

共振中子全截面測量 (I)

氫、硼、銅、銀、鈔、鈾

楊 楨 巩 玲 辛 蔣 薇 生

本文闡述了对中国科学院原子能研究所迴旋加速器上的共振中子譜儀所作的改进。工作中改善了准直系統、屏蔽系統、時間分析器綫路, 安装了加速器离子清扫系統, 从而縮小了中子源的寬度, 降低了本底。在改善后的設備上进行了 H, B, Cu, Ag, Sm, U 等元素在 10—100 电子伏間的中子全截面測量。

关于在中国科学院原子能研究所 1.2 米迴旋加速器上进行的飞行時間法共振中子截面的研究工作, 以前已有过报导^[1,2]。本文是上述工作的繼續以及新得到的結果的第一部分。

儀 器 設 备

本工作所用的主要設備 (1.2 米迴旋加速器、128 道時間分析器、离子源調制器等) 在文献 [1—4] 中已有报导, 不再詳述。这里仅概括地介紹近几年来对比較重要的設備所作的改进。改进后的全部儀器布局示意图如图 1 所示。

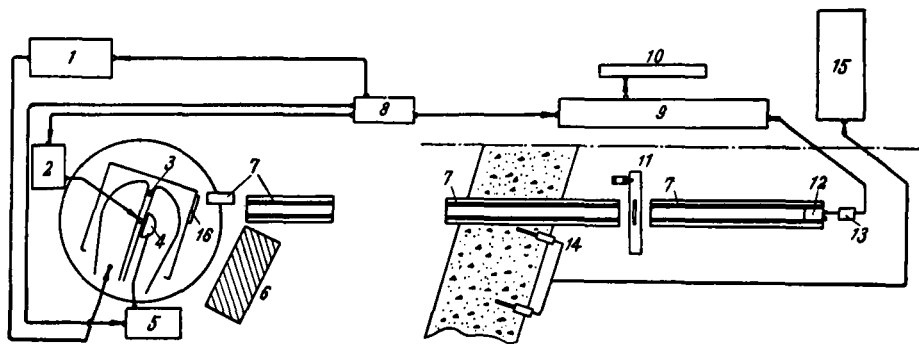


图 1 共振中子譜儀平面示意图

1—加速器高频发射机; 2—离子源調制器; 3—鈹靶; 4—清扫电极;
5—清扫系統电源; 6—磁軛; 7—准直器; 8—主調制器; 9—128道
時間分析器; 10—控制台; 11—換样品装置; 12—探测器; 13—前級
放大器; 14—監視器; 15—高压电源, 監視計數系統; 16—石蜡慢化板。

1. 中子源 在前期工作中, 曾发现由于加速器离子源条件不易控制, 使得中子閃发的寬度不够穩定, 形状也不够理想。这个缺点在离子束流較強时 (2—3 微安以上) 更为显著。后来的工作中又发现离子源在熄弧后仍有微量离子流泄出。因而在离子源关闭后約 100—200 微秒內, 仍有微弱的快中子流由鈹靶上产生。这部分快中子虽然不多, 但在准直器正对鈹靶时, 却可能造成相当大的本底。从文献中查到, 类似的問題在其他国家的同类設備上也出現过, 解决的方法各不相同, 主要是改变离子源条件^[5,6]。由于在加速器上还进行其他实验工作, 不能过多地改动离子源, 所以我們尝试了用电偏轉清除离子束的方法, 即在加速器正对离子源的 D 形盒

内小半径处安装一对半圆形的“清扫电极”(图1),用离子源起弧信号经过适当延时之后触发一个闸流管控制电路。在电极间加一个上升时间 ~ 0.2 微秒、幅度 ~ 4000 伏,以后按指数规律

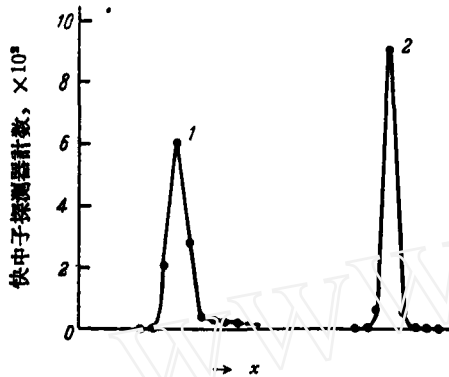


图2 离子束流为2微安时快中子闪发“三角”的形状
1——不加清扫系统; 2——加清扫系统。
(x方向每点代表2微秒间隔)

衰减的脉冲电压,将熄弧后所有进入D形盒的离子偏离轨道、清扫干净。经过试验证明,这种“清扫系统”能够很好地工作。图2是使用清扫系统前后测得的快中子闪发“三角”的形状。由图可以看出,用清扫系统后大大地改善了快中子闪发的半宽度,消除了所有的延时快中子,对提高分辨率、减小本底起了很好的作用。

2. 准直系统 原来的几何条件是,铍靶、石蜡慢化板、中子飞行孔道三者位于一直线上。这样由铍靶上产生的快中子有相当大的部分穿过石蜡板直接射入飞行孔道到达探测器,因而增加了本底计数。在离子源有泄漏而形成快中子“尾巴”时影响更甚。这种几何条件在某些加速器(例如电子直线加速器)上是不可避免的。但在我们的系统上,由于石蜡慢化板和铍靶间有

约80厘米的距离,避免这部分本底是可能的。为此,将准直飞行管道以石蜡板为中心沿原来方向转过约 17° 角。计算表明,这样的偏角已能使管道内壁的大部分避开从靶上来的快中子的照射,使探测器完全不受快中子的照射。改变了准直器方向之后,用锰样品及石蜡板对准直器各部分的屏蔽效率进行了测量。然后根据屏蔽效率测量结果改进了管道前端的屏蔽材料和几何条件,重新测定了系统的各种本底。

3. 时间分析器及其他辅助线路 为了提高128道时间分析器的工作稳定性,几年来在运行中对分析器各部分线路都作了一些改进。工作中改善了供电电压的稳定度,调整了全部灯丝电压及一部分稳压电源,提高了某些线路输出脉冲幅度,减小上升时间(如第一次符合输出,定相的输入等)。对离子源调制器的成形和输出级线路也作了改进,保证整个系统的电子学部分能够在长时期的连续测量中稳定可靠地工作。

此外,为了提高计数率,将原来作为主探测器的60支天然硼正比计数管全部换为浓缩硼(80% B^{10} , 600毫米汞柱)正比计数管。

仪器性能

1. 分辨率 改进后,有关分辨率的参数如下:

中子源宽度 使用弱束流(约2微安)测量共振参数时,中子源半宽度约1.5微秒,用较强的束流(≥ 3 微安)进行较低分辨率测量时,中子源半宽度约2—3微秒。

飞行距离 测得自石蜡板面至 BF_3 正比计数管灵敏区中心的距离为10.68米。为校正石蜡板上中子起点,用Mn(337电子伏)及Co(132电子伏)共振峰间的时间间隔进行了推算,结果与上述数据符合。

BF_3 正比计数管阴极直径2厘米,计算得到的响应时间涨落约为 ± 0.5 微秒。

分析器道宽由石英晶体振荡器控制,宽度2微秒。由于加速器加速电压变动、起始信号前沿变化等引入的时间不确定性约 ± 0.1 微秒。

由上述几个参数算得的总分辨率为0.22微秒/米。

2. 本底 除了以前已经测定过的准直管外逸入本底以及重迭本底外,这次特别测定了非预定时间本底,它来自准直器前端引起的快中子散射及准直器内壁散射。以前没有测过这部

分本底, 仅作了估计。后来发现它是不可忽略的, 特别是在高能部分。为减低这部分本底改动了离子源及准直器, 已如前述。现在用测量锰 (337 电子伏)、钴 (132 电子伏)、钨 (21.2 电子伏)、银 (5.2 电子伏) 四种厚样品共振峰的透射率方法定出了中子能量在 5—300 电子伏间的本底, 结果见图 3。经校正后得出, 本底计数在 10 电子伏以下约占总计数的 4%, 在 100 电子伏处约占 10%, 并逐渐向高能方向增大。(注意图 3 中在 5 千电子伏的共振峰还能辨出)。

测量及结果

1. 氧 氧的全截面在理论和实际应用上都有一定的意义。在 10—100 电子伏的中子能量区间, 目前采用的数值^[7]还是哥伦比亚大学 1949 年的测定值。在其他资料 (如反应堆手册等) 中虽也列有数值, 但不是取自文献^[7], 就是没有说明数据来源。我们采用蒸馏水作样品, 直接测定了在这一能区的截面值, 其中氧的截面根据文献^[7]的数值作了校正。测得的结果如图 4 所示。在 10—100 电子伏间的全截面值为 21.1 ± 1 靶, 略高于文献^[7]的值。沿高能方向截面逐渐下降, 与文献^[7]相同。

2. 硼 硼的截面常取作标准量, 应用也很广。对 B^{10} 的热能标准截面曾进行过多次的精密测定^[8,9]。但对天然硼在 10—100 电子伏间的数值, 直到目前仅有洛斯阿拉摩斯实验室 1949 年的数据^[7], 而且显著偏低。另一方面, 由于硼截面的变化很好地服从 $1/v$ 规律, 对谱仪本底也是一个良好的校验样品。为此, 我们选 B_4C 作样品, 选测了硼在 10—100 电子伏间的中子全截面。碳的截面用文献^[7]的值作了校正, 测得的结果如图 5 所示。截面变化很好地服从 $1/v$ 规律。从 10 电子伏的值 (40 靶) 逐渐下降到 100 电子伏的值 (~ 14.5

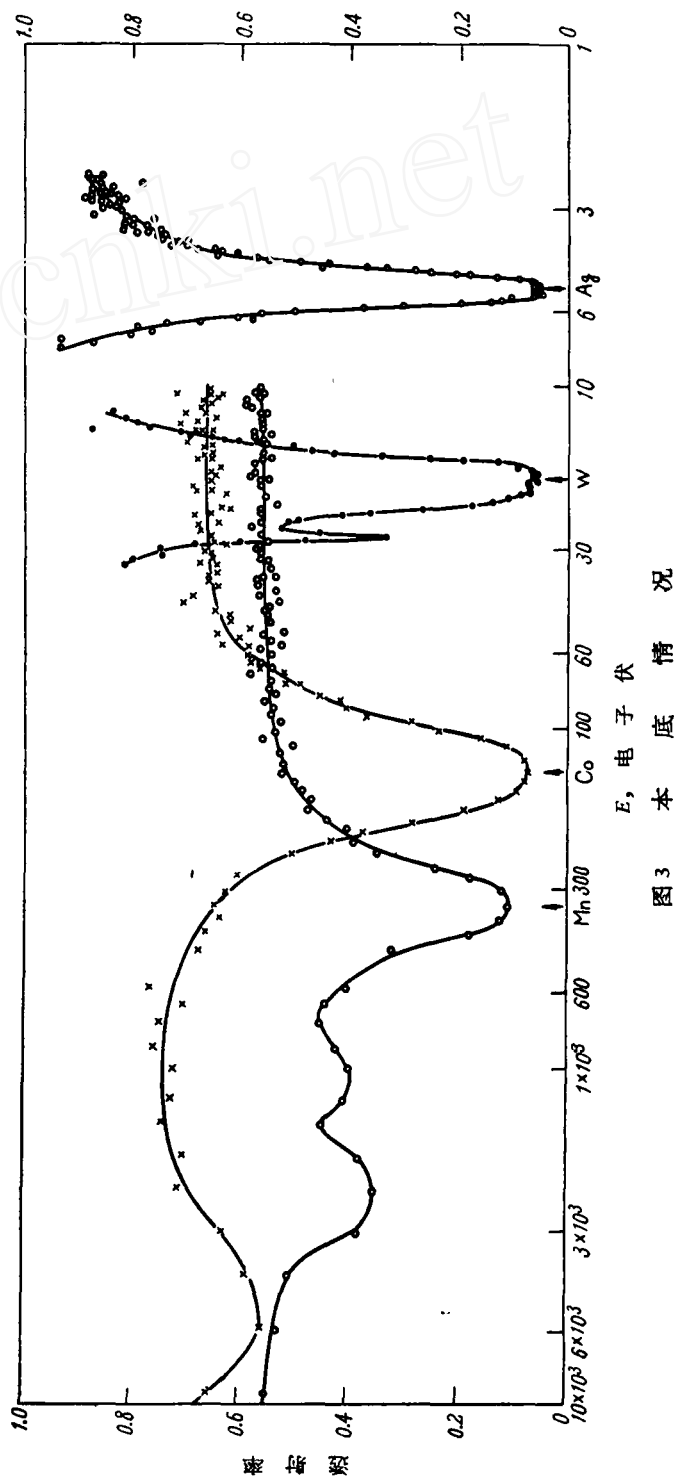


图 3 E, 电子伏 本底情况

靶),我們的数值較洛斯阿拉摩斯实验室的值高4靶,但比根据近几年测定的热能(0.0253电子伏)标准值推算的数值約低2靶,原因可能是样品中含有一定量的游离碳,尚待测定。

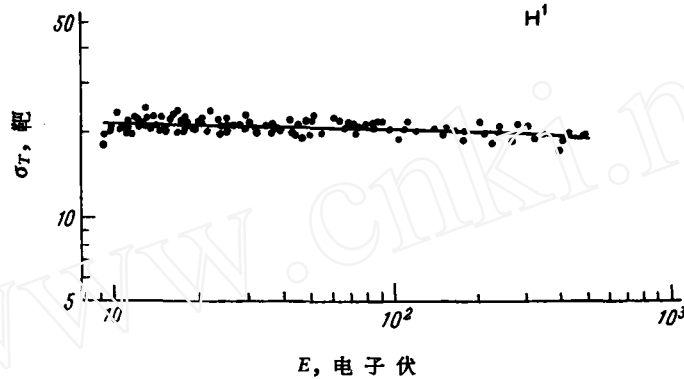


图4 氢的全截面

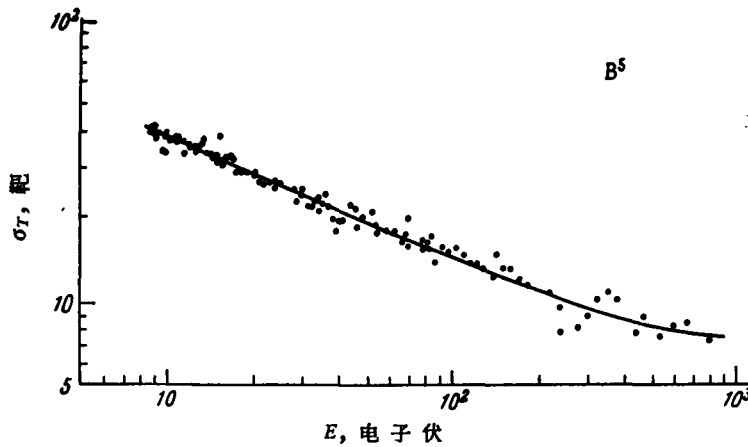


图5 硼的全截面

3. 銅 銅被选作样品,主要基于以下两点考虑:(1)在所有其他沒有共振结构的样品中,都要作样品容器、样品化合物(如氢中的氧、硼中的碳)、样品均匀度和純度的校正,其中有些因素較难确定,銅的純度、均匀度很易保証,又沒有化合物和容器的校正;

(2)銅的截面有比較新而且多的測量数据(最近是1958年的数据見文献[7])結果比較精确,因而我們把它作为一种标准的、无共振结构的样品来測量,以便校驗結果。測量結果如图6所示。全截面在10—100电子伏間的平均值为 7.6 ± 0.38 靶,在220电子伏处的数值为 6.5 ± 0.4 靶,与其他实验室的結果一致。

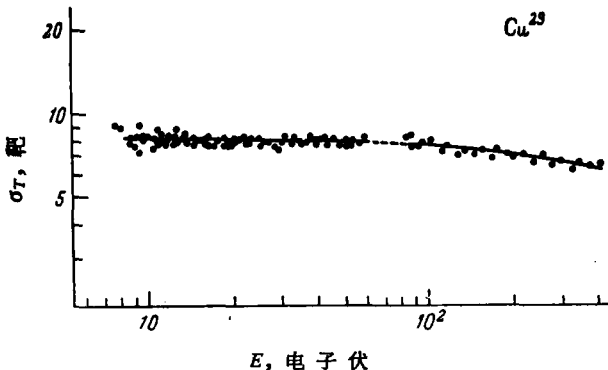


图6 銅的全截面

4. 鈾 鈾属于具有較大的热中子吸收截面的希土元素,能級比較密集。由于样品限制,我們只作了单一样品的相

对测量。目的在于检验仪器的分辨能力。测量能区为2—100电子伏。结果如图7所示,在3.4, 5.1, 6.5, 8, 11.8, 15, 17.5, 18.5, 20.8、23电子伏附近有可以分辨的单个共振峰。再以上有多个混合起来的共振峰群,峰的位置与文献[7]一致。对5电子伏的峰进行了粗略的参数分析,结果也与文献[7]的数值相近。由于样品中的杂质(主要是水分)不易确定,没有进行更多的定量测定。并把根据测量结果求出的截面表示为 $\sigma_T + C$ (见图7)。其中 σ_T 表Sm的全截面;C表示因样品存在杂质而产生的截面测量值的漂移部分。

5. 铈 由于铈具有较易分辨的共振峰,样品纯度及厚度均匀性等都易于保证,一直被各个实验室作为检验仪器的标准样品,它的能级参数也定得较准。以前,我们曾用铈作样品,测过5电子伏的共振峰及其参数^[1],现在我们仍用它来进行校验。除了5电子伏的峰以外,着重校验能量更高的几个能级参数。在以前由于本底较大,不能分析这些峰。

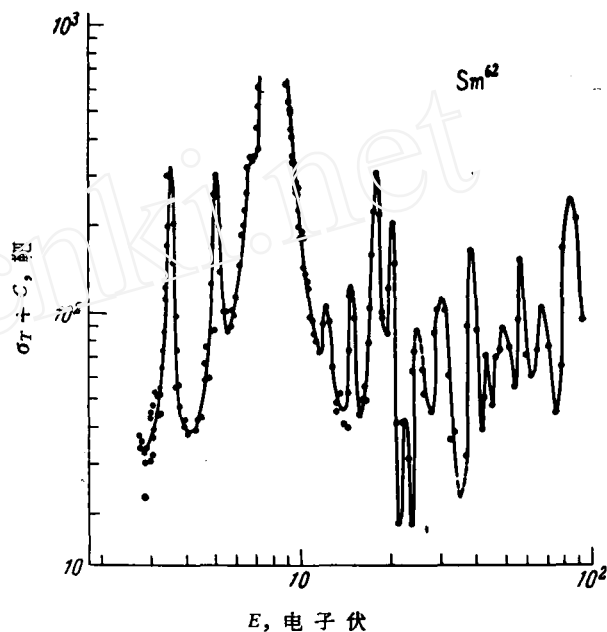


图7 钐的全截面

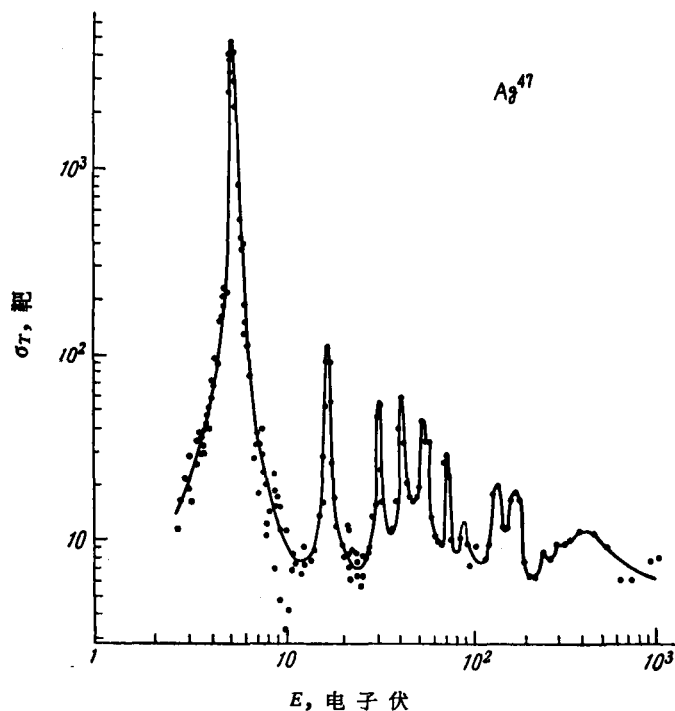


图8 银的全截面

测量时选用了五种不同厚度的样品,对5.22, 16.6及31电子伏的三个共振峰作了参数分析。对5.2及16.6电子伏的两个共振峰采用了休斯(D. J. Hughes)的快速面积法^[10],各用三种不同厚度的样品进行了分析,另外也用厚薄样品交叉法^[11]进行了校验,结果完全一致。对30电子伏的共振峰,由于薄样品的统计误差较大,只采用了单一样品法^[10]计算参数;能级全宽度 Γ 值取为 149 ± 13 毫伏^[12]。测定的各个能级参数及样品情况见表1。得到的截面曲线见图8。除表1中三个能级之外,在41, 50—60, 71, 88, 135及170电子伏处还观察到单个或多个共振峰。由于分辨率及统计精确度不足,对这些能级没有进行分析。

6. 铀 以天然铀为样品,取两种厚度测定了铀在3—200电子伏间的全截面。并对6.7, 21.3, 37.5电子伏的三个共振峰,采

用单一样品逐次渐近法^[10]进行了分析, 辐射半宽度 Γ_γ 取自文献[13]。得到的参数见表2, 测出的截面曲线见图9。除以上三个共振峰外, 在66, 80及100电子伏附近还能观察到单个或多个共振。

表1 银的共振能级参数

能量, 电子伏	同位素	样品厚度, 原子/厘米 ²	面积, 电子伏	Γ , 毫伏	σ_0 , 千靶	$g\Gamma_n$, 毫伏	$\sigma_0\Gamma_n$, 靶·伏 ²
5.22 ± 0.04	Ag ¹⁰⁹	7.06×10^{20}	0.314 ± 0.01	145 ± 10	26.5 ± 3	8.4 ± 0.6	
		1.32×10^{21}	1.61 ± 0.013				
		2.11×10^{21}	2.03 ± 0.012				
16.6 ± 0.15	Ag ¹⁰⁷	8.32×10^{20}	0.382 ± 0.027	140 ± 10	2.9 ± 0.4	2.6 ± 0.3	
		1.38×10^{21}	0.535 ± 0.025				
		6.1×10^{21}	1.11 ± 0.064				
31 ± 0.5	Ag ¹⁰⁹	5.8×10^{21}	1.14 ± 0.06	$149 \pm 13^*$		4.5 ± 0.52	56 ± 4

* 取自文献[13]

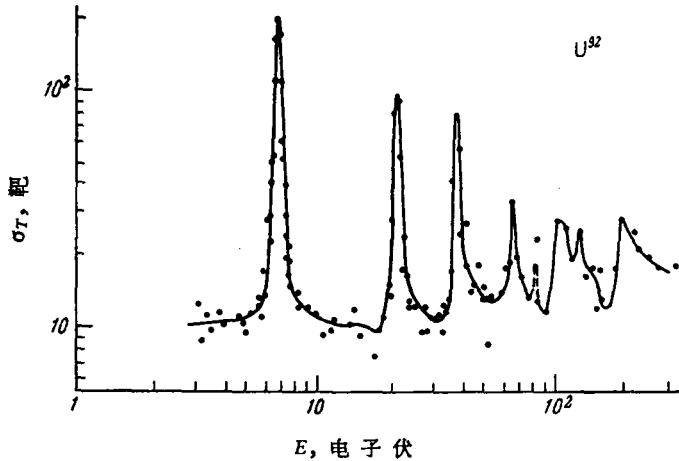


图9 铀的全截面

表2 铀的共振能级参数

能量, 电子伏	样品厚度, 原子数/厘米 ²	面积, 电子伏	σ_0 , 千靶	Γ_n , 毫伏	Γ_γ , 毫伏	Γ , 毫伏
6.7 ± 0.1	9.30×10^{21}	0.632 ± 0.050	18.8 ± 3.9	1.3 ± 0.2	$25 \pm 2^*$	26.3 ± 2.2
21.3 ± 0.3	9.30×10^{21}	0.893 ± 0.110	29.0 ± 7.9	7.4 ± 1.4	$25 \pm 2^*$	32.4 ± 2.1
37.5 ± 0.6	9.30×10^{21}	1.85 ± 0.26	38.9 ± 6.7	32.9 ± 6.9	26 ± 4	

* 取自[13]的值

结 论

从以上结果可以看出, 谱仪经过改进后, 测量的能量范围较以前有较大的提高, 基本上能满足在10—100电子伏间测定多数样品的要求。从测定的结果来看, 大多数数据的精确度与国外实验数据可以相比, 数值基本符合, 但也有某些(如H, U等)数值有略大于误差范围的歧离, 这点值得进一步研究。另外, 在改善设备方面, 特别是减小100电子伏以上的中子本底,

精确地确定低能部分的本底以及提高分辨率方面还可以做不少工作,以便更大地提高测量精确度。

迴旋加速器全体工作人员积极配合我们及时地完成测量工作,作者谨在此致谢。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院原子能研究所,原子能科学技术, **1**, 15 (1960).
- [2] 叶春堂、牛世文、王大梅,原子能科学技术, **3**, 141 (1961).
- [3] 申青麟、蒋蕊生、顾以藩,物理学报, **16**, 94 (1960).
- [4] 中国科学院原子能研究所,原子能科学技术, **2**, 63 (1959).
- [5] W. W. Havens, I. J. Rainwater et al., *Phys. Rev.*, **83**, 1123 (1951).
- [6] James E. Draper, *R. S. I.*, **29**, 137 (1958).
- [7] Neutron Cross Sections, BNL-325 (1958); Supplement No. 1 to BNL-325, 2nd ed., 1960.
- [8] 袁汉鏞、周菊英,原子能科学技术, **3**, 127 (1964).
- [9] A. Prosdocimi, A. J. Deruyter, *Reactor Science and tech.*, **17**, 83 (1963).
- [10] D. J. Hughes, *J. Nuclear Energy*, **1**, 237 (1955).
- [11] Seidl, Hughes et al., *Phys. Rev.*, **95**, 476 (1954).
- [12] E. R. Rae et al., *Nucl. Physics*, **5**, 89 (1958).
- [13] I. L. Rosen et al., *Phys. Rev.*, **118**, 687 (1960).

(编辑部收稿日期 1964年4月30日)