Chapter 15 量子物理

第一节　黑体辐射 普朗克能量子假设

1、选择题

（1）、A　（2）、D　（3）、C　（4）、D　（5）、B

2、填空题

（1）、7:11　由维恩定律有：$\dfrac{T_1}{T_2}=\dfrac{\lambda_{m2}}{\lambda_{m1}}=\dfrac{0.35}{0.55}=7:11$

（2）、$2.4\times10^3\,\mathrm{K}$　由斯特藩-波尔兹曼定律有：$\mathrm{M}(T)=\sigma T^4=p/s$

3、（1）由维恩定律有：

$$\because \lambda_m T=b$$

$$\therefore T=\frac{b}{\lambda_m}=\frac{2.897\times10^{-3}\,\mathrm{m\cdot K}}{500\times10^{-9}\,\mathrm{m}}=5.8\times10^3\,\mathrm{K}$$

（2）太阳辐射的总功率：
$$p=M(T)s=\sigma T^4\cdot4\pi\cdot(6.67\times10^8)^2$$
$$=3.67\times10^{26}\,\mathrm{W}$$

（3）垂直射到地球表面每单位面积的日光功率：
$$p'=p/s=\frac{3.67\times10^{26}\,\mathrm{W}}{4\pi\times\left(1.5\times10^{11}\right)^2}$$
$$=1.3\times10^3\,\mathrm{W\cdot m^{-2}}$$

4、（1）温度为 3K 的黑体辐射，由维恩定律有光谱辐射出射度极大值对应的波长为：

$$\lambda_m=\frac{b}{T}=\frac{2.897\times10^{-3}\,\mathrm{m\cdot K}}{3\mathrm{K}}=9.66\times10^{-4}\,\mathrm{m}$$

$$\therefore \nu=\frac{c}{\lambda_m}=\frac{3\times10^8\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}}{9.66\times10^{-4}\,\mathrm{m}}=3.1\times10^{11}\,\mathrm{Hz}$$

（2）地球表面接受此辐射的功率：
$$p=M(T)s=\sigma T^4\cdot4\pi\cdot R_E{}^2$$
$$=2.34\times10^9\,\mathrm{W}$$

第二节光电效应

1、 选择题

（1）、D　（2）、D　（3）、C　（4）、C

2、填空题

（1）　连续的　量子化的

（2）　2　$\dfrac{1}{2}$

（3）　$\frac{hc}{\lambda}$　　$\frac{h}{\lambda}$　　$\frac{h}{\lambda c}$

3、（1）$eU = E_{km}$，$U = \frac{E_{km}}{e} = 2.5\,\text{V}$

（2）$W = \frac{hc}{\lambda} - E_{km} = 2.626 \times 10^{-19}\,\text{J}$

（3）$h\nu_0 = W$，$\nu_0 = \frac{W}{h} = 3.96 \times 10^{14}\,\text{Hz}$

第三节　康普顿散射

1、选择题

（1）、C

（2）、D

（3）、B

康普顿散射中，能量和动量守恒，$h\nu_0 + m_0c^2 = h\nu + mc^2$，故反冲电子的能量

$\Delta E = mc^2 - m_0c^2 = h\nu_0 - h\nu = 0.1\text{Mev}$，

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda_0} - \frac{hc}{\lambda} = \frac{\Delta\lambda hc}{\lambda_0\lambda} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}(h\nu_0 - \Delta E) \quad \therefore \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\Delta E}{h\nu_0 - \Delta E} = \frac{0.1}{0.5 - 0.1} = 0.25$$

（4）、D

（5）、A

2、填空题

（1）　π；0

（2）　0.586　or　$2-\sqrt{2}$

3、（1）$\lambda - \lambda_0 = \frac{h}{m_0c}(1-\cos\theta)$

$$\lambda = 1.0243 \times 10^{-10}\,\text{m}$$

（2）$E_k = h\nu_0 - h\nu$

$$= hc(\frac{1}{\lambda_0} - \frac{1}{\lambda}) = 4.716 \times 10^{-17}\,\text{J}$$

第四节　氢原子的玻尔模型　实物粒子的波动性

1、选择题

（1）、A　（2）、C　（3）、C　（4）、A　（5）、C　（6）、D

2、填空题

（1）13.6eV、5；（2）6；（3）波动性；（4）短；（5）1、4；（6）$\frac{h}{\sqrt{2em_eU_{12}}}$。

3、（1） $qv_\alpha B = m_\alpha \frac{v_\alpha^2}{R}$， $m_\alpha v_\alpha = qRB$，

$$\lambda = \frac{h}{m_\alpha v_\alpha} = \frac{h}{qRB} = 9.98 \times 10^{-12}\,\mathrm{m}$$

（2） $v_{子弹} = v_\alpha = \frac{qBR}{m_\alpha} = 10000\,\mathrm{m/s}$

$$\lambda_{子弹} = \frac{h}{m_{子弹} v_{子弹}} = 6.626 \times 10^{-34}\,\mathrm{m}$$

4、（1） $p_{电子} = p_{光子} = \frac{h}{\lambda} = 3.313 \times 10^{-24}\ kg \cdot m/s$

（2） $E_{k电子} = \frac{p^2}{2m_e} = 6.02 \times 10^{-18}\,\mathrm{J}$

$$E_{光子} = \frac{hc}{\lambda} = 9.939 \times 10^{-16}\,\mathrm{J}$$

5、 $\frac{1}{\lambda} = R_H (\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2})$

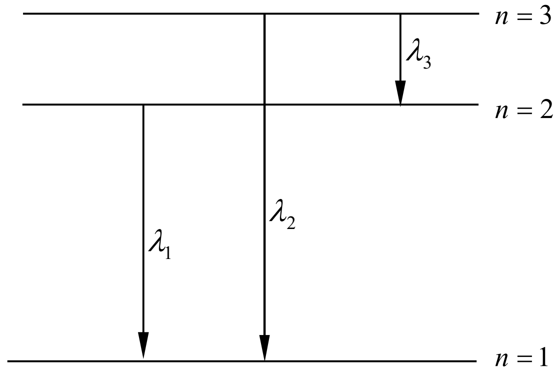
$$E = \frac{hc}{\lambda} = R_H hc(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2})$$

$12.6 = 13.6\,(1 - \frac{1}{n^2})$， $n = 3.69$，取 $n = 3$

$\frac{1}{\lambda_1} = R_H (\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2})$，得： $\lambda_1 = 1.21 \times 10^{-7}\,\mathrm{m}$

$\frac{1}{\lambda_2} = R_H (\frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2})$，得： $\lambda_2 = 1.026 \times 10^{-7}\,\mathrm{m}$

$\frac{1}{\lambda_3} = R_H (\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2})$，得： $\lambda_3 = 6.563 \times 10^{-7}\,\mathrm{m}$，可见光



第五节　不确定关系

1、D

2、海森堡　 微观粒子的波粒二象性

3、大于等于

4、$p=\dfrac{h}{\lambda}$

$$\Delta p=\frac{h}{\lambda^2}\Delta\lambda$$

$$\Delta x\geq\frac{h}{\Delta p}=\frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}=0.3\,\mathrm{m}$$

5、$\Delta r=3.6\times10^{-15}\,\mathrm{m}$

$$\Delta r\cdot\Delta p\geq h$$

$$\Delta p\geq\frac{h}{\Delta r}=1.84\times10^{-19}\,kg\cdot m/s$$

$$p=\Delta p=1.84\times10^{-19}\,kg\cdot m/s$$

$$E_k=\frac{p^2}{2m_\alpha}=2.53\times10^{-12}\,\mathrm{J}$$

第六节　薛定谔方程与一维无限深势阱

1、 选择题

（1）　A;　　（2）　D;　　（3）　C;　　（4）A;

2、 填空题

（1）　波函数　薛定谔

（2）　某时刻某点附近单位体积元中粒子出现的概率

（3）　$\int_{-\infty}^{\infty}|\psi(r,t)|^2d\tau=1$

（4）　$\frac{1}{6}a$、$\frac{1}{2}a$、$\frac{5}{6}a$

3、（1）$E_1 = \frac{h^2}{8ma^2} = 1.51\times10^{-18}$ J

（2）$x_1 = 0.05nm$，　$x_2 = 0.15nm$

$p_1 = \frac{2}{a}\sin^2\frac{\pi}{2} = 1\times10^{10}$，$p_2 = \frac{2}{a}\sin^2\frac{3\pi}{2} = 1\times10^{10}$

（3）$p = \int_0^{\frac{a}{2}} |\psi(x)|^2 dx = \frac{1}{2}$

4、$\int_0^l c^2x^2(l-x)^2 dx = 1$，$c = \sqrt{\frac{30}{l^5}}$

$p = \int_0^{\frac{l}{3}} c^2x^2(l-x)^2 = \frac{17}{81} = 0.21$

第七节　原子的量子理论　　激光

一、选择题

1、A；2、D；3、C；4、D；5、B；6、C；7、D；8、C；9、B

10、C；11、D；12、D；13、B

二、填空题

2、Lz 可能的值分别为-2ħ，-ħ，0，ħ，2ħ。

3、窄，　电子，　空带，　电子载流子

量子物理综合练习题

一、选择题

1、**D.** 由爱因斯坦方程有：$\begin{aligned}h\nu &= E_k + W\\ h2\nu &= E_k' + W\end{aligned}$，两式相减有

$E_k' - E_k = h\nu$，$\therefore E_k' = E_k + h\nu$。

2、**D.** 由爱因斯坦方程有：$\begin{aligned}h\nu &= E_k + W\\ \nu_0 &= W/h\end{aligned}$ $\therefore\ hc\left(\frac{1}{\lambda}-\frac{1}{\lambda_0}\right) = E_k$，得

$\lambda = 355nm$。

3、**A.** 光强度不变，入射光频率增加时，**1**）反向遏止电压的大小$\propto$频率，**2**）光电流i_m随着频率的增加而减小：光强不变，每个入射光子的能量增加，则入射光子数目减小，相应的出射电子数目减小，饱和电流减小。

4、**C.** 光子、电子波长相同，根据$\lambda = h/p$得两者的动量相等。

5、**E-A-D.**

6、**B.**

7、**C.**（看图可知，对应的峰谷位置，粒子出现概率最大）

8、**C.** 德布罗意波长$\lambda = h/p$，

$$eU_0 = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m},\quad \therefore U_0 = \frac{p^2}{2em} = 150\text{V}$$

二、填空题

1、<u>**64**</u>。 $p = M(T)s = \sigma T^4 \cdot 4\pi R^2$

2、光电效应的实验规律：

（1）频率不变，饱和光电流与入射光的光强成正比。

（2）光电子的初动能与入射光的频率有关，与光强无关。

（3）要产生光电效应，必须入射光的频率>金属的遏制频率

3、爱因斯坦公式：$h\nu=\frac{1}{2}mv_m^2+W$

4、2.5V；3.97×10^{14}HZ。同 P117 页第 3 道。

5、0.99V。$h\nu=eU_a+h\nu_0$，$\therefore U_a=0.99\text{V}$

6、$E_k+h\nu$。同选择题 1。

7、光子波长为 λ，则其能量为hc/λ，动量的大小为h/λ，质量为$h/(\lambda c)$

8、戴维孙-革末；$\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{mv}$

9、$1/\sqrt{3}$。

$$E_k=mc^2-m_0c^2=m_0c^2,\Rightarrow m=2m_0$$

$$m=m_0/\sqrt{1-v^2/c^2},\qquad \Rightarrow v=\tfrac{\sqrt{3}}{2}c$$

$$\lambda=h/p=h/(mv)=\frac{h}{2m_0\frac{\sqrt{3}}{2}c}=\frac{\lambda_0}{\sqrt{3}}$$

10、康普顿效应是指（1）散射光中波长向长波移动的波长散射，（2）它的实质是光子与自由电子发生弹性碰撞，（3）在此过程中能量和动量守恒。

11、（1）$\psi(\vec{r},t)\psi^*(\vec{r},t)$ 表示 t 时刻，$\vec{r}$ 位置附件粒子出现的概率密度。

（2）$\psi(\vec{r},t)$ 须满足的条件：单值、连续、有限。

（3）其归一化条件是 $\underline{\int_V \psi(\vec{r},t)\psi^*(\vec{r},t)\mathrm{dV}=1}$。

12、**<u>13.6</u>**；**<u>n=5</u>**。由 $E_n = E_1/n^2$ 计算可得。

三、计算题

1、光电子进入磁场后，洛仑磁力提供向心力，即：

$$evB = mv^2/R \quad \Rightarrow \quad mv = eRB = p$$

（**1**）逸出功 $A = h\nu - E_k = hc/\lambda - p^2/2m = \dfrac{hc}{\lambda} - \dfrac{e^2R^2B^2}{2m}$；

（**2**）遏止电势差 U_a 满足 $eU_a = E_k$，$\therefore U_a = \dfrac{eR^2B^2}{2m}$

2、利用能量守恒 $h\nu_0 + m_0c^2 = h\nu + mc^2$，其中

$m = m_0/\sqrt{1-v^2/c^2} = 5m_0/4$，故

$$h\frac{c}{\lambda_0} - h\frac{c}{\lambda} = \frac{1}{4}m_0c \quad \Rightarrow \quad \lambda \approx 0.00434\mathrm{nm}$$ ，即散射光的波长为

0.00434nm。

3、（**1**）由电子在势阱中的能级公式得：

a=0.1nm 时，$E_n = \dfrac{n^2h^2}{8ma^2} = 6.03\times10^{-18}\mathrm{J}$，相当于 **37.7eV**；

a=1m 时，$E_n = \dfrac{n^2h^2}{8ma^2} = 6.03\times10^{-38}\mathrm{J}$，相当于 **$3.77\times10^{-19}$eV**；

（**2**）室温下电子的平均平动动能

$\overline{\varepsilon_t} = \dfrac{3}{2}\mathrm{KT} = 1.5\times1.38\times10^{-23}\times300 = 6.21\times10^{-21}\mathrm{J}$，相当于

3.88×10^{-2}eV，故对于宏观问题，电子的量子效应可以忽略。

4、积分公式：$\int_0^{\infty} x^2 e^{-bx} dx = 2/b^3$

（1）归一化,令$\int_{-\infty}^{+\infty} |\psi(x)|^2 dx = \int_0^{\infty} A^2 x^2 e^{-2\lambda x} dx = 1$，可得归一化常数 $\underline{A = 2\lambda^{3/2}}$。所以归一化波函数为$\psi(x) = \begin{cases} 2\lambda^{\frac{3}{2}} x e^{-\lambda x} & (x>0) \\ 0 & (x<0) \end{cases}$。

（2）设粒子的概率分布函数为$\omega(x)$，则

$$\omega(x) = |\psi(x)|^2 = \begin{cases} 4\lambda^3 x^2 e^{-2\lambda x} & (x>0) \\ 0 & (x<0) \end{cases}$$

（3）粒子出现概率最大的位置满足$\frac{d\omega(x)}{dx} = 0$，对应$x>0$的值为 $1/\lambda$ 和∞，带入$\omega(x)$得 **$x=1/\lambda$时，$\omega(x)$取最大值**。

5、设激发能为$\Delta E = 10.19\text{eV}$的能级为$E_i$，$\Delta E = E_i - E_1 = 10.19\text{eV}$，

其中$E_1 = \text{-}13.6\text{eV}$，$\therefore E_i = \text{-}3.41\text{eV}$。

假设初始状态的能级为E_n，根据题意有$E_n - E_i = h\nu$，

$$\therefore E_n = hc/\lambda + E_i = \frac{6.63\times10^{-34}\times\frac{3\times10^8}{4.86\times10^{-7}}}{1.6\times10^{-19}} - 3.41\text{eV} = \text{-}0.85\text{eV}$$

由$E_n = \frac{E_1}{n^2}$，知 **n=4**。

6、（**1**）一维无限深势阱中粒子的能级表达式$E_n=\dfrac{n^2h^2}{8ma^2}$，

n=1 时对应质子的零点能量

$$E_1=\frac{h^2}{8ma^2}=\frac{\left(6.63\times10^{-34}\right)^2}{8\times1.67\times10^{-27}\times(10^{-14})^2}=3.3\times10^{-13}J$$

（**2**）由 **n=2** 态跃迁到 **n=1** 态时，质子放出的光子能量为：

$$h\nu=\Delta E=E_2-E_1=\frac{(2^2-1^2)h^2}{8ma^2}=\frac{3\times\left(6.63\times10^{-34}\right)^2}{8\times1.67\times10^{-27}\times(10^{-14})^2}=9.87\times10^{-13}J$$