

^{37}Ca β 缓发质子发射实验研究

孙立杰¹ 林承键¹ 徐新星¹ 王建松² 贾会明¹ 杨峰¹ 杨彦云² 杨磊¹
包鹏飞¹ 张焕乔¹ 金仕纶² 韩建龙^{2,3} 吴振东¹ 张宁涛² 陈思泽²
马军兵² 马朋² 马南茹¹ 刘祖华¹ 郑垒^{1,4}

1 (中国原子能科学研究院核物理研究所 北京 102413)

2 (中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

3 (中国科学院上海应用物理研究所 嘉定园区 上海 201800)

4 (北京航空航天大学 物理科学与核能工程学院 北京 100191)

摘要 对 β 缓发质子衰变模式的研究已经成为获取极丰质子核及其核结构知识的有力工具。在中国科学院近代物理研究所兰州放射性束流线上开展了 ^{37}Ca β 缓发质子发射实验,采用将感兴趣核注入双面硅条探测器测量其关联衰变的实验方法,在连续束模式下测量了 ^{37}Ca β 缓发质子衰变能谱、半衰期、衰变分支比。实验结果与已有文献数据在误差范围内基本符合,证实了我们实验方法的可行性与数据处理程序的可靠性,为下一步开展更近质子滴线核衰变研究积累了经验、创造了条件。

关键词 β 缓发质子发射, 双面硅条探测器, 质子能谱, 半衰期, 衰变分支比

中图分类号 TL11

DOI: 10.11889/j.0253-3219.2014.hjs.37.100509

奇特核衰变是国际核物理研究的前沿领域之一。在远离稳定线的核区发现了一批新的核衰变模式,如 β 缓发中子发射^[1]、 β 缓发质子发射^[2]、基态单质子发射^[3]与基态双质子发射^[4-5]等,拓广和深化了核物理研究的领域和内容^[6]。

离稳定线不远的原子核,由于母核与 β 衰变子核在结合能上的差别很小,衰变模式倾向于 β 衰变。原子核向质子滴线方向靠近时,同位旋对应的质量差大致呈二次方增长, β 衰变能增大,同时核子的分离能显著减小,丰质子核的 β 衰变更易于布居到子核的高激发态,包括粒子非束缚态,因此粒子发射等许多其他衰变道打开,各种衰变模式如图1所示。丰质子核 β 衰变到粒子发射核的激发态,然后发生单质子衰变、双质子衰变或 α 衰变。探测这些衰变出射粒子可全面地描述一个核态的衰变特征^[7]。极丰质子核 β 衰变释放能量大,布居到子核的大范围激发态,可以获得很大能量范围的 GT 强度方程,也可以对壳模型计算进行严格检验。而且相对于探测中子,高分辨测量质子更容易实现,这使得开展丰质子核 β^+ 衰变的研究比丰中子核 β^- 衰变更方便^[8]。

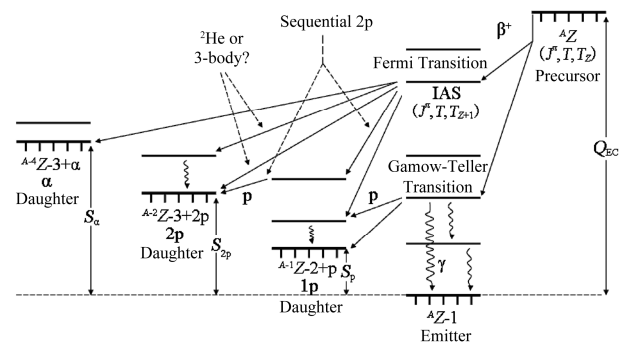


图1 丰质子核衰变纲图

Fig.1 Schematic decay scheme for $Z > N$ nuclei.

目前对 β 缓发质子发射过程已有深入研究,从实验数据获得了多种谱学信息:能级能量、宽度、自旋、同位旋、能级密度以及 β 衰变性质,也可以更为精确地测定核质量。测量带电粒子谱是研究奇特核的重要谱学工具^[9]。

$A=37$ 的 $B(\text{GT})$ 方程是天体物理的兴趣点,因为可以确定 ^{37}Cl 中微子俘获率,其截面可以用来刻度测量太阳中微子流的 ^{37}Cl 探测器^[10]。基于同位旋对称性假设,从 ^{37}Ca β 衰变得到的 $B(\text{GT})$ 分布与从 $^{37}\text{Cl}(\text{p},\text{n})^{37}\text{Ar}$ 反应得到的 $B(\text{GT})$ 分布应一致^[11]。 ^{37}Ca $Q_{\text{EC}} = 11\ 664\ \text{keV}$,可以在大范围的激发能区比较 β

国家重点基础研究发展计划项目(No.2013CB834404)、国家自然科学基金项目(No.10727505、No.10735100、No.11005156、No.11375268)资助

第一作者:孙立杰,男,1989年出生,现为中国原子能科学研究院硕士研究生,粒子物理与原子核物理专业

通讯作者:林承键, Email: cjlin@ciae.ac.cn

收稿日期:2014-04-29, 修回日期:2014-06-10

衰变的 $B(GT)$ 和从 $N=20$ 的镜像核(p,n)反应抽取的 $B(GT)$, 并且可检验壳模型理论计算。实验上精确测量 ^{37}Ca β 衰变具有重要意义^[12]。传统奇特核衰变实验通常将感兴趣核注入大面积硅探测器进行探测^[13], 为测量半衰期, 注入和衰变之间不能有新的注入事件, 这样必须使用脉冲束, 极大地限制了流强与统计; 而且这种实验方法要求束流纯度要高, 而越靠近滴线的核往往难以形成高纯度高流强的束流, 所以为开展更近滴线核的衰变研究, 探测技术需要进一步改进。

1 实验设置与过程

^{37}Ca β 缓发质子发射实验在中国科学院近代物理研究所兰州放射性束流线(Radioactive Ion Beam Line in Lanzhou, RIBLL)^[14]上完成。实验中由回旋加速器产生能量为 $69.42 \text{ MeV}\cdot\text{u}^{-1}$, 流强为 40 enA 的主束 $^{40}\text{Ca}^{20+}$, 轰击 ^9Be 初级靶发生弹核碎裂反应(projectile fragmentation), 初级靶厚度为 $990 \mu\text{m}$, 铝降能器厚度为 $500 \mu\text{m}$ 。弹核碎片等反应产物经 RIBLL 谱仪 $B\rho-\Delta E-B\rho$ 消色差选择和分离, 产生出实验需要的次级束, 其中 ^{37}Ca 能量为 $36.3 \text{ MeV}\cdot\text{u}^{-1}$ 。

实验所用探测器阵列包括粒子鉴别系统、注入探测器、衰变事件记录探测器, 后续匹配大规模的电子学与数据获取系统, 如图 2 所示。在连续束模式下将感兴趣核注入双面硅条探测器, 对注入核及其衰变粒子的物理信息(能量和时间)都予以记录。通过 event by event 分析过程, 实现对每一个注入、衰变事件的完全跟踪。位于 T_1 、 T_2 的时间拾取探测器给出的飞行时间(Time of flight, TOF)结合位于 T_2 厚度为 $299 \mu\text{m}$ 的大面积四分硅探测器(Quadrant Silicon Detector, QSD) SD1 给出的能损信号(ΔE)可以建立 ΔE -TOF 图谱, 对束流重离子进行鉴别。采用 $525 \mu\text{m}$ 厚的双面硅条探测器(Double-sided Silicon Strip Detector, DSSD)作为感兴趣核注入探测器, 每个 x - y 像素格都可视为独立探测器, 在连续束、高注入率的条件下各单个像素格内仍能保持较低注入率, 衰变事件和注入事件的时间关联得以建立。SD2 是 $314 \mu\text{m}$ 厚的大面积四分硅探测器, 测量束流中的重离子信号, 可以通过反符合去掉穿透 DSSD 的小部分重离子信号。阵列末端两块大面积四分硅探测器 SD3、SD4 厚度分别为 $1546 \mu\text{m}$ 、 $1533 \mu\text{m}$, 用于测量束流中的轻粒子(^1H 、 ^2H 、 ^3H 、 α 等), 反符合去掉穿透 DSSD 的轻粒子在 DSSD 中的能损信号, 并且测量 DSSD 中感兴趣核衰变产生的 β 粒子。在硅探测器阵列外围有 4 个 Clover 型的极高纯锗探测器, 用于测量衰变过程中产生的 γ 信息。

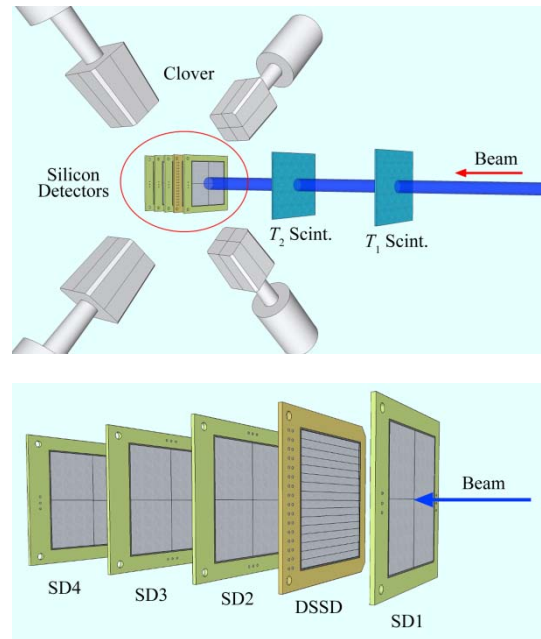


图 2 ^{37}Ca 实验探测器阵列示意图
Fig.2 Schematic layout of the detection setup.

2 实验结果与分析

2.1 次级束离子鉴别

通过位于 T_1 、 T_2 的时间拾取探测器给出的 TOF 结合位于 T_2 厚度为 $299 \mu\text{m}$ 的大面积四分硅探测器 SD1 给出的能损信号(ΔE)建立 ΔE -TOF 二维粒子鉴别图谱, 对束流重离子进行鉴别, 如图 3 为次级束 ΔE -TOF 二维粒子鉴别图谱, ^{37}Ca 平均计数率约 9.4 ps^{-1} , 纯度约 0.28%。

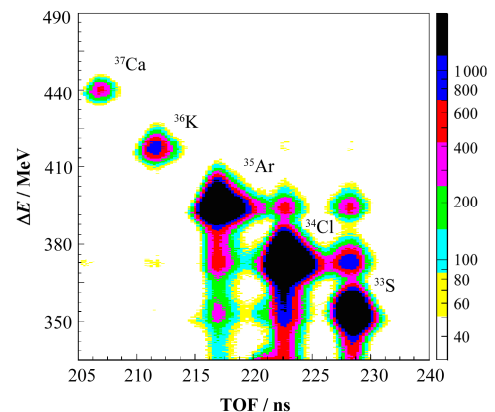


图 3 ^{37}Ca 次级束 ΔE -TOF 二维鉴别图谱
Fig.3 ^{37}Ca two-dimensional identification plot of ΔE -TOF.

2.2 带电粒子能谱

DSSD 测得的能谱与 ΔE -TOF 反符合去除束流, 与 SD3、SD4 轻粒子信号符合去除束流中掺杂的轻粒子(^1H 、 ^2H 、 ^3H 、 ^4He 等), 注入衰变时间差

选取约三倍半衰期的范围进一步去除质子谱的本底。由于阻止注入、鉴别衰变使用同一个硅探测器，β 缓发质子被阻止在探测器中，而能量很高的 β 粒子在注入探测器中能损很小，可以穿出。根据出射方向与探测器平面的夹角不同，β 粒子在探测器中的沉积能量从几十 keV 到 1 MeV 以上不等。这种 β 能量沉积使带电粒子峰高能侧产生一个高能拖尾，峰位发生微小的位移，要确定质子衰变能量，需要修正这种 β 堆积(β pile-up)效应。要减少高能拖尾的影响，需要在注入探测器周围放置 β 粒子探测器做反符合探测器^[15]。被下游 β 探测器记录到的 β 粒子都是在注入探测器中经过路径最短，沉积能量最小的。这样经去除束流和轻粒子、注入衰变时间关联、β 粒子符合 4 个符合条件甄别后可以得到较为干净的 ³⁷Ca 衰变质子能谱，如图 4 所示看到 5 个质子峰，由 Garcia 更高分辨的测量数据^[12]可知，峰 4 为两种能量接近的衰变质子组成。

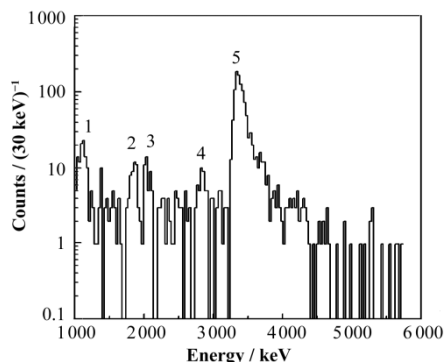


图 4 ³⁷Ca 衰变质子能谱
Fig.4 β-delayed proton spectrum from ³⁷Ca decay.

与 SD3 β 符合后质子峰的能量仍叠加了 β 粒子在 DSSD 中很小的能损，计算衰变产生 β 粒子的能量，对质子峰的能量作进一步的 β 修正(表 1)。与文献^[16-18]数据对比见表 2。

表 1 β 粒子能损修正
Table 1 Energy loss correction for β particles.

质子峰 Proton peak	³⁷ K 激发能 ³⁷ K excited level E_x / keV	β ⁺ 粒子的最大能量 Maximum energy of β ⁺ ions $E_{\beta_{max}}$ / keV ¹⁾	β 粒子在硅中单位路程能损 β ions energy loss of unit distance in silicon dE/dx / keV·μm ⁻¹	β 粒子在 DSSD 中的能损 ΔE (β ⁺) Energy loss of β ions ΔE (β ⁺) / keV ²⁾
1	2 750.22	7 891.88	0.36	95.4
2	3 622.8	7 019.3	0.36	94.1
3	3 839.0	6 803.1	0.36	93.7
5	5 049.8	5 592.3	0.35	92.2

注：1) $E_{\beta_{max}} = Q_{\beta^+}({}^{37}\text{Ca}) - E_x({}^{37}\text{K})$; 2) $\Delta E(\beta^+) = dE/dx \times 0.33 \times E_{\beta_{max}} \times 260$

Notes: 1) $E_{\beta_{max}} = Q_{\beta^+}({}^{37}\text{Ca}) - E_x({}^{37}\text{K})$; 2) $\Delta E(\beta^+) = dE/dx \times 0.33 \times E_{\beta_{max}} \times 260$

表 2 ³⁷Ca β 缓发质子衰变能量
Table 2 Energy of β-delayed protons from ³⁷Ca decay.

质子峰 Proton peak	³⁷ K 质子发射衰变能 ³⁷ K proton emission decay energy E_d ¹⁾ / keV	Poskanzer ^[16] / keV	Sextro ^[17] / keV	Dossat ^[18] / keV	目前工作 Present work / keV
1	892.59	—	893(15)	899(23)	966(31)
2	1 765.17	1 740(30)	1 756(10)	1 804(20)	1 735(36)
3	1 981.37	1 980(40)	1 978(10)	2 003(20)	1 934(38)
5	3 192.17	3 164(20)	3 181(3)	3 189(20)	3 206(40)

注：1) $E_d = E_x({}^{37}\text{K}) - S_p({}^{37}\text{K})$

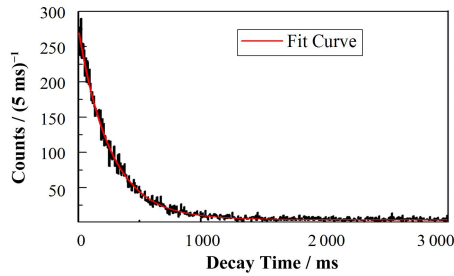
Note: 1) $E_d = E_x({}^{37}\text{K}) - S_p({}^{37}\text{K})$

2.3 衰变时间谱

DSSD 可细分为 16×16 个像素，由于实验中 ³⁷Ca 在 DSSD 中注入率很低(约 4.8 ps⁻¹)，分到每个像素格内的注入率更低，根据在每一个像素格内记录到的衰变候选事件，与同一个像素格内之前记录的注入候选事件的时间差来判断两者的关联。

少量误判的注入衰变关联事件在时间关联谱上形成一个本底，近似于一个常数，但更为精确的处理方法是用一个线性函数拟合这个本底，得到的参数代入指数衰减加线性本底的函数式(1)，再拟合衰变时间曲线，如图 5。

$$y = A e^{-\frac{x \ln 2}{T_{1/2}}} - 1.854 \times 10^{-4} x + 3.730 \quad (1)$$

图 5 ^{37}Ca 衰变时间谱Fig.5 Decay-time spectrum of ^{37}Ca .

拟合衰变时间曲线得到 ^{37}Ca 拟合半衰期 $T_{1/2} = (181.6 \pm 2.0)$ ms, 与文献[16,18,19–22]结果对比见表3。

表 3 ^{37}Ca 半衰期测量结果
Table 3 Experimental half-life of ^{37}Ca

文献 Ref.	半衰期 $T_{1/2}$ / ms
Tachibana ^[19] Gross theory	181.1
Hardy ^[20]	173 ± 4
Reeder ^[21]	170 ± 5
Poskanzer ^[16]	177 ± 3
Trinder ^[22]	181.1 ± 1.0
Dossat ^[18]	181.7 ± 3.6
本工作 Present work	181.6 ± 2.0

表 4 ^{37}Ca 在 DSSD 中的注入与衰变
Table 4 Implantation and decay of ^{37}Ca .

文件编号 Run number	^{37}Ca 注入事件数 Number of ^{37}Ca implantations	拟合衰变事件数 Fitting number of decays	拟合误差 Fitting error	总的质子衰变分支比 Total β -delayed proton emission branching ratio / %	次级束计数率 Intensity of secondary beam / ps^{-1}
Ca407	6 048	3 073	30	57.1	1 594.0
Ca408	5 231	2 653	41	57.0	1 650.8
Ca409	4 361	2 244	28	57.8	1 704.0
Ca410	2 795	955	12	38.4	4 220.3
Ca411	2 872	711	14	27.8	5 244.0
Ca412	2 889	712	38	27.7	5 143.0
Ca413	5 192	1 179	17	25.5	5 460.3
Ca414	5 117	1 225	13	26.9	5 596.6
Ca415	3 541	875	15	27.8	5 516.8
合计 Total	38 046	13 625	76	40.2	3 848.6

数据处理程序对衰变事件的判断条件需设置为不包含注入与衰变同时发生的情况, 掺杂核的高注入率使得偶然符合的小部分质子衰变事件被程序去除, 所以出现了注入率越高, 衰变分支比就越小的现象, 要得到总的 βp 衰变分支比, 拟合衰变分支比与注入率关系的线性外推至注入率为零即得到 $70.6 \pm 1.8\%$, 如图 6。

各 βp 成分的衰变分支比可从质子能谱计算, 图 4 可以看到 5 个质子峰, 为扣除本底干扰, 提高数据准确性, 也采用拟合方法计算分支比。对注入事件和衰变事件的时间差取不同范围, 得到不同衰变时间内各质子峰的计数, 各峰的计数遵循指数衰减加常数本底的函数见式(2)。根据 N 的拟合结果得到分支比, 与文献[16–18,22]数据对比见表 5。

2.4 衰变分支比

从注入探测器 DSSD 确定衰变事件与注入事件的比值, 即为总的 β 缓发质子发射的绝对分支比。另外, 该比值需要修正 ^{37}Ca 在硅中发生次级反应的损失(11(1%))^[23]。

为扣除本底干扰, 提高数据准确性, 采用拟合方法计算分支比。对注入事件和衰变事件的时间差取不同范围, 得到不同衰变时间内各轮质子能谱衰变事件计数, 计数遵循指数衰减加常数本底的函数式(2):

$$y = N - N e^{-\frac{x \ln 2}{T_{1/2}}} + Mx \quad (2)$$

式中, y 为注入衰变时间差等于 x 时衰变事件计数; N 为衰变事件全部衰变的总质子数; M 为单位时间内的本底计数。这里采用常数本底拟合是基于统计很低, 本底的缓慢降低可忽略, 用线性函数做本底拟合时得到的斜率也几乎为零。拟合结果见表 4。

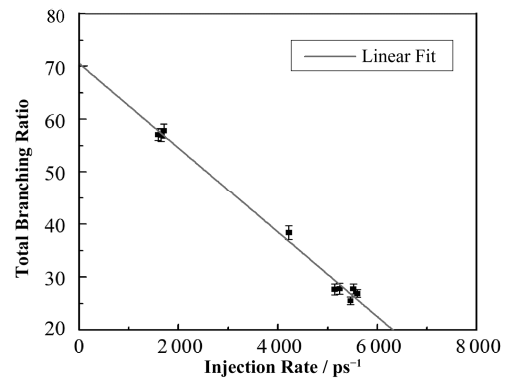
图 6 ^{37}Ca βp 总衰变分支比与束流注入率的关系Fig.6 Total branching ratios for the β -delayed proton decay of ^{37}Ca as a function of implantation rate.

表 5 ^{37}Ca β p 衰变分支比
Table 5 Branching ratios for the β -delayed proton decay of ^{37}Ca .

质子峰 Proton Group	$I_{p1} / \%$	$I_{p2} / \%$	$I_{p3} / \%$	$I_{p4} / \%$	$I_{p5} / \%$	$I_{\text{ptotal}} / \%$
Poskanzer ^[16]	—	3.8	2.9	—	48.1	—
Sextro ^[17]	6.6 ± 0.7	4.2 ± 0.4	4.7 ± 0.3	—	48.1	—
Trinder ^[22]	2.9	—	—	—	—	74.6 ± 1.2
Dossat ^[18]	2.0 ± 0.6	1.3 ± 0.4	1.6 ± 0.4	—	40.7 ± 5.8	72.2 ± 4.3
本工作 Present work	3.1 ± 0.4	1.7 ± 0.4	2.2 ± 0.4	1.6 ± 0.3	42.6 ± 2.1	70.6 ± 1.8

3 结语

早期奇特核衰变实验一般将感兴趣核注入大面积硅探测器进行探测, 对束流纯度要求高而且不能在连续束下测量。为开展更靠近质子滴线核的衰变研究, 我们采用双面硅条探测器作为注入探测器, 每个 x - y 像素格都可视为独立探测器, 这样在连续束、高束流注入率的条件下各单个像素格内仍能保持较低注入率, 衰变和注入事件的时间和位置关联仍然可以建立。应用该实验方法进行丰质子核的 β 衰变谱学研究, 在束流品质较差的条件下使用很少束流时间取得了较高的数据统计量, 而且实验结果与文献数据符合得很好。这证实了我们实验方法的可行性与数据处理程序的可靠性, 为下一步开展更靠近质子滴线核在束 β 衰变谱学研究积累了经验、创造了条件。

参考文献

- 1 Roberts R B, Meyer R C, Wang P. Further observation on the splitting of uranium[J]. *Physical Review*, 1939, **55**: 510–512
- 2 Barton R, McPherson R, Bell R E, *et al.* Observation of delayed proton radioactivity[J]. *Canadian Journal of Physics*, 1963, **41**: 2007–2008
- 3 Hofmann S, Reisdorf W, Münzenberg G, *et al.* Proton radioactivity of ^{151}Lu [J]. *Zeitschrift Für Physik A*, 1982, **305**: 111–113
- 4 Pfutzner M, Badura E, Bingham C, *et al.* First evidence for the two-proton decay of ^{45}Fe [J]. *European Physical Journal A*, 2002, **14**: 279–281
- 5 Giovinazzo J, Blank B, Chartier M, *et al.* Two-proton radioactivity of ^{45}Fe [J]. *Physical Review Letters*, 2002, **89**: 102501
- 6 Pfutzner M, Karny M, Grigorenko L V, *et al.* Radioactive decays at limits of nuclear stability[J]. *Reviews of Modern Physics*, 2012, **84**: 567–570
- 7 Borge M J G. Beta-delayed particle emission[J]. *Physica Scripta*, 2013, **152**: 014013
- 8 Blank B, Borge M J G. Nuclear structure at the proton drip line: advances with nuclear decay studies[J]. *Progress in Particle and Nuclear Physics*, 2008, **60**: 403–405
- 9 Hardy J C. Beta-delayed proton emission[J]. *AIP Conference Proceedings*, 2000, **518**: 229–231
- 10 Davis R, Harmer J D S, Hoffman K C. Search for neutrinos from the sun[J]. *Physical Review Letters*, 1968, **20**: 1205–1207
- 11 Bahcall J N, Ulrich R K. Solar models, neutrino experiments, and helioseismology[J]. *Reviews of Modern Physics*, 1988, **60**: 297–299
- 12 Garcia A, Adelberger E G, Magnus P V, *et al.* β^+ Decay of ^{37}Ca : implications for the efficiency of the ^{37}Cl solar ν detector[J]. *Physical Review Letters*, 1991, **67**: 3654–3657
- 13 Trinder W, Adelberger E G, Janas Z, *et al.* β -decay of ^{37}Ca [J]. *Physics Letters B*, 1995, **349**: 267–271
- 14 Sun Z Y, Zhan W L, Guo Z Y, *et al.* RIBLL, the radioactive ion beam line in Lanzhou[J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 2003, **A503**: 496–501
- 15 Jimenez L, Saint-laurent M J, Angelique J C, *et al.* New transitions in the β -decay of ^{36}Ca [J]. *European Physical Journal A*, 2001, **10**: 119–125
- 16 Poskanzer A M, McPherson R, Esterlund R A, *et al.* Beta-delayed protons from ^{33}Ar , ^{37}Ca and ^{41}Ti [J]. *Physical Review C*, 1966, **152**: 995–999
- 17 Sextro R G, Gough R A, Cerny J. High-resolution measurements of beta-delayed protons from ^{37}Ca and ^{41}Ti [J]. *Nuclear Physics A*, 1974, **234**: 130–135
- 18 Dossat C, Adimi N, Aksouh F, *et al.* The decay of proton-rich nuclei in the mass $A = 36$ –56 region[J]. *Nuclear Physics A*, 2007, **792**: 18–26
- 19 Tachibana T, Yamada M. Proceeding of international conference on exotic nuclei and atomic masses[C]. France, Arles, 1995: 763–780
- 20 Hardy J C, Verrall R I. Calcium-37[J]. *Physical Review Letters*, 1964, **13**: 764–773

- 21 Reeder P L, Poskanzer A M, Esterlund R A. New delayed-proton emitters: ^{41}Ti , ^{37}Ca and ^{33}Ar [J]. *Physical Review Letters*, 1964, **13**: 767–769
- 22 Trinder W, Adelberger E G, Brown B A, *et al.* Study of the β decays of ^{37}Ca and ^{36}Ca [J]. *Nuclear Physics A*, 1997, **620**: 191–196
- 23 Shen W Q, Wang B, Feng J, *et al.* Total reaction cross section for heavy-ion collisions and its relation to the neutron excess degree of freedom[J]. *Nuclear Physics A*, 1989, **491**: 130–133

Experimental study of beta-delayed proton emission of ^{37}Ca

SUN Lijie¹ LIN Chengjian¹ XU Xinxing¹ WANG Jiansong² JIA Huiming¹ YANG Feng¹
 YANG Yanyun² YANG Lei¹ BAO Pengfei¹ ZHANG Huanqiao¹ JIN Shilun² HAN Jianlong^{2,3}
 WU Zhendong¹ ZHANG Ningtao² CHEN Size² MA Junbing² MA Peng² MA Nanru¹ LIU Zuhua¹
 ZHENG Lei^{1,4}

¹(Department of Nuclear Physics, China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

²(Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

³(Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, Jiading Campus, Shanghai 201800, China)

⁴(School of Physics and Nuclear Energy Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract Background: The investigation of beta-delayed proton decay mode has become a powerful tool to study the proton-rich nuclei and their nuclear structure. **Purpose:** The aim is to study exotic nuclei with extremely low production rates and purity. **Methods:** The experiment of beta-delayed proton emission of ^{37}Ca was performed at the First Radioactive Ion Beam Line in Lanzhou (RIBLL). Ions were implanted into a double-sided silicon detector (DSSD), where the subsequent decays were correlated to the preceding implantation under a continuous beam-mode. **Results:** The energy spectrum of delayed protons from ^{37}Ca β decay, half-life and decay branching ratios were measured. **Conclusion:** The experimental results are in reasonable agreement with the literature, demonstrating the feasibility of our detection approach and the reliability of our data analysis procedure. This allows for development of more powerful detection arrays and further research on nuclei closer to proton-drip line on the basis of present work.

Key words β -delayed proton emission, Double-sided silicon detector (DSSD), Proton spectrum, Half-life, Decay branching ratio

CLC TL11