

# 核天体物理创新群体的思考

柳卫平

2010年8月13日

北京，温度水城

# 创新群体设立的背景

- 创新研究群体科学基金是国家自然科学基金委为稳定地支持基础科学的前沿研究，培养和造就具有创新能力的人才和群体而于**2000**年设立的
- 此类项目资助国内以优秀科学家为学术带头人、中青年科学家为骨干的研究群体，围绕某一重要研究方向在国内进行基础研究和应用基础研究
- 创新研究群体项目是国家自然科学基金会以人才板块为侧重，继青年基金项目、国家杰出青年科学基金项目之后的又一个重要资助项目类型，特点是资助强度大，时间期限长
- 瞄准基础性科学问题，旨在稳定地支持基础科学的前沿研究，培养和造就具有创新能力的人才和群体。
- 目前，全国共有近**200**个研究群体获得资助。该项目采取**3+3+3**方式资助，每执行**3**年后，组织专家进行考核评估，投票决定是否进行下三年的延续资助，现在每三年资助经费为**500**万元

# 群体管理办法学习

- 研究群体各成员应有相对集中的研究方向和共同研究的科学问题，在长期合作的基础上自然形成研究整体
- 研究群体的学术水平在国内同行中应具有一定优势。研究工作已取得突出成绩，或活跃在某一基础研究领域的前沿并具有明显的创新潜力
- 研究群体的学术带头人应具有较高的学术造诣和较好的组织协调能力，在研究群体中有较强的凝聚作用
- 获资助的创新研究群体，在执行资助计划时应编制较详细的网页，向科技界公布网址，通过网络系统与国内外同行沟通，保持开放、活跃的工作状态
- 在资助期内，由科学部组织对获资助创新研究群体实施动态跟踪管理，了解、掌握他们的工作状态，协助解决研究中遇到的问题，营造良好的学术环境。每年至少有一次小型学术研讨会，与国内外同行进行学术交流，促进研究工作
- 资助期限结束后3个月内，由分管委员会主任和有关科学部主任主持组成考核小组，采取适当的方式对资助对象进行业绩考核，对研究工作成绩显著，工作状态好的创新研究群体可提出以适当方式给予延续、稳定的支持
- 获资助创新研究群体中成员发表、出版与创新研究群体科学基金资助有关的论文、著作、学术报告，以及鉴定、上报成果等，均应标注“国家自然科学基金资助”字样

# 2008年持续资助举例

- 共有**22**个**2005**年获批准的群体参加此次**3+3**滚动考核答辩，北大两个群体中，刘忠范教授带领的“表界面纳米工程学”群体以第二名的成绩评为“优”；席振峰教授带领的“有机合成化学与方法学”群体以第三名的成绩评为“优”
- 共有**21**个**2002**年获批准的群体参加此次**6+3**滚动考核答辩，最终有**6**个群体获得了最后三年的滚动支持。其中北大严纯华教授带领的“稀土功能材料化学”群体在过去**6**年的执行过程中，取得了非常突出的成绩，受到专家们的一致好评，在专家投票结果中排名第二

# 基金委群体现场考察方式

- 创新研究群体学术带头人向专家组汇报了群体的形成背景、近期完成的主要研究工作、拟开展的研究工作和拟采取的措施等
- 专家组分别对创新群体成员、外围研究人员、单位有关部门负责人进行访谈，实地考察创新研究群体的实验仪器等研究设备

# 南京大学天文群体

- 在**高能天体物理**研究领域，在**曲钦岳院士、方成院士、陆埏院士、汪珍如教授**等人的带领下，逐步形成了一个强有力的、以**各类天体中高能物理过程**为核心研究课题的学术群体
- 研究群体包括**11名**主要成员，全部具有博士学位，**7人**有正高级职称，**3人**有副高级职称，有**4人**是国家杰出青年科学基金获得者，**3人**是国家“**973**”项目子课题负责人，**1人**获教育部首届“青年教师奖”，**3人**获全国优秀博士论文奖
- 项目组成员围绕**高能天体物理**这条主线，形成了如下的研究方向：**太阳高能辐射、耀斑动力学、致密星物理、 $\gamma$ 射线暴、超新星遗迹及星际高能作用、双星演化与高能辐射、活动星系中的高能现象等**
- 在过去**5年中**，发表**SCI论文200多篇**，国际引文达到**500篇左右**。获得国家自然科学奖二等奖**1项**，国家自然科学奖三等奖**2项**，教育部科技进步奖一等奖**4项**
- 在未来几年中，本研究群体将充分发挥**年轻、团结、创新**的优势，以**高能天体物理**为主体，在**太阳高能活动、致密星及相关物理过程、活动星系中的高能现象**三个方向上展开研究工作



# 北航典型团队的情况

- 以黄海军教授为负责人的创新研究群体由**9**名教师组成，包括经管学院的**7**名教授，成员全部拥有博士学位，其中两人为国家杰出青年科学基金获得者，**5**人进入国家级有关部委的人才培养计划
- 创新群体成员所从事的科研领域是该校经济管理学院的特色和强势领域，围绕管理科学与工程学科和应用经济学学科主持完成**3**项国家自然科学基金重点项目和**20**多个面上项目，获得两项国家杰出青年科学基金项目。创新团队成员之间有近**20**年的共事与合作历史，已经形成相辅相成的主攻方向，成为一支学术定位日趋融合、团结融洽、奋发向上的团队
- 该群体**2000**年以来在国际重要学术期刊上发表论文**64**篇，国内核心学术期刊论文**160**余篇，专著**10**余部，获国家部级二等级以上奖**5**项。在国际交流方面也已经和美国、日本、法国等国学者有长期的实质性的稳定合作关系，基本形成了能与国际研究主流相比拟的团体

# 2009年28个创新研究群体

- 重离子加速器物理和技术前沿课题研究 赵红卫 中国科学院近代物理研究所10921303/
- 太阳爆发活动的关键科学问题研究 颜毅华 中国科学院国家天文台10921101/
- 金融数学-金融风险控制中的G-风险度量、倒向随机分析与计算 彭实戈 山东大学
- 可压缩湍流的机理、模式及实验研究 陈十一 北京大学
- 新型稀土功能材料的研究与应用 张洪杰 中国科学院长春应用化学研究所
- 光电功能超分子组装体系研究 杨柏 吉林大学
- 生物核磁共振波谱学 刘买利 中国科学院武汉物理与数学研究所
- 功能导向的纳米材料可控合成、结构、性能及其应用 李亚栋 清华大学
- 植物生殖发育生物学 杨维才 中国科学院遗传与发育生物学研究所
- 炎症促进细胞癌变的分子调控 王红阳 中国人民解放军第二军医大学
- 细胞抗病毒天然免疫 舒红兵 武汉大学
- 肿瘤生长和抑制相关信号转导的调控 林圣彩 厦门大学
- 园艺作物种质资源研究与遗传改良 邓秀新 华中农业大学
- 早期胚胎发育过程中TGF- $\beta$ 与Wnt信号的调控和交互作用 陈晔光 清华大学
- 大陆俯冲化学地球动力学 郑永飞 中国科学技术大学
- 东亚副热带季风变异机理 张人禾 中国气象科学研究院
- 青藏高原大陆动力学及资源环境效应 许志琴 中国地质科学院地质研究所
- 海洋动力过程的演变机理及其在气候变化中的作用 吴立新 中国海洋大学
- 煤炭资源高效洁净加工理论与应用研究 赵跃民 中国矿业大学
- 超常环境服役新型金属智能材料研究 徐惠彬 北京航空航天大学
- 海洋环境灾害作用与结构安全防护 滕斌 大连理工大学
- 西部建筑环境与能耗控制理论研究 刘加平 西安建筑科技大学
- 碳纳米材料的可控制备、结构及其应用探索 成会明 中国科学院金属研究所
- 网络化协同空管系统的理论与方法 张军 北京航空航天大学
- 强场激光及其前沿应用基础研究 李儒新 中国科学院上海光学精密机械研究所
- 超并行高效能计算机体系结构与设计方法研究 李国杰 中国科学院计算技术研究所
- 大规模网络化系统的优化、安全与信息服务 管晓宏 西安交通大学
- 复杂环境下不确定性决策的理论与应用研究 陈晓红 中南大学



# 基金委对群体的希望

- 创新研究群体是基金委中竞争最激烈的项目，创新研究群体能从最后申请的优秀团队中脱颖而出，显示了创新研究群体的综合实力，希望今后面向科学前沿和国家重大需求，做出更突出的贡献
- 希望能够建立一个固定的群体成员的活动模式，在成员定期大范围的研讨和充分交流的前提下，使群体成为一个真正的、不断涌现高水平成果的富有活力的有机体
- 希望能够进一步探讨创新研究群体的工作，更好地开展基础性、战略性、前瞻性研究，促使该群体科学目标明确化、组织方式特色化

- 相比其他群体，我们力量相对单薄，基金委也有担心，但我们潜力很大，以弱拼强，就要出奇制胜
  - 要把经费资源优势，通过强化选题、优化设备、加强交叉、外延人才，转化成成果优势
- **2010**基金委考察是小考，我们起步很重要
- **2012**中期评估是中考，这时就看出实力
- **2013**滚动考核答辩是大考，靠大家的拼搏，把**3**变为**3+3**，在淘汰率较低的情况下，我们只能成功不能失败
- **2016**年滚动考核答辩是极限运动，如果在**80%**的淘汰率下生存，我们就有了质的飞跃

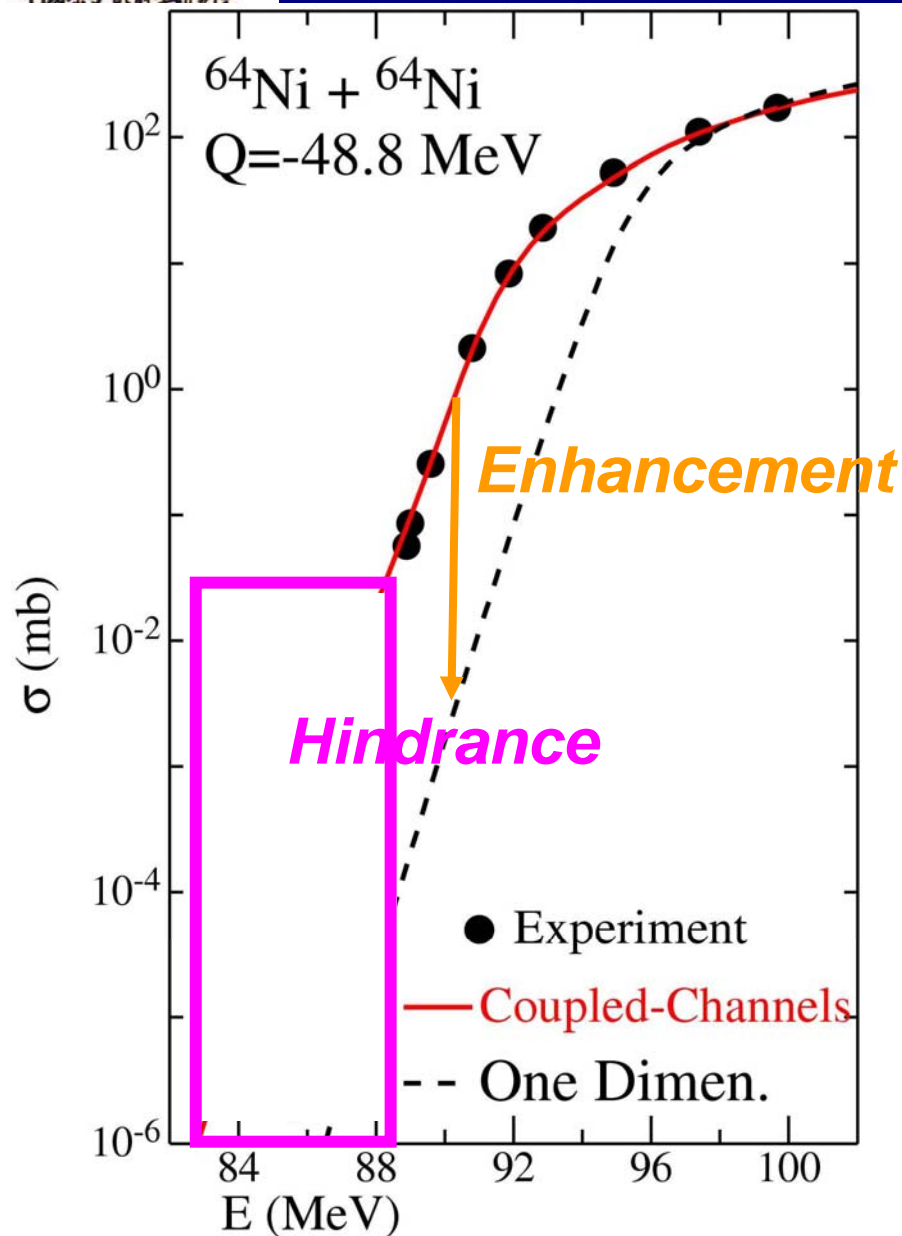
# 具体举措，供讨论

- 制定群体工作内容的三年时间表和成果预期
- 制定研究风险清单和应对机制
- 建立网页交流平台
- 设立群体秘书
- 每月统计成果和进展
- 每半年开一次工作会议
- 对成果明显优秀的单元，在群体经费上加以倾斜

# 群体瞄准的6大科学问题

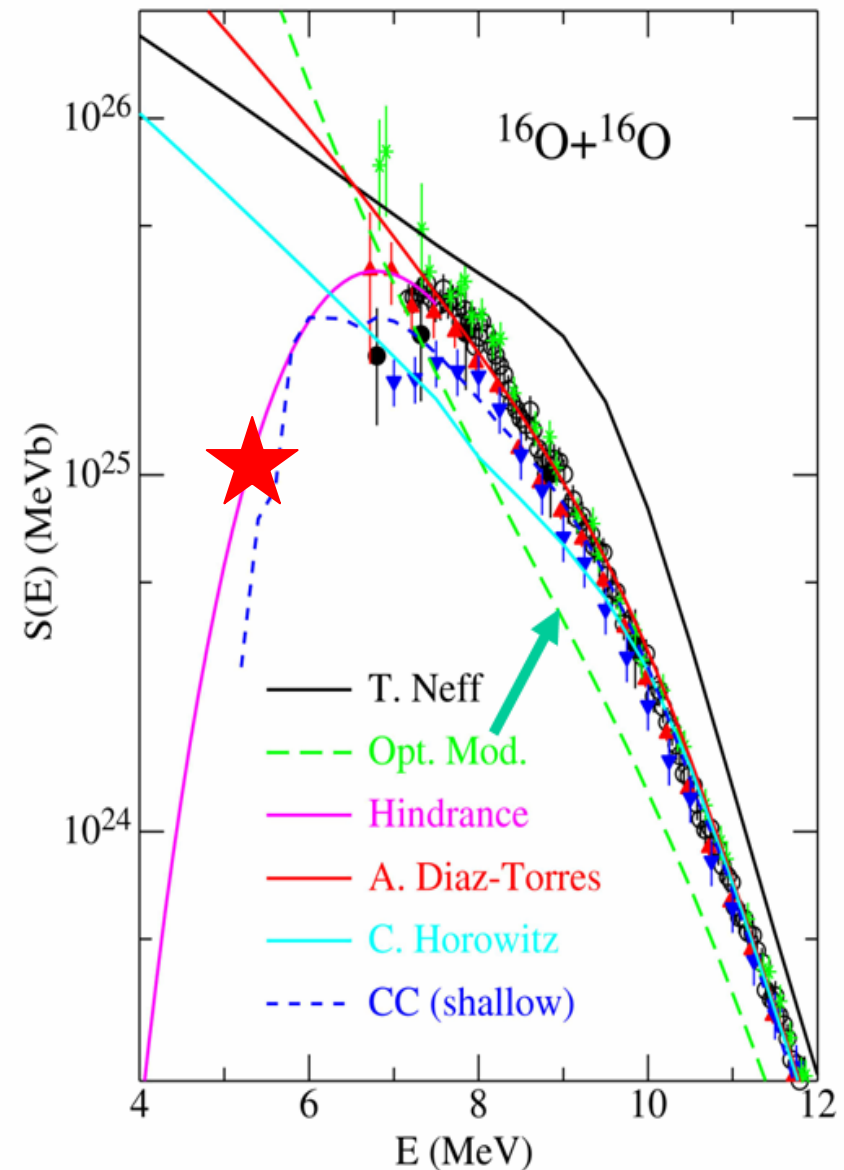
- 恒星平稳演化阶段最重要的热核反应在天体物理能区的直接测量
- 高能区带电粒子反应截面向天体物理能区的合理外推
- 若干关键的平稳核燃烧阶段和爆发性 $rp$ 及 $r$ 过程核反应截面的间接测量
- $rp$ 和 $r$ 过程涉及核素衰变性质、质量、反应和共振态性质的测量
- 核天体物理反应和衰变性质的理论研究、数据库和网络方程的建立
- 通过元素丰度的观测研究天体核合成的场所

# 直接测量中的低能外推：物理问题

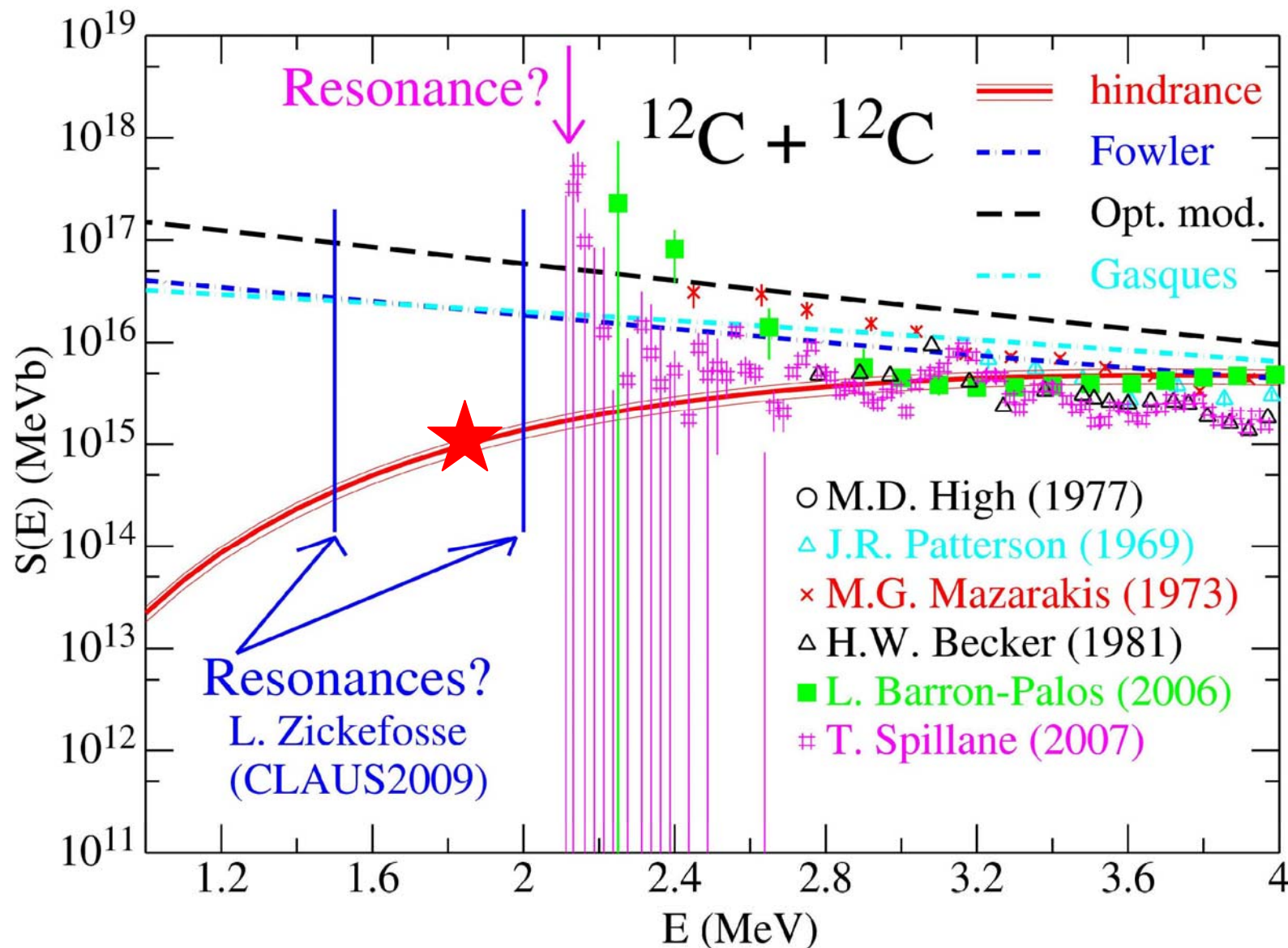


# 低能外推的檢驗

- The heavy-ion fusion reactions between  $^{12}\text{C}$  and  $^{16}\text{O}$  isotopes, namely  $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ ,  $^{12}\text{C}+^{16}\text{O}$  and  $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$ , are crucially important in a wide variety of stellar burning scenarios
- These reactions represent key processes in nuclear astrophysics since they influence not only the nucleosynthesis, such as the production of  $^{26}\text{Al}$  and  $^{60}\text{Fe}$  (two nuclei which have been observed by orbiting  $\gamma$ -ray satellites), but also the subsequent stellar evolution
- At present, these reactions have only been measured down to energies which are much higher than the energies of astrophysical interest.







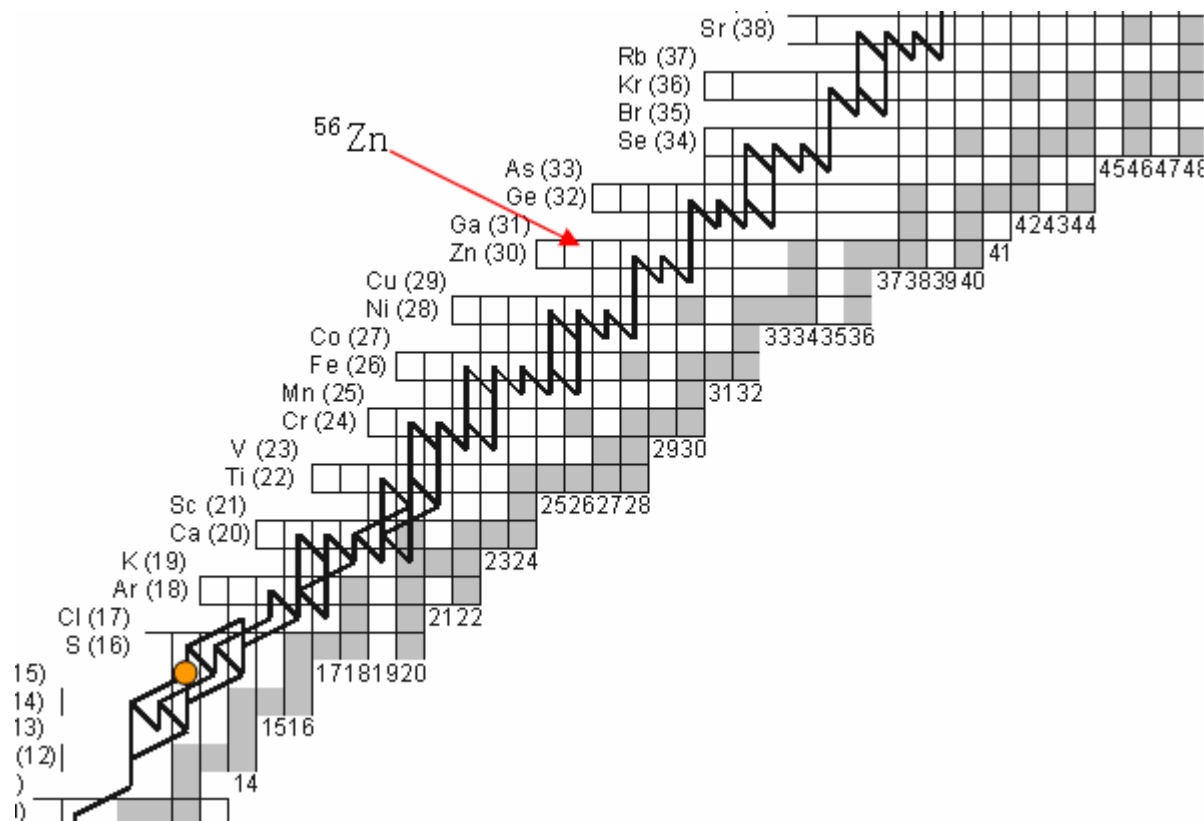
- The experimental part is centered on developing two highly-efficient and selective charged-particle detection systems, one based on a Si detector array and the other on a solenoidal spectrometer, to extend the heavy-ion fusion measurements towards stellar burning energies. For some special cases, (e.g. if there are resonances within the stellar burning energy range), we will even be able to measure the cross section at the effective stellar burning energies directly
- The experimental part can be divided into two phases.
  - First, we will build the proposed detector arrays and test them using beams from the Notre Dame FN tandem. Meanwhile, systematic measurements of the heavy-ion ( $A < 20$ ) fusion systems will be performed to test the existing extrapolating models, especially the standard Fowler model and recently proposed Hindrance Model
  - Second, we will perform the low-energy measurements using the high-current single-end 5 MV NEC pelletron accelerator which will be installed in Notre Dame in December of 2011. The theoretical component of this proposal is aimed at testing and developing advanced extrapolating models at extreme sub-barrier energies.

# 衰变实验： $^{56}\text{Zn}$ $\beta$ -缓发质子发射 测量

- 实验目的
- 研究现状
- 实验方案及模拟
- 关键技术问题

# 实验目的

- 快速质子俘获是发生在丰质子核区的爆发性氢燃烧 (**rp-**) 过程, 涉及大量丰质子不稳定核素。 $^{56}\text{Zn}$  是 **rp-** 过程反应路径上可能的等待核, 其衰变特性是决定 **rp-** 过程反应路径的关键因素之一



- 除天体物理意义外, 研究这些核素的衰变性质还有助于检验原子核壳理论模型在远离 $\beta$ 稳定线的核区适用性



- 测量 $^{56}\text{Zn}$ 半衰期，得到比较半衰期 $\log fT_{1/2}$ ，可以确定其 **Fermi**和**Gamow-Teller**跃迁强度分布，代入**rp**-过程的网络计算
- 测量  $\beta$  缓发质子能谱，得到子核 $^{56}\text{Cu}$  同位旋相似态 (**IAS**) 能级位置，利用同位旋相似态多项式方程 (**IMME**) 可定出 $^{56}\text{Zn}$ 的基态质量
- 由于 $^{56}\text{Fe}(p,n)^{56}\text{Cu}$ 反应已经测量，将 $^{56}\text{Zn}$ 的衰变数据与 $^{56}\text{Fe}(p,n)^{56}\text{Cu}$ 反应数据比较，可以检验中重核区的同位旋对称性
- 实验结果和已有的 $^{56}\text{Zn}$  **B(GT)**分布壳模型计算比较，可定出**fp**壳的**GT**衰减因子

# 研究现状

# $^{56}\text{Zn}$ 首次产生

2001年, GANIL在寻找 $^{48}\text{Ni}$ 实验中首次得到 $^{55,56}\text{Zn}$  *Eur. Phys. J. A 11(2001)247*

实验条件

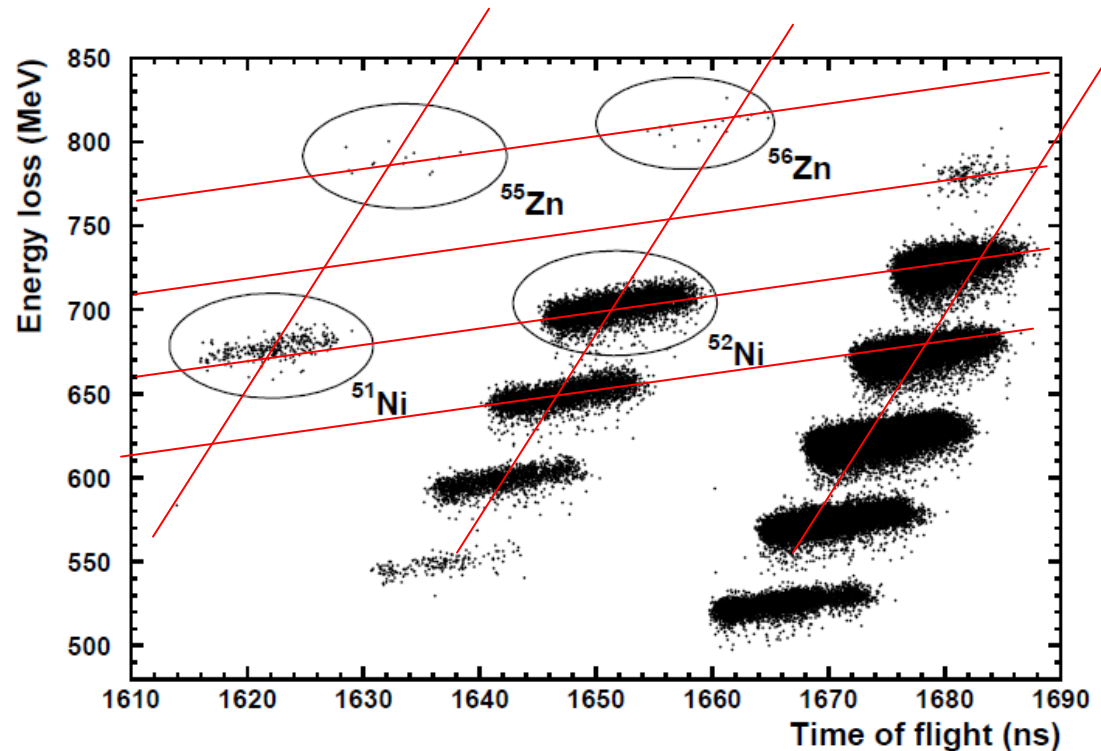
产生装置: SISSI-LISE3

束流:  $^{58}\text{Ni}^{26+}$

74.5 MeV/A 1  $\mu\text{A}$

靶: 天然Ni 230 mg/cm<sup>2</sup>

目标核:  $^{48}\text{Ni}$



测量结果  $^{56}\text{Zn}$ : 17个

产生截面:  $5^{+20}_{-2} \times 10^{-7} \text{mb}$  是LISE计算值的5倍

2004年 $^{58}\text{Ni}$ 束流提至4  $\mu\text{A}$ , 測量到630個 $^{56}\text{Zn}$ 事例

NPA 792(2007)18

Isotope	A	B	C	D	E	All
$^{51}\text{Co}$		67 050		30 555		97 605
$^{50}\text{Co}$		10 798	3888	225 051	192	239 929
$^{53}\text{Ni}$		99 246		9002		108 248
$^{52}\text{Ni}$		18 549	1702	251 901		272 152
$^{51}\text{Ni}$	66	464	903	44 205	978	46 616
$^{50}\text{Ni}$	93	52	18	421	261	845
$^{49}\text{Ni}$	47	41			73	161
$^{55}\text{Cu}$				131		131
$^{56}\text{Zn}$				630		630
$^{55}\text{Zn}$				500		500

Experiment	Date	Effective data taking (h)	Main focus	Set isotopes	Silicon telescope (thickness in $\mu\text{m}$ )	$\gamma$ efficiency (%) at 1.3 MeV
A	September 1999	220	$^{48}\text{Ni}$	$^{52}\text{Ni}$ , $^{48}\text{Ni}$	300, 300(xy), 300, 5000	–
B	June 2000	180	$^{45}\text{Fe}$ , $^{48}\text{Ni}$	$^{52}\text{Ni}$ , $^{50}\text{Ni}$ , $^{48}\text{Ni}$	300, 300(xy), 300(DSSSD), 5000	–
C	October 2001	37	$^{45}\text{Fe}$ , $^{48}\text{Ni}$	$^{52}\text{Ni}$ , $^{50}\text{Ni}$ , $^{48}\text{Ni}$	300, 150(xy), 150, 300(DSSSD), 5000	1.8(2)
D	April 2004	92	$^{54}\text{Zn}$	$^{48}\text{Fe}$ , $^{54}\text{Zn}$	300, 300(xy), 500(DSSSD), 5000	4.9(3)
E	May 2004	84	$^{45}\text{Fe}$ , $^{48}\text{Ni}$	$^{41}\text{Ti}$ , $^{48}\text{Ni}$	300, 300(xy), 500(DSSSD), 5000	6.0(3)

# $^{56}\text{Zn}$ 的半衰期和质子谱

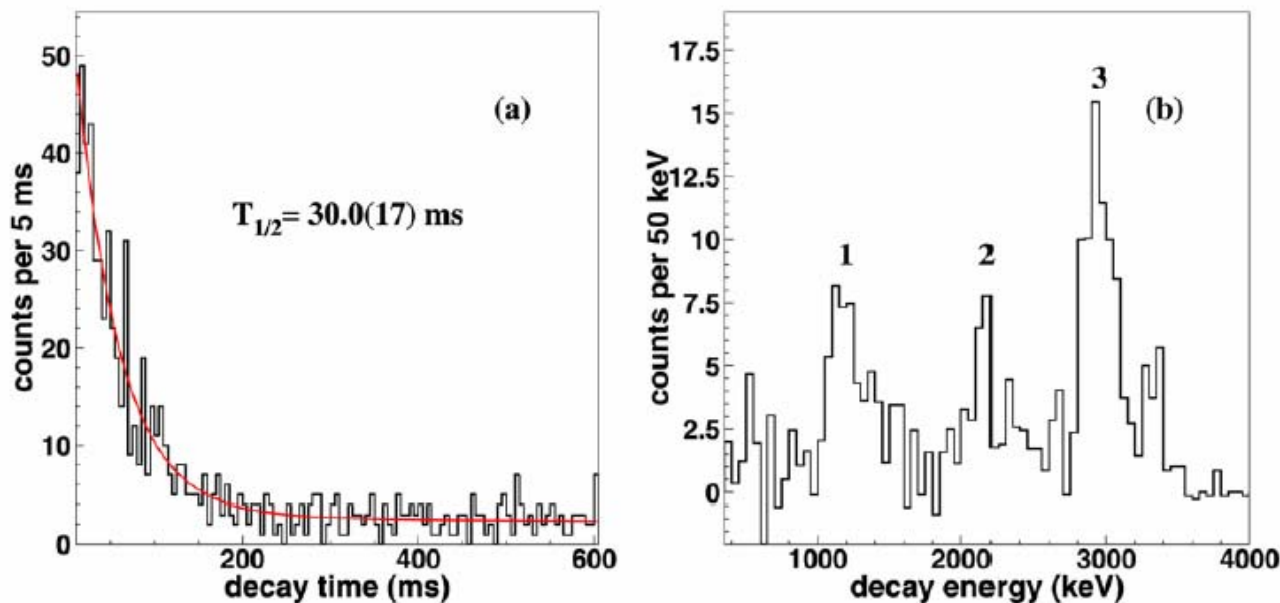
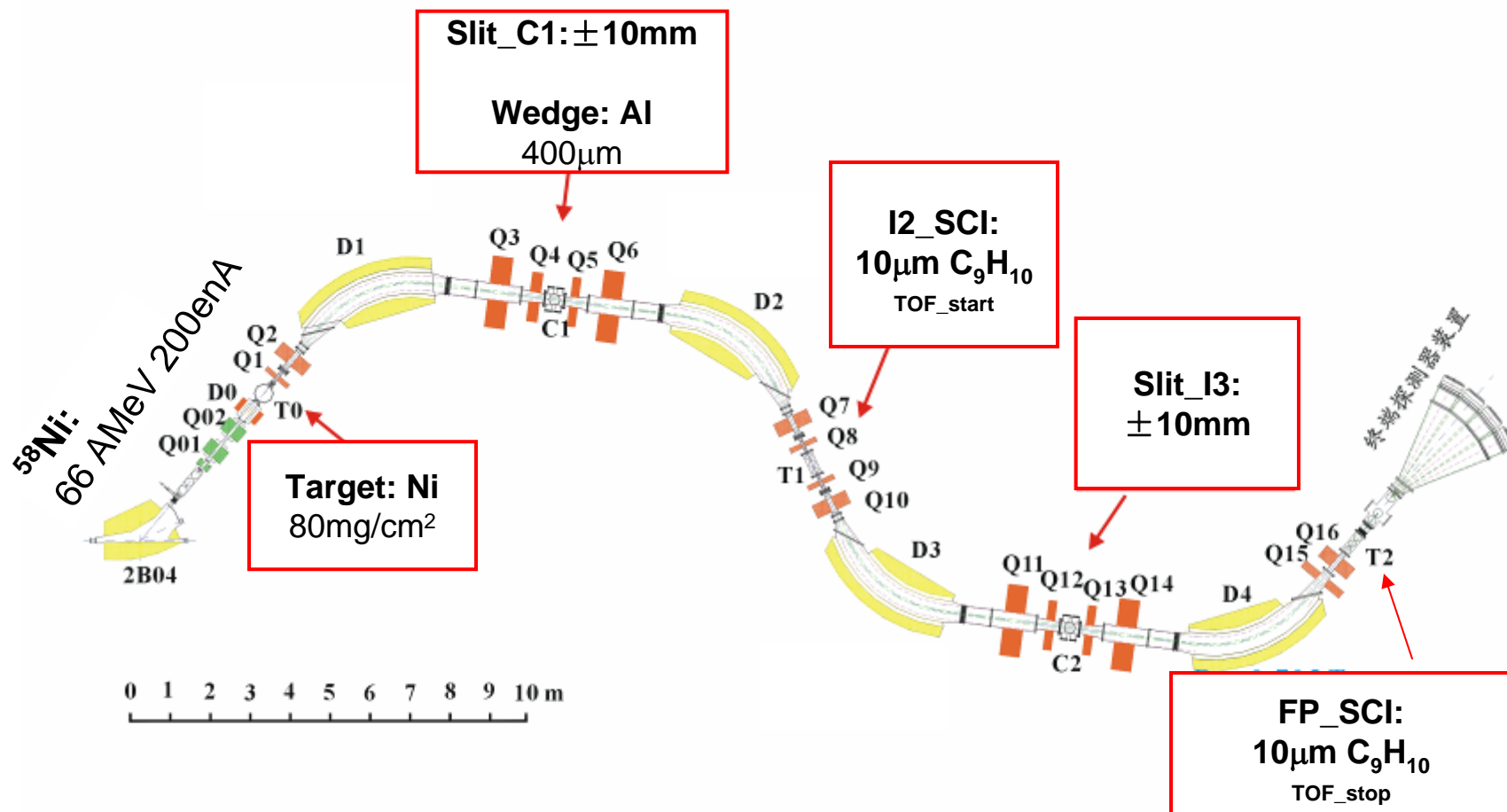


Fig. 54. (a) Decay-time spectrum of  $^{56}\text{Zn}$ . The fit yields a half-life of 30.0(17) ms. (b) Charged-particle spectrum from the decay of  $^{56}\text{Zn}$ . Three prominent charged-particle groups are observed (see also Table 22).

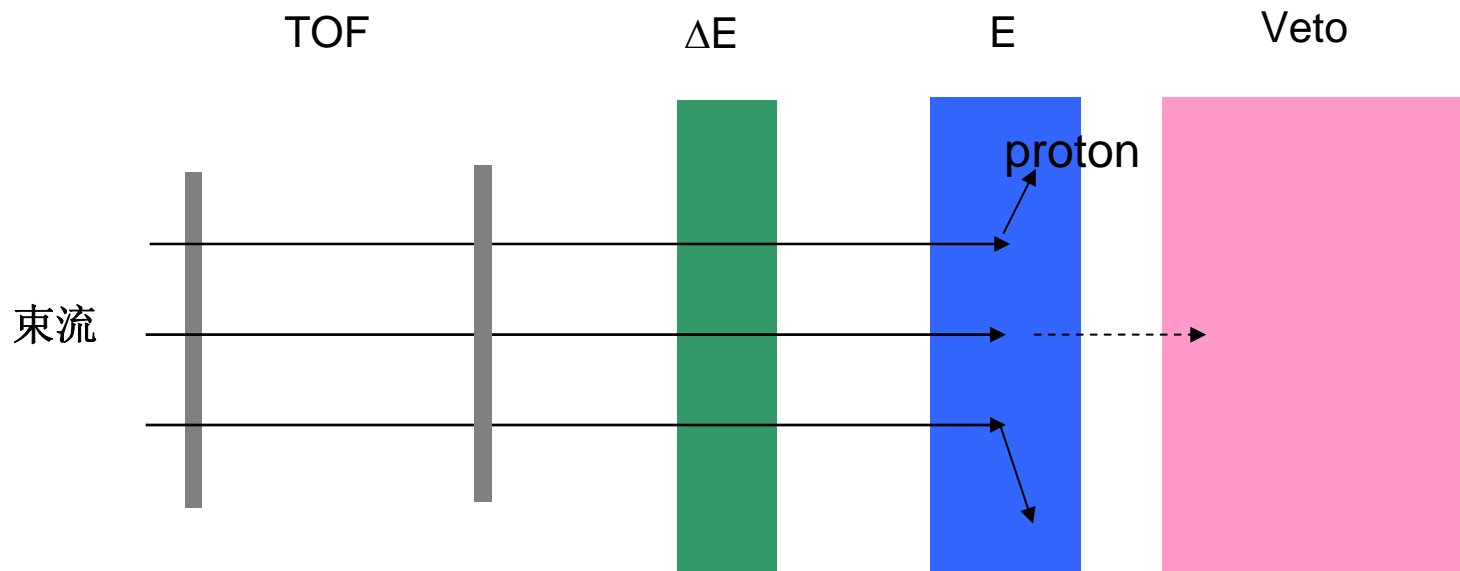
GANIL给出 $^{56}\text{Zn}$ 半衰期、质子能谱，鉴别出IAS态，但未进行进一步的理论分析。我们计划11月底在兰州RIBLL束流线上产生 $^{56}\text{Zn}$ ，测量检验GANIL的结果，并利用两次实验数据进行理论分析。

# 实验方案及模拟





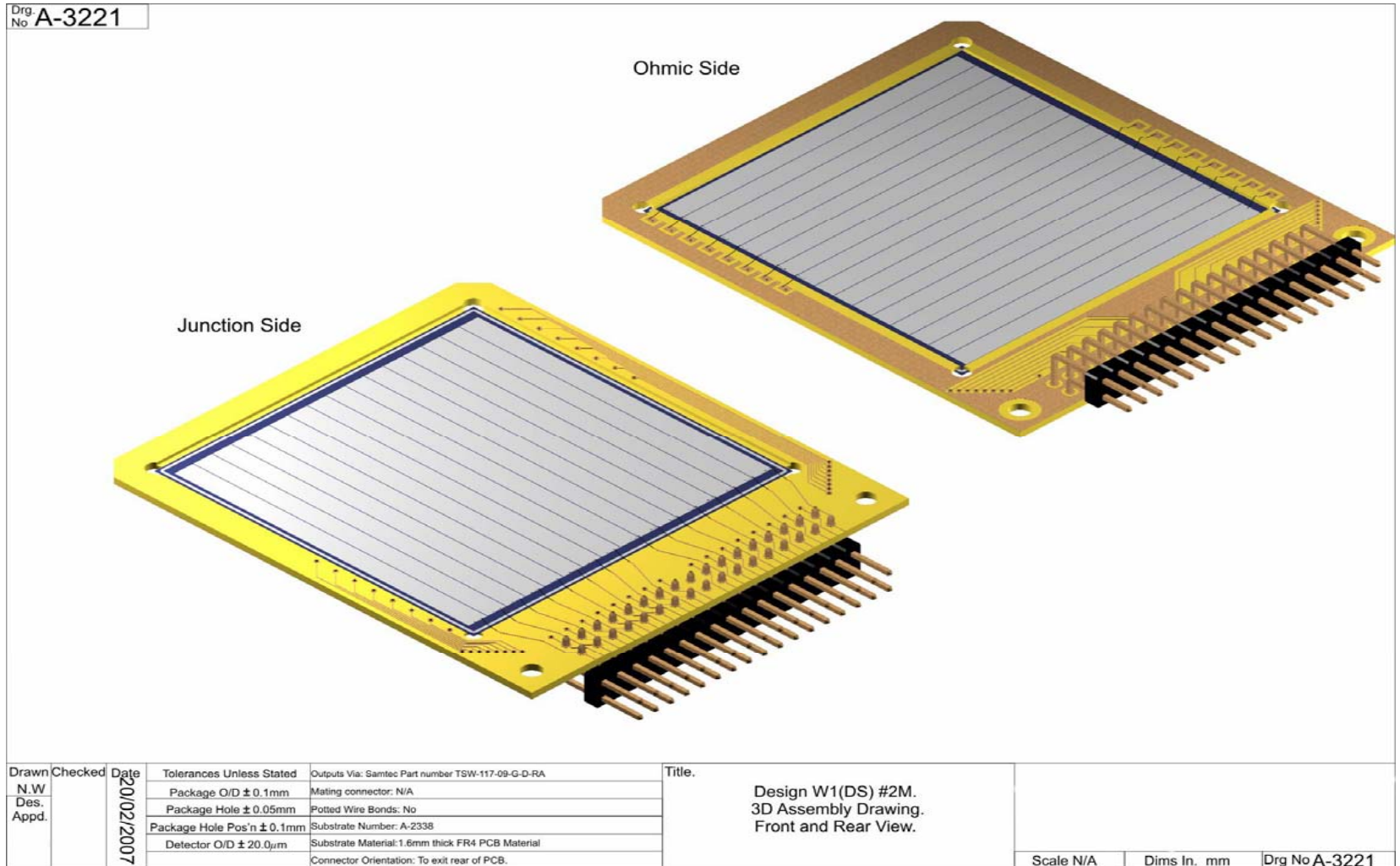
Schematic view of experimental setup (@RIBLL 1)



$\Delta E$ : PSSD (300 $\mu\text{m}$ , 40 $\times$ 40 mm<sup>2</sup>, Hamamatsu, )

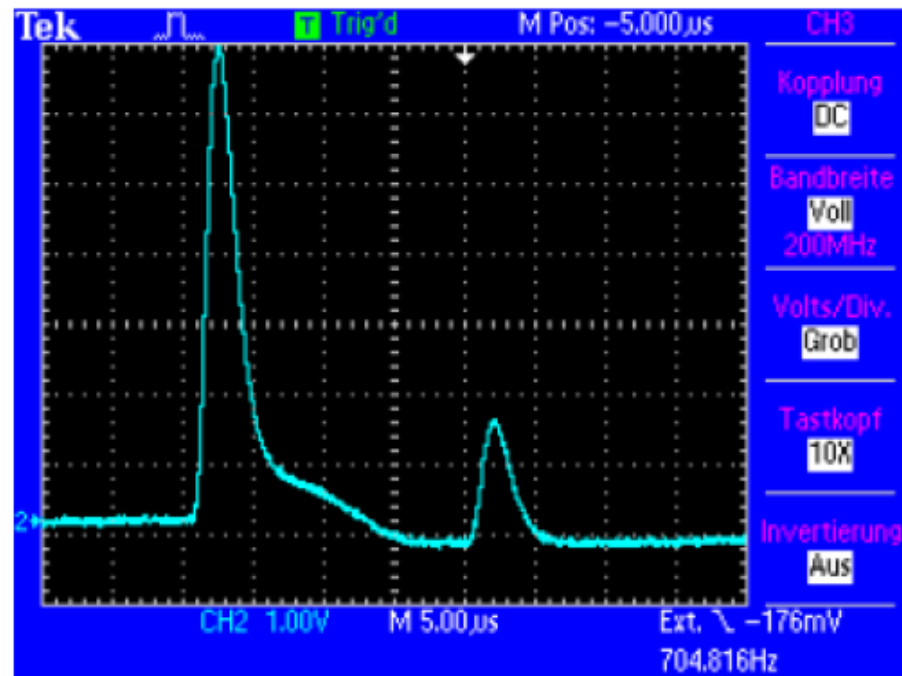
E: DSSSD (500 $\mu\text{m}$ , 50 $\times$ 50 mm<sup>2</sup>, 16 $\times$ 16 strips, Micro)

Veto: Si (1000 $\mu\text{m}$ , 50 $\times$ 50 mm<sup>2</sup>, Micro)



# 对数前放MPR-16-LOG

STM16+ Shaper output for implantation  
and decay signals (10MeV-lin range)



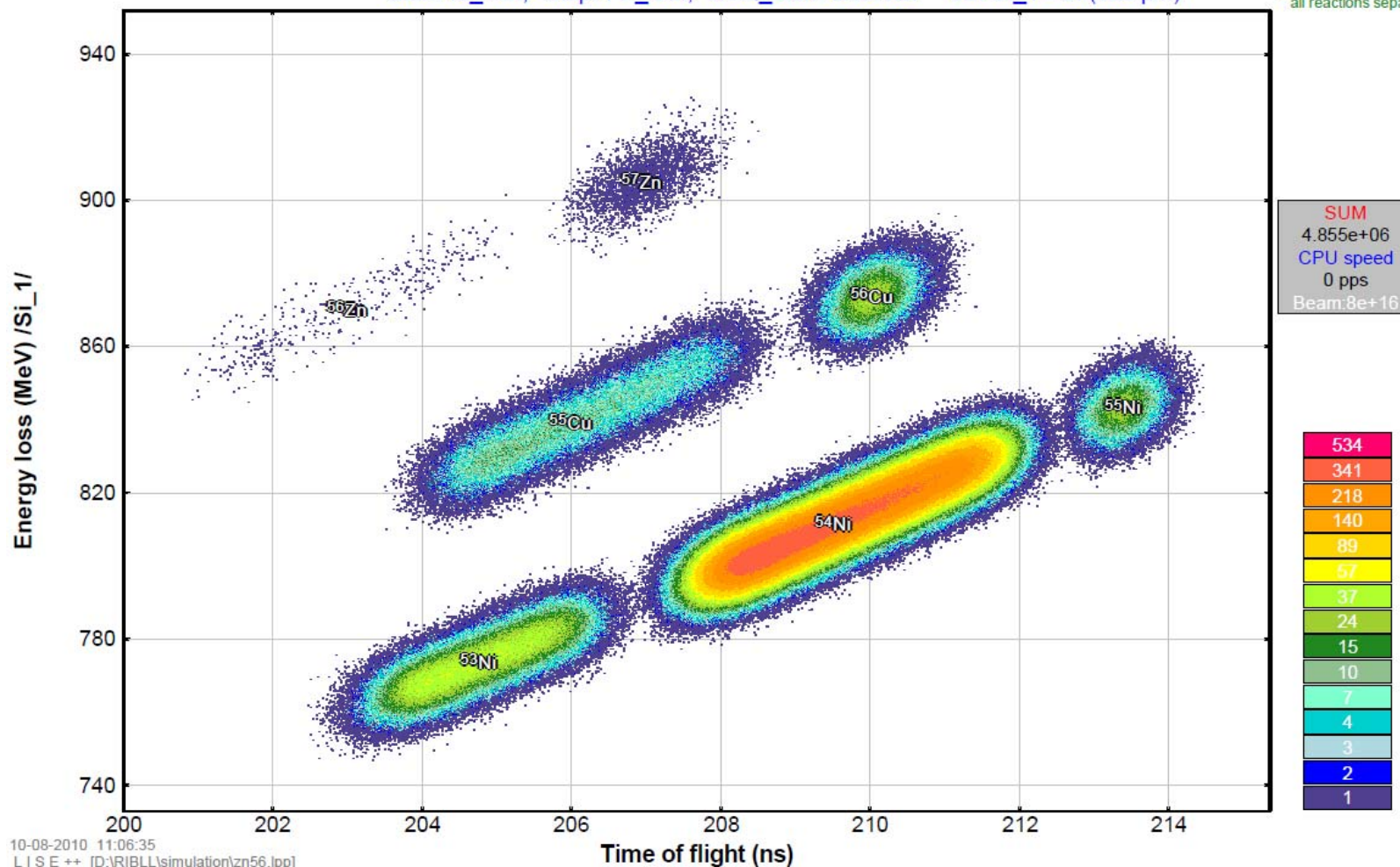
TDS 2024 - 15:06:09 25.11.2005

*Shaper signal for implantation with energy of  
3GeV followed by a decay signal of 2.5 MeV  
(The undershoot after implantation is artifi-  
cial and due to the tail pulser)*

## dE-TOF

$^{58}\text{Ni}$  (66.0 MeV/u) + Ni (80 mg/cm<sup>2</sup>), C (0.5 mg/cm<sup>2</sup>); Settings on  $^{56}\text{Zn}$ ; Config: DSWDMMDSDMMMMMM  
 dp/p=0.98% ; Wedges: Al (400  $\mu\text{m}$ ); Brho(Tm): 2.0244, 1.6912, 1.6860, 1.6860  
 Start: I2\_SCI; Stop: FP\_SCI; ACQ\_start: Detector \*\* dE: Si\_1 - Si (325  $\mu\text{m}$ )

without charge states  
all reactions separ.



10-08-2010 11:06:35  
 LISE ++ [D:\RIBLL\simulation\zn56.lpp]



# 离子注入深度

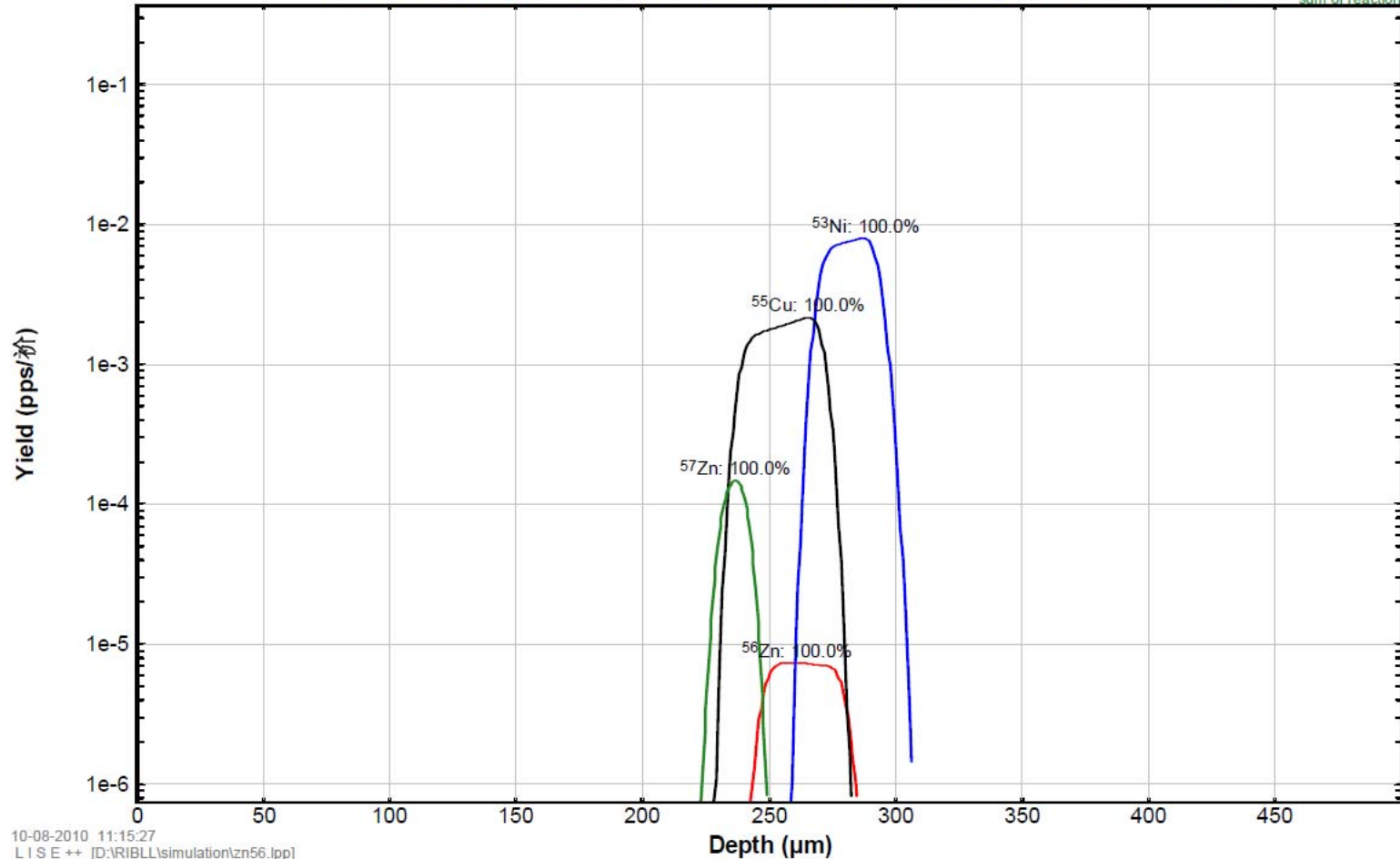
## Range distribution in Si\_2

$^{58}\text{Ni}$  (66.0 MeV/u) + Ni (80 mg/cm<sup>2</sup>), C (0.5 mg/cm<sup>2</sup>); Settings on  $^{56}\text{Zn}$ ; Config: DSWDMMDSDMMMMMM

dp/p=0.98% ; Wedges: Al (400  $\mu\text{m}$ ); Brho(Tm): 2.0244, 1.6912, 1.6860, 1.6860

Material: Si (500  $\mu\text{m}$ ) Strag.Method: 1 (% stopped in detector [100% incoming into it])

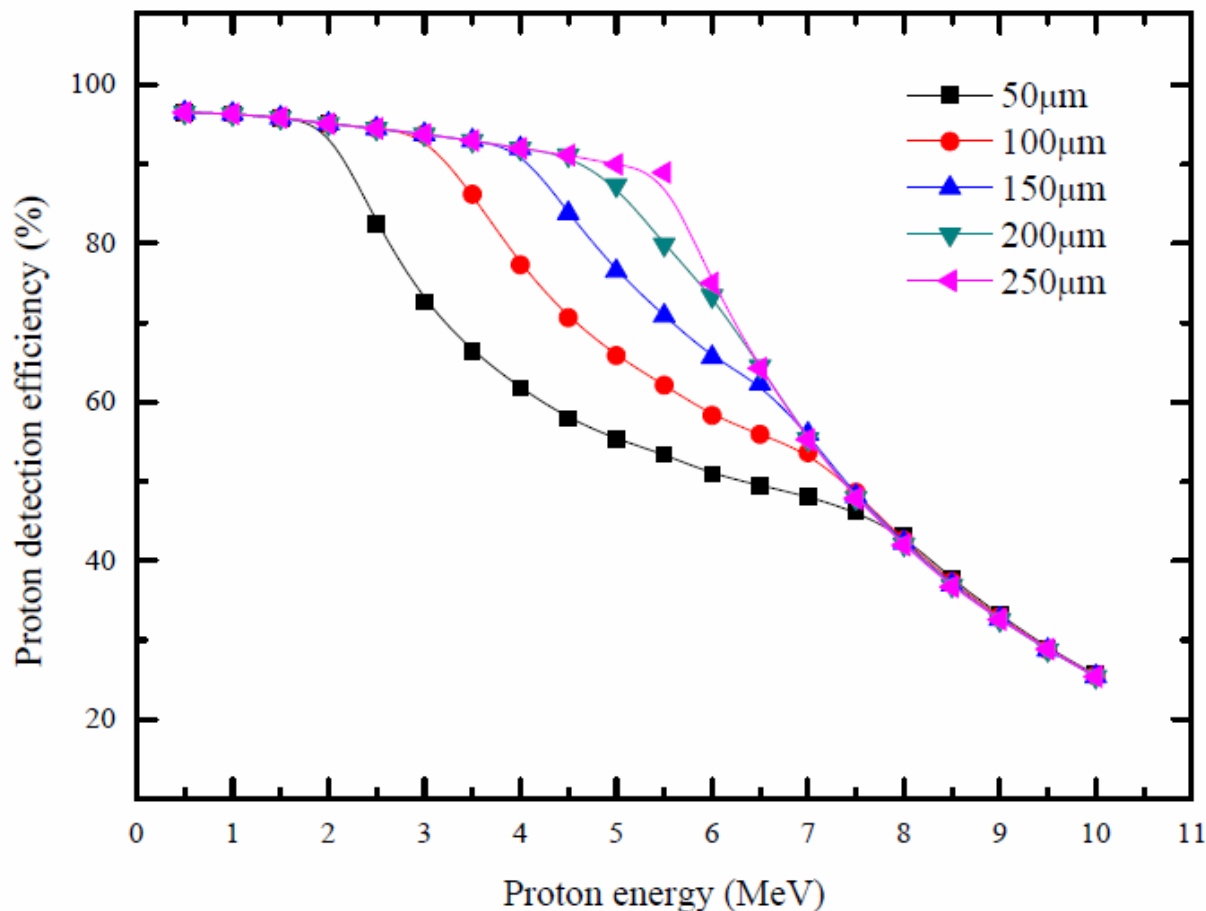
without charge states  
sum of reactions



10-08-2010 11:15:27  
L I S E ++ [D:\RIBLL\simulation\zn56.jpj]



# 探测效率与注入深度、质子能量关系



注入深度: 200~300μm      质子能量: 1~5 MeV

探测效率>90%

Isotope	注入总数(100h)	之前工作	$I_p(\%)$	$E_p(\text{MeV})$	质子数
$^{56}\text{Zn}$	440*	630	86	1~3.5	360
$^{57}\text{Zn}$	4000*	~1000	78	1.5-5	3000
$^{55}\text{Cu}$	22700	130	15	未知	3200
$^{53}\text{Ni}$	81000	110000	23	1-3	17700

\* 经截面修正

**RIBLL: 计数率 $\sim 10^3/\text{s}$**

**能量沉积  $\Delta E \sim 600 \text{ MeV}$      $E \sim 800 \text{ MeV}$**

**GANIL: 计数率 $\sim 10^4/\text{s}$**

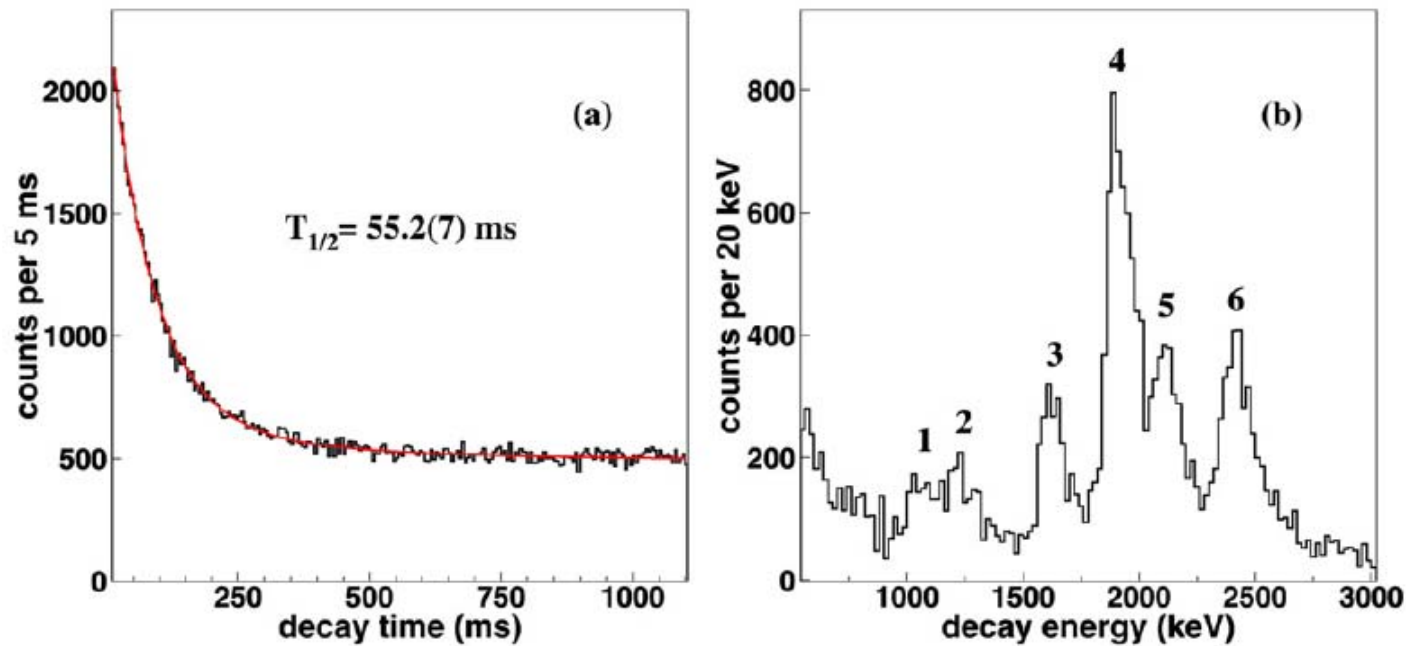
**能量沉积  $\Delta E \sim 500 \text{ MeV}$      $E \sim 1500 \text{ MeV}$**

**辐射损伤问题不大**

- 获取：在线连续测量，重离子+质子开门，利用时钟产生器给每一个事例打时间标签
- 分析：利用**TOF- $\Delta E$** 鉴别出 $^{56}\text{Zn}$ ，向后符合**3**个半衰期内的质子，得到质子能谱及衰变时间谱

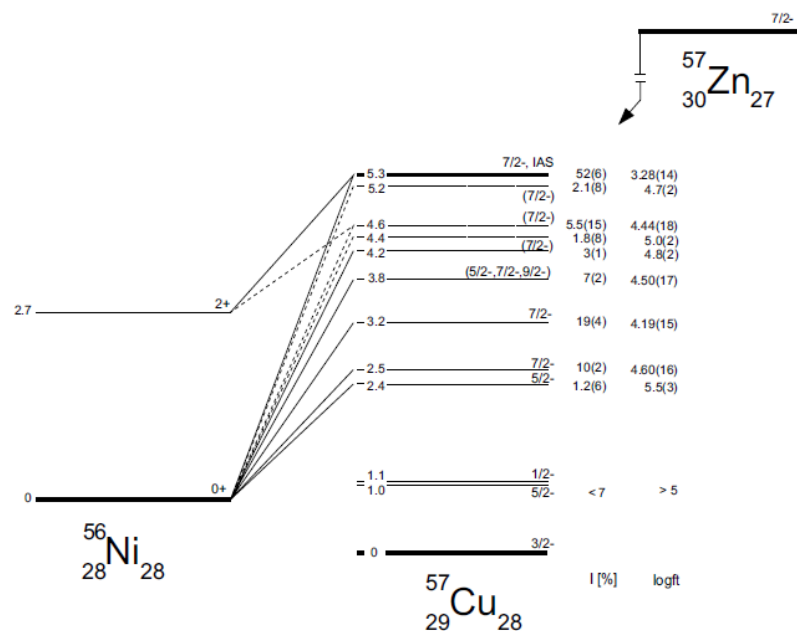
- 利用 $\alpha$ 源及 $^{58}\text{Ni}$ 初级束刻度 $\Delta E$ 、 $E$ 探测器
- 调束
- 在TOF- $\Delta E$ 谱上找到各个核位置
- 调整粒子能量，使其注入深度在 $200\sim 300\mu\text{m}$
- 10小时试测量，离线分析出 $^{53}\text{Ni}$ 质子谱
- 100小时积累事例
- 利用 $^{53}\text{Ni}$ 和 $^{57}\text{Zn}$ 质子谱刻度 $E$ 探测器，分析出 $^{56}\text{Zn}$ 质子谱

NPA 792(2007)18



半衰期和质子能谱较好，计数率较高  
可以在实验开始时用来检验实验设置、刻度探测器

EPJdirect  
electronic only  
© Springer-Verlag 2002

A. Jokinen<sup>1,2</sup>, A. Nieminen<sup>1</sup>, J. Äystö<sup>1,2</sup>, R. Borcea<sup>3</sup>, E. Caurier<sup>4</sup>, P. Dendooven<sup>1</sup>,

使用**ISOL**装置测量，质子谱的分辨较好，可做本次工作的能量刻度。

- 1、提高 $^{56}\text{Zn}$ 产额（提高 $^{58}\text{Ni}$ 束流强度）
- 2、TOF- $\Delta E$ 鉴别 $^{56}\text{Zn}$
- 3、降低探测器噪声（质子测量域）
- 4、去除硅微条之间能量串扰对质子探测的影响



# 在群体申请中工作内容，需具体化

- 通过间接测量充实关键核天体物理反应数据库
- 改进实验设备，提高次级束流的强度和纯度，通过测量转移反应的角分布，利用渐近归一化常数及核谱因子等方法，在北京原子能院和日本理化所开展恒星平稳核燃烧阶段轻核区 ( $A=6-15$ ) 核天体物理  $(p,\gamma)$  和  $(n,\gamma)$  反应间接测量；在兰州近代物理所和日本大阪大学开展爆发性核燃烧过程中等质量核区 ( $A=10-30$ )  $(p,\gamma)$  和  $(n,\gamma)$  反应间接测量；测量相关系统的弹性散射角分布，提高光学势参数的精度；利用稳定束结合高分辨重离子谱仪，通过测量转移反应的角分布，导出一批高精度的  $(p,\gamma)$  和  $(n,\gamma)$  反应截面；利用电荷对称性，将实验结果用于镜像核的  $(p,\gamma)$  和  $(n,\gamma)$  反应截面导出；通过以上系统数据，充实核天体物理反应数据库
- 在北京原子能院、兰州近代物理所和日本理化学研究所，进一步提高次级束流强度和带电粒子探测器的灵敏度，开展不稳定核束在氢和氦靶上的共振弹性散射研究，并利用伽玛探测的方法得出非弹反应道的数据，得出核天体物理感兴趣的激发态共振参数
- 开展直接测量，检验和改进低能外推模型
- 利用后加速的不稳定核束和超低本底的反冲质量谱仪，通过无窗气体靶周围的伽玛探测器信号和焦平面重离子探测器信号符合，在加拿大 TRIUMF 实验室开展  $^{33}\text{S}(p,\gamma)^{34}\text{Cl}$  和  $^{11}\text{C}(p,\gamma)^{12}\text{N}$  反应的直接测量，澄清目前理论和间接测量结果的分歧
- 实验和理论结合，对核天体物理反应的低能外推模型进行检验。使用美国圣母大学新建的低能强流离子加速器（使用 ECR 离子源），将重离子融合反应截面的测量向下扩展到核天体物理能区，开展  $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ 、 $^{12}\text{C}+^{16}\text{O}$  和  $^{16}\text{O}+^{16}\text{O}$  反应的直接测量，检验广泛采用的 Fowler 以及最新提出的 Hindrance 低能外推模型

# 在群体申请中工作内容，需具体化

- 开展**rp**和**r**过程相关核素的衰变性质测量，得出核天体物理网络计算的另一类输入量
- 利用不稳定核素鉴别延迟符合的方法，通过带电粒子探测器与伽玛探测器组合，在兰州近代物理所和日本理化所开展衰变测量。从在兰州开展快速质子俘获**rp**过程的丰质子核素（如 $^{56}\text{Zn}$ ）测量入手，条件成熟后扩展到在日本理化学研究所的快速中子俘获**r**过程丰中子核素衰变测量。通过系统性的衰变半衰期和**GT**强度分布数据，对壳模型理论计算进行刻度，并将衰变数据输入网络计算
- 通过实验与理论相结合，将反应和衰变数据带入网络计算，与天文观测数据相比较，研究元素核合成的天体场所
- 将原子能院和兰州近物所等科学平台上得到的反应和衰变数据输入核天体物理数据库，同时发展核理论模型和适应多种核天体物理场所的网络方程，对元素丰度进行预言，与国家天文台的观测丰度进行比较，研究元素核合成的天体场所
- 在国家天文台得到观测数据的基础上，通过建立可靠的**Fe**、**Cu**和**Zn**等重要元素的原子模型，确定一批极端贫金属恒星的有效温度、表面重力和金属丰度等基本参数，与实验测量的核天体物理数据和网络计算结合，深入研究这些元素的起源

- 还有没有更有新意、更有创新型、更有挑战性的研究内容？

- 通过间接测量充实关键核天体物理反应数据库
- 风险：日本实验的批准周期
- 开展直接测量，检验和改进低能外推模型
- 风险：美国实验加速器的建设周期，与美国的沟通
- 开展rp和r过程相关核素的衰变性质测量，得出核天体物理网络计算的另一类输入量
- 风险：兰州实验束流强度，国外实验的批准周期
- 通过实验与理论相结合，将反应和衰变数据带入网络计算，与天文观测数据相比较，研究元素核合成的天体场所
- 风险：网络计算的人力资源；观测和实验的真正结合

- 间接测量：通过国内实验产生成果作为基础，计划写一篇综述文章
- 直接测量，美国和加拿大结合，自身实验和参加实验结合，力争有自己的文章
- 衰变性质测量：找到 $^{56}\text{Zn}$ 之外的目标核，在束流强度低时备用
- 网络计算，自己数据和他人数据结合，争取在天文期刊发表文章
- 观测和实验的结合：围绕锂丰度等问题，合作在天文期刊发表文章
- 参加一些国际实验，同时吸收一些研究力量参加，提高成果的总量
- 通过多参加国际会议，提高研究成果的认知度
- 目标是产生**2-3篇Letter**量级的文章