

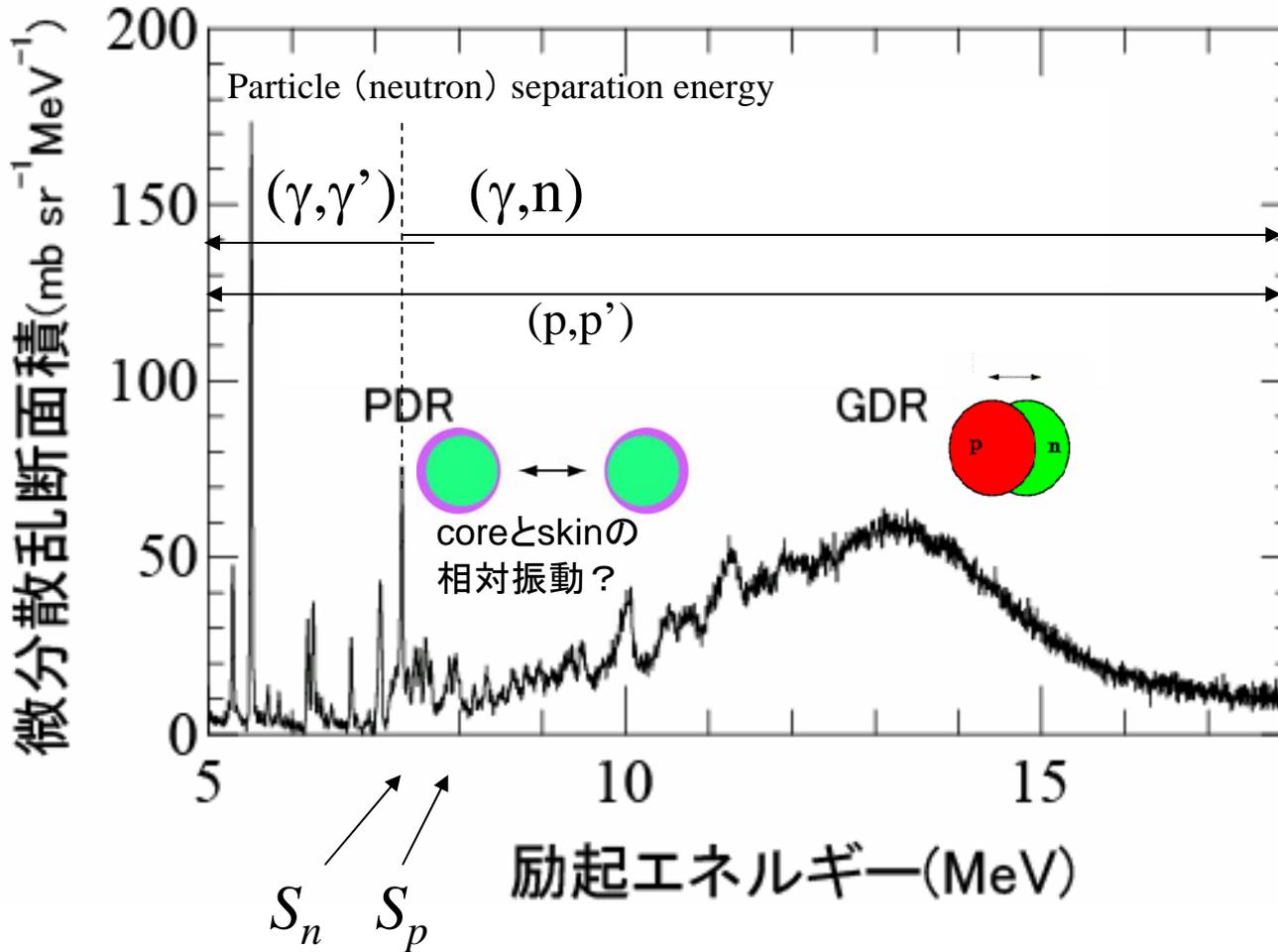
陽子非弾性散乱と励起強度測定などなど

大阪大学 核物理研究センター

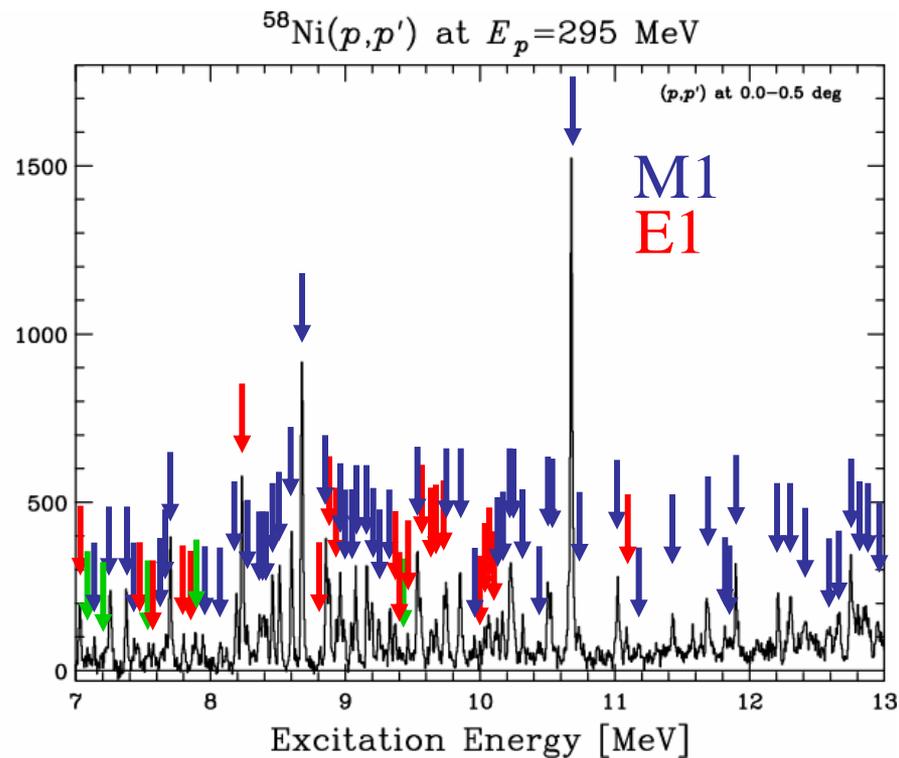
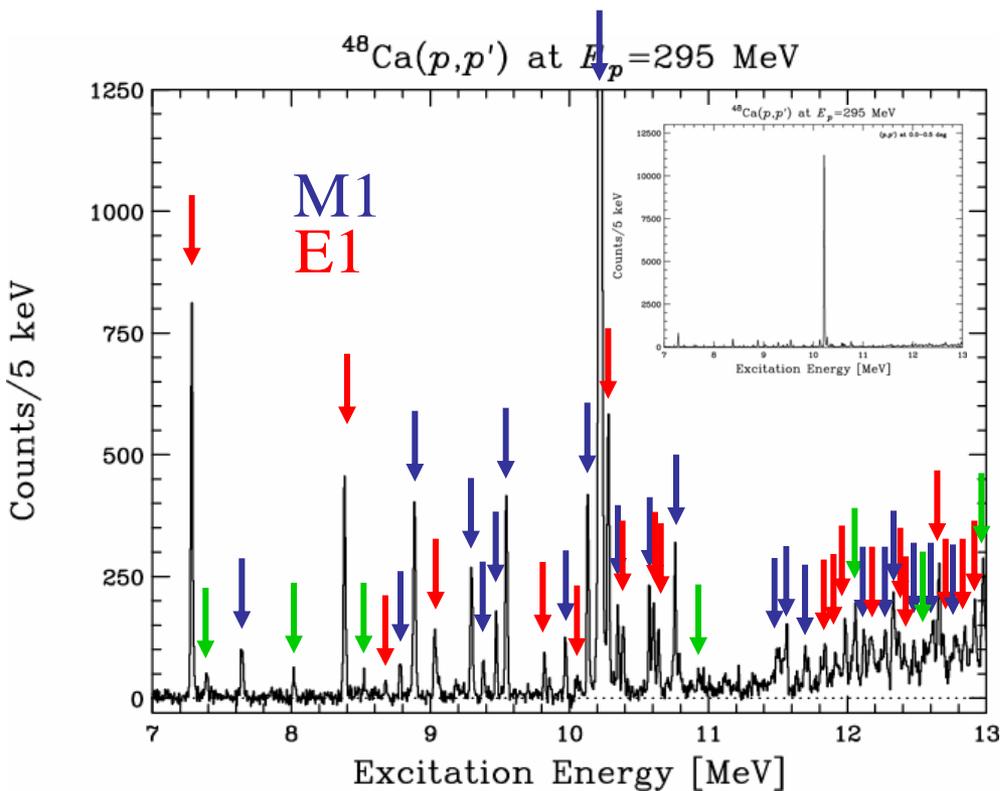
民井 淳

E1 Strength Distribution in ^{208}Pb

$^{208}\text{Pb}(p,p')$ at 0 deg

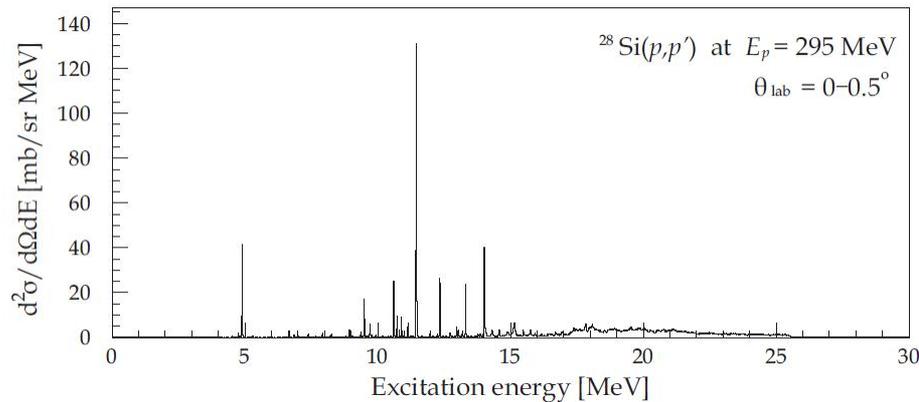
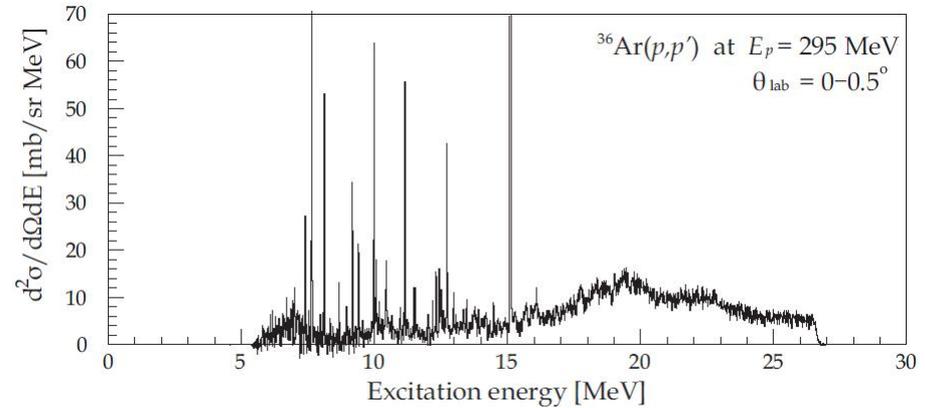
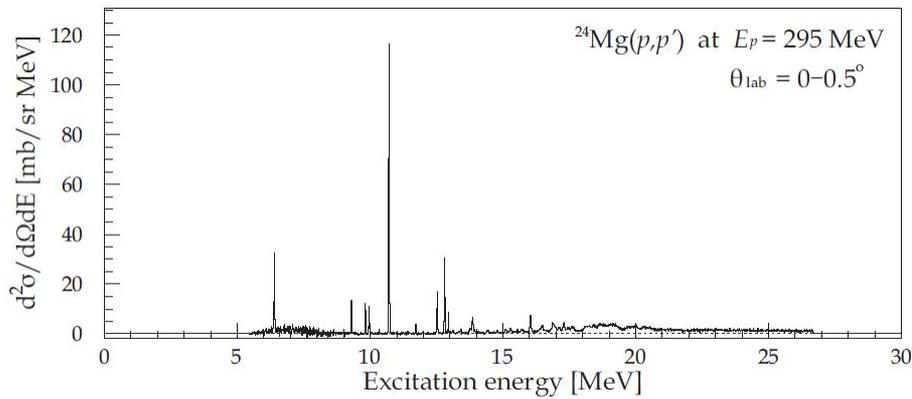
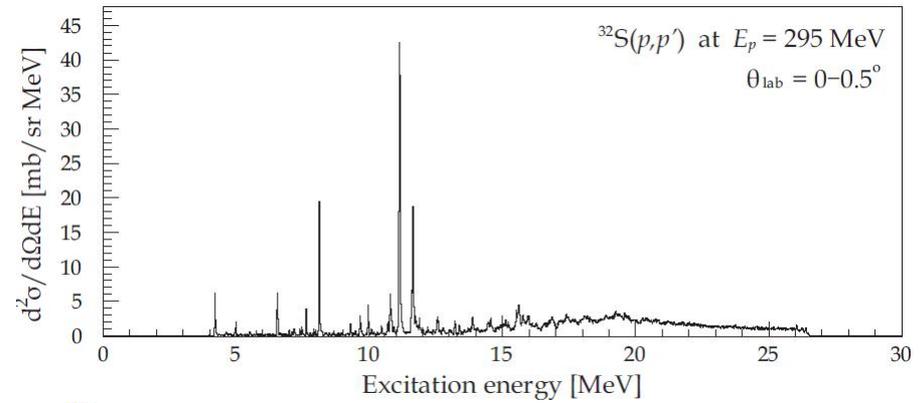
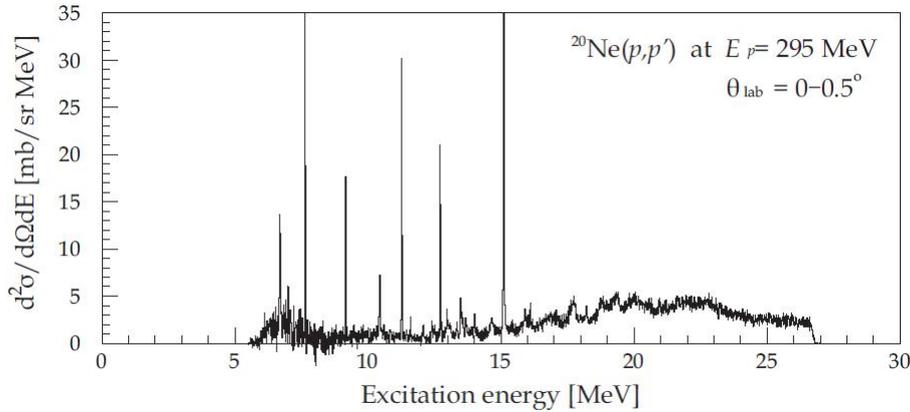


Sizeable amount of E1 strengths have been systematically found around the separation energy region (PDR).



高分解能測定：
 大量の励起状態のそれぞれのスピンパリティの同定が可能

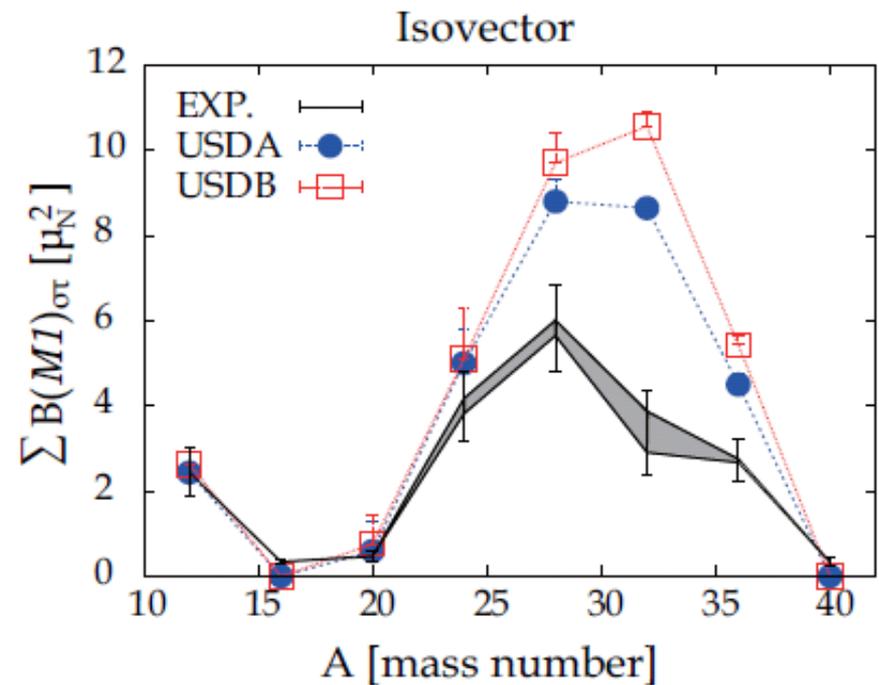
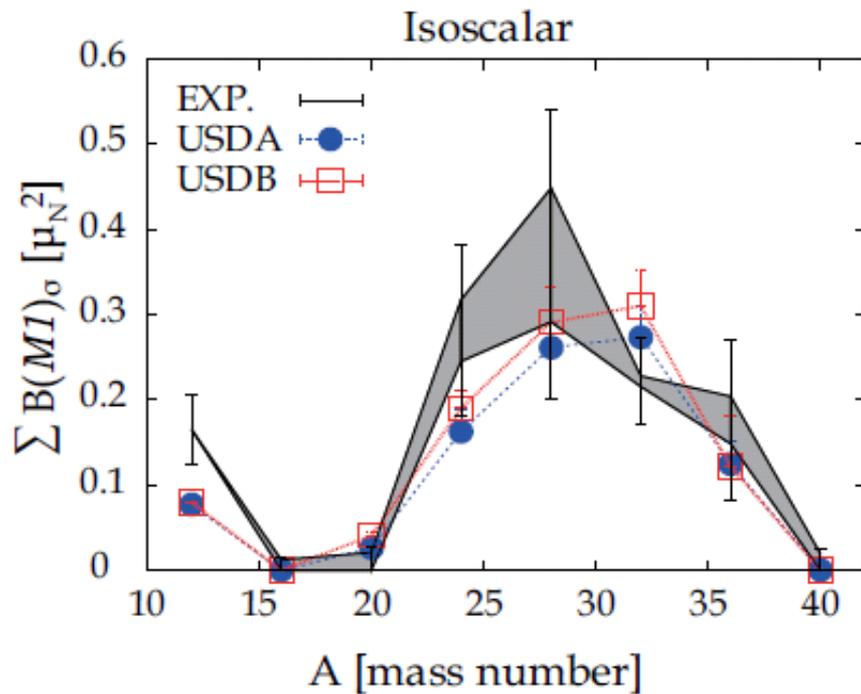
(p,p') at 295 MeV at 0 deg



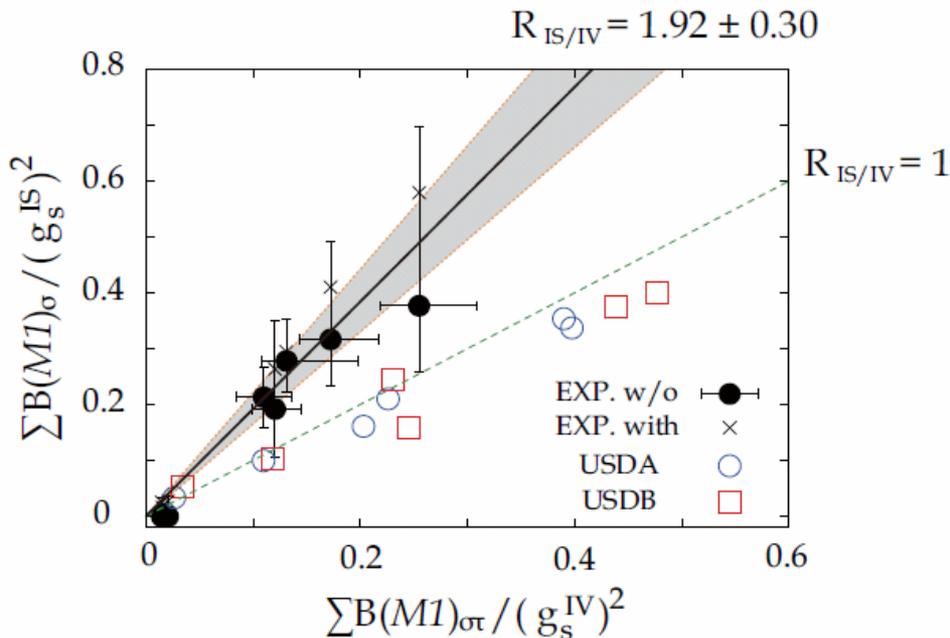
これらのスペクトルからM1と
同定されたピークの断面積を
遷移強度に変換する

スピンパリティ毎の励起強度の積算値

sd-shell 核 (N=Z, even-even) $\Sigma B(\sigma)$



Closureを用いた基底状態の性質の抽出



sdシェル核($0^+; T_0=0$) 1+励起強度積算のIS/IV比

- ・何故直線上に乗るのか？
- ・Shell-Model の傾き~1と実験の傾き~2の違いは何を表しているのか？

$$\begin{aligned}
 \text{IS} \quad \sum B(M1)_\sigma &= \frac{1}{2J_i + 1} \frac{3}{4\pi} \sum_f \left| \langle 1_f^+ | \frac{g_s^{IS}}{2} (S_p + S_n) | 0^+ \rangle \right|^2 \mu_N^2 & S_p = \sum_{k=1}^Z s_k, \quad S_n = \sum_{k=Z+1}^A s_k \\
 &= \frac{1}{2J_i + 1} \frac{3}{4\pi} \left(\frac{g_s^{IS}}{2} \right)^2 \langle 0^+ | (S_p + S_n)^2 | 0^+ \rangle,
 \end{aligned}$$

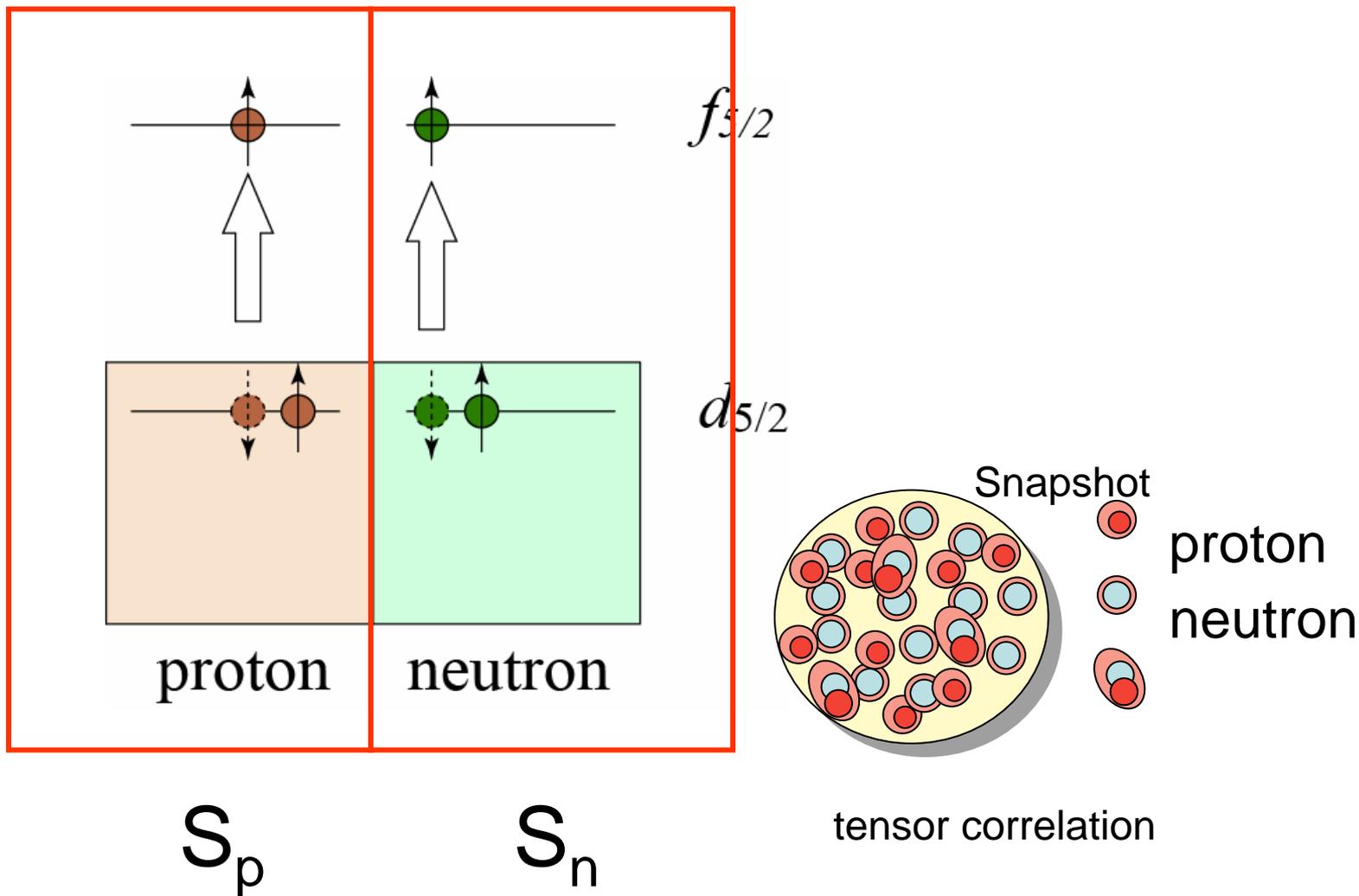
$$\text{IV} \quad \sum B(M1)_{\sigma\tau} = \frac{1}{2J_i + 1} \frac{3}{4\pi} \left(\frac{g_s^{IV}}{2} \right)^2 \langle 0^+ | (S_p - S_n)^2 | 0^+ \rangle.$$

$$\frac{R_{IS/IV} - 1}{R_{IS/IV} + 1} = \frac{2 \langle |S_p \cdot S_n| \rangle}{\langle |S_p^2 + S_n^2| \rangle} \quad \begin{array}{l} \sim 0 \text{ shell-model (in sd-shell)} \\ \sim +1/3 > 0 \text{ exp.} \end{array}$$

=+1/3 for the deuteron s-state

1. テンソル力を作る励起構造

Closureを用いた基底状態の性質の抽出



H. Toki *et al.*,

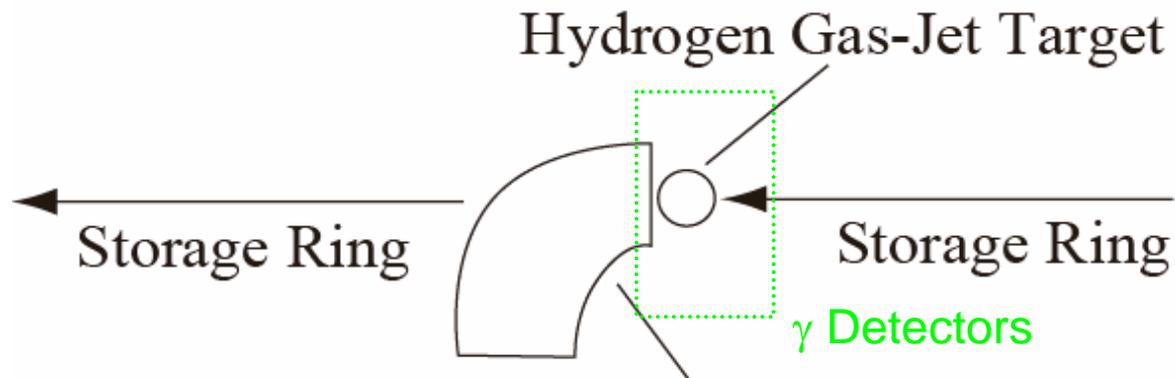
storage ring によるビーム：安定核および安定核近傍、高強度

- 陽子標的の非弾性散乱
- **Missing mass spectroscopy**, **0度を中心**とする超前方測定
- **高分解能測定**

の可能性の考えてみる。

想定：

- ^{56}Ni ビーム、100 MeV/A
- エネルギー分解能 10 keV
- 水素のガスジェット標的
- 前方に出てくる低エネルギー陽子をビームから分離、放出角度、エネルギー、TOFを測る



何らかの方法で、低速陽子を分離。大立体角。

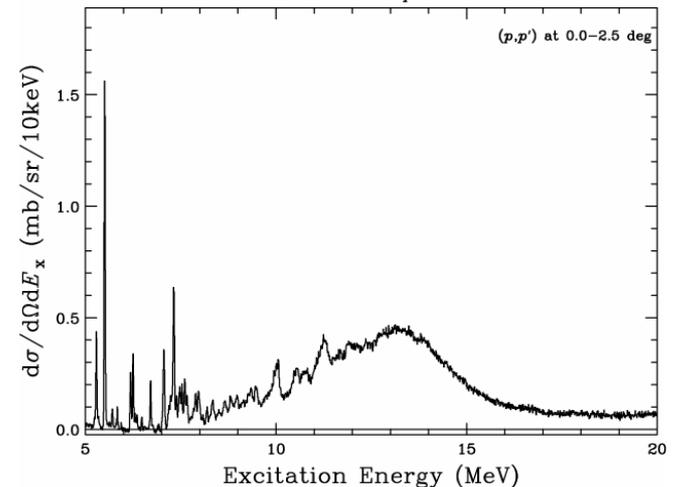
Dipole, Solenoid, Electric Field?

Scattering angle, E, and TOF Measurement

$E_p=100\text{keV}$, $\beta=0.015$, 5mm/nsec

0度(p,p')測定 of 逆運動学版
 GDR, PDR, M1 etc の励起強度分布の測定
 (by missing mass spectroscopy)
 高分解能
 安定核近傍の不安定核に拡張
 & ビームが作れば測定できる？

Preliminary $^{208}\text{Pb}(p,p')$ at $E_p=295\text{ MeV}$



56Ni Ex=5 MeV, c.m. 0-1度

- $\theta_{p,\text{lab.}} = 0-35$ 度
- $E_p = 60-91$ keV, $\Delta E_p = 0.25$ keV (0.4%)
- $E_{56\text{Ni}} = 100$ MeV/A, $\Delta E_{56\text{Ni}} = 0.38$ MeV/A (0.38%)

56Ni Ex=10 MeV, c.m. 0-1度

- $\theta_{p,\text{lab.}} = 0-18$ 度
- $E_p = 248-278$ keV, $\Delta E_p = 0.52$ keV (0.2%)
- $E_{56\text{Ni}} = 100$ MeV/A, $\Delta E_{56\text{Ni}} = 0.18$ MeV/A (0.18%)

56Ni Ex=15 MeV, c.m. 0-1度

- $\theta_{p,\text{lab.}} = 0-12$ 度
- $E_p = 576-604$ keV, $\Delta E_p = 0.81$ keV (0.14%)
- $E_{56\text{Ni}} = 100$ MeV/A, $\Delta E_{56\text{Ni}} = 0.12$ MeV/A (0.12%)

56Ni Ex=5 MeV, c.m. 0-1度

- $\theta_{p,lab.} = 0-35$ 度

- $E_p = 60-91$ keV, $\Delta E_p = 0.25$ keV (0.4%)

- $E_{56Ni} = 100$ MeV/A, $\Delta E_{56Ni} = 0.38$ MeV/A (0.38%)

28Si Ex=5 MeV, c.m. 0-1度

- $\theta_{p,lab.} = 0-34$ 度

- $E_p = 60-90$ keV, $\Delta E_p = 0.25$ keV (0.4%)

- $E_{28Si} = 100$ MeV/A, $\Delta E_{28Si} = 0.30$ MeV/A (0.30%)

全体的傾向

励起エネルギーが低くなるほど難しくなる

→放出粒子のエネルギーが低くなる。

→前方方向から90度方向への移行が早い。

(lab系で大きな角度範囲を覆う必要あり)

c.m.系での散乱角度の分解能には問題ない。

むしろlab.系で大立体角を覆う必要あり。

低エネルギー粒子をきっちり取り出して、分解能よくエネルギーを観測できるか？

→TOFでエネルギーを出す？、Particle ID は E vs TOF？

→Projectile の breakup によるバックグラウンドに勝てるか？

励起エネルギー分解能として 10 keV はかなり解決すべき課題の質がかなり高そうだが、100 keVはそれほどでもない？不安定核の粒子崩壊閾値は低いので、一般的には高Exでの高分解能測定には意味がない。

ビームのエネルギー幅に対する要求は厳しくない(0.1%)。角度幅も。

ヘリウム標的は、放出エネルギーが低く、また、90度方向への移行が早いので、陽子より難しい。

その他

ルミノシティは？収量は十分あるか？

- beam: 10^6 particles/turn \times 10^6 turn/sec = 10^{12} particles/sec

- target: 10^{14} atoms/cm² (hydrogen gas jet)

→ 10^{26} sec⁻¹cm⁻²

順運動学のルミノシティ
 4×10^{29} sec⁻¹cm⁻²

- cross section: 1 mb/sr

- solid angle: 1 msr

→ 10^{-4} sec⁻¹



差動排気のガス標的で厚くする？
< 10^{18} atoms/cm²
但し陽子の立体角確保が難しい。

3桁は上げたい！

ガス標的での陽子のエネルギー損失は？角度広がりは？

0.2 ng/cm², $\Delta E \sim 2$ eV?

c.m.系0度だけOKか？超前方角分布が必要？

Collider で 10^{24} - 10^{26} sec⁻¹cm⁻² (坂口氏)を見込めるのであれば、

Collider の高輝度化を頑張った方がやりがいがある？(宗旨替え?)

Stopping power of protons in tissue-equivalent gas ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{N}_2$).

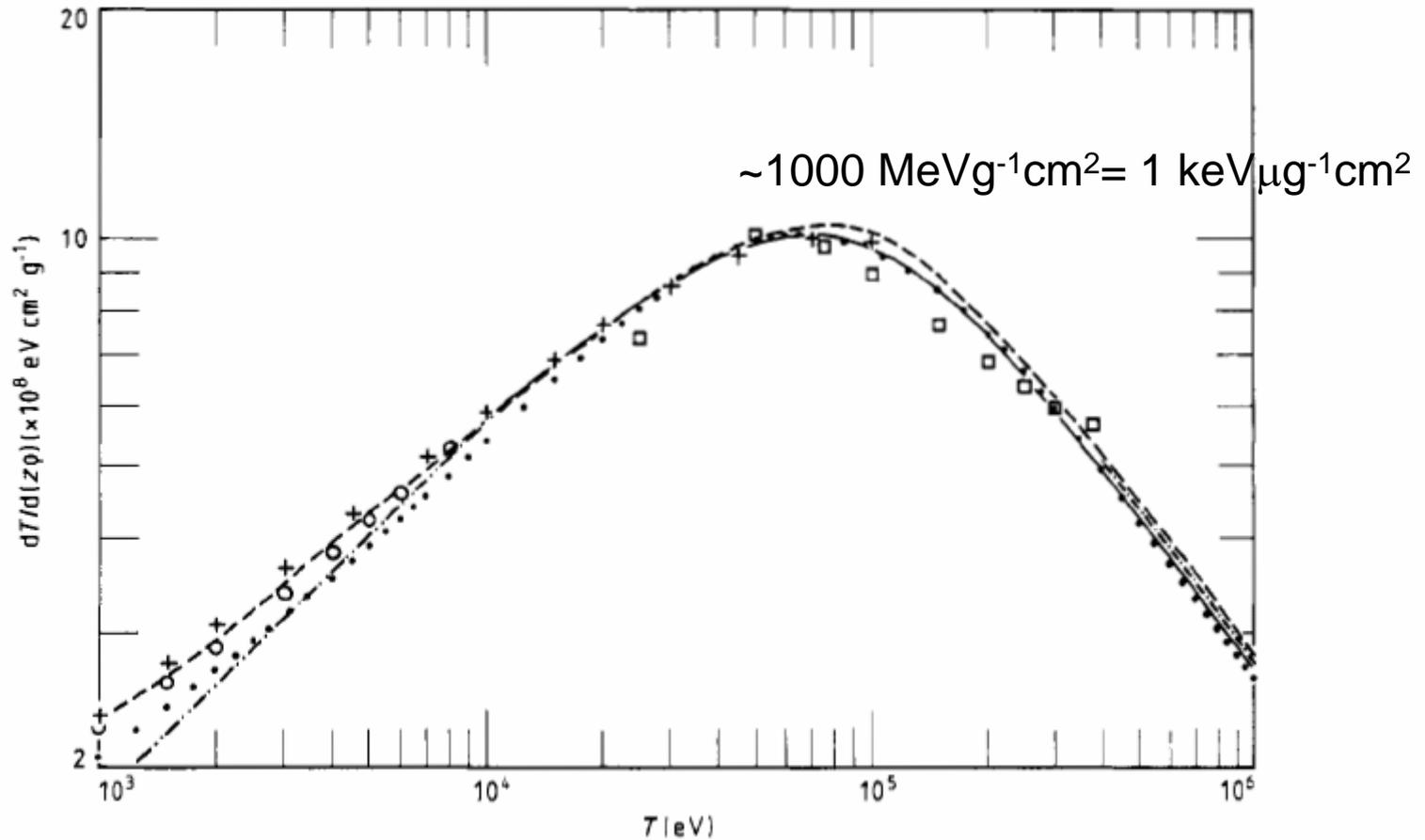
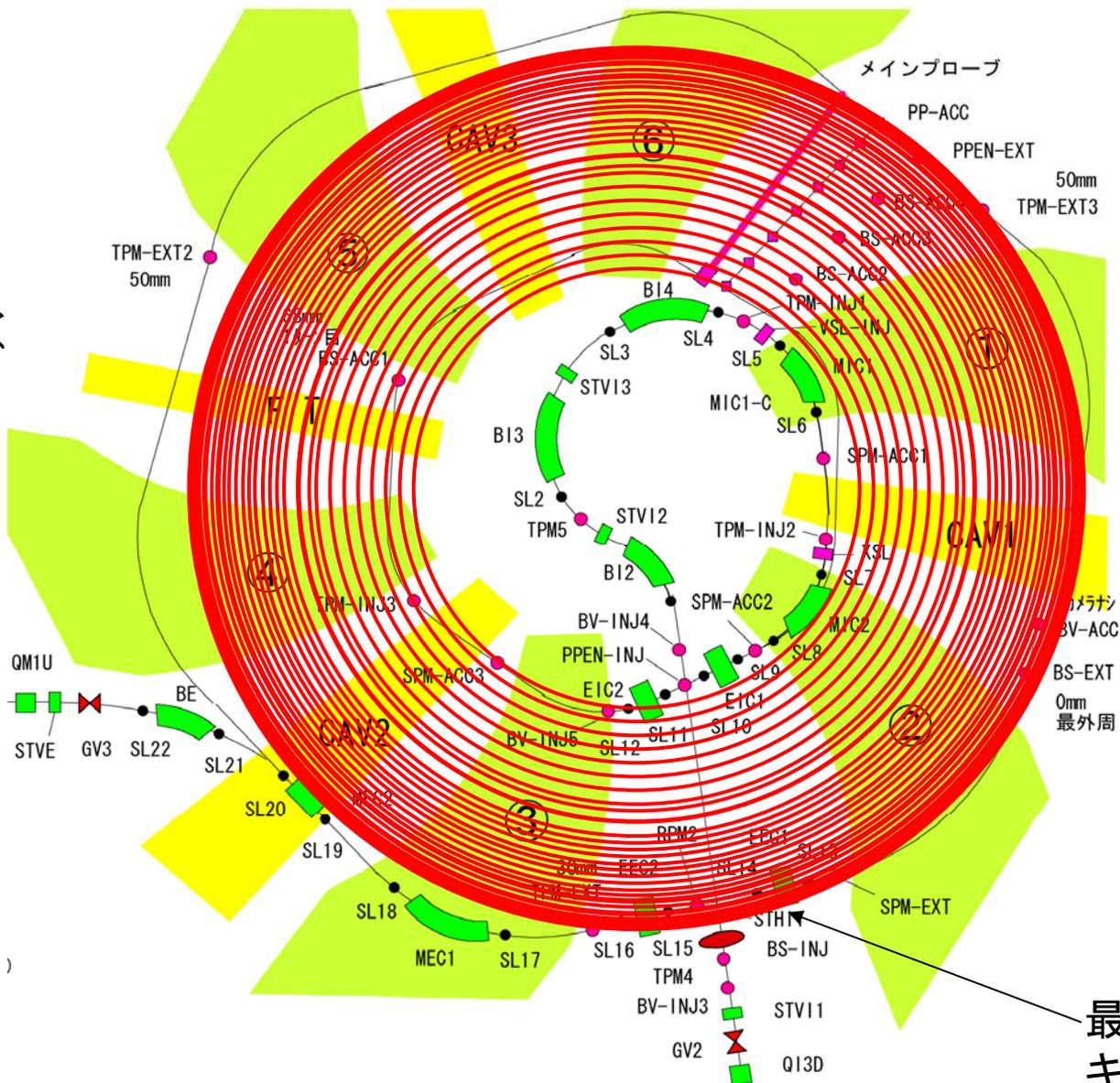


Figure 2. Comparison of the experimental stopping-power data $dT/d(z\rho)$ with other data available: +, present data from the initial (extrapolated) slope of the integral ionisation distribution; \square , Fernandez *et al* (1981); —, ICRU (1983); — —, Oldenburg and Booz (1972); \bullet , derived from Janni (1982); — · —, Andersen and Ziegler (1977) (above 10 keV overlapping the full curve); — · —, Makarewicz *et al* (1986); \circ , Andersen and Ziegler (1977) with nuclear stopping power from Berger (1986).

などなど

RING Storage Cyclotron for a Pulsed Beam

外周部での加速電圧を小さくしていく。



最外周に貯めて、キッカーでパルス状に出す。

Liouvilleの定理は？

小さい摂動を増幅する蓄積リング

特定のタイプの摂動に不安定なLattice Design
を作れるか？



Storage Ring

ごく僅かな外力に対する反応する粒子を選択的にキックアウト

e.g.

Stern-Gerlach による偏極生成、偏極度測定、Spin-磁気能率測定

マイクロ波共鳴

レーザー共鳴(電子付きのイオン)

Stern-Gerlach による spin selection

Proton 10 MeV
磁場勾配 1 T/cm × 1m

proton に関して適用できなければ重イオンはもっと困難



スピン状態による角度の違い:
 $\pm 4 \times 10^{-13}$ rad

10^6 回の周回を全て積算できたとして
 $\pm 4 \times 10^{-7}$ rad

実験的に見分けられることは困難
しかも、うまく積算しないであろう....。

特定のタイプの摂動に不安定なLattice Design
を作れるか？



Storage Ring

↑ ↓ ベータatron振動

↔ シンクロtron振動

} 安定性
(チューン)

1方向への摂動:

チューンが整数である必要がある

→ 不安定な設計

毎回摂動方向を変える:

チューンが半整数である必要がある

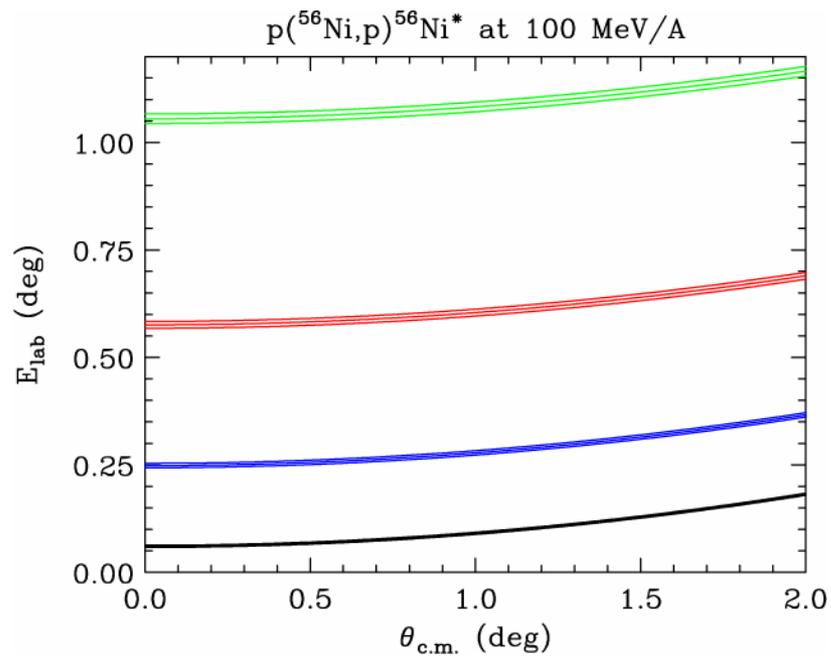
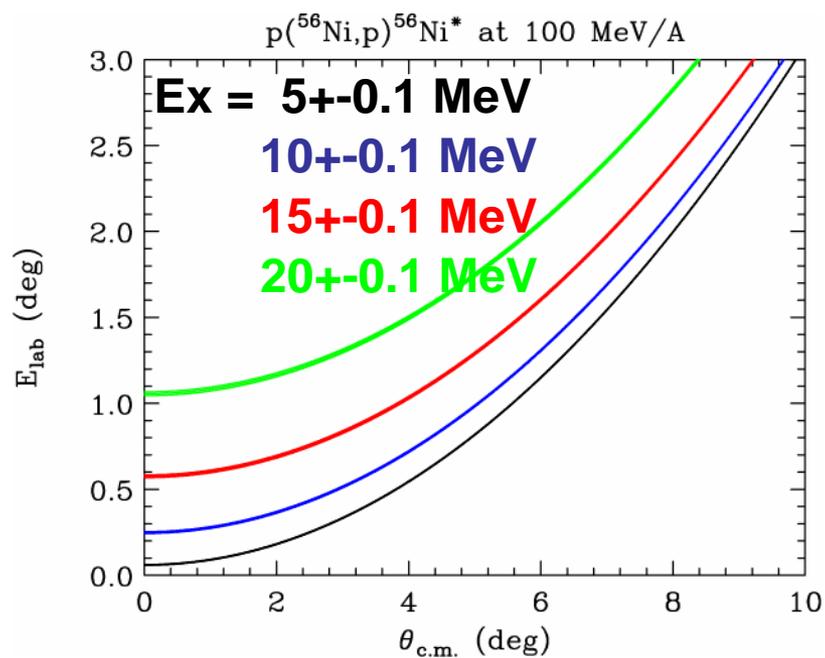
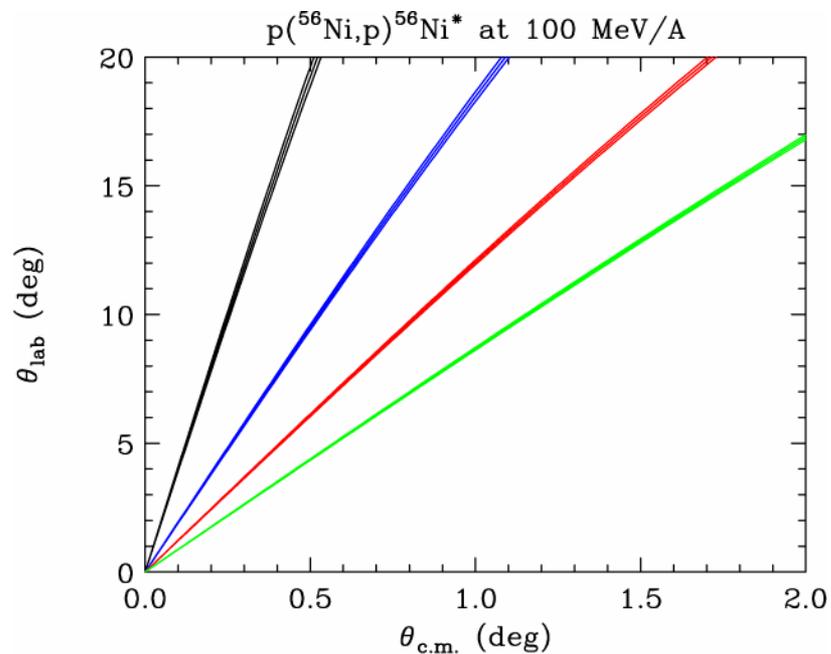
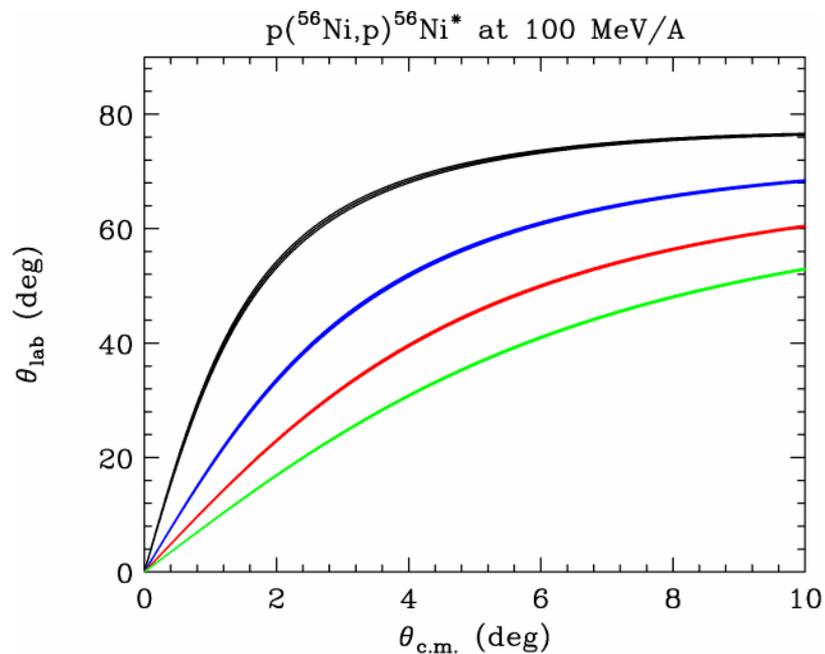
→ 不安定？

摂動方向を特定のシーケンスで
変えて、無理数のチューンに合
わせることもできるが....。

終

$p(^{56}\text{Ni},p)^{56}\text{Ni}^*$

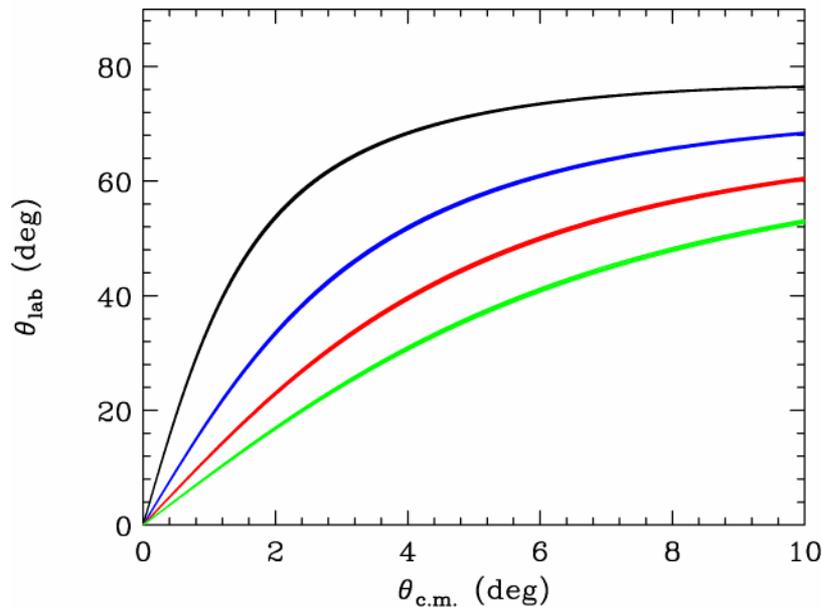
$E_x = 5, 10, 15$ and 20 ± 0.1 MeV



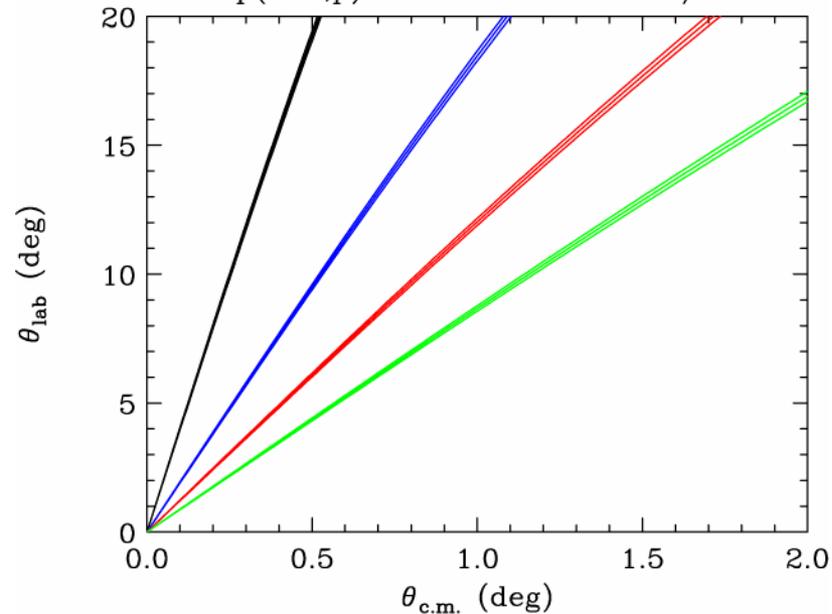
$p(^{56}\text{Ni},p)^{56}\text{Ni}^*$

$E=100\pm 1$ MeV/A

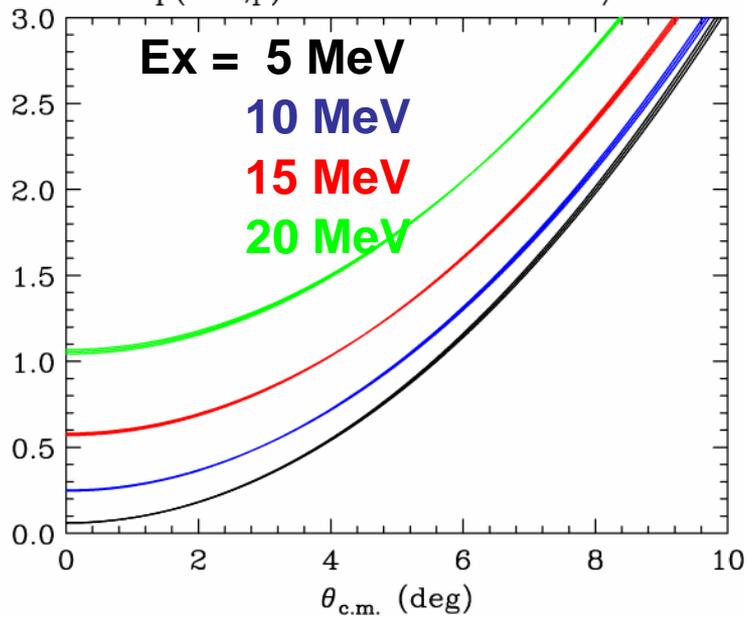
$p(^{56}\text{Ni},p)^{56}\text{Ni}^*$ at 100 ± 1 MeV/A



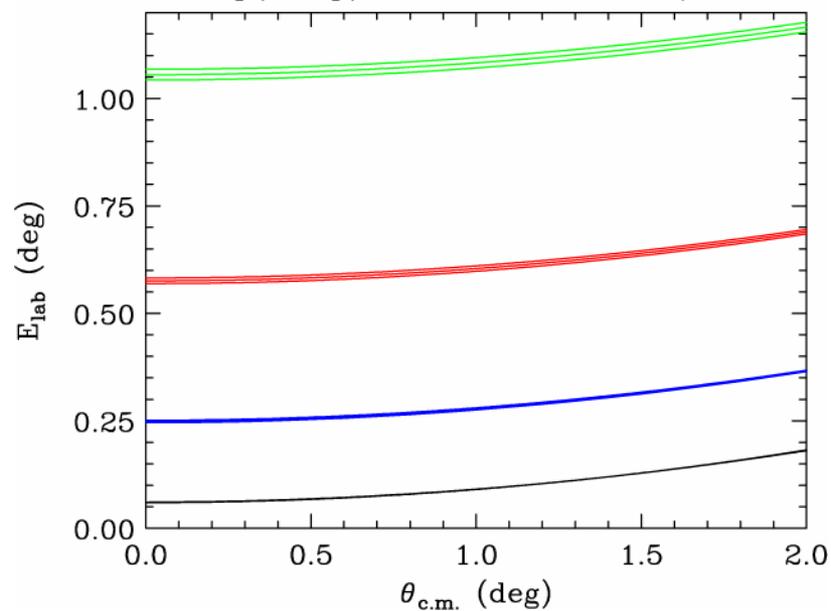
$p(^{56}\text{Ni},p)^{56}\text{Ni}^*$ at 100 ± 1 MeV/A



$p(^{56}\text{Ni},p)^{56}\text{Ni}^*$ at 100 ± 1 MeV/A

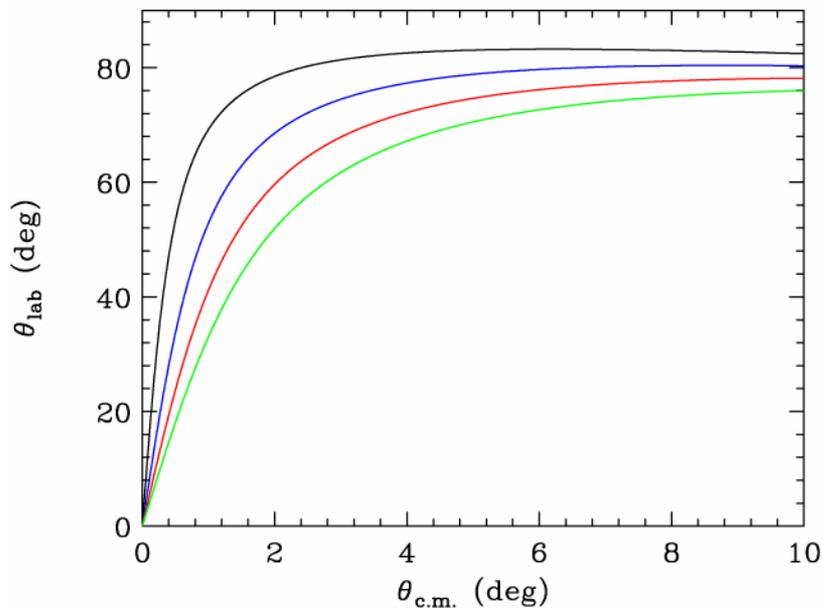


$p(^{56}\text{Ni},p)^{56}\text{Ni}^*$ at 100 ± 1 MeV/A

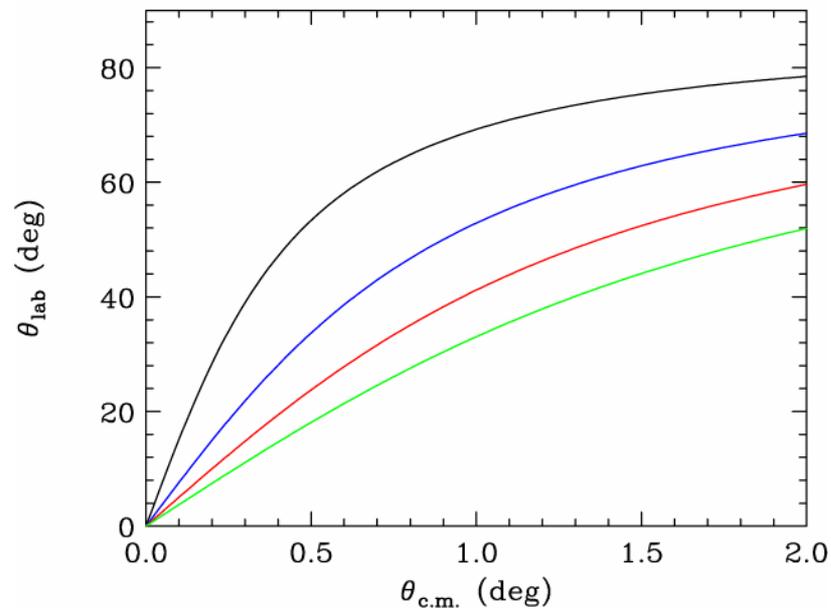


$\alpha(^{56}\text{Ni},\alpha)^{56}\text{Ni}^*$

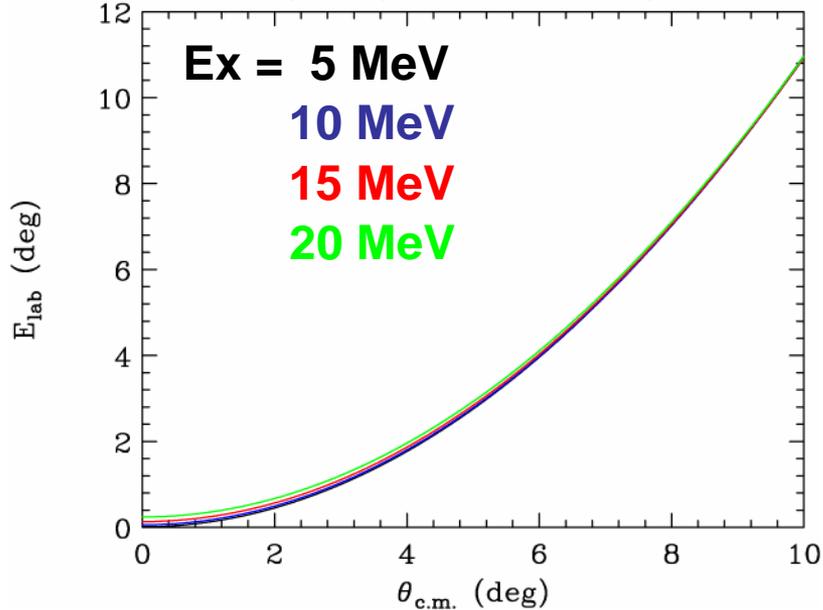
$\alpha(^{56}\text{Ni},\alpha)^{56}\text{Ni}^*$ at 100 MeV/A



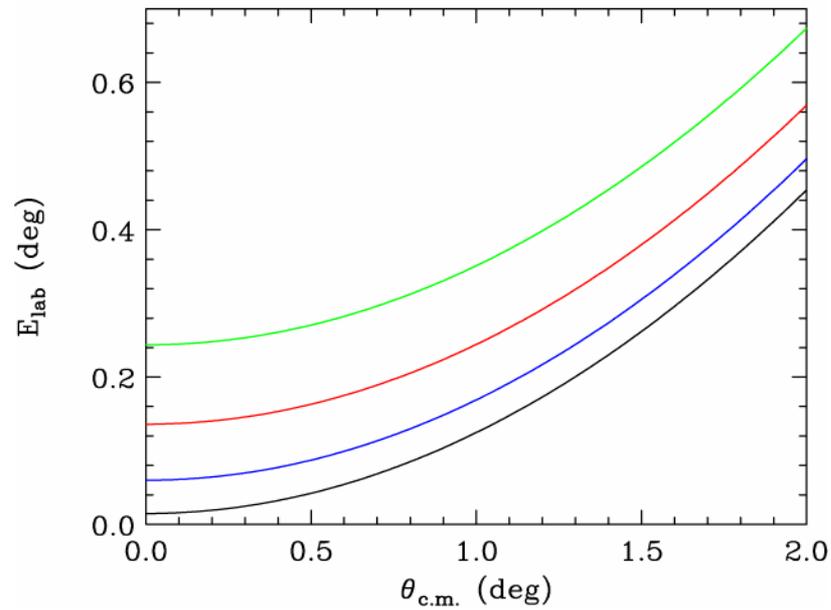
$\alpha(^{56}\text{Ni},\alpha)^{56}\text{Ni}^*$ at 100 MeV/A



$\alpha(^{56}\text{Ni},\alpha)^{56}\text{Ni}^*$ at 100 MeV/A



$\alpha(^{56}\text{Ni},\alpha)^{56}\text{Ni}^*$ at 100 MeV/A



$p(^{56}\text{Ni},p)^{56}\text{Ni}^*$

$E_x = 5, 10, 15$ and 20 MeV

