

图象漂移室模型的研制

丁慧良 王佩良 朱启明 过雅南
周化十 杨熙荣 郁忠强 倪蕙苓
顾松华 盛俊鹏 郭红菲

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

建立了一台图象漂移室的模型室。制作了模型室的读出线路，线路具有记录8次击中的能力。对模型室的性能作了实验研究，其中包括位置分辨、径迹的左右分辨、双径迹分辨以及多径迹事例的图象识别等。本文描述了模型室的结构特点、读出线路的原理及线路框图，给出了每个线路单元的性能指标及读出线路的总体性能。本文还给出了实验研究的结果，其中 $\sigma_x = 280 \mu\text{m}$ ， $\sigma_z = 3 \text{ cm}$ ，并给出重建簇射事例的图象。

一、引 言

在粒子物理的实验研究中发展了各种各样的漂移室。普通漂移室在探测带电粒子时，粒子入射方向一般是垂直于信号丝平面的，图象漂移室的特点是被探测粒子的入射方向几乎与信号丝平面平行，当带电粒子通过图象漂移室时，每根信号丝可以给出粒子径迹在此漂移区中的三维坐标，因此能记录带电粒子径迹的完整图象。这种图象漂移室还具有下述特点：能够记录局部高密度的径迹，良好的空间分辨和双径迹分辨，以及良好的鉴别粒子的能力等。

我们研制了一台图象漂移室的模型室，制作了电子学读出线路，并在模型室上作了在单丝及多丝工作情况下的性能研究。本文将描述模型室本体的结构及其特点，读出线路及其性能，以及对模型室性能研究的一些实验结果。

二、模型室的结构及工作原理

图象漂移室模型室的灵敏体积为 1000 (长) $\times 108$ (宽) $\times 180$ (高) mm^3 ，图 1(a)、(b) 给出模型室的截面图和结构图。模型室由以下几部分组成。

室中央平面包含 16 根信号丝和 19 根位丝。信号丝采用 $20 \mu\text{m}$ 的镀金钨丝，具有电阻 $160 \Omega/\text{米}$ ，张力为 40 克。位丝是 $100 \mu\text{m}$ 的 Be-Cu 丝，张力为 150 克。信号丝和位丝穿

过绝缘子的细铜管，用特制的钳子夹扁细铜管使丝固定在管内。绝缘子再精确地固定在 G 10 板上所钻的孔中，G 10 板厚度为 1 厘米，固定在 Al 框架两端。固定信号丝及位丝所用的绝缘子细铜管其内径分别为 $100\ \mu\text{m}$ 及 $200\ \mu\text{m}$ 。信号丝的定位精度 $\leq 100\ \mu\text{m}$ 。16 根信号丝与两根位丝 (P_2) 间距为 1 厘米，其余 17 根位丝分别架在两根信号丝中间，以使漂移区的分界清楚。信号丝对中央丝平面交替地向左、右偏移一个 $\delta = 400\ \mu\text{m}$ 的距离，以使径迹可以左、右分辨(见图 1(a))。信号丝焊接在印刷线路板上，前置放大器放在室本体外面，信号由电缆引出与之相联。为了减少干扰和漏电流，位丝焊在另一块印刷线路板上。

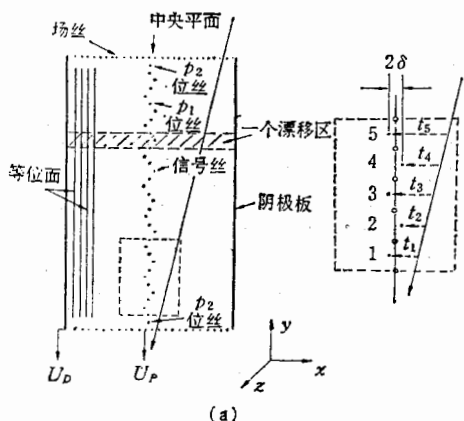


图 1(a) 图象漂移室模型室的截面图

场丝是用四根聚四氟乙烯杆定位的，中间穿有不锈钢杆，两端固定在 Al 框架上，四根杆互相平行同时垂直于中央平面。场丝架在四根聚四氟乙烯杆的 V 型槽内形成 $1000\ \text{mm}$ (长) $\times 180\ \text{mm}$ (高) 的长方形线框平面平行于中央平面 (四根杆在线框外的顶角处)。场丝采用 $100\ \mu\text{m}$ 的 Be-Cu

丝，张力为 150 克，间距为 4 mm。场丝的高压分压电阻线路板经绝缘台固定在 Al 框架上。用复铜板作阴极板并固定在 Al 框架上。两块阴极板及 26 圈场丝围成模型室的灵敏体积。高压电缆通过球形电极引到室外。

室外罩的上下和左右薄窗分别用 $60\ \mu\text{m}$ 和 $100\ \mu\text{m}$ 厚的聚脂薄膜封接。充气孔和出气孔在室的两端。室罩和底板用橡皮圈密封。

用导电纸模拟测量的方法和有限差分计算的方法^[2]选出了合适的场丝电压数值，使得模型室的电位分布在漂移区能获得均匀的漂移电场分布。信号丝和两根位丝 (P_2) 保持在地电位，位丝 P_1 的电位为 U_P ，阴极电位为 U_D ，高压电源电压 U_D 经分压电阻分压后加到每一圈场丝和位丝 P_1 上。选择 P_1 电位使得漂移电子不被 P_1 位丝收集，因此 P_1 的电位要比若 P_1 不存在时它所在空间点的电位要偏负些。大约有 5/6 的漂移区为均匀电场区，边缘效应对中间 16 个漂移区的均匀电场的均匀性的影响小于 0.5%。

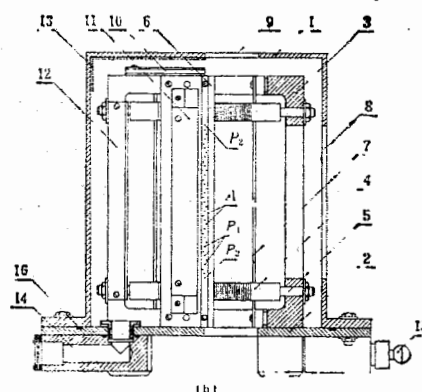


图 1(b) 图象漂移室结构图

1. 室外罩(合金铝) 2. 室外罩底座(合金铝)
 3. 丝的定位框架(合金铝) 4. 场丝定位杆(聚四氟乙烯)
 5. 场丝支撑杆(不锈钢) 6. 阳极丝, 位丝支撑板(G 10)
 7. 阴极板(复铜板) 8. 薄膜窗
 9. 薄膜窗 10. 高压分压电阻绝缘台
 11. 信号丝线路板及绝缘支架 12. 位丝引线板及绝缘支架
 13. 环氧树脂胶涂层 14. 室信号电缆引出孔
 15. 高压引出球 16. 密封橡皮
- P_1, P_2 位丝 A 信号丝

带电粒子的人射方向接近于和信号丝平面平行。每根信号丝两端的脉冲信号能给出粒子径迹在此漂移区内的 x 、 y 、 z 三维坐标。 x 坐标由漂移时间来测定， y 坐标由丝的位置给出， z 坐标则采用电荷分配法读出。径迹坐标和能量损失用下列式子计算：

$$x_i = \omega t_i \quad (1a)$$

$$y_i = D \times i \quad (1b)$$

$$z_i = \left(\frac{A_R - A_L}{A_R + A_L} \right) \frac{L}{2} \quad (1c)$$

$$\Delta E_i = (A_R + A_L)_i \quad (1d)$$

其中， ω 是漂移速度， t 是漂移时间， i 是信号丝的序号， D 是两根相邻信号丝的间距， A_L 、 A_R 是信号丝左、右两端的积分脉冲幅度， L 是信号丝的长度加上前置放大器输入阻抗的等效长度。

为了获得径迹的左、右分辨，信号丝的位置安排如图 1 (a) 所示。每条径迹的 S 量用下式计算：

$$S = \left[\sum_i (t_i - t_{i+1}) / \frac{n}{2} \right] + A = \pm 2\delta/\omega \quad (2)$$

$$i = 1, 3, 5, \dots, n-1$$

其中参数 A 是从每条径迹按 $t_i \approx Ai + B$ 拟合而得到的斜率。当 S 量为正值时表示径迹在右，负值时则表示径迹在左。

三、电子学读出系统

3.1 一般描述

本文采用了文献 [3] 给出的读出电子学的线路原理。图 2 是漂移室和电子学读出系统的方框图。电子学系统分三部分：前置放大器(直接装在漂移室上)，放大-甄别-积分单元(放在靠近漂移室的 NIM 机箱内)，以及时间和幅度数字化线路(放在靠近计算机的 CAMAC 机箱内)。

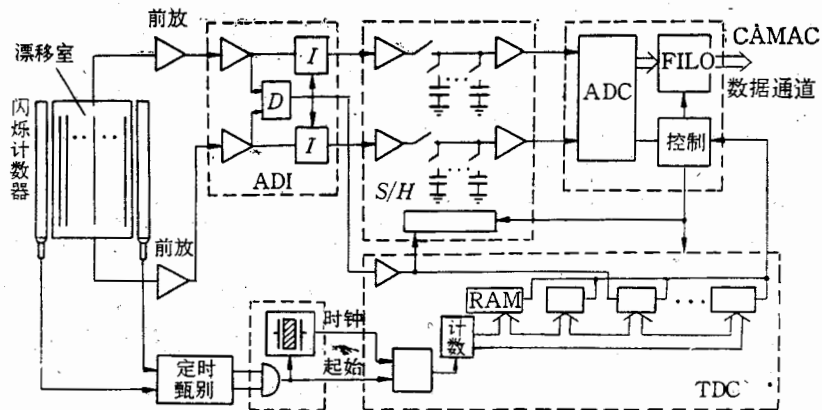


图 2 图象漂移室读出电子学框图

正
丝
6
走
，
室
格

)
E
L
)
K
E
·
寸

重
架
灵敏
口
出
使
)
保
玉
后
的
电
场

每根信号丝左右两端的信号经前置放大器放大后送入放大-甄别-积分单元(下面简称为 ADI 单元)。ADI 单元的任务是将信号丝左右两端来的两个模拟信号转变成三个脉冲信号: 左边和右边的电荷积分脉冲 Q_L 和 Q_R , 和一个定时信号。这三个信号在时间上是严格相关的, 代表了一根丝上一次击中的所有信息, 也就是说, 可以从中给出该击中的 x 、 y 、 z 三维坐标以及相应的能量损失。

时间和幅度数字化线路的任务是将上述三个信号同时进行数字化。电荷积分脉冲各送到一个取样-保持电路中存贮起来, 然后通过多路开关送入一个公共的模拟-数字变换电路(ADC 单元)进行数字化, 时间信号送入时间-数字变换电路(TDC 单元), 采用扫描随机存取存储器(RAM)的办法将时间直接数字化。经过 ADC 和 TDC 数字化后的信息关联地存入先入后出缓冲器(FILO), 再经过 CAMAC 数据通道读入计算机作在线处理。

3.2 前置放大器

这里所用的前置放大器要求具有低输入阻抗, 低噪声, 快响应和增益稳定。它的主要指标如下:

闭环电压增益: 20

输入、输出阻抗: 50Ω

前沿: 3.5—4 ns

最大输出电压: +0.6 V

噪声: $12 \mu\text{V R. M. S.}$ (折算到输入端)

在每一个前置放大器的输入端并联有一个场效应管的门, 允许刻度信号分别加到每个前置放大器的输入端, 对每台前置放大器及其他的读出电子学线路进行刻度。

3.3 放大-甄别-积分单元 (ADI 单元)

设计具有多次击中能力的线路时, 主要的困难在于要求线路对电荷量的测量有好的双脉冲分辨。这里采用了一个甄别器。它的输出脉冲宽度为 τ , 由该脉冲去开积分器的门, 经过放大后的脉冲在时间 τ 内进行积分, 积分完成后经过 20 纳秒线路完全恢复。ADI 线路作成单宽 NIM 插件, 8 个 ADI 插件用一个公共的控制插件提供放大器增益、甄别器的甄别阈和脉宽的调节。

前置放大器来的左右两个丝信号先进行放大, 放大器的增益可以通过公共插件上的选择开关改变, 分别为 4 倍(低增益)或 8 倍(高增益), 以满足电子学系统的转换增益和室系统的运行条件相适应。经过放大后的左右两个信号输入到甄别器, 只要其中的一个信号超过甄别器的阈值, 甄别器就有输出, 给出该次击中的时间信号, 也称为击中触发信号。它的宽度可以通过公共控制插件上电位器在 50—240 纳秒之间调节。甄别器的死时间大约为 20 纳秒, 也就是说, 输出脉冲过 20 纳秒以后甄别器可以对下一个超过甄别阈的输入信号作新的甄别。甄别阈可以通过公共控制插件上的电位器调节。

门积分器包括三个电流源 S_1 、 S_2 和 S_3 , 以及二个 MOS 型场效应管作为开关元件(见图 3(a))。在静态时, 门场效应管 T_0 是导通的, 导通电阻很低, 输入脉冲电流 I_s 不对电容

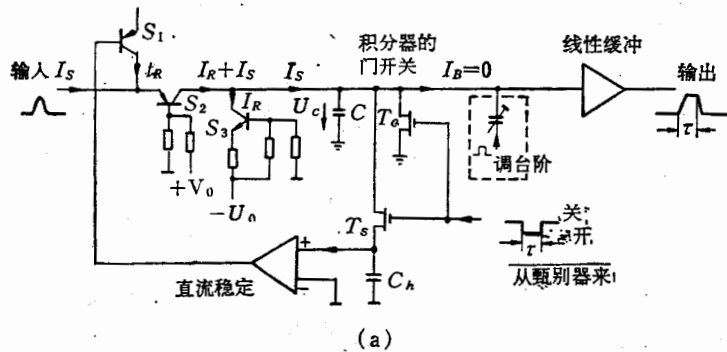


图 3 (a) 门积分器的线路原理图

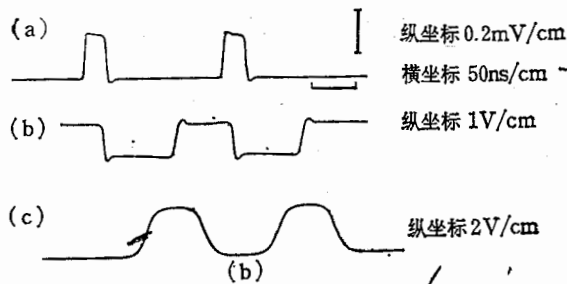


图 3 (b) ADI 双脉冲输入时的定时图

a 输入双脉冲 b 甄别器的门信号也是输出时间信号 c 积分输出信号

C 积分, 都通过导通的 T_c 到地分流。只有在甄别器输出的脉冲宽度 τ 期间, T_c 关断, 关断电阻达 $\sim 10^{10}$ 欧姆, 允许输入信号电流 I_s 对电容 C 按关系式 $U_c = \frac{1}{C_0} \int_0^{\tau} I_s dt$ 进行积分。线路中有一个直流稳定放大器, 提供一个静态补偿电流。在积分期间, 取样-保持线路(图 3(a) 中 T_g 和 C_h 组成)中的门 T_g 关断, 避免了直流分量随输入信号计数率和幅度的不同而变化。

表 1 ADI 单元的性能

| | |
|----------|----------------------|
| 道数 | 单插宽 NIM 插件为 1 根丝左右两道 |
| 转换因子 | 53 或 108 mv/PC |
| 触发阈 | 0.27—11mv |
| 积分门宽 | 50—200 ms 可调 |
| 线性输出幅度范围 | 5V |
| 非线性 | $\leq 1\%$ |
| 输出台阶 | $\pm (20-40)$ mv |
| 噪声 | ≤ 2.5 mv (峰-峰) |
| 甄别器死时间 | 20 ns |
| 时间信号输出 | NIM 电平 |
| 时间信号脉冲宽度 | 和积分门宽相同 |
| 稳定性 | $\leq \pm 1\%$ |

一个中间各扫描的线

主要

到每

好的分器恢复增益、

上的和室一个信号时间大输入

(见图电容

由于甄别器对输入信号有一定的延迟, 门积分器前加了一个 50 纳秒的延迟线, 确保输入信号在积分器相应的门宽 τ 内。

表 1 综合给出了 ADI 单元的性能。图 3 (b) 给出了 ADI 单元在双脉冲输入时的定时图, 从图中清楚看到, 当双脉冲间隔为 150 纳秒时, 取甄别器的门信号宽度为 80 纳秒时, 积分输出脉冲可清楚地分辨开。

3.4 时间和幅度数字化线路

时间和幅度数字化线路将 ADI 提供的漂移室信息进行数字化。它由一个 TDC 单元(二插宽 CAMAC 插件)、一个取样-保持电路(三插宽 CAMAC 插件)和一个 ADC 单元(二插宽 CAMAC 插件)组成, 处理八根丝的八次击中信号。

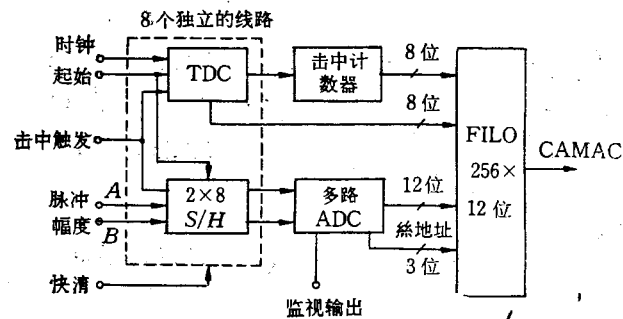


图 4 时间和幅度数字化线路方框图

图 4 给出了时间和幅度数字化线路的方框图。上面已经讲到, 对于某根信号丝的一次击中, ADI 给出三个信号, 一个时间信号送到具有多次击中能力的 TDC 单元, 采用直接数字编码方法进行变换。两个积分电荷脉冲送到一个 8 次击中的取样-保持电路, 即一个模拟寄存器的矩阵, 然后通过一个模拟多路开关送到一个 12 位的 ADC 中进行数字化。所有的数字化后的信息送入一个先入后出寄存器 (FILO) 中, 同时记录下该击中所在的信号丝的地址。图 4 中的击中计数器记录下每根丝的击中数, 也送入 FILO 寄存器中。当一个事件的所有信号都处理完毕, 即将八根丝上所有击中信号的数字化信

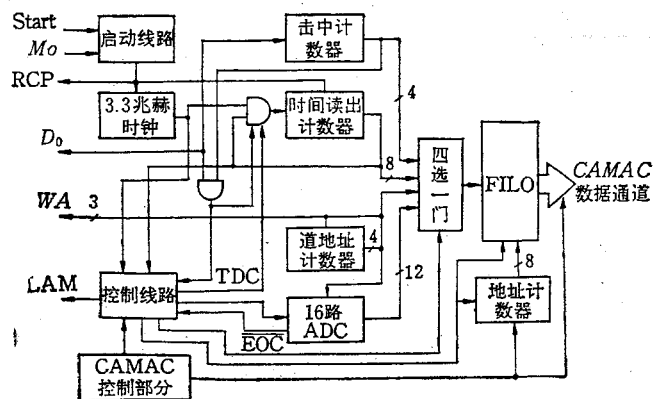


图 5 ADC 和控制线路框图

息都送入 FILO 寄存器后, 通过 CAMAC 通道将 FILO 中的信息按一定的格式读出送到计算机的内存进行在线处理。在线计算机可以对收集到的数据进行径迹识别、拟合、分类、处理、作图等等。TDC 和取样-保持电路已分别发表^[4,5], 这里仅对控制逻辑电路和 ADC 给予介绍。

控制逻辑电路的功能是协调整个读出线路的正确运行, 将 8 根丝 8 次击中的时间信息和幅度信息依次送入 FILO 暂存器中, 然后通过 CAMAC 数据通道与在线计算机完成信息交换。其原理图见图 5。当一个事件的信息存入 TDC 和取样-保持电路后, 启动线路开始工作, 启动 3.3 兆赫的时钟, 由时间读出计数器送出读取时钟信号 (RCP) 给 TDC 插件, 对第一根信号丝的 RAM 进行扫描, 当 RAM 输出高电平时, 暂停时间读出计数器的时钟输入, 这时它的计数值就是该次击中的 TDC 数值。同时击中计数器增 1。由存贮控制线路产生一个控制脉冲, 开启四选一电路的门, 将该次击中的 TDC 数值送入 FILO 暂存器中。存贮控制线路同时产生一个选通信号, 去开启 ADC 及相应的取样-保持电路的门, 将存贮在取样-保持电路中的模拟量进行数字化, 然后通过四选一电路送入 FILO 暂存器中。ADC 变换一次结束后给出一个结束信号 (EOC), 通过控制电路启动时间读出计数器, 对下一个击中继续进行数字化, 并将数字化信息送入 FILO 暂存器中。当扫描完该丝的所有击中后, 将该丝的丝地址和击中次数通过四选一电路也送入 FILO 暂存器中。然后由控制电路控制对下一根丝进行同样的扫描, 直至 8 根丝全部扫描完毕。最后, 控制线路向在线计算机发出 LAM 请求, 在线计算机采用字组传送方式将 FILO 暂存器中的数据移到在线计算机的内存中去, 供数据处理用。

这里使用的 ADC 是一个中等速度的 16 路 12 位的 ADC 组件 MP 6812-DT, 一次变换时间为 28 微秒, 对 8 根丝 8 次击中的全部变换时间~4 毫秒。

FILO 暂存器由三块 MC 2114-L20 RAM 组件组成。存取时间为 200 纳秒。

整个线路装在一个双插宽的 CAMAC 插件内, 从取样-保持电路输入的模拟信号通过多芯插头输入, 和其它插件之间相连的控制信号也通过多芯插头连接。

3.5 电子学读出线路总调试

根据数据分析的要求, 需要知道每次击中在每根丝左、右两端、经过前置放大、ADI、取样-保持和 ADC 后的相对增益和台阶, 并且要测量它们的线性和噪声等指标, 还要测量 TDC 的道宽及其离散等。为了实现计算机对上述各单元的刻度和性能测量, 设计制作了一个时钟/刻度单元和一个程控电压/电荷脉冲产生器(均为二插宽 CAMAC 插件)。

图 6 给出了时钟/刻度单元的线路原理图, 它包括以下四个部分: (1) 触发启动电路。它由两个输入信号的符合或 CAMAC 指令 $F(25)$ 给出起始信号, 一方面输出到 TDC 作为 TDC 的起始信号, 同时启动门控时钟。(2) 门控时钟是由一个晶体振荡器组成的脉冲发生器, 平时停振, 每次启动后给出一个持续~3 微秒的 50 兆赫的时钟脉冲序列, 输出到 TDC 作为时钟, 由于启动信号和时钟脉冲是同步的, 消除了时间起点的误差。(3) 刻度信号输出电路。将 50 兆赫的时钟脉冲经过 16 分频, 在 2.56 微秒内产生 8 个脉冲, 模拟漂移室中的一根丝的 8 次击中信号, 供 TDC 的调试和取样-保持电路的刻度用。(4) 禁止和使能电路。当 ADC 和 CAMAC 读出期间, 禁止第二个触发启动信号输入, 只

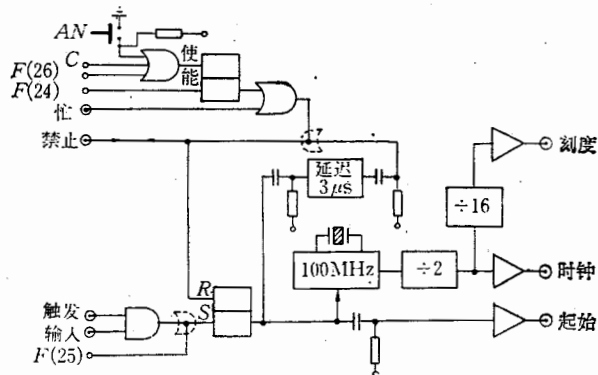


图 6 时钟/刻度单元原理图

有当第一个事件的所有信息都读入计算机后,由 CAMAC 指令 $F(26)$ 或 C 解除禁止。

程控电压/电荷脉冲产生器可以给出三种不同的输出,满足不同测试的要求。(1) 计算机通过 CAMAC 数据通道中的写线设置 12 位 DAC (数字-模拟变换电路),或由手动 10 圈电位器,输出直流参数电平 V_r , 满量程为 ± 5 伏或 ± 0.5 伏。(2) 首先通过 CAMAC 数据通道或手动 10 圈电位器给定参数电平 V_r , 然后由 CAMAC 指令 $F(25)$ 或外加触发信号打开场效应管开关,输出电压脉冲,幅度等于 V_r , 脉冲宽度等于触发脉冲的宽度。

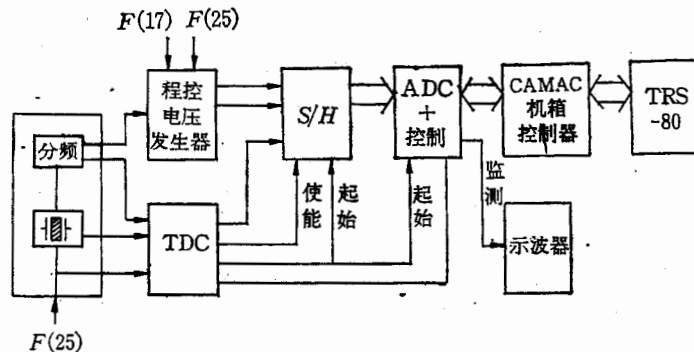


图 7 取样-保持电路性能的在线测量框图

表 2 读出线路系统的性能

| 总增益 | 典型值 1300 计数/PC (高增益) 650 计数/PC (低增益) |
|----------|---|
| 噪声电平 | 4.4 fc (FWHM) |
| 测量范围 | 2 PC (高增益) 4 PC (低增益) |
| 非线性 | 1% |
| 漂移时间测量范围 | 2.56 微秒 |
| 时间分辨(道宽) | 10 纳秒 |
| 双脉冲分辨 | 70—200 纳秒(可调) |
| 多次击中能力 | 每根丝 8 次 |

(3) 也可以由阶跃电压对电容 C (40.0 PF) 充电, 给出电荷脉冲, 其电荷量 $Q = CV$, 再由电阻均匀地分配给出两个输出端。为了使用方便, 线路设计成既可以由计算机控制, 也可以手动操作。

以测量取样-保持电路的线性为例, 图 7 给出了测量的线路框图。编写了测量读出线路性能的通用程序 ANALOG, 启动该程序后, 按要求输入刻度范围, 取样点数和取样重复次数后, 计算机就自动地设置和改变输入信号的大小, 进行各取样点平均值和偏差的计算, 并进行拟合, 最后可以打印出对于每次击中的增益、台阶、方差和最大偏离。得到积分线性优于 0.5% 。用类似的方法测量了整个读出线路和各单元插件的一些性能, 包括增益、台阶、线性、噪声、长期稳定性等指标。表 2 给出了读出线路系统的性能。

四、实验结果

模型室的性能研究实验是在一个大气压下的 Ar/CH_4 (9:1) 工作气体中进行的。漂移室的漂移电场大约为 1 kV/cm 。实验所用的粒子源为宇宙射线和 Fe^{55} 的 X 射线。 Fe^{55} 的 5.9 keV X 射线的能量接近于最小电离粒子在垂直方向穿过模型室时在一个漂移空间的平均能量损失的二倍。实验所用的宇宙射线望远镜有两组, 一组是由两块 $80 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ 闪烁体放在室本体的上方和下方组成, 可以选取穿过全室的宇宙射线, 另一组是由窄条的 $80 \text{ cm} \times 4 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ 闪烁体组成, 用来选取穿过半室的宇宙射线事例。模型室性能研究的单丝实验是用第三节读出电路中的前置放大器和 ADI 单元, 配合其他的 NIM 和 CAMAC 插件进行的。模型室的多丝在线实验数据, 是用第三节描述的具有记录 8 次击中本领的读出电子学系统获取的。

4.1 单丝部分实验结果

4.1.1 单丝的探测效率

用符合计数的方法测量了信号丝单丝的探测效率。例如选择 1, 3, 5, 7 四根信号丝记录宇宙射线事例。实验测量 1, 3, 5, 7 四根丝的符合计数率, 同时也记下 1, 3, 7, 三根丝的符合计数率, 从它们的比值可以计算出第 5 根丝的探测效率。结果在图 8 给出, 当高压 ≥ 5800 伏时, 探测效率达 $\sim 98.5\%$ 。

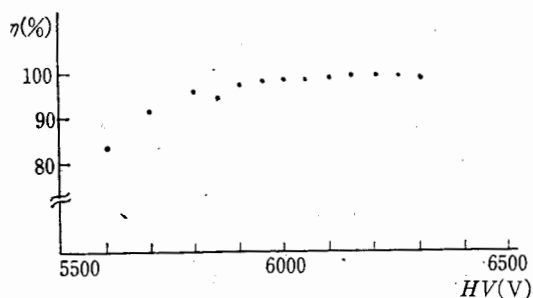


图 8 不同工作电压下的探测效率

4.1.2 漂移方向的空间分辨 σ_x

漂移方向的坐标是由电子漂移时间和漂移速度决定的。其误差包括时间测量的误差, 由时间转换成长度的误差以及电子沿漂移方向的扩散引起的误差。

首先我们采用三丝法测量了漂移方向的空间分辨 σ_x 。实验安排及测量线路框图在图 9 (a) 给出。大的闪烁体组成宇宙射线望远镜作触发用。闪烁计数器两端引出的信号分别记为 γ_{L1} , γ_{L2} , γ_{R1} 和 γ_{R2} 。用于测量漂移时间零点的定时系统, 其时间分辨 $< 2 \text{ ns}$ 。三根

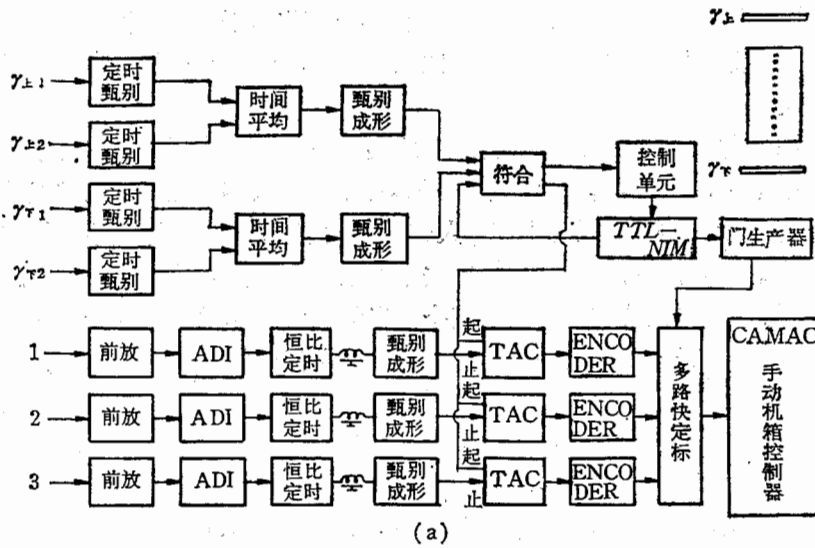
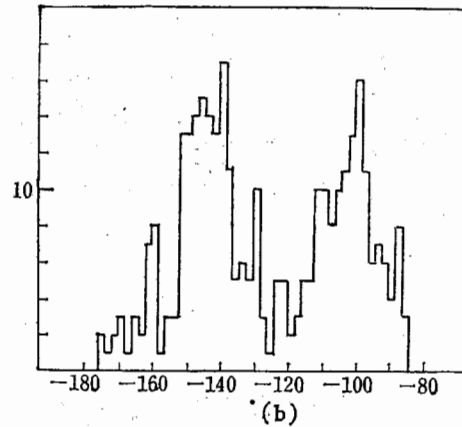


图9(a) 测量漂移方向空间分辨的电子学系统框图

图9(b) ΔT 分布直方图横坐标为 ΔT (ns),纵坐标为 N

信号丝信号由于幅度不同而引起的时间晃动 <1 ns。三路时间数字转换线路在实验前后进行了刻度,当 TAC 单元的量程在 $2.5 \mu\text{s}$ 时,在 8 小时的测量时间内,转换率变化小于 0.2%,相当于时间变化为 ≤ 5 ns (相当于 $\leq 150 \mu\text{m}$)。

选择三根相邻的信号丝,漂移时间依次分别为 t_1, t_2, t_3 , 可以得出:

$$\Delta T = \frac{1}{2} (t_1 + t_3) - t_2 = \frac{2\delta}{\omega}$$

测出 ΔT 的分布曲线即可求出 $\sigma_{\Delta T}$ 。如果三根丝所在的漂移区内有相近的漂移时间和误差,可以导出:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{2}{3}} \omega \sigma_{\Delta T}$$

由于宇宙线在中央平面两侧穿过模型室,所以 $\Delta T = \pm 2\delta/\omega$, 即 ΔT 的分布为双峰。图 9(b) 给出 337 个宇宙线事例的 ΔT 分布直方图。由于三路信号的时间零点未进行校正,

两个峰的对称点偏移了 ~ 120 ns. 当径迹与中央平面相交时, $\Delta T = \pm 2\delta/\omega$ 将不成立, 实验数据中没有剔除这类径迹. 两个峰的 FWHM 均为 ~ 23 ns, 即 $\sigma_{\Delta T} \sim 9.8$ ns, 经计算得出 $\sigma_x \sim 250 \mu\text{m}$, 这是在 0—5.4 cm 漂移空间的平均结果. 两个峰相距 $4\delta \sim 44$ ns, 经计算 $\delta \sim 340 \mu\text{m}$ (平均漂移速度 ~ 3.1 cm/ μs , 见 4.2.1 的结果). 进行了完全同样条件的重复性实验, 两次结果基本一致.

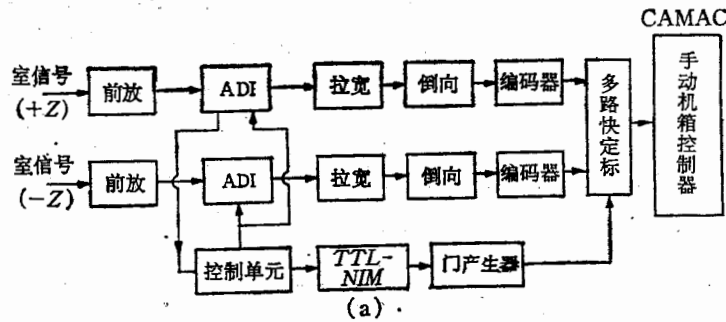


图 10(a) Z 方向的空间分辨测量电子学系统框图

4.1.3 z 方向的空间分辨 σ_z

模型室沿丝方向的坐标 z 由电荷分配法决定. 实验采用 Fe^{55} 的 5.9 keV 的 X 射线从室本体上方经准直后穿过塑料薄膜窗射入室内, 放射源 Fe^{55} 可以沿丝方向移动. 测量的电子学线路框图在图 10 (a) 给出. 两个前放单独刻度, ADI 单元、倒向器、拉宽器和编码器联在一起刻度, 刻度是用 BH-1 发生器进行的, 所用的脉冲形状模拟模型室信号的波形. Z 方向的空间分辨主要是由前置放大器的信噪比决定的. 前放输出端的噪声电压一般在 ≤ 2 mV $_{p-p}$, 当有高频干扰时, 噪声电压增大到 ~ 5 mV $_{p-p}$. 图 10 (b) 给出 $Z = 0$ 的 Z 向空间分辨, $\Delta \left(\frac{A_R - A_L}{A_R + A_L} \right)$ 为 0.035, 经计算 $\sigma_z \sim 1.5$ cm.

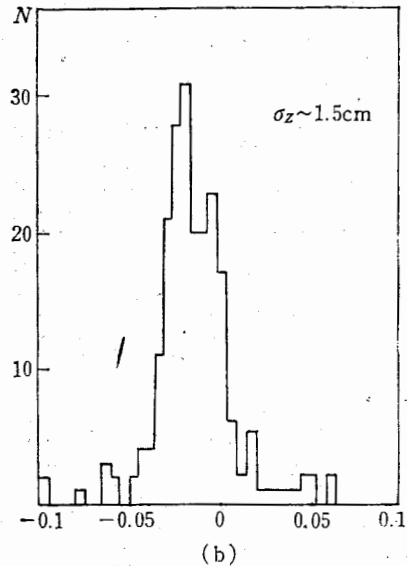


图 10 (b) Z 方向在 $Z = 0$ 处的空间分辨

横坐标为 $\frac{A_R - A_L}{A_R + A_L}$,
纵坐标为 N

4.1.4 电子漂移时间与位置的线性关系

模型室的电场分布在很大的区域内是均匀的, 因此当漂移速度达到饱和时, 电子漂移时间与位置将具有线性关系. 采用大的闪烁体作宇宙线望远镜进行了实验, 闪烁体的长度方向平行于室的 Z 方向. 测量结果见图 11, 它给出了宇

宙射线粒子计数 N 的微分谱, 它是在左、右各为 54mm 漂移距离内得到的. 因为 $\frac{dN}{dx} =$

$\frac{dN}{dx} \cdot \frac{dx}{dt}$, 若宇宙射线的分布 $\frac{dN}{dx}$ 是常数, 则 $\frac{dN}{dt} \propto \frac{dx}{dt}$, 即 $\frac{dN}{dt}$ 正比于漂移速度, 从图中可

后于

误差

图正,

以看出,分布曲线在 $3/4$ 区域内 $\frac{dN}{dt}$ 基本上为一常数,而在漂移距离增大时有下降的趋

势。这是由于宇宙线的人射方向不同和立体角变化引起的。空间各点接受宇宙线粒子数

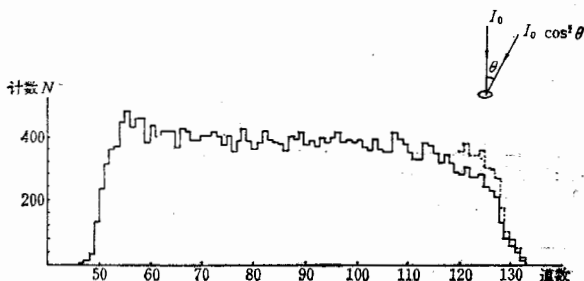


图 11 宇宙射线的漂移时间谱 (18.8 ns/道)

虽然是 不变的,但是宇宙射线的方向是按 $\cos^2\theta$ 分布的。在这个实验安排下,经过计算,在 $30-54 \text{ mm}$ 漂移区内,修正值大约从 $1\%-20\%$,立体角变化引起的修正为主要贡献。图中虚线即为修正后的分布曲线。此外还测量了 Fe^{55} 源沿漂移方向移动在不同位置时的能谱,所得 5.9 keV 的谱形及峰位置不变,这说明计数 N 下降不是由于负电性气体对电子吸附而引起的。修正后的分布曲线在更大区域内 $\frac{dN}{dt}$ 接近为一常数,因此漂移速度接近于常数。

4.2 在线实验结果

这一节给出的单丝或多丝的在线实验结果全部是用第三节描述的具有记录 8 次击中本本领的读出电子学系统获取的。实验中用了 8 根信号丝与读出线路相联。

4.2.1 漂移方向的空间分辨 σ_x

在测量前首先调整了 TDC 的时间零点,采用大的闪烁计数器作触发,选择穿过中央平面的宇宙线事例,对中央平面两边的击中分别进行直线拟合,调整触发信号或丝信号输出电缆的长度使两边的直线重合。

测量漂移方向的空间分辨时,采用大闪烁计数器组成宇宙线望远镜,放在室的上方和下方作触发用,记录了 267 个宇宙线事例。每根径迹经过拟合后,计算每个击中点的 $\Delta x_i = x_i - x_{fi}$, x_i 和 x_{fi} 分别为该击中点的漂移距离测量值和拟合值。267 个事例总的 Δx_i 分布曲线在图 12 给出。将 Δx_i 分布进行高斯拟合,在 $[-4\sigma, +4\sigma]$ 区域内进行拟合得到 $\sigma_x = 280 \mu\text{m}$, 在图 12 中由实线给出,在 $[-2\sigma, +2\sigma]$ 区域内进行拟合得

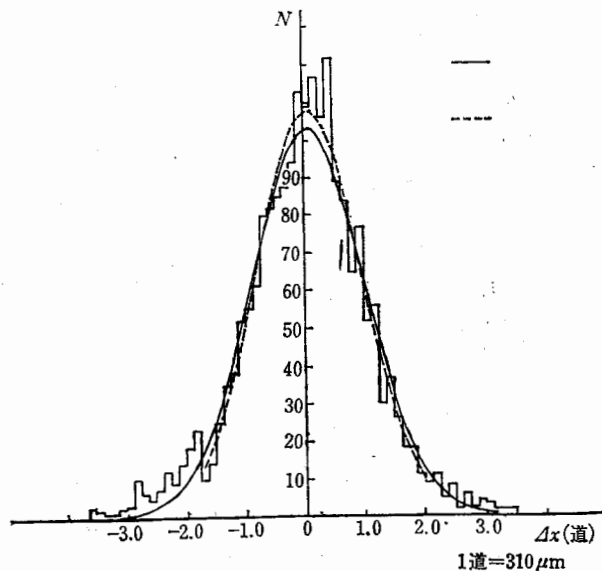


图 12 漂移方向的空间分辨

— $\sigma_x = 280 \mu\text{m}$, 拟合区间 $[-4\sigma, +4\sigma]$

--- $\sigma_x = 270 \mu\text{m}$, 拟合区间 $[-2\sigma, +2\sigma]$

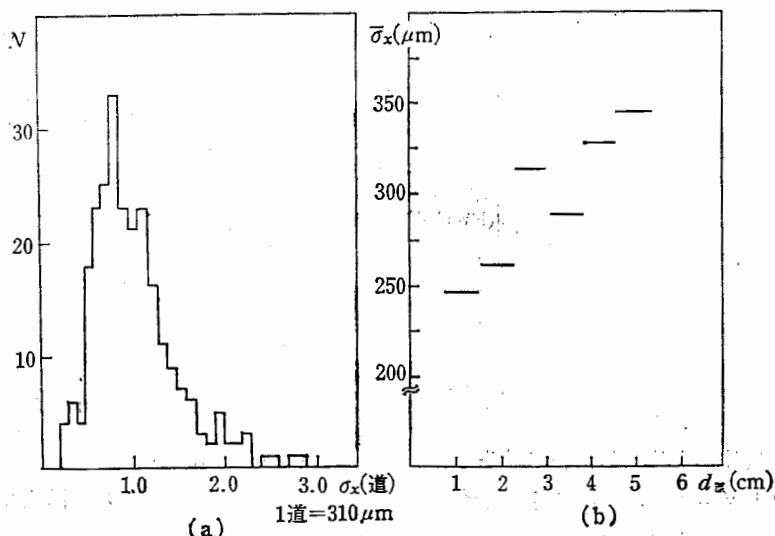


图 13 (a) 每条径迹的 r. m. s. 偏差分布直方图 (b) 径迹平均 r. m. s. 偏差随平均漂移距离的变化

到 $\sigma_x = 270 \mu\text{m}$, 在图 12 中由虚线给出。图 13 (a) 给出的 σ_x 分布是先计算每条径迹的 σ_x (由每条径迹 8 个击中点计算得出), 再将 267 条径迹的 σ_x 作出直方图, 图中给出的漂移方向的空间分辨平均值为 $\bar{\sigma}_x = 280 \mu\text{m}$ 。两种分析方法得到的结果一致, 以上空间分辨是在 54 mm 漂移空间的平均结果。为了得到漂移方向的空间分辨对漂移距离的依赖关系, 在第四漂移区将宇宙线按其通过漂移区的位置分成七个区间: 从 0 到 $1.5 \mu\text{s}$ 按 $0.25 \mu\text{s}$ 间隔分成六个区间, 加上大于 $1.5 \mu\text{s}$ 的第七个区。穿过每个区的径迹有一个 σ_x 分布, 再求出每个区的 σ_x 的平均值 $\bar{\sigma}_x$ 。图 13 (b) 给出 267 个事例中每个区的 $\bar{\sigma}_x$ 随漂移距离的变化趋势。从图中看出随着电子漂移距离的增加, 电子在漂移方向的纵向扩散对空间分辨有着明显的影响。

漂移方向的空间分辨的主要来源除室本体固有的空间分辨外, 还有读出电子学的贡献, 其中包括 TDC 的道宽, 由于宇宙线在闪烁体计数器上不同入射位置引起的零点不确定性, 和不同幅度的信号脉冲经甄别器后引起的时间晃动等因素。TDC 的道宽的贡献相应的分辨为 $10 \text{ ns} / \sqrt{12} = 2.88 \text{ ns R. M. S. } (\sim 90 \mu\text{m})$ 。漂移室信号在前放输出端的脉冲波形前沿上升时间接近 $\sim 30 \text{ ns}$, 因此对不同幅度的信号脉冲引起的时间晃动进行修正后, 预期会改善漂移方向的空间分辨。

电子的平均漂移速度是从穿过室本体的宇宙射线计数 N 的微分谱计算得到的。从 5.8 kV 到 6.2 kV 之间测量了五个不同高压数值下的平均漂移速度, 并计算其平均值 $\sim 3.1 \text{ cm}/\mu\text{s}$, 每一种高压下的平均漂移速度相对于平均值的变化 $\sim \pm 5\%$ 。模型室工作在高压 5.8 kV—6.2 kV 时, 对应于均匀漂移场强区的场强为 0.97 kV/cm—1.03 kV/cm 范围。从 B. JEAN-MARIE^[6] 给出的 Ar/CH₄ (9:1) 气体中漂移速度随场强的变化曲线中, 可以看出在场强为 0.97 kV/cm—1.03 kV/cm 范围时, 模型室已工作在饱和速度区。

4.2.2 z 方向的空间分辨 σ_z 及能量分辨

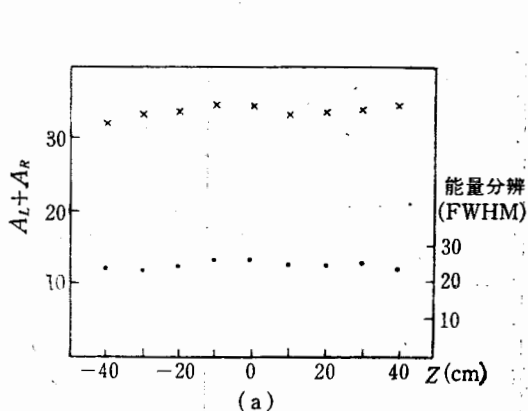


图14(a) 气体放大的均匀性和能量分辨
(Fe^{55} 5.9 keV X 射线)随 Z 方向的关系

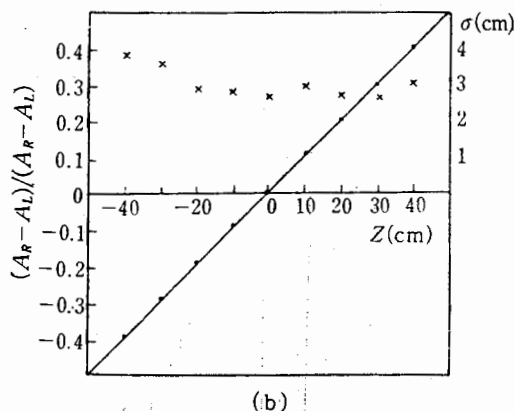


图14(b) $(A_R - A_L)/(A_R + A_L)$ 值和 Z 方
向分辨随 Z 座标的关系

实验采用 Fe^{55} 放射源经过准直器放在室上方的薄窗外, 距离信号丝 ~ 10 cm, 采用高为 5 mm, 长为 20 mm, 缝宽为 1 mm 的铅准直器. 工作高压为 6 kV. 图 14(b) 给出了 Fe^{55} 的 X 射线入射位置与测量到的 Z 坐标的关系以及 Z 方向的空间分辨. 每一位置的 $(A_R - A_L)/(A_R + A_L)$ 分布, 经高斯拟合后得到分布的峰位置, 按 (1c) 式计算得 z 坐标, 拟合后得 $\sigma_z \sim 3$ cm. 图 14(a) 给出了一根信号丝沿 Z 方向的能量分辨和气体放大倍数的均匀性. 每一位置的 Fe^{55} X 射线的全能峰经高斯拟合后得到峰位置及 FWHM. 从图中看出能量分辨的变化 $\sim 10\%$, 气体放大倍数的变化 $\sim 3\%$.

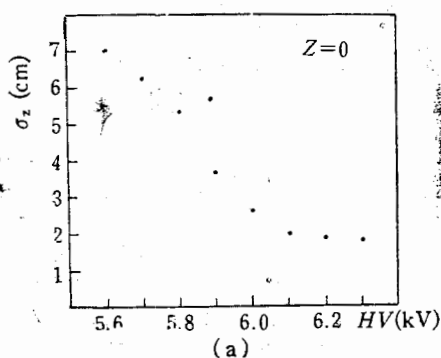


图 15(a) σ_z 与高压的关系

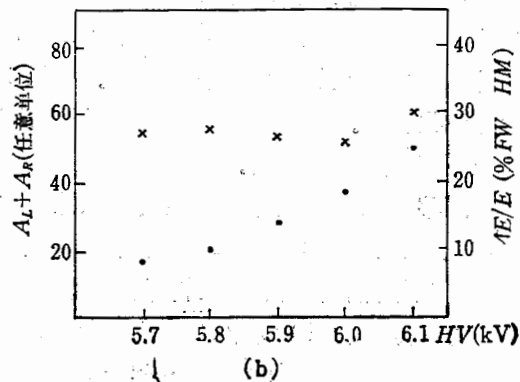


图 15(b) 能量分辨(\times)及气体放
大倍数(\bullet)随高压的变化

z 方向的空间分辨 σ_z 主要由前置放大器的信噪比决定. 在本实验中遇到 TRS-80 微处理机对电子学系统的干扰, 当联结 TRS-80 微处理机后, 折算到前置放大器输入端的噪声增大了几倍, 这可能是测量到的 σ_z 偏大的主要原因.

图 15(a) 是 σ_z 随高压变化的曲线, 图 15(b) 给出了能量分辨和气体放大倍数随高压变化的曲线. 从 (a) (b) 两图可以看出高压升高, 气体放大倍数变大使空间分辨 σ_z 明显地变好, 这是由于信噪比变大的缘故.

4.2.3 径迹的左右分辨

径迹的左、右判断取决于 S 量的正负。图 16 (a) 给出 267 个宇宙线事例的 S 量的分

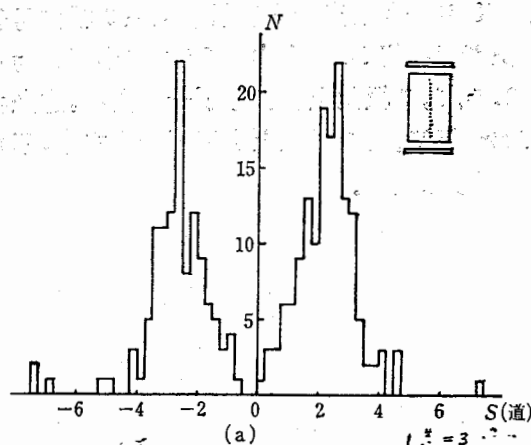


图 16 (a) 双边触发 S 量的分布图
1 道 = 310 μm

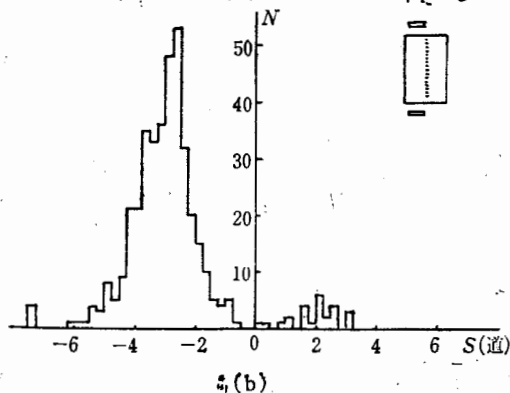


图 16 (b) 单边触发的 S 量分布图
1 道 = 310 μm

布。每条径迹经拟合后按 (2) 式计算出 S 量, 数据分析中剔除了与中央平面相交的径迹。 S 量的两组分布对应于穿过左、右两半室的径迹。另外, 我们采用 4 cm 的窄条闪烁体组成的望远镜放在左半室的上方和下方, 如图 16 (b) 右上角所示。记录了 400 个宇宙线事例, 计算出每条径迹的 S 量, S 量的分布在图 16 (b) 给出。在 400 个事例中有 25 条径迹的 S 量为正, 即左右分辨的失效率达 $\sim 6\%$ 。在 25 根 S 量为正的径迹中, 发现有 3 根径迹是弯曲的, 有一根径迹是由穿到室外的二根径迹合成的。

4.2.4 径迹的重建和多径迹事例的探测

图 17 (a) 和 (b) 分别给出了两条宇宙射线的径迹。一条径迹是倾斜的, 另一条是与中央平面相交的。

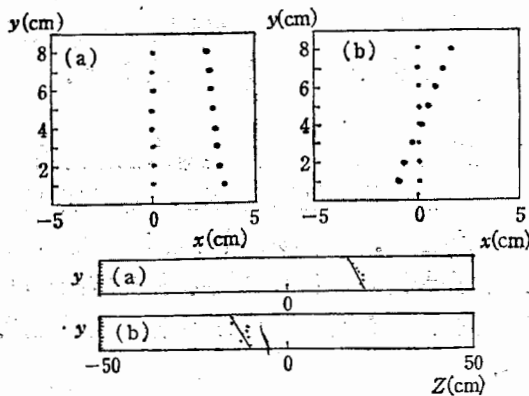


图 17 宇宙线的径迹

(cm)
高
Fe³⁺
一
后
均
能
AE/E (%FW HM)
(V)
0 微
崙的
高压
明显

为了检验模型室对多径迹事例的探测,在顶部闪烁体的下面插入一块厚 1.1 cm 的铅块,以得到宇宙射线的簇射事例。我们采用了标准道路寻迹的方法建立了图象识别程序^[7]。图 18 给出宇宙射线簇射事例的图象。图 18 (a) 给出一次簇射事例在 8 根信号丝记录下的 28 次击中的漂移时间。经过图象识别程序将 28 次击中的 27 次击中拟合为 4 条径迹,重建后的径迹在图 18 (b) 给出。第 2, 5, 6, 7 根丝上各少记了一次击中,这是由于双径迹分辨的原因,和室的双径迹分辨 ~ 3 mm 相符,第 1 根丝上少记了一次击中,不能用双径迹分辨解释,这可能是由于信号丝的探测效率所致。

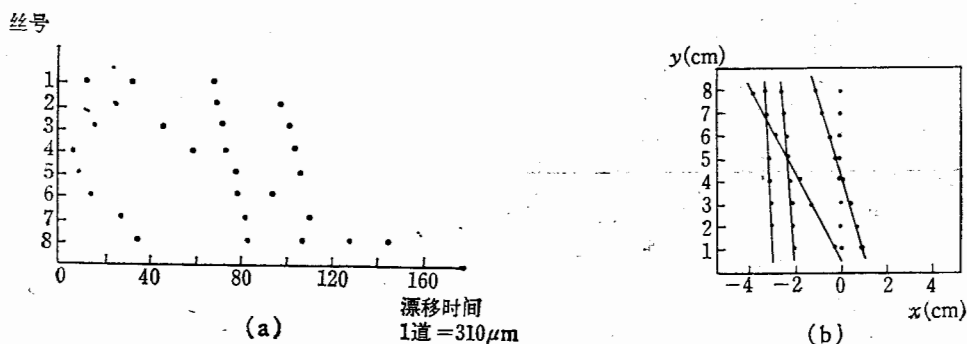


图 18 宇宙线簇射多径迹重建图

(a) 8 根丝读出的漂移时间 (b) 重建后的径迹

五、小 结

通过对图象漂移室模型室的研制,使我们获得了一定的经验,通过室性能的测量,得到了初步的结果。漂移方向的空间分辨 $\sigma_x \sim 280 \mu\text{m}$, 利用电荷分配法得到 $\sigma_x \sim 3\text{cm}$, 改善计算机的干扰后,期望可得到改善。信号丝的探测效率达 $\sim 98.5\%$, 对宇宙线的左右分辨能力达 94%, 模型室给出了良好的径迹图象,读出电子学具有记录 8 次击中的能力,能记录多径迹事例,双径迹分辨达 3 mm。

感谢叶铭汉、郑林生先生对本工作的关心和支持。

模型室本体的机械加工是由北京机电研究院光机所完成的,作者在此对他们的热情帮助表示感谢。在这项工作中,高能所漂移室组、飞行时间计数器组和簇射计数组曾给予我们很多帮助,在实验过程中我们与方澄和马基茂同志曾进行过有益的讨论,孟烈同志对本工作曾给予帮助,作者在此对他们表示感谢。

参 考 文 献

- [1] J. Heintze, *Nucl. Instr. & Methods.*, **156**(1978),227
- [2] 朱启明等,高能物理与核物理, **8**(1984), 129.
- [3] W. Farr and J. Heintze, *Nucl. Instr. & Methods.*, **156**(1978),301.
- [4] 丁慧良等,高能物理与核物理, **7**(1983), 779.
- [5] 丁慧良等,高能物理与核物理, **8**(1984), 765.

[6] B. Jean-marie, et al. LAL 78/17.

[7] 周化十等, 中国科学院高能物理研究所第二次计算机应用学术报告会论文汇编 P 193.

SOME STUDIES OF A MODEL OF PICTORIAL DRIFT CHAMBER

DING HUI-LIANG WANG PEI-LIANG ZHU QI-MING GUO YA-NAN ZHOU HUA-SHI
YANG XI-RONG YU ZHONG-QIANG NI HUI-LING GU SONG-HUA SHENG JUN-PENG
GUO HONG-FEI

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

A model of pictorial drift chamber is constructed. The associated readout circuit of the model chamber is made with the capability of recording 8² hit events. The present study was undertaken to investigate the properties of the chamber, including spatial and double track resolutions, resolution of left/right ambiguity, as well as the pattern recognition of multi-track events. In this paper, the construction of the model chamber is briefly described. Also described are the principle and the block diagram of the readout circuit, the properties of each unit, as well as the properties of the whole circuit. The experimental results reported here include X-spatial resolution ($\sigma_x=280 \mu\text{m}$), Z-spatial resolution ($\sigma_z=3 \text{ cm}$), and the reconstructed track picture of a cosmic ray shower.