

一 选择题 (共48分)

- 1. (本题 3分)(0507)
(D)
- 2. (本题 3分)(4190)
(C)
- 3. (本题 3分)(4194)
(C)
- 4. (本题 3分)(4195)
(B)
- 5. (本题 3分)(4195)
(B)
- 6. (本题 3分)(4197)
(C)
- 7. (本题 3分)(4198)
(C)
- 8. (本题 3分)(4199)
(C)
- 9. (本题 3分)(4239)
(A)
- 10. (本题 3分)(4411)
(C)
- 11. (本题 3分)(4619)
(D)
- 12. (本题 3分)(4622)
(B)
- 13. (本题 3分)(4747)
(A)
- 14. (本题 3分)(4748)
(A)
- 15. (本题 3分)(4749)
(A)
- 16. (本题 3分)(4750)
(C)

二 填空题 (共101分)

- 17. (本题 4分)(0514)
负
不连续

2 分
2 分

- 第 2 页

32. (本题 3分)(4752)

原子中电子从能量为 E_n 的定态跃迁到能量为 E_k 的定态时, 便发射(当 $E_n > E_k$ 时)或吸收(当 $E_n < E_k$ 时)单色光, 其频率 ν 由下式决定: $\nu = \left| \frac{E_n - E_k}{h} \right|$ (h 为普朗克常量)

3 分

33. (本题 3分)(4753)

在电子绕核的圆周运动中, 只有电子的动量矩 L 等于 $h/2\pi$ 的整数倍的那些轨道才是可能的, 即:

$$L = n \frac{h}{2\pi} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) (h \text{ 为普朗克常量})$$

3 分

34. (本题 4分)(4754)

4 1 2 分

4 3 2 分

35. (本题 4分)(4755)

1 2 分

2 2 分

36. (本题 4分)(4756)

2.55 2 分

4 2 分

37. (本题 3分)(4757)

-0.85 3 分

38. (本题 3分)(4758)

13.6 3 分

39. (本题 3分)(4759)

9 3 分

40. (本题 3分)(4760)

$6.56 \times 10^{15} \text{ Hz}$ 3 分

41. (本题 3分)(4761)

1.51 3 分

42. (本题 3分)(4762)

1.8 3 分

43. (本题 3分)(4763)

1.35 3 分

44. (本题 4分)(4765)

5 2 分

10 2 分

45. (本题 4分)(5369)

10

2 分

3

2 分

三 计算题 (共113分)

46. (本题 8分)(0316)

解: (1) 此双原子气体分子绕轴旋转时的角动量为:

$$L = \frac{1}{2} m \omega d^2 \quad 2 \text{ 分}$$

据 $L = nh/(2\pi), n = 0, 1, 2, \dots$ 2 分

则 $\frac{1}{2} m \omega d^2 = nh/(2\pi), \quad \omega = nh/(m\pi d^2)$ 2 分

(2) 此系统的转动动能为:

$$E = \frac{1}{2} m v^2 \times 2 = m \omega^2 r^2 = \frac{n^2 h^2}{4m\pi^2 d^2}, n = 0, 1, 2, \dots \quad 2 \text{ 分}$$

47. (本题 5分)(0521)

解: (1)

$$\Delta E = Rhc(1 - \frac{1}{n^2}) = 13.6(1 - \frac{1}{n^2}) = 12.75 \text{ eV}$$

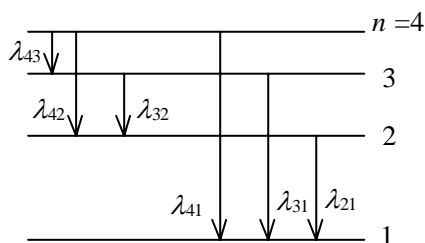
$n = 4$ 2 分

(2) 可以发出 $\lambda_{41}, \lambda_{31}, \lambda_{21}, \lambda_{43}, \lambda_{42}, \lambda_{32}$

六条谱线. 1 分

能级图如图所示.

图 2 分



48. (本题 10分)(0532)

解: 极限波数 $\tilde{\nu} = 1/\lambda_{\infty} = R/k^2$ 可求出该线系的共同终态. 1 分

$$k = \sqrt{R\lambda_{\infty}} = 2 \quad 2 \text{ 分}$$

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2}) \quad 2 \text{ 分}$$

由 $\lambda = 6565 \text{ \AA}$ 可得始态 $n = \sqrt{\frac{R\lambda\lambda_{\infty}}{\lambda - \lambda_{\infty}}} = 3$ 2 分

由 $E_n = \frac{E_1}{n^2} = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV}$ 1 分

可知终态 $n = 2, E_2 = -3.4 \text{ eV}$ 1 分

始态 $n = 3, E_3 = -1.51 \text{ eV}$ 1 分

49. (本题 5分)(0537)

解: 设始态能级量子数为 k , 则轨道半径由 r_k 变为 r_n , 且 $r_k = qr_n$.

由 $r_k = k^2 \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m e^2}$ 2 分

可得 $k^2 = qn^2$ 1 分

光子的频率 $\nu = Rc(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2})$

即 $\nu = \frac{Rc}{n^2}(1 - \frac{n^2}{k^2}) = \frac{Rc}{n^2}(1 - \frac{1}{q})$ 2 分

50. (本题10分)(0538)

解: (1) $\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = m \frac{v^2}{r}$ ① 1 分

$mvr = n \frac{h}{2\pi}$ ② 1 分

$\omega_n = \frac{v}{r}$ ③ 1 分

①、②、③联立解出 $\omega_n = \frac{\pi m e^4}{2\epsilon_0^2 h^3} \cdot \frac{1}{n^3}$

$\nu_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{m e^4}{4\epsilon_0^2 h^3} \cdot \frac{1}{n^3}$ 2 分

(2) 电子从 n 态跃迁到 $(n-1)$ 态所发出光子的频率为

$\nu' = \frac{c}{\lambda} = cR \left[\frac{1}{(n-1)^2} - \frac{1}{n^2} \right] = cR \frac{2n-1}{n^2(n-1)^2}$
 $= \frac{m e^4}{8\epsilon_0^2 h^3} \cdot \frac{2n-1}{n^2(n-1)^2}$ 2 分

(3) 当 n 很大时, 上式变为

$\nu' = \frac{m e^4}{8\epsilon_0^2 h^3} \cdot \frac{2-(1/n)}{n(n-1)^2} \approx \frac{m e^4}{8\epsilon_0^2 h^3} \cdot \frac{1}{n^3} = \nu_n$ 3 分

51. (本题10分)(0570)

解: 电子作一次圆周运动所需时间(即周期 T)为

$T = \frac{2\pi}{\omega}$ ① 1 分

令激发态的平均寿命为 $\tau = 10^{-8}$ s, 故电子在 τ 内从激发态跃迁到基态前绕核的圈数为

$N = \frac{\tau}{T}$ ② 1 分

电子作圆周运动的周期 T 可由下面二式求出

$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = m \frac{v^2}{r}$ ③ 1 分

$m\omega r^2 = \frac{h}{2\pi} n$ ④ 2 分

可求出 $\omega = \frac{\pi m e^4}{2\epsilon_0^2 n^3 h^3} \cdot \frac{1}{n^3}$ ⑤ 2 分

由①、②、⑤可得 $N = \frac{\tau}{T} = \frac{\pi m e^4}{4\epsilon_0^2 n^3 h^3} \cdot \frac{1}{n^3} = \frac{6.54 \times 10^7}{n^3}$ 2 分

当 $n = 5$ $N = 5.23 \times 10^5$ 1 分

52. (本题12分)(4202)

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

2 分

(2) 由于此谱线是巴耳末线系, 其 $k=2$

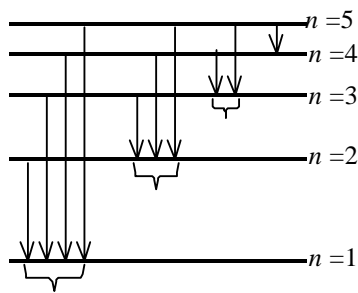
2 分

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

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

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

4 分



(3) 可发射四个线系, 共有 10 条谱线.

2 分

见图

1 分

波长最短的是由 $n=5$ 跃迁到 $n=1$ 的谱线.

1 分

53. (本题 5分)(4412)

解: 由于发出的光线仅有三条谱线, 按:

$$\nu = c \cdot \tilde{\nu} = cR(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2})$$

2 分

$n=3, k=2$ 得一条谱线.

$n=3, k=1$ 得一条谱线.

$n=2, k=1$ 得一条谱线.

可见氢原子吸收外来光子后, 处于 $n=3$ 的激发态. 以上三条光谱线中, 频

率最大的一条是: $\nu = cR(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2}) = 2.92 \times 10^{15} \text{ Hz}$

这也就是外来光的频率.

3 分

54. (本题 5分)(4413)

解: $\tilde{\nu} = R(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2})$

令线系极限: $n \rightarrow \infty$ 可得

$$\tilde{\nu} = R/k^2$$

2 分

赖曼系: $k=1$

$$\tilde{\nu} = 1.097 \times 10^7 / 1^2 = 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

1 分

巴耳末系: $k=2$

$$\tilde{\nu} = 1.097 \times 10^7 / 2^2 = 0.274 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

1 分

帕邢系: $k=3$

$$\tilde{\nu} = 1.097 \times 10^7 / 3^2 = 0.122 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

1 分

55. (本题 5分)(4414)

解：因为观察到巴耳末系中的三条光谱线，所以只可能是从 $n = 5、4、3$ 的状态，分别跃迁到 $n = 2$ 的状态而发出的。

由
$$\tilde{\nu}_{2n} = \frac{1}{\lambda_{2n}} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

得
$$\lambda_{2n} = \frac{1}{R} \cdot \frac{2^2 n^2}{n^2 - 2^2}$$

所求的波长为氢原子从由 $n = 3$ 的状态跃迁到 $n = 2$ 的状态发出的谱线的波长，上式代入 $n = 3$ 得

$$\lambda_{23} = 6.56 \times 10^{-7} \text{ m} = 656 \text{ nm} \quad 2 \text{ 分}$$

外来光应使氢原子从 $n = 2$ 的状态跃迁到 $n = 5$ 的状态，其频率为：

$$\nu_{25} = c/\lambda_{25}$$

而：
$$\lambda_{25} = 4.34 \times 10^{-7} \text{ m} = 434 \text{ nm}$$

$$\nu_{25} = c/\lambda_{25} = 6.91 \times 10^{14} \text{ Hz} \quad 3 \text{ 分}$$

56. (本题 5分)(4519)

解：根据玻尔氢原子理论的角动量量子化条件

$$m_e v r = nh/2\pi \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

则
$$v = nh/(2\pi m_e r)$$

$n=1$ 时对应最小轨道半径 $r_1 = 5.3 \times 10^{-11} \text{ m} \quad 3 \text{ 分}$

$\therefore v = nh/(2\pi m_e r_1) = 2.18 \times 10^6 \text{ m/s} \quad 2 \text{ 分}$

57. (本题 5分)(4520)

解：设激发态量子数为 n ，根据玻尔理论： $E_n = E_1 + h\nu$

对氢原子 $E_1 = -13.6 \text{ eV}$ (基态)，

$$h\nu = 12.09 \text{ eV}$$

$\therefore E_n = -1.51 \text{ eV} \quad 2 \text{ 分}$

另外，对氢原子有 $E_n = -13.6/n^2 \text{ eV}$

由此有 $-1.51 = -13.6/n^2$

故 $n^2 \approx 9, n = 3 \quad 2 \text{ 分}$

氢原子的半径公式为 $r_n = n^2 a_1 = 9 a_1$

即氢原子的半径增加到基态时的 9 倍。 1 分

58. (本题 5分)(4547)

解：设轨道半径为 r_n ，电子运动速度为 v 。则由

$$evB = mv^2/r_n \quad 2 \text{ 分}$$

$$L = mvr_n = n\hbar \quad 2 \text{ 分}$$

得 $r_n = (\hbar/eB)^{1/2} \cdot \sqrt{n} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad 1 \text{ 分}$

59. (本题 8 分)(4767)

解：所发射的光子能量为 $\varepsilon = hc / \lambda = 2.56 \text{ eV}$ 2 分

氢原子在激发能为 10.19 eV 的能级时，其能量为

$$E_K = E_1 + \Delta E = -3.41 \text{ eV} \quad 2 \text{ 分}$$

氢原子在初始状态的能量为 $E_n = \varepsilon + E_K = -0.85 \text{ eV}$ 2 分

该初始状态的主量子数为 $n = \sqrt{\frac{E_1}{E_n}} = 4$ 2 分

60. (本题 5 分)(4768)

解：按题意可知单色光照射的结果，氢原子被激发至 $n = 3$ 的状态(因为它发射三种频率的谱线)，故知原照射光子的能量为

$$\varepsilon = E_3 - E_1 = -\frac{13.6}{3^2} - (-13.6) = 12.09 \text{ eV} = 1.93 \times 10^{-18} \text{ J} \quad 3 \text{ 分}$$

该单色光的频率为 $\nu = \frac{\varepsilon}{h} = 2.92 \times 10^{15} \text{ Hz}$ 2 分

61. (本题 5 分)(5238)

解：因为 1025.7 \AA 是紫外线，是属于赖曼系的一条谱线，故知它是在 $n = n_1 \rightarrow n = 1$ 这两个能级间的跃迁中发射出来的。根据

$$\tilde{\nu} = R(1/1^2 - 1/n_1^2) \quad 3 \text{ 分}$$

并代入 $\tilde{\nu} = 1/\lambda$ 可解得 $n_1 = \sqrt{\lambda R(\lambda R - 1)} = 3.00$

所以 1025.7 \AA 谱线是在 $n = 3 \rightarrow n = 1$ 的能级间的跃迁中辐射的。 2 分

62. (本题 5 分)(5370)

解：把一个基态氢原子电离所需最小能量

$$E_i = 13.6 \text{ eV} \quad 1 \text{ 分}$$

则有 $h\nu = E_i + \frac{1}{2}m_e v^2$ 2 分

$$v = \sqrt{2(h\nu - E_i)/m_e} = 7.0 \times 10^5 \text{ m/s} \quad 2 \text{ 分}$$

四 理论推导与证明题 (共35分)**63. (本题10分)(4193)**

证：根据巴耳末公式： $1/\lambda = R(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2})$ 2 分

得第一条谱线波长为 $1/\lambda_\alpha = 1/\lambda_{23} = R(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2})$ 2 分

第二条谱线波长为 $1/\lambda_\beta = 1/\lambda_{24} = R(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2})$ 2 分

而帕邢系中第一条谱线的波长应为

$$1/\lambda_{34} = R(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2}) \quad 2 \text{ 分}$$

由 $\frac{1}{\lambda_{24}} - \frac{1}{\lambda_{23}} = \frac{\lambda_{23} - \lambda_{24}}{\lambda_{24}\lambda_{23}} = R(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2}) = 1/\lambda_{34}$

可得 $\lambda_{34} = \frac{\lambda_{24}\lambda_{23}}{\lambda_{23} - \lambda_{24}} = \frac{\lambda_\alpha\lambda_\beta}{\lambda_\alpha - \lambda_\beta}$ 2 分

64. (本题 5 分)(4417)

证: $1/\lambda = R[(1/k^2) - 1/n^2]$ 1 分

当 $n \rightarrow \infty$ 得极限波长 $1/\lambda_k = R/k^2 \quad \therefore k^2 = \lambda_k R$ 1 分

$$k = (\lambda_k R)^{1/2} \approx 2 \quad 2 \text{ 分}$$

可见: 该谱线系为巴尔末系. 1 分

65. (本题 5 分)(4426)

解: 应用库仑定律和牛顿运动定律 有:

$$m_e v^2 / r = e^2 / (4\pi\epsilon_0 r^2) \quad 1 \text{ 分}$$

根据玻尔理论的量子化条件假设: $L = m_e v r = n\hbar$ 2 分

由以上两式消去 v , 并把 r 换成 r_n . 得

$$r_n = n^2 \epsilon_0 \hbar^2 / (\pi m_e e^2), \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad 2 \text{ 分}$$

66. (本题 5 分)(4427)

解: $v_{kn} = (1/\hbar) \cdot (E_n - E_k)$, $\tilde{\nu}_{kn} = v_{kn} / c = (1/\hbar c) \cdot (E_n - E_k)$ 2 分

而: $E_n = -m_e e^4 / (8\epsilon_0^2 \hbar^2 n^2)$, $E_k = -m_e e^4 / (8\epsilon_0^2 \hbar^2 k^2)$,

代入上式:
$$\tilde{\nu}_{kn} = \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 \hbar^3 c} \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

与 $\tilde{\nu}_{kn} = R \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ 比较

得里德伯常量 $R = m_e e^4 / (8\epsilon_0^2 \hbar^3 c)$. 3 分

67. (本题 10 分)(4444)

证: (1) 根据: $F = mv^2 / r$ 及 $F = GMm / r^2$ (M 为地球质量)

得: $GMm / r^2 = mv^2 / r$ 2 分

利用玻尔假设: $mv r_n = n \cdot \frac{h}{2\pi}$ 1 分

联立以上两式则得: $r_n = \frac{[nh/(2\pi)]^2}{Gm^2 M}$ 2 分

令:
$$k = \frac{h^2}{4\pi^2 m^2 M G}$$

上式变为: $r_n = kn^2$ 得证. 1 分

(2) 由: $r_n = kn^2$ 可得:

$$r_{n+1} - r_n = k(n+1)^2 - kn^2 = (2n+1)k \quad 1 \text{ 分}$$

估算 k 与 n : 设 $m > 1 \text{ kg}$, 代入数据可得 $k < 10^{-82} \text{ m}$, 而

$$r_{n+1} - r_n \approx 2nk = 2(kr_n)^{1/2}$$

则 $(r_{n+1} - r_n) / r_n \approx 2(k/r_n)^{1/2} \approx 0$ (实际情形 $r_n > R$)

即相邻两个轨道之间的距离与轨道半径相比可忽略不计, 这表明轨道半径的“容许”值实际上可认为是连续变化的. 3 分

五 回答问题 (共15分)

68. (本题 5分)(4220)

- 答：定态：原子系统所处的一系列分立的有确定能量的状态，处于这些状态时，原子不辐射能量. 2 分
- 基态：原子系统能量最低的状态 1 分
- 激发态：原子系统所在的高于基态能量的量子态. 1 分
- 量子化条件：决定原子系统可能存在的各种分立定态的条件. 1 分

69. (本题 5分)(4418)

- 答：4340 Å 属于可见光范围，谱线属于巴耳末系. 3 分

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2})$$
$$n^2 = \frac{1}{1/4 - 1/(\lambda R)} = \frac{4\lambda R}{\lambda R - 4}$$

- 代入数值可得 $n \approx 5$
- 可见该辐射是氢原子从 $n=5$ 的能级跃迁到 $n=2$ 的能级的辐射. 2 分

70. (本题 5分)(4769)

- 答：成功：从理论上解释了氢原子光谱的实验规律，并从理论上算出里德伯常量. 1 分
- 玻尔首先提出了原子系统能量量子化的概念和角动量量子化的假设. 1 分
- 玻尔创造性的提出了定态、跃迁等重要概念，为近代量子物理的建立奠定了基础. 1 分
- 局限性：由于未能预见微观粒子的波粒二象性，虽然提出正确的量子假设，但未能完全脱离经典理论的影响，仍采用经典理论的思想 and 处理方法，因此不能正确说明氢原子内部的微观粒子运动. 2 分