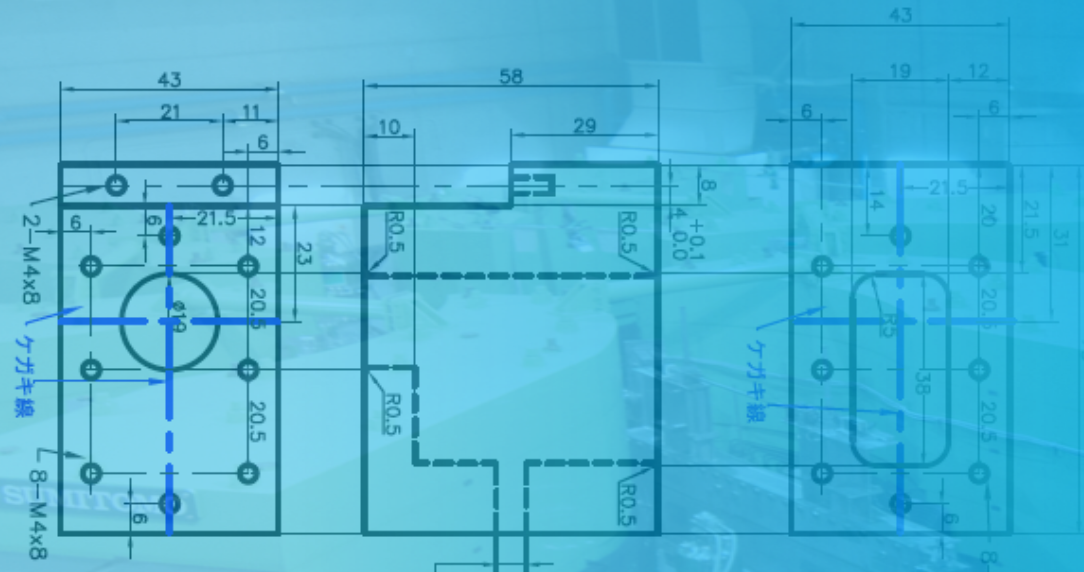


- ・ ビームエネルギー
- ・ 微分断面積
- ・ 全断面積
- ・ 結論
- ・ Summary



閾値近傍における $^4\text{He}(\alpha, n)^7\text{Be}$ 反応の断面積測定 2

Cosmological ${}^7\text{Li}$ Problem

宇宙初期の ${}^7\text{Li}$ の存在量について、
予測値が観測量の約 4 倍大きい

Our Solution Method

${}^7\text{Li}$ の材料 ${}^7\text{Be}$ を壊す反応率が大きいと解決？
→ ${}^7\text{Be}(n, \alpha){}^4\text{He}$ 反応に着目！

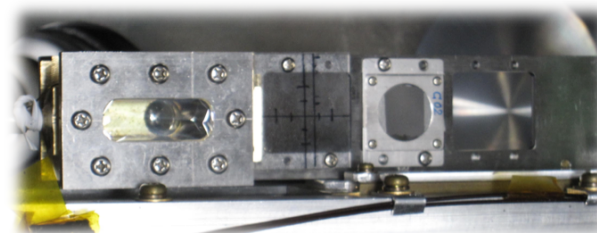
Experiment Setup

測定	逆反応 ${}^4\text{He}(\alpha, n){}^7\text{Be}$ の断面積 ビームエネルギー
標的	${}^4\text{He}$ (ガスセルに封入), ${}^{\text{nat}}\text{C}$
角度	0, 5, 10, 15, 20 度
検出器	液体シンチレータ (PSD可能)

© Members @ RCNP



© Target



© Detector



◎ ビームエネルギーの測定 … C と He、二つの標的で測定。

※ 反応エネルギーが非常に重要。

$^{12}\text{C}(\alpha, n)^{15}\text{O}$ 反応を用いた方法

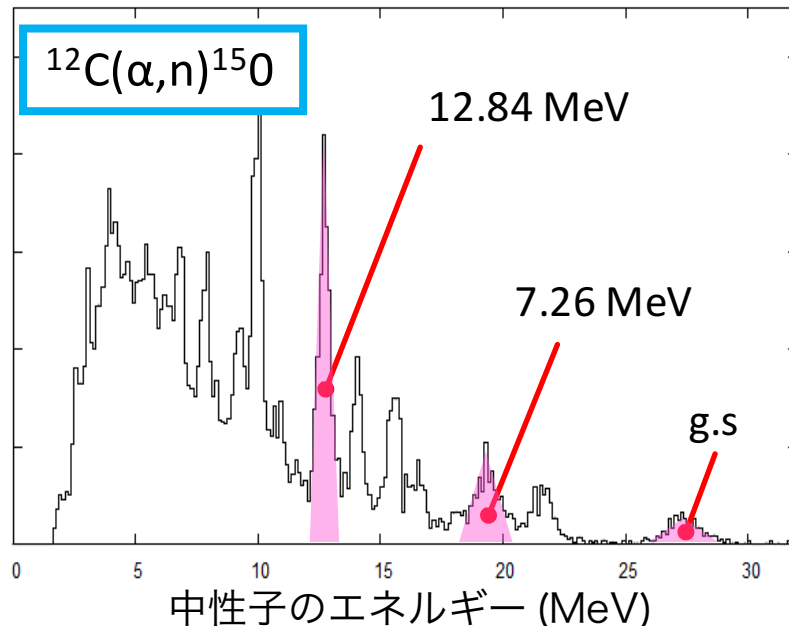
^{15}O の励起エネルギー

中性子の運動エネルギー

運動学

ビームエネルギー

※ 同様なことが He 標的にも適用できる



ピークが O^{15} の状態に対応。

ピーク中心の中性子のエネルギーと状態の励起エネルギーを用いてビームエネルギーを求める！

◎ ビームエネルギーの測定値 … C と He 、二つの標的で測定。
反応時（標的中心）での値。

・ 測定値

標的	E_α (反応時)	E_α (入射時)
C	39.45	39.55
He	39.30	39.56
He	39.64	39.89
C	39.00	39.10
He	38.90	39.15
C	38.61	38.71
He	38.50	38.76

誤差は 30 KeV程度
で測定できている！！

標的は有限の大きさ →

り着くまでに
が減衰する。

反応地点

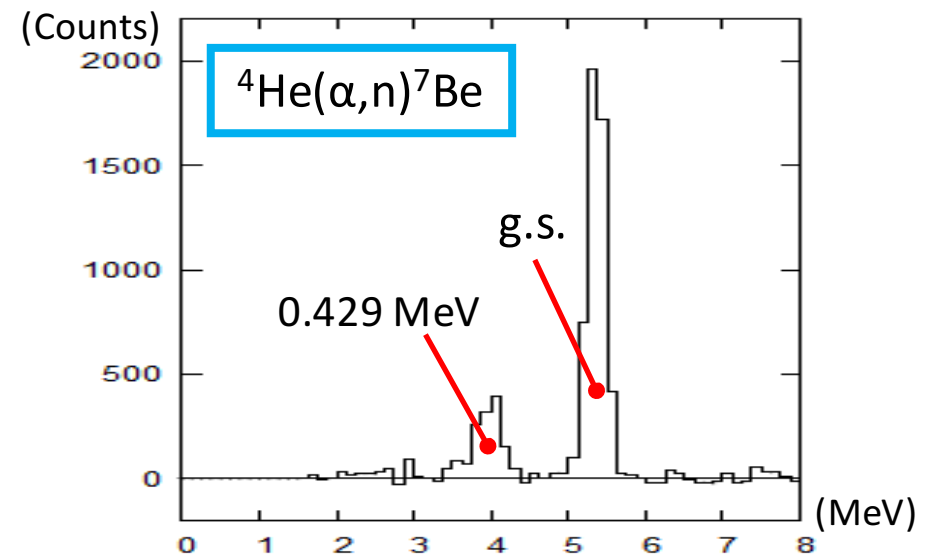
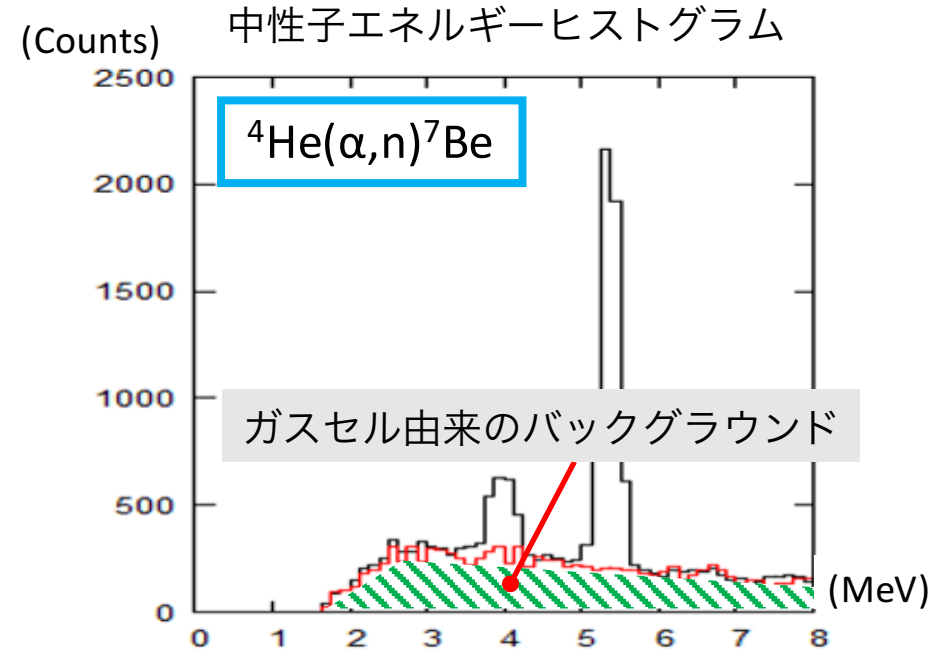
ビームエネルギーの減衰

(単位はMeV)

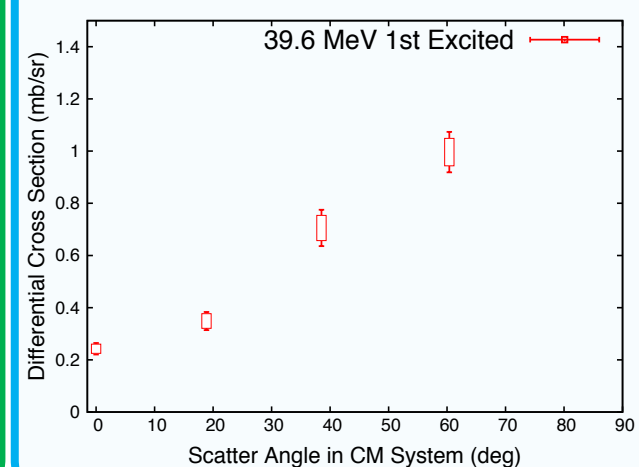
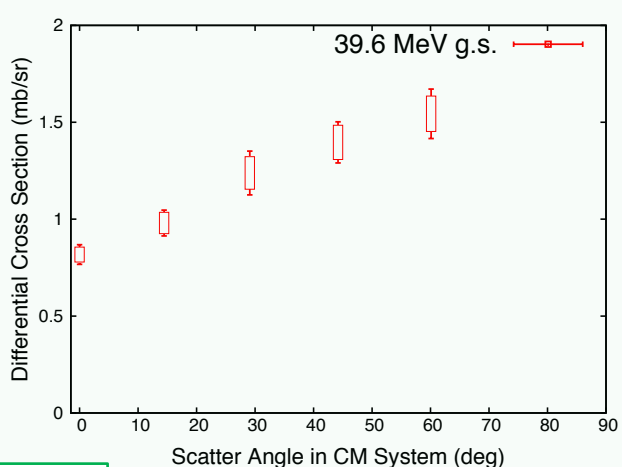
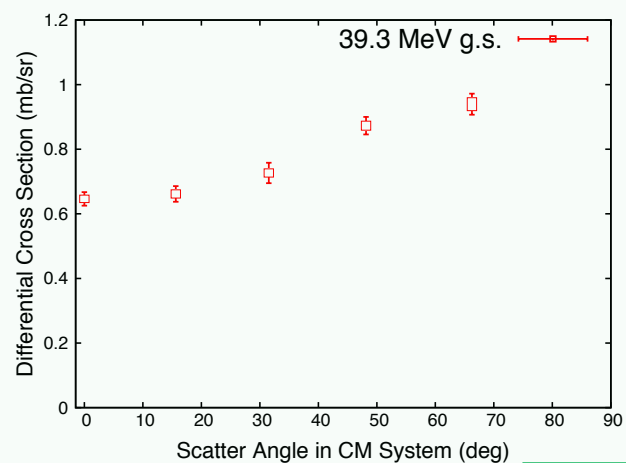
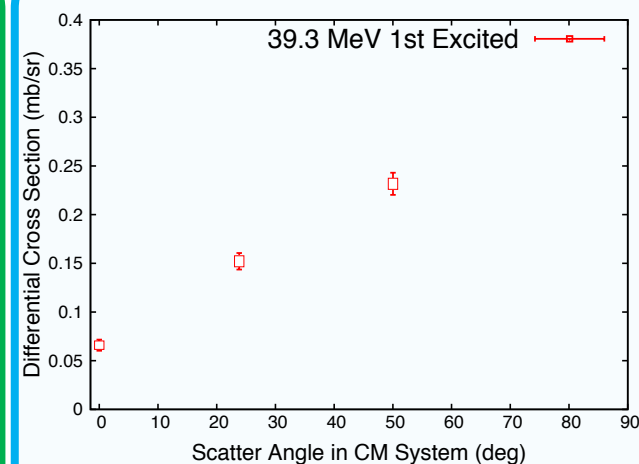
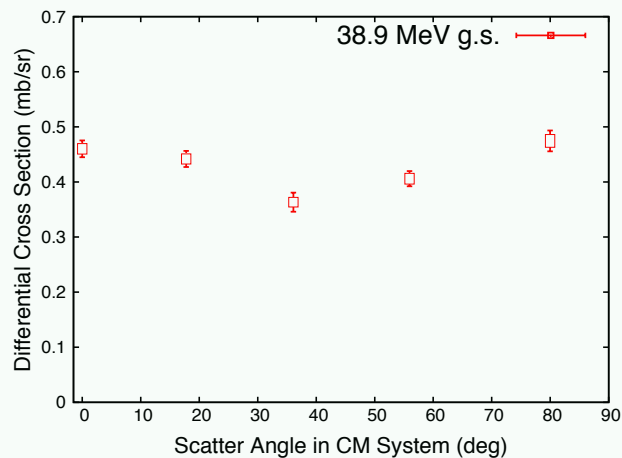
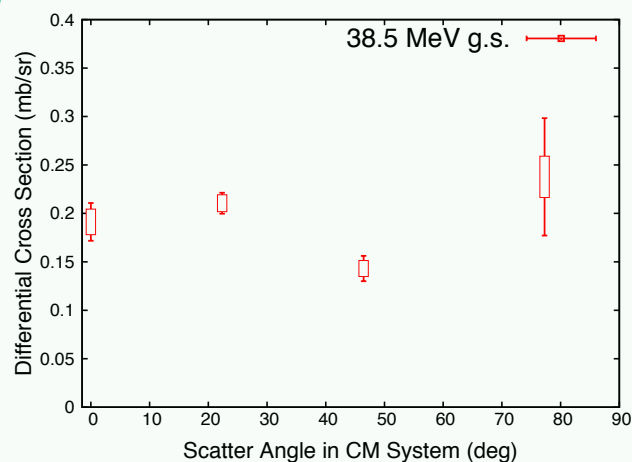
◎ 微分断面積の解析方法

- **ガスセルの中身が空の状態**で測定
→ ガスセル由来のバックグラウンドがわかる
- **液体シンチの検出効率**や**空気の減衰**、**Live Time**の補正を行い、収量を得る。
- 微分断面積は以下の式より求められる。

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\text{求めた収量}}{\text{標的数} \times \text{ビーム量} \times \text{有効立体角}}$$



◎ 微分断面積の結果



基底状態

励起状態

◎ 全断面積の解析方法

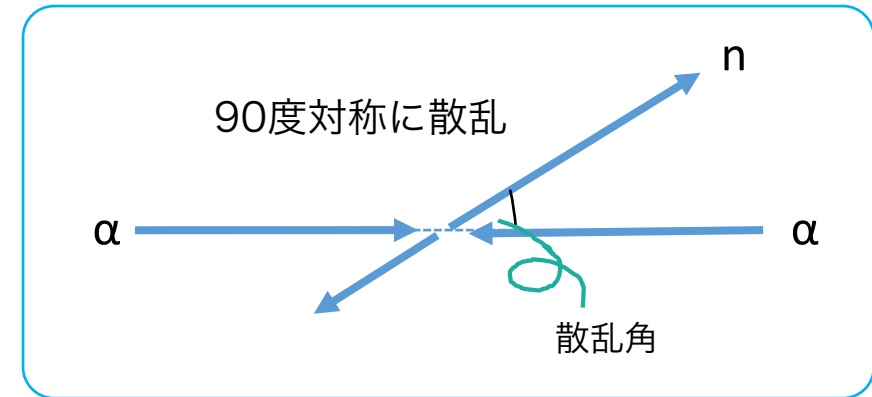
- スピンのない同種粒子の反応($\alpha+\alpha$ 反応)
→ 90度対称に散乱
- 反応閾値近傍での測定



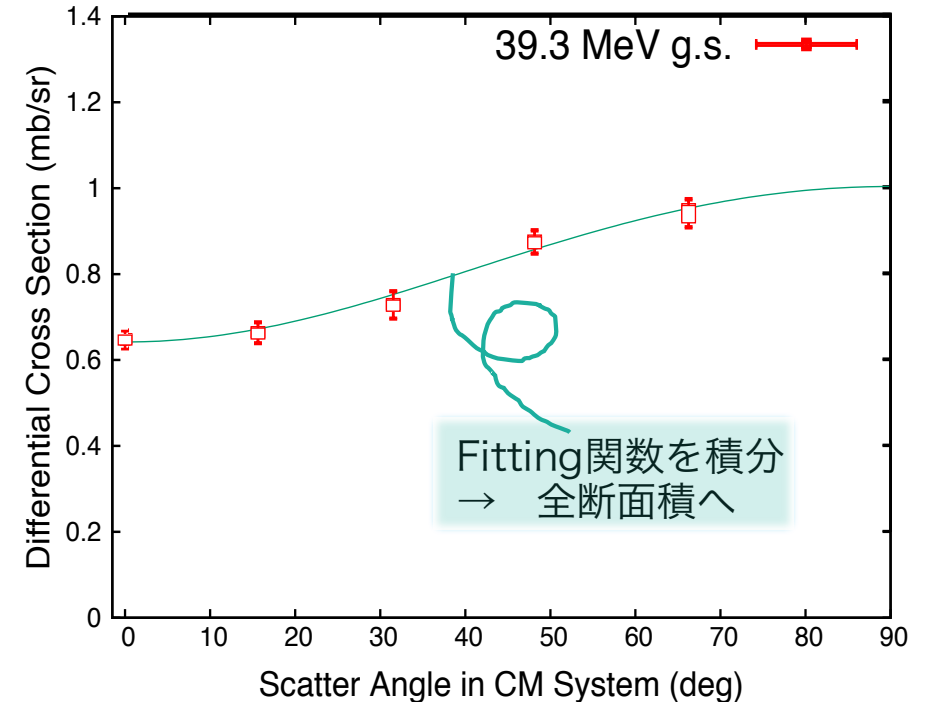
- ルジャンドル多項式の低次の偶数項でFitting

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \sum_{L=even} A_L P_L(\cos\theta)$$

- 全立体角で積分すれば全断面積を得る。



微分断面積のFitting 例



◎ ${}^4\text{He}(\alpha, n){}^7\text{Be}$ の断面積

求めた全断面積を先行研究
(Kingらの測定)と比較

しかし ${}^7\text{Li}$ 問題解決に重要なのは
逆反応 ${}^7\text{Be}(n, \alpha){}^4\text{He}$ の断面積



◎ 逆反応の断面積

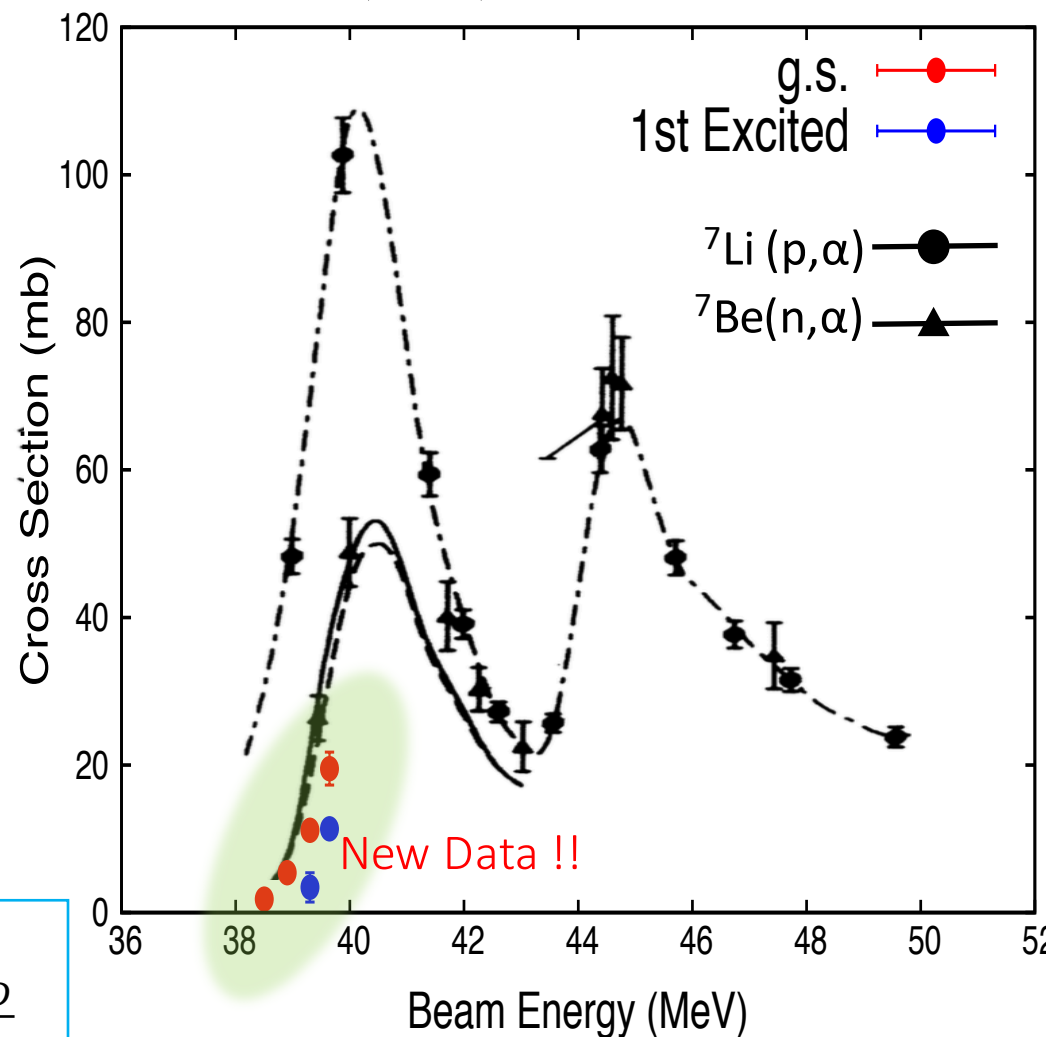
詳細釣り合いの関係式を用いて
逆反応 ${}^7\text{Be}(n, \alpha){}^4\text{He}$ の断面積に変換

詳細釣り合いの関係式

$$\frac{\sigma(A + B \rightarrow C + D)}{\sigma(C + D \rightarrow A + B)} = \frac{(1 + \delta_{AB})\hat{S}_C\hat{S}_D k_{CD}^2}{(1 + \delta_{CD})\hat{S}_A\hat{S}_B k_{AB}^2}$$

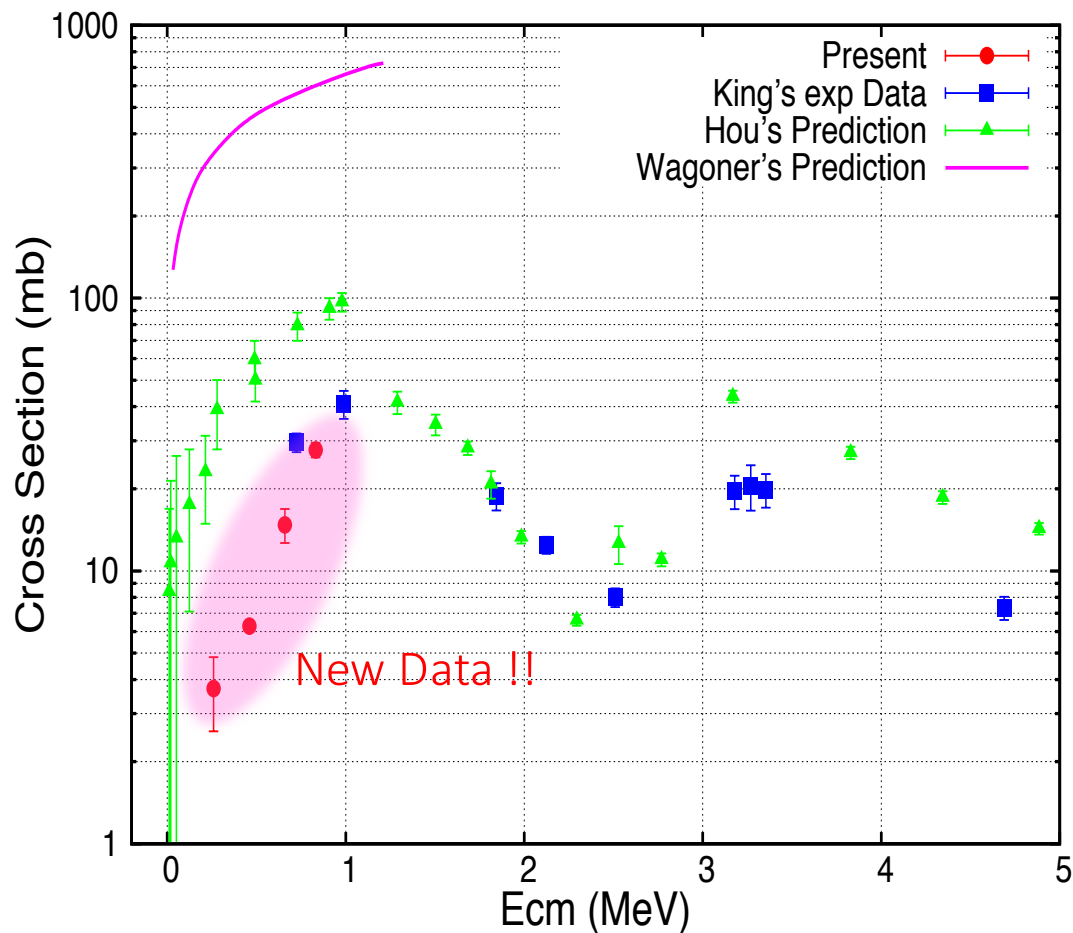
$$\hat{S}_A = 2S_A + 1$$

${}^4\text{He}(\alpha, n){}^7\text{Be}$ の断面積



C. H. King et al., Phys. Rev. C 16, 1712 (1977).より引用

◎ ${}^7\text{Be}(n, \alpha){}^4\text{He}$ の断面積



C. H. King et al., Phys. Rev. C 16, 1712 (1977).

S. Q. Hou et al., Phys. Rev. C 91, 055802 (2015). より引用

◎ 先行研究と比較

- King の測定値
- Hou の推測値
荷電対称性の仮定のもと、
 ${}^7\text{Li}(p, \alpha){}^4\text{He}$ の実験値から導出。
- Wagoner の予測値
ビッグバン標準モデルでの元素合成の計算に使われている値。

◎ 結論

1. いずれの予測値より低いことがわかった
2. 反応閾値近傍では強い共鳴は発見されなかった

Motivation ${}^7\text{Li}$ 問題の解決

${}^7\text{Li}$ 生成の主要経路 (${}^7\text{Be}$ の β 崩壊) の分岐反応 ${}^7\text{Be}(n,a){}^4\text{He}$
この断面積が予測値より多ければ ${}^7\text{Li}$ 問題を解決する可能性がある。

Method 逆反応 ${}^4\text{He}(\alpha,n){}^7\text{Be}$ の全断面積測定

閾値近くの4点のビームエネルギーで微分断面積を測定。
この微分断面積より逆反応 ${}^4\text{He}(\alpha,n){}^7\text{Be}$ の全断面積を導出。
詳細釣り合いの原理より順反応 ${}^7\text{Be}(n,a){}^4\text{He}$ の全断面積に変換。

Conclusion 予測値より低かった！

${}^7\text{Li}$ 問題を解決するような強い共鳴は発見されなかった。
断面積は今までの予測値より低いことがわかった。