

宇宙线高能族事例产生特征的模拟与实验研究*

王孔森^{1,1)} 王河¹ 黄性涛¹ 马连良¹ 马丽娜¹ 王永刚¹
薛良¹ 冯存峰¹ 张学尧¹ 李金玉¹ 张乃健¹ 何瑁¹
王承瑞¹ 任敬儒² 陆穗苓²

1(山东大学物理系 济南 250100)

2(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

摘要 利用在 EAS 实验的模拟计算中被广泛采用的 CORSIKA 程序,基于强相互作用模型 QGSJET 和 DPMJET,对甘巴拉山乳胶室实验高能族事例的产生特征进行了 Monte Carlo 模拟.给出了不同能区原初宇宙线各种成分产生族事例的效率及其与原初能量的关系.将模拟计算得到的族事例的平均横向扩展、族中簇射成员数、族的总观测能等的分布及其平均值,与相应的实验结果进行了系统的比较,结果基本相符.此外,模拟族事例也存在与实验相类似的能量集中趋势.

关键词 强相互作用模型 广延大气簇射 Monte Carlo 模拟 族事例 乳胶室实验

1 引言

宇宙线高能粒子进入大气层后与空气中的原子核发生相互作用,形成了广延大气簇射(EAS).利用高山乳胶室作为探测器,可以把 EAS 中近簇射轴处的高能簇射粒子以族事例的形式记录下来.乳胶室记录的族事例是由观测面上空在不同高度处发生多次核级联与电磁级联而形成的次级粒子所组成的,在这一复杂的相互作用过程中存在统计涨落与实验中的偏爱,因此必须借助 Monte Carlo 模拟,把实验数据与模拟结果进行对比分析,才能得出比较可靠的结论.

在 EAS 的模拟计算中,最大的不确定性是来自原初宇宙线成分和强相互作用模型两个方面的不确定因素.当我们把所研究的能区外推到现有的加速器实验不能覆盖的能区或运动学范围(快度区)时,只有依赖理论模型来描述那些位于极端向前的碎裂区粒子的相互作用特征.正是这些高能次级粒子在 EAS 发展及能量传输过程中起着关键作用.多年来,

通过对宇宙线高能族事例进行系统的实验观测,并与基于一定的强相互作用模型及原初宇宙线能谱与组成假设的 Monte Carlo 模拟计算结果进行对比分析,在强相互作用机制、“膝”区(10^{15} — 10^{16} eV)原初宇宙线能谱与组成及超高能新现象的探索和研究等方面取得了一系列重要成果^[1,2].近几年,EAS 的 Monte Carlo 模拟计算取得了重要进展,在许多 EAS 实验的模拟计算中广泛采用的 CORSIKA 程序^[3],有 6 种不同的强相互作用模型可供选择^[4],并在对 EAS 进行多参量测量的 KASCADE 实验中进行了检验^[5].

Borisov^[6]等人曾把 CORSIKA 程序应用到 Pamir 乳胶室实验高能族事例的模拟计算,并对不同的强相互作用模型的适用性做出判断.我们在已发表的论文^[7,8]中曾利用 CORSIKA 程序中的 SIBYLL 模型与 QGSJET 模型对甘巴拉山乳胶室实验进行了 Monte Carlo 模拟计算.为了更好地理解族事例的产生特征及其对于强相互作用模型的依赖,有必要将更多的强相互作用模型用于乳胶室高能族事例的模拟计

2003-06-16 收稿,2003-09-16 收修改稿

* 国家自然科学基金(10120130794)和山东省自然科学基金(Y2002A07)资助

1) E-mail: wangks@hepg.sdu.edu.cn

算,并通过将模拟结果与实验的全面比较,对模型的适用性进行检验,并估计因采用不同的强相互作用模型而引起的模拟计算的系统误差.

本文对甘巴拉铅乳胶室实验数据中总观测能 ΣE_{vis} 在 100—700TeV 能区的高能族事例的产生特征进行了研究;利用最新版本的 EAS 模拟程序 CORSIKA6011^[3],基于 QGSJET 和 DPMJET 两种强相互作用模型以及根据近期直接测量结果外推得到的原初宇宙线能谱和化学成分对大气簇射进行了相应的 Monte Carlo 模拟;对两种模型的模拟结果与实验数据进行了比较与分析.

2 实验与模拟

2.1 实验

本工作采用的实验数据来自中日合作甘巴拉山(海拔 5500m)乳胶室实验的 K0—K9 铅乳胶室.族事例的事例选择标准如下:

(1) 族事例的总观测能为 $100\text{TeV} \leq \Sigma E_{\text{vis}} \leq 700\text{TeV}$, $\Sigma E_{\text{vis}} = \Sigma (E_{\gamma} + E_{\text{h}}^{(\gamma)})$. 其中 E_{γ} 为族中 γ 簇射的观测能, $E_{\text{h}}^{(\gamma)}$ 为强子转化成 γ 簇射部分的观测能;(2) 族事例的天顶角范围为 0° — 45° ;(3) 族中簇射的最小观测能取为 $E_{\text{min}} = 4\text{TeV}$;(4) 族中的 γ 簇射数 N_{γ} 与强子簇射数 N_{h} 之和满足: $(N_{\gamma} + N_{\text{h}}) \geq 4$;(5) 舍弃距族的能量中心半径 15cm 以外的簇射. 实验数据中满足以上条件的族事例共有 151 个.

2.2 Monte Carlo 模拟

在 Monte Carlo 模拟计算中,采用 CORSIKA6011 程序^[3],该程序可用来模拟直到 10^{20} eV 能区的光子、质子、原子核及其他粒子在大气中的 EAS 发展过程. 分别采用 QGSJET(Quark Gluon String model with JETs)^[9-11] 和 DPMJET (Dual Parton Model with JETs)^[12-14] 两种强相互作用模型来进行模拟.

高能强相互作用模型 QGSJET 和 DPMJET 都以

Gribov-Regee 理论为基础,相互作用都是通过交换多重玻密子(Pomeron)来实现的. QGSJET 模型是夸克胶子弦(QGS)模型的扩展,强相互作用通过交换超临界玻密子(Pomeron)来描述. 玻密子按 AGK 规则断裂成两条弦,弦再以近似 Lund 算法的方式碎裂. 在高能区对硬作用的描述考虑了 minijet 的贡献. DPMJET 模型是基于两分量双部分子模型(Two Component Dual Parton Model),横动量的描述引入了 minijet 的贡献. 软过程用超临界玻密子来描述,硬过程由硬玻密子描述. 每条弦按 JETSET^[15] 模型的 Lund^[16] 算法的方式碎裂. 原子核中参与相互作用的核子数目和相互作用次数采用 Glauber 理论计算.

模拟计算时所采用的原初宇宙线能谱与组成,是由统计量比较大的 JACEE^[17], RUNJOB^[18] 等实验的最新直接测量结果外推,并按刚度截断模型适当选择拐折能量推算得到的^[8,19]. 把原初宇宙线化学组成为 6 组份: 质子(p)、氦核(He)、碳氮氧(CNO)、重核(H)、甚重核(VH)与铁核(Fe). 质子的拐折能量取为 2×10^{14} eV,拐折后各组份的微分能谱 $(dN/dE \propto E^{-\gamma})$ 幂指数(γ)均取为 3.0. 表 1 给出了各组份的平均核电荷数、拐折能量、拐折前微分能谱幂指数及相对化学组成.

在原初宇宙线能量为 2×10^{14} — 10^{17} eV 能区内,利用强相互作用模型 QGSJET 和 DPMJET 分别进行了 EAS 的 Monte Carlo 模拟. 模拟条件如下:原初粒子种类与能谱幂指数见表 1,天顶角在 0° — 45° 之间,方位角在 0° — 360° 之间,对电子、 γ 和 μ 子的追踪截断能量值定为 2TeV,对核与强子的追踪截断能量值定为 0.1TeV/核子. 观测平面的海拔高度为 5500m. 对到达观测平面的次级粒子,采用与甘巴拉山乳胶室实验类似的条件进行了数据处理^[8,19],处理过程中考虑了乳胶室的有效面积、粒子的探测效率、 γ 与强子的区分、实验的空间分辨能力及斜入射等因素. 强子在乳胶室中与核相互作用的非弹性度采用(0.1,0.9)区间的随机抽样值,并假定次级粒子全部为 π 介子,其中 π^0 份额采用(0.3,0.5)区间的随机抽样值.

表 1 模拟所采用的原初宇宙线微分能谱幂指数及相对化学组成

原初化学成分	p	He	CNO	H	VH	Fe	
平均核电荷数	1	2	7	12	17	26	
拐折能量 $E_{\text{h}}/ \times 10^{14}$ eV	2	4	14	24	34	52	
拐折前能谱幂指数(γ)	2.80	2.68	2.60	2.55	2.55	2.5	
相对化学组成(%)	10^{14} eV	28.1	24.0	24.8	8.06	3.01	12.0
	10^{15} eV	16.0	18.6	31.2	11.2	4.20	18.8
	10^{16} eV	11.7	13.5	26.0	12.1	5.31	31.3

3 结果与讨论

3.1 族事例的产生效率及其与原初能量的关系

按照上述甘巴拉山铅乳胶室实验的选择族事例的标准,用 QGSJET 模型模拟了 1086 万个原初粒子,得到了 4124 个符合族事例选择标准的总观测能为 $100\text{TeV} \leq \Sigma E_{\text{vis}} \leq 700\text{TeV}$ 的族事例;用 DPMJET 模型模拟了 362 万个原初粒子,得到了 1883 个族事例.利用上述数据可以计算出族事例与原初粒子数的比值,即族事例的产生率. DPMJET 模型给出的族事例产生率为 $\sim 5.2 \times 10^{-4}$; QGSJET 模型给出的相应值为 $\sim 3.8 \times 10^{-4}$. 由此可见,在相同的条件下,由 DPMJET 模型给出的族事例产生率要比 QGSJET 模型给出的相应值要高,这一结果与文献[4,5]的结果相一致. 文献[4,5]在利用 CORSIKA 程序检验 EAS 实验时曾报道:与其他模型(QGSJET 模型等)相比较,由 DPMJET 模型进行模拟得到的空气簇射在大气中的纵向发展要穿得更深. 因此,在高山高度由 DPMJET 模型给出的族事例的产额将高于其他模型.

利用强相互作用模型 QGSJET 与 DPMJET 进行

模拟计算,得到了各种原初组份所产生的族事例数及其占总事例数的百分比,如表 2 所示. 由表 2 可见,基于强相互作用模型 QGSJET 与 DPMJET 进行模拟所得到的相应值基本一致;原初轻核(P + He)产生的族事例数约占总事例数的 $\sim 80\%$,而全部重核(H + VH + Fe)产生的族事例数仅占族事例总数的 $\sim 8\%$.

为了更清楚地看出各种原初成分产生族事例的效率,以及族事例产生效率与原初粒子能量的关系,在表 3 中给出了利用 QGSJET 模拟得到的原初宇宙线各组份在不同能区的原初粒子数、产生的族事例数(总观测能大于 100TeV)、族事例的产生效率以及其产生的族事例占全部族事例数的百分比.

从表 3 可以看出:(1)在同一能区内,质子产生族事例的效率远高于其他原子核. 就全部能区而言,原初质子虽然只占全部原初粒子数的 21.6%,但是质子产生的族事例却占了总事例数的 62.8%. (2)产生族事例的效率随初能的上升而急剧增加. 以质子为例,当其初能由“A 能区”(0.2×10^{15} — 1.4×10^{15} eV)上升到“B 能区”(1.4×10^{15} — 10^{16} eV)时,其产生族事例的效率增加了将近两个数量级. 随着初能的上升,重核的产生效率比质子增长得更快,全部重

表 2 模拟得到的各原初成分所产生的族事例数及其份额

原初成分		P	He	CNO	H	VH	Fe
QGSJET	族事例数	2588	799	440	116	40	141
	所占比例	62.7%	19.4%	10.7%	2.8%	1.0%	3.4%
DPMJET	族事例数	1122	367	225	67	19	83
	所占比例	59.6%	19.5%	11.9%	3.6%	1.0%	4.4%

表 3 用 QGSJET 模型模拟得到的不同能区不同原初成分族事例的产生效率及其占全部族事例的比例

能区/ $\times 10^{15}$ eV	原初种类	原初粒子数	族事例数	产生效率(%)	占全部族事例的比例(%)
A	p	2295933	825	0.036	18.87
	He	2411988	12	0.0	0.27
	CNO	2875287	0	0.0	0.0
	H + VH + Fe	2912868	0	0.0	0.0
B	p	46896	1528	3.26	34.95
	He	54501	485	0.89	11.09
	CNO	104943	103	0.10	2.35
	H + VH + Fe	145719	9	0.006	0.21
C	p	923	393	42.58	8.99
	He	1077	350	32.50	8.01
	CNO	2079	365	17.56	8.35
	H + VH + Fe	3900	302	7.74	6.91
合计	所有种类	10856118	4372	0.04	100

核在 10^{16} eV 以下几乎不产生族事例,当从“B 能区”上升到“C 能区”($10^{16} - 10^{17}$ eV) 时,其产生族事例的效率增加了 3 个数量级以上. (3) 在“C 能区”,全部重核产生的族事例数虽然与 p, He 和 CNO 相当,但这时原初宇宙线流强太低,且重核产生族事例的效率仍低于其他原子核. 这样,在模拟的全部能区,虽然全部重核占了全部原初粒子数的 28.2%,但其产生的族事例却只占总事例数的 7.1%. (4) 在高于 10^{17} eV 能区,对于我们所采用的模拟数据样本,可以由“C 能区”的全部原初粒子数 ($\sim 8 \times 10^3$),估计出在高于 10^{17} eV 能区的原初粒子可能产生的族事例数. 结果表明这一部分族事例占全部族事例数的比例将低于 $\sim 2\%$. 因此,在模拟计算中将初能上限取为 10^{17} eV 是可以的.

上述模拟计算结果给出的宇宙线各种原初成分产生族事例的效率,以及产生族事例的效率与原初粒子能量的关系,有助于我们进一步理解不同能量不同成分的原初宇宙线与空气原子核相互作用的行为,及其形成的 EAS 在大气中的发展与传播的过程.

3.2 族事例可观测量的分布

族事例的可观测量有:

- (1) 族事例中簇射的成员数 n ;
- (2) 族事例的平均横向扩展 $\bar{R} = \Sigma R_i / n$, 其中 R_i 为族中第 i 个簇射成员到族的能量中心的距离;
- (3) 族事例的平均能量矩 $\overline{ER} = \Sigma E_i R_i / n$, 其中 E_i 是族中第 i 个簇射成员的能量;
- (4) 族事例的总观测能 ΣE_{vis} .

模拟计算表明,以上诸观测量对强相互作用机制和原初宇宙线的化学组成有较大的依赖关系,将模拟和实验观测到的这些特征量相互比较,可以对

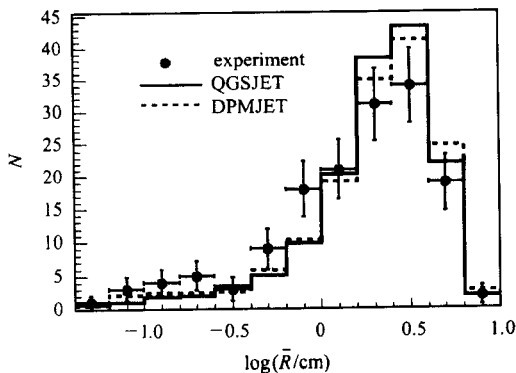


图1 实验和模拟族事例的 \bar{R} 分布

模拟中所采用的强相互作用模型与原初宇宙线成分假设进行检验.

图 1—4 分别给出了甘巴拉山铅乳胶室实验和基于强相互作用模型 QGSJET, DPMJET 模拟得到的总观测能为 $100\text{TeV} \leq \Sigma E_{vis} \leq 700\text{TeV}$ 的族事例的 \bar{R} , \overline{ER} , n , ΣE_{vis} 的分布(作图时模拟数据均归一到了实验数据). 由图可见,基于两种强相互作用模型进行的模拟计算所得到的族事例诸可观测量分布均与实验数据的相应分布基本相符.

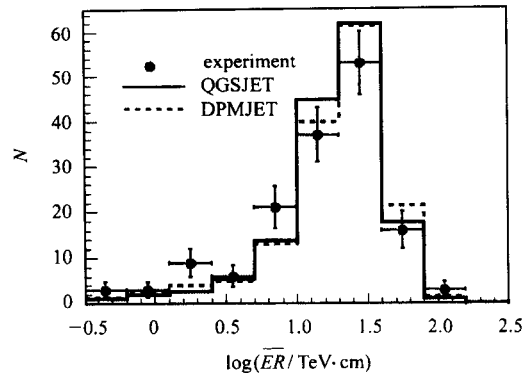


图2 实验和模拟族事例的 \overline{ER} 分布

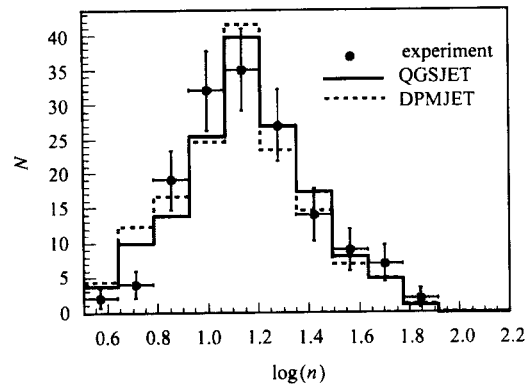


图3 实验和模拟族事例的多重数 n 分布

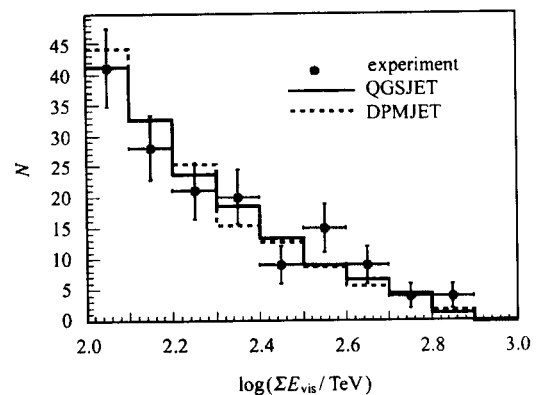


图4 实验和模拟族事例的总观测能 ΣE_{vis} 分布

3.3 实验与模拟族事例可观测量的平均值

将族事例按总观测能划分为 3 个能区, 计算了各能区由实验与基于两种不同的强相互作用模型模拟得到的族事例 \bar{R} 的平均值 $\langle \bar{R} \rangle$, \overline{ER} 的平均值 $\langle \overline{ER} \rangle$, 族中簇射成员数的平均值 \bar{n} , 及族的总观测能 ΣE_{vis} 的平均值 $\langle \Sigma E_{\text{vis}} \rangle$, 以便将实验与模拟的族事例的产生特征及其与总观测能的关联进行定量研

究, 结果如表 4 所示. 由表可以看出: (1) 基于两种强相互作用模型进行模拟给出的族事例的平均值 $\langle \bar{R} \rangle$, $\langle \overline{ER} \rangle$, \bar{n} 和 $\langle \Sigma E_{\text{vis}} \rangle$, 在统计误差范围内均与相应的实验数据基本相符. (2) 随总观测能 ΣE_{vis} 的增加, 无论是实验还是模拟给出的族事例的平均值 $\langle \bar{R} \rangle$, 均有减少的趋势, 这一结果与文献 [1] 给出的结果一致. (3) 在总观测能为 400—700 TeV 的能区, 由于实验的统计量较小, 误差较大.

表 4 不同观测能区实验与模拟族事例数, $\langle \bar{R} \rangle$, $\langle \overline{ER} \rangle$, \bar{n} , $\langle \Sigma E_{\text{vis}} \rangle$

总观测能/TeV	实验与模拟	族事例数	$\langle \bar{R} \rangle/\text{cm}$	$\langle \overline{ER} \rangle/(\text{TeV} \cdot \text{cm})$	\bar{n}	$\langle \Sigma E_{\text{vis}} \rangle/\text{TeV}$
100	甘巴拉实验	90	2.4 ± 0.3	24.0 ± 2.6	12.2 ± 1.3	135.0 ± 14.3
—	QGSJET	2665	2.6 ± 0.1	24.0 ± 0.5	12.0 ± 0.3	137.3 ± 2.7
200	DPMJET	1273	2.6 ± 0.1	24.3 ± 0.7	11.6 ± 0.4	136.9 ± 3.9
200	甘巴拉实验	44	2.0 ± 0.4	20.9 ± 3.2	23.0 ± 3.5	286.2 ± 43.2
—	QGSJET	1127	2.4 ± 0.1	23.3 ± 0.7	21.8 ± 0.7	270.5 ± 8.1
400	DPMJET	465	2.5 ± 0.2	25.2 ± 1.2	21.4 ± 1.0	273.9 ± 12.8
400	甘巴拉实验	17	1.6 ± 0.4	18.7 ± 4.6	33.0 ± 8.1	526.1 ± 127.6
—	QGSJET	333	2.2 ± 0.2	22.1 ± 1.3	39.7 ± 2.2	512.5 ± 28.1
700	DPMJET	145	2.4 ± 0.2	24.2 ± 2.1	40.2 ± 3.4	520.5 ± 43.3
100	甘巴拉实验	151	2.2 ± 0.2	22.5 ± 1.9	17.7 ± 1.5	223.1 ± 18.2
—	QGSJET	4124	2.5 ± 0.1	23.7 ± 0.4	16.9 ± 0.3	204.0 ± 3.2
700	DPMJET	1883	2.6 ± 0.1	24.5 ± 0.6	16.3 ± 0.4	200.3 ± 4.7

3.4 能量集中现象

Tamada^[20] 通过对 Chacaltaya 和 Pamir 实验的高能族事例进行系统分析, 观测到了族事例的能量集中现象. 就是说, 在宇宙线高能族事例中有相当大份额的族事例, 其观测能的绝大部分 ($\geq 90\%$) 集中于围绕簇射轴的极端向前区 (即距族的能量中心仅有 1cm 或几 mm 范围内). Tamada 采用了 5 种不同的强相互作用模型在“正常”的原初宇宙线化学组成假设下进行了模拟计算, 结果均不能解释这一实验现象.

为了挑选出在极端向前区域内具有能量集中现象的族事例, 定义族事例的能量集中度^[20]为

$$\chi_{10} = \Sigma E_{\text{vis}}(r \leq 10\text{mm}) / \Sigma E_{\text{vis}},$$

其中 $\Sigma E_{\text{vis}}(r \leq 10\text{mm})$ 是在距能量中心半径 $r \leq 10\text{mm}$ 范围内的 γ 射线和强子簇射的观测能之和.

图 5 给出了由实验数据得到的族的能量集中率的分布和两种模拟计算的结果, 由图可见: 在甘巴拉铅乳胶室实验获取的高能族事例中存在着能量集中现象; 基于强相互作用模型 QGSJET 和 DPMJET 得到的模拟族事例能量集中率的分布, 与实验数据的整体趋势基本相符, 在 $\chi_{10} \geq 0.9$ 区间内也有与实验类

似的比较大的超出, 在模拟族事例中也存在能量集中的趋势. 这与戴志强^[7]、王河^[8] 等人的工作结果基本相符.

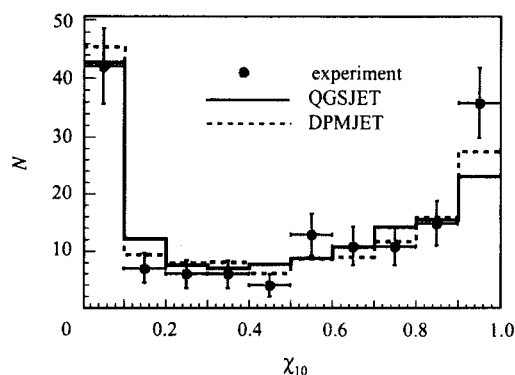


图 5 实验和模拟所得族事例的能量集中度 χ_{10} 的分布

为了对族事例的能量集中现象进行量化处理, 把具有较高能量集中度 ($\chi_{10} \geq 0.9$) 族事例数 $n(\chi_{10} \geq 0.9)$ 与总事例数 N_{event} 的比值定义为

$$\zeta = n(\chi_{10} \geq 0.9) / N_{\text{event}}.$$

通过计算得到, 实验及基于强相互作用模型 QGSJET 和 DPMJET 模拟得到的 ζ 值分别为 $(23.8 \pm 2.0)\%$, $(15.4 \pm 0.3)\%$ 和 $(18.3 \pm 0.5)\%$. 基于 DPMJET 模型得到的模拟族事例的 ζ 值, 与采用

QGSJET模型得到的相应的 ζ 值相比,和实验值更为接近;但与实验数据相比仍然偏低.

4 结束语

利用在EAS模拟中被广泛采用的CORSIKA程序,基于强相互作用模型QGSJET和DPMJET,在所采用的原初宇宙线能谱与化学组成的假设下,对高山乳胶室族事例的产生特征进行了模拟.结果表明:(1)原初质子产生族事例的效率远高于其他原子核;随着初能的上升,各种原初成分产生族事例的效率均急剧增加,重核的产生效率增长更快.(2)模拟计算得到的族事例的平均横向扩展 \overline{R} 、平均能量矩 \overline{ER} 、族中成员数 n 及族的总观测能 ΣE_{vis}

等的分布及其平均值,与实验数据给出的相应结果基本相符.(3)模拟族事例具有与实验相似的能量集中趋势;但具有较高能量集中度($\chi_{10} \geq 0.9$)的模拟事例的份额与实验数据相比仍然有些偏低.

宇宙线高能族事例的产生特征,与原初宇宙线的化学组成及模拟所采用的强相互作用模型密切相关.目前“膝”区原初宇宙线的化学组成尚无定论,有必要跟踪原初宇宙线化学组成的最新测量结果,采用更多的强相互作用模型,应用于高山乳胶室实验的模拟,对宇宙线高能族事例的产生特征做进一步的研究.

感谢甘巴拉山乳胶室合作组对本工作的支持.

参考文献 (References)

- REN J R et al. Phys. Rev., 1988, **D38**(5):1404
- Chacaltaya and Pamir Collab. Nucl. Phys., 1992, **B37**:365
- Heck D et al. FZKA-Report, 1998, 6019, Forschungszentrum Karlsruhe
- Heck D et al. 27th ICRC, 2001, 233
- Milke J et al. 27th ICRC, 2001, 241
- Borisov A et al. 26th ICRC, 1999, 1:84
- DAI Zhi-Qiang et al. HEP & NP, 2000, **24**(10):885 (in Chinese)
(戴志强等. 高能物理与核物理, 2000, **24**(10):885)
- WANG He et al. HEP & NP, 2003, **27**(4):299 (in Chinese)
(王河等. 高能物理与核物理, 2003, **27**(4):299)
- Kaidalov A B, Ter-Martirosyan K A, Sov. J. Nucl. Phys., 1984, **39**: 979
- Kaidalov A B et al. Nucl. Phys., 1986, **43**:822
- Kalmykov N N, Ostapchenko S S. Sov. J. Nucl. Phys., 1989, **50**: 315
- Bopp F W et al. Phys. Rev., 1994, **D49**:3236
- Ranft J. Phys. Rev., 1995, **D51**:64
- Roesler S et al. 27th ICRC, 2001, 439
- Sjostrand T. Comp. Phys. Rep., 1994, **82**:74
- Anderson B et al. Phys. Rep., 1983, **97**:31
- Asakimori K et al. Ap. J., 1998, **502**:278
- Apanasenko A V et al. Astrop. Phys., 2001, **16**:13
- WANG Yong-Gang et al. HEP & NP., 2002, **26**:108 (in Chinese)
(王永刚等, 高能物理与核物理, 2002, **26**:108)
- Tamada M. 23rd ICRC, 1993, **4**:80

Study on the Production Characteristics of Cosmic Ray High Energy Family Events with Simulation and Experiment*

WANG Kong-Sen^{1,1)} WANG He¹ HUANG Xing-Tao¹ MA Lian-Liang¹ MA Li-Na¹
WANG Yong-Gang¹ XUE Liang¹ FENG Cun-Feng¹ ZHANG Xue-Yao¹ LI Jin-Yu¹
ZHANG Nai-Jian¹ HE Mao¹ WANG Cheng-Rui¹ REN Jing-Ru² LU Sui-Ling²

1(Department of Physics, Shandong University, Ji'nan 250100, China)

2(Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100039, China)

Abstract A Monte Carlo simulation on production characteristics of high energy family events observed with Mt. Kanbala emulsion chambers is made based on hadronic interaction models QGSJET and DPMJET with program CORSIKA which is commonly used in the simulations of EAS experiments. The production efficiency of family events for different primary particles and its relationship with primary energies are given. The distributions of lateral spreads, numbers of showers, total visible energies of the family events and their corresponding average values got from simulations are systematically compared with those of the experiment. It shows that their results are consistent basically. Additionally, family events from both simulations and experiment have the similar tendency of energy concentration.

Key words hadronic interaction model, extensive air shower, Monte Carlo simulation, family event, emulsion chamber

Received 16 June 2003, Revised 16 September 2003

* Supported by NSFC(10120130794) and Natural Science Foundation of Shandong Province (Y2002A07)

1)E-mail: wangks@hepg.sdu.edu.cn