

RIBLL 粒子鉴别气体电离室*

陈志强¹ 王猛¹ 詹文龙¹ 郭忠言¹ 肖国青¹ 王金川¹
王全进¹ 宁振江¹ 李加兴¹ 王建峰¹ 郑锐² 董晓难²

1(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

2(清华大学工程物理系 北京 100080)

摘要 描述了一种用于兰州放射性束流线粒子鉴别的阳极分别在 x, y 方向分条共阴极纵向场双叠层电离室. 对其性能进行初步测试, 得到了坪曲线和能量分辨. 在 10kPa 的 P10 工作气体(10%CH₄ + 90%Ar)时, 阴极电压为 -650V, 阳极电压为 +120V 是较佳的工作点. 当工作气压为 25kPa 时, 阴极电压为 -1650V, 阳极电压为 +240V 的工作条件较好, 此时, 对²³⁹Pu α 源相对能量分辨约为 4.7%.

关键词 粒子鉴别 分条阳极双叠层电离室 坪曲线

1 引言

自 1985 年 Tanihata 等^[1] 在劳伦斯伯克利实验室(LBL)使用放射性次级束流实验以来, 放射性核物理已成为核科学最具活力的前沿研究领域. 世界上一些主要的核物理实验室先后都建立各具特色的放射性束流线装置, 如 LISE^[2], A1200^[3], RIPS^[4], FRS^[5] 等. 兰州放射性束流装置(RIBLL)于 1997 年 7 月建成并顺利投入运行^[6]. 目前它已为多个放射性束物理实验提供多种放射性束流(RIB).

放射性核束装置是产生和鉴别远离 β 稳定线新核素的十分成功和有效的工具, 也为放射性核束反应机制研究, 远离 β 稳定线核性质、结构、衰变特性研究, 核天体物理等相关科学研究开辟了广阔空间. 为了更好地进行实验研究, 我们设计并研制了一批与 RIBLL 终端配套的实验设备^[7].

气体电离室是核物理研究最早使用的探测器之一. 由于它具有明显的无可替代的优点, 如厚度均匀、可调, 有效面积和体积可按需要随意设计, 成本低廉等, 直到现在仍被广泛应用于像 Indra/GANIL 4 π 带电粒子探测器^[8]、Fopi/GSI 探测器^[9]、MUSIC/FRS/GSI 粒子鉴别和能量探测^[8] 等各种核物理实验中.

在相对低的能量范围, 气体电离室的能量分辨适中, 它较 Si 半导体探测器差, 好于闪

1999-08-04 收稿

* 国家自然科学基金(19735010, 19675055)和国家杰出青年基金(19825115)资助

烁探测器;时间特性、动态范围较闪烁探测器和 Si 探测器都差;体积较大且使用较复杂.但是,它在低探测阈、大的有效面积和低成本等方面具有很强的优势.

本文描述了在 RIBLL 上用于粒子鉴别的阳极分别在 x, y 方向分条,共用阴极,纵向场双重气体电离室的设计、结构以及初步的测试结果.阳极在 x, y 方向分条结构可以测量入射粒子的空间位置,也提高了电离室的计数能力.它被安置在 RIBLL 的色散平面,因此有效面积较大.考虑了 RIBLL 次级粒子较低的强度,因此结构简单的纵向场电离室在此可以很好地工作.

2 RIB 分离与鉴别

RIBLL 是中能重离子弹核碎裂型(PF)放射性次级束流分析装置.它为 $T_0 - Q_1 Q_2 D_1 Q_3 Q_4 - C_1 - Q_5 Q_6 D_2 Q_7 Q_8 - T_1 - Q_9 Q_{10} D_3 Q_{11} Q_{12} - C_2 - Q_{13} Q_{14} D_4 Q_{15} Q_{16} - T_2$ 结构,其中焦点 T_0 放初级靶, T_1 和 T_2 分别为第一、二聚焦平面, C_1 和 C_2 为第一、二色散平面, $Q_{i(i=1-16)}$ 是四极透镜, $D_{i(i=1-4)}$ 为二极偏转磁铁. RIBLL 全长约 35m, T_2 是它的中心反对称平面.

HIRFL 提供的中能重离子初级束流强聚焦于 RIBLL 的初级靶 T_0 ,在 T_0 引起弹核碎裂,产生弹核以下所有核素,它们集中在向前方向很小椎角,以接近炮弹速度飞行,进入 RIBLL 第一分析段 $Q_1 Q_2 D_1 Q_3 Q_4$. 偏转磁铁 D_1 按照 $B\rho \propto \frac{A}{Q}$ 关系选择一组 $\frac{A}{Q}$ 相同的核素通过(A 为原子量, Q 为电荷,当全剥离时, Q 等于核电荷 Z). 在色散平面 C_1 处,放置一个精心为消色差设计的楔形降能器,它按照 $\frac{dE}{dx} \propto \frac{Z^2}{\beta^2}$ 关系($\beta = v/c$, v 是粒子速度, c 为光速)从 D_1 选择的一组核素中选择一种核素通过. $Q_5 Q_6 D_2 Q_7 Q_8$ 是色散补偿段,由分析段和 C_1 中引入的色散在这段被精心补偿,在聚焦点 T_2 处,被选择分离的放射性核束(RNB)是完全双消色差的.

RNB 的鉴别采用飞行时间(TOF)-能量损失(ΔE)技术.通常两个时间拾取探测器分别被安置在 T_1 和 T_2 ,它主要由闪烁薄膜(10—100 μm)、内椭球面反射器、光电倍增管(PMT)组成^[10],时间分辨可以达到 140ps. 它们提供粒子在 $T_1 - T_2$ 路径的 TOF 测量.而在 T_2 的粒子能量探测器望远镜,提供粒子的 ΔE 和总能量(E)测量.在 TOF - ΔE 双维图上,RNB 被清楚鉴别.这就是人们常说的 PF 型 RNB 装置的 $B\rho - \frac{dE}{dX} - \text{TOF} - \Delta E$ 粒子分析鉴别技术^[11].

为了探测寿命更短的 RNB,可在 $T_1 - T_2$ 之间的不同路径长度,放置时间探测器和 ΔE 探测器.本文描述的电离室,将被安置在 C_2 的附近,测量较短寿命的放射性新核素.

3 阳极分条读出气体电离室

3.1 结构

该电离室为大入射窗、共用阴极、阳极分别在 x, y 方向分条读出纵向电场双叠层结构,如图 1 所示. 入射窗和出射窗为单面镀银 mylar 膜(mylar 膜厚 $3.26\mu\text{m}$, 银 97nm), 有效面积为 $410\text{mm} \times 100\text{mm}$. 为了增强膜的耐压能力, 它被窗架支撑. 窗架由 25mm 厚合金铝板雕刻出 13×3 个方孔, 方孔面积 $30.5\text{mm} \times 30.5\text{mm}$, 间隔 1.5mm , 两个方向布上 $\phi 100\mu\text{m}$ 间隔为 10mm 不锈钢丝. 阳极与 Frish 栅距离为 13mm , 阴极与 Frish 栅距离为 257mm . Frish 栅由 400 根直径 $25\mu\text{m}$ 镀金钨丝布成, 丝的间距为 1mm , 应承受张力 200g . 阴极为双面镀银(银厚 $0.2\mu\text{m}$) mylar 膜(膜厚 $3.26\mu\text{m}$). x 阳极和 y 阳极均为分条镀银(银 97nm) mylar 膜(膜 $3.26\mu\text{m}$), 条的宽度为 31.5mm , 间隔 0.5mm , 两阳极条相互垂直. 19 个均压环由宽度为 1mm 、中心间距为 13mm 的铜条做成, 环之间连接 $10\text{M}\Omega$ 电阻, 一端与 Frish 栅连接, 另一端通过 $10\text{M}\Omega$ 电阻与阴极相连.

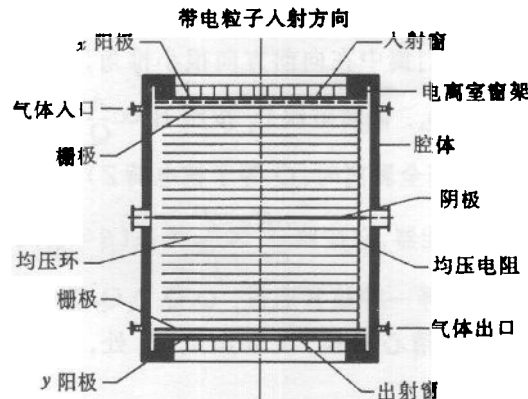


图 1 电离室结构示意图

电离室腔体体积为 $607\text{mm} \times 490\text{mm} \times 144\text{mm}$. 当不使用该电离室时, 将电离室芯和窗取出, 它就是 RIBLL 真空腔体的一部分, 真空可达到 $1.6 \times 10^{-4}\text{Pa}$.

3.2 工作原理

该电离室工作原理如图 2 所示. 电离室被充入一定气压的工作气体(如 P10), 阴极上加负高压, 两阳极加正高压, Frish 栅接地. 当入射带电粒子进入探测器灵敏体积内时, 将工作气体电离, 电子和正离子在电场作用下分别向阳极和阴极漂移. 约化场强(E/P)的选取应保证电离室工作在坪区中间且电子应有较大的迁移率, 这样电子-离子对复合率低, 阳极输出脉冲幅度稳定, 能量线性和能量分辨好, 上升时间也较快.

该电离室 x 阳极分 13 条和 y 阳极分 3 条. 阳极分条结构电离室相当于将一个大维

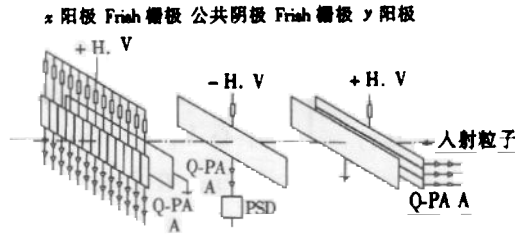


图 2 纵向场共阴极多条结构阳极双重电离室原理图

Q-PA 电荷灵敏前置放大器, A 主放大器, PSD 脉冲形状甄别器, H. V 高压电源.

度的电离室分成若干子电离室,因此,提高了电离室的计数能力. x, y 阳极分条双叠层共阴极电离室的符合测量也提供了入射粒子的空间走向. 同时也为粒子鉴别提供了 2 个 dE/dx 信息. 显然,它增加了获取数据的参数和分析数据的时间.

电离室工作气体在自动稳压系统控制下气压的绝对变化可控制在 100Pa 以内.

4 初步测试结果

采用 ²³⁹Pu α 源 ($E_0 = 5.155\text{MeV}$), P10 气体对电离室的坪曲线进行测量, 如图 3 所示.

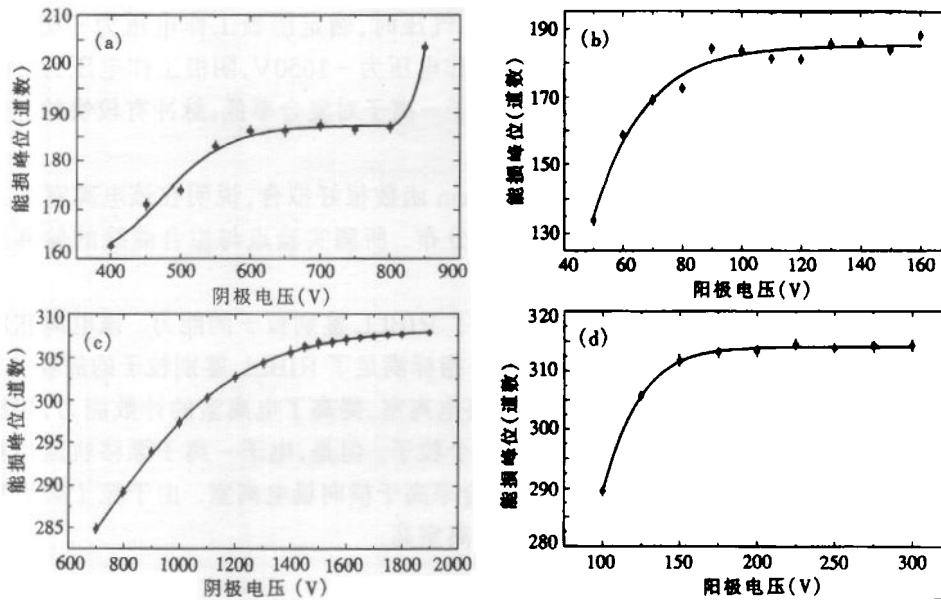


图 3 ²³⁹Pu α 源能量损失峰位随阴极 (a,c) 和阳极 (b,d) 电压变化曲线

• 实验点, — Boltzman 函数拟合.

(a) 气压为 10kPa, 阳极电压为 +100V; (b) 气压为 10kPa, 阴极电压为 -650V;

(c) 气压为 25kPa, 阳极电压为 +200V; (d) 气压为 25kPa, 阴极电压为 -1600V.

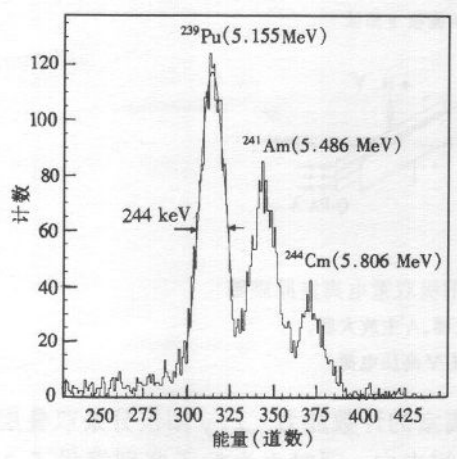


图 4 工作气压 25kPa, 阴极电压 -1650V, 阳极电压 240V 时, 电离室测量 3 组分 α 源能谱

从 P10 气体中电子迁移率数据看, 当约化场强 $E/P \approx 0.25 \text{V}/\text{Pa} \cdot \text{m}$ 时, 电子迁移率最大. 从 10kPa 的坪曲线看 (图 3(a)), 在坪中心 $V_c = -650 \text{V}$, 约化场强 $E/P = 0.253 \text{V}/\text{Pa} \cdot \text{m}$. 在 25kPa (图 3(c)), $V_c = -1650 \text{V}$, 则 $E/P = 0.249 \text{V}/\text{Pa} \cdot \text{m}$. 电离室工作点这样选, 幅度稳定, 符合率小, 时间性能好.

图 4 是该电离室工作气压为 25kPa, 阴极电压 -1650V, 阳极电压 240V 时, 对于 3 组份 α 源 ($^{239}\text{Pu} + ^{241}\text{Am} + ^{244}\text{Cm}$) 测量的一维能谱, 高斯拟合对应 ^{239}Pu 的 5.155MeV α 能谱, 得到均方根偏差 $\sigma = 7.6341$. 考虑电离室死区等因素修正, 得到能量绝对分辨 244keV (FWHM), 相对能量分辨为 4.7%.

5 结果与讨论

坪曲线是气体探测器性能的一项重要指标, 通常一个性能良好的气体探测器坪区较长、坪斜较小. 坪长太短, 探测器无法稳定工作. 从坪曲线可以确定出合适的工作电压. 从所测的坪曲线看, 该电离室坪区较长, 10kPa 气压时, 确定阴极工作电压为 -650V, 阳极工作电压为 120V. 25kPa 时, 确定其阴极工作电压为 -1650V, 阳极工作电压为 240V. 此时, 电子迁移率最高, 阳极脉冲幅度稳定, 电子-离子对复合率低, 脉冲有较快的上升时间.

图 3(a—d) 中坪曲线实验数据能用 Boltzman 函数很好拟合, 说明在该电离室中工作电压与 ^{239}Pu α 源能量损失峰位满足 Boltzman 分布. 所测实验点与拟合曲线的偏离主要是由气压波动引起的.

能量分辨对于该电离室极为重要, 它决定了 RIBLL 鉴别粒子的能力. 该电离室对于 5.15MeV ^{239}Pu α 粒子能量分辨为 4.7%, 这一指标满足了 RIBLL 鉴别粒子的需要.

总之, 阳极在 x, y 方向分条共阴极双叠层电离室, 提高了电离室的计数能力, 能提供入射粒子的空间走向, 也能测量同时入射的多个粒子. 但是, 电子-离子漂移轨道与粒子径迹重合, 增加了电子-离子复合的机会, 复合率高于横向场电离室. 由于粒子必须穿过阴极、阳极和栅极, 因此, 探测阈也较横向场电离室高.

参考文献 (References)

- 1 Tanihata I, Hamagaki H, Hashimoto O et al. Phys. Rev. Lett., 1985, **55**:2676—2679
- 2 Anne R, Bazin D, Mueller A C et al. N. I. M., 1987, **A257**:215—232
- 3 Sherrill B M et al. N. I. M., 1991, **B56/57**:1106—1110
- 4 Kubo T, Ishihara M, Inabe N et al. N. I. M., 1992, **B70**:309—319

- 5 Geissel H, Armbruster P, Behr K H et al. N. I. M. , 1992, **B70**:286—297
- 6 ZHAN WenLong, GUO ZhongYan, LIU GuanHua et al. Science in China (Series A), 1999, **42**(5):528—536
- 7 GUO ZhongYan, ZHAN WenLong, ZHAN JianQun et al. Nuclear Electronics & Detection Technology. (in Chinese), 1996, **16**(4):273—278
(郭忠言, 詹文龙, 周建群等. 核电子学与探测技术, 1996, **16**(4):273—278)
- 8 Saint-Lanrent F et al. Nucl. Phys. , 1995, **A583**:418c
- 9 Pftzner M, Geissel H, Munzenberg G et al. N. I. M. , 1994, **B86**:213—218
- 10 ZHAO YouXiong, ZHAN WenLong, GUO ZhongYan et al. N. I. M. , 1995, **A355**:464
- 11 GUO ZhongYan, ZHAN WenLong, LIU GuanHua et al. ACTA PHYSICA SINICA(Overseas Edition), 1999, **8**(1):21—26

Gas Ionization Chamber for Particle Identification at RIBLL *

CHEN ZhiQiang¹ WANG Meng¹ ZHAN WenLong¹ GUO ZhongYan¹
XIAO GuoQing¹ WANG JinChuan¹ WANG QuanJin¹ NING ZhenJiang¹
LI JiaXing¹ WANG JianFeng¹ ZHENG Rui² DONG XiaoNan²

1(Institute of Modern Physics, The Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

2(Department of Engineering Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract A longitudinal field twin-fold ionization chamber (607mm×490mm×144mm) with an active area 410mm×100mm for particle identification at the Radioactive Ion Beam Line in Lanzhou (RIBLL) was described. It has a configuration of one common cathode and double position-sensitive anodes with grounding Frish-grids. The entrance and exit windows as well as cathode and anodes were all made of 4 μ m thick mylar foils. The cathode was coated with 1.5 μ m silver on both sides and the anodes were deposited with 13 and 3 silver strips (31.5mm width and 0.5mm interstrip gap) in vertical and horizontal directions respectively. The plateau curves of the pulse-height dependence on the cathode and anode voltages and the energy resolution $\Delta E/E$ for a working gas P10(10%CH₄+90%Ar) were measured with an α source. In the case of gas pressure 250 mbar, cathode voltage -1600V and anode voltage 220V, an energy resolution of 4.7% was achieved.

Key words particle identification, anode striped twin-fold IC, plateau curve

Received 4 August 1999

* Supported by NSFC (19675055, 19735010) and Partly by National Science Fund for Distinguished Young Scholar under the Grand (19825115)