

話 題 (IV)

「不安定原子核」研究会

(1990年11月19~21日, 於東京大学原子核研究所)

(東京大学原子核研究所) 久保野 茂

背景

最近の原子核物理の1つの大きな流れは、不安定核の研究にある。中高エネルギー重イオンの核破碎反応により多量の不安定核が生成されるようになり、この分野の研究が急速に高まってきた。核図表(N-Z面)の全域に亘る核物理を展開しようと言うものである。極端に中性子過剰な核の半径は、単純な $A^{2/3}$ 則よりはるかに大きいという示唆が得られている。安定線から極端にはなれた領域の原子核の形や有効相互作用、又それを含む核反応が、その研究対象となる。これまでの安定核とその近傍核に限られていた核物理を、既知核の倍以上の約6000と予想される領域全体に広げ、より深い立場から核物質を理解しようと言う流れである。

一方、宇宙に於ける種々の現象や星の進化は、核反応をともなっている。そして、爆発的に起こる元素合成過程では、安定核のみならず不安定核を巻き込んで起こる。元素合成の観点から核反応を1つ1つ実験室で調べることにより、超新星爆発やビッグバン直後の原始宇宙形成のシナリオを検討することが可能である。しかしながら、これまではこの核領域の研究がほとんどなされていなかった。

更に本格的な研究を目指した不安定核ビーム工場を建設する提案が世界の各地でなされている。これには、高エネルギーの大強度の陽子ビームを用いた核破碎反応を用いて不安定核を大量に生成し、それを加速して用いようと言うものである。日本の大型ハドロン計画の中の Exotic Nuclei Arena もその1つとして期待されている。

今回の表題の研究会は、この Exotic Nuclei Arenaでの物理と測定器のために行っている一連の検討会の1つである。また、この6月(1991年)に金沢で開かれる第四回原子核衝突国際会議に向けての国内会議としての意味もあった。この国際会議も今回は、上記の流れをくんで“不安定核”が中心にすえられている。

研究会の概要

さて、研究会は、おもに次の3つのテーマについて議論された。

- (I) 天体核物理と不安定核
- (II) 極端条件下の核構造
- (III) 不安定核の反応

ここでは、各テーマの中の主な話の概略を記すが、具体的プログラムは添付資料参照。

(I) 天体核物理と不安定核

まず始めに二人の天体核物理の専門家による総合的な話があった。イリノイ大の I. Iben は、s-process における元素合成について話した。また、東海大文明研の寿岳は光の観測の最近の進展について review した。これに引き続いて最近の核物理サイドからの元素合成についての研究成果が発表された。理論からは、梶野により big bang nucleosynthesis で新たに t と d 入射反応の重要性が報告された。又、高塚は中性子星の中での核物質について議論した。土岐と武藤はそれぞれ異なったアプローチから不安定核の構造を調べ r-process 等との関係について議論した。一方、実験サイドからは、爆発的要素合成過程についての最近の成果について久保野から報告された。特に、ビッグバン模型の是非を論じるのに重要な ${}^6\text{Li}(\alpha, n){}^9\text{B}$ についての新展開が報告された。また、理研の Projectile Fragment Separator RIPS を用いた新しい試みの実験的方法が、本林と谷畑から示された。本林は、Coulomb Dissociation が、低エネルギーの粒子捕獲反応の研究に使える可能性を示した。又、谷畑は、100 MeV/u のビームからの不安定核を数 MeV まで減速して天体核反応率を測る試みを紹介した。

(II) 極端条件下の核構造

このセッションでは、主に極端に中性子過剰な核の構造と超重核について議論された。軽い核の中性子過剰核の研究は、BEVALAC を用いた日本のグループによる先駆的な仕事に端を発しているが、理論的研究の現段階を鈴木が、実験的側面を小林が review した。又、反応との関係を佐川がまとめた。中性子過剰核の記述について大塚は変分的殻模型を提案した。又、石川は、3体模型による計算を示した。中性子過剰領域の有効相互作用について河野が議論した。

超重元素生成の方法について、野村は $(\text{HI}, \alpha xn)$ 反応を用いることを提案した。従来用いられてきた Cold Fusion に比べて数桁大きな生成断面積を持つことが予想されることを示し、理研で行っている実験の現状を報告した。また、滝川は、中性子過剰核をもちいる可能性について理論的検討を加えた。

(III) 不安定核の反応

最近 Projectile Fragmentation Process によりスピン偏極が生じることが旭たちにより見いだされたが、そのメカニズムについて、奥野が議論した。又、中性子過剰核を用いた Subbarrier Fusion の実験計画が福田より紹介された。また、Sub-barrier Fusion と Multi-nucleon Transfer Reactions との関係を実験的に調べた結果を Kim が報告した。その他、分子的共鳴状態やクラスター状態との関わりについても議論された。また、核物理センターや GSI での不安定核研究計画が報告された。

おわりに

不安定核の研究は、上の概略でも判るように原子核物理のフロンティアであると同時にルネッサンスでもある。この研究を通じてより深い核物質の理解が得られるものと期待されている。先駆的な研究が現存の施設で始まっているが、本格的な不安定核ビーム工場を日本、アメリカをはじめ世界の各地で計画あるいは建設が始まっている。今回の研究会では触れられていないがその学際的応用の側面も広範囲に及ぶと考えられている。尚、研究会は70名をこえる参加者のもとに熱気のこもった会であった。

この研究会の詳細は、研究会報告集 (JHP-Supplement 8) を参照下さい。報告集希望者は、核研 久保野まで連絡下さい。

参考資料 - 研究会プログラム

① 天体核物理と不安定核

- I. Iben (45) "Nucleosynthesis in s-Process"
寿岳 潤 (45) "Observation of the Elemental Abundances Related to Nucleosynthesis in the Galaxies"
梶野 敏貴 (30) "t- and d- Induced Reactions in the Big Bang Nucleosynthesis"
久保野 茂 (30) "Nucleosynthesis in Explosive Burnig Stages"
高塚 龍之 (30) "Nuclear Matter in Neutron Stars"
親松 和浩 (20) "Nuclear Shapes in Neutron Stars and Super-Nova Cores"
本林 透 (20) "Coulomb Dissociation Experiment for Low-Energy Stellar Reactios"
谷畑 勇夫 (20) "Study of the ${}^6\text{Li}(\alpha, n)$ Reaction with RIPS"
土岐 博 (20) "Nuclear Properties of r-Process Nuclei"
武藤 一雄 (20) "ベータ安定線から離れた核のガモフ・テラー遷移"
片山 一郎 (30) "イオントラップを用いて開かれる物理"

② 極端条件下の核構造

- 鈴木 宣之 (45) "中性子過剰核構造の研究の理論的進展"
小林 俊雄 (45) "中性子過剰核の実験の最近の進展"
大塚 孝治 (20) "変分的殻模型による中性子過剰不安定核の記述"
石川 壮一 (20) " ${}^{11}\text{Li}$ の ${}^9\text{Li}+n+n$ 3体模型計算"
福西 暢尚 (20) "中性子過剰核における N=20 閉殻の破れ"
河野 道郎 (20) "中性子過剰核と有効相互作用"
佐川 弘幸 (45) "中性子過剰核の構造と反応的側面"
早乙女光一 (20) " ${}^{11}\text{Li}$ の分解反応"

- 羽鳥 聡 (20) "軽い陽子過剰核のベータ崩壊"
 N. Carjan (30) "Fission of Hot Nuclei in Multi-dimensional Model"
 野村 亨 (30) "超重元素探索の新しいアプローチ"
 滝川 昇 (30) "超重元素の生成反応"
 池田 清美 (30) "極端条件下の核構造研究のこれから"

③ 不安定核の反応

- 石原 正泰 (30) "RIPS and Perspectives"
 宮武 宇也 (20) "RCNP の不安定核ビームコースを用いた物理"
 藤田 佳孝 (20) "GSI-FRS の最新情報"
 下浦 亨 (20) "不変質量測定法による中性子過剰核の核分光"
 稲辺 尚人 (30) "Neutron halo核のinteraction Cross Sections"
 奥野 広樹 (20) "Projectile Fragmentation Process により発生するスピン偏極メカニズム"
 丸山 敏毅 (30) "Energy and Impact Parameter Dependence of Reaction Mechanism"
 大西 明 (10) "コメント"
 福田 共和 (20) "不安定核を用いてのSubbarrier Fusion"
 H. J. Kim (30) "Sub-barrier領域でのMulti-nucleon Transferとfusionのメカニズム"
 今西 文龍 (30) "弱結合核子状態を有する重イオン核反応"
 阿部 恭久 (30) "High Spin Molecular States"
 馬場 宏 (20) "高角運動量、大変形下の原子核"
 大久保茂男 (20) "fp 殻領域における α -クラスター研究と不安定核"