

In-beam Measurement of ⁷⁴Ge(p, γ)⁷⁵As Reaction to Probe the Production Mechanism of Light p-process Nuclei

报告人:吴笛

中国原子能科学研究院强流粒子束与激光研究室

353235458@qq.com





Contents



⁷⁴Ge(p,γ)⁷⁵As研究现状

3 实验设置

2

4 数据处理及结果



--、⁷⁴Ge(p, γ)⁷⁵As研究意义

p-核的产生是核天体物理中一个主要的问题,对于最轻的p-核⁷⁴Se,恒星模型将其丰度高估了3倍,其 主要来源为⁷⁴Ge(p,γ)⁷⁵As(p,n)⁷⁵Se(γ,n)⁷⁴Se,因此必须测量这几个反应的截面。

目前⁷⁴Ge(p,γ)⁷⁵As反应中,在加莫夫窗口(1.2-3.8MeV)中测量了质子能量为1.6-4.2MeV的截面,而 低能区的数据需要补充。



[1]S.J. Qinn, et al. Phys. Rev. C 88, 011603(R) (2013).



分立测量法[2]

探测器:

こ、⁷⁴Ge(p,γ)⁷⁵As研究现状

PHYSICAL REVIEW C 86, 035802 (2012)

Investigation of the reaction ${}^{74}\text{Ge}(p,\gamma){}^{75}\text{As}$ using the in-beam method to improve reaction network predictions for *p* nuclei

A. Sauerwein,^{*} J. Endres, L. Netterdon, and A. Zilges Institut für Kernphysik, Universität zu Köln, Zülpicher Straße 77, Köln 50937, Germany

V. Foteinou, G. Provatas, T. Konstantinopoulos, M. Axiotis, S. F. Ashley, and S. Harissopulos Tandem Accelerator Laboratory, Institute of Nuclear Physics, NCSR "Demokritos," 153.10 Aghia Paraskevi, Athens, Greece

 T. Rauscher

 Department of Physics, University of Basel, Klingelbergstraße 82, Basel 4056, Switzerland

 (Received 10 June 2012; published 14 September 2012)

4个HPGe探测器(3个100%,1个80%)

探测距离16cm (as close as possible, on a turnable table)

在0°,90°,190°,305°测量,旋转15°后再次测量

质子束流:

E_p=2.1-3.7MeV(7个点)
 约250nA, 束斑4mm, -400V收集
 用²⁷Al(p,γ)²⁸Si反应992keV的共振
 宽度刻度加速器能量

⁷⁴Ge靶:

蒸镀在80mg/cm²的金上,纯度97.8% 301µg/cm²(由RBS多点测量得到),气冷 试验后再RBS测靶厚定损耗



A typical spectrum for a proton energy of 3.3MeV at 0° .



*为第激发态向基态跃迁的γ射线,γ₀位入口窗向基态的跃迁,γ_i为入口窗向第i激发态的跃迁。



共测到35个向基

态跃迁的特征峰。

3/2-	,2111 keV
$(1/2^{(+)})$	2104 keV
(1/2, 3/2) (1/2, 3/2+)	2007 KeV
1/2-,3/2+	2010 keV
5/2	2001 keV
3/2, 5/2+	1901 keV
3/2	18/4 KeV
$\frac{1/2^{(-)}}{(2+2)}$	11688 keV
(3/2-)	1684 keV
3/2(+)	1655 KeV 1606 keV
1/2-	1580 keV
3/2(+)	1503 keV
$3/2^{(+)}$	/1431 keV
(5/2-)	1420 keV
(3/2)	13/1 KeV 1349 keV
5/2-	1309 keV
3/2-	1204 keV
1/2-,3/2-	,1129 keV
(1/2)	1100 keV
3/2-	10/5 KeV
3/2	1005 Re V
(1/2 ⁻ to 5/2 ⁻)	865 keV
7/2	822 keV
,	
1/23/2-	618 keV
5/2-	572 keV
1/2-, 3/2-	469 keV
5/2+	401 keV
9/2+.	304 keV
5/2-	280 keV
3/2-	265 keV
1/2-	199 keV

⁷⁵As

3/2- _____ 0 keV



能量全吸收法[1]

PHYSICAL REVIEW C 88, 011603(R) (2013)

Probing the production mechanism of the light *p*-process nuclei

S. J. Quinn,^{1,2,3,*} A. Spyrou,^{1,2,3} A. Simon,^{1,3} A. Battaglia,⁴ M. Couder,⁴ P. A. DeYoung,⁵ A. C. Dombos,^{1,2,3} X. Fang,⁴ J. Görres,⁴ A. Kontos,^{1,3,4} Q. Li,⁴ S. Lyons,⁴ B. S. Meyer,⁶ G. F. Peaslee,⁵ D. Robertson,⁴ K. Smith,⁴ M. K. Smith,⁴ E. Stech,⁴ W. P. Tan,⁴ X. D. Tang,⁴ and M. Wiescher⁴
¹National Superconducting Cyclotron Laboratory, Michigan State University, East Lansing, Michigan 48824, USA
²Department of Physics and Astronomy, Michigan State University, East Lansing, Michigan 48824, USA
³Joint Institute for Nuclear Astrophysics, Michigan State University, East Lansing, Michigan 48824, USA
⁴Department of Physics and The Joint Institute for Nuclear Astrophysics, University of Notre Dame, Notre Dame, Indiana 46556, USA
⁶Department of Physics and Astronomy, Clemson University, 118 Kinard Laboratory, Clemson, South Carolina 29634-0978, USA (Received 12 February 2013; published 24 July 2013)

SuN^[3]由8个NaI晶体组成的阵列,直径16in,总长度16in,

中心孔内径1.8in,每个晶体三个PMT。

使用放射源和²⁷Al(p,γ)²⁸Si进行效率刻度,并结合GEANT4 进行比较。

[3]A. Simon, et al. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 703, 16-21 (2013).





质子束流:

E_p=1.6-4.2MeV (20个点)

1.2m长靶管收集

低于10enA (to ensure minimal dead time in the SuN

detector)

⁷⁴Ge靶:

由粉末蒸镀在Ta片上

 $320(16)\mu g/cm^2$ (RBS)

纯度97.55%(1.5%的⁷³Ge贡献要扣除)

 $E_{\Sigma} = E_{c.m.} + Q$ E_{Σ} 为最高能量, $E_{c.m.}$ 为质心系动能,Q为反应能。





三、实验设置

质子束流:

E_p=1.4-2.8MeV(靶内能损27.8-18.5keV),能散1‰
约5μA,束斑<5mm,长靶管收集(40cm),靶封真空</p>
可用²⁷Al(p,γ)²⁸Si反应在992keV的共振刻度加速器能量
⁷⁴Ge靶:

蒸镀在Ta片上,⁷⁴Ge纯度99.8%,⁷³Ge占比可忽略 使用的靶靶厚295(15.6)μg/cm²,北师大RBS验证 靶的损耗在μA束流下通常可忽略

Al靶:

2块, 厚靶, 探测器效率刻度[4]

[4] A. Anttila, et al. Nucl. Instrum. Methods 147, 501-505 (1977).



分立法探测器:

4台HPGe探测器效率为3台35%,1台40% 分别放置在12°,58°,107.5°和150°上 探测距离8cm,150°的距离为9cm



能量全吸收法:

使用原子能院的BGO阵列 探测器对⁷⁴Ge(p,γ)⁷⁵As 反应的截 面进行测量。

SuN的实验使用了10nA的 质子束流以保证死时间最小^[1], 而Nal晶体与BGO晶体的时间响 应相差不多,实验中有同样的 问题。







截面确定:

$$N_{\text{comp}} = \sigma \cdot N_{P} \cdot m_{T}.$$

N_{comp}为产生的复合核数目, N_p为入射质子数, m_T为单位面积靶核数密度

N_{comp}=*N*(向基态跃迁γ数)

每个质子能量中每个向基态跃迁的 γ 射的线在 θ 角度 上的产生截面 $\sigma(E_{\gamma}\theta)$ 可以写为:

$$\sigma(\mathbf{E}_{\gamma}\boldsymbol{\theta}) = \frac{Y(E_{\gamma})}{\eta(E_{\gamma}) \cdot \boldsymbol{\tau} \cdot \boldsymbol{m}_{T} \cdot \boldsymbol{N}_{p}}$$

Y(E_γ) 为测量到的γ数, ε(E_γ)为探测器绝对效率, τ 为死时间修正。由勒让德展开可以得到当前情况下的角 分布:

$$\sigma(\theta) = A_0^i (1 + \sum_k \alpha_k \cdot P_k(\cos\theta)) \quad k=2,4,6...$$

A₀ⁱ 为该质子能量下该γ射线的产生截面,后续内容 为角分布系数。此时可得到总截面为:

$$\sigma = \sum_{i=1}^{n} A_0^i$$

本实验中每个质子能量下共有36条向基态的跃迁被



图为E_p=2.8MeV时, E_y=2001keV的角分布, 红线 为勒让德展开式拟合曲线。



Spectrum

能谱:

以E_p=2.8MeV时107.5°HPGe探测器测得的能谱为例。



γ_i*为第i激发态向基态跃迁的γ射线,γ₀位入口窗向基态的跃迁,γ_i为入口窗向第i激发态的跃迁,带s的为单逃逸峰。



Total Cross Section

Excited state	Energy /keV Excited state		Energy /keV
g.s.	0	19	1367.9
1	198.8	20	1420.8
2	264.8	21	1431.2
3	279.8	22	1503.5
4	301.7	23	1580.8
5	401.3	24	1606.4
6	469.1	25	1654.8
7	572.6	26	1685.0
8	618.1	27	1689.5
9	821.9	28	1847.6
10	863.3	29	1901.2
11	1044.5	30	2001.3
12	1063.2	31	2011.2
13	1074.9	32	2021.9
14	1101.6	33	2066.8
15	1128.2	34	2103.2
16	1204.0	35	2110.9
17	1310.0	entry	$Q + E_{\text{c.m.}}$
18	1350.0		



截面结果与[1,2]符合的较好,能量较高的结果与TALYS符合,低能区与NON-SMOKER符合,需要重新计算反应率。



$^{74}\text{Ge}(p, \gamma)^7$	⁵ As反应截面结果及天体物理S因子
-------------------------------	-------------------------------

E _{c.m.}	σ	Error	S Factor	S error
/MeV	/mb	/mb	/GeV b	/GeV b
1.381	1.15×10^{-2}	1.8×10^{-3}	7320	1136
1.480	2.86×10^{-2}	4.1×10^{-3}	7852	1120
1.579	5.52×10^{-2}	5.6×10 ⁻³	7105	726
1.776	2.00×10^{-1}	1.9×10^{-2}	6893	658
1.973	6.04×10^{-1}	5.9×10 ⁻²	6848	668
2.368	2.15×10^{0}	2.1×10^{-1}	4125	393
2.763	7.75×10^{0}	7.5×10^{-1}	3788	366

根据新得到截面结果,原子能院田源老师 使用EMPIRE软件结合EGSM,GSM,GC等核 能级模型对⁷⁴Ge(p,γ)⁷⁵As反应截面进行计算, 发现配合HFB模型计算得到的截面与实验值符 合的较好。





⁷⁴ Ge(p, y) ⁷⁵ As反应率				
	T9 (GK)	Rate (cm ³ mol ⁻¹ s ⁻¹)	T9 (GK)	Rate (cm ³ mol ⁻¹ s ⁻¹)
	0.10	1.59×10 ⁻²²	1.50	$6.93 \times 10^{+0}$
	0.15	9.05×10 ⁻¹⁸	2.00	$1.48 \times 10^{+2}$
	0.20	8.12×10 ⁻¹⁵	2.50	$1.18 \times 10^{+3}$
	0.30	5.26×10 ⁻¹¹	3.00	$5.30 \times 10^{+3}$
	0.40	1.60×10^{-8}	4.00	$3.94 \times 10^{+4}$
	0.50	9.77×10 ⁻⁷	5.00	$1.37 \times 10^{+5}$
	0.60	2.21×10^{-5}	6.00	$3.16 \times 10^{+5}$
	0.70	2.61×10 ⁻⁴	7.00	$5.67 \times 10^{+5}$
	0.80	1.96×10 ⁻³	8.00	$8.67 \times 10^{+5}$
	0.90	1.06×10 ⁻²	9.00	$1.19 \times 10^{+6}$
	1.00	4.53×10 ⁻²	10.00	$1.52 \times 10^{+6}$

在p-process相关的1.3-3.3GK 温度范围内,新计算得到的反应 率与目前结果相比最高提高了 60% 。 目前正在Professor Bradley S. Meyer 的帮助下使用 NucNet Tools^[5]对25M₀ II型超新星模型中 ⁷⁴Se的质量丰度进行新的计算。

[5] https://sourceforge.net/projects/nucnet-tools/.



谢谢!