



安徽大學
Anhui University



第一屆安徽省核物理
研討會

特洛伊木马方法研究闕下共振

王雪建¹ 文群剛¹ 李成波² 郭建友¹

¹(安徽大學物理與光電工程學院)

²(北京市科學技術研究院輻射技術研究所)





01

研究背景及意义

02

特洛伊木马方法

03

数据分析与讨论

04

总结

01

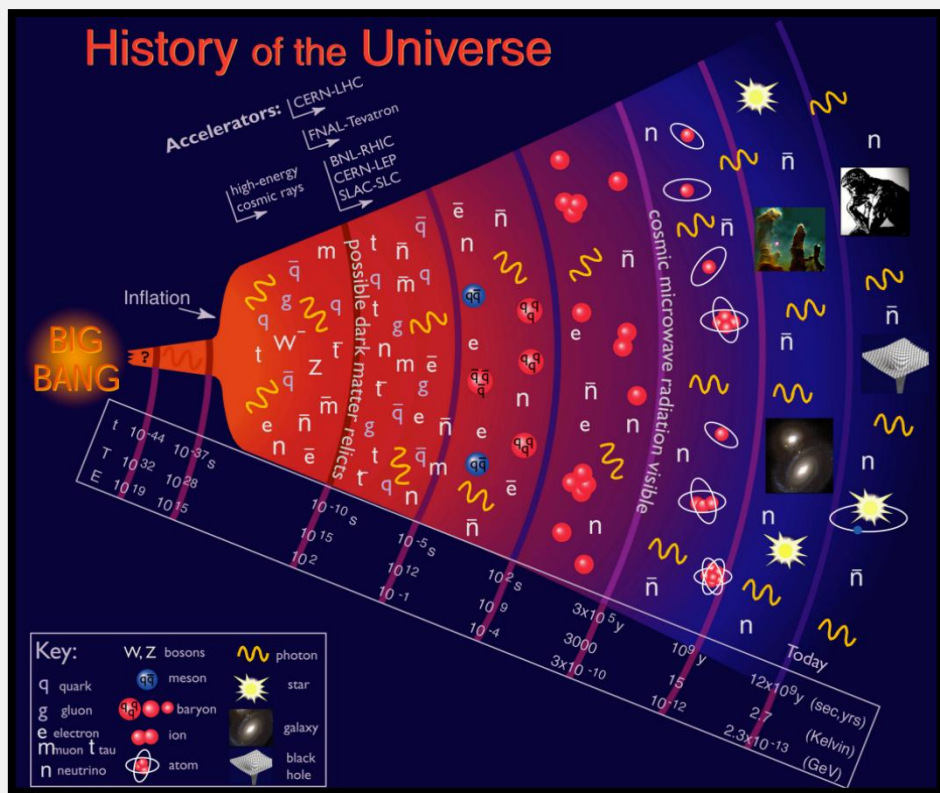
研究背景及意义

Research Background and Significance

—— 至诚、至坚、博学、笃行 ——



研究背景及意义



^9Be 原始丰度及其演化不仅是检验宇宙大爆炸原初核合成不同模型之间差异的**关键性参数**，同时可以作为恒星演化过程中内部运作机制的**精密探针**。

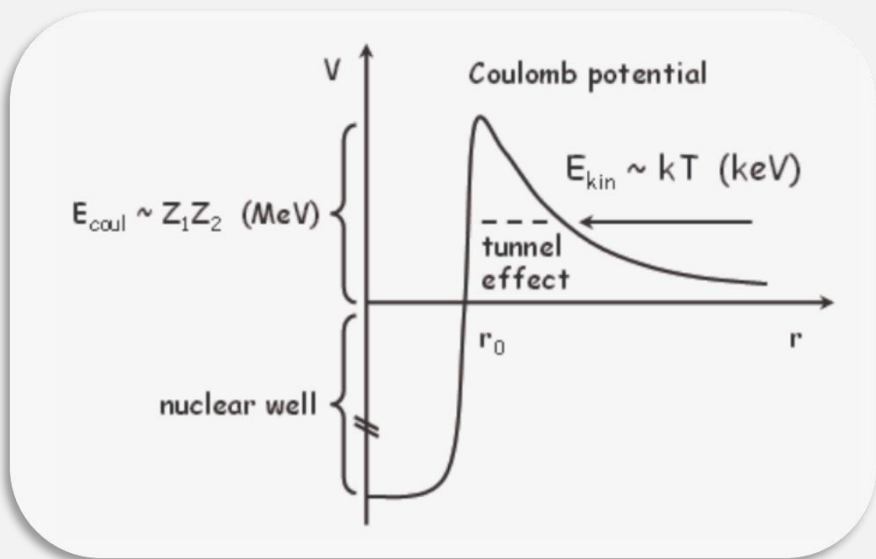
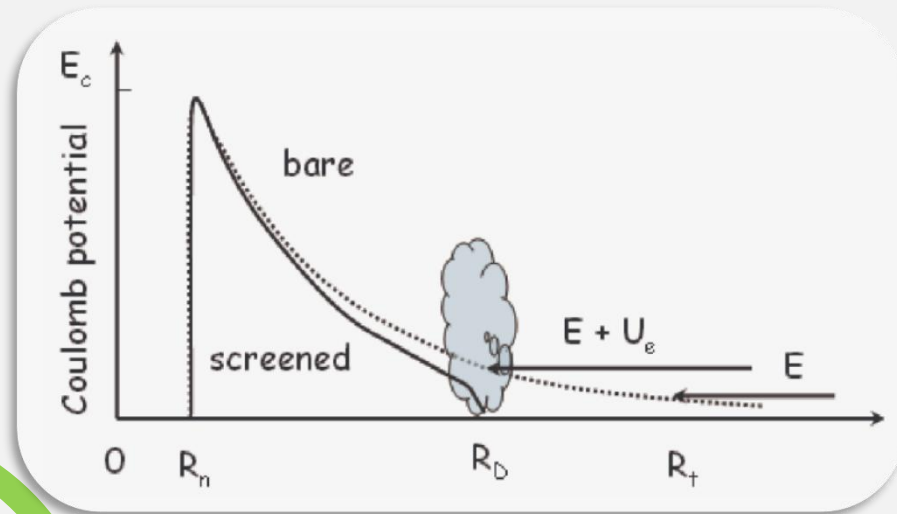
质子引发的(p, α)反应过程是天体环境中 ^9Be 破坏过程的一个主要反应道， $^9\text{Be}(p,\alpha)^6\text{Li}$ 在天体能区10~100 keV的裸核反应截面测量具有重要的意义。

大爆炸理论描述的宇宙演化



直接测量所遇到的问题

库仑位垒抑制效应反应截面
随能量的降低而近指数地下降，
在反应截面较小的能区实验测量
有些困难。



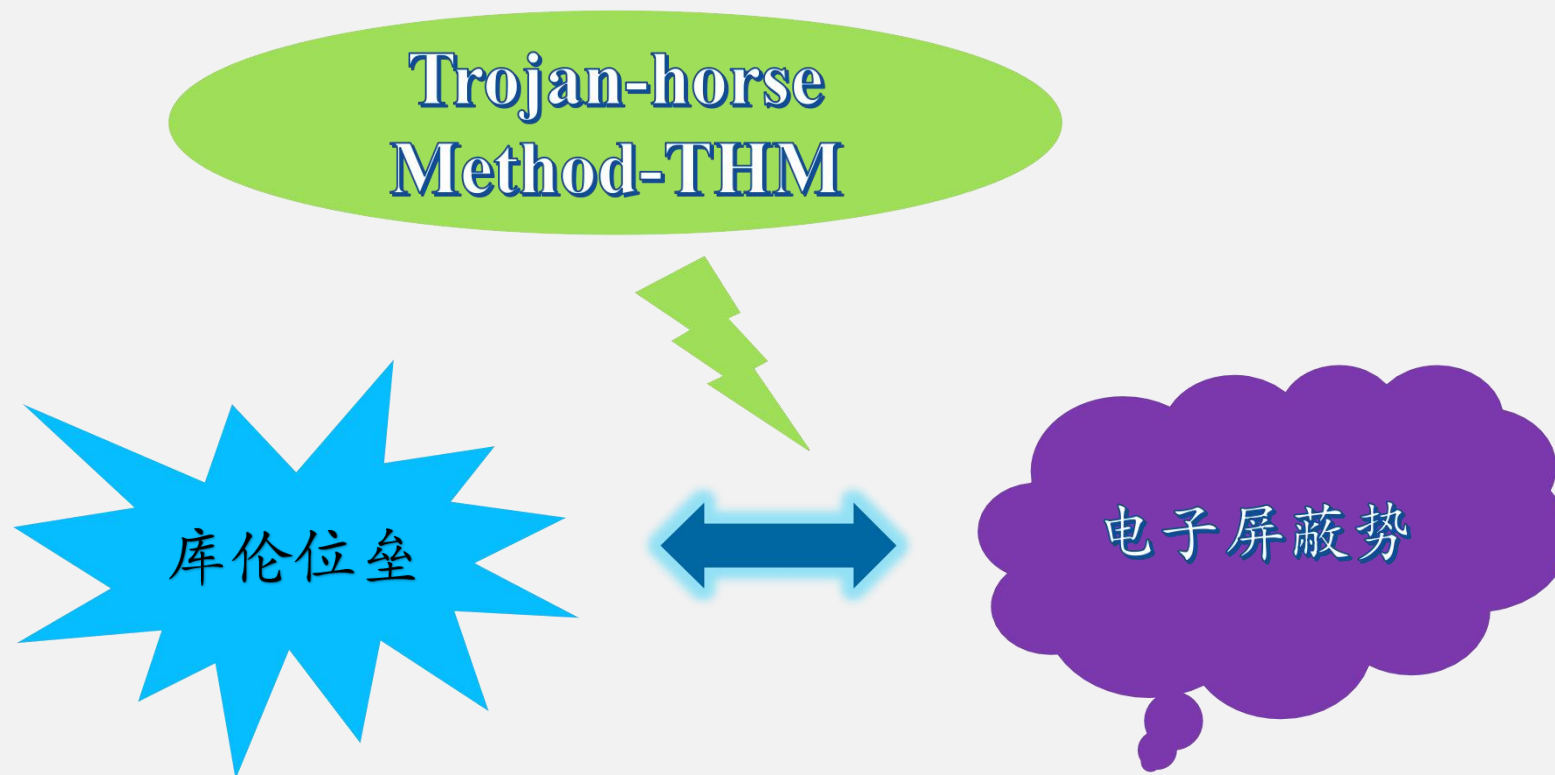
电子屏蔽效应抬升反应截面使其偏离裸核反应截面走势，给直接实验测量造成影响。



研究背景及意义



间接测量



通过THM得到的裸核反应数据进一步分析将有助于研究阈下共振对天体能区反应截面的影响。

02

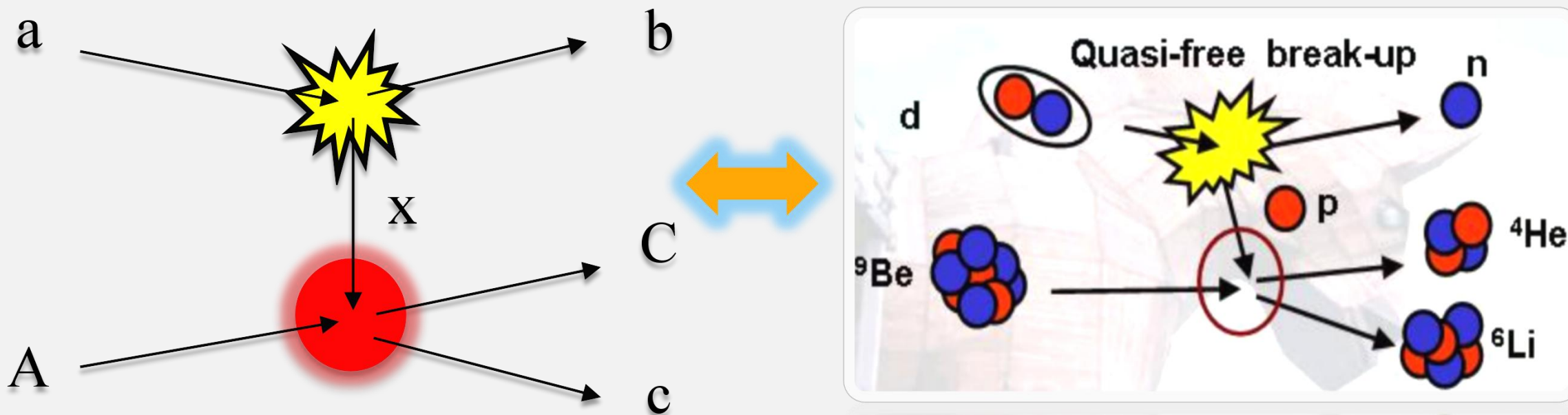
特洛伊木马方法

Trojan Horse Method

—— 至诚、至坚、博学、笃行 ——



特洛伊木马方法的应用



通过三体反应 ${}^2\text{H}({}^9\text{Be}, \alpha {}^6\text{Li})\text{n}$ 间接测量 ${}^9\text{Be}(\text{p}, \alpha){}^6\text{Li}$ 在低能区的裸核反应截面和 $S(E)$ 因子。



数据分析与讨论

Data analysis and discussion

—— 至诚、至坚、博学、笃行 ——



数据分析与讨论



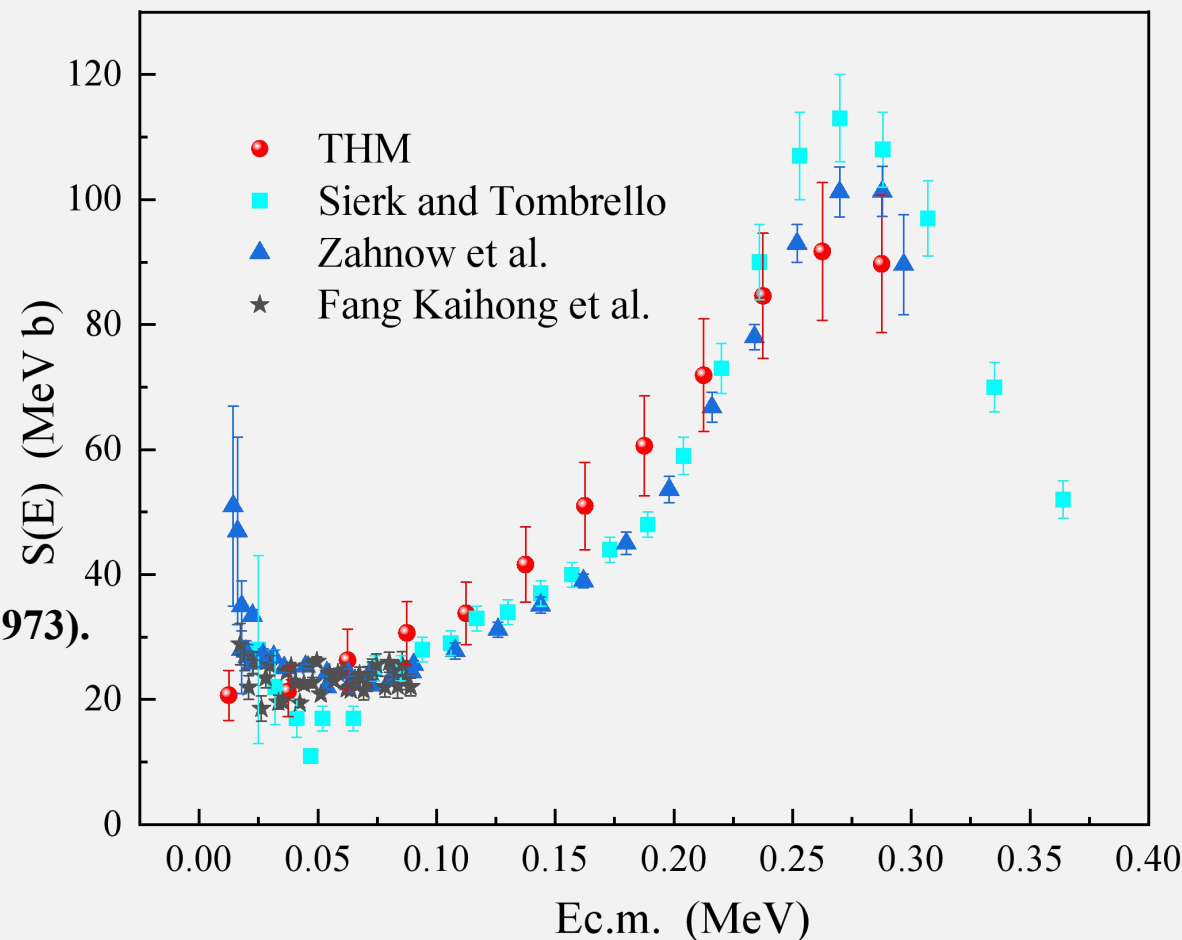
THM数据重现了预期的~270 keV的低能共振峰。在大约100 keV以上的区域是符合的,由于电子屏蔽势效应100 keV以下的能区直接测量数据有一个很强的升高。

[1] Q.G. Wen, C.B. Li et al., Phys. Rev. C 78, 035805 (2008).

[2] A. J. Sierk and T. A. Tombrello, Nucl. Phys. A 210, 341 (1973).

[3] D. Zahnw et al., Z. Phys. A 359, 211 (1997).

[4] F. Kaihong et al., Phys. Lett. B 785, 262-267 (2018).



THM数据与直接测量数据对比分析

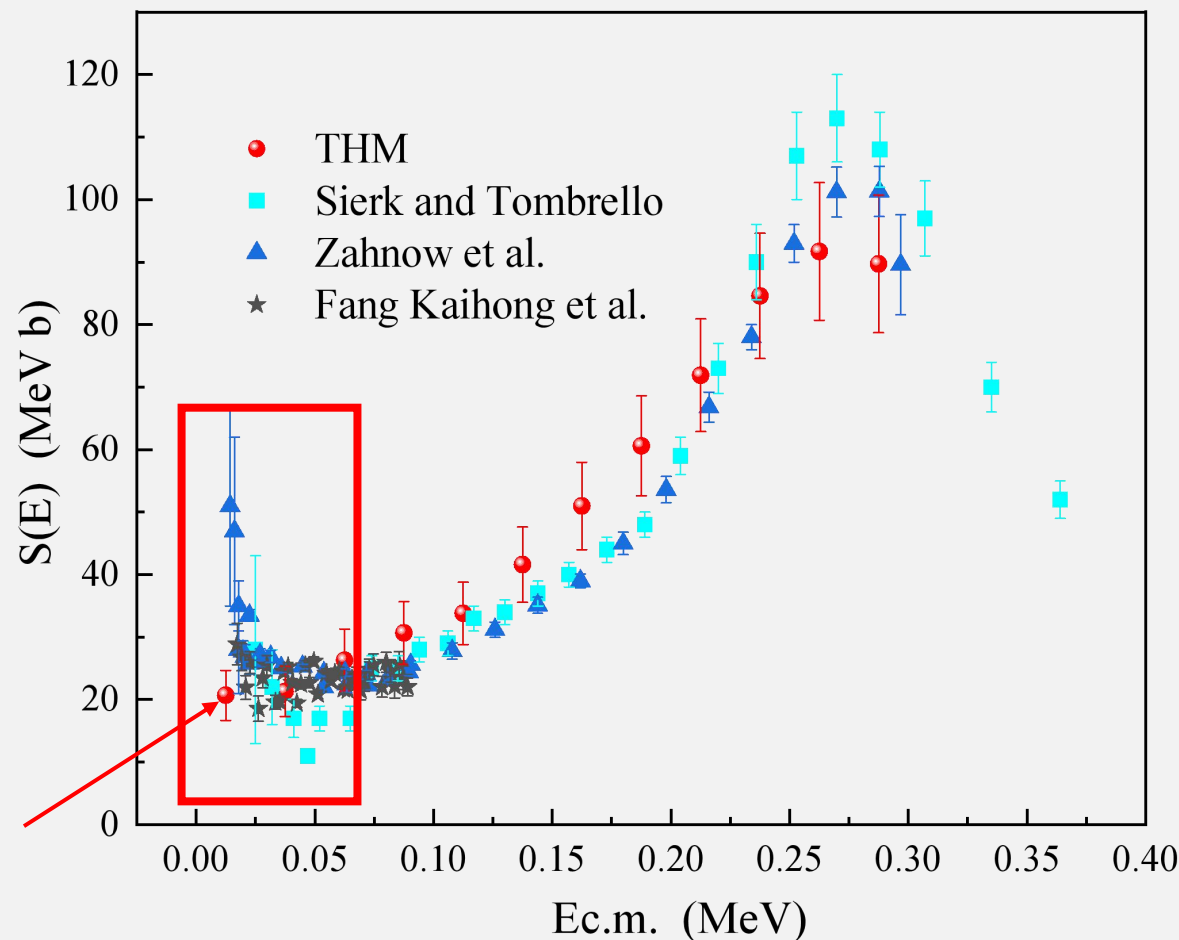


数据分析与讨论



THM方法提取出的天体因子
 $S(0)=21.0\pm 0.8$ MeV b, 高于直接测量外推的结果
 $S(0)=16.2\pm 1.8$ MeV b。

该反应道在阈下大约-23 keV的地方有一阈下共振, 共振峰宽度为25 keV, THM得到的 $S(0)$ 高于直接测量外推的结果应由阈下共振所引起。



THM数据与直接测量数据对比分析



数据分析与讨论



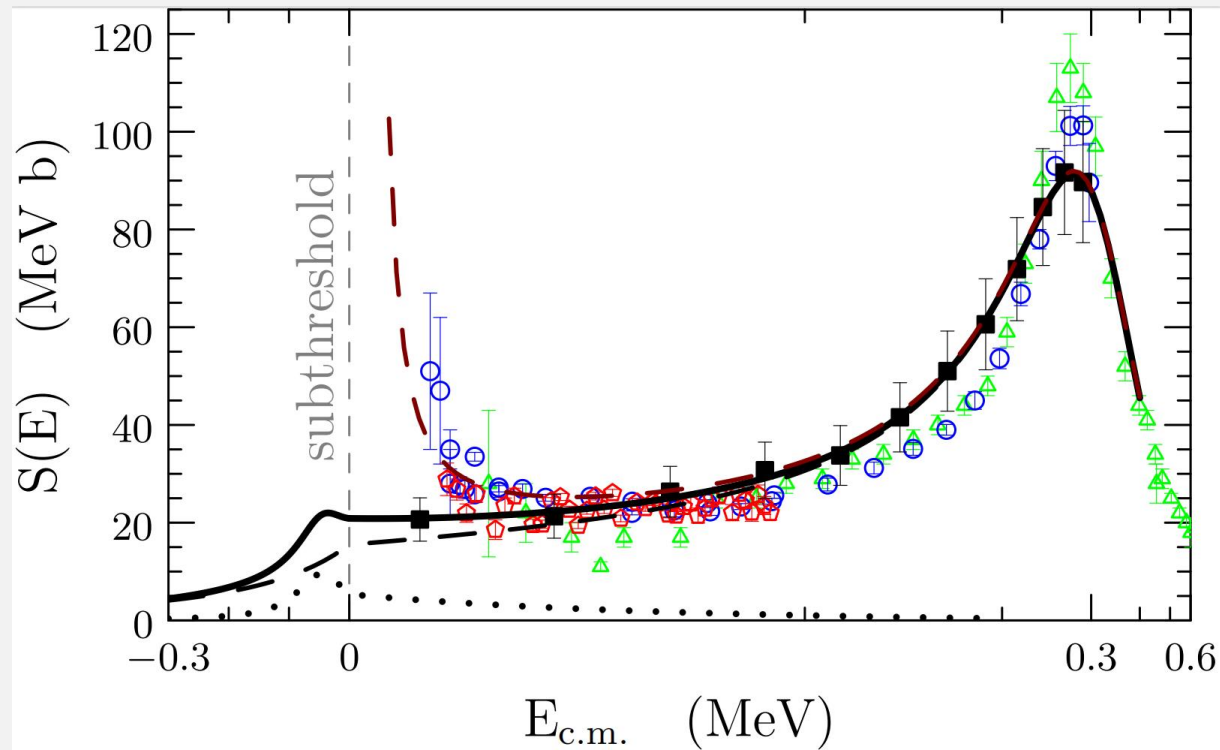
使用Breit-Wigner函数对THM

数据进行拟合分析:

$$S(E) = S_0(E) + S_1(E)$$

$$S_0(E) = \frac{A_0 \times \left(\frac{\Gamma_0}{2}\right)^2}{(E - E_0)^2 + \left(\frac{\Gamma_0}{2}\right)^2}$$

$$S_1(E) = \frac{A_1 \times \left(\frac{\Gamma_1}{2}\right)^2}{(E - E_1)^2 + \left(\frac{\Gamma_1}{2}\right)^2}$$



Breit-Wigner函数拟合THM数据与直接测量数据对比

A_0	E_0 / keV	Γ_0 / keV	A_1	E_1 / keV	Γ_1 / keV	$S_0(0) / \text{MeV b}$	$S(0) / \text{MeV b}$
92 ± 8	279 ± 33	260 ± 42	10 ± 4	-23	48 ± 73	16.3	21.5



数据分析与讨论



通过将THM数据与直接测量数据对比

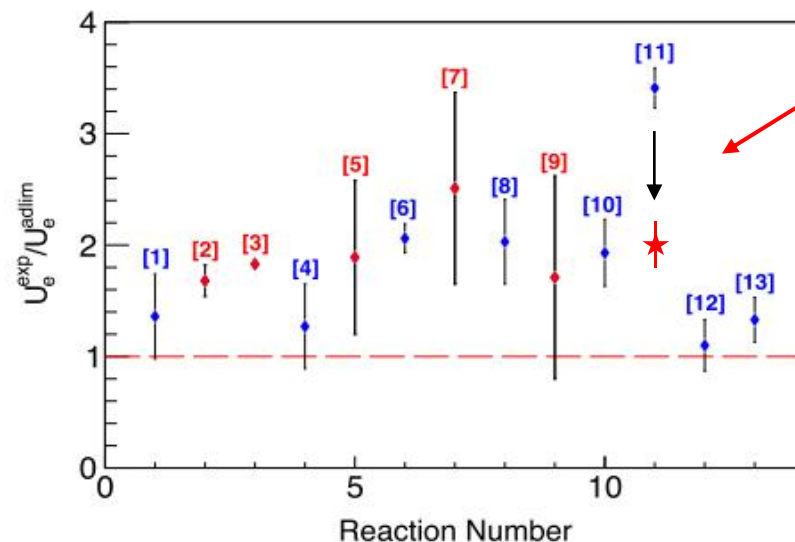
提取的电子屏蔽势 $U_e = 474 \pm 81$ eV，与理论上通过原子模型得到的 $U_e \approx 240$ eV 比值为 1.97 ± 0.33 。其他反应道电子屏蔽势实验值与通过原子模型得到的理论值的比值也在2左右[5]。

[5] C.Spitaleri, et al., Phys.Lett.B 755, 275-278 (2016).

Table 1

The experimental values of the electron screening potentials, U_e^{exp} , and theoretical adiabatic limits, U_e^{adlim} .

	Reaction	U_e^{adlim} (eV)	U_e^{exp} (eV)	Note	Ref.
[1]	$^2\text{H}(d, t)^1\text{H}$	14	19.1 ± 3.4		[16,17]
[2]	$^3\text{He}(d, p)^4\text{He}$	65	109 ± 9	D ₂ gas target	[18]
[3]	$^3\text{He}(d, p)^4\text{He}$	120	219 ± 7		[18]
[4]	$^3\text{He}(^3\text{He}, 2p)^4\text{He}$	240	305 ± 90	compilation	[2]
[5]	$^6\text{Li}(d, \alpha)^4\text{He}$	175	330 ± 120	H gas target	[19]
[6]	$^6\text{Li}(d, \alpha)^4\text{He}$	175	330 ± 49		[19,20]
[7]	$^6\text{Li}(p, \alpha)^3\text{He}$	175	440 ± 150	H gas target	[19]
[8]	$^6\text{Li}(p, \alpha)^3\text{He}$	175	355 ± 67		[19,21,22]
[9]	$^7\text{Li}(p, \alpha)^4\text{He}$	175	300 ± 160	H gas target	[19]
[10]	$^7\text{Li}(p, \alpha)^4\text{He}$	175	363 ± 52		[19,21,23]
[11]	$^9\text{Be}(p, \alpha_0)^6\text{Li}$	240	788 ± 70		[24,25]
[12]	$^{10}\text{B}(p, \alpha_0)^7\text{Li}$	348	376 ± 75		[26,27]
[13]	$^{11}\text{B}(p, \alpha_0)^8\text{Be}$	340	447 ± 67		[26,28]





总结

Summarize

—— 至诚、至坚、博学、笃行 ——



总结



${}^9\text{Be}(p,\alpha){}^6\text{Li}$ 反应道在阈下大约-23 keV的地方有一阈下共振，共振峰宽度为25 keV，直接测量在靠近零能量位置处的电子屏蔽效应很容易掩盖掉该阈下共振对低能区的影响。

未考虑阈下共振影响的结果 $S_0(0)=16.3$ 与直接测量外推得到的结果符合，考虑阈下共振的影响得到的结果 $S(0)=21.5$ 高于 $S_0(0)$ 。

THM方法得到的裸核反应数据有助于研究阈下共振对天体能区反应截面的影响。

XueJian Wang, QunGang Wen, ChengBo Li, JianYou Guo. Studying subthreshold resonance using the Trojan horse method [J]. Physics Letter B, Under review.



$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ 碳燃烧核聚变



LETTER

<https://doi.org/10.1038/s41586-018-0149-4>

An increase in the $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ fusion rate from resonances at astrophysical energies

A. Tumino^{1,2*}, C. Spitaleri^{2,3}, M. La Cognata², S. Cherubini^{2,3}, G. L. Guardo^{2,4}, M. Gulino^{1,2}, S. Hayakawa^{2,5}, I. Indelicato², L. Lamia^{2,3}, H. Petruscu⁴, R. G. Pizzone², S. M. R. Puglia², G. G. Rapisarda², S. Romano^{2,3}, M. L. Sergi², R. Spartá² & L. Trache⁴

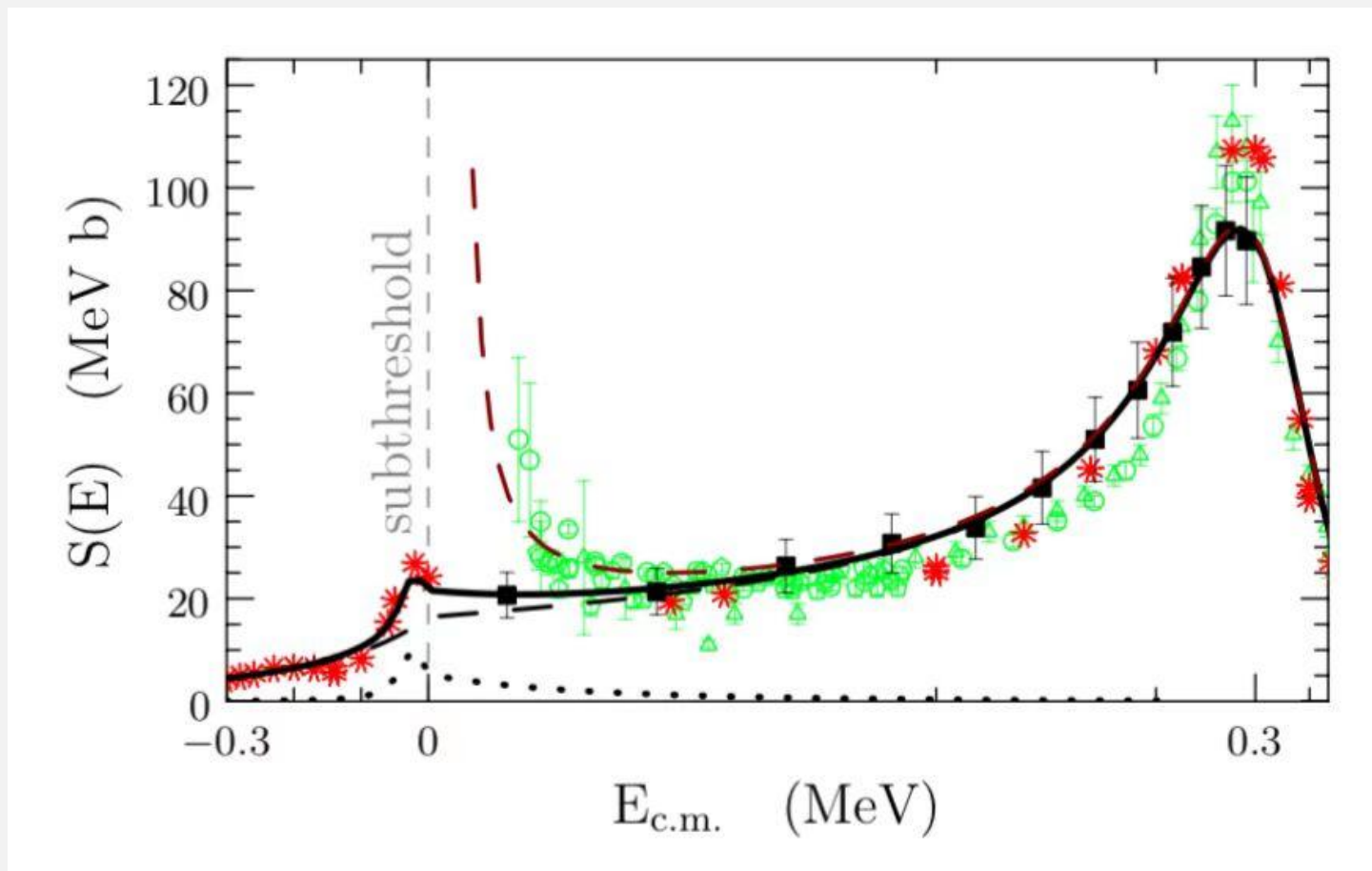
特洛伊木马方法测量 $^{12}\text{C}(^{12}\text{C},\alpha)^{20}\text{Ne}$ 和 $^{12}\text{C}(^{12}\text{C},p)^{23}\text{Na}$ 在0.8~2.7MeV能区的反应数据，该工作采用 $^{14}\text{N}=(^{12}\text{C}+d)$ 作为木马核提供 ^{12}C 和氘。分别采用 ^{14}N 、 ^{16}O 作为木马核进行检验。

The image shows a wide-angle view of a university campus. In the background, a large, multi-story, light-colored building with many windows stands under a clear blue sky. In the foreground, a large, dark stone monument is centered, featuring Chinese characters. The monument is flanked by two red pillars. In front of the monument, there is a large, vibrant flower bed with red and orange flowers. The campus is well-maintained with green lawns and paved walkways. A few people can be seen walking in the distance.

谢谢！请大家批评指正！



附录



使用反卷积的方法对THM数据处理与直接测量数据对比