

E大气
与一
18的
pt)≈
加速
有见
物相
用以
程度,
集中,
TeV.
多,这

用卢瑟福背散射方法研究陨石中的超重核块

刘世杰 谢葆珍 吴越 唐孝威

(中国科学院高能物理研究所, 北京)

摘 要

用卢瑟福背散射方法研究了不同陨石中的超重核块。实验结果表明,在这些陨石样品中,具有 $Z \approx 100$, $A \approx 1000$ 的超重核块的相对浓度上限为 2ppm。

在理论上已经提出很多关于在大块物质中存在着超重稳定粒子^[1]或超重稳定核物质^[2]的模型,其中一个例子是最近由 DeRujula 和 Glashow 讨论的核块(nuclearites)或夸克块(quark nuggets)^[3,4]。按照 Witten 最初的想法^[5],核块是一种新形式的核物质,它是由 u、d 和 s 夸克以几乎相等比例的集合体构成的,而且对于几乎任何重子数 A 都可能是稳定的。这些核块被认为是宇宙中暗物质(dark mass)的组成物。超重宇宙核块可能停止在地壳或陨石中,并积累在那里。在实验中探测这种核物质是有重要意义的。

我们用卢瑟福背散射方法^[6,7]研究了陨石中超重核块存在的可能性。如果入射粒子的质量为 m , 能量为 E_0 , 被质量为 $M (M \gg m)$ 的核块散射,则在 180° 方向上散射的粒子能量为 $E = \left(\frac{M-m}{M+m}\right)^2 E_0$ 。对于 $E_0 = 2.30\text{MeV}$ 的 He 离子 ($m = 4$), 被最重的普通核 ($M = 238$) 散射的最大能量 $E_M = 2.15\text{MeV}$ 。He 离子被超重核块散射时,将有 $E > E_M$, 例如,如果 $A = 10^3$ 则 $E = 2.28\text{MeV}$ 。半导体探测器的能量分辨率允许我们能够发现在背散射的 He 离子能谱中,在 $E_M - E_0$ 之间的高能量范围内,由于超重核块散射所形成的峰。

实验安排如图 1 所示。由 $2 \times 1\text{MV}$ 串列式静电加速器产生的 2.30MeV $^4\text{He}^{++}$ 离子束经准直后沿着垂直方向照射到陨石样品上。样品上的束流直径约为 1.2mm , 束流强度为 $5-10\text{nA}$ 。为了准确地测量样品上的积分电荷数,在样品周围加二次电子抑制电极。实验中每块样品的积分电荷数均为 $10\mu\text{C}$ 。灵敏面积为 25mm^2 的金硅面垒探测器安置在与束流成 165° 角的方向上。探测器与样品之间距离为 10cm 。对于 2.30MeV 的 He 离子,探测器的能量分辨率为 $\text{FWHM} = 18\text{keV}$ 。探测器讯号放大后用 Canberra S-85 多道分析器分析。

被研究的陨石样品为吉林、肇东、莒南和 Murchison 陨石,它们的年龄约为 4.6×10^9

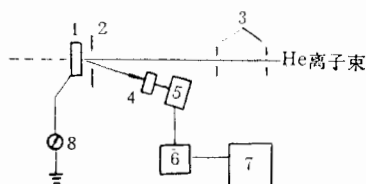


图1 He 离子束背散射实验示意图

1: 样品 2: 二次电子抑制电极 3: 准直器 4: 探测器 5: 前置放大器 6: 放大器
7: 多道分析器 8: 束流积分仪

年。样品切成厚度为 2mm 的薄片,表面被仔细地抛光。

定标是在相同的实验条件下用标准金靶做的。标准靶是在单晶硅片上真空蒸镀一薄层金,用背散射方法测得金的面密度 $(Nt)_{Au} = 3 \times 10^{16}$ 金原子/cm², 其中 N 为金的原子浓度, t 为金的厚度, 约 50 Å。当几何条件和积分电荷值相同时,未知散射中心浓度 N_x 可由下式给出:

$$N_x = \frac{(Nt)_{Au}}{\Delta t} \frac{A_x}{A_{Au}} \frac{\sigma_{Au}}{\sigma_x}, \quad (1)$$

这里 σ_{Au} 和 σ_x 分别为金和核块的卢瑟福散射截面 ($\sigma \propto Z^2$), A_{Au} 和 A_x 分别为从金靶和有效厚度为 Δt 的陨石内核块背散射粒子的产额。陨石的有效厚度定义为从样品表面到陨石内部所能探测的最大深度, 它是由样品的元素成份以及 He 离子在样品中的能量损失决定的。对于吉林陨石, 得到 $\Delta t = 0.21 \mu\text{m}$ 。

图 2 为吉林陨石样品的 He 离子背散射能谱。背散射粒子的最大能量为 2.13MeV, 它对应于 He 离子从铅原子核背散射的能量。对于其它三种陨石样品也得到类似的能谱。分析从 2.14MeV 到 2.30MeV 的能量范围, 可以得到陨石样品中超重核块的浓度上限。预期的从超重核块背散射的计数将是非常低的。脉冲的堆积也可能在这段能量范围内产生计数, 它是由于同时测量两个或更多的较低能量的脉冲而引起的。在我们的实验条件下, 估计在这段能量范围内因堆积而引起的积分计数小于 5 个。在图 2 的能谱中, 这个能量范围

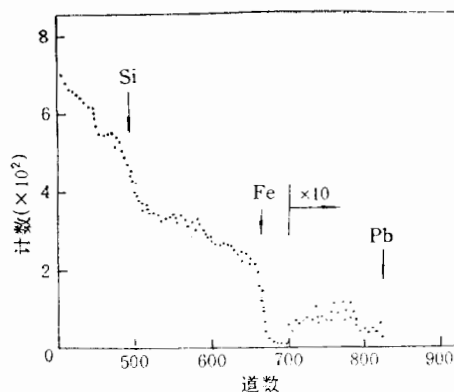


图2 2.30MeV He 离子在吉林陨石样品上的背散射能谱。箭头表示从位于样品表面的元素背散射能量位置, 700 道 ($E = 1.83\text{MeV}$) 以后的计数扩大了 10 倍

内的
是以
公式
的所

[1]
[2]
[3]
[4]
[5]
[6]
[7]

SE

metec
of th
about

内的积分计数为零,在其它三块样品中最大的积分计数为 3. 这些积分计数均在脉冲堆积的上限范围内,因此可以把堆积计数的上限做为探测灵敏度的极限. 如果我们假设 $A_s=5$ 是从可能的超重核块上发生背散射事件的产额极限(具有 90% 的置信度),根据公式(1)可以推断出陨石样品中的超重核块浓度上限. 在计算中还需要知道超重核块的原子序数即公式(1)中的 $\sigma_s/\sigma_{Au} = (Z_s/Z_{Au})^2$, 假设核块具有 $Z \approx 100$, $A \approx 1000$, 在我们测量的所有样品中,核块浓度上限将为 2ppm (相对于陨石中总原子数).

感谢贵阳地化所欧阳自远教授提供了陨石样品.

参 考 文 献

- [1] P. H. Frampton and S. L. Glashow, *Phys. Rev.*, D17(1978), 285.
 [2] T. D. Lee and G. C. Wick, *Phys. Rev.*, D9(1974), 2291.
 [3] A. De Rujula and S. L. Glashow, *Nature*, 312(1984), 734.
 [4] A. De Rujula, *Nucl. Phys.*, A434(1985), 605c.
 [5] E. Witten, *Phys. Rev.*, D30(1984), 272.
 [6] W. K. Chu et al.: in *Backscattering Spectrometry*, Academic Press, New York, 1978.
 [7] N. A. Jelly et al., *Nature*, 265(1977), 35.

SEARCH FOR SUPERHEAVY NUCLEARITES IN METEORITES BY RUTHERFORD BACKSCATTERING

LIU SHIJIE XIE BAOZHEN WU YUE TANG XIAOWEI
(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing)

ABSTRACT

An experiment to search for stable superheavy nuclearites and quark nuggets in different meteorites has been performed using the Rutherford backscattering technique. The upper limit of the relative concentration of nuclearites with $Z \approx 100$ $A \approx 1000$ in the meteorite samples about 2 ppm is obtained.

一薄
原子
变 N_s

(1)

靶和
面到
量损

V, 它
谱, 分
. 预期
生 计
下, 估
范围