

東工大集中講義

2002年12月14-16日

# 核反応を用いたスピン応答の 物理学

東京大学大学院理学系研究科物理学専攻  
酒井英行

## 目次 (予定)

- 1 はじめに
- 2 原子核のスピン・荷電スピン応答概観(含む ベータ崩壊)
- 3 核反応論の理論的取り扱い入門
- 4 巨大共鳴と荷電交換反応
- 5 GTクエンチングとSDR
- 6 二重ベータ崩壊とスピン応答
- 7 今後の展望(私的な):
  - ①不安定核ビームによる実験のためのスペクトロメータSHARAQ
  - ②不安定核ビーム実験によるスピン応答実験を計画しよう

下記の方々のPPTをとくに利用させていただきました。  
コピーをするときには原著者の承諾を得てください。  
若狭智嗣 (九州大学)  
矢向謙太郎 (東大)  
武藤一雄 (東工大)  
その他

## 原子核物理学は、何をめざすか？

### ■理論の目標

きちんとした核力をもとに、核子多体系としての原子核を第一原理的に解き上げる。

三核子系の研究はその第一歩。

その中から原子核や他分野でも共通する有効なモデルを探る。そして究極のモデルへ。

### ■実験の目標

様々な観測量を通して核力（有効力）を完成させる。

有限孤立量子多体系のダイナミクス（集団運動）を探る。

新たな現象を見つける。（理論的に予言されているもの。

全く予想されていないもの。）

## 原子核とは

- 孤立有限量子多体系（＜300の陽子・中性子からなる多体系（束縛＋共鳴(散乱)状態）
- 核子・核子(2体)の相互作用：自由空間の散乱実験からポテンシャルが求められている(＜300MeV)
- 核内では、有効相互作用：よくはわかっていない(3体力?)
  - 理論的取り扱いが難しい(予言力に乏しい)、実験家が活躍できる
  - 現象論的取り扱いにならざるを得ない

### 核物理学の面白さ

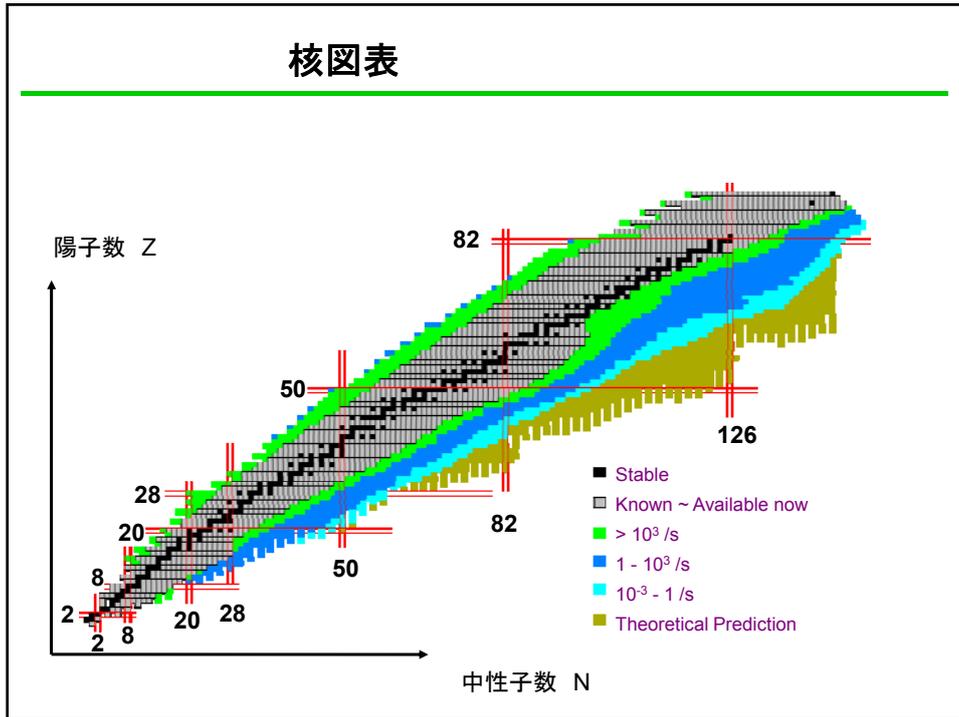
- 孤立量子多体系 → 表面がある！
- 核子 → 重い原子核（安定性、元素合成）
- 集団になって現れる（集団運動、殻構造(魔法数)）
- 媒質効果（物理量の核内変化、真空中での定数は？）

たった300個の核子系で様々な状態が変化に富んで現れる面白さ → 核物性

### 3つの方向性

- |            |        |             |
|------------|--------|-------------|
| ● 極限状態の原子核 | ● 核物質  | ● 道具としての原子核 |
| 高温         | 殻構造    | 基本的相互作用     |
| 高密度        | 集団運動   | 対称性         |
| 高スピン       | 有効相互作用 |             |
| 高荷電スピン     | 媒質効果   |             |

核子多体系 → ハドロン多体系 → クォーク・グルオン多体系(QCD)



### 原子核の研究

- 自然放射能だけでは限界
  - 加速器からの粒子ビーム
  - 核物理の進展は加速器技術とともに
  - 軽イオンビーム → 重イオンビーム → 二次ビーム( $\pi$ , K, 不安定核ビーム...)
- 原子核の性質を調べるには？
  - ...ハンマーでたたいて応答を観測する。

**応答:**  $R(\omega, q, J, L, S, T, \dots)$

$\omega$ : 励起エネルギー  
(ハンマーから得るエネルギー)

$q$ : 運動量移行  
(ハンマーから得る衝撃)

$J$ : 全スピン角運動量

$L$ : 角運動量

$S$ : スピン

$T$ : アイソスピン

**ハンマー(プローブ):** 原子核散乱

$A(a, b)B$  反応

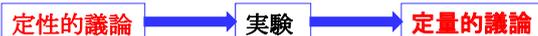
プローブの例:  
( $p, p'$ ), ( $\alpha, \alpha'$ ), ( $p, n$ )

## 核反応による原子核の研究

- 核の量子状態 ( $J, L, S, T, q, \omega$  etc.)をできるだけ制限したい
    - きれいな反応 (相互作用が弱いビーム) 解析しやすい
    - 特殊な反応チャンネルを選ぶ
    - ビームに色をつける (スピン偏極ビーム etc.)
- 実験屋の腕の見せ所!

- 核反応機構の理解
- 核反応の運動学(実験上不可欠な知識)

今回の集中講義のテーマに関して言えば、私の素朴な疑問:核子をまとめて原子核を作るパイ中間子は、核内でどのくらい「うようよ」してるのだろうか?



## 参考文献

- 巨大共鳴全般
  - ・ Harakeh and van der Woude, Giant Resonances, Oxford Univ. Pr., 2001, ISBN: 9780198517337.
  - ・ 浜本育子氏による連続講義@理研RIBF, 講義ノートならびに<http://rarfaxp.riken.jp/~seminar/>.
- (p,n)/(n,p)反応によるスピン・アイソスピン応答(本講義の基となるレビュー)、クエンチング問題、準弾性散乱の偏極移行、Pionic enhancement etc.
  - ・ Ichimura, Sakai, Wakasa; Prog. Part. Nucl. Phys. 56(2006)446.
  - ・ 酒井・市村による「解説」記事、日本物理学会誌 56 (2002) 492.
  - ・ クエンチング問題の解決については、酒井・若狭による「最近の研究から」の記事、日本物理学会誌 52 (1997) 441.
  - ・ スピン・アイソスピン応答の最近の発展は、若狭智嗣氏(九大)らのグループの研究を参照のこと。
- スピンドイポールと中性子スキン厚
  - ・ Yako et al.; Phys. Rev. C74, 051303(R) (2006).
- 二重ベータ崩壊の中間核へのGT遷移
  - ・ Yako et al.; Phys. Rev. Lett. 103, 012503 (2009).
- SHARAQ電磁スペクトロメータ
  - ・ Uesaka et al., Nucl. Instrum. Meth. B 266 (2008) 4218.
- 三体力
  - ・ Sakai et al., Phys. Rev. Lett. 84, 5288 (2000).
  - ・ Sekiguchi et al., Phys. Rev. C 65, 034003 (2002) and Phys. Rev. Lett. 95, 162301 (2005).
  - ・ 酒井・関口による「最近の研究から」の記事、日本物理学会誌 57 (2003) 500.
- ベルの不等式の検証とEPRパラドックス
  - ・ Sakai et al., Phys. Rev. Lett. 97, 150405 (2006).
  - ・ 酒井・斎藤による「最近の研究から」の記事、日本物理学会誌64 (2008) 33.

その他

- [http://nucl.phys.s.u-tokyo.ac.jp/sakai\\_g/index.html](http://nucl.phys.s.u-tokyo.ac.jp/sakai_g/index.html)