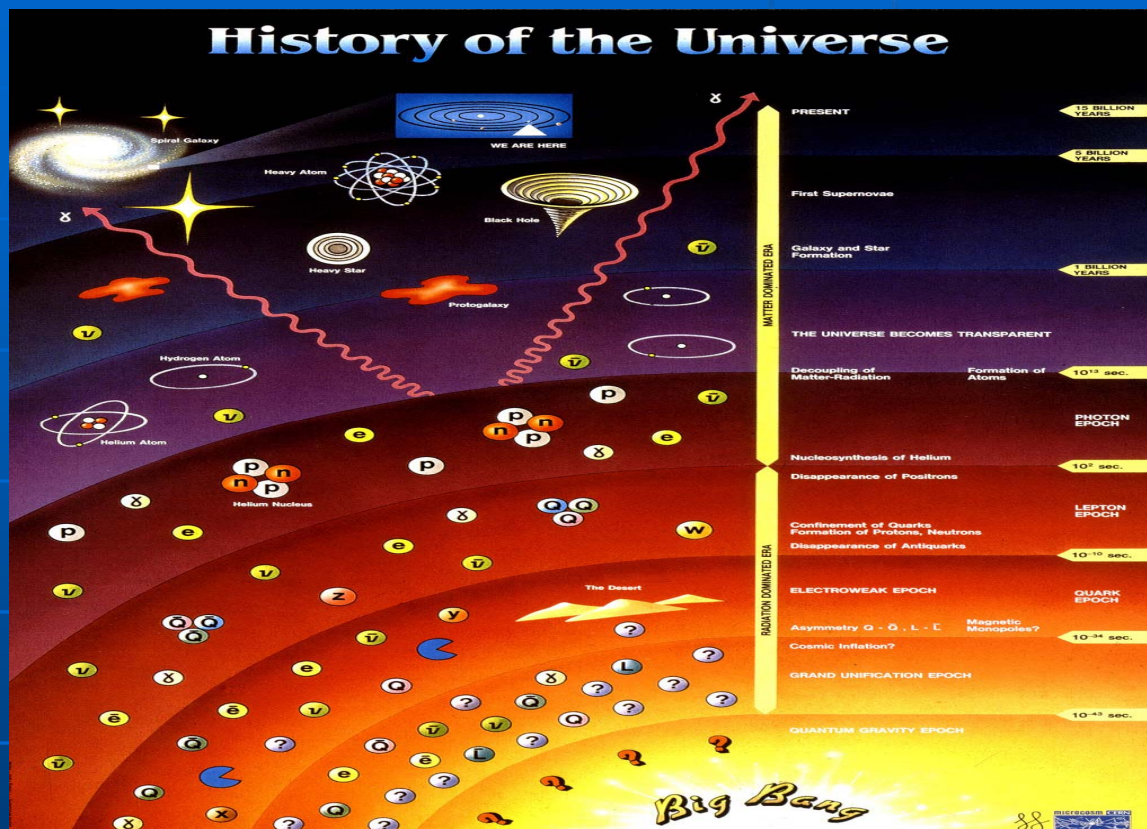


地下核天体物理实验研究

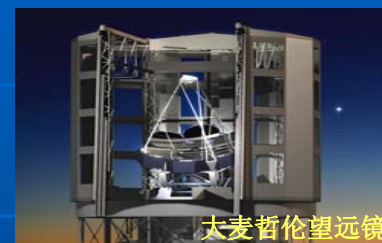
连 钢

2010.9.16

天体物理



牛顿反射望远镜



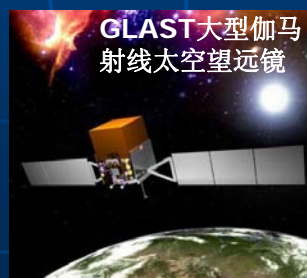
大麦哲伦望远镜



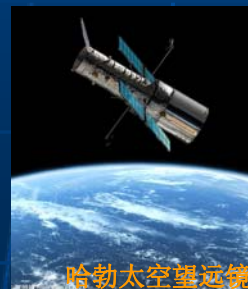
VLA射电望远镜甚大阵



1957 B2FH



GLAST大型伽马
射线太空望远镜



哈勃太空望远镜

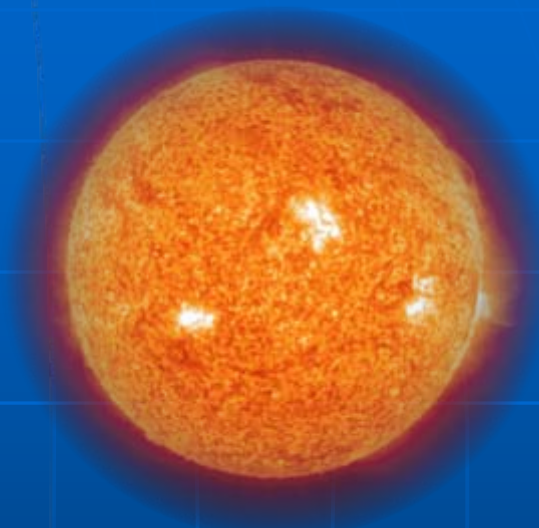
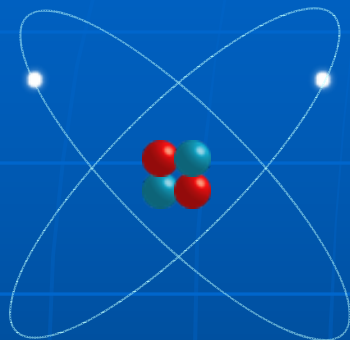


LAMOST
(5m/6m, 5度视场, 4000根光纤)

核天体物理创新研究群体项目启动

核天体物理

1,000,000,000,000,000,000,000,000 x smaller!



Atomic nucleus $\sim 1 \times 10^{-15}$ m

The everyday star $\sim 1 \times 10^9$ m

- 恒星中核燃烧产生的能量及其对恒星结构 和演化的影响
- 宇宙中各种元素和同位素合成的过程、时间、物理环境、天体 场所及丰度分布

核天体物理关键科学问题

- 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。

热核反应天体物理能区直接测量

Laboratory
Underground
Nuclear
Astrophysics



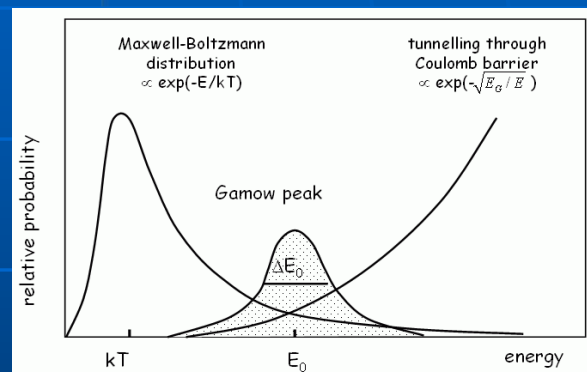
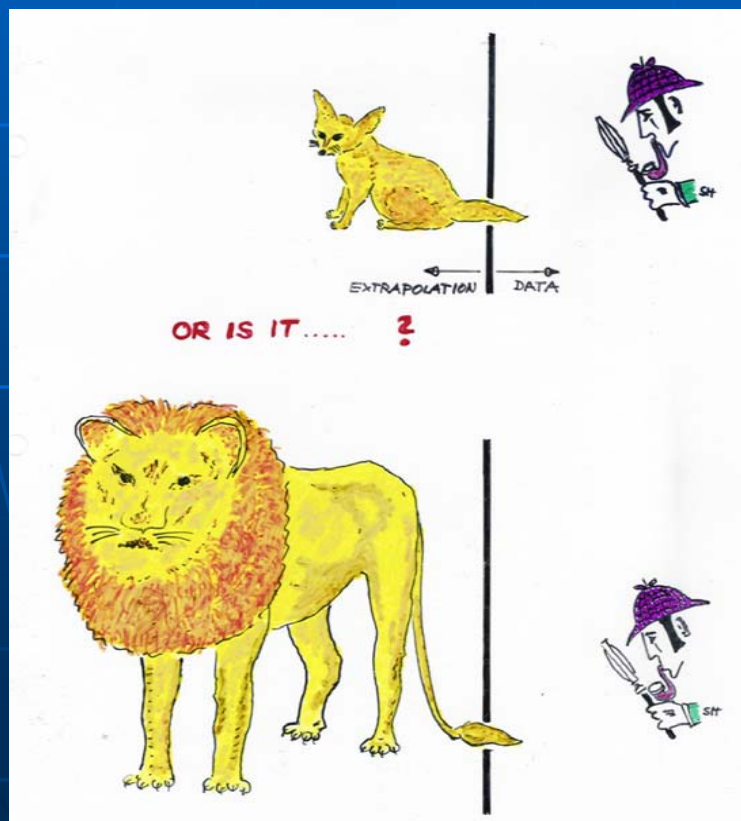
LUNA Laboratory for Underground Nuclear Astrophysics

核天体物理创新研究群体项目启动

热核反应天体物理能区直接测量

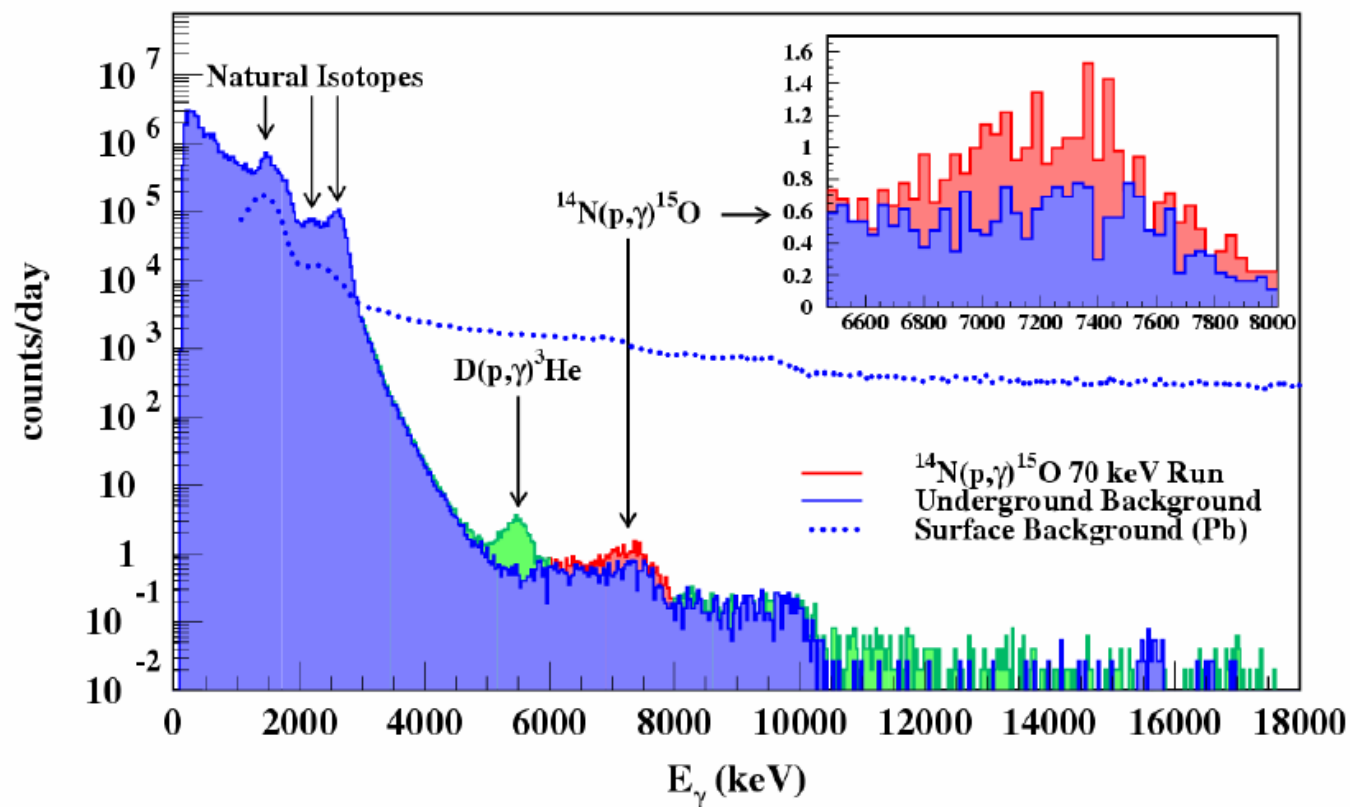
$$\sigma(E) = S(E)E^{-1}\exp(-2\pi\eta)$$

恒星平稳核燃烧阶段的带电粒子热核反应的**Gamow**窗口能量甚低，直接测量十分困难，通常要利用较高能区的实验数据向下外推。由于电子屏蔽效应和可能存在的共振的影响，外推导致很大的不确定性。



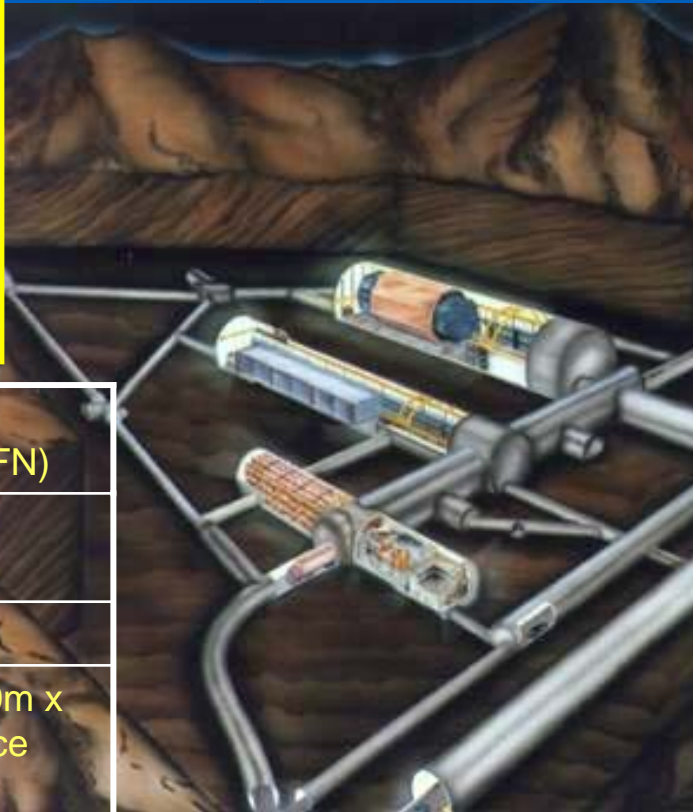
对恒星环境中带电粒子反应率起决定性作用的质心系能区称为Gamow峰（窗口）

热核反应天体物理能区直接测量



LUNA用 4π BGO探测器 + ^{14}N 无窗气体靶测量的 $^{14}\text{N}(p,\gamma)^{15}\text{O}$ 反应能谱($E=70$ keV). 测量耗时49天, 入射质子束的电荷累计达到 928库仑. **蓝线**表示天然本底, **绿线**是束流引起的本底, **蓝色点线**为地面实验室本底(有铅屏蔽).

LUNA Laboratory for Underground *Nuclear* Astrophysics



Operating Institution	Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN)
Location	Gran Sasso Tunnel (Abruzzi, Italy)
Excavation	1987
Underground area	3 halls A B C (100m x 18m x 20m) + service tunnels
Depth	1400 m
Total volume	180000 m ³
Surface	> 6000 m ²

核天体物理创新研究群体项目启动

LUNA Laboratory for Underground Nuclear Astrophysics

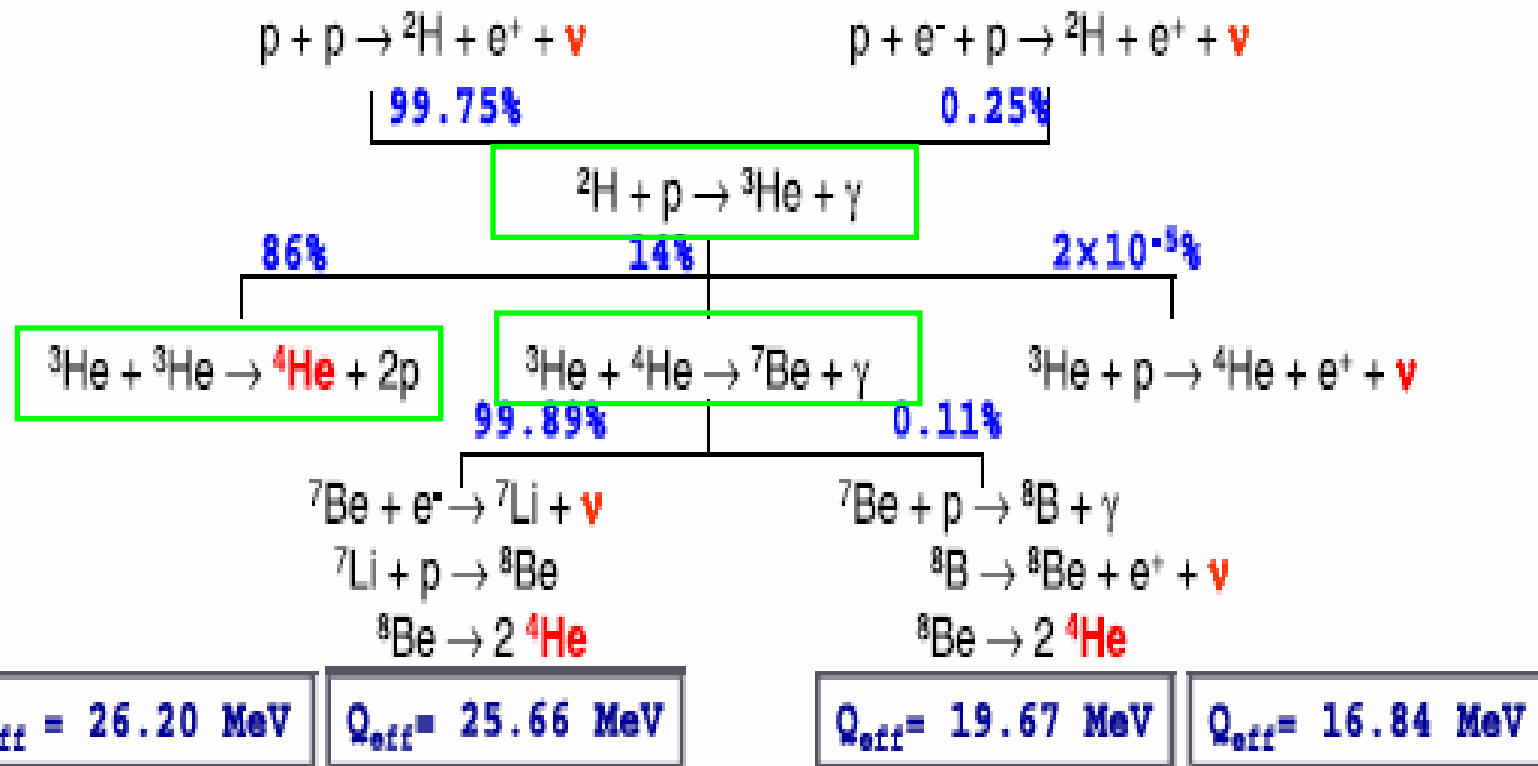
LUNA有50 kV, 400 kV两台低能加速器, 可提供4-400 keV, $\leq 1\text{mA}$ 的 p和 α 束流。实验室在1400米厚的山岩(等效3800米厚水体)下面, 宇宙射线本底降为地面实验室的 $\approx 10^{-4}$ 以下。



50 kV加速器的
离子源, 加速管
及周围实验设
备, 其特点是**非
常精巧, 紧凑和
稳定。**

LUNA 核天体物理实验

Laboratory
Underground
Nuclear
Astrophysics



H. Costantini et al.,

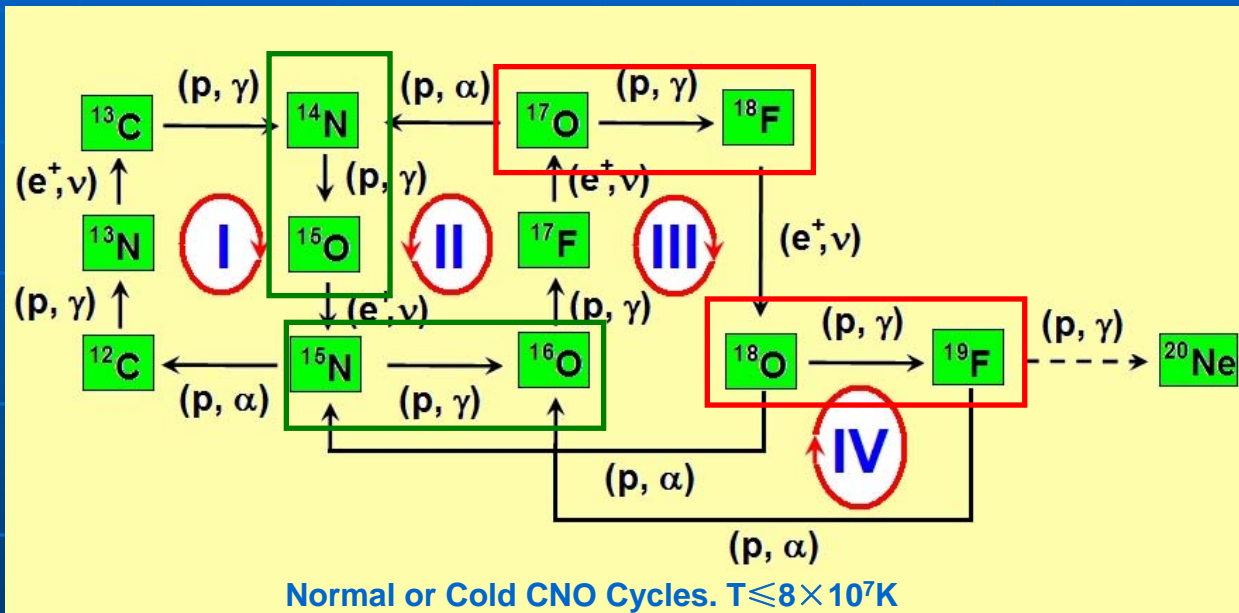
Rep. Prog. Phys., 72(2009)086301

核天体物理实验项目启动

LUNA 核天体物理实验

Laboratory
Underground
Nuclear
Astrophysics

CNO循环: $^{14}\text{N}(p,\gamma)^{15}\text{O}$ $^{15}\text{N}(p,\gamma)^{16}\text{O}$



$^{17}\text{O}(p,\gamma)^{18}\text{F}$

$^{18}\text{O}(p,\gamma)^{19}\text{F}$

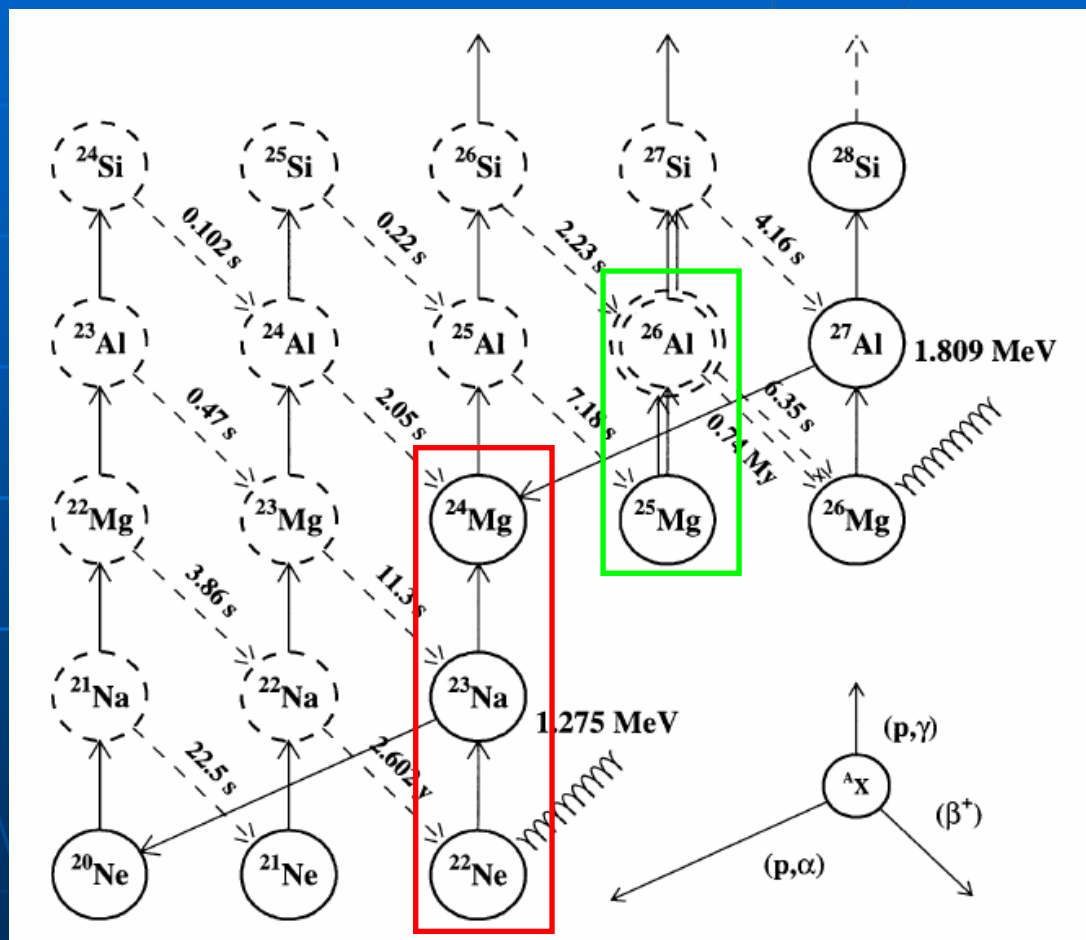
Rolfs C E, Rodney W S, **Cauldrons in the Cosmos**

University of Chicago Press, 1988

LUNA 核天体物理实验

NeNa-MgAl循环: $^{25}\text{Mg}(p,\gamma)^{26}\text{Al}$

Laboratory
Underground
Nuclear
Astrophysics



(AX) 稳定核

(AX) 放射性核素

基态及同核异能态均发射 β^+ 的放射性核素

J. Jose, A. Coc and M. Hernanz,
Astrophys.J., 520 (1999) 347-360

LUNA 实验计划

Laboratory
Underground
Nuclear
Astrophysics

What else can be done with
LUNA2 400kV accelerator?

Ongoing
experiment

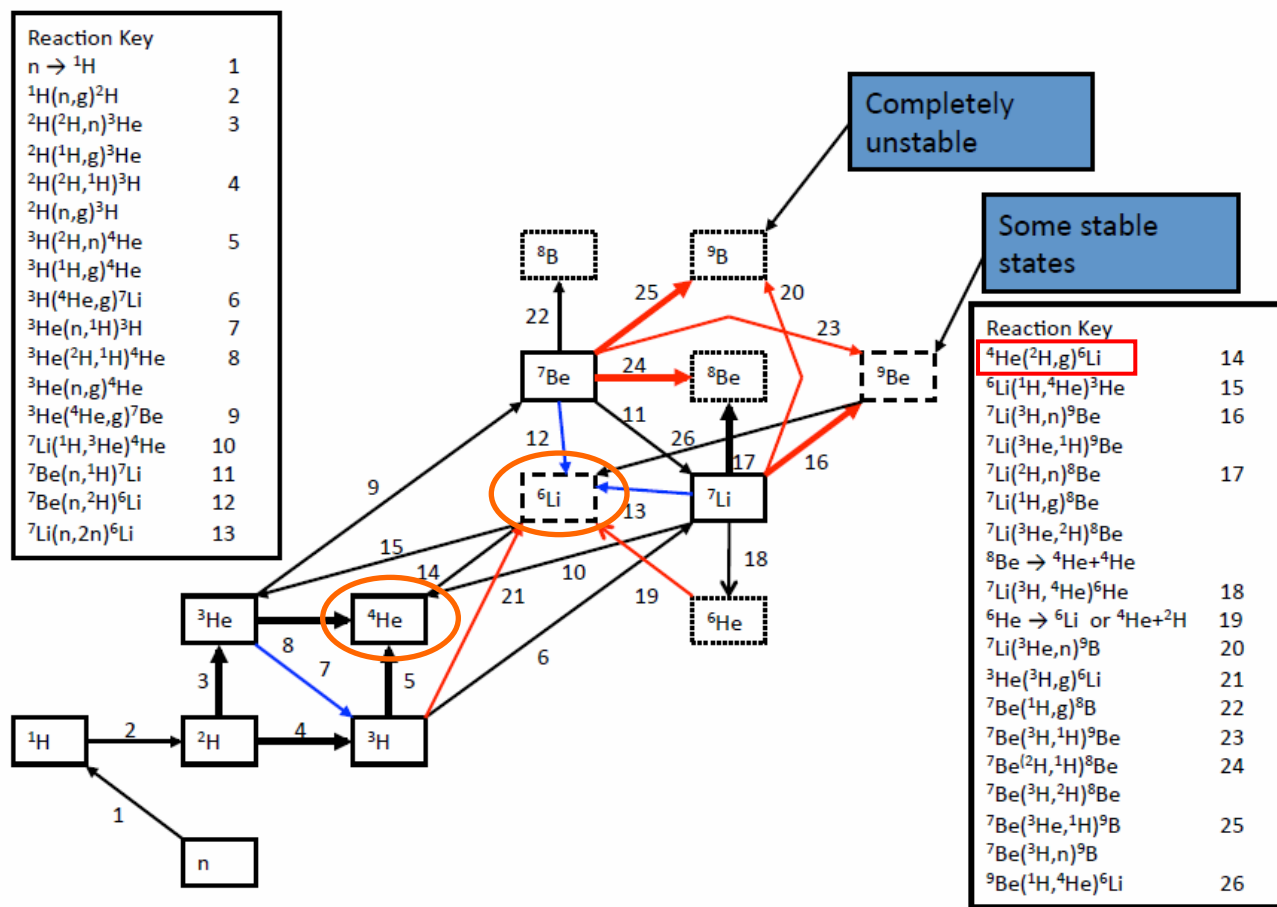
	reaction	Q- value (MeV)	Gamow energy (keV)	Lowest meas. Energy (keV)	LUNA limit
CNO cycle	$^{15}\text{N}(p,\gamma)^{16}\text{O}$	12.13	10-300	130	50
	$^{17}\text{O}(p,\gamma)^{18}\text{F}$	5.6	35-260	300	65
	$^{18}\text{O}(p,\gamma)^{19}\text{F}$	8.0	50-200	143	89
Ne-Na cycle	$^{23}\text{Na}(p,\gamma)^{24}\text{Mg}$	11.7	100-200	240	138
	$^{22}\text{Ne}(p,\gamma)^{23}\text{Na}$	8.8	50-300	250	68
BBN	$\text{D}(\alpha,\gamma)^6\text{Li}$	1.47	50-300	700(direct) 50(indirect)	50

In preparation

Proposal Approved by INFN (2008-2013)

LUNA: $D(\alpha, \gamma)^6\text{Li}$ 反应直接测量

Laboratory
Underground
Nuclear
Astrophysics

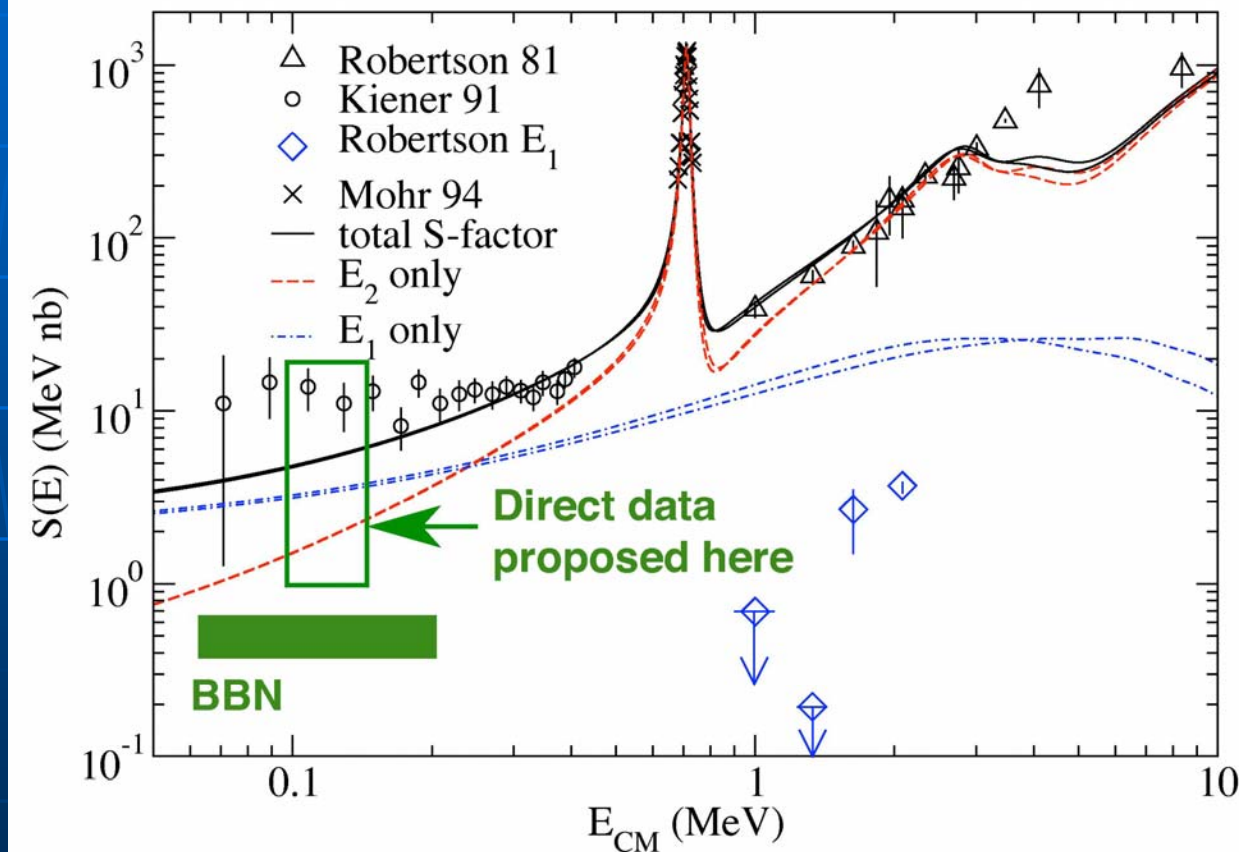


标准模型计算的
 ${}^6\text{Li}$ 丰度比贫金
属恒星的天文观
测值低了3个量
级，而 ${}^7\text{Li}$ 的丰
度却是天文观测
值的3倍左右。
Li原初丰度难题

R. N. Boyd et al., arXiv:1008.0848(2010)

LUNA: $D(\alpha, \gamma)^6\text{Li}$ 反应直接测量

Laboratory
Underground
Nuclear
Astrophysics

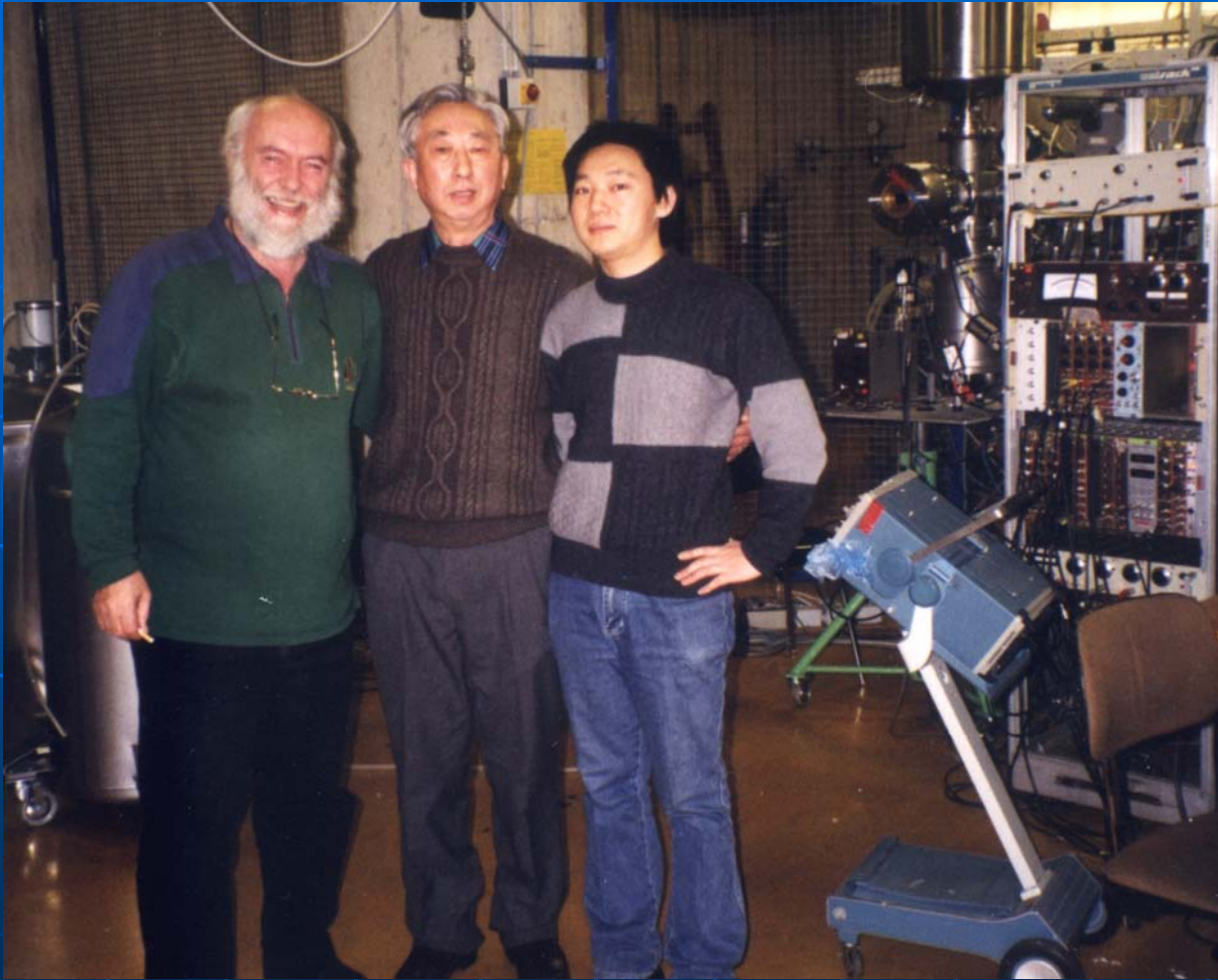


Laboratory
Underground
Nuclear
Astrophysics



A.Cacioli et al.,
Eur. Phys. J. A 39, 179 - 186 (2009)

LUNA 合作基础



2002-2003 :
Bochum
 $d(d,p)t$ 电子屏蔽效应

Claus Rolfs : Co-founder of LUNA

预期目标:

☑ $D(\alpha, \gamma)^6\text{Li}$ 反应直接测量

(实验测量、数据分析)

☑ 其他核天体物理关键反应的直接测量

$^{22}\text{Ne}(p, \gamma)^{23}\text{Na}$ $^{23}\text{Na}(p, \gamma)^{24}\text{Mg}$

$^{17}\text{O}(p, \gamma)^{18}\text{F}$ $^{18}\text{O}(p, \gamma)^{19}\text{F}$

☑ 为争取在我国建立核天体物理地下实验室做准备工作

Diana at DUSEL **USA**

Boulby in the **UK**

Canfranc in **Spain**

Thank you !