

一个相对论性氧原子核碎裂事例的 观测及其机制解释

唐孝威 郑蒲英

(中国科学院高能物理研究所, 北京)

摘 要

本文分析了用 200 GeV/核子氧原子核轰击的乳胶叠, 对一个相对论性氧原子核碎裂为三个氦原子核及一些最小电离粒子的三分裂事例进行了测量. 对碎裂的机制进行了解释. 认为相对论性氧原子核的这类碎裂现象为氧原子核的集团模型提供了直接的实验证据.

最近, 欧洲核子中心 EMU-01 合作组用 SPS 加速器产生的能量为 200 GeV/核子的氧原子核轰击乳胶叠, 来研究相对论性原子核在乳胶中的碎裂现象. 在对这个乳胶叠扫描中, 我们观察到一个相对论性氧原子核的碎裂事例, 解释为氧原子核发生边缘碰撞, 产生高度集中向前飞出的三个氦原子核及一些最小电离的次级粒子. 本文报道这个事例的测量结果, 并对碎裂的机制给以解释.

氧原子核以水平方向射入 $10\text{cm} \times 10\text{cm} \times 2\text{cm}$ 的乳胶叠. 乳胶叠由苏联 НИКФИ-БР 型乳胶制成, 每层乳胶膜的厚度是 $600\mu\text{m}$. 照射的氧原子核通量为 $1.7 \times 10^5/\text{cm}^2$. 被照射的乳胶叠由 EMU-01 合作组进行显影处理后^[1], 提供扫描分析.

事例的照片如图 1, 放大倍数为 1400. 为显示清楚起见, 分别在 a (作用点附近), b

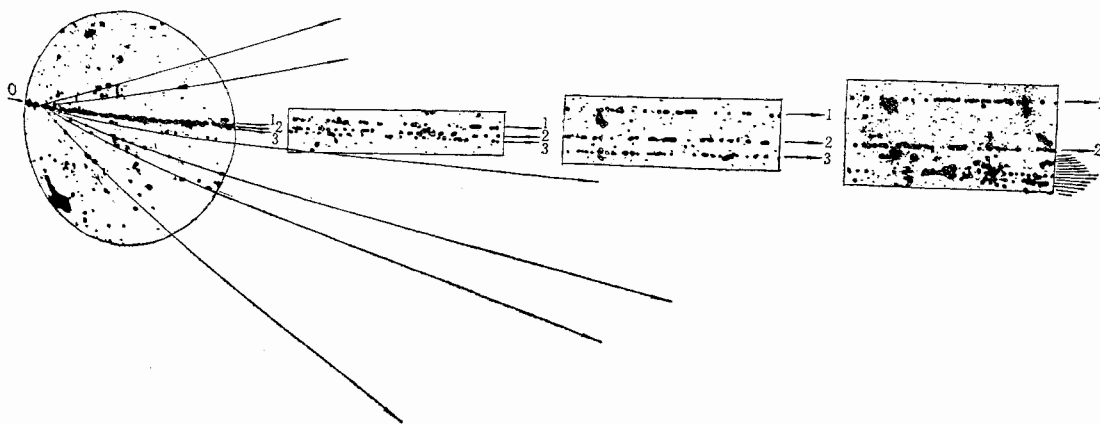


图1 事例的照片

本文1987年10月12日收到.

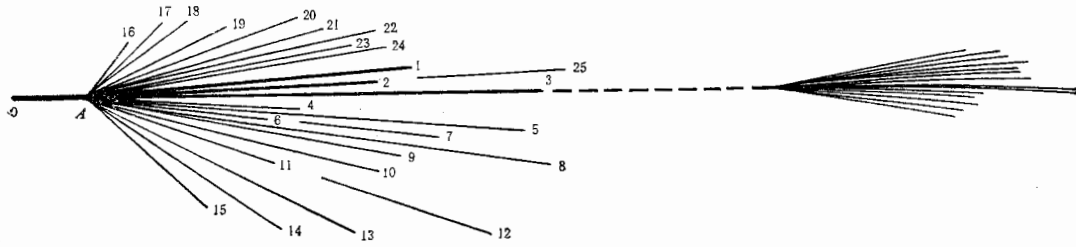


图 2 事例的素描图

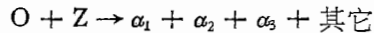
(离作用点 0.18cm), c (离作用点 0.75cm) 及 d (离作用点 1.24cm) 各处, 截取长度约 $50\mu\text{m}$ 的一段径迹. 它们表示整个连续径迹上的四个片断. 图 2 是事例的素描图. 氧原子核 (O) 从左边进入, 在 A 点发生作用. 1, 2, 3 为 α 粒子 (参见图 1 中的 1, 2, 3). 粒子 3 在离作用点 1.24cm 处又产生一个次级星 (图中虚线后面的星).

事例的末态共包括 25 个次级带电粒子. 在粒子 1、2、3 的径迹上测量 120 个点的颗粒密度, 其平均值见表 1, 它们是最小电离粒子颗粒密度 ($20.57 \pm 3.79/100\mu\text{m}$) 的 4 倍, 因而确定粒子 1, 2, 3 都是 α 粒子. 根据粒子 1, 2, 3 沿径迹多次测量的数据连接外延, 表明它们都从 A 点飞出. 粒子 1, 2, 3 的发射角测量值见表 1. 仔细的观察表明, 在作用点 A 前后没有其它 α 粒子径迹的本底. 粒子 1, 2, 3 的径迹近似共面. 粒子 1, 2 穿出乳胶片, 粒子 3 在乳胶中发生碰撞, 产生图 1 d 所示的作用星. 这个次级作用星中含有 14 个第三级的带电粒子, 它们都是最小电离粒子. 次级星中没有靶核碎裂或蒸发的粗径迹, 但可观察到反冲核. 测量了初级星中粒子 4-25 的发射角和颗粒密度. 测量结果见表 2. 由颗粒密度确定粒子 4-25 均为最小电离粒子. 事例中无靶核碎裂或蒸发的粗径迹, 即 $N_b = 0$.

表 1

次级 α 粒子	电离度 (颗粒/100 μm)	发射角 (rad)
1	73.24 ± 3.31	$(0.88 \pm 0.01) \cdot 10^{-3}$
2	71.51 ± 4.36	$(0.28 \pm 0.01) \cdot 10^{-3}$
3	68.70 ± 2.54	$(0.33 \pm 0.01) \cdot 10^{-3}$

我们认为这个事例是相对论性氧原子核的三分裂事例:



即相对论性氧原子核与乳胶中原子核 Z 作用, 产生“白星”, 末态有三个 α 粒子 ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$). 其它次级粒子包括不留下径迹的中子和 22 个相对论性最小电离粒子, 即质子与 π^\pm 粒子. 而反冲核 Z' 未留下可观察的径迹. 次级粒子中亦未见高能打击电子. 在作用中, 氧原子核碎裂为三个 α 粒子飞出, 其中一个 α 粒子再次在乳胶中碰撞, 产生另一个作用星, 作用星中次级 p 及 π^\pm 介子的总数为 14 个. 这个三分裂事例的碎裂特征如下: (1) 三分裂的三个碎片 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 集中向前飞出, 发射角很小, 且近似共面. (2) $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 的动量很接近, 即三分裂后三个碎片的能量近似均匀分配. 此类三分裂事例并非稀有事例, 约占扫描观察到的作用星总数的 10^{-2} .

表 2

次 级 粒 子	电离度(颗粒/100 μm)	发射角 (rad)
4	20.39 \pm 2.08	0.0124 \pm 0.0003
5	20.27 \pm 1.87	0.0136 \pm 0.0003
6	19.84 \pm 1.35	0.0165 \pm 0.0003
7	20.79 \pm 1.81	0.0064 \pm 0.0003
8	23.14 \pm 2.95	0.0090 \pm 0.0003
9	22.42 \pm 1.71	0.0077 \pm 0.0003
10	20.36 \pm 1.56	0.1092 \pm 0.0005
11	18.72 \pm 1.67	0.0820 \pm 0.0007
12	14.31 \pm 4.86	0.1477 \pm 0.0006
13	19.59 \pm 2.67	0.2712 \pm 0.0018
14	18.22 \pm 3.21	0.4242 \pm 0.0028
15	19.14 \pm 2.44	0.6621 \pm 0.0068
16	23.72 \pm 4.58	0.5674 \pm 0.0037
17	25.58 \pm 5.50	0.4816 \pm 0.0033
18	18.90 \pm 2.35	0.2038 \pm 0.0011
19	16.14 \pm 1.43	0.0894 \pm 0.0006
20	22.61 \pm 1.17	0.1406 \pm 0.0004
21	23.62 \pm 1.10	0.0111 \pm 0.0003
22	21.55 \pm 2.19	0.0117 \pm 0.0003
23	23.03 \pm 1.45	0.0564 \pm 0.0003
24	23.51 \pm 1.82	0.0034 \pm 0.0003
25	16.69 \pm 1.79	0.0081 \pm 0.0003

我们在扫描中曾先后观察到相对论性氧原子核碎裂为氮原子核和碳原子核的二分裂事例^[2]; 相对论性氧原子核碎裂为三个氮原子核的三分裂事例; 以及相对论性氧原子核碎裂为四个氮原子核的四分裂事例^[3]。可以用氧原子核的结团模型^[4]和原子核的边缘碰撞模型, 来解释相对论性氧原子核碰撞碎裂的机制。氧原子核内部有多种组态的结团结构。一种结构是四个 α 粒子的结团结构。其中每个 α 粒子本身结合牢固, 而氧原子核内各个 α 粒子之间只有很松的联系。在同靶核的边缘碰撞中, 相对论性氧原子核从靶核边缘擦过, 氧原子核中擦边的一个 α 粒子可能被击碎为一些次级粒子。但相对论性氧原子核与靶核的作用时间非常短, 来不及发生能量、动量弛豫, 氧原子核中其它几个 α 粒子受到的影响小, 它们分开并且以接近原来的速度继续向前飞行。这样就表现为相对论性氧原子核的三分裂现象, 即碎裂为三个高度集中向前飞出的 α 粒子。此外, 还由擦边被击碎的 α 粒子产生一些最小电离的次级粒子。或者氧原子核在边缘碰撞时, 擦边的一个 α 粒子被击碎为次级粒子, 其它三个未擦边的 α 粒子保持为一个碳原子核, 但处于激发态, 很快就衰变为三个独立的 α 粒子, 向前飞出。这也表现为相对论性氧原子核的三分裂现象。本文报道的事例, 可以用这种机制来解释。在边缘碰撞中, 靶核接受的能量很小, 因此, 在反应中不发生靶核的碎裂或蒸发。另一种情况是, 如果氧原子核中擦边的 α 粒子在碰撞中并未被击碎, 它仍保持为 α 粒子的整体, 继续向前飞行, 而其它三个 α 粒子也分开, 向前飞行, 或者处于激发态的碳原子核很快衰变为三个 α 粒子向前飞行, 则反应表现为相对论性

μm
核
在
颗
的
外
在
出
有
粗
见
且
径

α),
子,
原子
作用
裂的
量很
占扫

氧原子核的四分裂现象,即碎裂为高度集中向前飞出的四个 α 粒子.再一种情况是,如果氧原子核擦边时, α 粒子未被击碎而保持为 α 粒子向前飞行,同时其它三个未擦边的 α 粒子仍联系在一起,保持为一个处于基态的碳原子核向前飞行,则表现为相对论性氧原子核的二分裂现象,即碎裂为高度集中向前飞出的一个 α 粒子和一个碳原子核.除以上几种情况外,还可能发生氧原子核中几个 α 粒子碰撞时都擦边被击碎,因而分别有一个或两个 α 粒子继续向前飞出,同时产生一些其它次级粒子的具有其它形态的碎裂事例.

从以上解释看,相对论性氧原子核的碎裂现象为氧原子核的结团模型提供了直接的实验证据.

对 EMU-01 合作组提供乳胶叠,和 I. Otterlund 教授的支持及鲍诚光、姜焕清两教授的有益讨论,肖汝东、张东海、王动园、孙淑荣、张竹湘等同志的帮助表示感谢.

参 考 文 献

- [1] EMU01 Collaboration, Cosmic and Subatomic Physics Report LUIP 8704, LUND (1987).
- [2] 郑蒲英 唐孝威,科学通报,33,8(1988),573.
- [3] 郑蒲英 孙淑荣 唐孝威,科学通报, 33,9(1988),660.
- [4] K. Wildermuth and Y. C. Tang, A Unified Theory of the Nucleus (1977) (Vieweg Verlag, Bawnachweig).

OBSERVATION AND MEASUREMENT OF A FRAGMENTATION EVENT OF A RELATIVISTIC OXYGEN NUCLEUS AND EXPLANATION OF THE MECHANISM

TANG XIAOWEI ZHENG PUYING

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing)

ABSTRACT

A nuclear emulsion stack bombarded by 200 GeV/nucleon oxygen nuclei has been analyzed. The measurement of a ternary fragmentation event of a relativistic oxygen nucleus into three helium nuclei and 22 minimum ionizing particles has been performed. The mechanism of the fragmentation processes has been discussed. The fragmentation phenomena of the relativistic oxygen nuclei provide a direct experimental evidence for the cluster model of the oxygen nuclei.