北京谱仪积分亮度测量的新方法*

黄光顺†,程宝森,苑长征,李新华,祁向荣,刘靖,陈光培,陈江川,胡海明,
胡涛,巨新,李金,毛泽普,薛生田,张良生,郑志鹏,周莉,赵政国
(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

1999年5月20日

摘　要

介绍了利用双μ产生和双γ产生两种QED过程来测量积分亮度的新思路.前者的特色在于用单根径迹选择双μ事例,后者则是首次利用双γ事例测定亮度. 两种方法分别用于98年春季北京谱仪(BES)R值扫描6个能量点的数据, 所得结果的误差分别小于8.0%和7.5%，在误差范围内与大角度巴巴事例亮度值一致.

关键词　亮度, 双μ产生事例, 双γ产生事例

1　引言

亮度是对撞机的一个重要指标，直接反映对撞束流的性质.在高能物理实验数据分析中,积分亮度是一个基本参数,尤其在绝对测量中是各种实验数据规一的基础.原则上说,任何一种QED过程,只要理论上能精确计算,且其反应截面足够大,都能用于亮度测量.北京谱仪[1] [2]主要依据(辐射)巴巴过程$e^+e^- \rightarrow e^+e^-(\gamma)$来确定亮度,因为它是作用截面最大的一种QED 过程.小角度亮度监测器具有计数率高和统计误差小的特点,可以给出统计精度很高的结果;在小角度附近,巴巴散射截面与角度的四次方成反比,因而对亮度监测器的定位精度要求极高,但这是难以保证的. 物理分析中用到的积分亮度,也常来自于大角度巴巴事例[3], 这是由于它与其他物理末态事例取数条件相同,无须死时间校正.(辐射)双μ产生过程$e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-(\gamma)$也常用于确定亮度[3], 但该过程截面较小,统计误差较大,给出的亮度值一般作为参考.双γ产生过程$e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma(\gamma)$ 是另外一种可能用于亮度计算的过程,其截面比巴巴过程小,比双μ过程大.

北京谱仪在98年春季第一轮R值扫描测量实验中,在2-5GeV能区6个能量点获取了数据.上述三种过程分别用于亮度测量,得到的结果在误差范围内是一致的. 由于三种事例的选择依赖于不同的子探测器信息,因而三种方法具有相对独立性，这不仅保证了亮度测量的可

*国家自然科学基金、中国科学院重大项目基金、国家杰出青年基金资助

†email: huanggs@pony1.ihep.ac.cn

靠性,而且说明各子探测器的工作状态是正常的.从统计精度考虑,R值测量中采用巴巴过程给出的亮度值,其误差在3%以内;本文描述用后两种过程确定亮度的方法,这种相互校验也是很有意义的.

2 双μ产生事例的选择

双μ产生事例的突出特征是有两根背对背飞行的、带相反电荷的径迹,且其飞行时间大体相当,在簇射计数器中沉积能量较小,在μ计数器中有击中.通常选择双μ事例依据的就是上述特征,但是在R值取数期间,由于主漂移室的噪声比较严重,造成径迹重建质量较差,事例选择不应过分依赖径迹重建信息.为此,本文采用了单根径迹选择的方法,基本思路是:只要在一个事例中找到一根可能的μ径迹,就认为该事例是候选双μ事例;这样选出的事例中必然包含宇宙线和强子本底,由于宇宙线径迹的顶点Z坐标是一个均匀分布,故可以通过拟合的办法加以扣除,而强子本底则可以依据强子样本来扣除.

单根μ径迹选择条件具体是:径迹在三层μ计数器的击中数之和大于或等于3(当径迹由主漂移室外推至μ计数器某层的位置与实际击中位置的距离在限定值之内,则认为径迹在μ计数器有好击中;若为单管击中,则在该层的击中数被认为是1,若为双管击中,则击中数是2);径迹出射极角范围$|\ cos\theta\ | < 0.67$;飞行时间要求$3 < TOF < 6$ ns,飞行时间测量值与预期值的差别在1 ns 之内;径迹的动量小于束流动量的1.4倍;径迹顶点在$r-\phi$平面与对撞点的距离在1.5 cm之内.

单径迹选择方法不仅减弱了事例挑选对数据质量的强烈依赖,同时也提高了事例选择效率,使得真实数据与蒙特卡罗模拟中丝效率的差别所造成的影响可以忽略不计.

对双μ事例而言,最容易混入的本底是宇宙线事例,从单径迹选择得到的候选双μ事例的ϕ方向分布可以很明显地看到(图1),宇宙线集中于垂直方向.不过,对撞事例的顶点分布集

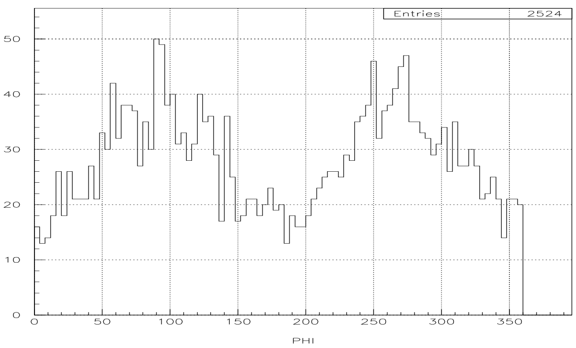

图 1 : 候选双μ事例中包含宇宙线本底

中于对撞区域,而宇宙线事例的顶点则基本上是均匀分布,据此可以对顶点的Z坐标分布做高斯加多项式拟合,高斯峰面积可看作对撞事例数,而多项式部分则可看作本底,如图 2所示.

对于强子本底,由于它也是对撞产生的事例,其顶点坐标分布与双μ 事例没有什么区别,故要采取直接扣除的办法.利用R值数据分析工作中已有的强子样本(二叉以上事例),通过单根μ径迹判选条件,得到的事例数再除以强子选择效率(补偿一叉事例的贡献),即为候选双μ事例中可能误判的强子数.

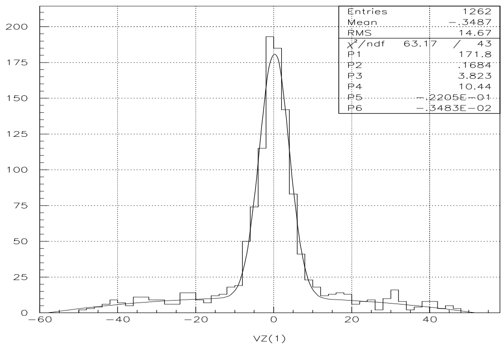

图 2：用顶点Z坐标拟合方法扣除宇宙线本底

当质心系能量在τ轻子对产生阈值(3.5554GeV)以上时,还需要考虑来自于τ轻子衰变的本底.τ有大约17%的几率衰变到μ,这是最大的本底贡献,此外τ通过强子道衰变模式产生的强子,也可能被误判为μ.单径迹选择方法不能排除τ 对的影响,只能通过蒙特卡罗模拟来扣除.在4.6和5.0GeV能量点, 双τ产生截面与双μ产生截面相当,考虑到分支比和探测效率,τ本底所占的比例为12－15%.

3 双γ产生事例的选择

98年春季第一轮R值扫描测量实验期间,桶部开放了3个触发道,其中包括1个中性道,触发条件的设置保证了纯中性事例的正常获取,客观上为用双γ事例确定亮度提供了可能. 在桶部簇射计数器覆盖范围内,双γ产生截面是双μ产生截面的大约5倍,而且桶部簇射计数器的立体角覆盖比μ计数器宽,因此挑选双γ事例计算亮度可望得到较高的统计精度. 另外一个好处是,它几乎没有本底过程,信号十分干净. 用双γ产生过程确定亮度,在BES数据分析中是第一次. 双γ事例也具有比较鲜明的特征,即两条背对背的中性径迹, 在簇射计数器中沉积能量较大.双γ事例的选择仅仅依赖于簇射计数器的信息.选择方法是：首先找出三条能量最大的径迹, 其能量分别为$E_{max1}, E_{max2}, E_{max3}$,束流能量为$E_{beam}$, 要求径迹能量满足(如图3所示)

- $E_{max1} > 0.6E_{beam}$
- $E_{max2}(+E_{max3}) > 0.45E_{beam}$
- $E_{sum} = E_{max1} + E_{max2} + E_{max3} > 1.15E_{beam}$

其中第三条径迹是可能的辐射光子.前两条径迹应该满足背对背关系,由于中性径迹在磁场中无偏转,所以在簇射计数器中表现为严格的背对背(如图4所示), 与巴巴事例明显不同.用θ_1,θ_2和ϕ_1,ϕ_2 分别表示两条径迹的极角和方位角,背对背要求为

- $\mid \theta_1 + \theta_2 - 180° \mid < 10°$
- $\mid\mid \phi_1 - \phi_2 \mid -180° \mid < 3°$

在簇射计数器的Z=0,$\pm$95.5cm处有三个宽2.8cm的加强筋层,形成探测死区; 同时加强筋也给蒙特卡罗模拟造成很大困难,落入加强筋区域内的粒子, 其行为不能很好地模拟.而探测效率必须由蒙特卡罗模拟得到,上述两方面的因素使得出射位置在加强筋附近的事例不能用于亮度计算.为保证结果的可靠性,事例选择过程中排除了三个宽约20cm的加强筋带(图 5). 同时要求径迹在簇射计数器的击中位置$\mid Z \mid < 125$cm, 这相当于几何接收范围在$\mid cos\theta \mid < 0.71$以内。

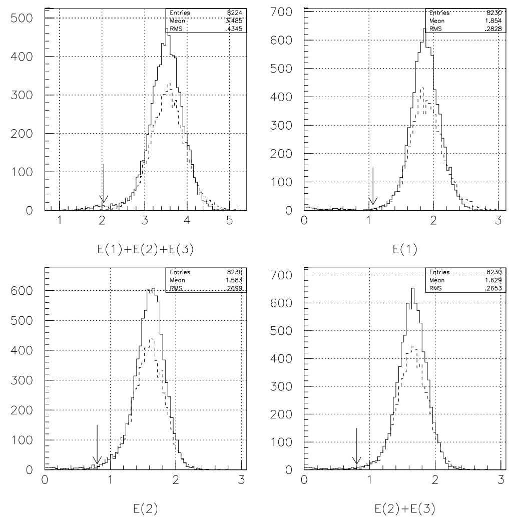

图 3 : $\gamma\gamma$事例的能量选择条件(蒙特卡罗模拟: 实线, 真实数据: 虚线)

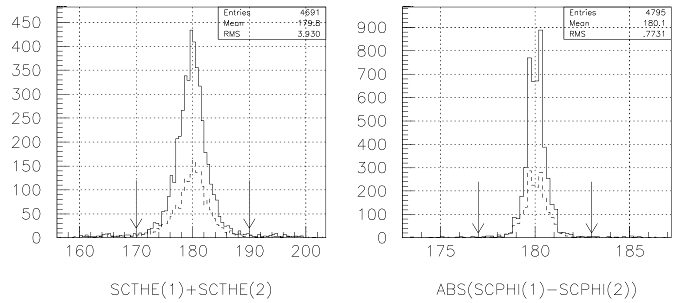

图 4 : $\gamma\gamma$事例的背对背条件(蒙特卡罗模拟: 实线, 真实数据: 虚线)

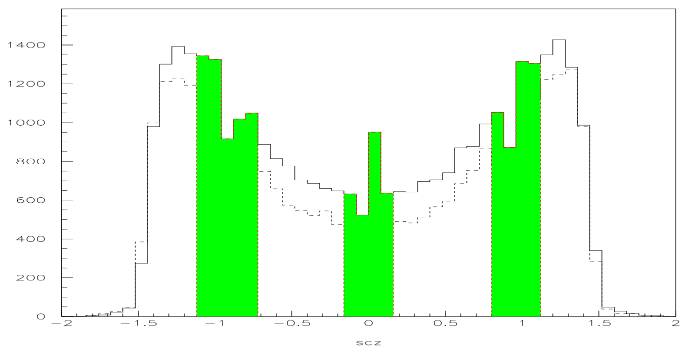

图 5 : 事例选择不包含加强筋区域,如图中阴影部分所示(蒙特卡罗模拟: 实线, 真实数据: 虚线)

4 结果和讨论

积分亮度的计算公式如下:

$$L = \frac{N_{obs}}{\sigma \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_{trg}} \tag{1}$$

其中,N_{obs}是观察到的事例数, σ是蒙特卡罗事例的产生截面, ε是北京谱仪探测器对于给定末态的接收度或称探测效率, ε_{trg}是事例的触发效率.

(辐射)双μ产生和(辐射)双γ产生的蒙特卡罗模拟程序采用Berends等人编写的radmu[4]和radgg[5], 考虑到了α^2和α^3级Feynman图的贡献,此处α 是精细结构常数.QED理论截面的误差来源于α^4及更高阶的贡献,估计小于2%.

对于双γ事例,选择条件带来的总的系统误差为3.5%, 其中包括桶部簇射计数器加强筋的影响.对于双μ事例,总的系统误差为6.4%.

R值取数期间,触发条件的设置相当宽松,触发效率接近100% [6] [7],它所带来的误差可以忽略.

本文所述两种分析方法用于6个扫描点的数据,得到的结果如下表,为便于比较,由大角度Bhabha事例计算出的亮度值也列入表中.可见各种方法给出的结果在误差范围内基本上是一致的,但中心值存在系统偏离,由双γ过程和双μ过程计算的亮度值略小.需要说明的是,在4.6和5.0GeV能点,由于受电磁干扰较大, 数据质量较差,飞行时间信息不可靠,给双μ事例的选择造成了很大困难;同时这两个能点在τ轻子对产生阈值以上,因此还存在来自双τ产生的本底.所以在这两个能点没有给出由双μ 事例计算的亮度值.

表 1 : R值测量首轮实验6个能量点的积分亮度

$E_{cm}(GeV)$	$L_{ee}(nb^{-1})$	$L_{\mu\mu}(nb^{-1})$	$L_{\gamma\gamma}(nb^{-1})$
2.6	292.9 ± 6.5	268.2 ± 18.9	266.7 ± 12.0
3.2	109.3 ± 3.4	108.9 ± 8.6	106.0 ± 5.9
3.4	135.3 ± 4.0	125.1 ± 9.8	130.7 ± 7.1
3.55	200.2 ± 5.2	192.1 ± 14.5	191.1 ± 9.7
4.6	87.7 ± 2.7	-	87.3 ± 6.5
5.0	102.3 ± 3.6	-	103.1 ± 7.7

作者感谢国家杰出青年基金、中科院重大基金和国家自然科学基金对本工作的支持，感谢美国Hawaii大学F.A.Harris教授、张长春研究员、朱永生研究员的有益建议和讨论,感谢王平副研究员在蒙特卡罗模拟方面给予的帮助,并感谢电子学室、加速器中心和运行车间全体人员在R值取数期间的大力协作和支持.

参考资料

[1] J.Z.Bai et al., Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. A344(1994)319

[2] 丁慧良等,高能物理与核物理,16(1992)769

[3] BES合作组,高能物理与核物理,21(1997)97

[4] F.A.Berends et al., Phys. Lett., 63B(1987)432

[5] F.A.Berends et al., Nucl. Phys., B186(1981)22

[6] 郁忠强等,高能物理与核物理,19(1995)1062

[7] Li Zhongchao, The 7th BES Annual Meeting

New methods to Measure Integrated Luminosity at BES [1]

Huang Guangshun[2], Cheng Baosen, Yuan Changzheng, Li Xinhua, Qi Xiangrong, Liu Jing, Chen Guangpei, Chen Jiangchuan, Hu Haiming, Hu Tao, Ju Xin, Li Jin, Mao Zepu, Xue Shengtian, Zhang Liangsheng, Zheng Zhipeng, Zhou Li, Zhao Zhengguo

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

Two new methods are introduced for the first time at BES to measure the integrated luminosity from events in large angle produced by QED dimuon and two-gamma production processes. With these methods, the luminosities of the 6 energy points at 2.6, 3.2, 3.4 3.55, 4.6 and 5.0 GeV scanned for the measurement of R are determined. The measured integrated luminosities are consistent with that determined using large angle Bhabha events.

Key words luminosity, dimuon production events, two-gamma production events

[1]Supported by the National Natural Science Foundation of China, the Chinese Academy of Science Foundation and the National Outstanding Young Scientist Foundation

[2]email: huanggs@pony1.ihep.ac.cn