加速电压。
解：由于电子的波长不是太长，因此可使用非相对论力学

$$E_k = \frac{p^2}{2m} = \frac{h^2}{2m\lambda^2} = eU$$

所以

$$U = \frac{h^2}{2m\lambda^2 e} = \frac{(6.626\times10^{-34})^2}{2\times9.11\times10^{-31}\times10^{-20}\times1.6\times10^{-19}} \approx 151V$$

3、如图41-1所示一束动量为p的电子，通过缝宽为a的狭缝，在距离狭缝为R处放置一荧光屏，求屏上衍射图样中央明条纹的宽度d.
解：由德布罗意关系知

$$\lambda = h/p$$

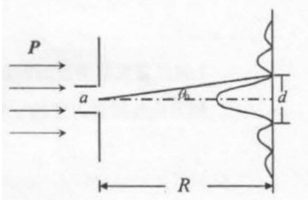


图 41-1

单缝衍射暗条纹的条件为

$$a\sin\theta_k = \pm k\lambda$$

由于$R \gg d$,所以$\sin\theta_1 \approx d/2R$.
于是

$$d = 2R\sin\theta_1 = 2R\lambda/a = 2Rh/pa$$

4、$\lambda_0 = \frac{h}{m_e c}$称为电子的康普顿波长($m_e$为电子的静止质量，$h$为普朗克常数，$c$为真空中的光速)，已知电子的动能等于它的静止能量，求德布罗意波长λ.
解：由于电子的动能等于它的静止能量，因此必须使用相对论力学。
电子的动量p由此式决定

$$\sqrt{p^2c^2 + m_e^2c^4} - m_ec^2 = m_ec^2$$

可得

$$p = \sqrt{3}m_ec$$

所以电子的德布罗意波长为

$$\lambda = h/p = h/\sqrt{3}m_ec = \lambda_0/\sqrt{3}$$

5、反应堆中的热中子动能约为$6.12\times10^{12}eV$，计算这种热中子的德布罗意波长。
解：中子的静止能量为

$$m_nc^2 = 1.675\times10^{-27}\times9\times10^{16} \approx 9.42\times10^8eV$$

中子的动量p由此决定

$$E_k = \sqrt{p^2c^2 + m_n^2c^4} - m_nc^2$$

因此

$$p=(1/c)\sqrt{E_k(E_k+2m_nc^2)}$$

由德布罗意关系，有热中子的德布罗意波长为

$$\lambda=\frac{h}{p}=\frac{hc}{\sqrt{E_k(E_k+2m_nc^2)}}\approx\frac{6.626\times10^{-34}\times3\times10^8}{\sqrt{6.12\times10^{12}\times(6.12\times10^{12}+2\times9.42\times10^8)}\times1.6\times10^{-19}}\approx2.03\times10^{-19}m$$

注：由于$E_k\gg m_0c^2$，因此近似地有$\lambda\approx hc/E_k$.

6、质量为m的电子，由静止起被电势差$U_{12}=900V$的电场加速，试计算其德布罗意波的波长。（$m_e=9.11\times10^{-31}kg$，普朗克常数$h=6.63\times10^{-34}J\cdot s$).

解：由于电子所获得的动能$E_k=eU_{12}=900eV\gg m_0c^2=0.511MeV$,因此可不考虑相对论效应，有

$$\lambda=\frac{h}{\sqrt{2m_eeU_{12}}}=\frac{6.63\times10^{-34}}{\sqrt{2\times9.11\times10^{-31}\times1.6\times10^{-19}\times900}}\approx0.0409nm$$

7、氦氖激光器所发出的红光波长为$\lambda=632.8nm$，谱线宽度$\Delta\lambda=1nm$，问：当这种光子沿x轴方向传播时，它的x坐标的不确定量多大?

解：由$p=\frac{h}{\lambda}$，有$\Delta p=\frac{h\Delta\lambda}{\lambda^2}$.

由$\Delta x\Delta p\geq\frac{\hbar}{2}$,有

$$\Delta x\geq\frac{\hbar}{2\Delta p}=\frac{\lambda^2}{4\pi\Delta\lambda}=\frac{632.8^2}{4\times3.14\times10^{-9}}\approx3.19\times10^{13}nm=3.19\times10^4m$$

8、若一个电子和一个质子具有同样的动能，哪个粒子的德布罗意波长较大?

解：考虑到相对论效应，有

$$\lambda=\frac{hc}{\sqrt{E_k(E_k+2m_0c^2)}}$$

因为$m_p\gg m_e$,所以$\lambda_e>\lambda_p$.

$$\frac{\quad}{\sqrt{a}}\cos\frac{3\pi x}{2a}(-a\le x\le a)$$

（1）求粒子在$x=\frac{a}{2}$处出现的概率密度；

（2）在$-\frac{a}{5}<x<\frac{a}{5}$范围内，粒子出现的概率。

解：由波函数的形式可知波函数已经归一化

（1）粒子在$x=\frac{a}{2}$处出现的概率密度：

$$p(x=a/2)=|\psi(x=a/2)|^2=\frac{1}{a}\left|\cos(\frac{3\pi}{4})\right|^2=\frac{1}{2a}$$

（2）在$-\frac{a}{5}<x<\frac{a}{5}$范围内，粒子出现的概率

$$p(-\frac{a}{5}<x<\frac{a}{5})=\int_{-a/5}^{a/5}|\psi(x)|^2\,dx=\frac{1}{a}\int_{-a/5}^{a/5}\cos^2\frac{3\pi x}{2a}dx=\frac{1}{a}\int_0^{a/5}\left[1+\cos\frac{3\pi x}{a}\right]dx=\frac{1}{a}\left[\frac{a}{5}+\frac{a}{3\pi}\sin(3\pi/5)\right]=\frac{1}{5}+\frac{1}{3\pi}\sin($$

2、粒子在一维无限深势方阱中运动，图42-1 为粒子处于某一能态的波函数$\psi(x)$的曲线，(1)写出粒子的波函数；(2)用数学的方法求出粒子出现概率最大的位置。

解：（1）粒子的波函数：

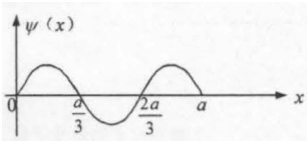


图 42-1

$$\psi(x)=\begin{cases}\sqrt{\frac{2}{a}}\sin(\frac{3\pi x}{a}), & (0<x<a)\\ 0, & (x<0,x>a)\end{cases}$$

（2）粒子出现最大的位置由$\frac{d|\psi(x)|^2}{dx}=0$给出，即

$$\sin(\frac{3\pi x}{a})\cos(\frac{3\pi x}{a})=0$$

$\sin(\frac{3\pi x}{a})=0$给出的是极小值0，

$\cos(\frac{3\pi x}{a})=0$给出的是极大值。

由$\cos(\frac{3\pi x}{a})=0$，有$\frac{3\pi x}{a}=\frac{\pi}{2},\frac{3\pi}{2},\frac{5\pi}{2}$,即$x=\frac{a}{6},\frac{a}{2},\frac{5a}{6}$.

3、设一维运动粒子的波函数为$\psi(x)=\begin{cases}Ae^{-ax} & (x\ge 0),\\ 0 & (x<0).\end{cases}$ 其中a为大于0的常数。试确定归一化波函数的A值。

解：有波函数的归一化条件，有

$$1=\int_{-\infty}^{\infty}|\psi(x)|^2\,dx=|A|^2\int_0^{\infty}e^{-2ax}dx=\frac{1}{2a}|A|^2$$

解之得

$$A=\sqrt{2a}$$

4、在宽度为a的一维无限深方势阱中运动的粒子定态波函数为$\psi(x)=\begin{cases}0 & (x<0,x>a)\\ \sqrt{\frac{2}{a}}\sin\frac{n\pi x}{a} & (0\le x\le a)\end{cases}$，

求：（1）基态粒子出现在$\frac{a}{3}<x<\frac{2a}{3}$范围内的概率；

（2）主量子数$n=2$的粒子出现概率最大的位置。

解：可知定态波函数已归一化

（1）基态粒子出现在$\frac{a}{3}<x<\frac{2a}{3}$范围内的概率

$$p=\int_{\frac{a}{3}}^{\frac{2a}{3}}|\psi_1(x)|^2\,dx=\frac{1}{3}+\frac{\sqrt{3}}{2\pi}$$

（2）对于$n=2$，可知粒子出现概率最大位置

$$\frac{2\pi x}{a}=\frac{\pi}{2},\frac{3\pi}{2}$$

可得

$$x=\frac{a}{4},\frac{3a}{4}$$

5、若氢原子处于主量子数$n=4$的状态，(1)写出其轨道角动量所有可能值；(2)对应$l=3$的状态，写出其角动量在外磁场方向的投影可能取值。

解：（1）对于处于主量子数$n=4$的氢原子

$$l=0,1,2,3;L=\sqrt{l(l+1)}\hbar=0,\sqrt{2}\hbar,\sqrt{6}\hbar,2\sqrt{3}\hbar$$

（2）对应$l=3$的状态

$$m=-3,-2,-1,0,1,2,3.L_z=m\hbar=-3\hbar,-2\hbar,-\hbar,0,\hbar,2\hbar,3\hbar.$$

6、已知电子处于$3d$态，(1)写出它的轨道角动量的大小；(2)问：主量子数是多少?

解：（1）轨道角动量

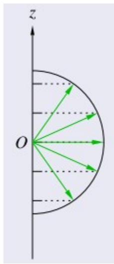
$$L=\sqrt{l(l+1)}\hbar=\sqrt{2(2+1)}\hbar=\sqrt{6}\hbar$$

（2）主量子数$n=3$.

7、微观粒子的角量子数$l=2$，（1）求角动量L；（2）写出所有可能的磁量子数m，及相应的L_z；（3）在图42-2中画出其余可能的L矢量，并标明各自对应的m值及L_z值。

解：（1）角动量

$$L=\sqrt{l(l+1)}\hbar=\sqrt{2(2+1)}\hbar=\sqrt{6}\hbar$$



（2）磁量子数

$$m=-2,-1,0,1,2;L_z=m\hbar=-2\hbar,-\hbar,0,\hbar,2\hbar.$$

（3）见右图

8、原子中电子的波函数与其4个量子数有关，下列波函数都有错，请修正（每个波函数只允许修正一个数）。

①$\psi_{3,-1,-1,\frac{1}{2}}$，②$\psi_{1,1,0,\frac{1}{2}}$，③$\psi_{3,1,1,0}$，④$\psi_{1,0,\frac{1}{2},\frac{1}{2}}$。

解：①由于$l\leq 0$,所以应为$\psi_{3,1,-1,\frac{1}{2}}$

②由于$l<n$，所以应为$\psi_{1,0,0,\frac{1}{2}}$.

③由于$m_z=\pm 1/2$，所以应为$\psi_{3,1,1,\pm\frac{1}{2}}$.

④由于m_l必须为整数，所以应为$\psi_{1,0,0,\frac{1}{2}}$.

IV. 作业43答案

1、求氢原子光谱的拉曼系中最大波长和最小波长。
解：氢原子光谱的谱线频率：

$$\nu_{mn} = Rc(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}), R = 1.096776 \times 10^7 m^{-1}, m > n$$

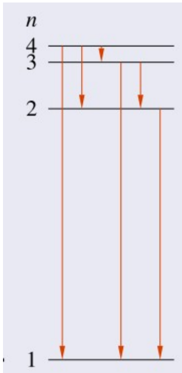
$n = 1$是拉曼系，拉曼系由$m \geq 2$到$n = 1$能级上的跃迁所发射的辐射组成。
最大波长：从$m = 2$到$n = 1$能级上的跃迁所发射的波长

$$\lambda_{max} = \frac{c}{\nu_{21}} = \frac{1}{R(1/1^2 - 1/2^2)} = \frac{4}{3R} = \frac{4}{3 \times 1.096776 \times 10^7 m^{-1}} = 1.2157 \times 10^{-7} m = 121.57nm$$

最小波长：从$m = \infty$到$n = 1$能级上的跃迁所发射的波长

$$\lambda_{\infty 1} = \frac{c}{\mu_{\infty 1}} = \frac{1}{R(1/1^2 - \infty^2)} = \frac{1}{R} = 0.9118 \times 10^{-7} m = 91.18nm$$

2、处于第3激发态的氢原子跃迁回低能态时，可以发出的可见光谱线有多少？请画出跃迁能级图。
解：处于第3激发态的氢原子跃迁回低能态时，可以发出的所有光谱线为



$$n = 4 \to n = 3, \lambda_{43} = \frac{c}{\nu_{43}} = \frac{1}{R(1/3^2 - 1/4^2)} = \frac{144}{7R} \approx 1875.63nm$$

$$n = 4 \to n = 2, \lambda_{42} = \frac{c}{\nu_{42}} = \frac{1}{R(1/2^2 - 1/4^2)} = \frac{16}{3R} \approx 486.27nm$$

$$n = 4 \to n = 1, \lambda_{41} = \frac{c}{\nu_{41}} = \frac{1}{R(1/1^2 - 1/4^2)} = \frac{16}{15R} \approx 97.25nm$$

$$n = 3 \to n = 2, \lambda_{32} = \frac{c}{\nu_{32}} = \frac{1}{R(1/2^2 - 1/3^2)} = \frac{36}{5R} \approx 656.47nm$$

$$n = 3 \to n = 1, \lambda_{31} = \frac{c}{\nu_{31}} = \frac{1}{R(1/1^2 - 1/3^2)} = \frac{9}{8R} \approx 102.57nm$$

$$n = 2 \to n = 1, \lambda_{21} = \frac{c}{\nu_{21}} = \frac{1}{R(1/1^2 - 1/2^2)} = \frac{4}{3R} \approx 121.57nm$$

由于可见光范围为$390nm < \lambda < 780nm$，所以可发出的可见光谱线有两条，波长分别为$486.27nm, 656.47nm$.
3、复色光（光子能量分别为$2.16eV$、$2.40eV$、$1.51eV$和$1.89eV$）射向处在$n = 2$的能级的氢原子群。问：哪一种光子能被吸收？请说明原因。
解：几个高能级与$n = 2$能级的能级差为：

$$E_3 - E_2 = \frac{5}{36}|E_1| \approx \frac{5}{36}|-13.6eV| \approx 1.86eV$$

$$E_4 - E_2 = \frac{3}{16}|E_1| \approx \frac{3}{16}|-13.6eV| \approx 2.55eV$$

$$E_5 - E_2 = \frac{21}{100}|E_1| \approx \frac{21}{100}|-13.6eV| \approx 2.86eV$$

因为只有当光子的能量等于能级之间的能量差时，光子才可能被吸收，所以能量为$1.86eV$的光子被吸收。

4、欲使氢原子能发射巴耳末系中波长为656.28nm的谱线，计算最少要给基态氢原子提供的能量。（里德伯常数$R = 1.096776 \times 10^7 m^{-1}$）
解：巴尔末系中波长为656.28nm的谱线是电子从$n = 3$到$n = 2$能级跃迁时发射的。
因此，最少要给基态氢原子提供的能量应为$n = 3$激发态的能量与基态能量之差

$$\Delta E = E_3 - E_1 = -\frac{8}{9}E_1 \approx 12.09eV$$

6、请叙述泡利不相容原理。
答：在多电子的原子系统中不可能有两个电子具有完全相同的状态
7、基态原子中电子的排列遵循什么原理?
答：泡利不相容原理和能量最小原理，可以利用洪德规则来排列电子
8、什么叫做能量简并？请举例说明。
答：不同的量子态具有相同的能量（能级）称为能量简并。
举例：处于n能级上的氢原子，有$l = 0, 1, 2, 3 \cdots l - 1$共$l$个不同的电子状态，属于$n$级简并。
9、写出原子中$n = 2$能级中电子的全部波函数：ψ_{n,l,m_l,m_s}问：该能级是几度简并?
解：$n = 2$，则$l = 0, 1$
当$l = 1$时，$m_l = 0, \pm 1$
当$l = 0$时，$m_l = 0$
又$m_s = \pm\frac{1}{2}$
所以$n = 2$能级中电子的全部波函数为

$$\psi_{2,1,1,\frac{1}{2}}, \psi_{2,1,1,-\frac{1}{2}}, \psi_{2,1,0,\frac{1}{2}}, \psi_{2,1,0,-\frac{1}{2}}$$

$$\psi_{2,1,-1,\frac{1}{2}}, \psi_{2,1,-1,-\frac{1}{2}}, \psi_{2,0,0,\frac{1}{2}}, \psi_{2,0,0,-\frac{1}{2}}$$

故该能级是8度简并。

V. 作业44答案

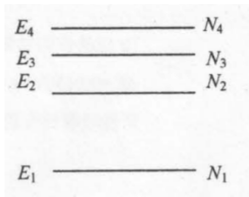
1、什么是自发辐射？什么是受激辐射？
答：自发辐射：无外界刺激，原子自发地从高能级向低能级跃迁。同时，向外辐射一个光子，光子的能量是原子两个能级能量之差。
受激辐射：在原子处于高能级（高能级有原子存在）的情况下，如果外来入射一个光子的能量正好等于高能级与某一低能级之差，则高能级上的原子向该低能级跃迁。除外来入射的光子外，再辐射一个与外来入射的光子的频率（波长，能量）、相位、传播方向、振动方向等一样的光子。
2、请分别写出原子自发辐射和受激辐射所发出的光的特点。
答：自发辐射：自发辐射的光是不相干的。
受激辐射：受激辐射所产生的光子具有与外来光子完全相同的特性。即它们的频率、相位、振动方向、传播方向均相同。
3、什么现象称作粒子数反转？系统实现粒子数反转的条件是什么？
答：粒子数反转：激光器的工作物质处于高能级中的粒子数超过处于低能级的粒子数。
实现粒子数反转的条件：要实现粒子数反转，系统要有激励能源使原子激发。另外工作物质还要有合适的亚稳态能级（至少有三能级以上）。
4、CO_2激光器发出的激光波长为$10.6\mu m$.(1)求相应的两个能级差；(2)设具有同样能级差的平衡态CO_2气体的温度为$300K$. 求上能级粒子数N_1和下能级粒子数N_2之比值。
（1）两能级差

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.626\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{10.6\times10^{-6}} \approx 1.875\times10^{-20}J \approx 0.117eV$$

（2）由于室温下，$kT \approx 0.0253eV$，所以N_1和N_2之比值

$$\frac{N_1}{N_2} = e^{-\frac{\Delta E}{kT}} \approx e^{-\frac{0.117eV}{0.0253eV}} \approx 0.01$$

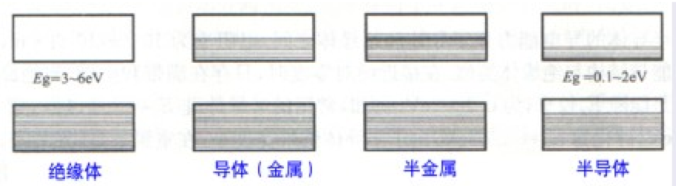
5、写出激光器中光学谐振腔的作用。
答：（1）产生与维持光的振荡，使光得到加强，进一步实现光放大；
（2）通过振荡（多次反射），使激光有极好的方向性；
（3）通过光学谐振腔的选频作用，使激光的单色性好。
6、激光工作物质的原子能级如图所示，N表示相应E_i能级的粒子数，已知$N_1 > N_2 > N_4 > N_3$，请回答：
（1）哪两个能级之间实现了粒子数翻转？
（2）写出可能产生的激光的频率。
（3）可能产生的荧光（自发辐射）光谱有几个？



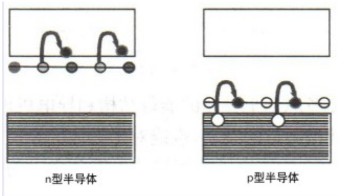
解：（1）3、4能级之间实现了粒子数翻转
（2）可能产生的激光的频率

$$\nu = \frac{E_4 - E_3}{h}$$

（3）可能产生的荧光（自发辐射）光谱有6个：$4\to3, 4\to2, 4\to1, 3\to2, 3\to1, 2\to1.$
7、什么是本征半导体？本征半导体的导电机制是什么？
答：本征半导体：纯净的半导体单晶材料，无任何杂质与缺陷，原子的排列遵循严格的周期性。
本征半导体的导电机制；本征激发到空带中的电子和余下的满带中的空穴导电。而且，本征激发中，从价带中激发到导带的电子浓度与价带中的空穴浓度相等。即导电的电子和空穴都是主要载流子。
8、分别写出导体、绝缘体、半导体能带结构的特点。（画出能级示意图）
答：导体的能带结构：价带是不满的、满带和空带之间无禁带或价带和空带重叠等结构。在外电场的作用下，这种不满的能带中的电子就起导电作用。
绝缘体的能带结构：满带和空带之间的禁带很宽，满带中的电子很难从低能级（满带）跃迁到高能级（空带）上。价带是满带，价带与空带之间有一较宽的禁带（$E_g = 3eV \sim 10eV$），离子晶体（如$Nacl, KCl$等）、分子晶体（如Cl_2, CO_2等）属于这一类。
半导体的能带结构：满带和空带之间有禁带，但禁带较窄，热激发很容易使电子从低能级（满带）跃迁到高能级（空带）上，形成不的价带，在外电场的作用下，这种不满的能带中的电子就起导电作用。价带是满带，价带与空带之间禁带宽度很小（$E_g = 0.1eV \sim 2eV$）。价带中的电子被激发到空带，就可参与导电；价带中留下空穴也具有导电性。锗、硅等属于此类。



9、（1）画出p型半导体能带结构图，指明杂质能级的特点。
（2）画出n型半导体能带结构图，指明杂质能级的特点。
（3）说明杂质半导体的导电性能比本征半导体好的原因。
答：半导体能带结构图：



（1）p型半导体杂质能级在价带上面，距价带很近。
（2）n型半导体杂质能级在导带下面，距导带很近。
（3）本征半导体是电子和空穴两种载流子同时参与导电，满带和空带之间有禁带；而杂质半导体由于杂质原子提供的能级或靠近满带（p型半导体），或靠近空带（n型半导体），使得电子很容易被激发，或者满带中的电子激发到受主能级（p型半导体），或者施主能级上的电子激发到空带中（n型半导体），都会形成未满的导带，使得导电性能比本征半导体要好。

10、硅晶体的禁带宽度为$1.2eV$，参入磷后成为n型半导体，已知杂质能级和导带底能级差$\Delta E = 0.045eV$，（1）请计算硅本征半导体所能吸收的光的最大波长；（2）计算n型半导体所能吸收的光的最大波长。
解：由于电子在能级E_1, E_2之间跃迁所辐射或吸收的光子的频率、波长分别为

$$\nu = \frac{|E_2 - E_1|}{h}, \lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{hc}{|E_2 - E_1|}$$

故硅本征半导体能吸收的光的最大波长

$$\lambda_{max,o} = \frac{hc}{E_g} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1.2 \times 1.6 \times 10^{-19}} m \approx 10.35 \times 10^{-7} m \approx 1035nm$$

n型半导体所能吸收的光的最大波长

$$\lambda_{max,n} = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{0.045 \times 1.6 \times 10^{-19}} m \approx 276.08 \times 10^{-7} m = 27608nm$$