

7—5 MeV/A 的 ^{14}N 在 ^{59}Co 和 ^{51}V 靶上的 弹性散射的研究

沈文庆 诸永泰 张玉虎 詹文龙 乔卫民
张震 郭恩九 尹淑芝 范国英 苗合宾

(中国科学院近代物理研究所)

郑志豪

(兰州大学现代物理系)

摘 要

用半导体探测器测量了 7—5 MeV/A 的 ^{14}N 在 ^{59}Co 和 ^{51}V 靶上的弹性散射能谱和角分布。定出了靶中重元素沾污的种类和绝对量。用广义菲涅耳模型拟合了弹散角分布,讨论了从拟合弹散角分布提取准弹截面的可能性。

重离子弹性散射是研究原子核表面性质的重要方法之一。通过光学模型拟合弹散角分布得到的光学势相互作用半径、核表面弥散度、擦边角动量、全反应截面等资料是研究其它更为复杂的反应过程的基础。同时也发展了各种半经典模型。例如用广义菲涅耳模型^[1-3]拟合弹散角分布,从而导出上述各量。半经典模型一般较为简单,能大大节省计算机时间,而且物理概念清楚,在一定条件下可得到和光学模型拟合相近的结果^[4]。广义菲涅耳模型拟合弹散角分布可定出擦边角动量 $l_g = \Lambda - 1/2$ 和角动量的弥散度 Δ 。截止模型可以把准弹截面和反应截面的比和 Δ/Λ 联系起来。J. C. Acquadro 等^[5]分析了 ^{16}O 轰击 ^{27}Al 的实验数据,得出在一定误差范围内 σ_{QE}/σ_R 不随轰击能的变化而变化的结论。因此深入研究半经典模型适用的条件,用广义菲涅耳模型拟合弹散角分布导出的 Δ/Λ 随轰击能变化是否恒定以及是否可导出准弹截面等是有意义的。另外根据二体运动学原理可确定重元素沾污,这种方法对用轻元素靶进行其它核反应研究是有用的。

实验是用近物所 1.5 米迴旋加速器给出的 97 MeV ^{14}N 束进行的。经过光栏系统在靶上得到直径为 3 mm, 流强约为 50 nA 的束流。用半导体探测器测弹散,用多道分析器分析,采用 Thc-c'/ α 源和弹散峰位进行能量刻度。总的能量分辨略小于 1%, 探测器转动角度误差小于 0.5°, 用铝降能片降能,得到不同的轰击能量。实验测了 95.2、88.4、81.0、71.6 MeV $^{14}\text{N} + ^{59}\text{Co}$ 和 94.7、87.8、80.4、71.1 MeV $^{14}\text{N} + ^{51}\text{V}$ 的弹散能谱和角分布,实验覆盖角度大致为 10°—45°。 ^{59}Co 靶是用真空蒸发得到的,厚度为 550 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$; ^{51}V 是用压延法制得的,厚度为 963 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。两种靶中均有少量重元素的沾污。从测到的沾污重元素

的弹散峰位随角度的变化规律和假定各种沾污重元素质量数下进行的二体运动学计算结果比较, 定出沾污重元素质量数的大致范围. 从轻元素靶厚及靶与沾污元素弹散计数的相对比例, 定出沾污重元素在靶中的绝对含量. 分析结果表明, ^{59}Co 中有 $A = 160 \pm 10$, $t_x = 4 \pm 0.5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, ^{51}V 靶中 $A = 160 \pm 10$, $t_x = 3 \pm 0.6 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 及 $A = 85 \pm 10$, $t_x = 5 \pm 1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 的重元素沾污. 这种方法对分析轻元素靶中重元素的沾污是有意义的.

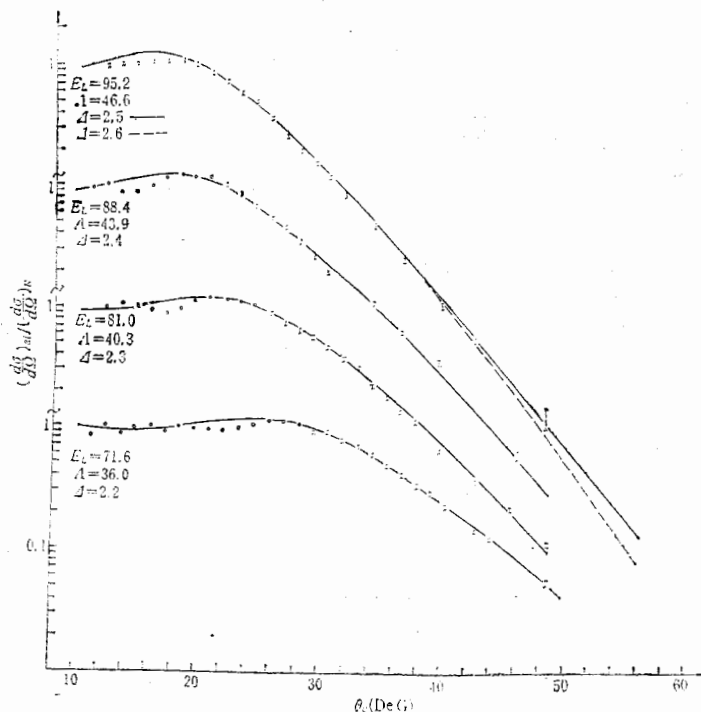


图 1 $^{14}\text{N} + ^{59}\text{Co}$ 弹散角分布. 图中实线是非涅耳模型拟合的结果, 误差棒仅包括统计误差

图 1 和图 2 分别显示了四个轰击能量下, $^{14}\text{N} + ^{51}\text{V}$ 和 $^{14}\text{N} + ^{59}\text{Co}$ 弹性散射角分布. 由于没有进行粒子鉴别, 能量分辨也不高, 测量可能不是纯弹性散射, 而是包括了部份非弹性散射甚至转移反应的混合测量, 故此弹散确切地说应是高能群^[9]. 但早期的重离子实验中, 把这种测量称为弹性散射, 因而本文中还用弹散这个定义. 图中仅标出统计误差. 实际上, 在很小角度处由于角度测量不准, 很大角度处由于用高斯拟合取出弹散峰都会引进误差, 估计误差在 10% 之内. 数据用小角度处的检验器计数作相对归一, 并对实验室 10° 附近的角度的数据用卢瑟福截面作绝对归一. 图中实线是广义菲涅耳模型拟合的结果, 计算是在 *DJS-6* 机上进行的, 用 χ^2 作判据调节参数 Λ 和 Δ , 得到最佳拟合. 拟合数据导出的 Λ 、 Δ 及反应截面和用 1/4 点模型导出的擦边角动量及反应截面都列在表 1 中, 根据文献 [1] 导出的相互作用半径 R_{int} 和半径模糊度 d 也列在表 1 中.

$$KR_{\text{int}} = (\Lambda^2 + n^2)^{1/2} + n, \quad Kd = \frac{\Delta}{[1 + (n/\Delta)^2]^{1/2}}$$

上述公式中的 n 是索末菲参数. 必须强调的是广义菲涅耳模型是用反射系数参数

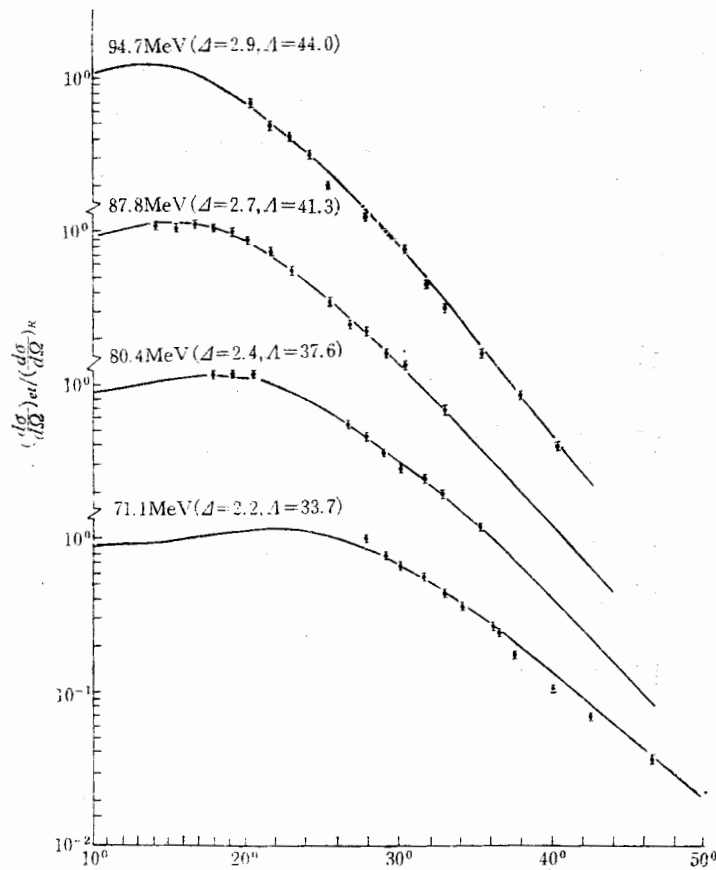
图2 $^{14}\text{N} + ^{51}\text{V}$ 弹散角分布 (说明同图1)

表1 由弹散角分布用广义菲涅耳模型拟合导出的参数

| 系统 | 反应能量 (MeV) | $l_e = A - 0.5$ | Δ | σ_R (mb) | $2\Delta/A$ | σ_{QE} (mb) | R_{int} (fm) | d (fm) |
|----------------------------------|---------------|-----------------|----------|-----------------|-------------|--------------------|----------------|----------|
| $^{14}\text{N} + ^{59}\text{Co}$ | 95.2 | 46.1 | 2.6 | 1830 | 0.107 | 207 | 9.203 | 0.376 |
| $^{14}\text{N} + ^{59}\text{Co}$ | 88.4 | 43.4 | 2.4 | 1752 | 0.109 | 198 | 9.216 | 0.372 |
| $^{14}\text{N} + ^{59}\text{Co}$ | 81.0 | 39.8 | 2.3 | 1620 | 0.114 | 183 | 9.16 | 0.369 |
| $^{14}\text{N} + ^{59}\text{Co}$ | 71.6 | 35.5 | 2.2 | 1475 | 0.122 | 167 | 9.20 | 0.369 |
| $^{14}\text{N} + ^{51}\text{V}$ | 94.7 | 43.5 | 2.9 | 1794 | 0.1318 | 233 | 8.77 | 0.45 |
| $^{14}\text{N} + ^{51}\text{V}$ | 87.8 | 40.8 | 2.7 | 1695 | 0.1308 | 220 | 8.75 | 0.44 |
| $^{14}\text{N} + ^{51}\text{V}$ | 80.4 | 37.1 | 2.4 | 1521 | 0.1276 | 198 | 8.622 | 0.38 |
| $^{14}\text{N} + ^{51}\text{V}$ | 71.1 | 33.2 | 2.2 | 1394 | 0.1306 | 181 | 8.64 | 0.38 |

化, $\eta(\lambda) = \left[1 + \exp\left(\frac{\lambda - A}{\Delta}\right) \right]^{-1}$ 导出的 [1], 为了和基于 W - S 型光学势的光学模型比较, 应该用 $\eta(\lambda) = \exp\left[-\exp\left(\frac{\lambda - A}{\Delta}\right)\right]$, 对反射系数参数化, 其中 $\tilde{\Delta} = \frac{4}{e} \Delta = 1.47\Delta$ [6], 因此 R_{int} 和 $1.47d$ 才可以和光学模型导出的 R_{int} 及模糊度 a 相比较.

准弹发生在核的表面区, 在 l 空间中, 可用擦边角动量 $l_g = A - 0.5$ 和角动量弥散度 Δ 来表征。根据锐切断模型:

$$\sigma_{QE} = \pi k^2 \sum_{l=l_g-\Delta}^{l_g} (2l+1) \doteq \pi k^2 2\Delta A,$$

$$\sigma_R = \pi k^2 \sum_{l=0}^{l_g} (2l+1) \doteq \pi k^2 A^2,$$

因此可导出:

$$\frac{\sigma_{QR}}{\sigma_R} = 2 \frac{\Delta}{A}.$$

J. C. Acquadro 等^[5]分析了几种轰击能下 $^{16}\text{O} + ^{27}\text{Al}$ 的实验准弹数据的截面和反应截面, 发现 σ_{QR}/σ_R 为 0.113, 不随轰击能而变。我们在 80.6MeV $^{16}\text{O} + ^{27}\text{Al}$ 出射的类弹产物测量中^[6]用广义菲涅耳模型拟合弹散角分布, 导出 $\sigma_{QR}/\sigma_R = 2\Delta/A = 0.131$ 。用广义菲涅耳模型拟合了 72.5MeV, 70.1MeV $^{12}\text{C} + ^{209}\text{Bi}$ 实验弹散角分布, 导出 $\sigma_{QR}/\sigma_R = 2\Delta/A$ 分别为 0.112 和 0.13。因此深入研究用广义菲涅耳模型拟合弹散角分布导出 $2\Delta/A$ 是否随轰击能而变, 或者通过和实验准弹截面比较 σ_{QR}/σ_R 是否随轰击能而变是必要的。拟合四个轰击能量的 $^{14}\text{N} + ^{59}\text{Co}$ 和 ^{51}V 弹散角分布导出的 $2\Delta/A$ 及从 $\sigma_{QR} = \overline{2\Delta/A} \cdot \sigma_R$ 导出的准弹截面列在表 1。图 3 显示了拟合弹散角分布导出的 $2\Delta/A$ 随轰击能的变化, 图中实线是 $2\Delta/A$ 的平均值 $\overline{2\Delta/A}$ 。

从广义菲涅耳角分布的结果来看, 拟合质量是不错的。对 $^{12}\text{C} + ^{209}\text{Bi}$ 在菲涅耳衍射强的大角度区做了光学模型和广义菲涅耳模型的拟合^[7], 二者的拟合质量是差不多的。对 $^{14}\text{N} + ^{59}\text{Co}$, ^{51}V 的广义菲涅耳模型拟合发现对参数 A 很灵敏, 但在我们测量的角区对参数 Δ 是不太灵敏的, 在拟合更大角度范围的弹散角分布时, 参数 Δ 才比较灵敏 (图 1)。这是容易理解的, 由擦边角附近的实验弹散角分布可以定出实验擦边角, 从而定出擦边角动量 A , 而要定准角动量弥散度就要考虑吸收和弹散的整个竞争过程, 就需要更大角度范围的弹散数据。拟合 7—5MeV/A $^{14}\text{N} + ^{59}\text{Co}$, ^{51}V 的弹散数据的角分布, 导出的 $2\Delta/A$ 在 $\pm 10\%$ 内是恒定的: 对 $^{14}\text{N} + ^{59}\text{Co}$ 为 0.113, 对 $^{14}\text{N} + ^{51}\text{V}$ 为 0.130。从 $\sigma_{QR} = \overline{2\Delta/A} \cdot \sigma_R$ 导出的准弹性反应与相同轰击能区内反应截面激发函数有相同形状, 但不能

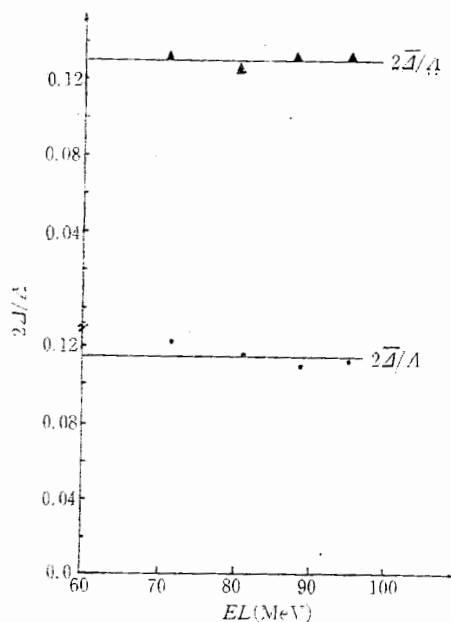


图 3 拟合弹散角分布导出的 $2\Delta/A$ 随轰击能量的变化。图中实线是 $2\Delta/A$ 的平均值

● $^{14}\text{N} + ^{59}\text{Co}$, △ $^{14}\text{N} + ^{51}\text{V}$

从拟合弹散角分布导出其绝对位置。根据锐截断模型导出的绝对准弹截面有一定的参考价值,但还需要测量准弹截面后,才能得出更确切的结论。这方面的深入研究是必要的,特别是对轻系统存在深部非弹反应时,由于准弹和深部非弹很难区分,因此实验只能测出非弹反应截面 σ_{il} , 很难导出准弹和深部非弹截面。但如果 σ_{QR}/σ_R 不随轰击能而变,就可以从拟合弹散角分布导出 Δ/Λ 及 σ_R , 再根据低轰击能没有深部非弹时实验测出的准弹截面导出 σ_{QR}/σ_R , 从而可得到其它轰击能时,特别是存在深部非弹反应时的准弹截面,从 $\sigma_{DIC} = \sigma_{il} - \sigma_{QE}$ 导出深部非弹截面。

参 考 文 献

- [1] W. E. Frahn et al., *Nucl. Phys.*, **A302** (1978), 267.
- [2] W. E. Frahn et al., *Nucl. Phys.*, **75** (1966), 577.
- [3] W. E. Frahn et al., *Phys. Rev.*, **37C** (1978), 1.
- [4] J. Kuzminski et al., *Proceedings of Int. Conf. on Nuclear Phys.*, Berkeley, (1980), 416.
- [5] J. C. Acquadro et al., *Phys. Lett.*, **100B** (1981), 381.
- [6] 沈文庆等, *高能物理与核物理*, **9** (1985), 332
- [7] 詹文龙等, 近物所内部资料.
- [8] W. E. Frahn et al., *Nucl. Phys.*, **A302** (1978), 281.
- [9] 姜承烈等, *原子核物理*, Vol. 5(1983), 150.

RESEARCH OF THE ELASTIC SCATTERING INDUCED BY 7—5 MEV/A ^{14}N ON ^{59}Co AND ^{51}V

SHEN WEN-QING ZHU YONG-TAI ZHANG YU-HU ZHAN WEN-LONG QIAO WEI-MIN
ZHANG ZHEN WU EN-CHIU YEN SHU-ZHI FAN GUO-YING MIAO HE-BIN

(Institute of Modern Physics, Academia Sinica)

ZHENG ZHI-HAO
(Lanchou University)

ABSTRACT

The energy spectra and angular distributions induced by 7—5 MeV/A ^{14}N on ^{59}Co and ^{51}V are measured by using semiconductor detector. The atomic numbers and quantities of the contamination heavy element are determined. The angular distributions of the elastic scattering are fitted by using General Fresnel model. The possibility of extracting the quasi-elastic cross section from the fitting procedure is discussed.