

宇宙中的鋰元素

- 鋰元素的來源
- 研究鋰元素及其豐度的意義
- 國際上的研究現狀、鋰難題
- 解決鋰難題的辦法及我們的工作
- 報告總結

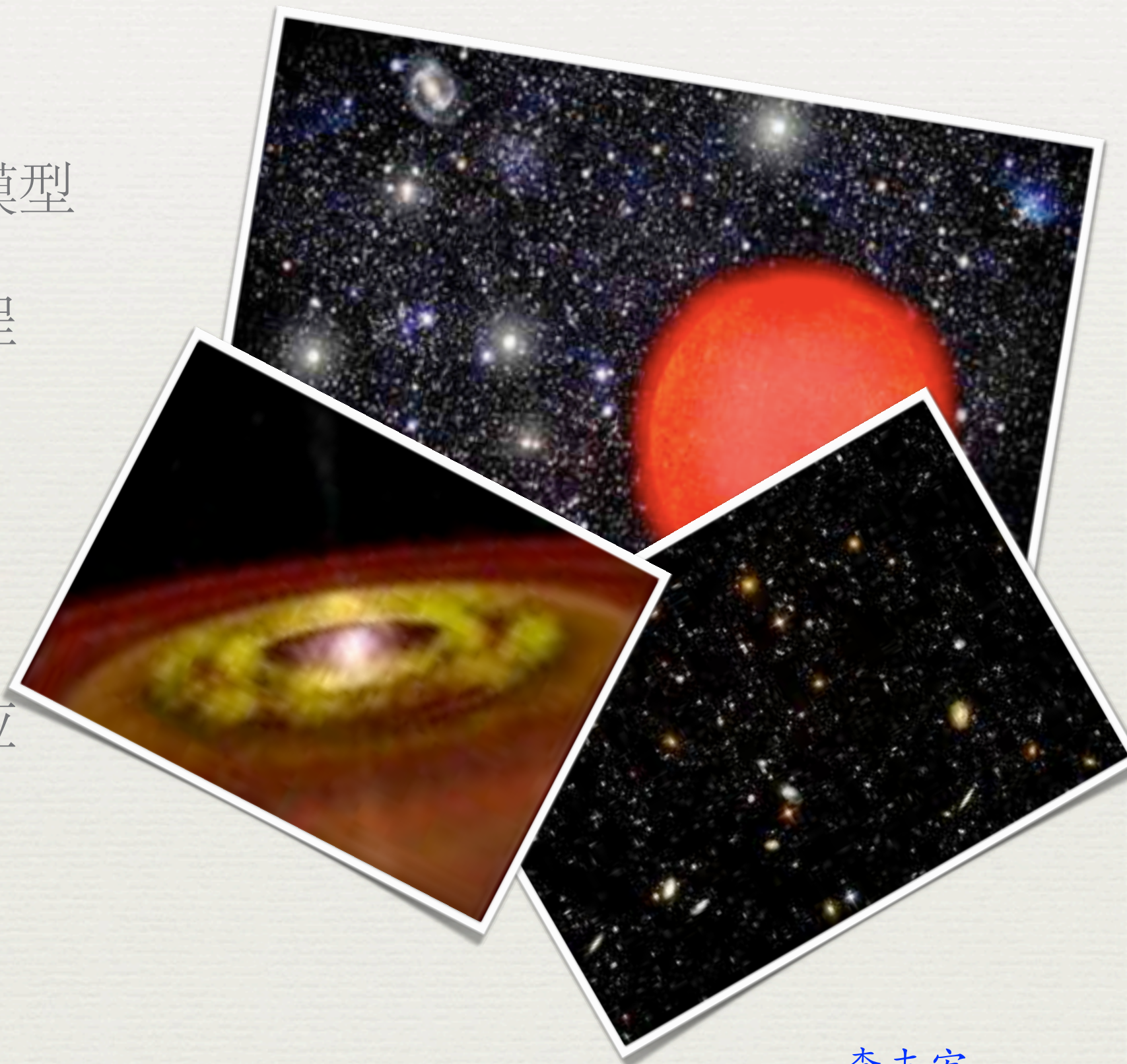
锂元素从何而来？

- ◆ 大爆炸或是恒星中合成？
- ◆ Li、Be、B三种元素及其同位素的比结合能都比临近的元素较小，它们很容易放出能量成为比结合能大的元素。
- ◆ 锂元素是大爆炸时合成的，是大爆炸的“遗迹”。
- ◆ 由大爆炸核合成理论计算可以得到75%的氢、24.9%的氦，氘/氢为 2.64×10^{-5} ， ${}^7\text{Li}/\text{H}$ 为 4.22×10^{-10} 。
- ◆ ${}^6\text{Li}$ 与 ${}^7\text{Li}$ 的比例大概为 10^{-5}

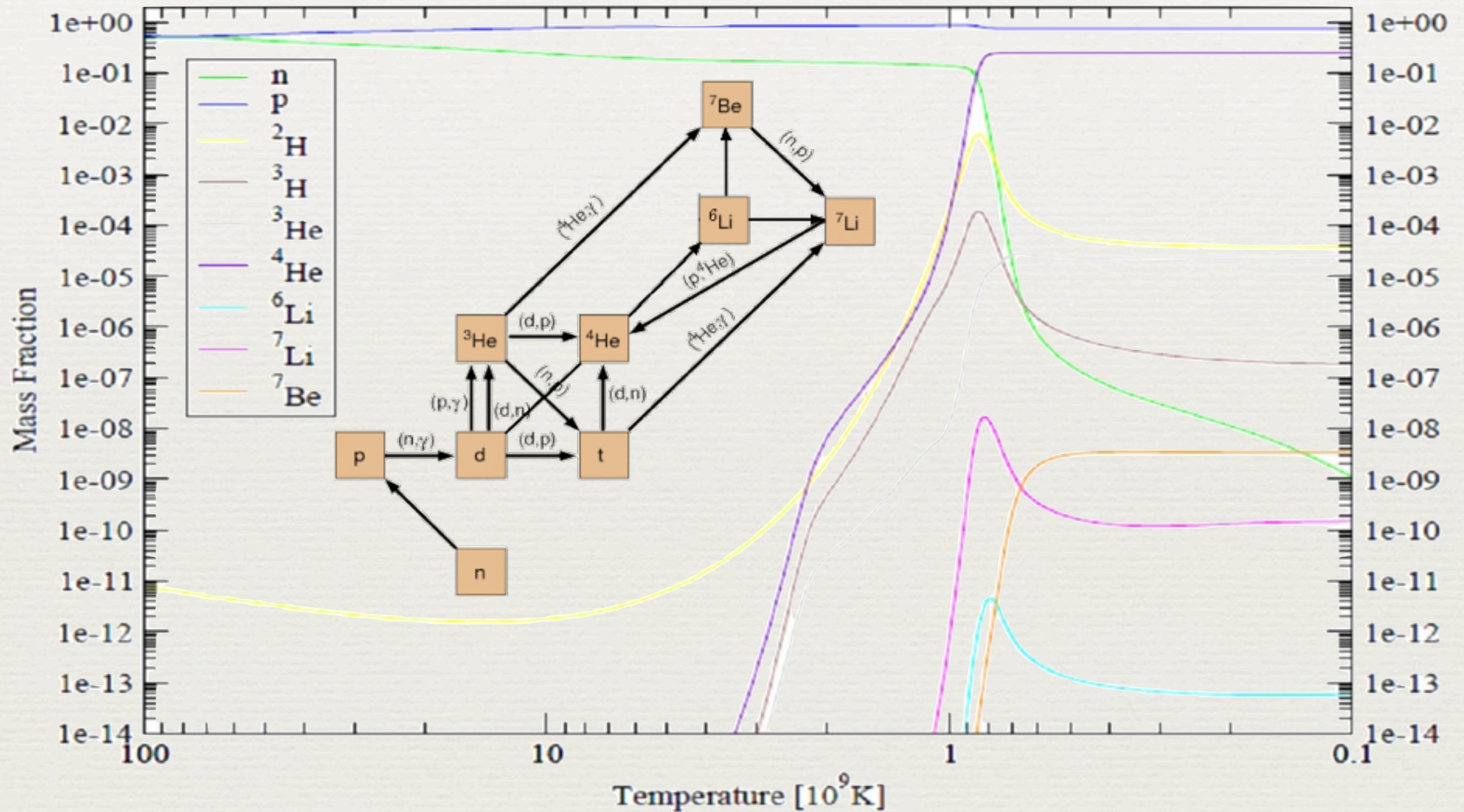


研究锂元素丰度的意义

- ◆ 检验大爆炸核合成模型
- ◆ 研究恒星的进化过程
- ◆ 标定恒星的年龄
- ◆ 空间探测, 外星生命
- ◆ 活动星系的大气效应
- ◆ 恒星锂平台的研究



大爆炸核合成产生的元素丰度



二代恒星的产生

- ◆ 2008年美国科学家声称他们观测到一种极其罕见的天象，两颗古老的恒星正在诞生新的第二代行星，这在人类的天文观测史上尚属首次。
- ◆ 美国加州大学洛杉矶分校的天文学家卡尔-梅丽斯表示，锂元素缺乏会透露恒星的真实年龄，因为年轻的恒星储存了大量的锂元素，当它们在成长的过程中会不断燃烧消耗锂。
- ◆ 锂元素的大量消耗和光谱测量表明恒星们的确是年岁比较大了。



找外星人变容易？

蕴涵低量锂元素恒星能变太阳系



- ✦ 天文学家最近发现，有行星的恒星，其锂丰度不到原始丰度的1%，而没有已发现行星的恒星，其锂丰度范围要大一些。
- ✦ 这一研究成果将能够戏剧性地减少探测其他类地行星所需的时间。
- ✦ 2001年，Garik Israelian领导的一个研究团队，观测了银河系附近46颗拥有行星的恒星，以及116颗迄今尚未发现行星环绕的恒星。
- ✦ 研究人员报告说，对46颗恒星的光谱进行的分析显示出较低的锂含量，而其他116颗恒星则均具有较高的锂含量。

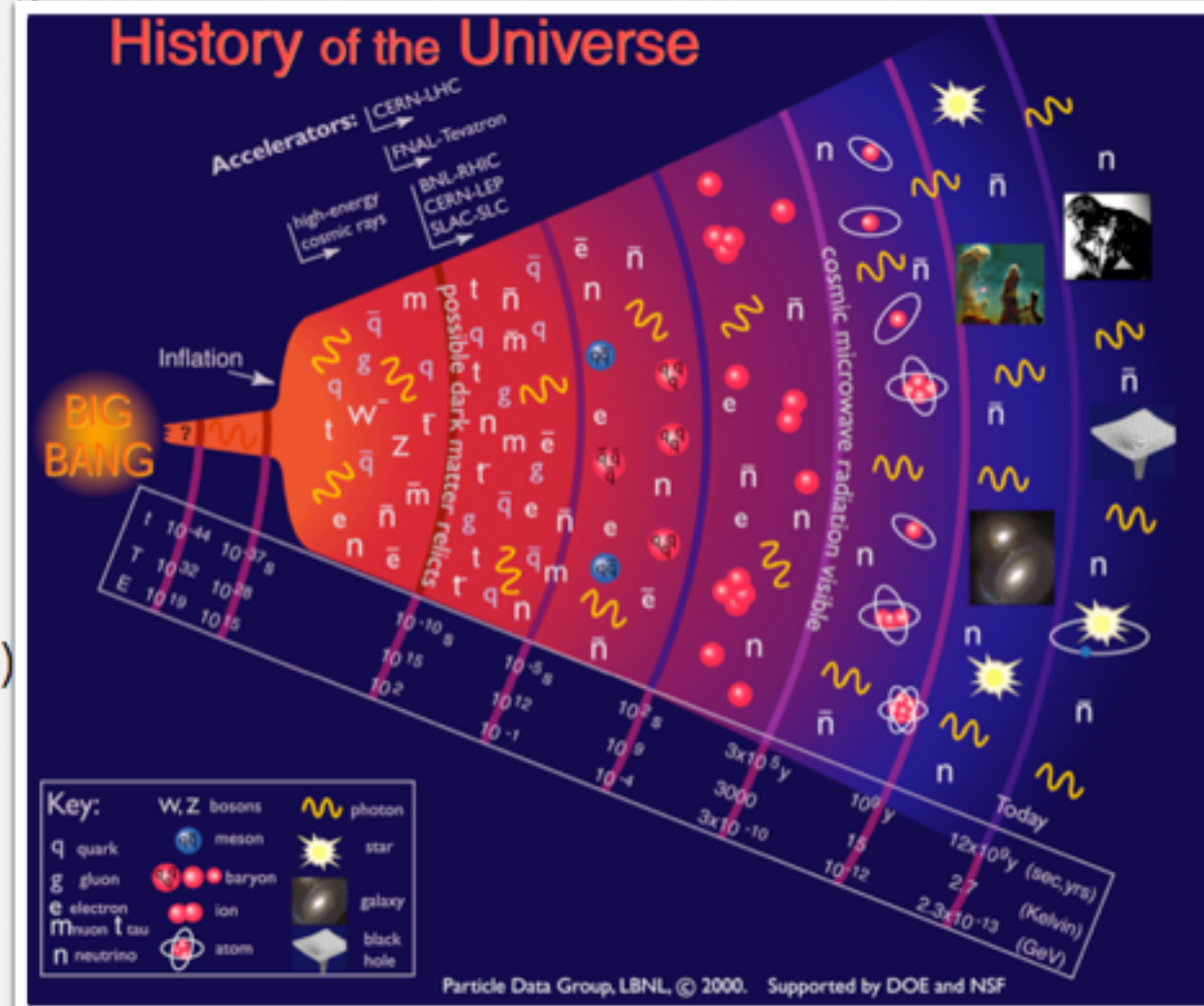
锂难题

Calculation:

Y_p	\sim	0.248
D/H	\sim	$2.64 \cdot 10^{-5}$
$^3\text{He}/\text{H}$	\sim	$1.06 \cdot 10^{-5}$
$^7\text{Li}/\text{H}$	\sim	$4.22 \cdot 10^{-10}$
$^6\text{Li}/^7\text{Li}$	\sim	10^{-5}

Observation:

Y_p	\sim	0.249 ± 0.009 (Olive & Skillman 2004)
D/H	\sim	$2.78^{+0.44}_{-0.38}$ (Kirkmann et al. 2003)
$^3\text{He}/\text{H}$	\sim	—
$^7\text{Li}/\text{H}$	\sim	$1.23^{+0.68}_{-0.32} \cdot 10^{-10}$ (Ryan et al. 2000)
$^6\text{Li}/^7\text{Li}$	\sim	10^{-2}



- ♦ ^7Li 的含量只有大爆炸核合成理论预言的三分之一。
- ♦ ^6Li 的含量比预言的高1000倍。

大爆炸模型错了吗？

大爆炸模型是错误的？

- ◆ “如果锂丰度的偏差确实存在而且无法找到合理的天体物理解释的话，那我们的麻烦就大了，”美国俄亥俄州立大学的天文学家加里·斯泰格曼（Gary Steigman）说。
- ◆ 测量有问题？原因是 ^6Li 的光谱信号会和更普遍的 ^7Li 的光谱信号交叠在一起，而且后者的强度是前者的20倍。
- ◆ 阿斯普伦德的小组使用更高分辨的望远镜又观测了10颗恒星。目前他们得到的结果更糟，许多恒星的 ^6Li 含量甚至比第一批观测的还要高。
- ◆ 研究超对称的粒子物理学家比较高兴，他们认为只有引入新的粒子才能解决锂的丰度问题。2004年法国蒙彼利埃大学的卡尔斯顿·让达齐克（Karsten Jedamzik）发现，如果在宇宙的最初几分钟内传播引力的引力子具有伴随粒子的话，那么这些伴随粒子的衰变就会影响中子和质子之间的相互作用，从而可以“一箭双雕”地解决 ^6Li 和 ^7Li 的问题。阿斯普伦德说，有一个粒子物理学家甚至告诉他， ^6Li 丰度的观测结果“也许是现今支持超对称的最强有力证据”。
- ◆ 也许真相很快就能大白于天下。有科学家提出，其实没有必要为了锂元素问题的粒子物理或者天体物理解释争得面红耳赤，也许一年之内谁是谁非就能见分晓了。现在全世界的目光都聚焦在了欧洲的大型强子对撞机上，它的主要目的之一就是寻找支持超对称的证据。

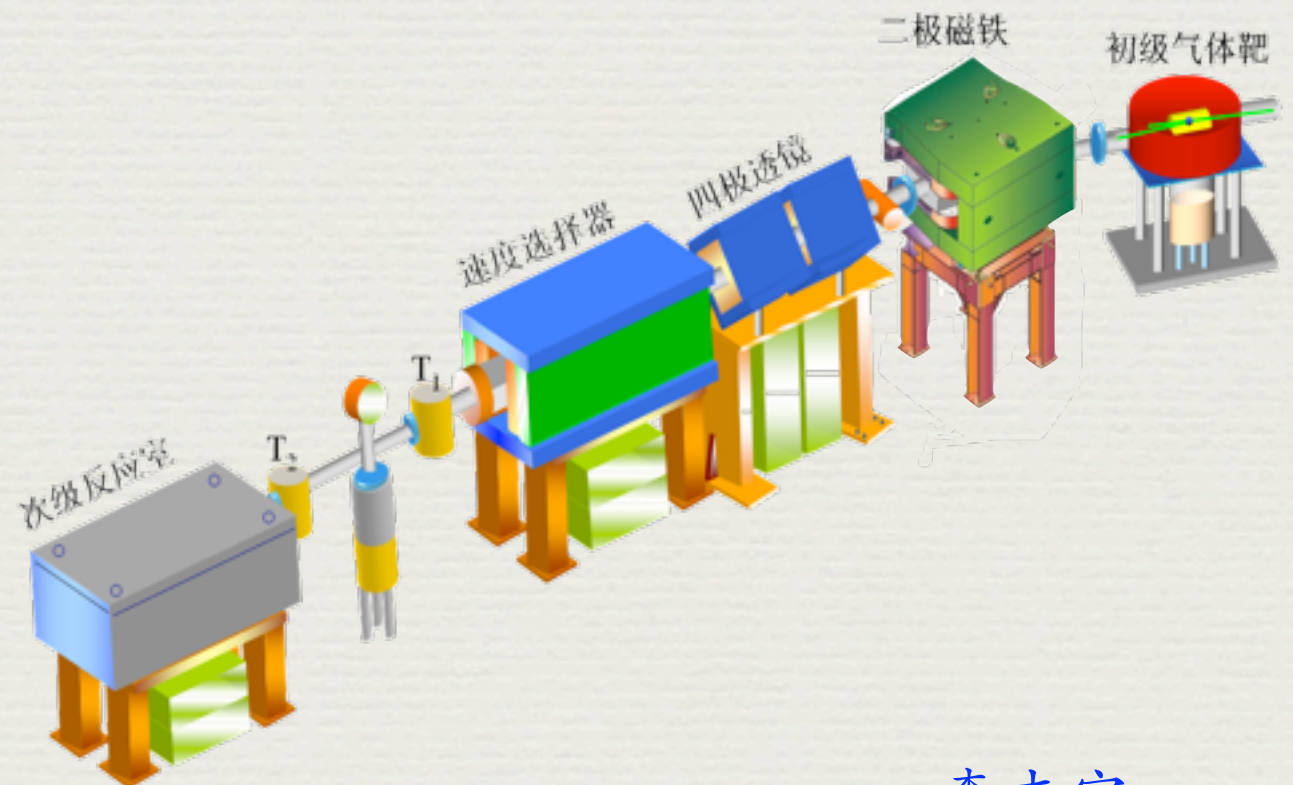
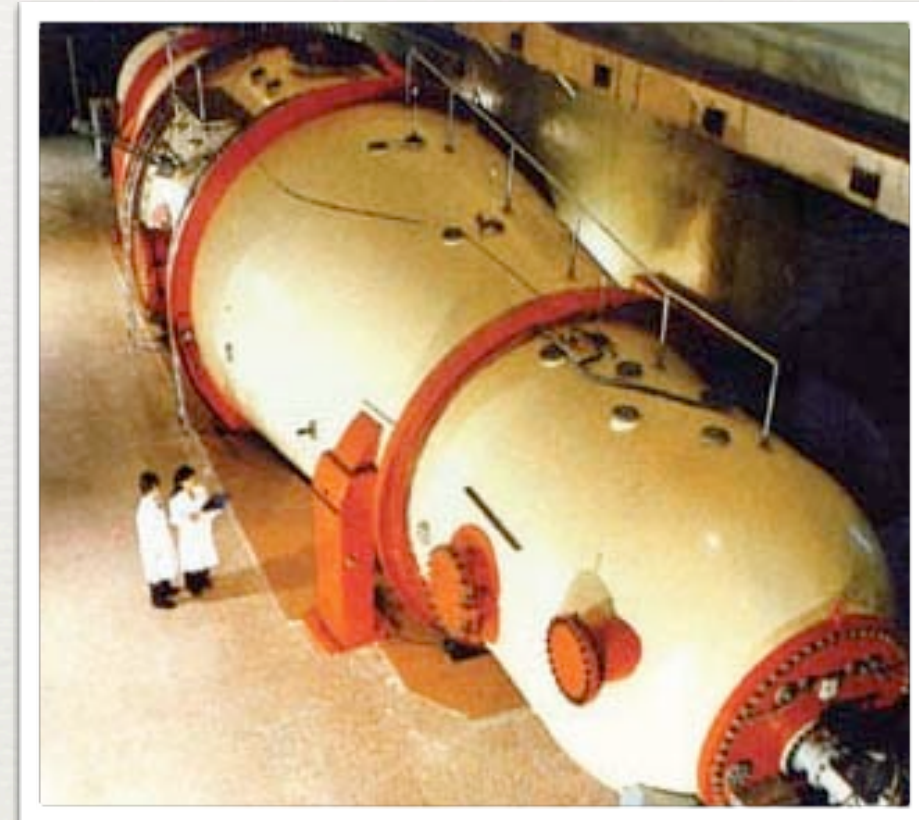
核物理学家被抢了风头

- ♦ 元素丰度是核天体物理研究课题。
- ♦ 天文学家的观测数据核物理学家的反应率数据是研究元素丰度的重要途径。
- ♦ 核物理学家测量的反应和衰变率有力地支持了宇宙的大爆炸模型。
- ♦ 检验锂丰度正确与否，该先由核物理学家做起。

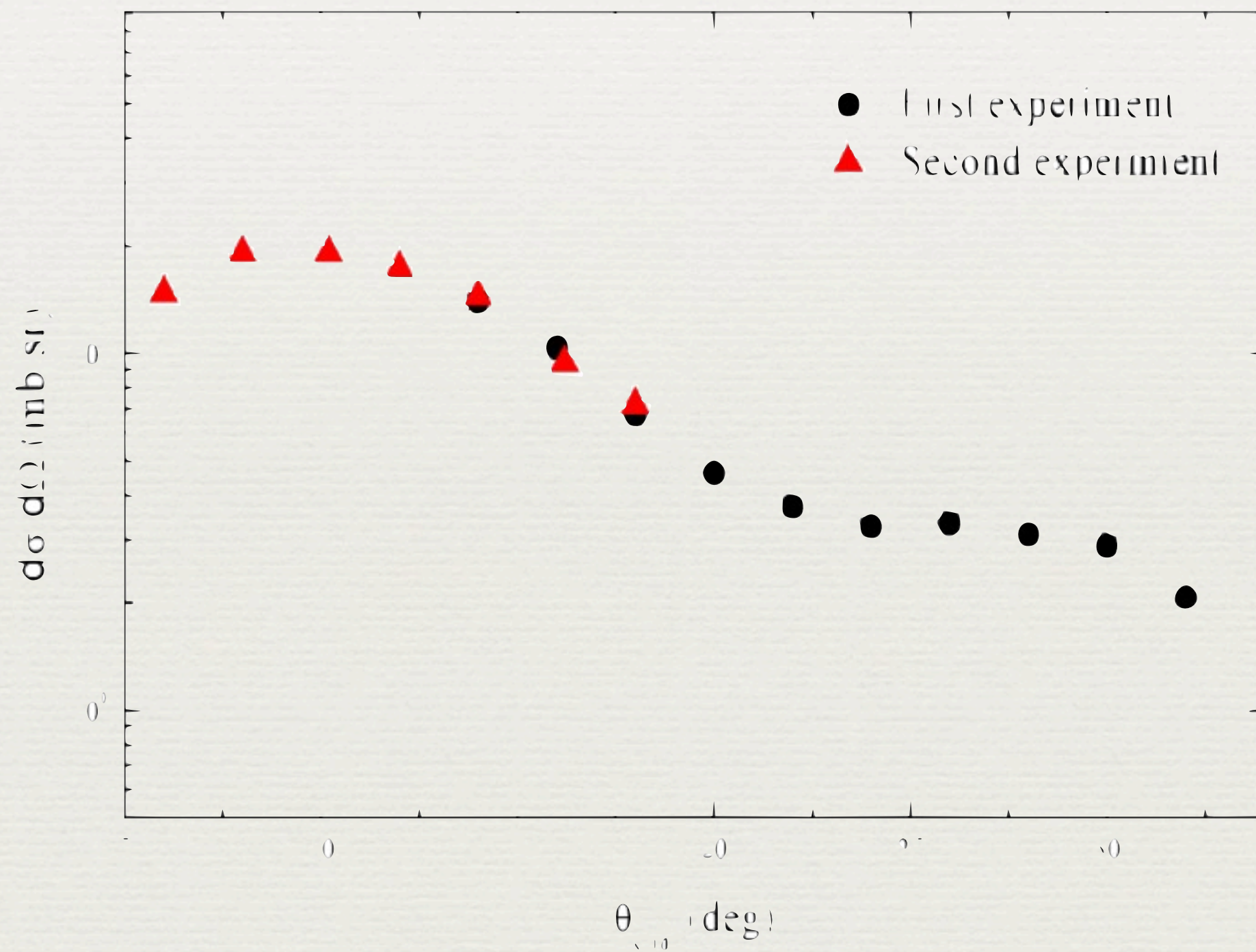


在串列加速器上完成的核反应测量

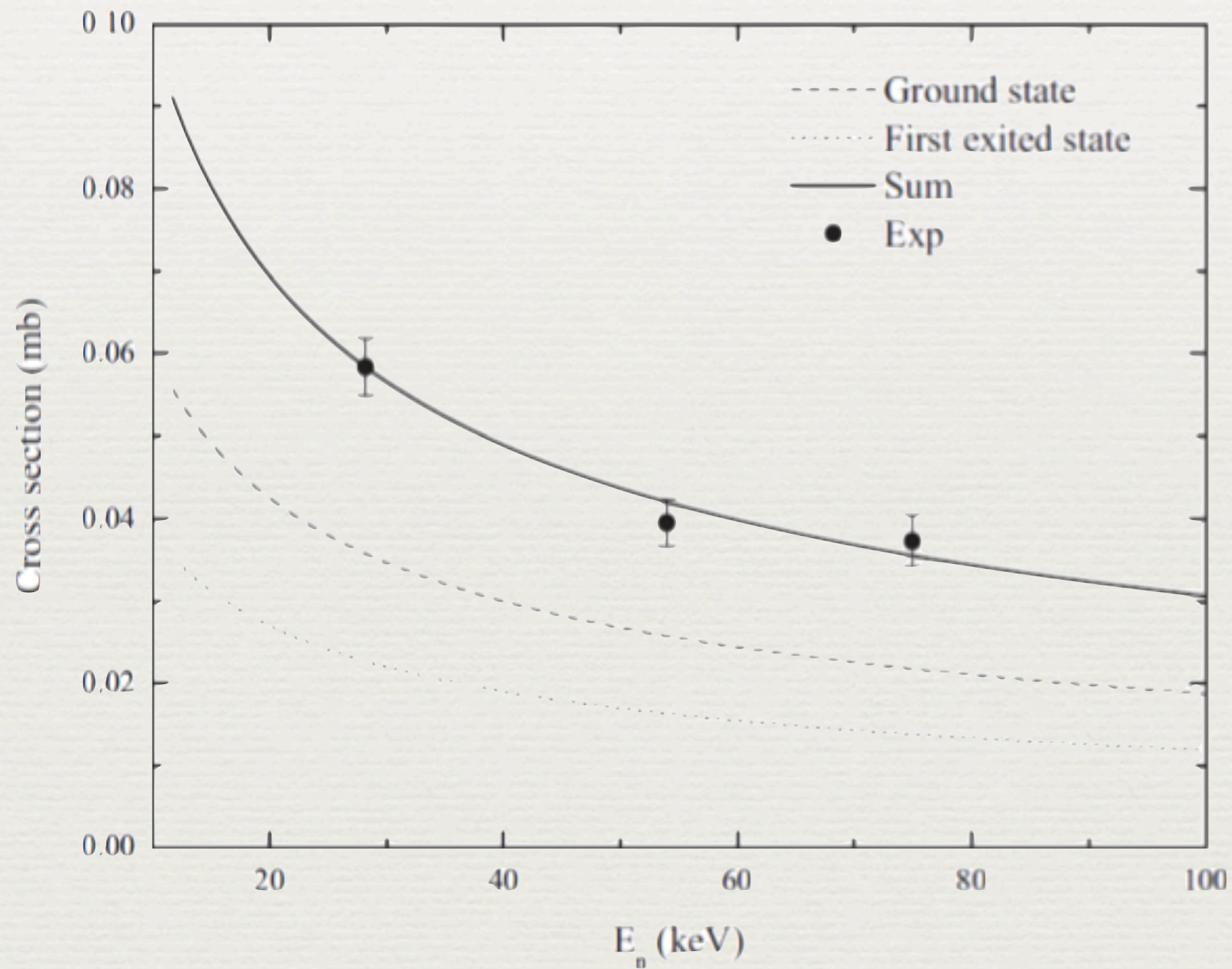
- ✦ ${}^7\text{Li}({}^6\text{Li}, {}^7\text{Li}){}^6\text{Li} \Rightarrow {}^6\text{Li}(\text{n}, \gamma){}^7\text{Li}$
- ✦ ${}^6\text{He}(\text{d}, \text{n}){}^7\text{Li} \Rightarrow {}^6\text{He}(\text{p}, \gamma){}^7\text{Li}$
- ✦ ${}^{13}\text{C}({}^7\text{Li}, {}^8\text{Li}){}^{12}\text{C} \Rightarrow {}^7\text{Li}(\text{n}, \gamma){}^8\text{Li}$
- ✦ ${}^8\text{Li}(\text{d}, \text{p}){}^9\text{Li} \Rightarrow {}^8\text{Li}(\text{n}, \gamma){}^9\text{Li}$
- ✦ ${}^8\text{Li}(\text{d}, \text{n}){}^9\text{Be} \Rightarrow {}^8\text{Li}(\text{p}, \gamma){}^9\text{Be}$
- ✦ ${}^{13}\text{C}({}^9\text{Be}, {}^8\text{Li}){}^{14}\text{N} \Rightarrow {}^8\text{Li}(\text{p}, \gamma){}^9\text{Be}$
- ✦ ${}^8\text{Li}(\text{p}, \text{d}){}^7\text{Li}, {}^6\text{He}(\text{p}, \text{n}){}^6\text{Li}$



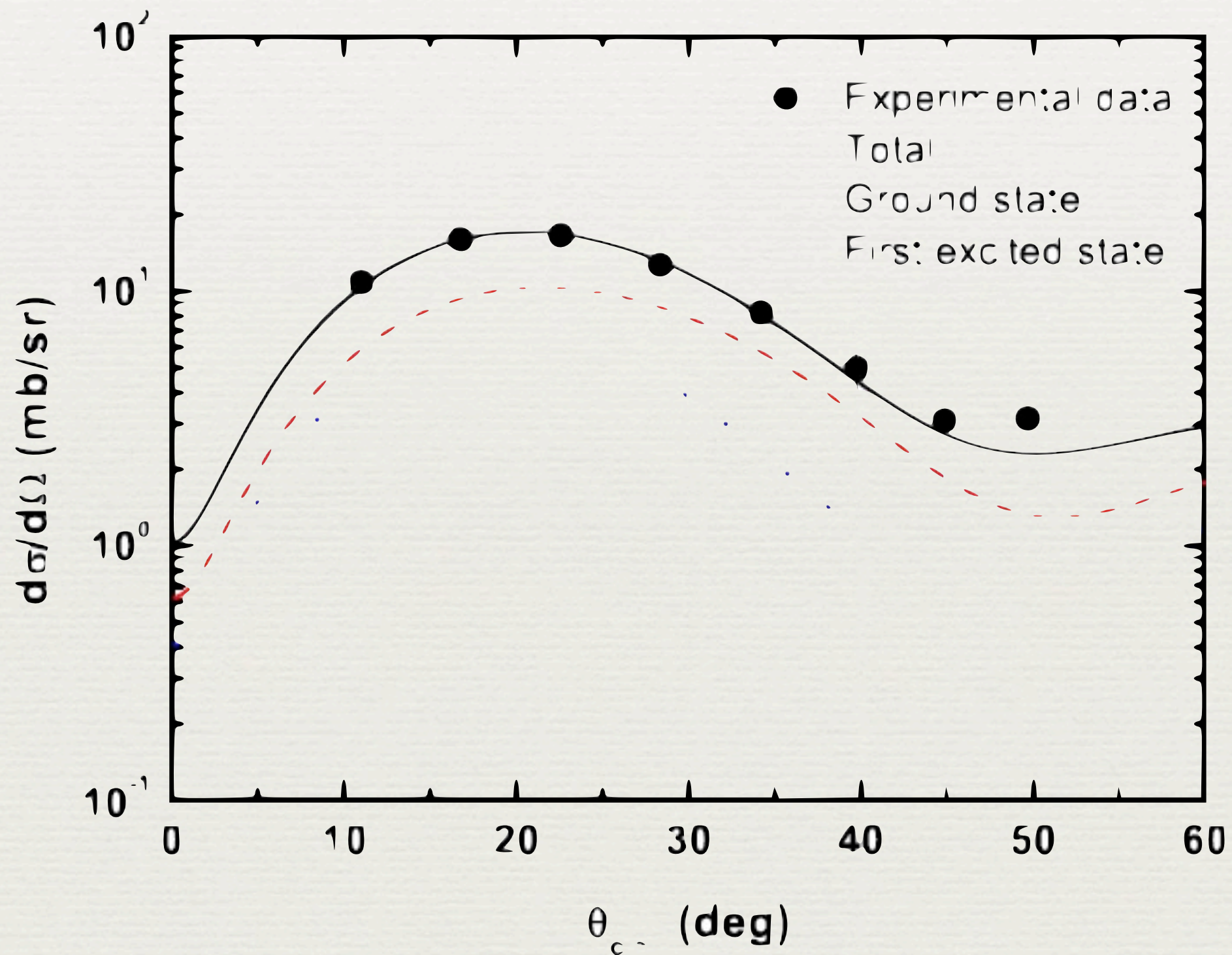
${}^7\text{Li}({}^6\text{Li}, {}^7\text{Li}){}^6\text{Li}$ 反应角分布



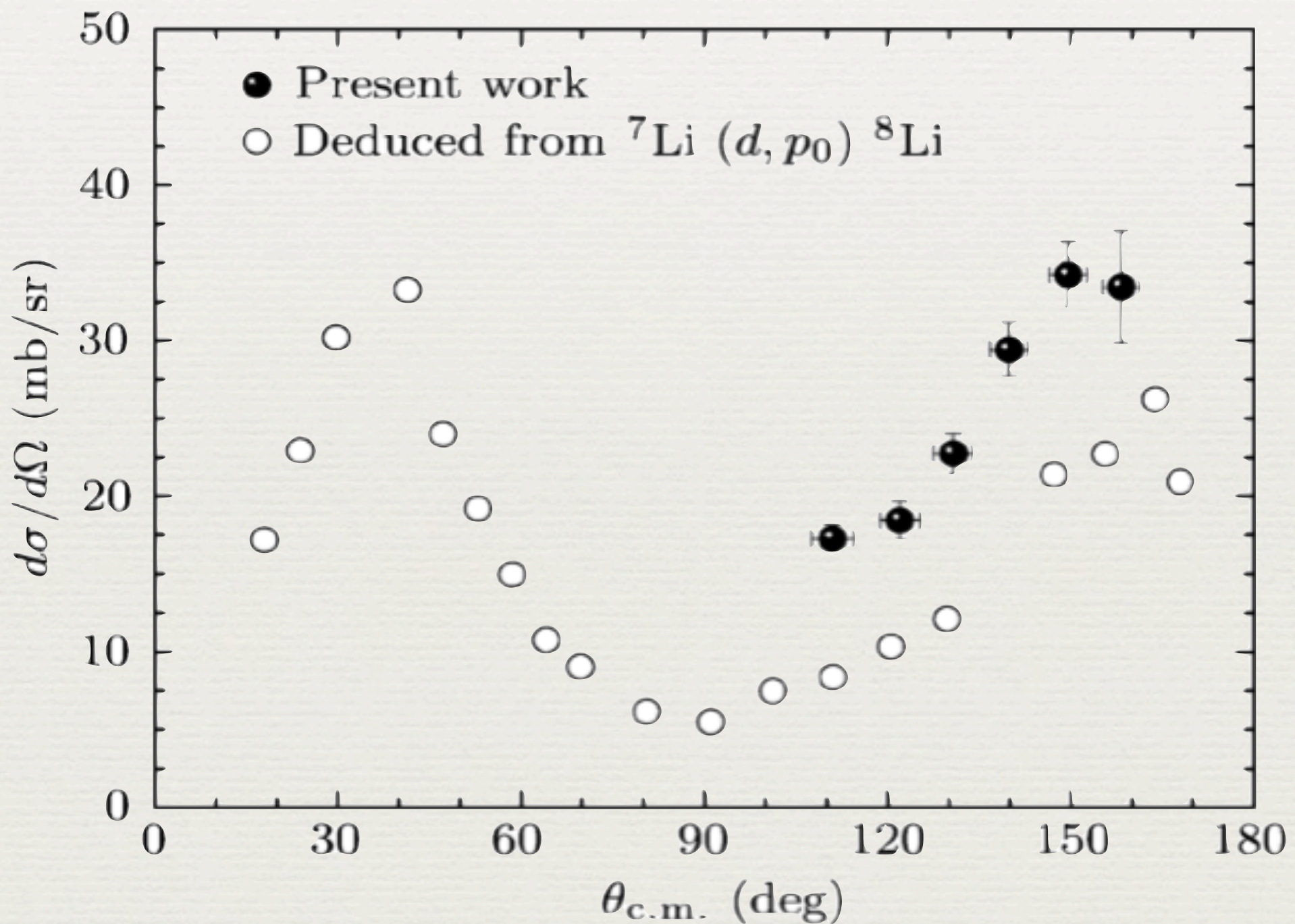
${}^6\text{Li}(n,\gamma){}^7\text{Li}$ 反应的激发函数



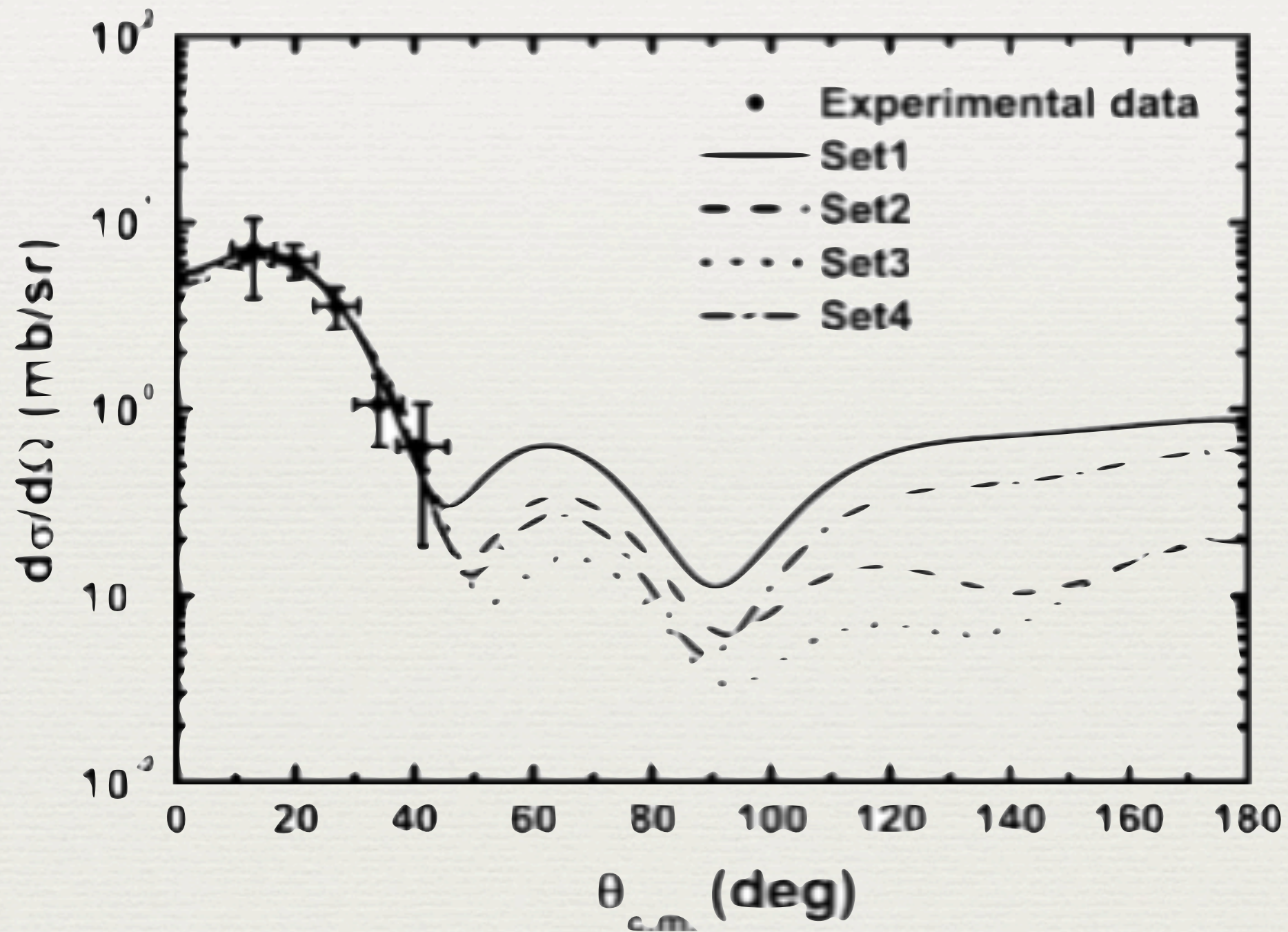
$^2\text{H}(^6\text{He}, ^7\text{Li})\text{n}$ 反应角分布



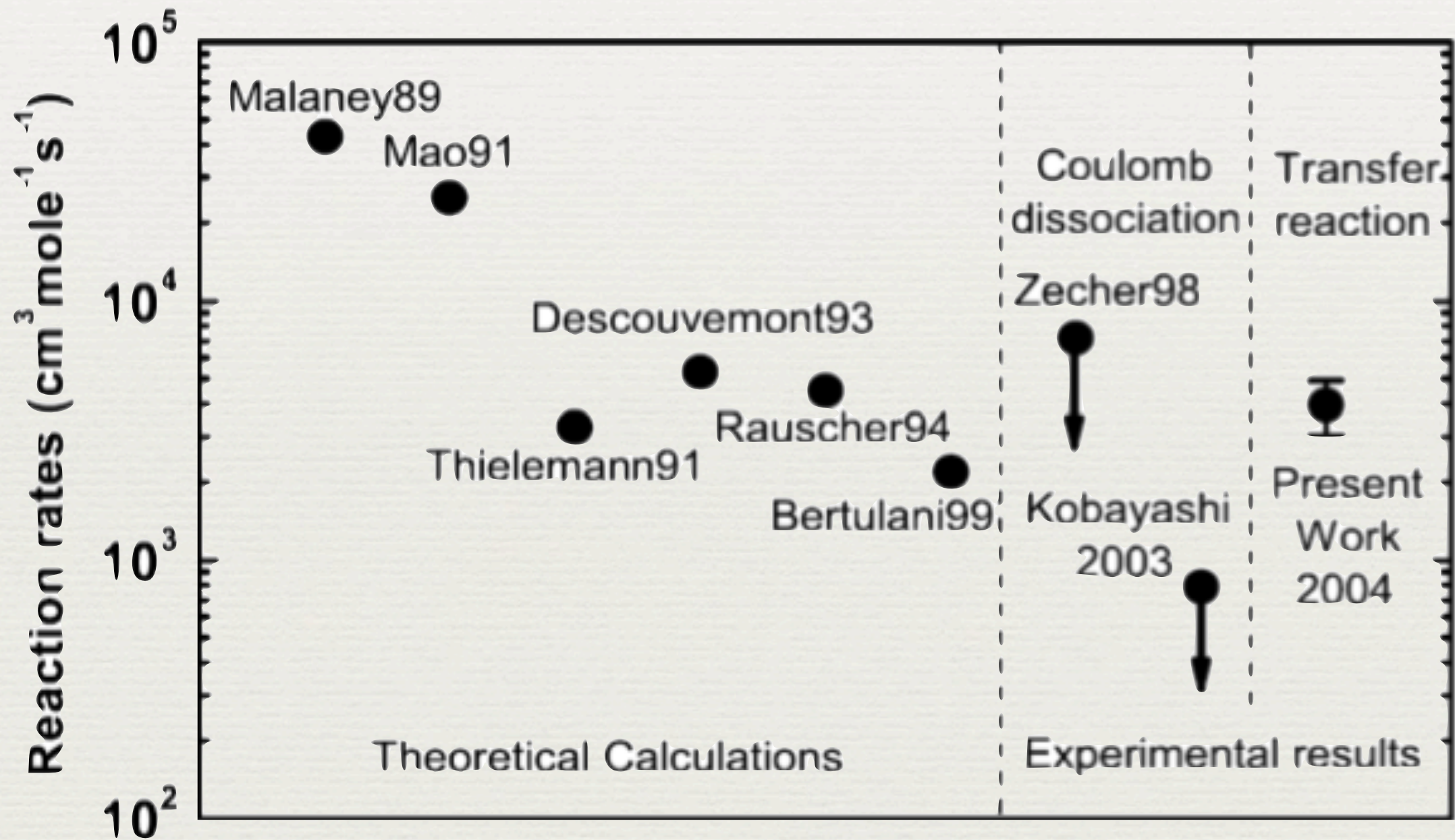
$^8\text{Li}(p,d)^7\text{Li}$ 反应的角分布



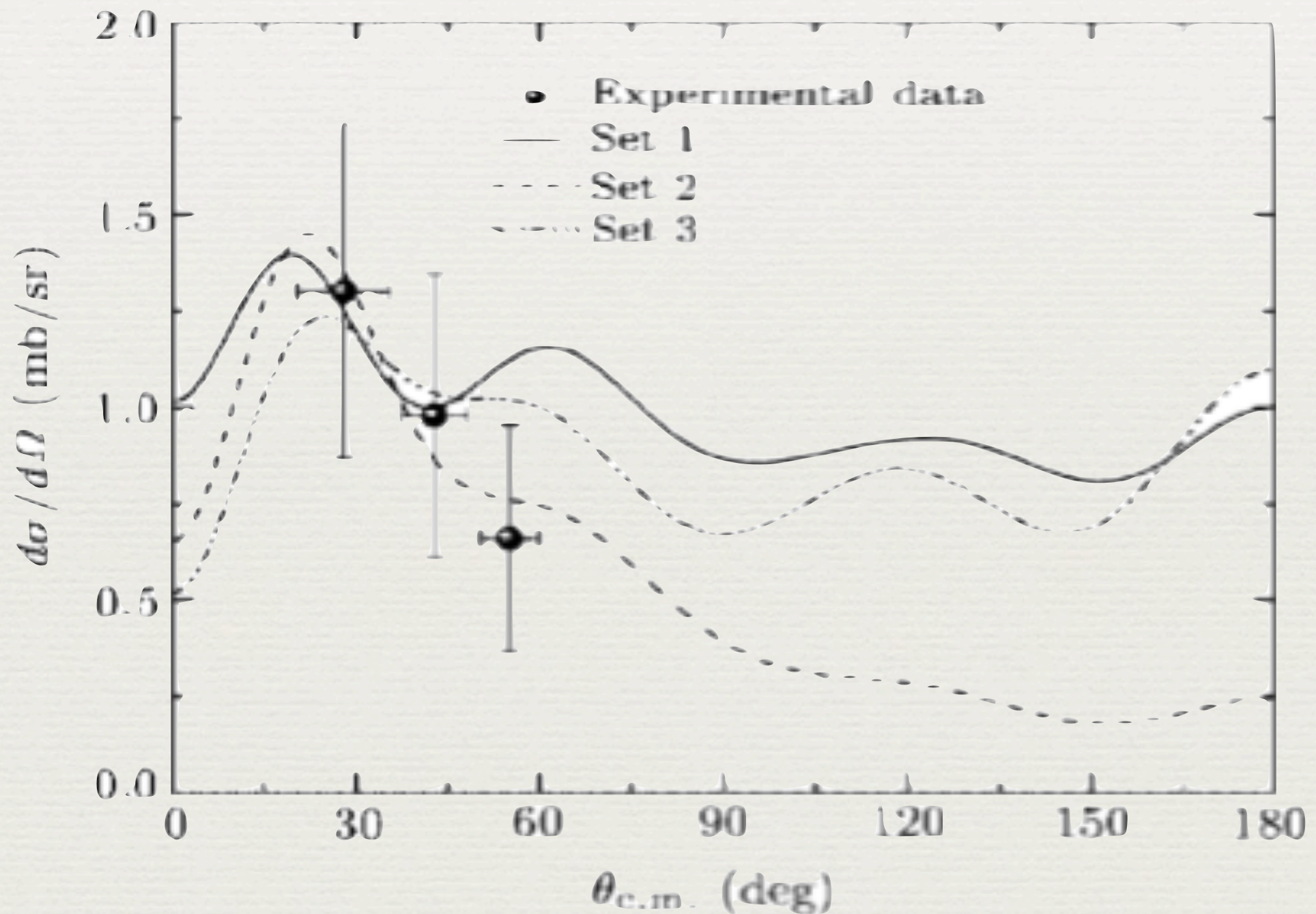
$^8\text{Li}(d,p)^9\text{Li}$ 反应的角分布



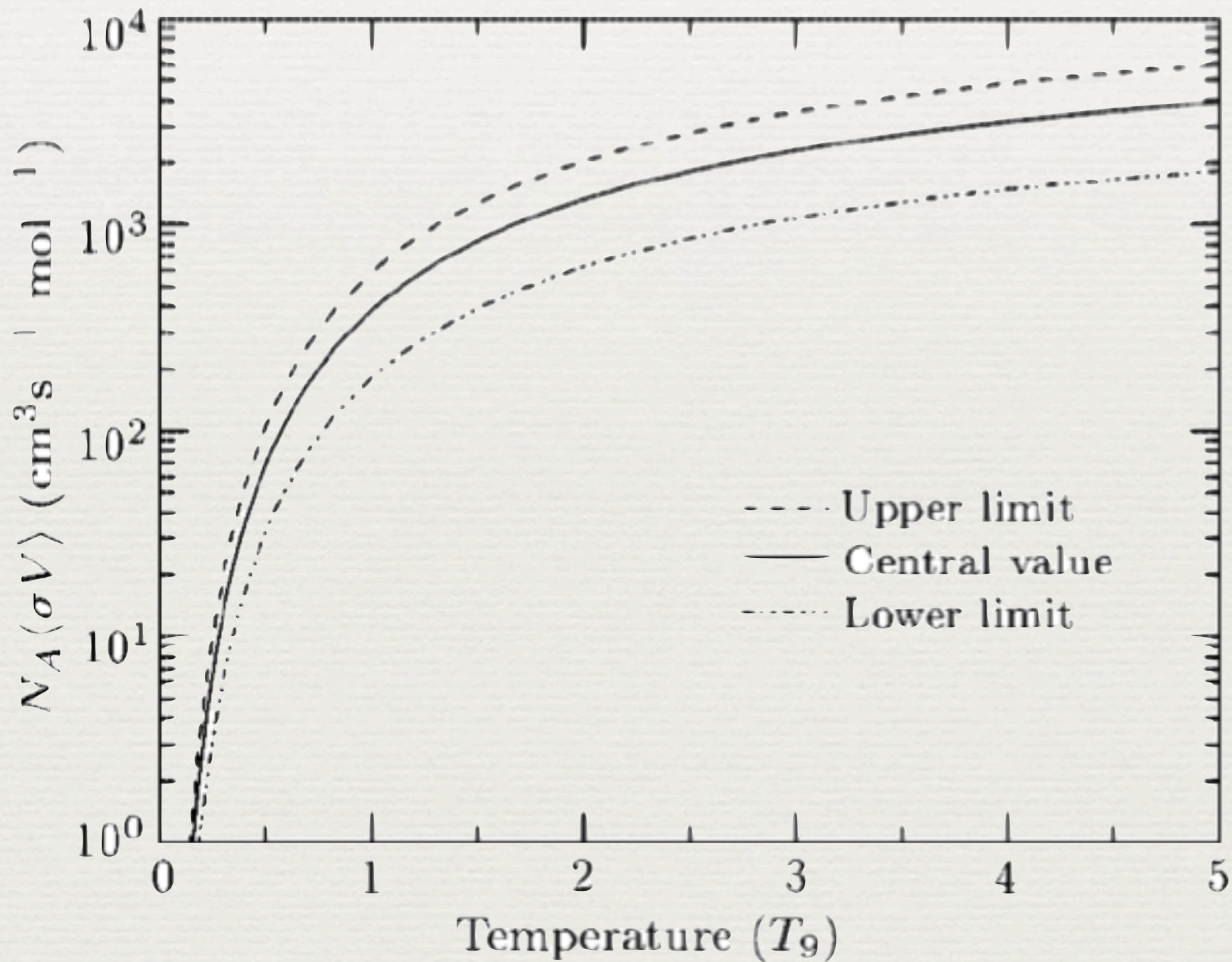
$^8\text{Li}(n,\gamma)^9\text{Li}$ 天体物理反应率



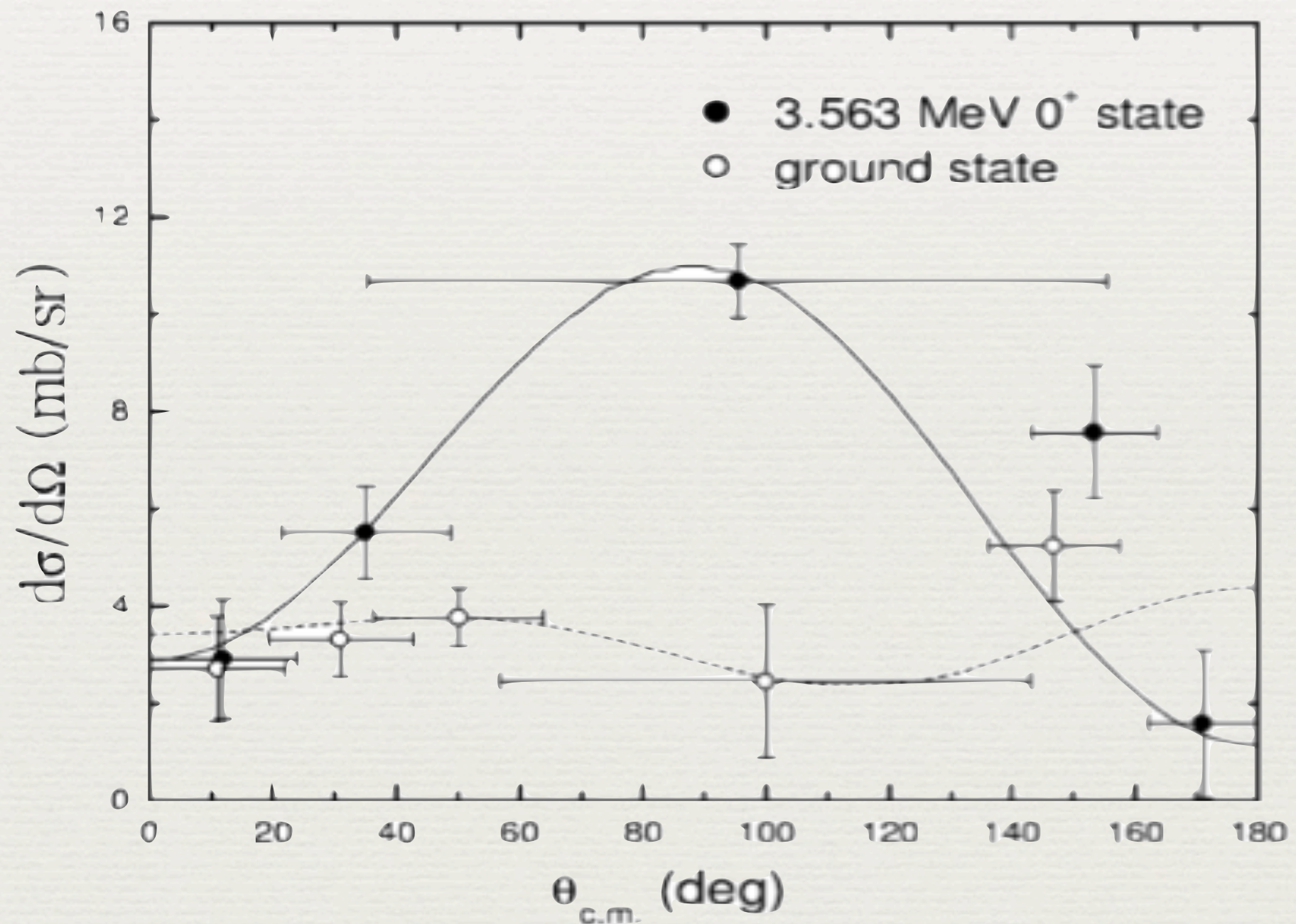
$^8\text{Li}(d,n)^9\text{Be}$ 反应的角分布



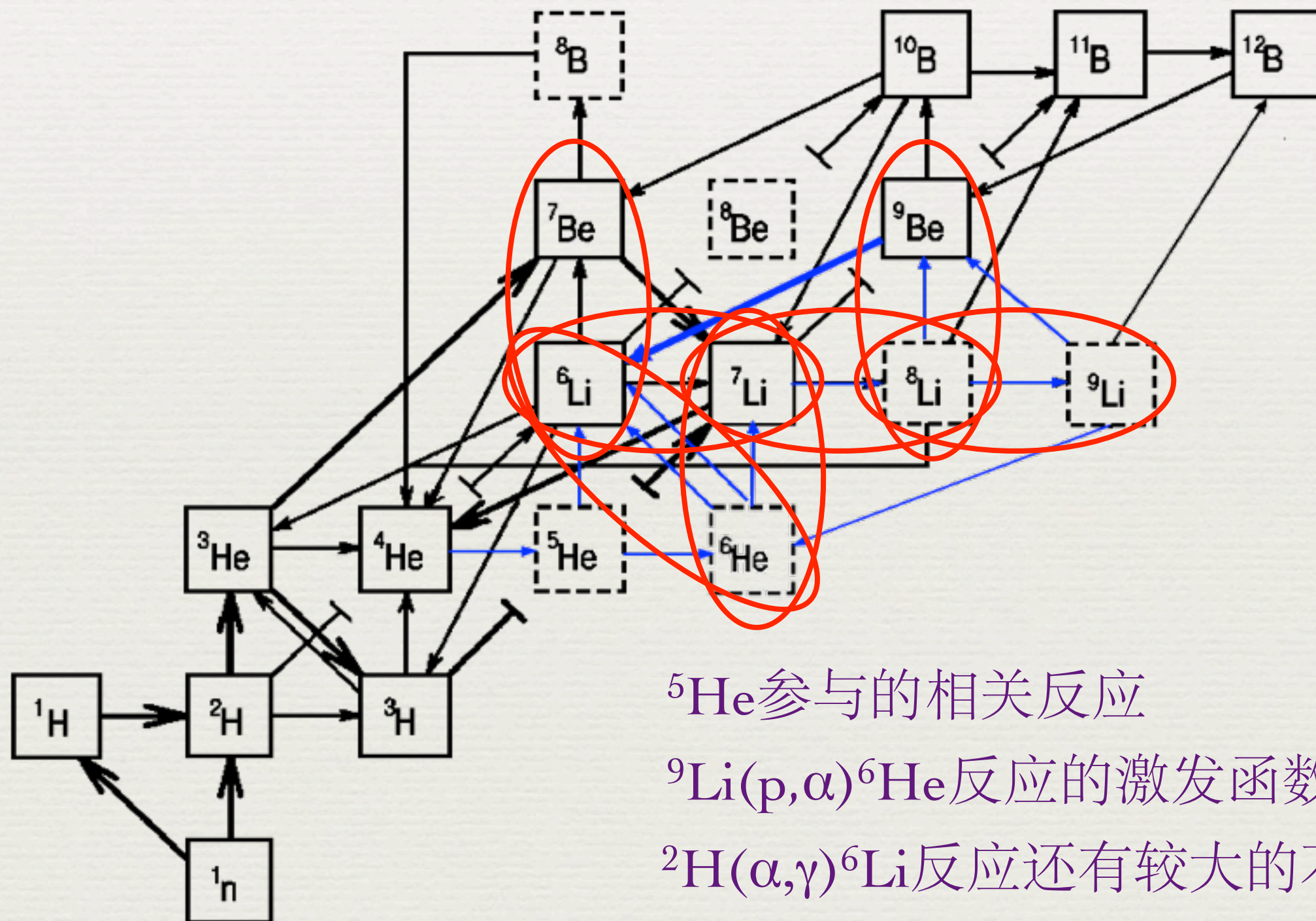
$^8\text{Li}(p,\gamma)^9\text{Be}$ 天体物理反应率



${}^6\text{He}(p,n){}^6\text{Li}$ 反应的角分布



实验研究现状

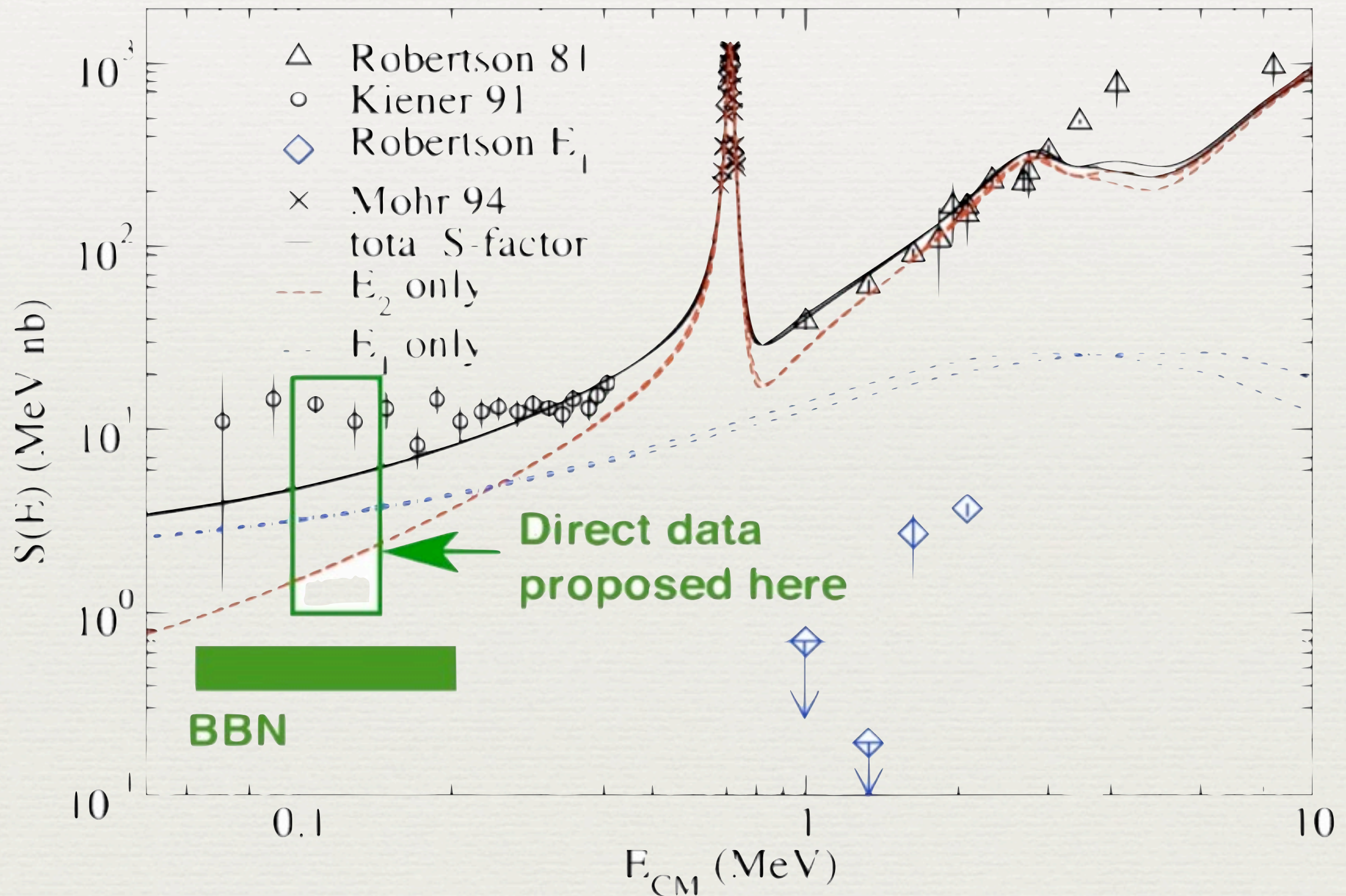


^5He 参与的相关反应

$^9\text{Li}(p, \alpha)^6\text{He}$ 反应的激发函数

$^2\text{H}(\alpha, \gamma)^6\text{Li}$ 反应还有较大的不确定性

${}^2\text{H}(\alpha,\gamma){}^6\text{Li}$ 反应的天体物理S因子



报告总结

- ◆ 报告介绍了恒星中锂丰度及“锂难题”的研究状况。
- ◆ 给出了由核反应测量解决“锂难题”的方法。
- ◆ 介绍了我们在串列加速器上做的实验工作。
- ◆ 用图表展示了本工作离解决“锂难题”存在的差距。



谢谢！