一 选择题 (共48分)

1. (本题 3分)(1817)

(C)

2. (本题 3分)(4403)

(D)

3. (本题 3分)(4404)

(C)

4. (本题 3分)(5810)

(D)

5. (本题 3分)(1821)

(D)

6. (本题 3分)(4406)

(D)

7. (本题 3分)(4406)

(D)

8. (本题 3分)(4985)

(C)

9. (本题 3分)(4528)

(B)

10. (本题 3分)(4205)

(C)

11. (本题 3分)(1903)

(D)

12. (本题 3分)(5814)

(C)

13. (本题 3分)(5815)

(C)

14. (本题 3分)(4993)

(D)

15. (本题 3分)(4216)

(A)

16. (本题 3分)(5710)

(B)

二 填空题 (共98分)

17. (本题 3分)(1818)

各种物体在相同温度时，对同一波长的单色辐出度与单色吸收率之比都是相等的. 3 分

18. (本题 3分)(1822)

黑体的辐射出射度与绝对温度的四次方成正比　3 分

19. (本题 3分)(1823)

黑体辐射的峰值波长与绝对温度成反比　3 分

20. (本题 3分)(1824)

2.40×10^{3} K　3 分

21. (本题 3分)(1826)

9.99×10^{3} K　3 分

22. (本题 3分)(4407)

0.64　3 分

23. (本题 3分)(4408)

16　3 分

24. (本题 3分)(4507)

482.8nm　3 分

25. (本题 3分)(4508)

5.13×10^{3}　3 分

26. (本题 3分)(5368)

64　3 分

27. (本题 5分)(4986)

黑体辐射　2 分

认为黑体腔壁由许多带电简谐振子组成，每个振子辐射和吸收的能量值是不连续的，是能量子 $h\nu$ 的整数倍.　3 分

28. (本题 3分)(4988)

在一定温度 T, 单位时间内从绝对黑体单位面积上所辐射的波长在λ附近单位波长间隔内的辐射能.　3 分

29. (本题 5分)(5235)

1.66×10^{-33} $\mathrm{kg\cdot m\cdot s^{-1}}$　3 分

0.4 m 或 63.7 mm　2 分

30. (本题 5分)(4204)

$a/6$,　1 分

$a/2$,　2 分

$5a/6$.　2 分

31. (本题 5分)(4990)

微观粒子能量 E 小于势垒 U_0 时，粒子有一定的几率贯串势垒的现象.　3 分

波动性　2 分

32. (本题 4分)(4991)

变小　2 分

变小　2 分

33. (本题 4分)(4992)

波动 2 分

α 2 分

34. (本题 4分)(1904)

$E_n=(n+\frac{1}{2})h\nu$, $n=0$，1，2，… 2 分

$\frac{1}{2}h\nu$ 2 分

35. (本题 4分)(4994)

$nh\nu$ ($n=1$，2……) 2 分

$(n+\frac{1}{2})h\nu$ ($n=0$，1，2，3……) 2 分

36. (本题 4分)(5816)

$E_n=(n+\frac{1}{2})h\nu$ $n=0$，1，2，…… 2 分

谐振子的最低能量不为零，而是 $\frac{1}{2}h\nu$. 2 分

37. (本题 3分)(4217)

0、 $\pm\hbar$ 、 $\pm 2\hbar$ 3 分

38. (本题 4分)(5236)

$\sqrt{12}\hbar$， $\sqrt{6}\hbar$， $\sqrt{2}\hbar$， 0 2 分

$\pm 3\hbar$， $\pm 2\hbar$， $\pm\hbar$， 0 2 分

39. (本题 4分)(5817)

0， $\sqrt{2}$， $\sqrt{6}$ 2 分

0， ±1， ±2， ±3 2 分

40. (本题 4分)(1907)

$1s^2\ 2s^2\ 2p^2$ 2 分

$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^2$ 2 分

41. (本题 4分)(4999)

外层 2 分

内层 2 分

42. (本题 3分)(8038)

$1s^2\ 2s^2\ 2p^6 3s^2\ 3p^6\ 4s^2$ 3 分

43. (本题 3分)(8039)

15 3 分

参考解：

$n = 1$ 壳层电子数 $2n^2 = 2$

$n = 2$ 壳层电子数 $2n^2 = 8$

3s 壳层电子数 $2\,(\,2l + 1\,) = 2$

3p 壳层填充一半的电子数 $\frac{1}{2}\times 2(2l+1) = 3$

总电子数为 15。

三 计算题 (共143分)

44. (本题 5分)(1828)

解：根据维恩位移定律 $\lambda_m T = b$，有

$$T_1 / T_2 = \lambda_{m2} / \lambda_{m1}$$ 2 分

又根据斯特藩－玻尔兹曼定律 $E_0(T) = \sigma T^4$，

可得 $$\frac{E_0(T_2)}{E_0(T_1)} = (\frac{T_2}{T_1})^4 = (\frac{\lambda_{m1}}{\lambda_{m2}})^4 = 3.63$$ 3 分

45. (本题 5分)(1829)

解：由维恩位移定律 $T\lambda_m = b$， 解出

$$T = b / \lambda_m = 8280\ \text{K}$$ 3 分

由斯特藩－玻尔兹曼定律，求出单位面积的辐射功率为

$$E_0(T) = \sigma T^4 = 2.67\times 10^8\ \text{W/m}^2$$ 2 分

46. (本题 5分)(1830)

解：由斯特藩－玻尔兹曼定律 $E_0(T) = \sigma T^4$，

解出 $$T = \sqrt[4]{E_0(T)/\sigma}$$ 2 分

又由维恩位移定律 $T\lambda_m = b$，

解出 $$\lambda_m = b / T = b / (\sqrt[4]{E_0(T)/\sigma})$$ 2 分

$$= 2.89\times 10^{-6}\ \text{m}$$ 1 分

47. (本题 5分)(1831)

解： (1) 太阳在单位时间内辐射的总能量

$$E = 1.37\times 10^3\times 4\pi(R_{SE})^2 = 3.87\times 10^{26}\ \text{W}$$ 2 分

(2) 太阳的辐射出射度

$$E_0 = \frac{E}{4\pi r_S^2} = 0.674\times 10^8\ \text{W/m}^2$$ 1 分

由斯特藩－玻尔兹曼定律 $E_0 = \sigma T^4$

可得 $$T = \sqrt[4]{E_0/\sigma} = 5872\ \text{K}$$ 2 分

48. (本题 5分)(1831)

解： (1) 太阳在单位时间内辐射的总能量

$$E = 1.37\times10^{3}\times4\pi(R_{SE})^{2} = 3.87\times10^{26}\ \text{W}$$ 2 分

(2) 太阳的辐射出射度

$$E_0 = \frac{E}{4\pi r_S^2} = 0.674\times10^{8}\ \text{W/m}^2$$ 1 分

由斯特藩－玻尔兹曼定律 $E_0 = \sigma T^4$

可得 $T = \sqrt[4]{E_0/\sigma} = 5872\ \text{K}$ 2 分

49. (本题 5分)(4409)

解：炼钢炉口可视作绝对黑体，其辐射出射度为

$$M_B(T) = 22.8\ \text{W}\cdot\text{cm}^{-2} = 22.8\times10^{4}\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$$

由斯特藩——玻尔兹曼定律

$$M_B(T) = \sigma T^4$$

∴ $T = 1.42\times10^{3}\ \text{K}$ 5 分

50. (本题 5分)(5707)

解：根据斯特藩 — 玻尔兹曼定律

$$T = (M/\sigma)^{1/4} = (20\times10^{4}/5.67\times10^{-8})^{1/4} = 1.37\times10^{3}\ \text{K}$$ 3 分

根据维恩位移定律

$$\lambda_m = b/T = 2.897\times10^{-3}/1.37\times10^{3} = 2.11\times10^{-6}\ \text{m}$$ 2 分

51. (本题 5分)(1832)

解：由不确定关系式 $\Delta x\Delta p_x \geqslant h$ 知

$$\Delta p \geqslant h/\Delta x = 6.63\times10^{-24}\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$$ 2 分

又由经典的动能与动量关系式

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 = p^2/2m$$

得电子的动量 $p = \sqrt{2mE_K} = 1.71\times10^{-23}\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$ 2 分

动量不确定量的百分比为 $(\Delta p/p) \geqslant 38.8\%$ 1 分

52. (本题 5分)(1832)

解：由不确定关系式 $\Delta x\Delta p_x \geqslant h$ 知

$$\Delta p \geqslant h/\Delta x = 6.63\times10^{-24}\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$$ 2 分

又由经典的动能与动量关系式

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 = p^2/2m$$

得电子的动量 $p = \sqrt{2mE_K} = 1.71\times10^{-23}\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$ 2 分

动量不确定量的百分比为 $(\Delta p/p) \geqslant 38.8\%$ 1 分

53. (本题 5分)(1832)

解：由不确定关系式 $\Delta x\Delta p_x \geqslant h$ 知

$$\Delta p \geqslant h/\Delta x = 6.63\times10^{-24}\ \text{kg}\cdot\text{m/s} \qquad 2\text{ 分}$$

又由经典的动能与动量关系式

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 = p^2/2m$$

得电子的动量 $p = \sqrt{2mE_K} = 1.71\times10^{-23}\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$ 2 分

动量不确定量的百分比为 $(\Delta p/p) \geqslant 38.8\%$ 1 分

54. (本题 5分)(1833)

解：根据不确定关系式 $\Delta x\Delta p_x \geqslant \hbar$ ，有 $\Delta x\Delta mv_x \geqslant \hbar$，

即 $\Delta v_x \geqslant \dfrac{\hbar}{m\Delta x}$ 2 分

粒子的最小能量应满足 $E_{\min} = \dfrac{1}{2}m(\Delta v_x)^2 \geqslant \dfrac{1}{2}m(\hbar/m\Delta x)^2$

$$\geqslant \hbar^2/(2m\Delta x^2) = \hbar^2/(2mL^2) \qquad 2\text{ 分}$$

在核内，质子或中子的最小能量

$$E_{\min} \geqslant \hbar^2/(2mL^2) = 3.3\times10^{-14}\ \text{J} \qquad 1\text{ 分}$$

55. (本题10分)(1834)

解：根据不确定关系式 $\Delta E\Delta t \geqslant \hbar$ 得

$$\Delta E \geqslant \hbar/\Delta t = 0.659\times10^{-7}\ \text{eV} \qquad 4\text{ 分}$$

根据光子能量与波长的关系 $E = h\nu = hc/\lambda$

得光子的波长 $\lambda = hc/E = 3.67\times10^{-7}\ \text{m}$ 2 分

波长的最小不确定量为 $\Delta\lambda = hc\,\Delta E/E^2 = 7.13\times10^{-15}\ \text{m}$ 4 分

56. (本题 5分)(4989)

解：由不确定关系式 $\Delta x\Delta p_x \geqslant h$

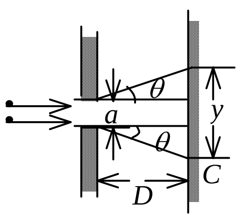
得 $\Delta p_x \geqslant h/\Delta x = h/d$ 2 分

Δp_x 最小值为 h/d 时，$|p_x|$ 的最小值（数量级）也为 h/d，应用动能与动量的经典关系 $E_K = p^2/(2m)$

则 $E_{\min} = p^2/(2m) = h^2/(2md^2) = 1.3\times10^{-12}\ \text{J}$ 3 分

57. (本题10分)(5709)

解：根据不确定关系式 $\Delta y\Delta p_y \geqslant \dfrac{1}{2}\hbar$ 2 分



而 $\Delta y = a$ ， $\Delta p_y = p\sin\theta$.

则有 $\sin\theta \geqslant \hbar/(2pa)$ 2 分

由图可知，屏上痕迹宽度不小于

$$y = a + 2D\sin\theta = a + (D\hbar/pa) \qquad 2\text{ 分}$$

由 $\mathrm{d}y/\mathrm{d}a = 0$ 可得 $a = \sqrt{D\hbar/p}$ 2 分

且这时 $\mathrm{d}^2y/\mathrm{d}a^2 > 0$

所以狭缝的宽度调到 $a = \sqrt{D\hbar/p}$ 时屏上痕迹的宽度达到最小. 2 分

（若用 $\Delta y\Delta p_y \geqslant \hbar$，则 $a = \sqrt{2D\hbar/p}$ 若用 $\Delta y\Delta p_y \geqslant h$，则 $a = \sqrt{Dh/p}$ ）

58. (本题 5分)(1901)

解：所谓归一化就是让找到粒子的概率在可能找到的所有区域内进行积分，并使之等于 100% ，即 $\int_{-\infty}^{\infty}\psi^*(x)\psi(x)\,\mathrm{d}\,x=1$

这里，我们的问题是要 $\int_0^a A^2\sin^2\frac{n\pi}{a}x\,\mathrm{d}\,x=1$ 3 分

即 $[aA^2/(n\pi)]\times\frac{1}{2}n\pi a/a=1$

所以 $A=\sqrt{2/a}$

于是得到归一化的波函数 $\psi_n(x)=\sqrt{2/a}\sin(\frac{n\pi}{a}x)$

$n=1，2，3，\cdots\cdots$ 2 分

59. (本题 5分)(1902)

解：找到粒子的概率为

$$\int_{a/4}^{3a/4}\psi_1^*(x)\psi_1(x)\,\mathrm{d}\,x=\int_{a/4}^{3a/4}\frac{2}{a}\sin^2\frac{\pi x}{a}\,\mathrm{d}\,x$$ 3 分

$$=\frac{1}{\pi}(\frac{\pi}{2}+1)=\frac{1}{2}+\frac{1}{\pi}=0.818$$ 2 分

60. (本题 8分)(4775)

解：据已知条件 $a=n\lambda/2$ ① 2 分

又据德布罗意公式 $\lambda=h/mv$

得 $mv=h/\lambda$ ② 2 分

无限深势阱中粒子的能量为 $E=\frac{1}{2}mv^2$

即 $mv=m\sqrt{\frac{2E}{m}}=\sqrt{2mE}$ ③ 2 分

由②、③式解得 $2mE=h^2/\lambda^2$

以①代入得 $2mE_n=\frac{h^2}{4a^2}n^2$

∴ $E_n=\frac{h^2}{8ma^2}n^2$ 2 分

61. (本题10分)(5245)

解：把运动的粒子看作在题所给区域内的驻波，则 $x=0$ 和 $x=a$ 两点应该是波节，因而满足这边界条件的德布罗意波的波长应为

$\lambda_n=2a/n$ ($n=1，2，\cdots\cdots$) 2 分

而 $\lambda_n=h/p_n$ 3 分

故粒子的动量只能取 $p_n=h/\lambda_n=\frac{1}{2}nh/a$ 2 分

所给出的各个值．粒子的能量 $E_n=\frac{p_n^2}{2m}+V(x)$

在 $0<x<a$ 区域内 $V(x)=0$ ，所以

$E_n=\frac{p_n^2}{2m}=\frac{n^2h^2}{8ma^2}$ ($n=1，2，\cdots\cdots$) 3 分

62. (本题12分)(5813)

解：设粒子能量为 E, 根据一维定态薛定谔方程

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\mathrm{d}^2\psi}{\mathrm{d}x^2}=E\psi$$

令 $k^2=(2mE)/\hbar^2$

上面方程可改写为 $\dfrac{\mathrm{d}^2\psi}{\mathrm{d}x^2}+k^2\psi=0$

方程的解为 $\psi=A\cos kx+B\sin kx$ 3 分

由题意 $x\leqslant 0$ $\psi=0$

$x\geqslant a$ $\psi=0$ 2 分

可得 $A=0$， $B\sin ka=0$.

因为 B 不可能等于 0，所以必须 $\sin ka=0$

则 $ka=n\pi$，$k=n\pi/a$，

n 不能取零值，如果 $n=0$，导则 $k=0$，$\psi(x)$在 $0<x<a$ 区间各处都为零，与原题不合．故 $\psi=B\sin(n\pi x/a)$ $n=1$，2，…… 2 分

粒子能量 $E_n=(n^2h^2)/(8ma^2)$ $n=1$，2，…… 2 分

根据归一化条件 $\int_0^{\infty}|\psi|^2\,\mathrm{d}x=1$

可得 $\int_0^{a}B^2\sin^2(n\pi x/a)x\,\mathrm{d}x=1$

$$B=\sqrt{2}/\sqrt{a}$$

所以粒子的归一化波函数为 $\psi=\sqrt{\dfrac{2}{a}}\sin\dfrac{n\pi x}{a}$ 3 分

63. (本题 8分)(5371)

解：由波函数的性质得

$$\int_0^{l}|\psi|^2\,\mathrm{d}x=1$$

即 $\int_0^{l}c^2x^2(l-x)^2\,\mathrm{d}x=1$，

由此解得 $c^2=30/l^5$，$c=\sqrt{30/l}/l^2$ 3 分

设在 0－ $l/3$ 区间内发现该粒子的概率为 P，则

$$P=\int_0^{l/3}|\psi|^2\,\mathrm{d}x=\int_0^{l/3}30x^2[(l-x)^2/l^5]\,\mathrm{d}x=\frac{17}{81}$$ 5 分

64. (本题 5分)(1905)

解：按量子力学中的线性谐振子能级公式可得

$$(n+\frac{1}{2})h\nu = kT$$

$$n=\frac{kT}{h\nu}-\frac{1}{2}=\frac{2\pi kT}{h\sqrt{k_m/m}}-\frac{1}{2} \approx 3.92\times 10^{11}$$ 3 分

相邻能级间隔 $h\nu = 1.055\times 10^{-32}$ J

此能量间隔与振子能量 kT 比较，

$$\frac{h\nu}{kT}\approx\frac{1}{n}=\frac{1}{3.92\times 10^{11}}$$

实在太小了，因此振子的能量可以看作是连续改变的. 2 分

65. (本题 5分)(4995)

解：谐振子处于第一激发态时概率密度为

$$P_1=|\psi_1|^2=\frac{2\alpha^3}{\pi^{1/2}}x^2\exp(-\alpha^2x^2)=Ax^2\exp(-\alpha^2x^2)$$ 2 分

具有最大概率的位置由 $\mathrm{d}P_1/\mathrm{d}x=0$ 决定，即由

$$\frac{\mathrm{d}P_1}{\mathrm{d}x}=A(2x-\alpha^2 2x^3)\exp(-\alpha^2x^2)=0$$

解得 $x=\pm 1/\alpha$ （概率最大的位置） 3 分

66. (本题 5分)(1906)

解：氢原子 1s 态的定态波函数为球对称的，在径向 $r\to r+\mathrm{d}r$ 区间找到电子的概率为 $w=|\psi_{100}|^2 4\pi r^2\,\mathrm{d}r$

即 $w\propto r^2\mathrm{e}^{-2r/a}$ 2 分

沿径向对 w 求极大，

$$\frac{\mathrm{d}w}{\mathrm{d}r}=\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}r}(r^2\mathrm{e}^{-2r/a})=(2r-\frac{2r^2}{a})\mathrm{e}^{-2r/a}=0$$

得 $r=a=\dfrac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m_e \mathrm{e}^2}=0.529\times 10^{-10}$ m 3 分

四 理论推导与证明题 (共10分)

67. (本题 5分)(5811)

解：维恩位移定律是一定温度下，绝对黑体单色辐出度（或单色发射本领） $M_{B\lambda}(T)$ 的极大值所对应的波长 λ_m 与黑体温度 T 的乘积为一常量，即

$$\lambda_m T = b \qquad 2\text{ 分}$$

因此须求出 $\lambda_m T$. 由 $$\frac{\mathrm{d}\,M_{B\lambda}(T)}{\mathrm{d}\,\lambda} = 0$$

可得 $$-5[\exp(\frac{hc}{\lambda_m kT}) - 1] + \frac{hc}{\lambda_m kT}\exp(\frac{hc}{\lambda_m kT}) = 0$$

令 $$x = \frac{hc}{\lambda_m kT}$$

则上式变为 $$5\mathrm{e}^x - x\mathrm{e}^x - 5 = 0$$

方程的解 $$x = 4.965 \qquad 2\text{ 分}$$

$$\lambda_m T = \frac{hc}{kx} = b$$

$$b = \frac{hc}{kx} = 2.897 \times 10^{-3}\ \mathrm{m \cdot K} \qquad 1\text{ 分}$$

68. (本题 5分)(5812)

解：设温度为 T 的绝对黑体的总辐出度（总发射本领）为 $M_B(T)$，则

$$M_B(T) = \int_0^\infty M_{B\lambda}(T)\,\mathrm{d}\,\lambda \qquad 2\text{ 分}$$

令 $$c_1 = 2\pi hc^2\,, \quad x = \frac{hc}{\lambda kT}\,, \quad \mathrm{d}\,\lambda = -\frac{hc\,\mathrm{d}\,x}{kTx^2}$$

则普朗克公式可写为 $$M_{B\lambda}(T) = \frac{c_1 k^5 T^5}{h^5 c^5}\frac{x^5}{\mathrm{e}^x - 1}$$

$$M_B(T) = \int_0^\infty \frac{c_1 k^4 T^4 x^3\,\mathrm{d}\,x}{h^4 c^4(\mathrm{e}^x - 1)} = \frac{c_1 k^4 T^4}{h^4 c^4}\int_0^\infty \frac{x^3\,\mathrm{d}\,x}{\mathrm{e}^x - 1}$$

$$= (\frac{6.494 \times c_1 k^4}{h^4 c^4})T^4 = (\frac{6.494 \times 2\pi k^4}{h^3 c^2})T^4 \qquad 2\text{ 分}$$

此即斯特藩—玻尔兹曼定律 $$M_B = \sigma T^4$$

比较可得 $$\sigma = \frac{6.494 \times 2\,\pi k^4}{h^3 c^2}$$

$$h = (\frac{6.494 \times 2\pi k^4}{\sigma c^2})^{1/3} = 6.62 \times 10^{-34}\ \mathrm{J \cdot s} \qquad 1\text{ 分}$$

五 错误改正题 (共 5分)

69. (本题 5分)(1819)

答：错在看问题有片面性．黑体的吸收率大，而其辐出度也大． 3 分

由基尔霍夫定律可知，在平衡热辐射下，黑体的单色发射本领（即单色辐出度）就等于平衡热辐射场的单色辐射通量．因此，黑体的温度达到平衡温度时不再升高． 2 分

六 回答问题 (共15分)

70. (本题 5分)(4410)

答：一种物体在任何温度下，能全部吸收射在其上的辐射能，不反射外界来的辐射，这种物体称为绝对黑体. 3 分

绝对黑体并非在任何温度下都呈黑色，绝对黑体的颜色是由它发射的辐射频率决定的，在不同温度下绝对黑体可呈不同的颜色. 2 分

71. (本题 5分)(4964)

答：根据薛定谔方程解出的氢原子角动量量子化条件为

$$L=\sqrt{l(l+1)}\,h/(2\pi)\text{，}(\ l=0\text{，}1\text{，}2\text{，}\cdots\ n-1)$$

角动量的最小值可以为零. 3 分

而根据玻尔氢原子理论，角动量量子化条件为

$$L=nh/(2\pi)\text{，}\quad (\ n=1\text{，}2\text{，}\cdots\cdots)$$

角动量的最小值不为零，而是 $h/(2\pi)$. 2 分

72. (本题 5分)(8001)

答：在 X 射线管中，如果从热阴极发射的热电子的动能不超过某一定值时，电子撞击阳极后速度急剧减小，这时发射的 X 射线的波长是连续分布的，形成连续光谱. 这种因电子减速，把电子的动能转换成 X 射线光子的能量而产生的辐射，称为轫致辐射. 3 分

如果撞击阳极的电子能量超过某一定值时，除了轫致辐射外，还可能引起阳极材料的原子内部壳层电子的跃迁，从而产生一些叠加在连续光谱上的线状光谱，这些光谱线与阳极材料密切有关，称为标识辐射. 2 分