

《大学物理 II》作业 No.06 光的量子理论

班级 _____ 学号 _____ 姓名 _____ 成绩 _____

一、选择题

1、根据黑体辐射实验规律，若物体的温度增加一倍，其总辐射能变为原来的

[**D**]

(A) 1 倍

(B) 2 倍

(C) 4 倍

(D) 16 倍

解： 根据斯特藩-玻尔兹曼定律： $E(T)=\sigma T^4$ ， 知如果物体的温度增加一倍，即

$$T_2 = 2T_1 \Rightarrow E_2 = 16E_1 \quad \text{故选 } \mathbf{D}$$

2、炼钢工人凭观察炼钢炉内的颜色就可以估计炉内的温度，这可通过什么物理原理进行解释？

(A) 维恩位移定律

(B) 斯特藩定律

(C) 黑体辐射定律

(D) 双折射定律

解： 根据维恩位移定律： $\lambda_m T = b$ ，可以看出，可以根据波长（对应着颜色）计算出温度。故选 **A**

3、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作功 eU_0)，则此单色光的波长 λ 必须满足 [**A**]

(A) $\lambda \leq \frac{hc}{eU_0}$

(B) $\lambda \geq \frac{hc}{eU_0}$

(C) $\lambda \leq \frac{eU_0}{hc}$

(D) $\lambda \geq \frac{eU_0}{hc}$

解： 根据红限频率和逸出功的关系： $h\nu_0 = h\frac{c}{\lambda_0} = eU_0$ ， 即 $\lambda_0 = \frac{hc}{eU_0}$

$\lambda \leq \lambda_0$ 才能发生光电效应，所以必须满足 $\lambda \leq \frac{hc}{eU_0}$ 故选 **A**

4、在 X 射线散射实验中，若散射光波长 λ 是入射光波长的 1.2 倍，则入射光光子能量 ε_0 与散射光光子能量 ε 之比 $\varepsilon_0/\varepsilon$ 为 [**B**]

(A) 0.8

(B) 1.2

(C) 1.6

(D) 2.0

解： $\varepsilon = \frac{hc}{\lambda}$ ， $\varepsilon_0 = \frac{hc}{\lambda_0}$ ， $\lambda = 1.2\lambda_0$ ， 所以 $\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon} = \frac{\lambda}{\lambda_0} = 1.2$ 故选 **B**

5、光电效应和康普顿效应都包含有电子与光子的相互作用过程。对此，在以下几种理解中，正确的是 [C]

(A) 两种效应都相当于电子与光子的弹性碰撞过程

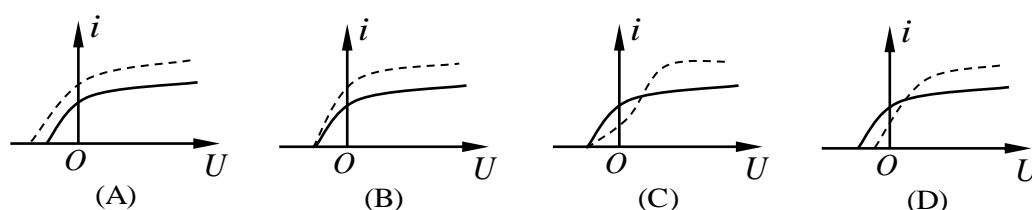
(B) 两种效应都属于电子吸收光子的过程

(C) 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

(D) 康普顿效应是吸收光子的过程，而光电效应则相当于光子和电子的弹性碰撞过程

解：由光电效应和康普顿效应的理论解释知 C 正确。 故选 C

6、以一定频率的单色光照射在某种金属上，测出其光电流曲线在图中用实线表示。然后保持光的频率不变，增大照射光的强度，测出其光电流曲线在图中用虚线表示，满足题意的图有 [B]



解：光的强度 $I = Nh\nu$ ，其中 N 为单位时间内通过垂直于光线的单位面积的光子数。保持频率 ν 不变，增大光强 I ，则光子数 N 增加，光电子数也随之增加，电流 i 也增加，截止电压与频率有关，因之不变。

故选 B

7、相比较于普通光源，以下哪些不是激光的优异特性 [C]

(A) 方向性好 (B) 相干性好 (C) 谱线相对频宽较大 (D) 偏振性好

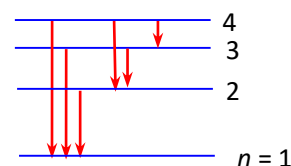
解：《大学物理学》下册第二版（张晓 王莉 主编）149-150 页。

故选 C

8、若外来单色光把氢原子激发至第三激发态，则当氢原子跃迁回低能态时，可发出的可见光光谱线的条数是 [B]

(A) 1 (B) 2 (C) 3 (D) 6

解：氢原子激发至第三激发态，则对应量子数为 $n=4$ ，故原子跃迁可能发出的光谱线如图所示，共 6 条。其中从高能级跃迁到 $n=2$ 能级发出的光为可见光（巴耳末系），由图可见为 2 条。



故选 B

二、判断题

[T] 1、黑体辐射的经典理论解释-----瑞利--金斯公式会出现“紫外灾难”现象。

解：《大学物理学》下册第二版（张晓 王莉 主编）126 页。

[F] 2、黑体就是黑色的物体。

解：《大学物理学》下册第二版（张晓 王莉 主编）125 页。

[F] 3、某金属在一束绿光的照射下有光电效应产生，当用更强的绿光照射时，产生的光电子动能将增大。

解：根据光电效应方程： $h\nu = A + \frac{1}{2}mv_m^2$ ，当入射光频率一定时，光强增大，并不会改变初动能。

[T] 4、光电效应中，当入射光频率一定时，饱和光电流大小与入射光强成正比。

解：《大学物理学》下册第二版（张晓 王莉 主编）129 页。

[F] 5、康普顿散射的散射光中只有比入射光波长更长的波长出现。

解：《大学物理学》下册第二版（张晓 王莉 主编）131 页。散射光中既有原来波长的成分，也有波长增长的成分。

[F] 6、在可见光激励下可以发生光电效应，但根本不可能发生康普顿效应。

解：在可见光激励下也会发生康普顿效应，只是现象不明显。

[F] 7、氢原子光谱的巴尔末系光谱线全部在可见光范围内。

解：“全部”二字太绝对了，虽然《大学物理学》下册第二版169页（张晓 王莉 主编）的那个表中表明巴耳末系是可见光，但利用 $\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2})$ ，当高激发态 $n \rightarrow \infty$

时，辐射光子的波长为364.6nm，并不在可见光波长范围之内。

[T] 8、夫兰克-赫兹实验证明原子能级的存在。

解：《大学物理学》下册第二版（张晓 王莉 主编）143 页。

三、填空题

1、测量星球表面温度的方法之一，是把星球看作绝对黑体而测定其最大单色辐射度的波长 λ_m ，现测得太阳的 $\lambda_{m1} = 0.55 \mu\text{m}$ ，北极星的 $\lambda_{m2} = 0.35 \mu\text{m}$ ，则太阳表面温度 T_1 与北极星表面温度 T_2 之比 $T_1 : T_2 =$ _____。（计算结果保留2位有效数字）

解：根据维恩位移定律： $\lambda_{m1}T_1=\lambda_{m2}T_2 \Rightarrow T_1:T_2=\lambda_{m2}:\lambda_{m1} \approx 0.64$ 。

2、就光的本性而言，光电效应、康普顿效应集中表现出光的_____，而光的干涉和衍射则表现出光的_____；因此光具有_____的特征。

解：粒子性、波动性、波粒二象性。

3、康普顿散射中，当出射光子与入射光子方向成夹角 $\theta=$ _____时，光子的频率减少得最多。

解：由康普顿散射公式 $\Delta\lambda=\lambda-\lambda_0=2\lambda_c \sin^2 \frac{\theta}{2}$ 可知，

当 $\theta=\pi$ 时， $\sin^2 \frac{\theta}{2}$ 取最大值，波长增加得最多，所以频率减少得最多；

4、光子能量为 0.5MeV 的X射线，入射到某种物质上发生康普顿散射。若反冲电子的动能为 0.2MeV ，则散射光波长的改变量 $\Delta\lambda$ 与入射光波长 λ_0 之比为_____。

解：根据题意：
$$\varepsilon=h\nu=h\frac{c}{\lambda}=\varepsilon_0-E_k=0.5-0.2=0.3\text{MeV}$$
$$\varepsilon_0=h\nu_0=h\frac{c}{\lambda_0}=0.5\text{MeV}$$

$$\text{则：}\frac{\lambda-\lambda_0}{\lambda_0}=\frac{\frac{hc}{\varepsilon}-\frac{hc}{\varepsilon_0}}{\frac{hc}{\varepsilon_0}}=\frac{\varepsilon_0-\varepsilon}{\varepsilon}=\frac{0.2}{0.3}=\frac{2}{3}\approx 0.67$$

5、某金属的逸出功为 A ，今用波长为 λ 的光照射金属表面，则出射光电子的最大初动能为_____；金属的红限频率为_____。

解：根据光电效应方程可得：最大初动能为： $\frac{hc}{\lambda}-A$ ，红限频率为： $\frac{A}{h}$

6、光子波长为 λ ，则其能量=_____；动量的大小=_____；质量=_____。

解：根据爱因斯坦光子理论可得： $E=h\nu=h\frac{c}{\lambda}$ ， $p=\frac{h}{\lambda}$ ，

$$E=mc^2 = h \frac{c}{\lambda} \Rightarrow m = \frac{h}{\lambda c}$$

7、按照原子的量子理论，原子可以通过_____、_____两种辐射方式发光，而激光是由_____方式产生的。

解： 自发辐射、受激辐射； 受激辐射

8、氢原子基态的电离能是 _____ eV。电离能为 +0.544 eV 的激发态氢原子，其电子处在 $n =$ _____ 的轨道上运动。

解： 由玻尔理论可得：氢原子基态的电离能 $E = E_{\infty} - E_1 = 0 - (-13.6) = 13.6 \text{ eV}$
故电离能为 + 0.544 eV 的激发态氢原子满足
 $0.544 = E_{\infty} - E_n = 0 - \left(\frac{-13.6}{n^2}\right)$

$$\text{所以 } n = \sqrt{\frac{13.6}{0.544}} = 5$$

四、 计算题

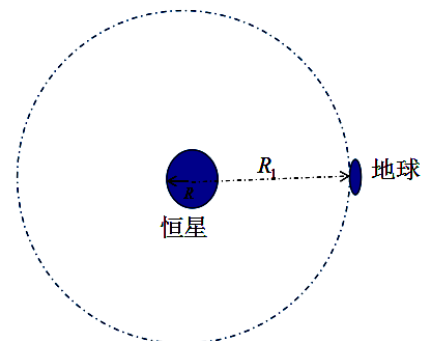
1、在天文学中，常用斯特藩-玻尔兹曼定律确定恒星的半径。已知某恒星到达地球的每单位面积上的辐射功率为 $1.2 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$ ，恒星离地球的距离为 $4.3 \times 10^{17} \text{ m}$ ，表面温度为 5200K。若恒星与黑体相似，求恒星的半径。

解： 根据斯特藩-玻尔兹曼定律，则其单位时间内从恒星单位面积上辐射的各种电磁成分的总能量为： $M_0 = \sigma T^4$ 。

设恒星半径为 R ，则其单位时间内总辐射能为：

$$E_0 = \sigma T^4 \times 4\pi R^2。$$

从恒星表面辐射的能量全部传到以 $R_1=4.3 \times 10^{17} \text{ m}$ 为半径的整个球面上，如图所示。因地球半径远小于 R_1 ，将地球看成一圆盘模型，地球表面每单位面积上获得的辐射功率 $M=1.2 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$ ，即可认为是半径为 R_1 球面上每单位面积上获得的辐射功率。



根据能量守恒有： $\sigma T^4 \cdot 4\pi R^2 = M \cdot 4\pi R_1^2$

则： $R = \sqrt{\frac{MR_1^2}{\sigma T^4}}$ 。

将 $R_1=4.3 \times 10^{17} \text{ m}$, $T=5200\text{K}$, $M=1.2 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$, $\sigma=5.67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ 代入

计算可得： $R = 7.32 \times 10^9 (\text{m})$

2、一实验用的光电管的阴极是铜（铜的逸出功为 4.47eV ）。现有一波长 200nm 光照射此阴极，若要使其不再产生光电流，所需加的截止电压多大？

解：根据光电效应方程： $h\nu = A + \frac{1}{2}mv_m^2$,

其中光电子最大初动能 $eU_{\text{截止}} = \frac{1}{2}mv_m^2$

则： $U_{\text{截止}} = \frac{h\nu - A}{e} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times \frac{3 \times 10^8}{200 \times 10^{-9}} - 4.47 \times 1.60 \times 10^{-19}}{1.60 \times 10^{-19}} = 1.75 \text{ (V)}$

3、康普顿散射中，已知入射光的波长 $\lambda_0 = 2\lambda_c$ (λ_c 是电子的康普顿波长)，当散射光与入射光方向成夹角 $\varphi = \frac{\pi}{3}$ 时，请计算：

(1) 散射光的波长 λ (用 λ_c 来表示)；

(2) 反冲电子的动能 E_k 与散射光子的能量 ε 的比值。

解：(1) 根据 $\Delta\lambda = 2\lambda_c \sin^2 \frac{\varphi}{2}$,

将 $\varphi = \frac{\pi}{3}$ 带入，得：

$$\Delta\lambda = 2\lambda_c \sin^2 \frac{\varphi}{2} = 2\lambda_c \sin^2 \frac{\pi}{6} = \frac{1}{2}\lambda_c$$

$$\text{散射光的波长 } \lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda = 2\lambda_c + \frac{1}{2}\lambda_c = \frac{5}{2}\lambda_c$$

$$(2) \text{ 反冲电子的动能: } E_k = \varepsilon_0 - \varepsilon = h\frac{c}{\lambda_0} - h\frac{c}{\lambda} = \frac{hc}{10\lambda_c}$$

$$\text{反冲电子的动能 } E_k \text{ 与散射光子的能量 } \varepsilon \text{ 的比值: } E_k : \varepsilon = \frac{hc}{10\lambda_c} : \frac{hc}{\frac{5}{2}\lambda_c} = 1:4$$

4、 氢原子光谱的巴耳末线系中，有一光谱线的波长为 4340 \AA ，试求：

(1) 与这一谱线相应的光子能量为多少电子伏特？

(2) 该谱线是氢原子由能级 E_n 跃迁到能级 E_k 产生的， n 和 k 各为多少？

(3) 最高能级为 E_5 的大量氢原子，最多可以发射几个线系，共几条谱线？

请在氢原子能级图中表示出来，并说明波长最短的是哪一条谱线。

解： (1) 光子能量： $h\nu = hc/\lambda = 2.86 \text{ eV}$.

(2) 由于此谱线是巴耳末线系，必有 $k=2$

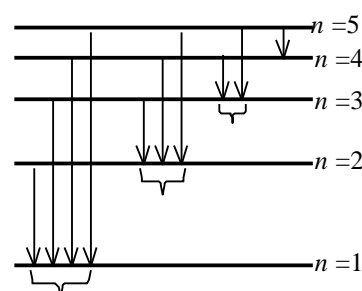
$$E_k = E_1 / 2^2 = -3.4 \text{ eV} \quad (E_1 = -13.6 \text{ eV})$$

$$E_n = E_1 / n^2 = E_k + h\nu$$

$$n = \sqrt{\frac{E_1}{E_k + h\nu}} = 5 .$$

(3) 可发射四个线系，共有 10 条谱线.

见右图



波长最短的是由 $n=5$ 跃迁到 $n=1$ 的谱线.