



原子物理学第二講座

南 園 忠 則*

理学部原子物理学第二講座には現在南園忠則教授、野尻洋一講師、松多健策助手、高橋豊技官、坂本道夫技官が在籍し、大学院学生3人、学部学生2人とともに活発な研究活動を行っている。主な研究テーマはバンデグラーフ型粒子加速器を用いる原子核物理学と、放射線検出による超微細構造相互作用研究である。なかでも原子核を試験体とする基礎粒子相互作用とか自然の対照性の検証等、素粒子物理学と核物理学の学際領域、及び磁性・非磁性金属格子間隙中不純物の超微細相互作用等、核物理学と固体物理学の学際領域研究に独自の分野を拓いている。このように、第二講座では広い意味の原子物理学研究を進めている。

ここでは、我々が使っている主要装置と、我々が開発している実験技術をまず紹介し、そして最近の興味について述べたい。

1. バンデグラーフ加速器

実験室は石橋キャンパス南端にある原子核実験施設の一角にある。ここに当講座の前教授であった杉本健三先生達によって1966年に建設された4.8MVバンデグラーフ加速器がある。当初は4.0MVの加速電圧であったが、その後1975年に今の電圧に改良したものである。建設と改良に当たって意図したことは、種々の用途に用いられる短寿命核(探索子)を高い収率で生成出来るように、高いビーム・エネルギーと大ビーム・電流が得られることであった。現在加速出来る粒子は陽子、重陽子、ヘリウム-3、ヘリウム-4である。例えば3MeVの陽子ビームでは最大150 μ Aが保証されている。我々の通常の研究ではビームは静電的な方法で、時

間幅1 μ S~100秒のパルスにされ、これで標的をたたき、パルスの間(任意に調整出来る)に生成核からの放射線を計測するという方法がとられている。バンデグラーフは垂直型で、主な実験用ビームコース4本は実験室内に水平に配列されている。分配電磁石を回転してビーム移送系を継ぎ換えるので、各コースで得られるビームの質と強度が同等であるという良い特徴を備えている。それ故、各実験装置を所定のコースに長期にわたって設置できるので長期にわたる測定を行い高い統計を上げる必要のある精密実験に適している。加速器の稼働率は高く、昭和59年度には、年間3000時間の運転を行っている。建設以来18年間もの間、故障がなく第一線の装置であり続けたのは、一つには年1回の職員や学生総動員で行うオーバーホールによるところが大きいと思われる。

核反応を使って短寿命核を生成しているが、反応によって同時に他の二つの実験条件が満たされている。即ち、反応生成核を、その反跳角で選択してスピン角運動量偏極を得る事、そして生成核が反応で500KeV程度の運動エネルギーをもらうことである。この二点が後述の応用研究に不可欠である。即ち、一つは我々独自の核磁気共鳴(NMR)がここから始まる、他の一つはこのエネルギーを利用して資料奥深く(表面からほぼ1 μ m程度)に埋込むことに使うのである。

2. 非対称ベータ崩壊検出核磁気共鳴

スピン偏極した核がベータ崩壊するとき、放出されるベータ線(電子線)は偏極方向に非対称に角度分布する。これは有名な弱い相互作用におけるパリティ非保存の結果である。杉本は1965年に核反応で生成する短寿命(1/100~100秒)核のスピン偏極に成功し、直接これを非対称

*南園忠則(Tadanori MINAMISONO), 大阪大学, 理学部, 物理学科, 教授, 理学博士, 原子核物理学

ベータ線分布で検出した。同時にこれを指標とする(NMR)に発展させた。その後、南園達は偏極ビームで起こす核反応による偏極方法を開発し、野尻達は最近斜膜通過法を開発している。このNMRの持つ特徴は次の四点に要約されよう。1)放射線と非対称ベータ線分布検出のために高感度であり、超稀薄不純物のNMRが可能である。これは不純物間の相互作用がない試験が可能であることを意味する。2)核反応で得られる運動エネルギーを使って埋込むので、資料と不純物の組み合わせが任意であり、新材料等の開発試験にも用いられる。3)核寿命(1/100~100秒)程度の動的過程の観測に適している。4)安定同位元素ではスピンとか核モーメント等の都合で得ることの出来ない探索子を新たに生成して用いることが出来る。

現在までに原子番号21以下の元素12種を探索子として使えるようにした。最近新しい手法による短寿命核の生成と集収方法を重イオン加速器を使って開発しつつあり、近々質量数60までの探索子が利用出来るようになる。これは日米共同研究として、我々と東大核研、米国バークレー研究所と共同で進めている。

当然の事であるが、この高感度NMRを他の基礎研究の分野、すなわち化学、生物、工学等の分析的研究、試験にも応用可能するべき努力も続けている。

3. 超微細相互作用

固体中で核と核外電子との相互作用、ひいては不純物の電子構造を明らかにするために、結晶内部の電磁場、核スピン格子緩和時間、結晶格子の不純物による格子拡大、放射線損傷等を我々の開発したNMRで測定している。軽イオンの稀薄な埋込みを行うと、主としてイオンは格子間隙に入る。これは重イオン埋込みの場合に置換位置に留ることと著しい対比をなして興味深い。

現在は強磁性鉄、ニッケル中の軽イオンや、半導体SiやGe中のDeepimpurityについて超微細相互作用の研究を進めている。これは新材料等をめざす応用の面からも興味がある。これ等不純物の電子構造については理学部の金森

教授のグループが、第一原理にもとづく手法で理論研究を進めておられる。一方、超微細相互作用研究の他の側面として、核スピン偏極の制御という技術が可能となり、他の分野への応用が、可能になるということを付け加えておく。

4. 微小実験室としての原子核

核は電子の雲につつま込まれ、核同志の相互作用がない全く孤立した系である。この核はまた核内に人工的には作ることの出来ないメソン場とか、超強電磁場を作る。それ故、核子とこれらの場との相互作用を試験するまたとない微小実験室と考えられよう。この点に着目して自然の対称性、核子の構造、核内メソン、クォーク等について明らかにしようとするものである。最近、我々はこのような研究は核スピンと放出放射線の相関を取る実験によって進められることを実験的に示した。一方、理学部の森田教授のグループが理論的な研究を進めておられる。ここに述べた実験研究は基礎的な相互作用のある部分の研究を進める一つの方向として大加速器を必要しないものとして特徴がある。

5. まとめと将来の方向

ベータ線検出による超微細相互作用研究とこれを手法として用いる広くかつ新しい研究分野の一部を紹介した。方法が確立したのであるが、探索子を生成する効率が既存の加速器では不十分であることが明らかである。そこで最近我々は高エネルギー重イオンを用いる核反応における入射核破碎過程を利用する事にした。この過程では破砕片が、全て入射イオンと同じ速さで前方に出射する。これは簡単な装置で元素分離できることを意味し、実際100%集収可能である。例えば ^{56}Ni (500MeV/核子, 10^8 ヶ/pulse)で1cmのBe標的をたたくと 10^5 ヶ/pulseの ^{56}Ni が集収できる計算になる。中・低エネルギービームよりもはるかに高い効率であることに注意したい。新探索子と高い統計は研究内容を質的に向上させるから現在このビームを加速できるシンクロトロンを実現する方法を模索している。