

VIII. 北京谱仪的亮度监测器系统

2000 年 1 月 10 日

1. 什么是亮度(Luminosity)

- 亮度是正负电子对撞机的重要性能参数，反映了在单位时间内单位面积上的碰撞次数， e^+e^- 对撞亮度的计算公式：

$$L = \frac{n_1 \cdot n_2}{A} \cdot f \cdot B,$$

n_1, n_2 ：分别为 e^+e^- 束团所含有电子数，正比于流强；

A：束流的截面；

F：加速器的旋转频率，主要与对撞机半径成反比；

B：束团数，目前 BEPC 是单数团运行。

- 从物理角度说，亮度等于 e^+e^- 对撞所产生的特定事例率与该种事例的截面之比。亮度越高，对撞机获取物理数据的效率越高。

一般亮度就是据此测量： $L = \frac{N}{\sigma}$

N：特定物理的事例率；

σ ：特定物理的积分接受截面。

2. 如何测量亮度？

- 北京谱仪的亮度监测器通过测量单位面积上产生的小角度 Bhabha

散射事例率给出亮度值，即 $L = \frac{N_{Bhabha}}{\sigma_{Bhabha}}$ 。

- Bhabha 事例的弹性散射特征： $e^+ + e^- \rightarrow e^+ + e^-$ ，反应前后 e^+e^-

(1) 能量不变， (2) 方向相反。我们的亮度监测器即以此两

个特征来确定 Bhabha 事例率。

- Bhabha 事例的积分接受截面由 QED 精确计算

➤ 微分截面简化表达式如下：

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{4\alpha^2}{E^2\theta^4} \left(1 - \frac{1}{3}\theta^2\right)$$

E : e^+e^- 能量

α : 精细结构常数

θ : 散射 e^+e^- 与 Z 向夹

由此看出在小角度， Bhabha 散射截面大，事例率大。

➤ 探测器的积分接受截面由下式给出： $\sigma = \int_{\Omega} \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega$ ， Ω : 立体角， σ 是可计算的，亮度测量由此简化为 Bhabha 事例率准确测量。

3. 亮度监测器的硬件：

- 亮度监测器各子探测器

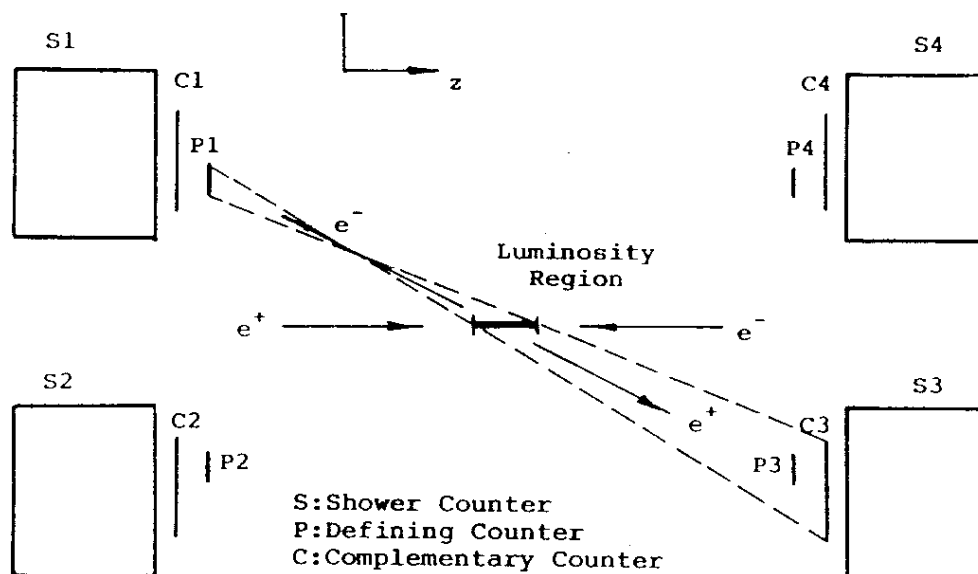
由四组探测器组成，构成了各自独立的测量系统，分别给出 Bhabha 事例率，从而求出四个独立的亮度值。它们的平均值则提供了对亮度区的位移和偏转不灵敏的亮度值。每组探测器由三种探测器组成，分别为：

P_i ($i=1, 4$) : 定义计数器，决定接受截面；

C_i ($i=1, 4$) : 辅助计数器，它主要解决 e^+e^- 对撞区的问题；

S_i ($i=1, 4$) : 电磁量能器，记录电子沉积能量。

探测器的安排示意图：



● 亮度监测器的安装定位:

十二个探测器分两组装在可调节的支架上，又分别固定在东西谱仪大门内侧。P₁、P₂ 和 P₃、P₄ 四组探测器分别固定在两个子板上，它们在子板上的机械位置由九室机械组测量给出（见下表），它们相对于谱仪大门中心的位置精度为：X: $\pm 0.5\text{mm}$ ，Y: $\pm 2\text{mm}$ ，Z: $\pm 2\text{mm}$ ，对积分截面的误差贡献 $\sim 1\%$ 。如果对撞区位置有偏移，各定义记数器相对亮度区的积分截面均有改变，所测量亮度也发生变化。但这种机械位置的对称安排，使四组亮度值彼此关联，亮度平均值的改变只是位移量的二次项关系，影响很小。

Counter	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	$\sigma_0 (\text{nb})$
P ₁	86.19	-0.035	1126.88	$2.2406/E^2$
P ₂	86.39	-0.035	1128.62	$2.2262/E^2$
P ₃	86.093	0.00	1126.24	$2.2484/E^2$
P ₄	86.315	0.00	1127.44	$2.2259/E^2$

- 亮度监测器系统的读出线路及数据获取

电子学读出线路由 NIM, CAMAC 插件和自制的控制单元组成（见下两页框图和时序图）。当 P、S 与其对角线上的一对 C、S 探测器的信号满足四重符合的事例发生时（具体分为三种触发方式，见亮度计算），数据获取部分即开始记录 12 个探测器的幅度信息 (ADC), P 定义记数器和 S 量能器的 8 个时间信息 (TDC)，各种符合的定标记数和状态信息。为了尽可能地排除本底，采用门控、阈甄别、符合、反符合方法，作为在线排除本底的措施。时间幅度信息在离线分析中用来进一步排除本底。

- 三种触发方式

- 正常 Bhabha 事例

其事例的触发方式：P、S 与其对角线上的一对 C、S 探测器的信号组成四重符合，作为“好事例”的候选者。这样的组合共有如下四种。这样记录的好事例含有随机符合的本底。

四重符合	状态数
$(P_1 \cdot S_1) (C_3 \cdot S_3)$	1
$(P_2 \cdot S_2) (C_4 \cdot S_4)$	2
$(P_3 \cdot S_3) (C_1 \cdot S_1)$	4
$(P_4 \cdot S_4) (C_2 \cdot S_2)$	8

- 随机本底事例

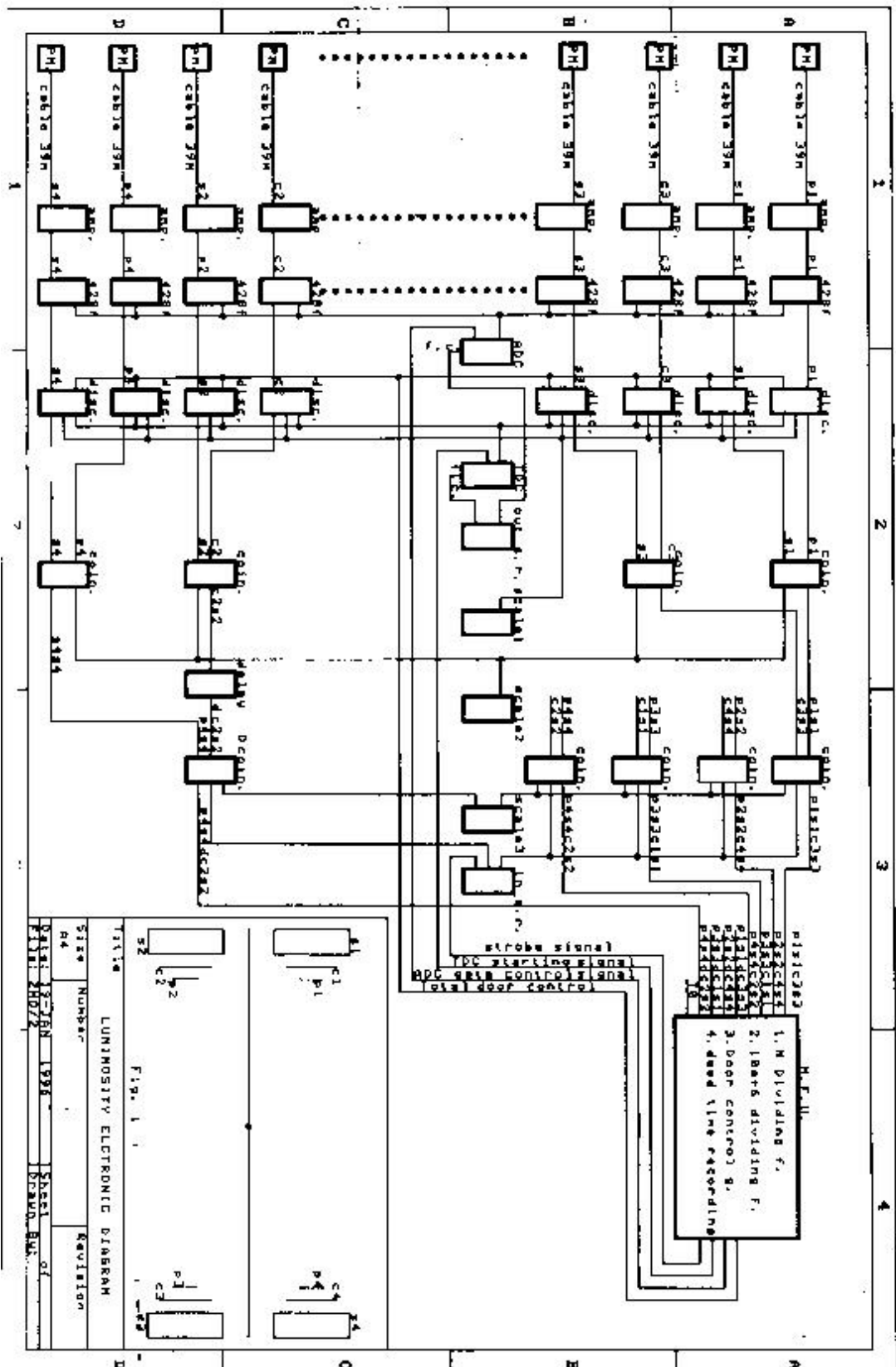
此种事例采用延迟触发方式。e⁺e⁻束流经过探测器时也产生随机信号偶然符合，这是亮度事例的本底主要来源之一。对

撞区与探测器的距离为 1.2m，偶然符合发生在对撞前后，对撞前的偶然符合早于 Bhabha 事例 10ns, 易于从时间信息中删除，而发生在对撞后的偶然符合则与 Bhabha 事例同时到达，不能用时间信息来删除。采用延迟符合的办法，即将一组 CS 延迟 802ns 与下一个周期的 PS 进行四重符合，这样的符合记数作为偶然符合的本底，并记下它们的状态数如下：

四重符合	状态数
$(P_1 \cdot S_1) (C_3 \cdot S_3) \text{ d}802\text{ns}$	16
$(P_2 \cdot S_2) (C_4 \cdot S_4) \text{ d}802\text{ns}$	32
$(P_3 \cdot S_3) (C_1 \cdot S_1) \text{ d}802\text{ns}$	64
$(P_4 \cdot S_4) (C_2 \cdot S_2) \text{ d}802\text{ns}$	128

➤ 离线分析随机本底的计算

束流每碰撞 10^6 次，读出线路自动读取采样一次，无论探测器处于何种状态，获取单位记下各探测器幅度，时间，状态及符合定标信息，即所谓的随机取样触发。这种事例用以离线分析随机本底，状态记作“256”。





4. 亮度计算

● 亮度的平均

三种触发方式共形成 9 种状态的事例，可以得到各自的事例率 R 及亮度：

$$P_1 \cdot S_1 + C_3 \cdot S_3 \rightarrow R_1 \rightarrow L_1 = R_1 / \sigma_1$$

$$P_2 \cdot S_2 + C_4 \cdot S_4 \rightarrow R_2 \rightarrow L_2 = R_2 / \sigma_2$$

$$P_3 \cdot S_3 + C_1 \cdot S_1 \rightarrow R_3 \rightarrow L_3 = R_3 / \sigma_3$$

$$P_4 \cdot S_4 + C_2 \cdot S_2 \rightarrow R_4 \rightarrow L_4 = R_4 / \sigma_4$$

最终， $L = (L_1 + L_2 + L_3 + L_4) / 4$ 。

● 几项修正

- 死时间修正，包括亮度监测器系统的时间修正和 BES 主触发系统的死时间修正

$$F_{lum} = T_{lum}(L) / T_{int}(L) \quad \sim 99\%$$

$$L_{BEPC} = L_0 / F_{lum}$$

$$L_{BES} = L_0 \cdot F_{trig} / F_{lum}$$

L_{BEPC} — 加速器的亮度

L_{BES} — 北京谱仪的物理亮度（小角度）

L_0 — 亮度监测器给出的亮度

- 辐射修正。在线积分截面 σ 计算中仅考虑了 α^2 项的零级近似。在离线分析中，用 Monto Carlo 方法作了 α^3 的辐射修正的影响， $\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_0 (1 + \delta)$ ，其中 δ 为辐射修正 $\sim 4\%$ 。

- 磁场效应的修正。BES 工作在 4000Gauss 的强磁场下，Bhabha

散射电子在磁场作用下轨道发生偏转，对积分截面的误差贡献为 $\sim 8\%$ 。

- 本底排除

在线获取的 Bhabha 事例中的本底包括：束流与束流管内气体碰撞，同步辐射引起的束团电子偏离，及监测器前物质所引起的散射粒子击中探测器。离线分析使用随机符合、时间信息、幅度信息及 Bhabha 电子能量特征来剔除本底。

5. 值班注意事项

- 在束流不稳时，应保证无高压

- 在e+e-成功注入和对撞后，加高压
- 在打掉束流前，降高压

- 在线直方图检查（见后面的图）

- L1、L2、L3 和L4 的亮度值及P、C、S的Scalar记数应相近
- 检查幅度谱
- 检查时间谱

