

# 北京谱仪顶点探测器触发效率的研究<sup>\*</sup>

史欣<sup>1,2;1)</sup> 苑长征<sup>2</sup> 班勇<sup>1</sup>

1(北京大学物理学院技术物理系 北京 100871)

2(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

**摘要** 模拟了北京谱仪(BES II)顶点探测器的触发判选系统,发现对于某些带次级顶点的衰变道,其顶点探测器触发效率较低.并由此对 BES II 中与效率相关的物理过程作了讨论,给相应的触发设计者提供参考.

**关键词** 北京谱仪 顶点探测器 触发效率

## 1 引言

北京谱仪(BES II)<sup>[1]</sup>是运行于北京正负电子对撞机(BEPC)上的一台通用型磁谱仪,工作于质心系能量 2—5GeV 的能区,它采集的数据被广泛应用于  $\tau$ 、 $\rho$  能区的实验研究.由于 BEPC 的正、负电子束团每秒对撞 125 万次,但其中发生相互作用而产生有物理意义的好事例的几率只有约  $0.2\text{--}5\text{s}^{-1}$ ,与此同时却存在着大量的本底.为解决本底大而好事例少,以及数据量大而计算机处理能力有限这两对矛盾,建立一个能将高达 1.25MHz 的对撞事例率压缩到在线数据获取系统能正常工作的每秒 10 次左右事例率的触发判选系统<sup>[2]</sup>是极其必要的.而衡量触发判选系统的一个重要指标就是触发效率.它与物理分析工作密切相关,如在物理分析中,求好事例总数,产生截面和分支比测量等都要求知道触发效率.

以往 BES 的触发判选系统的效率研究,一方面有通过实验<sup>[3,4]</sup>,首先测量出各触发条件对不同事例类型的效率,然后利用这些效率推算出整个触发系统对于不同事例类型的触发效率;也有对触发系统进行仿真模拟<sup>[5]</sup>,从系统角度给出了触发判选效率,并将其结果与实验方法比较:对于 bhabha,实验和模拟都是 100%;对双  $\mu$  事例,从实验和模拟分别得到的触发效率为 99.05% 和 99.8%.然而,这些触

发效率测量中所用到的事例类型,只包括 bhabha,双  $\mu$ ,单举强子以及中性径迹的事例,对于遍举强子过程并没有涉及.所以在研究某些衰变道时,就有可能出现问题.例如对于带次级顶点的衰变道  $J/\psi, \psi' \rightarrow K_S K_L$ ,其触发效率只有 80% 左右<sup>[6,7]</sup>.造成此问题的一个主要原因就是这些事例通不过顶点探测器的触发判选.而且,在本文的工作之前,BES 的 Monte Carlo 模拟软件 SIMBES 尚未包含对任何触发效率的模拟.因此,本文的目的就是在 SIMBES 的框架内加入顶点探测器触发判选的模拟,研究其效率对于某些衰变道的影响,并由此而讨论了未来 BES III 的一些相关物理过程,以供相应的触发设计者参考.

## 2 顶点探测器及其触发的重要性

顶点探测器<sup>[8]</sup>简称顶点室(VC),是位于北京谱仪最内层的一个子探测器.它是圆柱形的气体室,由 640 根直径为 8mm,长为 84cm 的漂移管(稻草管)组成,沿径向共有 12 层,分为内外 3 部分,内 4 层(1—4)漂移管与轴平行,即信号丝与束流管平行,称轴向丝,每层为 40 根;外 4 层(9—12)也为轴向丝,每层为 80 根漂移管;中 4 层(5—8)管子与轴向成  $\pm 3^\circ$  左右的夹角,称斜丝,每层亦为 40 根,顶点室漂移管排列的截面图如图 1 所示.在  $r\text{-}\phi$  平面内各漂移管的

2003-11-25 收稿

\* 国家自然科学基金(19991480),中国科学院百人计划经费(U-25)资助

1)E-mail: shixin@hep.pku.cn

排列互相错位,不会造成探测死区,例如第 2 层管子  
的位置与第 1 层相差 1/2 根管子,第 3,4 层相互间  
排列同第 1,2 层,但第 3 层与第 1 层管子有偏移,其  
偏移量为穿过第 1 层信号丝的径迹必定穿过第 3 层  
丝和管壁中间位置,其余各层与此类同.

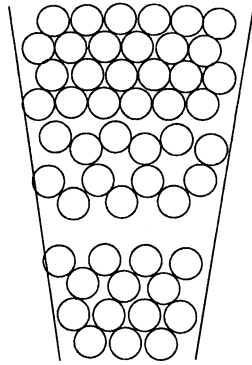


图 1 顶点室漂移管排列截面图

顶点探测器的触发判选系统设计时采用的是径迹组合<sup>[9]</sup>的方式,但是在 BES II 取数时稍有改变.实际上只采用了外 4 层(9—12)的信号,即把这 4 层按照相关管子组合成单元,每个单元只有满足一定的逻辑组合才算可靠径迹,允许通过触发.单元组合逻辑如图 2 所示:即只有 4 种情况可以使单元触发(第 9 层 1 号管与第 11 层 1 号管,或第 9 层 1 号管与第 12 层 1 号管,或第 10 层 1 号管与第 11 层 2 号管,或第 10 层 1 号管与第 12 层 1 号管).

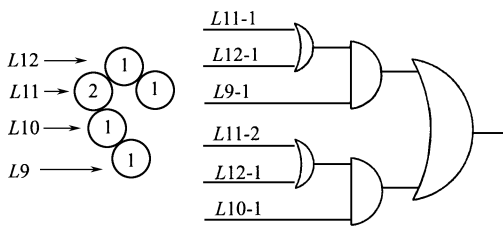


图 2 顶点室单元组合逻辑图

表 1 为实际取数中所用到的触发表.其中,各道之间的条件为“或”,各触发条件之间的关系为“与”.由表可知,在两个带电道(Chrg1, Chrg2)中,都采用了顶点探测器击中信号至少为一( $N_{vc} \geq 1$ )的条件,对于带电的事例来说,一旦不满足此条件就不会被记录.可见 VC 的触发在整个触发系统中的重要作用,它将直接影响带电道的效率.

表 1 实际取数中所用到的触发表

触发条件	道			
	Chrg1	Chrg2	Neutral	ESC
$N_{tof} \geq 1$	Y	—	—	—
$N_{tof} \geq 2$	—	Y	—	—
RADIAL	—	—	Y	—
$N_{vc} \geq 1$	Y	Y	—	—
ETOFBB	—	—	—	Y
$N_{trk} \geq 1$	Y	—	—	—
$N_{trk} \geq 2$	—	Y	—	—
ESC-Etot	—	—	—	Y
E tot . 1	Y	—	—	—
E tot . h	—	—	Y	—

### 3 VC 触发判选的模拟及验证

#### 3.1 VC 触发判选模拟

BES II 目前使用的 Monte Carlo 模拟软件 SIMBES<sup>[10]</sup>是从 SOBER<sup>[11]</sup>发展而来的,它基于国际高能物理界广泛使用的 GEANT3<sup>[12]</sup>库,不仅在粒子跟踪与模拟上比 SOBER 有了很大改进,而且由于它对于探测器结构的描述是具体到信号读出通道或单元的,而不是如 SOBER 只描述到层,因而 SIMBES 的信号产生程序大大简化,从而为我们扩展触发程序段提供了很大方便.

GEANT3 所提供的探测器程序的基本流程分为几个阶段:初始化阶段,调用用户的探测器结构描述程序 UGEOM;事例处理阶段,调用 GUKINE 将原始事例的反应顶点和粒子的运动学数据传入 GEANT3 的数据结构;然后, GUSTEP 程序将击中信息记录.对一个事例的全部粒子跟踪完成后 GUDIGI 程序将击中信息产生测量信号,最后, GUOUT 将模拟事例的原始数据输出.由此可见,从 GUDIGI 模块中得到顶点探测器的信号是进行触发模拟的前提.

通过对 GUDIGI 模块的分析,制订的程序设计方案如下:首先,从顶点探测器的数字化程序模块(VCDIGI)里读出外 4 层(9—12)被击中的漂移管号并按照图 2 将 320(80×4)根漂移管按顺序组合成单元;然后,判断每个单元的逻辑组合值,如果为真,就记 VC 触发为成功,如果为假,则此事例信息将不被写入原始数据(RAWDATA);最后,统计能够通过 VC 触发判选的事例数以及总事例数,其比值就是 VC

的触发效率.

### 3.2 VC 触发模拟的检验

使用原来的 SIMBES 程序以及加入 VC 触发判选后的程序分别产生了 50000 $J/\psi$  衰变到  $K_S K_L$  的 Monte Carlo 数据,两者与真实数据的比较如图 3 所示.由于次级顶点  $K_S$  的高动量(1.466GeV/c),使得其衰变长度达到 7.9cm,与 VC 的外径 13.5cm 可比,

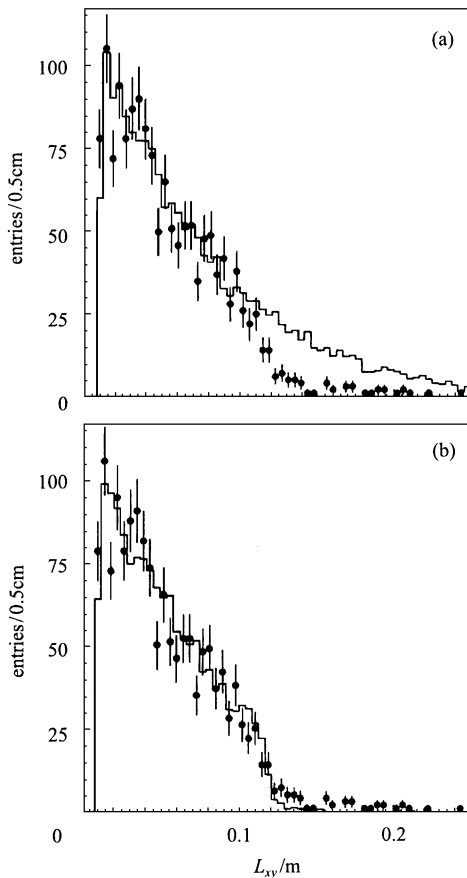


图 3  $J/\psi \rightarrow K_S K_L$  事例次级顶点分布

(a)为加入 VC 触发判选前;(b)为加入 VC 触发判选后.两图中横轴代表次级顶点在垂直于束流平面上与对撞中心的距离,纵轴代表相应的事例数.其中,带误差的黑点表示真实数据,直方图为 Monte Carlo 数据.另外,两图均对  $L_{xy}$  在 0.01—0.1m 之间的事例数做了归一.

所以 VC 的触发判选便造成了在  $L_{xy} > 9\text{cm}$  效率就明显降低.如果 SIMBES 中没有触发模拟,相应的 Monte Carlo 数据中就不会体现出这一突变,只是平缓下降,见图 3(a).当在 SIMBES 中加入 VC 触发的模拟后,从图 3(b)中可以看出, Monte Carlo 数据与真实数据符合较好,已经体现出这一突变了.

由此可知,VC 触发的模拟程序是比较成功的,

基本上能够反应真实的情况.

## 4 结果与讨论

利用 VC 触发模拟程序,随后研究了一些衰变道,分别得到如表 2 所示的触发效率.

从表 2 可知,受 VC 触发影响较大的主要是带次级顶点的衰变道,而对于 bhabha, dimu 和  $\rho\pi$  等过程触发效率接近 100%.需要指出的是,上述模拟程序中不包括每层丝的效率.即使按照保守估计每层的效率仅为 90% (外四层丝中最低的效率为 91.6%<sup>[8]</sup>),从  $J/\psi \rightarrow K_S K_L$ ,  $K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$  的模拟可知这部分的影响不到 2%,对于其他的就更小了.另外,这些结果只是对于顶点探测器作了模拟而得到的触发效率,对于 BES II 的其他子探测器尚未进行模拟,还需在以后的 SIMBES 版本中予以改进.

表 2 部分衰变道的模拟触发效率

衰变道	VC 触发效率
$\psi' \rightarrow K_S K_L, K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$	0.7902
$J/\psi \rightarrow K_S K_L, K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$	0.8452
$J/\psi \rightarrow K_S K_S$	0.9208
$\psi' \rightarrow \Lambda \bar{\Lambda}$	0.9381
$J/\psi \rightarrow \Lambda \bar{\Lambda}$	0.9767
$\psi' \rightarrow \gamma \chi_{c0} \rightarrow \gamma \Lambda \bar{\Lambda}$	0.9569
$J/\psi \rightarrow \rho\pi$	0.9948
$J/\psi \rightarrow \gamma f_2(1525) \rightarrow \gamma K_S K_S$	0.9984
bhabha	0.9982
dimu	0.9984

由以上分析可见,虽然 BES II 触发系统的总体触发率很高,但对于某些特别的事例类型则与一般强子过程有较大差别.这就提示我们在设计新的探测器时要充分考虑到物理兴趣所在,有针对性地设计触发条件,尤其是对于一些有特殊拓扑形状的事例类型.

将现有的 BES II/BEPC 作重大改进,从而建成该能区的“工厂”级实验目前正在设计当中,在它的触发系统设计和优化中就必须充分考虑到未来物理的要求.在  $\tau$  粲能区,主要的物理兴趣<sup>[13]</sup>包括:粲物理,粲夸克偶素物理,轻强子谱的研究, $\tau$  物理及  $R$  值精确测量等.高精度测量和寻找新物理将成为主要目标,前者需要高精度的触发效率的测量,后者,尤其是对于稀有衰变等的寻找则要求高的触发效率.

考虑到未来 BES III 的物理兴趣,触发系统设计

中应特别注意以下衰变道:1)带次级顶点的道,如表 2 已经给出的  $J/\psi \rightarrow K_S K_L$  和 CP 破坏的过程  $J/\psi \rightarrow K_S K_S$ , 以及  $J/\psi \rightarrow \Lambda \bar{\Lambda}$ ,  $J/\psi \rightarrow \gamma K_S K_S$ . 2)某些稀有衰变道,例如  $J/\psi \rightarrow Dh$ ,  $D^0 \bar{D}^0$  混合,以及味道改变的中性流过程  $D \rightarrow \pi e^+ e^-$ ,  $\pi \mu^+ \mu^-$  等,由于这些衰变的事例数少,效率就显得尤其重要. 3)纯中性道,如  $J/\psi \rightarrow \gamma \gamma \gamma$ ,  $J/\psi \rightarrow 5\gamma$  等,需要合理设置中性的触发表. 4)对于  $\tau^+ \tau^-$  事例,由于有中微子产生,应考率慎用能量平衡条件及总能量阈值. 5)其他一些特殊过程,例如

在  $e^+ e^-$  束流能量高时的四阶 QED 过程——双光子过程<sup>[14]</sup>,其末态粒子在探测器中的击中很可能都偏向某一个方向,这时就不能用能量平衡作为触发条件,而要为其设计专用的触发表,以满足物理分析的要求.

感谢赵棣新,陈江川和刘怀民等的支持与帮助;感谢李刚,王征,廖红波,杜书先,莫晓虎,李晓玲,辛波,陈海璇,杨胜东和孙俊峰等的有益讨论.

## 参考文献 (References)

- 1 BAI J Z et al(BES Collab.). Nucl. Instrum. Methods, 2001, **A458**:627
- 2 BES Trigger Group. Trigger System of BES II. In: BES Collaboration. The 5th BES Annual Meeting. BES Collaboration. Beijing; 1996. 57—64
- 3 YU Zhong-Qiang et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1995, **19**(12):1062—1067(in Chinese)  
(郁忠强等.高能物理与核物理, 1995, **19**(12):1062—1067)
- 4 LI Zhong-Chao. Trigger Efficiency Study for R Scan. In: BES Collaboration. The 7th BES Annual Meeting. BES Collaboration. Beijing; 1998. 117—122
- 5 LIU Bin et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 2001, **25**(1):1—5 (in Chinese)  
(刘斌等.高能物理与核物理, 2001, **25**(1):1—5)
- 6 BAI J Z et al(BES Collab.). Phys. Rev., 2004, D69:012003
- 7 BAI J Z et al(BES Collab.). Phys. Rev. Lett., 2004, 92:052001
- 8 Malchow R. Status of the Vertex Chamber. In: BES Collaboration. The 5th BES Annual Meeting. BES Collaboration. Beijing; 1996. 39—48
- 9 ZHAO Di-Xin et al. Nuclear Electronics & Detection Technology, 1999, **19**(3):206—210  
(赵棣新等.核电子学与探测技术, 1999, **19**(3):206—210)
- 10 LI Can-Guo. Code Development of SIMBES: A Simulation Program for the BES Detector, Internal Report of the BES Collaboration, 1997 (in Chinese)  
(李灿国.北京谱仪模拟程序 SIMBES 开发工作报告, BES 合作组内部报告, 1997)
- 11 BAI J Z et al. Nucl. Instrum. and Methods. in Phys. **A344**, (1994)319—344
- 12 GEANT-Detector Description and Simulation Tool, 1994. CERN Program Library Long Writups Q123
- 13 YUAN Chang-Zheng, ZHANG Bing-Yun, QIN Qing. HEP & NP, 2002, **26**(12):1201—1208(in Chinese)  
(苑长征,张炳云,秦庆.高能物理与核物理, 2002, **26**(12):1201—1208)
- 14 ZHU Yong-Sheng. Progress in Physics, 1986, **6**(1):76—120 (in Chinese)  
(朱永生.物理学进展, 1986, **6**(1):76—120)

## Study of VC Trigger Efficiency on BES II \*

SHI Xin<sup>1,2;1)</sup> YUAN Chang-Zheng<sup>2</sup> BAN Yong<sup>1</sup>

1(Department of Technical Physics, Peking University, Beijing 100871, China)

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

**Abstract** We simulated the VC trigger system of BES II in the frame of SIMBES—the Geant-3 based detector simulation package, calculated the VC trigger efficiencies for certain decay channels and found that the VC trigger efficiencies from those events with the second vertexes and long decay length are low. From this point of view, considering the physics interests of BES III, we discussed some typical decay channels related with trigger efficiency and hope it will be helpful for the trigger table design.

**Key words** Beijing spectrometer(BES II), vertex chamber(VC), trigger efficiency

Received 25 November 2003

\* Supported by National Natural Science Foundation of China(19991480), One Hundred Talents Program of CAS(U-25)

1)E-mail: shixin@hep.pku.cn