

文章编号: 1007-4627(2016)04-0422-06

290 A MeV ^{12}C 诱发乳胶核反应末态粒子多重数关联

杨文锦¹, 郑素华¹, 郭桂芳², 张东海³

(1. 太原工业学院理学系, 太原 030008;
2. 山西师范大学临汾学院, 山西 临汾 041000;
3. 山西师范大学现代物理研究所, 山西 临汾 041004)

摘要: 对 290 A MeV ^{12}C 诱发乳胶核反应末态粒子间的多重数关联进行了研究。实验结果表明: 黑径迹粒子、灰径迹粒子、重电离粒子多重数之间存在较强的关联, 而且黑径迹粒子和重电离粒子多重数有饱和的趋势, 这些特征与高能区实验结果一致; 簇射粒子与其他粒子间的关联性较弱, 这一特征与高能区实验结果不同, 主要归因于弹核能量较低、簇射粒子产额较小; 黑径迹粒子、灰径迹粒子在前后半球的平均多重数随靶核的增大而增加; 实验结果可用基于碰撞几何的旁观体-反应体模型及级联蒸发模型来解释。

关键词: 末态粒子; 多重数关联; 平均多重数

中图分类号: O571.6 **文献标志码:** A **DOI:** 10.11804/NuclPhysRev.33.04.422

1 引言

中高能核-核碰撞问题目前受到广泛的关注。通过对高能态下核-核碰撞产生的末态粒子进行研究, 不仅可以揭示核反应机制, 而且可以为天体物理、辐射生物学和辐射治疗等提供进一步信息。对于相对论性核-核碰撞末态粒子多重数关联已有较多的研究^[1-8], 但对于中高能(几百 MeV/u)核-核碰撞末态粒子多重数分布及关联的研究相对较少^[9-12]。在高中能情况下, 入射粒子与乳胶中的靶反应与弹核的质量和能量有很强的关联, 基本规律为弹核质量越大, 与重靶作用的几率越大, 弹核的能量越大, 与重靶作用的几率越大。这些反应基本特征在高中能情况下是否仍然保持, 中高能核-核碰撞末态粒子多重数关联的特征是否和高中能情况下一致? 高能核-核碰撞多粒子产生机制是否仍然适用于中高能核-核碰撞? 为了进一步理解中高能核-核碰撞多粒子产生机制, 必须对中高能核-核碰撞多粒子产生特性进行全面的实验研究, 为优化现有理论提供依据。

本文对 290 A MeV ^{12}C 诱发乳胶核反应的末态粒子多重数的关联性进行研究, 并与高能区相应实验结果进行对比。

2 实验

本实验使用的乳胶叠是由山西师范大学现代物理

研究所生产的核-4 电子全灵敏乳胶组成。乳胶叠体积为 3 cm×4 cm×0.5 cm, 乳胶片的原始厚度为 450 μm 。乳胶叠在日本放射线医学综合研究所重离子加速器(HIMAC)上照射, 束流为 290 A MeV ^{12}C , 通量为 $5\times 10^3/\text{cm}^2$ 。利用重光 BA2000 型生物显微镜对每片乳胶片用沿径迹扫描法进行了扫描, 放大倍数为 1000 倍。为了避免乳胶畸变的影响, 扫描从乳胶边缘 0.5 cm 处开始, 上下两边各空 0.5 cm。在本实验中, 总共找到 2754 个作用星, 共测量了 1847 个作用事例, 去掉 47 个弹性散射反应事例, 我们选择其中 1800 个不包含弹性散射的核反应事例作为研究对象。

按照核乳胶实验技术重离子诱发乳胶核反应末态粒子可以分为四大类^[11,13-14]:

(1) 簇射粒子, 也称极小电离粒子。主要为速度 $\beta \geq 0.7c$ 的 π 介子及少量的质子(这里 c 为真空中的光速), 其电离为 $I \leq 1.4I_{\min}$ 。这里 $I_{\min}$ 为极小电离, 对应能量大于 70 MeV 的 π 介子及能量大于 400 MeV 的质子的电离。簇射粒子多重数用 n_s 表示。

(2) 灰径迹粒子, 其多重数用 n_g 表示。主要来源于碰撞初期的反冲质子, 其速度为 $0.3c \leq \beta < 0.7c$ 。对于反冲质子, 其动能为 $26 \text{ MeV} \leq E_k < 375 \text{ MeV}$ 。另外还有少量的 K 介子和 π 介子。对于 K 介子, 其动能为 $20 \text{ MeV} \leq E_k < 198 \text{ MeV}$; 对于 π 介子, 其动能为 12

收稿日期: 2016-01-29; 修改日期: 2016-06-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11054100); 山西省回国留学人员基金项目(2011-058); 太原工业学院青年科学基金项目(2014LQ07)

作者简介: 杨文锦(1985-), 女, 山西交城人, 讲师, 从事中高能核物理方面的研究; E-mail: 345093891@qq.com。

$\text{MeV} \leq E_k < 56 \text{ MeV}$ 。灰径迹粒子在乳胶中的电离 $1.4 I_{\min} \leq I < 9 I_{\min}$, 射程 $L \geq 3 \text{ mm}$ 。

(3) 黑径迹粒子, 其多重数用 n_b 表示。黑径迹粒子主要来源于碰撞后期受激靶核的蒸发碎片, 主要为动能 $E_k < 26 \text{ MeV}$ 的质子, 在乳胶中的电离 $I > 9 I_{\min}$, 射程 $L < 3 \text{ mm}$ 。

灰粒子径迹和黑粒子径迹统称重电离粒子, 其多重数为 $n_h = n_b + n_g$ 。

(4) 弹核碎片粒子, 为没有发生碰撞的弹核粒子剩余物。

由于 n_h 与靶核原子的质量有很强的关联性。所以我们研究不同靶核事例是通过 n_h 来大致区分的。 $n_h \leq 1$ 是入射粒子与氢靶作用 ($A = 1$)。 $2 \leq n_h \leq 7$ 是入射粒子与碳氮氧靶发生作用 ($A = 14$)。 $n_h \geq 8$ 是入射粒子与溴化银靶发生作用 ($A = 94$)。 $n_h \geq 0$ 是入射粒子与平均质量为 73 的核乳胶碰撞事例 ($A = 73$)。受核乳胶实验技术本身限制, $n_h \leq 1$ 的事例中也有入射粒子与碳氮氧和溴化银的边缘碰撞, $2 \leq n_h \leq 7$ 的事例中也有入射粒子与溴化银的边缘碰撞。

3 末态粒子多重数的关联

图 1 给出 290 AMeV ^{12}C 诱发乳胶核反应黑径迹粒子、簇射粒子及重电离粒子平均多重数与灰径迹粒子数的关联。由图可见: (1) 在 $n_g \leq 10$ 时, 重电离粒子平均多重数 $\langle n_h \rangle$ 随着 n_g 的增加而增加; 在 $n_g > 10$ 时, 在实验统计误差范围内 $\langle n_h \rangle$ 保持不变, 但统计误差增大; (2) 黑径迹粒子平均多重数在 $n_g \leq 7$ 时随着 n_g 的增加而增加, $n_g > 7$ 时在实验统计误差范围内保持不变,

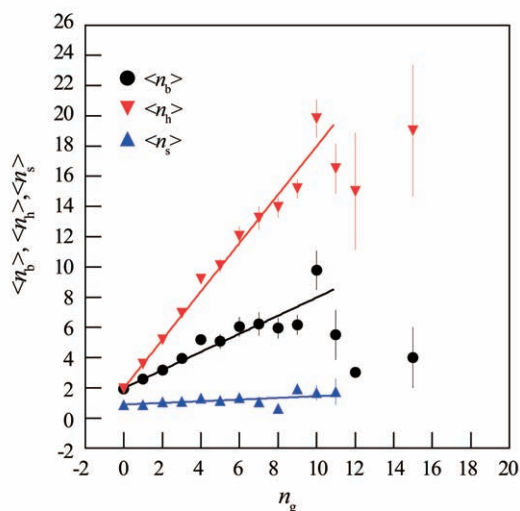


图 1 (在线彩图) 290 AMeV ^{12}C -Em 反应中 $\langle n_s \rangle$, $\langle n_b \rangle$, $\langle n_h \rangle$ 与 n_g 的关联

出现饱和现象; (3) 簇射粒子平均多重数在 $n_g \leq 6$ 时随着 n_g 的增加而增加, $n_g > 6$ 时在实验统计误差范围内保持不变, 出现饱和现象。

根据级联蒸发模型^[13], 灰径迹粒子作为靶核内被撞核子数目的定量探针, 它的大小反映了靶核内被撞核子数目的多少。随着灰径迹粒子数目的增加, 靶核内被撞核子数增加, 靶核旁观体得到的激发能增加, 靶核的碎裂程度也增加, 所以靶核蒸发碎片多重数平均值增加。但由于受靶核大小的限制, 当灰径迹粒子数目增加到一定程度后, 靶核碎裂达到极限, 致使黑径迹粒子平均多重数保持不变。重电离粒子作为黑径迹粒子和灰径迹粒子的统称, 所以 $\langle n_h \rangle$ 随 n_g 的增加而增加, 但 n_g 较大时, 靶核碎裂达到极限, 致使重电离粒子平均多重数保持不变, 但统计事例减少, 统计误差增大。 $\langle n_b \rangle$, $\langle n_h \rangle$ 与 n_g 的关联性, 在其他许多工作中也得到同样的结果^[1]。

$\langle n_s \rangle$ 与 n_g 的关联基本是先线性增加后保持稳定的趋势。这与文献^[1]的变化趋势是基本相符的, 只是本实验得到的关联更弱些。这主要由于本实验入射粒子的能量较低, 产生簇射粒子的几率较小。

图 2 给出 290 AMeV ^{12}C 诱发乳胶核反应灰径迹粒子、簇射粒子、重电离粒子平均多重数与 n_b 的关联。由图可见: (1) $\langle n_h \rangle$ 随着 n_b 的增加而增加; (2) 当 $n_b \leq 8$ 时, $\langle n_g \rangle$ 随着 n_b 的增加而增加, 当 $n_b \geq 9$ 时, $\langle n_g \rangle$ 在统计误差范围内趋于稳定; (3) $\langle n_s \rangle$ 随着 n_b 的增加基本保持不变, 这一结果与 4.5 AGeV 能区结果^[1]明显不同。

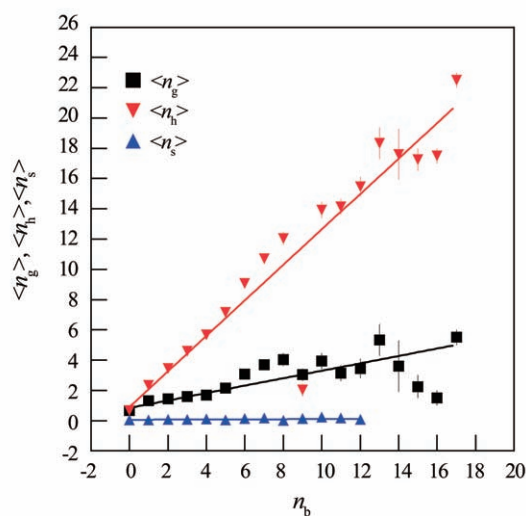


图 2 (在线彩图) 290 AMeV ^{12}C -Em 反应中 $\langle n_g \rangle$, $\langle n_s \rangle$, $\langle n_h \rangle$ 与 n_b 的关联

图 3 给出 290 AMeV ^{12}C 诱发乳胶核反应灰径迹粒

子、簇射粒子、黑径迹粒子平均多重数与重电离粒子多重数之间的关联。由图可见：(1) $\langle n_b \rangle$ 随着 n_h 的增加而增加，但当 n_h 较大时统计误差增大；(2) $\langle n_g \rangle$ 随着 n_h 的增加而增加，但当 n_h 较大时统计误差增大；(3) $\langle n_s \rangle$ 随着 n_h 的增加基本保持不变，这一结果与 4.5 AGeV 能区结果^[1]明显不同。

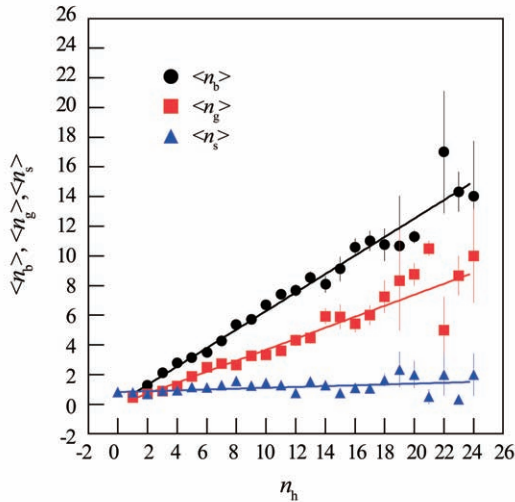


图 3 (在线彩图) 290 AMeV ^{12}C -Em 反应中 $\langle n_g \rangle$, $\langle n_s \rangle$, $\langle n_b \rangle$ 与 n_h 的关联

图 4 给出 290 AMeV ^{12}C 诱发乳胶核反应黑径迹粒子、灰径迹粒子、重电离粒子平均多重数随簇射粒子数的变化规律：(1) $\langle n_b \rangle$ 随着 n_s 的增加而先增加后趋于饱和；(2) $\langle n_g \rangle$ 随着 n_s 的增加而增加；(3) $\langle n_h \rangle$ 随着 n_s 的增加而增加，但随着 n_s 的增加，统计事例减少，统计误差增大。

在 290 AMeV ^{12}C 诱发乳胶核反应中， $\langle n_g \rangle$, $\langle n_b \rangle$ 和 $\langle n_h \rangle$ 与 n_s 有较弱的关联。在 290 AMeV 能区，由于碰撞体系的质心能量较低， π 介子的产额非常低，簇射粒子主要来源于部分没有发生反应的射弹质子碎片及 π 介子。由于弹核能量较低，即用来产生簇射

粒子的激发能较低，这时靶核反应体虽然增加，但产生粒子的能量受到弹核能量的限制， $\langle n_g \rangle$, $\langle n_b \rangle$ 不变。

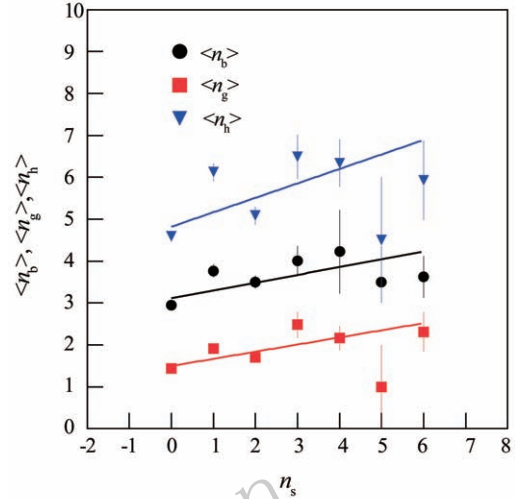


图 4 (在线彩图) 290 AMeV ^{12}C -Em 反应中 $\langle n_g \rangle$, $\langle n_b \rangle$, $\langle n_h \rangle$ 与 n_s 的关联

4 末态粒子多重数关联拟合

对相对论性重离子诱发乳胶核反应灰径迹粒子，黑径迹粒子多重数之间的关联，通常我们将实验结果利用线性关系来表述：

$$\langle n_i \rangle = b n_j + a, \quad (i \neq j)$$

其中 $n_j = n_b, n_g, n_h, n_s$, a 和 b 为拟合参数，利用最小二乘法拟合得到。

对于 290 AMeV ^{12}C 诱发乳胶核反应末态粒子多重数之间的关联，利用上面公式进行了拟合，拟合结果见表 1，其中小括号中的数据为 a 与 b 的拟合误差。表 1 中同时给出 4.5 AGeV ^{12}C 诱发乳胶核反应的相应实验结果^[3]，由表可以明显看出本事实验得到的簇射粒子与 $\langle n_g \rangle$, $\langle n_b \rangle$ 和 $\langle n_h \rangle$ 的关联系数 b 远低于 4.5 AGeV 能区实验结果。

表 1 290 AMeV ^{12}C -Em 反应末态粒子多重数关联拟合结果

平均多重数	n_b		n_g		n_h		n_s		备注
	a	b	a	b	a	b	a	b	
$\langle n_b \rangle$			1.98(07)	0.60(03)	0.06(03)	0.62(01)	3.11(08)	0.19(05)	本工作
$\langle n_g \rangle$	0.84(04)	0.25(01)			-0.03(03)	0.37(01)	1.50(06)	0.17(04)	本工作
$\langle n_h \rangle$	0.90(04)	1.17(01)	1.97(07)	1.60(03)			4.82(12)	0.35(08)	本工作
$\langle n_s \rangle$	0.06(01)	0.004(002)	0.89(04)	0.06(01)	0.82(04)	0.03(01)			本工作
$\langle n_b \rangle$			3.82(29)	0.31(06)	0.19(04)	0.46(09)	1.41(17)	0.41(07)	文献[3]
$\langle n_g \rangle$	3.14(21)	0.82(10)			-0.95(06)	0.75(12)	-1.13(15)	0.92(08)	文献[3]
$\langle n_h \rangle$	2.69(03)	1.92(12)	3.45(36)	1.38(12)			1.57(19)	1.09(11)	文献[3]
$\langle n_s \rangle$	7.32(38)	0.45(08)	6.32(44)	0.45(08)	6.77(47)	0.51(07)			文献[3]

5 慢粒子多重数的前后关联

在实验上碰撞参数较难测量, 所以我们将靶核碎片多重数作为一种判断碰撞参数大小的量。如果 n_h 的值越大, 即碰撞参数越小, 反之亦然。实验中末态粒子的发射角 $\theta \geq 90^\circ$ 的称为向后发射的粒子, 发射角 $\theta < 90^\circ$ 的称为向前发射的粒子。向前发射的黑径迹粒子、灰径迹粒子平均多重数分别为 $\langle n_b^f \rangle$, $\langle n_g^f \rangle$; 向后发射的黑径迹粒子、灰径迹粒子平均多重数分别为 $\langle n_b^b \rangle$, $\langle n_g^b \rangle$ 。图5, 图6分别给出了灰径迹粒子, 黑径迹粒子在前后半球内平均多重数随重电离粒子数的变化关系。这种关联是线性的, 同样利用 $\langle n_i \rangle = a + bn_j$, ($i \neq j$) 进行拟合, 得到的参数 a 和 b 列于表2中。 a 为拟合直线的截距, b 为拟合直线的斜率 (表示关联的强度)。

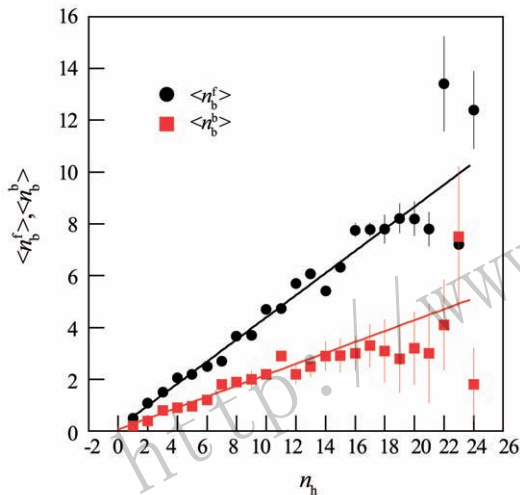


图5 (在线彩图) 290 AMeV ^{12}C -Em反应中 $\langle n_b^f \rangle$, $\langle n_b^b \rangle$ 与 n_h 的关联

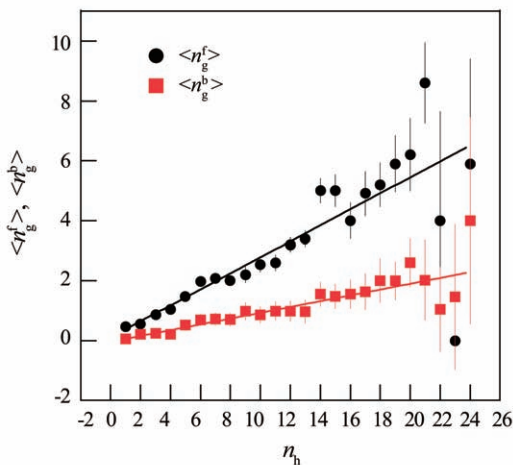


图6 (在线彩图) 290 AMeV ^{12}C -Em反应中 $\langle n_g^f \rangle$, $\langle n_g^b \rangle$ 与 n_h 的关联

从图5, 图6和表2可以看出:

(1) 前后半球内黑径迹粒子的平均多重数, 随重电离粒子多重数 n_h 的变化趋势相同。当 $n_h < 16$ 时, 前后半球黑径迹粒子平均多重数, 随重电离粒子多重数 n_h 的增加而增加, 当 $n_h > 16$ 时, 前后半球内黑径迹粒子的平均多重数 $\langle n_b^f \rangle$, $\langle n_b^b \rangle$ 在误差范围内趋于常数。只是前半半球内的 $\langle n_b^f \rangle$ 比后半半球内的 $\langle n_b^b \rangle$ 增加的要快, 前半球的关联度比后半球关联度要大。出现饱和是由于黑径迹粒子是受靶核大小的限制, 当核反应到一定程度时, 靶核旁观体的大小达到极限, 黑径迹粒子数达到饱和, 并不会随碰撞参数的减小而增加。

(2) 灰径迹粒子在前、后半球内的平均多重数 $\langle n_g^f \rangle$, $\langle n_g^b \rangle$ 随着重电离粒子多重数 n_h 的增加而增加, 但当重电离粒子数较大时, 统计事例减小, 统计误差增大。灰径迹粒子主要来源于靶核内的反冲质子, 灰径迹粒子作为靶核内被撞核核子数目的定量探针, 它的大小反映了靶核内被撞核核子数目的多少。所以 $\langle n_h \rangle$ 越大碰撞参数越小, 靶核被打中的部分越大, $\langle n_g^f \rangle$, $\langle n_g^b \rangle$ 也越大。还可看出, 前半半球内的 $\langle n_g^f \rangle$ 比后半半球内的 $\langle n_g^b \rangle$ 增加的要快。

根据级联蒸发模型^[13], 黑径迹粒子是受激靶核的蒸发碎片, 在实验室系下应该是各向同性分布的, 但这种各向同性发射机制受一些因素的影响变为近似对称发射, 但向前发射的黑径迹粒子多于向后发射的黑径迹粒子; 灰径迹粒子是弹核核子与靶核内核子级联碰撞的产物, 主要是超前发射的, 所以灰径迹粒子前后半球的多重数有较大差别。

表2 黑径迹粒子、灰径迹粒子在前后半球内的平均多重数与 n_h 关联的线性拟合

关联类型	a	b
$\langle n_b^f \rangle - n_h$	0.129 ± 0.067	0.426 ± 0.007
$\langle n_b^b \rangle - n_h$	0.067 ± 0.055	0.211 ± 0.010
$\langle n_g^f \rangle - n_h$	0.114 ± 0.050	0.267 ± 0.010
$\langle n_g^b \rangle - n_h$	-0.038 ± 0.037	0.097 ± 0.009

中高能核-核碰撞末态粒子的产生, 可以利用基于碰撞几何的旁观体-反应体模型^[15]及级联蒸发模型^[13]来解释。按照核-核碰撞几何, 碰撞系统中两核相互重叠的部分称为反应体, 其余部分称为旁观体, 旁观体部分又分为弹核旁观体和靶核旁观体。反应体内核子-核子相互穿透, 发生剧烈的碰撞。在反应开始时, 重叠区域核子互相挤压, 局域密度迅速增加, 能量相互传递, 这个过程称为热平衡的建立过程。碰撞结束后, 反应体扩张冷却, 产生介子 (簇射粒子)。在旁观体中, 弹核旁观体以原来的速度和方向运动, 形成弹核碎片, 由于费米

能量的影响,产生偏离;靶核旁观体因激发而蒸发成核碎片,在实验室系下近似各向同性飞出,形成靶核碎片(黑径迹粒子)。灰径迹粒子是靶核内与弹核核子发生碰撞的反冲质子。随着碰撞参数的减小,相互碰撞的两核相互重叠的部分增加,反应的剧烈程度增加,则簇射粒子的产额增加,靶核反冲质子数增加,靶核旁观体部分得到的激发能增加,靶核旁观部分形成的蒸发碎片数也随之增加,但受靶核旁观部分体积的限制,最后蒸发碎片数达到饱和。反之,随着碰撞参数的增加,相互碰撞的两核相互重叠的部分减少,反应的剧烈程度降低,则簇射粒子的产额减小,靶核反冲质子数减小,靶核旁观体部分得到的激发能减小,靶核旁观部分形成的蒸发碎片数也随之减小。实验得到的多重数关联特性基本上可以利用基于碰撞几何的旁观体-反应体模型及级联蒸发模型来解释,但由于弹核能量较低,簇射粒子的产额较低,它们与靶核碎片的关联不明显。

6 结论

本研究对 290 AMeV ^{12}C 诱发乳胶核反应末态粒子多重数关联进行详细的分析,可得出以下结论:

(1) 黑径迹粒子与其它粒子之间都有很强的关联,并会出现饱和现象,饱和效应是重靶非边缘碰撞碎裂的特征;灰径迹粒子平均多重数随其它粒子数的增加而增加,这些特征与高能区实验结果一致。

(2) 簇射粒子平均多重数随其它粒子的增加而缓慢增加,最后趋于饱和,这一特征与高能区实验结果明显不同,主要归因于弹核能量较低,簇射粒子产额较小。据调研国内外目前只有我们对这一能区的末态粒子多重数关联进行了研究^[12],这也是本工作的创新之处。

(3) 前后半球内黑径迹粒子平均多重数均随重电离粒子数(反应中心度的量度)的增加而增加,并出现饱和现象。前后半球内灰径迹粒子也随重电离粒子数(反应中心度的量度)的增加而增加,有向后发射的灰径迹粒子说明灰径迹粒子与核内级联有关。

(4) 实验结果可用基于碰撞几何的旁观体-反应体模

型及级联蒸发模型来解释。

参考文献:

- [1] KHAN M, KHUSHNOOD H, ANSARI A R. *Can J Phys*, 1996, **74**: 651.
- [2] KHAN M Q R, AHMAD M S, SIDDIQUI K A, *et al.* *Nuovo Cim A*, 1988, **99**: 93.
- [3] AHMAD M S, KHAN M Q R, SIDDIQUE K A, *et al.* *Intern J Mod Phys A*, 1995, **10**(6): 845.
- [4] ZHANG Donghai, LIU Minghai. *Atomic Energy Science and Technology*, 2002, **36**(6): 548. (in Chinese)
(张东海, 刘明海. 原子能科学技术, 2002, **36**(6): 548.)
- [5] LIU Fuhu. *Journal of Graduate School, Academia Sinica*. 1994, **11**(2): 157. (in Chinese)
(刘福虎. 中国科学院研究生院学报. 1994, **11**(2): 157.)
- [6] LI Huiling, ZHANG Donghai, LI Xueqin, *et al.* *Atomic Energy Science and Technology*. 2008, **42**(6): 488. (in Chinese).
(李惠玲, 张东海, 李雪琴, 等. 原子能科学技术, 2008, **42**(6): 488.)
- [7] ZHANG Donghai, ZHAO Huihua, LIU Fang, *et al.* *Chinese Physics*, 2006, **15**: 340.
- [8] AHMAD T, IRFAN M. *Phys Rev C*, 1992, **46**(4): 1483.
- [9] ZHANG Donghai, CHEN Yanling, WANG Guorong, *et al.* *Nuclear Physics Review*, 2014, **31**(2): 126.
- [10] YANG Wenjin, ZHANG Donghai. *Journal of Shanxi Normal University (Natural Science Edition)*. 2014, **28**(2): 47. (in Chinese)
(杨文锦, 张东海. 山西师范大学学报(自然版). 2014, **28**(2): 47.)
- [11] LI Junsheng, ZHANG Donghai, LI Huiling. *Nuclear Physics Review*, 2013, **30**(1): 22. (in Chinese)
(李俊生, 张东海, 李惠玲. 原子核物理评论. 2013, **30**(1): 22.)
- [12] ZHANG Donghai, CHEN Yanling, WANG Guorong, *et al.* *Chinese Physics C*. 2015, **39**: 014001
- [13] POWELL C F, FOWLER P H, PERKINS D H. *The Study of Elementary Particles by the Photographic Method*[M]. London: Pergamon Press, 1959: 432.
- [14] LI Junsheng, ZHANG Donghai. *High Energy Physics and Nuclear Physics*. 2006, **30**(5): 398. (in Chinese)
(李俊生, 张东海. 高能物理与核物理, 2006, **30**(5): 398.)
- [15] BOWMAN J D, SWIATECKI W J, TSANG C F. *Abrasion and Ablation of Heavy Ions*. Lawrence Berkeley Report: LBL-2908, 1973.

Multiplicity Correlation of Produced Particles in ^{12}C Induced Nuclear Emulsion Reactions at 290 AMeV

YANG Wenjin^{1,1)}, ZHENG Suhua¹, GUO Guifang², ZHANG Donghai³

(1. Department of Science, Taiyuan Institute of Technology, Taiyuan 030008, China;

2. Linfen College of Shanxi Normal University, Linfen 041000, Shanxi, China;

3. Institute of Modern Physics, Shanxi Normal University, Linfen 041004, Shanxi, China)

Abstract: We have investigated the multiplicity correlation of particles produced in ^{12}C -emulsion interactions at 290 AMeV. It is found that there is a strong correlation between black track particle, grey track particle and heavily ionized track particle, and finally black track particles and heavily ionized track particles tend to saturation, which is the same as the experimental results observed at high energies. The multiplicity correlation between shower particle and other particles is weaker, which is different from the experimental results observed at high energies. This discriminating character can be explained by the lower energy of projectile. The productivity of shower particle is lower at intermediate energies compared to that at high energies. The forward-backward averaged multiplicity of black track particle and grey track particle increases with the increasing target size.

Key words: final-state particle; multiplicity correlation; averaged multiplicity

<http://www.npr.ac.cn>

Received date: 29 Jan. 2016; **Revised date:** 1 Jun. 2016

Foundation item: National Nature Science Foundation of China(11054100); Shanxi Province Foundation for Returned Overseas Chinese Scholars (2011-058); Youth Science Foundation of Taiyuan Institute of Technology(2014LQ07)

1) E-mail: 345093891@qq.com.