

高等学校教学参考书

物质结构例题与习题

东北师范大学 华东师范大学 西北师范学院 合编

吉林科学技术出版社

WUZHIL JIEGOU LITIYU XITI

高等学校教学参考书

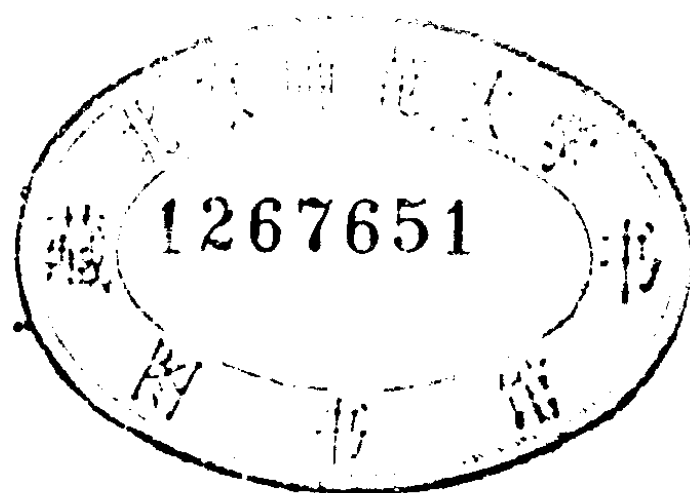
物质结构例题与习题

东北师范大学

华东师范大学 合编

西北师范学院

1981.5.15



吉林科学技术出版社

高等学校教学参考书
物质结构例题与习题
东北师范大学 华东师范大学
西北师范学院 合编

*

吉林科学技术出版社出版 吉林省新华书店发行
长春市第二印刷厂印刷

*

787×1092毫米32开本 8.75印张 193,000字

1984年10月第1版 1984年10月第1次印刷

印数: 1—12,790册

统一书号: 13376·3 定价: 1.20元

前 言

物质结构是一门重要的基础理论课。高等师范院校试用教材《物质结构》已由人民教育出版社出版(1983年)。为满足教师 and 学生的共同需要,我们以东北师范大学的《结构化学例题与习题集》(内部交流用)为基础,根据试用教材的内容,收选了国内外有关书中的习题,编写成与《物质结构》教科书配套的《物质结构例题与习题》。

全书共 600 道题,其中近四分之一是给出详细求解过程的例题;二分之一是只给出标准答案的习题;还有一定数量的思考题。这些题可分为三类:一类是为加深理解基本概念和基本理论的复习巩固性题;另一类是运用所学知识解决实际问题的应用性题,这类题的分量最大;第三类是难度较大的综合性题,其中选入了一些攻读硕士学位研究生的入学试题。

本书内容、结构完全与高等师范院校试用教材《物质结构》相对应,也分为同样的五章。

本书的主要使用对象是高等师范院校学习《物质结构》或《结构化学》课程的高年级学生,也可供其他高等院校化学系师生和有关科技人员参考。

参加编写工作的有华东师范大学的钮泽富、高剑南,西北师范学院的肖泰、耿志远,东北师范大学的王荣顺、王惠忠、黄宗浩、杨承新。最后由王荣顺、黄宗浩、杨承新统编定稿。

在编写过程中得到了赵成大教授、潘道皐教授、郑载兴

教授和张昌言副教授的指导。

由于水平所限，对书中的错误和不当之处，恳请读者批评指正，以便再版时修订。

编 者

目 录

第一章	量子力学基础和原子结构·····	(1)
	例 题·····	(1)
	思 考 题·····	(51)
	习 题·····	(55)
第二章	共价键理论和分子结构·····	(71)
	例 题·····	(71)
	思 考 题·····	(142)
	习 题·····	(145)
第三章	配位场理论和络合物结构·····	(161)
	例 题·····	(161)
	思 考 题·····	(170)
	习 题·····	(170)
第四章	测定分子结构的实验方法·····	(173)
	例 题·····	(173)
	思 考 题·····	(189)
	习 题·····	(190)
第五章	晶体结构与结晶化学·····	(197)
	例 题·····	(197)
	思 考 题·····	(217)
	习 题·····	(219)
习题答案	·····	(228)
	第一章 习题答案·····	(228)
	第二章 习题答案·····	(235)

第三章	习题答案	(247)
第四章	习题答案	(249)
第五章	习题答案	(250)
附 录		(252)
一、物理常数		(252)
二、单位换算		(253)
三、能量换算		(253)
四、化学上重要对称群的特征标表		(254)
元素周期表		

第一章 量子力学基础和原子结构

例 题

1. 试求满足波动方程为 $y = 20\cos[\pi(2.5t - 0.01x)]$ 的波的波长、周期和波速。

解：一般所用的方法是将该方程与标准的波动方程

$y = A\cos\left[2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\right]$ 相比较，从其相应的系数求得各

参量。这里

$$\begin{aligned} y &= 20\cos[\pi(2.5t - 0.01x)] \\ &= 20\cos\left[2\pi\left(\frac{2.5}{2}t - \frac{0.01}{2}x\right)\right] \end{aligned} \quad (1.1)$$

将 (1.1) 式与标准波动方程中 x 的系数加以比较，得

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{0.01}{2} \quad \therefore \lambda = \frac{2}{0.01} = 200 \text{ (厘米)}$$

比较 t 的系数则得

$$\frac{1}{T} = \frac{2.5}{2} \quad \therefore T = \frac{2}{2.5} = 0.8 \text{ (秒)}$$

$$\text{波速 } v = \frac{\lambda}{T} = \frac{200}{0.8} = 250 \text{ (厘米/秒)}$$

另一种方法是根据这些量的物理意义来求，即从周相关系上来考虑。

(1) 波长的意义是同一时刻，同一波线上两相邻同周相（实质上周相差为 2π ）点之间的距离。即图 1—1 中 x_1 与 x_2 间的距离。

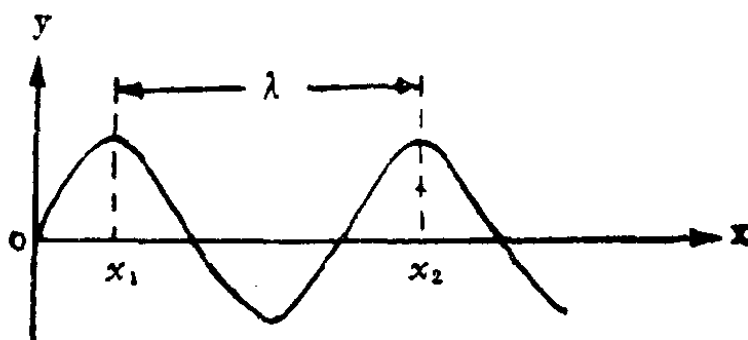


图 1—1

$$\because \pi(2.5t - 0.01x_1) - \pi(2.5t - 0.01x_2) = 2\pi$$

$$\therefore \lambda = x_2 - x_1 = 200 \text{ (厘米)}$$

(2) 周期的意义是波动传播一个波长的距离所需要的时间，如图1—2。

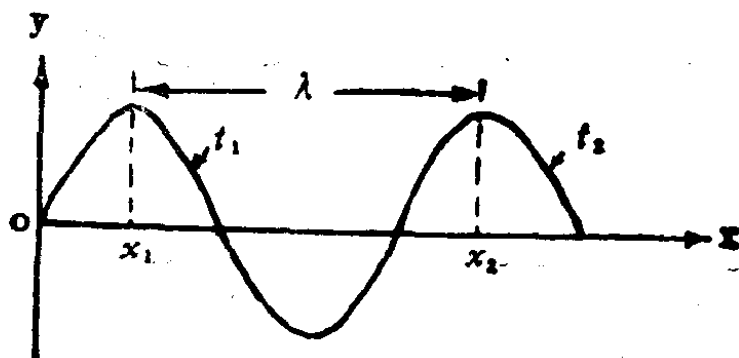


图 1—2

$$\pi(2.5t_1 - 0.01x_1) = \pi(2.5t_2 - 0.01x_2)$$

$$\because x_2 - x_1 = \lambda$$

$$\therefore T = t_2 - t_1 = 0.8 \text{ (秒)}$$

因为波动的周期等于质点振动的周期，即同一点的周相改变 2π 所经历的时间，如图1—3。所以也可用如下方法求

得周期

$$\pi(2.5t_2 - 0.01x) - \pi(2.5t_1 - 0.01x) = 2\pi$$

$$\therefore T = t_2 - t_1 = 0.8 \text{ (秒)}$$

(3) 波速的意义是周相传播的速度, 如图1—4。

$$\pi(2.5t_1 - 0.01x_1) = \pi(2.5t_2 - 0.01x_2)$$

$$\therefore v = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = 250 \text{ (厘米/秒)}$$

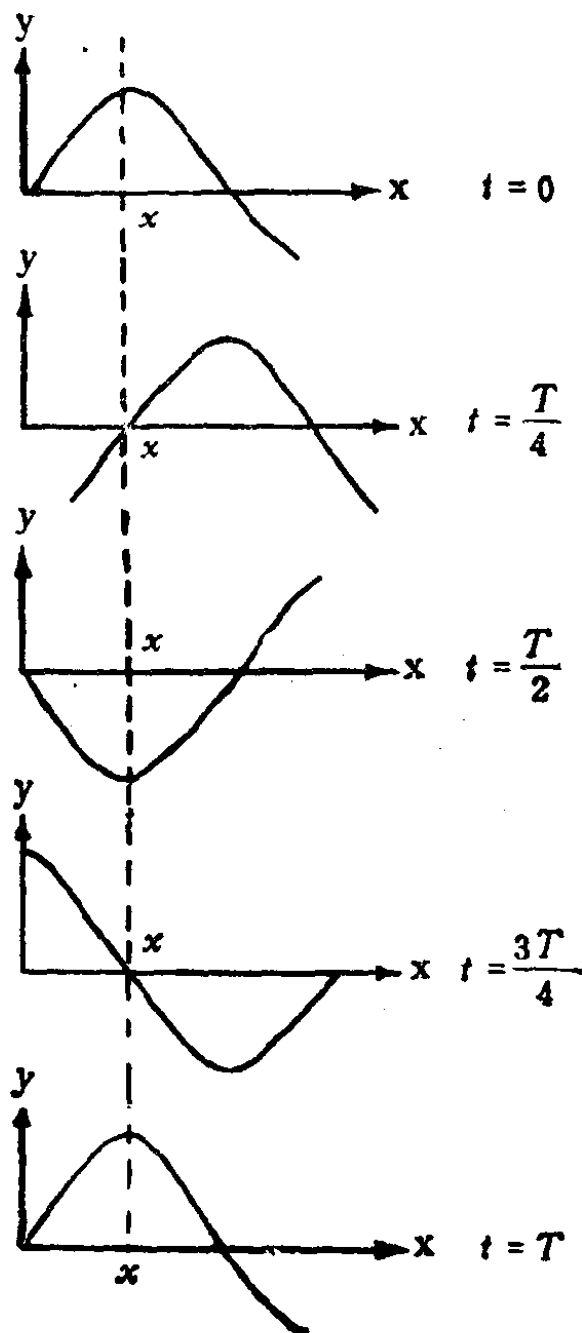


图 1—3

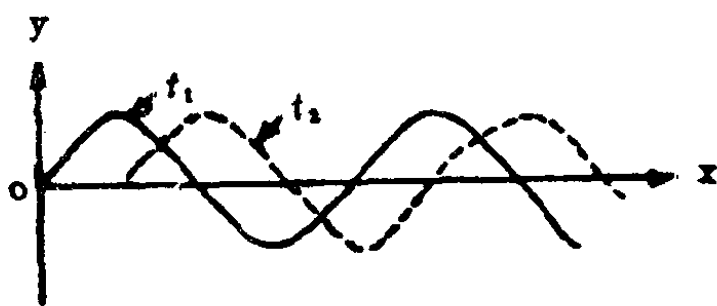


图 1—4

2. 在光电效应实验中, 当以不同波长的光照射钙金属表面时, 得到如下实验数据

λ (埃)	2536	3132	3650	4047
ν (10^{15} 赫芝)	1.18	0.958	0.822	0.741
V_s (伏)	1.95	0.98	0.50	0.14

试由这些数据求普朗克常数。

解: 根据 $h\nu = E_0 + eV_s$, 并由 $E_0 = h\nu_0$ 有

$$eV_s = h(\nu - \nu_0), \text{ 即 } V_s = \frac{h}{e} (\nu - \nu_0)$$

由此可见抑制电压 V_s 与 ν 为线性关系, 斜率为 h/e , 以 V_s 为纵坐标, ν 为横坐标, 根据实验数据作图如图1—5。

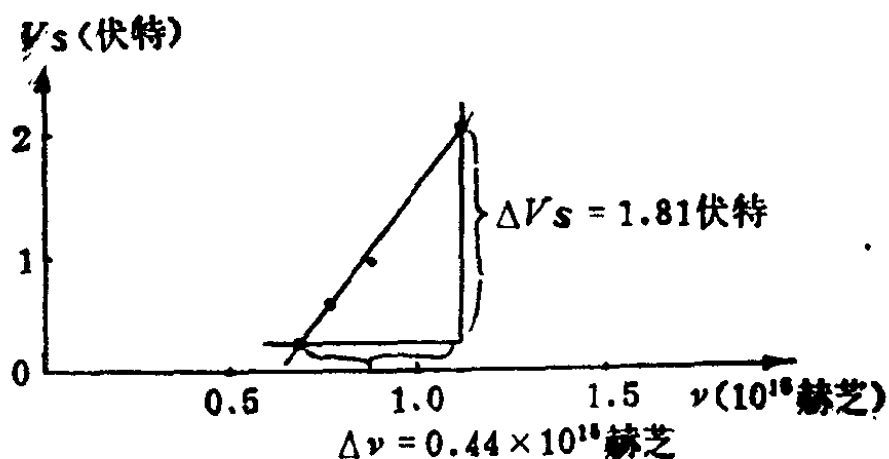


图 1—5

由图 1—5 可见, $h/e = \Delta V_s / \Delta \nu$, 所以

$$h = e \Delta V_s / \Delta \nu = 1.6 \times 10^{-19} \text{库仑} \times 1.81 \text{伏} / (0.44 \times 10^{15} \text{秒}^{-1})$$

$$= 6.6 \times 10^{-34} \text{ (焦耳} \cdot \text{秒)}, (1 \text{库仑} \cdot \text{伏} = 1 \text{焦耳})$$

3. 在光电效应实验中, 用频率为 4.39×10^{14} 赫芝的光照射钠金属的光电池方能产生光电流, 试问用 325 毫微米的光照射时, 需要多大的抑制电压 V_s 才能使所产生的光电流为零?

解: 因为 $\nu_0 = 4.39 \times 10^{14}$ /秒的光照射金属钠的光电池方能产生光电流, 所以使电子离开金属钠所需的逸出功为

$$W_0 = h\nu_0 = 6.63 \times 10^{-34} \text{焦耳} \cdot \text{秒} \times 4.39 \times 10^{14} / \text{秒}$$

$$= 2.92 \times 10^{-19} \text{焦耳} \times \left(\frac{1 \text{ 电子伏特}}{1.60 \times 10^{-19} \text{焦耳}} \right)$$

$$= 1.82 \text{ (电子伏特)}$$

当应用能量为 $E = h\nu$ 的光子去照射逸出功为 W_0 的金属时, 则多余的能量转化为光电子的动能, 因而按能量守恒定律有

$$h\nu = W_0 + \frac{1}{2}mv^2$$

由于直接测量光电子的速度有困难, 因而实验时可加抑制电压 V_s , 使光电流为零。这时抑制电压所做之功正好抵消光电子的最大动能, 于是

$$eV_s = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{或} \quad eV_s = h\nu - W_0$$

对应于波长为 325 毫微米的光电子能量为

$$E = h\nu = hc/\lambda$$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{焦耳} \cdot \text{秒} \times 3 \times 10^8 \text{米/秒}}{325 \times 10^{-9} \text{米}}$$

$$= 6.12 \times 10^{-19} \text{ (焦耳)}$$

$$\text{故 } eV_s = h\nu - W_0$$

$$\therefore V_s = \frac{h\nu - W_0}{e} = \frac{(6.12 - 2.92) \times 10^{-19} \text{焦耳}}{1.602 \times 10^{-19} \text{库仑}}$$

$$= 2 \text{ (伏特)}$$

4. 今有波长为 $\lambda = 1 \text{ \AA}$ 的 X 射线束在碳块上散射，若从与入射方向成 90° 角的方向去观察散射辐射，试求 (1) 康普顿波长偏移 $\Delta\lambda$ 是多少？(2) 给予反冲电子的动能为多少？

(3) 入射光在碰撞时，失去的能量占总能量的百分之几？

解：(1) 在康普顿-吴有训实验中发现，当 X 射线被原子量较小的元素所组成的物质（例如石墨、石蜡等）散射后，波长会变长。根据光子与电子碰撞时应服从能量守恒和动量守恒定律，可以推得波长的偏移 $\Delta\lambda$ 与散射角 ϕ 之间有如下关系：

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0 c} \times (1 - \cos\phi)$$

这个结果与入射波长的大小是无关的。当 $\phi = 90^\circ$ 时，由上式可得

$$\begin{aligned} \Delta\lambda &= \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{焦耳/秒}}{(9.11 \times 10^{-31} \text{公斤}) \times (3 \times 10^8 \text{米/秒})} \\ &\quad \times (1 - \cos 90^\circ) \\ &= 2.43 \times 10^{-12} \text{米} = 0.0243 \text{ (埃)} \end{aligned}$$

(2) 若令 K 表示电子的动能， λ' 为散射辐射的波长，根据能量守恒定律，则有

$$\begin{aligned} \frac{hc}{\lambda} &= \frac{hc}{\lambda'} + K \quad (\lambda' = \lambda + \Delta\lambda) \\ &= \frac{hc}{\lambda + \Delta\lambda} + K \end{aligned}$$

$$\therefore K = \frac{hc \times \Delta\lambda}{\lambda (\lambda + \Delta\lambda)}$$

将X射线波长 $\lambda = 1 \text{ \AA}$ 代入上式得

$$K = \frac{(6.63 \times 10^{-34} \text{焦耳} \cdot \text{秒}) \times (3 \times 10^8 \text{米/秒}) \times (2.43 \times 10^{-12} \text{米})}{(1 \times 10^{-10} \text{米}) \times (1 + 0.0243) \times 10^{-10} \text{米}}$$

$$= 4.72 \times 10^{-17} \text{焦耳} = 295 \text{ (电子伏特)}$$

(3) 入射的X射线光子能量是

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6.63 \times 10^{-34} \text{焦耳} \cdot \text{秒}) \times (3 \times 10^8 \text{米/秒})}{1.00 \times 10^{-10} \text{米}}$$

$$= 1.99 \times 10^{-15} \text{焦耳} = 12400 \text{ (电子伏特)}$$

光子损失的能量等于电子获得的能量 295 电子伏特，因此能量损失百分比为

$$\frac{295 \text{电子伏特}}{12400 \text{电子伏特}} \times 100\% = 2.4\%$$

读者还可证明，若光子的能量愈大(即波长越短)，则其在同样的碰撞中能量损失的百分比也就愈大。这可由

$$\frac{K}{E} = \frac{hc \times \Delta\lambda / [\lambda (\lambda + \Delta\lambda)]}{hc/\lambda} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda + \Delta\lambda}$$

看得十分清楚。因为 $\Delta\lambda$ 与初始波长并无关系，若光子能量增大10倍(=124000电子伏特)，即波长缩小10倍，则可算得光子在同样碰撞中，将损失其原有能量的20%。

5. 试求当氢原子从 $n = 5$ 跃迁到 $n = 2$ 时所发射光子的波长。

解：根据里德堡公式有

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) = (1.097 \times 10^{-3} \text{埃}^{-1}) \times \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2} \right)$$

$$\therefore \lambda = 4340 \text{ (埃)}$$

或者, 根据玻尔能量公式 $E_n = -RZ^2/n^2$ 有

$$E_2 = -\frac{13.6 \text{ 电子伏特}}{2^2} = -3.40 \text{ (电子伏特)}$$

$$E_5 = -13.6 \text{ 电子伏特}/5^2 = -0.544 \text{ (电子伏特)}$$

所以发射的光子能量为

$$E_r = -0.544 - (-3.40) = 2.86 \text{ (电子伏特)}$$

其波长为

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{hc}{E_r} = \frac{6.6 \times 10^{-34} \text{ 焦耳} \cdot \text{秒} \times 3 \times 10^8 \text{ 米/秒}}{2.86 \text{ 电子伏特} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ 焦耳}} \\ &= \frac{12.4 \times 10^3 \text{ 电子伏特} \cdot \text{埃}}{2.86 \text{ 电子伏特}} \\ &= 4340 \text{ (埃)}\end{aligned}$$

6. 当氢原子跃迁到激发能为10.19电子伏特的状态时, 发射出一个4890埃的光子。试确定在初始态时电子的结合能及此跃迁所对应的能级的量子数。

解: 电子跃迁时所发射的光子能量

$$\begin{aligned}h\nu &= \frac{hc}{\lambda} = \frac{12.4 \times 10^3 \text{ 电子伏特} \cdot \text{埃}}{4.89 \times 10^3 \text{ 埃}} \\ &= 2.54 \text{ (电子伏特)}\end{aligned}$$

激发能 E_x 是把原子从基态激发到某一较高能级所需要的能量。故该激发态能级的能量为

$$\begin{aligned}E_n &= E_1 + E_x = -13.6 \text{ 电子伏特} + 10.19 \text{ 电子伏特} \\ &= -3.41 \text{ (电子伏特)}\end{aligned}$$

光子是由于两个能态之间电子发生跃迁而产生的, 故在初始能态上电子的结合能 E_u 为

$$E_u = E_l + h\nu = -3.41 + 2.54 = -0.87 \text{ (电子伏特)}$$

电子跃迁所对应的能级量子数为 $n_u \rightarrow n_l$

$$n_u = \sqrt{E_1/E_u} = \sqrt{13.6/0.87} = 4$$

$$n_l = \sqrt{13.6/3.41} = 2$$

7. 求与下列各粒子相关的德布罗意波的波长:

(1) 能量为100电子伏特的自由电子。

(2) 动能为0.1电子伏特, 质量为1克的质点。

(3) 能量为0.1电子伏特的自由中子。

(4) 温度 $T = 1\text{K}$ 时, 具有动能 $E = \frac{3}{2}kT$ (k 为波尔兹曼常数) 的氢原子。

(5) 一粒重 10^{-7} 克, 以每秒1厘米速度运动的尘埃。

解: 由 $\lambda = h/p = h/mv$ 和 $p^2 = 2mE$ 可得

$$\lambda = h/\sqrt{2mE}$$

式中 E 为各粒子的动能, m 为各粒子的质量。把 m 和 E 值代入上式, 可分别得到其德布罗意波长:

$$\begin{aligned} (1) \quad \lambda &= \frac{6.6 \times 10^{-34} \text{焦耳} \cdot \text{秒}}{(2 \times 9.1 \times 10^{-31} \text{公斤} \times 100 \text{电子伏特} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{焦耳} \cdot \text{电子伏特}^{-1})^{\frac{1}{2}}} \\ &= 6.6 \times 10^{-34} \text{焦耳} \cdot \text{秒} / (5.4 \times 10^{-24} \text{公斤} \cdot \text{米} \cdot \text{秒}^{-1}) \\ &= 1.2 \times 10^{-10} \text{米} = 1.2 \text{ (埃)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (2) \quad \lambda &= \frac{6.6 \times 10^{-34} \text{焦耳} \cdot \text{秒}}{(2 \times 1 \times 10^{-3} \text{公斤} \times 0.1 \text{电子伏特} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{焦耳} \cdot \text{电子伏特}^{-1})^{\frac{1}{2}}} \\ &= 1.2 \times 10^{-22} \text{米} = 1.2 \times 10^{-12} \text{ (埃)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (3) \quad \lambda &= \frac{6.6 \times 10^{-34} \text{焦耳} \cdot \text{秒}}{(2 \times 1.67 \times 10^{-27} \text{公斤} \times 0.1 \text{电子伏特} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{焦耳} \cdot \text{电子伏特}^{-1})^{\frac{1}{2}}} \\ &= 0.9 \times 10^{-10} \text{米} = 0.9 \text{ (埃)} \end{aligned}$$

$$(4) \lambda = \frac{6.6 \times 10^{-34} \text{焦耳} \cdot \text{秒}}{\left(2 \times \frac{4 \times 10^{-3} \text{公斤/摩尔}}{6 \times 10^{23} \text{/摩尔}} \times \frac{3}{2} \times 1 \text{开} \times 1.38 \times 10^{-23} \text{焦耳/开} \right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$= 12.6 \times 10^{-10} \text{米} = 12.6 \text{ (埃)}$$

$$(5) \lambda = \frac{6.6 \times 10^{-34} \text{焦耳} \cdot \text{秒}}{1 \times 10^{-10} \text{公斤} \times 0.01 \text{米/秒}}$$

$$= 6.6 \times 10^{-22} \text{米} = 6.6 \times 10^{-12} \text{ (埃)}$$

在以上计算中，由于各粒子的能量都比较低，因而没有考虑相对论效应的影响。从计算结果可以看出，与（1）、（3）、（4）这三种微观粒子相关的波长相对来说较长，目前可以利用晶体等做为光栅而观察到它们的衍射效应。而粒子（2）虽然与（3）的中子能量相同，但因为粒子（2）的质量很大，相关的波长太小，以至目前还无法用仪器进行观察。对宏观粒子，即使是极端的情况下，如（5）中那样一粒重 10^{-7} 克的尘埃，以每秒1厘米的速度运动时，其波长也只有 6.6×10^{-12} 埃，其波动性并不明显，因此，通常对宏观物体一般就不必考虑它的波动性了。

8. 在戴维孙与革末的实验中，电子束垂直投射在一块

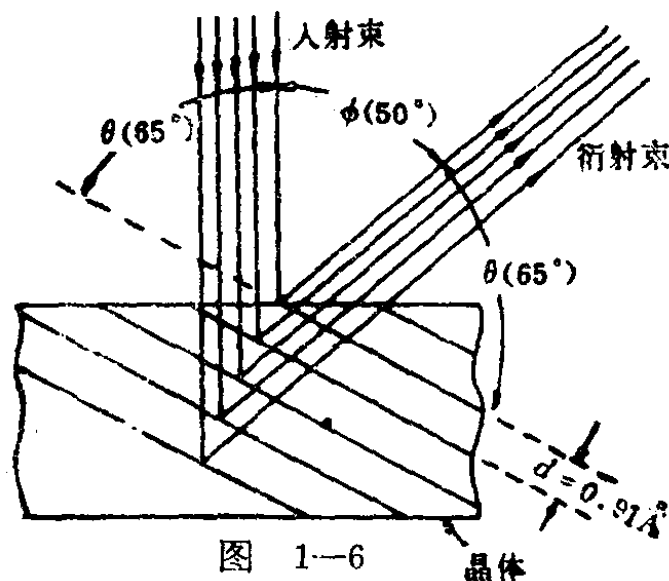


图 1-6 晶体