

$$\left\{ \begin{aligned} Q_{L+2}^J(I_0 I_k' j j') &= \left(\frac{L+1}{L+2} \right)^2 \left(\frac{2L+5}{2L+1} \right) [(2J+L+3)(2J+L+2)(2J-L-1) \times \\ &\quad \times (2J-L)(2j+L+2)(2j-L)(2j'+L+2)(2j'-L)]^{-1} \times \\ &\quad \times \omega_{L+2}(J I_0 j) \omega_{L+2}(J I_k' j') Q_L^J(I_0 I_k' j j'), \\ Q_0^J(I_0 I_k' j j') &= 1. \end{aligned} \right. \quad (19)$$

此式中 $\omega_{L+2}(J I_0 j)$ 和 $\omega_{L+2}(J I_k' j')$ 满足公式(13)。

公式(18)就是我们化简所得的角分布表达式，它不仅适用于豪泽-费许巴赫理论，也适用于 Moldauer 理论^[2]和 Weidermüller 理论^[3]。

参 考 文 献

- [1] W. Hauser & H. Feshbach, *Phys. Rev.*, **87**, 368(1952).
- [2] P. A. Moldauer, *Phys. Rev.*, **135**, B 642(1964); *Phys. Res.*, **C 11**, 426(1975); *Phys. Rev.*, **C 12**, 744(1975).
- [3] H. A. Weidermüller et al., *Ann. Phys. (N. Y.) (US)*, **90**, 403(1975); *Phys. Rev.*, **C9**, 1022(1974).
- [4] 文中涉及到 C-G 系数和拉卡系数的公式可参阅: M. E. Rose «Elementary Theory of Angular Momentum», John Wiley & Sons, Inc., 1957.

水合氧化钛的中子散射能谱

阮景辉 陈桂英

一、引 言

随着原子能事业的发展，铀的需要量在不断地增加，陆地上已探明的铀储量约 100 万吨，加上低品位矿，其总量不超过 300 万吨，不能满足世界上对铀的长远需要。而海洋中铀的藏量很大，估计约 45 亿吨，比陆地藏量大数千倍。尽管每升海水中仅含 33 微克的铀，不少国家仍相继开展从海水中提铀的研究，已经做了大量的工作，并进行了一些类似工业性的试验。

实现海水提铀的关键在于能否找到性能良好而成本又低的吸附剂。经过大量的研究和筛选，认为水合氧化钛是最有前途的一种。它和其他吸附剂比较，有吸铀能力强、原料丰富和溶解度较小等特点，但目前尚不能进行工业性的生产。国外已经用红外、差热、电子显微镜和 X 射线衍射等方法对水合氧化钛进行了测试和分析，但是它的组成、结构和吸铀机理还是不清楚的。用得较多的红外吸收方法，可测定吸附剂原子动力学的基本谱线，但它受到光学选择定则限制，特别是样品需要特殊的加工，这可能改变被试样品的性能（例如脱水）。对于不同条件制备的样品以及具有不同吸附铀量的样品，在红外的低波段（小于 1000 厘米⁻¹）仅仅观察出一个大的吸收带，未能测出谱线中的精细结构；在高波段各类型样品的谱线基本相似，没有明显的差别。

迄今为止，我们还未见到国外用中子非弹性散射方法研究海水提铀吸附剂的报道。中子散射方法与红外吸收法有类似之处，然而对于研究海水提铀吸附剂来说，中子方法更具有独特的优越性。例如对水合氧化钛的研究，目前已有比较多的实验证据表明吸附剂含水量多，则吸附铀量就大，可见吸附剂的水含量和吸附铀的关系很大。而中子对含氢物质的

散射几率比其他物质(或元素)都大得多,因此有可能精细观察吸附剂中水的作用;同时中子不受光学选择定则的限制,测试样品与原样品完全相同,即克服了红外吸收法的缺点。另外,由于中子的穿透力很强,因而对表面效应和体效应都能充分地反映出来。当然中子非弹性散射法也有不足之处,例如测量时间比红外法长得多。

本文叙述了我们首次利用中子非弹性散射法对水合氧化钛在低波段(小于 ~ 1000 厘米 $^{-1}$)内谱线的测量结果。正如所料,在散射谱中吸附剂内水的动力学特性充分地显示出来了,并且还出现一些独特的结构。

二、测量结果和讨论

实验装置和测量方法已在文献[1]中详细描述。不同的是对铍过滤器有较大修改, $10 \times 1 \times 15$ 厘米 3 的铍块,共七片,中间夹厚0.1毫米的镅片,叠成 $10 \times 7 \times 15$ 厘米 3 的立方体,放在一个盛满液氮的冷冻装置内,铍块的温度通过热偶指示出。试验表明冷冻的铍块对能量 ≤ 5 毫电子伏中子的透射率比室温下的铍块提高两倍以上。待测的样品装在一个直径为7厘米的铝盒内,样品厚一般为3毫米。另一个相同大小的空心铝盒作为测量本底用。

样品的特性列于表1中。76-k_g-2和76-37两样品是由国家海洋局第三研究所提供的,制备方法有所不同,吸铀量也相差较大。765大样是上海671办公室提供的, I为原来的鲜样品, II为鲜样品在室内晾干后得到的,含水量由原来的57%降到21%, III为将鲜样品置于120°C炉内烘烤3小时后得到的,含水量降到 $\sim 4\%$ 。重水6为重水氧化钛(含水量60%),经红外灯烤至含水量(包括重、轻水)为30%后得到。

表1 样品的特性

样品名称	含水量, %	吸铀量, 微克/克吸附剂	制 备 原 料
76-k _g -2	43	470	TiSO ₄ , NaCl, NH ₄ OH
76-37	37	60	TiOSO ₄ , H ₂ O, NH ₄ OH
765 大样	I	767	TiCl ₄ , H ₂ O, NH ₄ OH
	II	—	同上
	III	—	同上
重水 6	30 (重水)*	—	TiCl ₄ , D ₂ O, NaOD

* 制备过程中可能部分重水被轻水取代。

几种样品中子散射谱的测量结果分别表示在图1和图2中。横坐标为中子能量转移 $\hbar\omega$ (\hbar 为普朗克常数, ω 为频率),纵坐标为散射中子强度的相对值,图中各曲线直接由实验点描出。散射强度未经监视器的效率校正。图中标出了一些特殊谱线的位置,其数据列于表2中。很明显,所有样品都存在80(或82)、60(或62)、22和8毫电子伏的散射峰,105(或106)毫电子伏散射峰除了765大样I和III未测出外也都存在。从文献[2]和[3]用中子非弹性散射方法分别对冰和普通水的测量结果表明,冰的散射峰处在105、78和26毫电子伏;水的散射峰处在60, 21, 8和5毫电子伏。这表明冰和水在低能区的主要散射

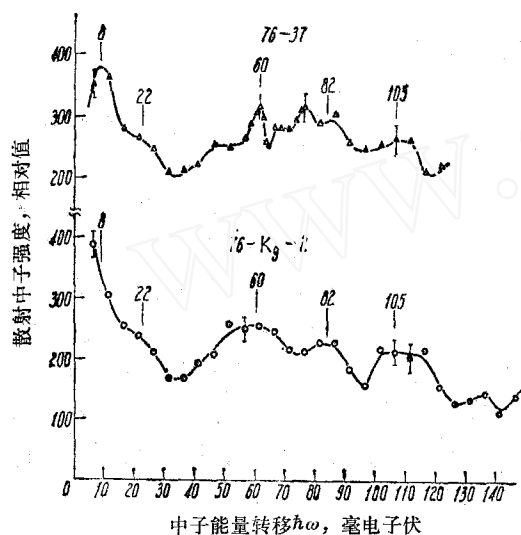


图 1 水合氧化钛的散射中子谱

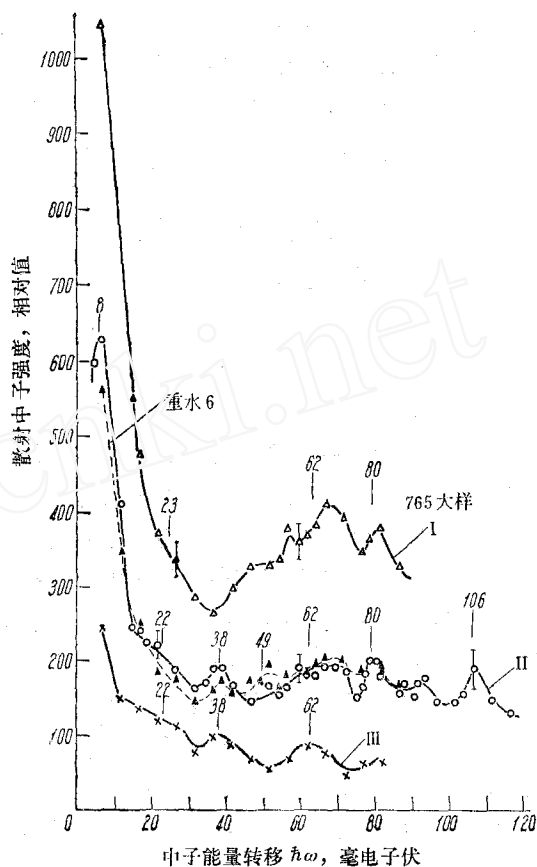


图 2 水合氧化钛的散射中子谱

表 2 几种样品中子散射峰的位置

样品名称	散射峰位置, 毫电子伏						
76-37	105	82	60			22	8
76-K _g -2	105	82	60			22	8
765 大样	I	80	62			23	8
	II	106	80	62	38	22	8
	III			62	38	22	8
重水 6			62	49	38	22	8

谱线包含在水合氧化钛的谱线中。以上事实说明, 在水合氧化钛中存在着普通水和类似冰的水。在讨论水合氧化钛的结构性能时我们称前者为吸附水, 后者为结合水。

从比较图 2 中 I、II 和 III 三条散射曲线在相同能量点的散射中子强度的相对比值, 发现随着 765 大样脱水越多, 属于普通水的旋转带 (~62 毫电子伏) 的强度比冰的旋转带 (~80 毫电子伏) 降得快, 换言之在水合氧化钛中吸附水比结合水更易解脱。由于水合氧化钛含水量在 ~70% 以下, 一般含水量多, 则吸铀量就越多, 表明脱水会减少吸铀量, 而脱水中更易脱出吸附水, 这充分说明水合氧化钛中的吸附水对吸铀能力起着相当

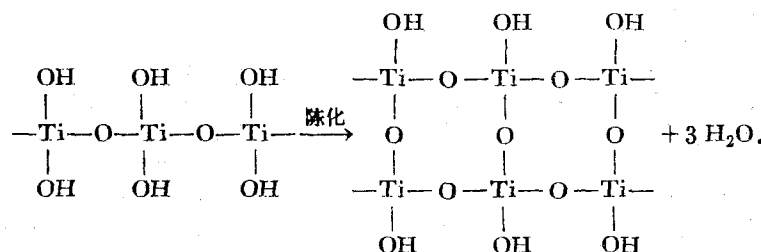
大的作用。

分析图 2 和表 2 谱线还会注意到, 765 大样 II、III 和重水 6 样品在 ~38 毫电子伏处都存在一个奇异的散射峰, 而 765 大样 I 不出现。目前我们还没有一个完满的解释, 然而我们可以设想在脱水一定程度后(例如含水量在 ~30% 以下)可能发生了某种结构变化。

另外, 对比图 2 中 765 大样 II 和重水 6 两种样品的散射曲线表明, 两种样品的散射强度和谱线位置接近相似, 即在重水 6 样品的散射峰中出现了普通水的峰, 这个事实说明在制做重水 6 样品过程中一定量的重水被普通水取代了。从重水 6 的散射曲线还可看到在 49 毫电子伏处存在一个散射峰, 尽管实验点的统计性不够好, 但在 49 毫电子伏处的实验点系统地比曲线 II 相应的点高。而此峰恰好是重水的转动能量位置, 这说明重水 6 样品中的确有相当多的重水, 这与用透射法估计出重水占 3/4(轻水占 1/4)的结果不相矛盾。

文献[4]对经空气干燥后的水合氧化钛(原文称氢氧化钛)进行了红外吸收测量, 在波数小于 1200 厘米⁻¹(相当于中子能量小于 150 毫电子伏)内, 只有一个宽而深的强吸收带。其他红外结果也基本如此, 未能在此区域内观察到谱线的复杂结构, 这充分说明中子非弹性散射方法有其独特的优越性。

国外对水合氧化钛的组成和结构作了较多的工作, 但结论很不一致。有的认为是氢氧化钛: Ti(OH)₄, TiO(OH)₂; 有的认为是水合氧化钛 TiO₂·xH₂O; 国家海洋局第三海洋研究所则认为是综合体 TiO(OH)₂·xH₂O。从我们以上的初步结果表明不可能是单纯的氢氧化钛, 必需包含着水。文献 [4] 提出一个较为典型的结构式, 认为生成物为氢氧化钛 TiO(OH)₂, 在沉淀过程中形成聚合物, 并在陈化过程中脱水, 即



如果脱出的水既可能是普通水的形式也可能以某种结合的形式存在, 那么与我们中子散射结果不相矛盾。当然要判断此种结构是否正确, 还必须有 Ti—O—Ti 键和金属—OH(羟基)键的证据。从目前已有的红外结果看来, Ti—O—Ti 键的吸收带未能具体地观察到, 而金属—OH 键的证据也不够充分。虽然波数在 1650, 3200~3400 厘米⁻¹ 处有吸收带存在, 但这恰巧是水分子的弯曲和伸张状态, 不能确证就是金属—OH 键的吸收带。文献[6]用红外吸收法对 TiO₂ 表面性能进行了较为仔细的观察, 并发现在 3600~3700 厘米⁻¹ 处有羟基存在的吸收带, 然而当样品含有一定量水后, 标记羟基的谱线就不明显了, 似乎被水的谱带所淹没。文献[7]直接对水合氧化钛进行了红外测量, 从谱形看出根本没有 3600~3700 厘米⁻¹ 的吸收带存在。因此, 要确切地判断水合氧化钛的组成结构和吸铀机理, 还需要进行必要的基础性的研究工作。从中子非弹性散射方法的角度看来, 有必要利用其特点证实与金属相连的羟基是否存在, 当然在低波段仔细观察 Ti—O—Ti 键的特征谱线也是必要的。

参 考 文 献

- [1] 阮景辉等, 高能物理与核物理, 2, 441(1978)。
- [2] A. D. B. Woods, et al., "Inelastic Scattering of Neutrons in Solids and Liquids," IAEA, Vienna, 1960, p. 487.
- [3] D. J. Hughes et al., *Phys. Rev.*, **119**, 872(1960)。
- [4] Т. Ф. Лимарь, *Ж.Н.Х.*, **45**, 2307(1969)。
- [5] 国家海洋局第三海洋研究所, 水合氧化钛的组成和性质, 内部资料, 1973。
- [6] M. Primet et al., *J. Phys. Chem.*, **75**, 1216(1971)。
P. Jacllson, *Trans. Farad. Soc.*, **67**, 2469(1971)。
- [7] 尾方昇, 井上信子, 日本海水学会志, **24**, 149(1971)。

三类有机闪烁屏 β/γ 比值测定

汲 长 松

一、引 言

在应用闪烁体探测弱 β 辐射的情况下, 为达到一定的精度, 要求闪烁体的本底计数尽可能小一些。有时也要求在存在较强 γ 干扰辐射场的条件下, 对 β 辐射进行测量。为了使此类测量在 γ 辐射本底统计涨落水平上足够准确, 要求闪烁体对 β 辐射的探测效率尽可能高一些, 而对 γ 辐射低一些。因而闪烁体 β/γ 比 (闪烁体 β 辐射探测效率与 γ 辐射探测效率之比) 成为表征闪烁体、特别是用于上述目的的闪烁体的重要核物理性能之一。

较高 β/γ 比值便于在 β 、 γ 辐射混合场中进行 β 辐射测量, 通过简单的脉冲幅度甄别, 即可去掉 γ 辐射干扰信号。这样, 在有些场合可以免去繁杂的符合-反符合测量, 而在另一些场合, 例如由于铀、镭矿中放射性衰变系列谱的复杂性, β - γ 甄别难以用符合-反符合方法实现, 这时使用高 β/γ 比的闪烁体测 β 的优越性就更为突出。

闪烁体较高的 β/γ 比值时必须对应于足够高的 β 辐射探测效率。一般说来, β 效率越低, β/γ 比越容易达到较高的数值。文献[1]中作为确定 β/γ 比标准的 β 效率定为 20%, 此时云母窗盖革-缪勒计数管的 β/γ 比最大值为 30 (^{90}Sr - ^{90}Y , ^{60}Co 源)^[2], 对同样的 β 、 γ 源, 热释光探测器为 40^[3], 薄层有机闪烁屏 β/γ 比约为 150^[4]。

本工作选用 β 效率为 40%, 以利于实际应用。本工作是对已定型的 ST-401, ST-402 和 ST-551 三类有机闪烁体^[5]的 β/γ 比进行绝对测定。

二、原 理

某一给定的核辐射探测器 (如闪烁体、计数管等) 的 β/γ 比是指在测量仪器参数 (光电倍增管高压, 放大器放大倍数, 分析器甄别阈值等) 不变的条件下, 该探测器对某种 β 辐射的探测效率“ β ”与其对 γ 辐射的探测效率“ γ ”之比, 即 $\eta = \frac{\beta}{\gamma}$ 。对于同一个探测器, β/γ 比随选用的 β 、 γ 射线的能量不同而不同。另外, 对于不同的 β 效率值, β/γ 比也不同。因此, 讨论某探测器的 β/γ 比时, 首先是对选定的 β 、 γ 源, 其次是对选定的某一 β 效率值