单元十二 光的量子效应及光子理论

一 选择题

01. 金属的光电效应的红限依赖于: 【 C 】

(A) 入射光的频率； (B) 入射光的强度；

(C) 金属的逸出功； (D) 入射光的频率和金属的逸出功。

☛ 根据爱因斯坦光电方程：$h\nu=\frac{1}{2}mv_{\max}^2+W_A$ —— W_A 是金属的逸出功

红限频率：$\underline{h\nu_0=W_A}$ —— 只和金属的逸出功有关。正确答案(C)

02. 已知某单色光照射到一金属表面产生了光电效应，若此金属的逸出电势是U_0(使电子从金属逸出需做功eU_0)，则此单色光的波长λ必须满足： 【 A 】

(A) $\lambda\le\frac{hc}{eU_0}$ ； (B) $\lambda\ge\frac{hc}{eU_0}$； (C) $\lambda\le\frac{eU_0}{hc}$； (D) $\lambda\ge\frac{eU_0}{hc}$。

☛ 产生光电效应光的最低频率：$h\nu_0\ge W_A=eU_0\longrightarrow\nu_0\ge\frac{eU_0}{h}$

将其上式代入$\lambda_0=\frac{c}{\nu_0}$

得到：$\underline{\lambda\le\frac{hc}{eU_0}}$ —— 正确答案(A)

03. 在均匀磁场$\vec{B}$内放置一簿板的金属片，其红限波长为λ_0。今用单色光照射，发现有电子放出，放出的电子(质量为m，电量的绝对值为e)在垂直于磁场的平面内作半径为R的圆周运动，那么此照射光光子的能量是： 【 B 】

(A) $\frac{hc}{\lambda_0}$； (B) $\frac{hc}{\lambda_0}+\frac{(eRB)^2}{2m}$； (C) $\frac{hc}{\lambda_0}+\frac{eRB}{m}$； (D) $\frac{hc}{\lambda_0}+2eRB$。

☛ 根据红限波长得到金属的逸出功：$W_A=h\nu_0=h\frac{c}{\lambda_0}$

光电效应产生的电子在磁场中作圆周运动的动能：$E_k=\frac{1}{2}mv^2$

电子作圆周运动满足：$m\frac{v^2}{R}=eBv\longrightarrow\underline{E_k=\frac{(eRB)^2}{2m}}$

照射光子的能量：$h\nu=\frac{1}{2}mv_{\max}^2+W_A\longrightarrow\underline{h\nu=\frac{(eRB)^2}{2m}+h\frac{c}{\lambda_0}}$ —— 正确答案(B)

04. 用强度为I，波长为λ的X射线分别照射锂$(Z=3)$和铁$(Z=26)$，若在同一散射角下测得康普顿散射的X射线波长分别为λ_{Li}和λ_{Fe} (λ_{Li}，$\lambda_{Fe}>\lambda$)，它们对应的强度分别为I_{Li}和I_{Fe}，则 【 C 】

(A) $\lambda_{Li}>\lambda_{Fe}$， $I_{Li}<I_{Fe}$； (B) $\lambda_{Li}=\lambda_{Fe}$， $I_{Li}=I_{Fe}$；

(C) $\lambda_{Li}=\lambda_{Fe}$, $I_{Li}>I_{Fe}$；　　(D) $\lambda_{Li}<\lambda_{Fe}$, $I_{Li}>I_{Fe}$。

☛ 康普顿散射波长位移量与散射物质无关。因此在相同的 X 光入射和相同角度下测得不同的物质康普顿散射波长是一样的。(A)和(D)显然是不对的。

对于原子序数小的原子，X 光子主要和外层电子发生弹性碰撞，散射谱线强度大，相应的原波长谱线强度小。

对于原子序数大的原子，X 光子一方面和外层电子发生弹性碰撞，另一方面和内层电子发生弹性碰撞。原子越大，与 X 光子发生弹性碰撞的内层电子越多，即 X 光子与整个原子发生碰撞的几率增加，原子的质量要比 X 光子的质量大得多，这种情况下，X 光子的能量基本不变，即出射 X 光子的波长基本不变，原波长谱线强度变大，正确答案(C)

05. 用频率为 ν 的单色光照射某种金属时，逸出光电子的最大动能为 E_k；若改用频率为 2ν 的单色光照射此种金属时，则逸出光电子的最大动能为 【 D 】

(A) $2E_k$；　(B) $2h\nu-E_k$；　(C) $h\nu-E_k$；　(D) $h\nu+E_k$。

06. 相应于黑体辐射的最大单色辐出度的波长叫做峰值波长 λ_m，随着温度 T 的增高，λ_m 将向短波方向移动，这一结果称为维恩位移定律。若 $b=2.897\times10^{-3}mk$，则两者的关系经实验确定为【 A 】

(A) $T\lambda_m=b$；　(B) $\lambda_m=bT$；　(C) $\lambda_m=bT^4$；　(D) $T=b\lambda_m$。

二 填空题

07. 当波长为 $300\ nm$ 光照射在某金属表面时，光电子的能量范围从 0 到 $4.0\times10^{-19}J$。在做上述光电效应实验时遏止电压为 $|U_a|=2.5V$；此金属的红限频率 $\nu_0=4\times10^{14}Hz$。

☛ 从给出的条件可知，光电子的最大初动能：$E_{k\max}=4.0\times10^{-19}J$

遏止电压：

$$eU_a=E_{k\max}\longrightarrow U_a=\frac{4.0\times10^{-19}J}{e}=2.5V$$

从光电方程得到金属的逸出功：$W_A=h\nu-E_{k\max}$

金属的红限频率：$h\nu_0=W_A\longrightarrow \nu_0=\dfrac{h\nu-E_{k\max}}{h}$

将 $E_{k\max}=4.0\times10^{-19}J$ 和照射光的频率代入得到：

$\nu_0=4\times10^{14}Hz$

08. 频率为 $100\ MHZ$ 的一个光子的能量是 $6.63\times10^{-26}J$，动量的大小是 $2.21\times10^{-34}N\cdot s$

☛ 光子的能量和动量：

$$\begin{cases}E=h\nu\\ p_e=\dfrac{h}{\lambda}\end{cases}\longrightarrow\begin{cases}E=h\nu=6.63\times10^{-26}J\\ p_e=\dfrac{h\nu}{c}=2.21\times10^{-34}N\cdot s\end{cases}$$

09. 某一波长的 X 光经物质散射后，其散射光中包含波长大于 X 光和波长等于 X 光的两种成分，其中大于 X 光波长的散射成分称为康普顿散射。

☛ 在康普顿散射中，X 光子与束缚较小的电子发生相互作用，X 光子损失一部分能量被散射出去，波长变长。

10. 一频率为ν的入射光子与起始静止的自由电子发生碰撞和散射。如果散射光子的频率为ν'，反冲电子的动量为p，则在与入射光子平行的方向上的动量守恒定律的分量形式为

$\frac{h\nu}{c}=\frac{h\nu'}{c}\cos\varphi+p\cos\theta$。

11. 光子波长为λ，则其能量为hc/λ，则其动量的大小为h/λ。

三 判断题

12. 若入射光的频率均大于一给定金属的红限，则当入射光频率不变而强度增大一倍时，该金属的饱和光电流也增大一倍。【 对 】

13. 用X射线照射物质时，可以观察到康普顿效应，即在偏离入射光的各个方向上观察到散射光，这种散射光中既有与入射光波长相同的成分，也有波长变长的成分，波长的变化只与散射方向有关，与散射物质无关。【 对 】

14. 光电效应和康普顿效应中电子与光子组成的系统都服从动量守恒定律和能量守恒定律。【 错 】

15. 在光电效应实验中，任何波长的可见光照射到任何金属表面都能产生光电效应。【 错 】

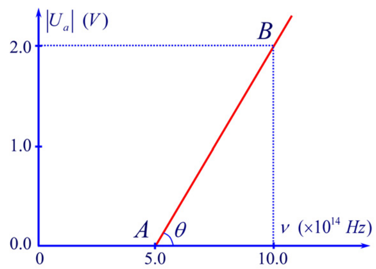
16. 康普顿效应中，散射光的波长均与入射光的波长相同，与散射角、散射体性质无关。【 错 】

17. 光电效应是吸收光子的过程，而康普顿效应则相当于光子和电子的弹性碰撞过程。【 对 】

四 计算题

18. 如图所示为在一次光电效应实验中得出的曲线

1) 由图中数据求出该金属的红限频率。
2) 求证：对不同材料的金属，AB线的斜率相同。
3) 由图上数据求出普朗克恒量h。($e=1.6\times10^{-19}C$)



计算题_18 图示

☛ 1) 由图中数据可知，该金属的红限频率

$\nu_0=5.0\times10^{14}Hz$

2) 由 $e|U_a|=h\nu-W_A$ 得 $|U_a|=\frac{h\nu}{e}-\frac{W_A}{e}$

即 $\frac{d|U_a|}{d\nu}=\frac{h}{e}$ (恒量)

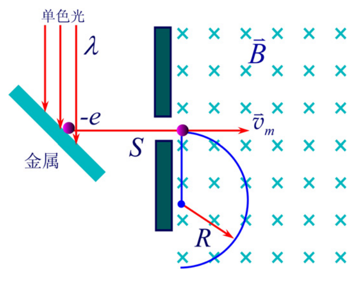
由此可知，对不同金属，曲线的斜率相同。

3) $h=e\frac{2.0-0}{(10.0-5.0)\times10^{14}}=6.4\times10^{-34}J\cdot s$

19. 波长为λ的单色光照射某金属表面上发生光电效应，发射光电子(电量绝对值为e，质量为m)经狭缝S后垂直进入磁感应强度为$\vec{B}$的均匀磁场，如图所示。

今已测出电子在该磁场中作圆周运动的最大半径为R。求

1) 金属的逸出功；
2) 遏止电压。



计算题_19 图示

☛ 由$m\frac{v_m^2}{R}=ev_mB$得到光电子的最大出射速度：$v_m=\frac{eBR}{m}$

代入爱因斯坦光电方程：$h\nu=\frac{1}{2}mv_m^2+W_A$

$h\dfrac{c}{\lambda}=\dfrac{1}{2}\dfrac{(eBR)^2}{m}+W_A$

金属的逸出功：$W_A=\dfrac{hc}{\lambda}-\dfrac{1}{2}\dfrac{(eBR)^2}{m}$

遏止电压：$eU_c=\dfrac{1}{2}\dfrac{(eBR)^2}{m}$

$U_c=\dfrac{1}{2}\dfrac{e(BR)^2}{m}$

20. 在康普顿散射中，如果设反冲电子的速度为光速的60%，则因散射使电子获得的能量是其静止能量的多少倍？

☛ 散射后电子的质量 $m=m_0\dfrac{1}{\sqrt{1-u^2/c^2}}$

能量 $E=mc^2=m_0c^2\dfrac{1}{\sqrt{1-u^2/c^2}}$

散射后电子获得的能量：$\Delta E=E-m_0c^2$

$\Delta E=(\dfrac{1}{\sqrt{1-u^2/c^2}}-1)m_0c^2$

$\dfrac{\Delta E}{E_0}=\dfrac{1}{\sqrt{1-u^2/c^2}}-1$—— 将反冲电子的速度 $u=0.6c$ 代入得到：

$\dfrac{\Delta E}{E_0}=0.25$

21. 用波长 $\lambda_0=1\times10^{-10}m$ 的光子做康普顿实验。

1) 散射角 $\varphi=90^0$ 的康普顿散射波长是多少？

2) 反冲电子获得的动能有多大？ ($h=6.63\times10^{-34}J\cdot s$，电子静止质量 $m_e=9.11\times10^{-31}kg$)

☛ 1) 康普顿散射光子波长改变：$\Delta\lambda=(\dfrac{h}{m_ec})(1-\cos\varphi)=0.024\times10^{-10}m$

$\lambda=\lambda_0+\Delta\lambda=1.024\times10^{-10}m$

2) 设反冲电子获得动能 $E_K=(m-m_e)c^2$

根据能量守恒：$h\nu_0=h\nu+(m-m_e)c^2=h\nu+E_K$

$\dfrac{hc}{\lambda_0}=\dfrac{hc}{\lambda_0+\Delta\lambda}+E_K$

故 $E_K=\dfrac{hc\Delta\lambda}{\lambda_0(\lambda_0+\Delta\lambda)}=4.66\times10^{-17}J=291eV$

22. 测量反冲电子的最大动能，是测定单色 X 射线束波长的一个方法。如果单色 X 射线束撞击金属靶时，反冲电子的最大动能是 $452\ KeV$，问 X 射线波长为多长？

☛ 从上一问题得到的结果，碰撞后电子获得的最大能量，就是电子的最大动能：

$\Delta E = E_k = hc\dfrac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0 \lambda}$ —— 其中 $\lambda = \lambda_0 + 2\lambda_c$

$\lambda_0^2 + 2\lambda_c\lambda_0 - \dfrac{2\lambda_c hc}{E_k} = 0$

将 $\lambda_c = 0.0024nm$ 和 $E_k = 452\ KeV$ 代入上式，求解方程得到：$\lambda_0 = 0.00198\ nm$