

L3C 宇宙线实验中 Z^0 数据的分析

刘振安¹⁾

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

摘要 μ 子动量谱的精确测量是 L3C 宇宙线实验最重要的目标之一. 事例重建的好坏是该测量的关键, 而能量确定的衰变为双 μ 子的事例是检验重建程序的最好手段. 该数据分析利用在 2000 年中获取的数据作为样本, 筛选出了 LEP 在 2000 年 4 月、5 月、8 月和 9 月等 Z^0 能量运行期间 L3C 宇宙线实验数据中记录的 $Z^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ 事例数据, 得到通过重建程序后动量为 45 GeV 的 μ 子动量分辨率为 $(5.47 \pm 0.25)\%$.

关键词 宇宙线 中微子 μ 子 Z 玻色子

1 引言

L3C^[1] 宇宙线实验是由高能物理研究所、理论物理所以及瑞士、德国、法国、意大利、西班牙等国家和单位的科学家参加的国际合作. 该实验利用位于欧洲核子研究中心 CERN 正负电子对撞机 LEP 上的 L3^[2] 谱仪的大型磁铁和高精度大型漂移室, 附加由闪烁体构成的 TO 探测器, 以及有效的分析工具, 对多项物理目标进行研究. 宇宙线 μ 子动量谱的精确测量是 L3 宇宙线实验最重要的目标之一. 对 μ 子动量谱的绝对测量, 可以对计算的 μ 中微子谱进行标定, 该谱是帮助解决大气中微子振荡问题的关键之一. 对 μ 子谱电荷比和多重数的测量, 也可给出原初宇宙线的构成和分布的信息.

对 μ 子动量谱的测量, 显然事例重建程序的好坏直接影响测量精度. L3C 实验中 μ 子漂移室的时间零点是由 TO 探测器的时间信息确定的. L3C 实验的一个有利条件是有 LEP 对撞事例可以利用, 即利用 LEP 运行在 Z^0 能量时产生的 μ 对事例, 分析测量重建后的动量分辨率. 这些 μ 子的动量是非常准确的, 可以用来判断重建程序的好坏. L3 实验中 Z^0 事例的选取有比较成熟的经验^[3,4], 但在 L3C 宇宙

线实验中 Z^0 事例的挑选却是一个挑战. 因为 L3C 宇宙线实验的触发判选是以宇宙线为根据的, 没有专门的 Z^0 事例触发, Z^0 事例是作为本底记录的, 而 Z^0 事例的事例率又很低, 因此 Z^0 的挑选难度很大. 本文介绍作者在 L3C 宇宙线实验 2000 年获取的数据分析过程中开发的 Z^0 事例的挑选方法与数据分析结果.

2 数据样本

本文的目的是利用由 LEP 对撞产生的 Z^0 衰变产生的 45 GeV 的 μ 对来测量 L3C 探测器的动量分辨率, 因此必须首先从大量的宇宙线实验数据中得到 LEP 对撞时获得的数据样本. L3C 实验记录的是宇宙线事例, 但同时也记录了 2000 年 4 月至 11 月期间 LEP 运行于 Z^0 能量时产生的 μ 对事例, 但对撞事例远远少于宇宙线事例. 为了挑选出 LEP 对撞事例产生的数据, 我们必须首先知道 LEP 运行于 Z^0 能量的确切时段.

LEP 在 2000 年四月份, 五月份、八月份和九月份 4 个时间段运行在 Z^0 能量. 表 1 给出了这些数据的详细信息.

2002-08-12 收稿, 2002-10-21 收修改稿

1) E-mail: liuza@mail.ihep.ac.cn

表 1 本文采用的 Z^0 数据样本

LEP 注入号	L3C RUN 号	日期 (年月日)	时间段	总时间/S
6811	100973—101009	000403	10:57—18:05	410
6813	101032—101046	000403	22:35—02:27	204
6815	101055—101069	000404	05:04—10:14	210
6821	101135—101164	000404	22:56—10:08	654
6827	101214—101241	000405	21:29—09:02	670
6831	101249—101278	000406	22:02—10:57	756
6834	101344—101367	000407	19:04—09:12	800
6839	101409—101411	000408	19:03—20:41	56
6842	101427—101439	000409	09:27—13:35	247
6846	101459—101493	000409	21:49—10:28	784
6847	101549—101572	000410	22:40—08:01	533
7249	107155—107218	000523	13:55—02:22	787
7250	107222—107289	000524	03:47—15:15	688
8176	117797—117856	000816	17:35—06:50	786
8177	117864—117920	000817	07:54—13:12	232
8453	120831—120871	000914	14:09—22:52	475
8454	120874—120939	000914	23:16—10:32	641

3 事例的预选

L3C 实验中宇宙线的事例率约为 400/s, 而 LEP 正负电子对撞经过 Z^0 产生的双 μ 事例被 L3C 记录下来事例几分钟才有一个. 因此 L3C 宇宙线实验记录下的数据中 Z^0 事例的比例非常少, 大约为 6.4×10^{-5} . 图 1 为双径迹事例中第一径迹和第二径迹的动量关系图. Z^0 产生的双 μ 事例的动量应该在 (45, -45) 和 (-45, 45) GeV 为中心的两个小区域. 从此图中看出 Z^0 产生的双 μ 事例的比例很小.

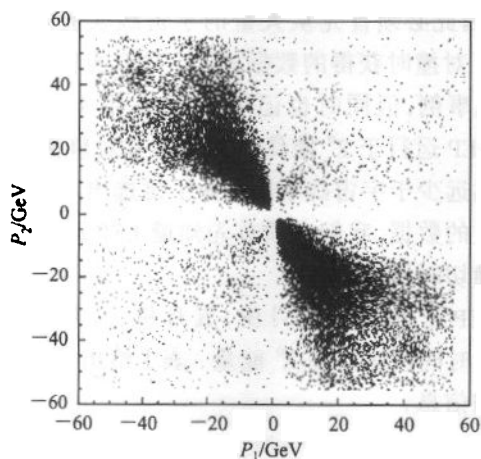


图 1 原始样本中双径迹事例的动量分布图

在加速器实验中, 一般都有一个束流检测(或称束流通过)探测器, 用来表示束流的通过. 而该探测

器与实验靶或对撞点的距离一定, 束流的飞行速度也一定, 因而束流检测探测器的输出信号比对撞时刻有一个固定的提前量, 可用来代表对撞时刻, 即反应产物的产生时刻. 在 L3 实验的数据获取系统中有一个“束流通过”探测器信号 (Btim), 束流通过该探测器时通知 L3 触发和 DAQ 系统有对撞发生. 对撞产生的 μ 对由于具有确定的飞行速度, 因而飞行到 T0 探测器的时间也是相同的 (距离相同), 就是说, 对对撞产生的粒子而言, T0 探测器信号 (Stim) 的产生时间与 Btim 有固定的时间差. 在 L3C 宇宙线实验中, 触发是由 T0 探测器 (闪烁体探测器) 信号和漂移室信号确定的. 对撞产生的 μ 子在 T0 探测器产生的信号与宇宙线粒子在 T0 探测器产生的信号都能产生触发并被记录下来. 但对对撞事例而言 Btim 与 Stim 的差是固定. 而对宇宙线事例, Btim 的时间是随机的. 因而我们把 Btim 信号的产生时间记录下来, 代表与 LEP 对撞事例的关联, 利用此信息区分对撞事例和宇宙线事例. 但在实验中我们发现, 由于 L3C 数据获取系统采用了流水线技术, L3C 触发方式的特殊性使得有些“束流通过”信号落在了搜索时间窗的外面. L3 的数据获取系统也提供一个公共停止信号. 该信号产生的时间 (图中用 Ctim 表示) 与束流通过的时间 (图中用 Btim 表示) 有一个固定的时间差 (晚于 Btim), 正好落在时间窗内. 对于对撞产生的数据, 公共停止信号与闪烁体产生的 T0 信号 (图中用 Stim 表示) 应该也有一个固定的时

间差. 我们就利用该特性从大量的宇宙线数据中挑选对撞事例. 从图 2 中看出, 对 Z^0 事例(图中直线

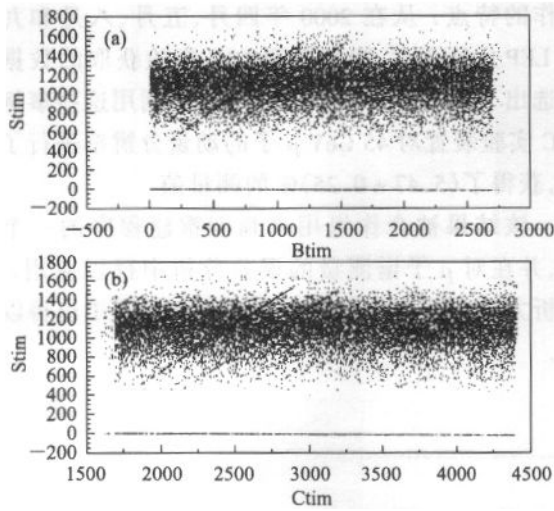


图 2 Stim 与 Btim(a)及 Ctim 的关系(b)

上的事例), 确实存在一个固定的时间差. 研究中发现如我们所愿确实存在(Stim-Ctim)的固定时间差(见图 3, 上部长条为 Z^0 事例, 下部台阶部分为宇宙线事例). 图上有两个峰(图 2 中两条直线), 是因为对撞束流实际是由两个微束团构成的, 每个事例是由其中的一个微束团对撞产生的, 因而产生的时刻略有不同, 因而也验证了束流的结构是两个微束团. 因此在过滤程序中利用条件 $1750 < (\text{Stim} - \text{Ctim}) < -1650$ 和 $-1400 < (\text{Stim} - \text{Ctim}) < -1300$, 就可以从原始数据中把 Z^0 数据连同部分本底挑选出来形成一个浓缩文件, 用于其后的事例重建和事例选择. 在实践中, 为了更好地研究发现好的事例选择方法, 在过滤程序中也要求径迹在顶点处 xy 平面与对撞中心的距离应小于 20cm.

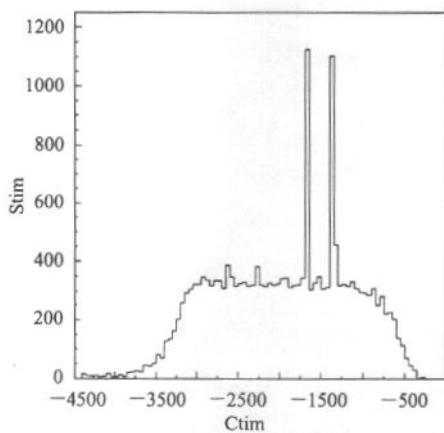


图 3 闪烁体击中信号与公共停止信号的时间差

4 事例的选择

从图 3 可以知道, 预选以后的事例包含 Z^0 事例(图中长条部分)外, 仍包含大量的宇宙线本底(台阶中长条对应的部分)需要继续排除. 我们知道 $Z^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ 事例必须也只能有两条径迹($N_{\mu} = 2$), 而且 μ 子漂移室的三层单元段中都有击中($N_{\text{par}} = 3$). 由于 T0 探测器只覆盖在正上的部分($0.6 < \varphi < 2.5$, $-0.5792 < \lambda < -0.0792$ 和 $0.0708 < \lambda < 0.5708$, 束流方向有一个小缝隙), 因此对此加以限制. 束团的几何大小在 xy 平面内为 0.4cm, z 方向为 1.4cm, 因此 $Z^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ 事例的径迹原点一定在 5 倍方差之内($DCA < 2\text{cm}$, $|z| < 7\text{cm}$). 还有 $Z^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ 事例中的能量和动量也应该在 45GeV 附近($35 < E < 55\text{GeV}$, $35 < P < 55\text{GeV}$). 综上所述, 通过下列选择条件的事例:

$$0.6 < \varphi < 2.5$$

$$-0.5792 < \lambda < -0.0792 \quad \text{上半部的径迹要落在闪烁体上}$$

$$0.0708 < \lambda < 0.5708$$

$$DCA < 2\text{cm} \quad \text{径迹在 } xy \text{ 内与对撞顶点的距离小于 } 2\text{cm} (5 \text{ 倍 } \sigma)$$

$$z < 7\text{cm} \quad z \text{ 向到顶点的距离小于 } 7\text{cm} (5\sigma)$$

$$35 < E < 55 \text{ GeV} \quad \text{能量范围}$$

$$35 < P < 55 \text{ GeV} \quad \text{动量范围,}$$

我们认为是 Z^0 事例. 对浓缩后的数据样本经过 V402 版本重建程序重建后总共找到了 411 个 Z^0 事

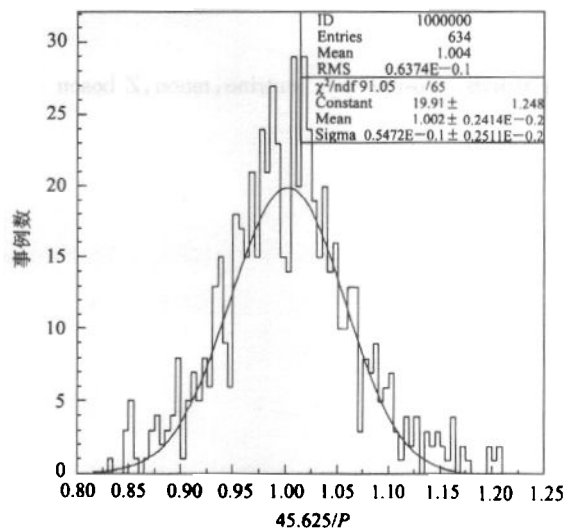


图 4 μ 子的动量分辨率测量

例. 为了检验这些候选粒子是否是真正的 Z^0 粒子, 我们检查事例中两条径迹之间的 θ 和 φ 角的差(应为 180°), 并且利用事例扫描程序对这些径迹进行逐个检查, 发现只有两个宇宙线粒子被误判为 Z^0 粒子.

利用上面选出的 $Z^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ 事例给出 μ 子动量的测量结果参见图 4(横坐标中 45.625 GeV 为 μ 子初始动量, $P(\text{GeV})$ 为测量动量.)

5 结果与讨论

在 L3C 实验进行过程中建议对“束流通过”信

号和公共停止信号在数据获取系统中进行记录, 并在数据分析中研究建立了相应事例挑选规则, 是本工作的特点. 从在 2000 年四月、五月、八月和九月份 LEP 运行于 Z^0 能量期间 L3C 实验获取的数据中挑选出了 411 个 $Z^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ 事例, 并利用这些事例对 L3C 实验装置对 45 GeV μ 子的动量分辨率进行了测量, 获得了 $(5.47 \pm 0.25)\%$ 的测量值.

该结果被合作组用来判别重建程序的一个参量, 并在对 μ 子谱测量的误差分析中得以应用. 该分析方法在其后的重建程序的不断改进中也得以应用.

参考文献 (References)

- 1 Baehr J. et al. Precision Measurement of the Cosmic Ray Muon Momentum Spectrum Between 20 and 2000 GeV/c, July 1996. L3 internal Note No. 1977
- 2 L3 Collab. Nucl. Instr. And Meth., 1990, **A289**:35
- 3 LIU Zhen-An, CHEN Guo-Ming et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1998, **22**:990 (in Chinese)
(刘振安, 陈国明等. 高能物理与核物理, 1998, **22**:900)
- 4 CHEN Guo-Ming, CHEN Gang. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1995, **19**:692 (in Chinese)
(陈国明, 陈刚. 高能物理与核物理, 1995, **19**:692)

Z^0 Data Analysis in L3 Cosmic-Ray Experiment

LIU Zhen-An¹⁾

(Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100039, china)

Abstract The μ pair decayed from Z^0 is a good means to check the quality of reconstruction program in L3 Cosmic experiment. This paper describes the method of selecting $Z^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ events from data sample recorded during April, May, August and September, 2000 when the LEP was running at Z^0 energy. The momentum resolution of $(5.47 \pm 0.25)\%$ for 45 GeV muon is obtained.

Key words cosmic ray, neutrino, muon, Z boson

Received 12 August 2002, Revised 21 October 2002

1) E-mail: liuza@mail.ihep.ac.cn