

作业四十

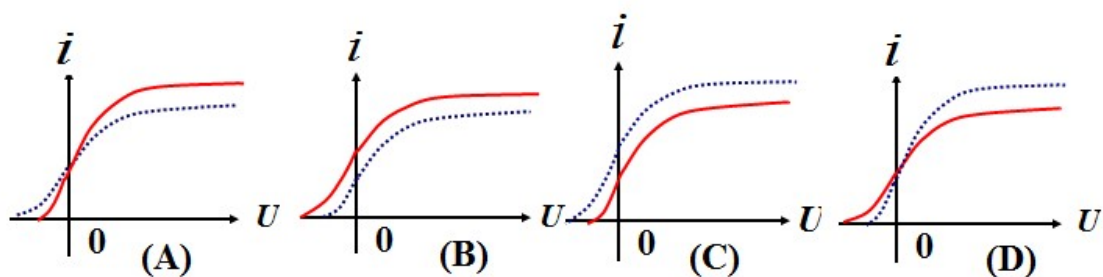
1. 写出绝对黑体的定义。

答：如果某种物质能吸收照射到它上面的所有电磁辐射，则称这种物质为绝对黑体。

物质对电磁辐射的作用有吸收、反射和辐射。绝对黑体只吸收电磁辐射，不反射电磁辐射。但它可以辐射电磁波，而且在不同的温度下，辐射的电磁波的波长（频率）不同。

2. $T = \sqrt[4]{\frac{M}{\sigma}} = 827 \text{ K}.$

3.



答：[A]

理由：(1) 由 $h\nu = eU_a + A$ ，频率增加，截止电压增加：(A) 或 (C) 正确；

(2) 由光强 $I = Nh\nu$ ，频率增加光强不变，所以光子数减小，饱和光电流减小。

最后选择 (A) 正确。

4. (1) $\nu_0 = A/h$, $\lambda_0 = hc/A = 296 \text{ nm}$;

(2) $\frac{1}{2}mv_{\max}^2 = h\nu - A = 2.0 \text{ eV}$, 遏止电压为 $U_a = 2.0 \text{ V}$;

(3) $eU_a = \frac{1}{2}mv_{\max}^2 = 2.0 \text{ eV}.$

5. $\frac{M_2}{M_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^4 = \left(\frac{\lambda_{m1}}{\lambda_{m2}}\right)^4 = \left(\frac{0.9}{0.3}\right)^4 = 81.$

6. 什么是康普顿效应？写出康普顿效应散射光的主要特点。

答：X 射线照射在散射物质上，在散射光中除了有与入射光相同的波长成分，还有比入射光波长长的成分，这种散射光波长改变的现象，称为康普顿效应。

康普顿效应的主要特点是：康普顿散射光的波长与入射光波长之差 $\Delta\lambda$ 与散射物的性质及入射光波长无关，只与散射角有关。

7. $\frac{E_k}{E_0} = \frac{mc^2 - m_0c^2}{m_0c^2} = 0.25$, 即反冲电子获得的能量是其静止能量的四分之一。

8. $h\nu_{\min} = \frac{hc}{\lambda_{\max}} = \frac{1}{3}m_0c^2 = 0.17 \text{ MeV}$ (电子静止能量 0.511MeV) .

作业四十一

1. $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}.$
2. $U = 150 \text{ V}.$
3. $d = \frac{2Rh}{ap}.$
4. $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{\sqrt{3}}{3} \lambda_0.$
5. 热中子应考虑相对论效应: $E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4$ 和 $E_k = mc^2 - m_0 c^2$, 考虑 $E_k \gg m_0 c^2$, 所以 $E_k = pc$, $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{hc}{E_k} = 2.03 \times 10^{-19} \text{ m}.$
6. 不考虑相对论: $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU}} = 0.0409 \text{ nm}.$
7. $\Delta x \geq \frac{h}{\Delta p} = \frac{\lambda^2}{\Delta \lambda} = 4 \times 10^5 \text{ nm}.$
8. 电子。动能相同, 静止质量小的动量小, 相应的德布罗意波长大。

作业四十二

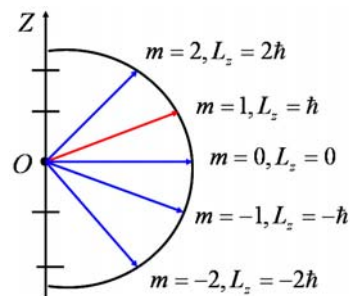
1. 一维无限深势阱中粒子的能量为 $E_n = \frac{n^2 \pi^2 \hbar^2}{2ma^2} = n^2 \times 5.49 \times 10^{-41} \text{ J}.$
 $E_{100} = 5.49 \times 10^{-37} \text{ J} = 3.43 \times 10^{-18} \text{ eV}, E_{101} = 5.60 \times 10^{-37} \text{ J} = 3.50 \times 10^{-18} \text{ eV};$
 $\Delta E = 0.11 \times 10^{-37} \text{ J} = 0.07 \times 10^{-18} \text{ eV}.$
2. (1) $A = \sqrt{2/a}$, 归一化的波函数为 $\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{n\pi x}{a} \quad (0 \leq x \leq a);$
 (2) $\omega_1(x = \frac{a}{4}) = |\psi_1(x)|_{x=a/4}^2 = \frac{2}{a} \sin^2 \frac{\pi x}{a} \Big|_{x=a/4} = \frac{1}{a};$
 (3) $P = \int_{a/3}^{2a/3} |\psi_1(x)|^2 dx = \frac{2}{a} \int_{a/3}^{2a/3} \sin^2 \frac{\pi x}{a} dx = \frac{1}{3} + \frac{\sqrt{3}}{2\pi} = 0.61$
 (4) $x = \frac{1}{4}a, \frac{3}{4}a$ 处, $P_2 = |\psi_2(x)|^2$ 具有极大值。
3. (1) 角量子数 $l = 0, 1, 2, 3$, 则轨道角动量的可能值为:
 $L = \sqrt{l(l+1)} \hbar = 0, \sqrt{2} \hbar, \sqrt{6} \hbar, 2\sqrt{3} \hbar;$
 (2) 磁量子数 $m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3$, 角动量在外磁场方向的投影可能值为:
 $L_z = m_l \hbar = 0, \pm \hbar, \pm 2\hbar, \pm 3\hbar.$
4. (1) $L = \sqrt{l(l+1)} \hbar = \sqrt{2 \times (2+1)} \hbar = \sqrt{6} \hbar;$
 (2) 主量子数为 $n = 4.$

5. (1) 轨道角动量为 $L = \sqrt{l(l+1)}\hbar = \sqrt{6}\hbar$

(2) 磁量子数 $m = -2, -1, 0, 1, 2$, 轨道角动量在磁场中的分量为

$$L_z = 0, \pm\hbar, \pm 2\hbar$$

(3) 由此, 可以画出轨道角动量 L 在磁场空间量子化的示意图

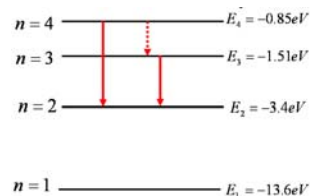


6 解: (1) $\psi_{3,1,-1,\frac{1}{2}}$ 或者 $\psi_{3,2,-1,\frac{1}{2}}$ (2) $\psi_{1,0,0,\frac{1}{2}}$ (3) $\psi_{3,1,1,\frac{1}{2}}$ (4) $\psi_{1,0,0,\frac{1}{2}}$

作业四十三

1. $\lambda_{\max} = \frac{4}{3R} = 1.333 \times 10^{-7} \text{ m}$; 最小波长满足 $\lambda_{\min} = \frac{1}{R} = 1 \times 10^{-7} \text{ m}$

2. 第3激发态: $n = 4$, 跃迁到 $n = 2$ 能级产生的谱线为可见光谱线, 有两条。



3. 光子的能量只有刚好等于氢原子某两个能级之差时, 光子才能被吸收

$$\Delta E_1 = E_3 - E_2 = -1.51 - (-3.4) = 1.89 \text{ eV}$$

$$\Delta E_2 = E_4 - E_2 = -0.85 - (-3.4) = 2.55 \text{ eV}$$

$$\Delta E_3 = E_5 - E_2 = -0.54 - (-3.4) = 2.86 \text{ eV}$$

所以只有 $\Delta E_1 = E_3 - E_2 = -1.51 - (-3.4) = 1.89 \text{ eV}$ 的光子能够被 $n = 2$ 的能级的氢原子所吸收, 氢原子吸收一个光子后, 跃迁到 $E_3 = -1.51 \text{ eV}$ ($n = 3$) 的能级上。

4. 由巴尔末公式, 知所给波长是从 $n = 3$ 向 $n = 2$ 能级跃迁得到的。

$$\Delta E = E_3 - E_1 = -1.51 - (-13.6) = 12.09 \text{ eV}.$$

5. 答: 在一原子中, 不可能有两个或两个以上电子处于相同的状态, 即不可能有两个或两个以上电子具有相同的 4 个量子数 (n, l, m_l, m_s)。

6. 答: 泡利不相容原理和能量最小原理。

7. 答: 有若干不同的电子状态 (波函数), 处于相同的能级, 这就是能级简并。

例如, 氢原子中, 原子处于 n 能级, 但还有 $l = 0, 1, 2, \dots, n-1$ 个不同的轨道角动量。轨道角动量不同, 就是不同的电子状态。原子处于 n 能级, 有 n 个不同的轨道角动量值, 有 $2l+1$ 个轨道角动量分量, 就有 n^2 个不同的电子状态 (波函数)。因此, 一般说, 原子处于 n 能级, 其能级的简并度为 n^2 。

当然, 氢原子中电子的状态 (波函数), 还要有自旋磁量子数 m_s , 能级的简并度更高 $2n^2$ 。

8. $\psi_{2,0,0,+\frac{1}{2}}, \psi_{2,0,0,-\frac{1}{2}}, \psi_{2,1,-1,+\frac{1}{2}}, \psi_{2,1,-1,-\frac{1}{2}}, \psi_{2,1,0,+\frac{1}{2}}, \psi_{2,1,0,-\frac{1}{2}}, \psi_{2,1,1,+\frac{1}{2}}, \psi_{2,1,1,-\frac{1}{2}}$

可见, 氢原子中, $n = 2$ 能级是 8 度简并的。

9. Ar ($z=18$) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$, K ($z=19$) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$.

作业 44

44-1 自发辐射：无外界刺激，电子自发地从高能级向低能级跃迁，发出光；

受激辐射：原子系统在能量密度为 $\rho(\nu, T)$ 的辐射场中，高能级原子受到光子的刺激跃迁到低能级，同时发射出全同光子。

44-2 自发辐射出的光是非相干光；

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（相干光）。

44-3 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，即 $N_2 > N_1$ 。

条件：①要实现粒子数反转，系统要有激励能源使原子激发；②工作物质要有合适的亚稳态能级（至少有三能级以上）。

44-4 (1) $\Delta E = 0.117 \text{ eV}$

$$(2) \frac{N_1}{N_2} \approx 0.0108$$

44-5 ①让受激辐射延续足够长的距离，实现光放大；

②能把传播方向略有偏离的光排除掉，保持激光具有极好的方向性，只有沿轴向的光才能振荡放大；

③选模，使激光的单色性好。

44-6 (1) E_3 与 E_4 能级之间实现了粒子数反转

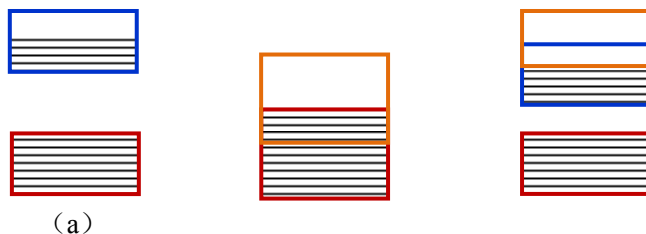
$$(2) \text{可能产生的激光频率是 } \nu = (E_4 - E_3)/h$$

(3) 可能产生的荧光光谱有 6 个。

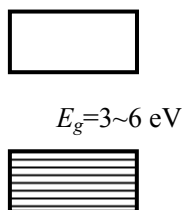
44-7 本征半导体：纯净而无杂质的半导体。

本征半导体的导电机制：热激发到空带中的电子和余下的满带中的空穴导电。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。

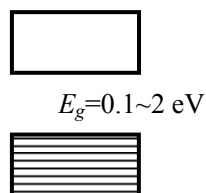
44-8 (1) 导体：满带和空带之间无禁带，价带是不满的，在外电场的作用下，这种不满的能带中的电子就起导电作用。如图 (a) 表示单价金属晶体(如 Li)一类的能级结构，其价带未填满电子，是导带。图 (b) 表示二价金属(如 Be, Mg 等)一类的能级结构，其满带与空带部分重叠，形成一个导带。图 (c) 表示另一类金属晶体(如 Na, K, Cu 等)的能级结构，其价带本来就未被电子填满，而这个价带又与空带重叠。



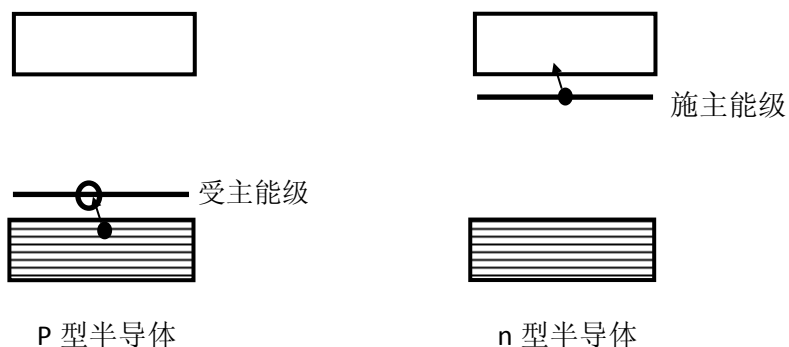
(2) 绝缘体：满带和空带之间的禁带很宽，满带中的电子很难从低能级(满带)跃迁到高能级(空带)上。价带是满带，价带与空带之间有一较宽的禁带 ($E_g = 3 \sim 6 \text{ eV}$)。



(3) 半导体：满带和空带之间有禁带，但禁带较窄（ $E_g = 0.1 \sim 2 \text{ eV}$ ），热激发很容易使电子从低能级(满带)跃迁到高能级(空带)上。



44-9



(1) p 型半导体杂质能级的特点：在满带上方邻近处有杂质能级(受主能级)，提供空穴，使得满带中的电子较容易激发到该受主能级上，从而在满带中形成空穴，产生空穴导电；

(2) n 型半导体杂质能级的特点：在空带下方邻近处有杂质能级(施主能级)，提供电子，使得杂质能级中的电子较容易激发到空带上，从而在空带中形成电子，产生电子导电；

(3) 对于本征半导体，它的导电特征是参加导电的正、负载流子的数目相等，总电流是电子流和空穴流的代数和。至于杂质半导体，n 型半导体主要导电的载流子是电子，p 型半导体主要导电的载流子是空穴。这两种类型都是由杂质原子起主要导电作用，由于杂质半导体中的电子跃迁到导带中去(n 型半导体)，或满带中的电子跃迁到杂质能级中来(p 型半导体)，都较本征半导体满带中的电子直接跃迁到导带中来得容易，所以少量的杂质就会显著地影响导带中的电子数或满带中的空穴数。因而少量杂质将会显著地影响半导体的导电性。

44-10 (1) $\lambda_{\max} = \frac{hc}{\Delta E} = 1035.9 \text{ nm}$

(2) $\lambda_{\max} = \frac{hc}{\Delta E} = 27608 \text{ nm}$