

理学部附属中間子科学実験施設の発足

山崎 敏 光 (物理)

中間子は、かつては湯川博士の予言した仮想上の粒子でありましたが、戦後、大型加速器で人工的に発生させることが可能となり、最近では中間子をプローブとする基礎科学の研究が盛んに行われるようになってきました。本年度より理学部に設置された中間子科学実験施設は、わが国にはじめて中間子ビームのファシリティを建設し、それをつかっけて基礎科学の研究を行うことを目的として誕生したものです。わが国で中間子を大量に生みだしうる加速器は、現在のところ、高エネルギー物理学研究所(KEK)に完成した陽子シンクロトロンしかないので、実際上は筑波に中間子ビームのチャンネルを設置し、理学部の教官・学生がそれを利用することになりますが、いろいろな準備研究が本郷で行なえるようにすることは云うまでもありません。

一口に中間子と云っても、実はいろいろな種類がありますが、これまですでに建設が進行しているのは、「奇妙さ」という属性をもつK中間子のチャンネルです。これを用いるプロジェクトは、物理学教室の藤井・釜江研究室が中心となって、素粒子、ハイパー核の構造などを主題として行われる予定です。このたび理学部の附属施設として新たに認められたのは、KEKの500 MeV ブースターシンクロトロン $\pi\mu$ 中間子チャンネルを設置するもので、これによっていろいろな学際利用の道が開かれます。

ブースターシンクロトロンは、主リングへのビーム打込用加速器であります。加速されたビームの3/4は主リングに影響を与えることなく他目的に利用できる。その特徴を生かして、パルス中性子散乱と中間子ビーム生産とに利用されることになり、このためにKEK内にブースター利用施設ができました。このうち中間子実験室の建設ならびに研究計画の遂行は東大理学部の事業として行われるわけです。中間子実験室のレイ・アウトは表紙のとおりです。

500MeVの陽子がベリリウム標的にあたると π 中

間子が発生します。110°方向に生まれた電子混在の少ない π 中間子を電磁石レンズ系でとりだしたものが π 実験室、又、0°方向に生まれた強度の高い π 中間子は磁気偏向のあとミュオン(μ 中間子とも呼ばれる)に崩壊するので、これをとりだして使うところが $\mu 1, \mu 2$ の実験室です。ミュオンを効率よく捕集するため、長さ6mくらいの超電導ソレノイドを建設することになっています。これは、1メガジュール以上の蓄積エネルギーをもつ大型超電導電磁石で、その冷却を含め技術開発的要素が沢山横たわっていますが、それだけに将来への波及効果も大きいでしょう。KEKの陽子ビームの強度は世界の三大メソン・ファクトリーといわれるものと比べると二ケタも低いのですが、この超電導方式の採用によりミュオン強度は世界第3位となります。ブースター・ビームはデューティ因子 10^{-6} をもつパルス状ビーム(ビーム幅50nsec, 間隔50msec)であるため、瞬間強度は世界第一位です。

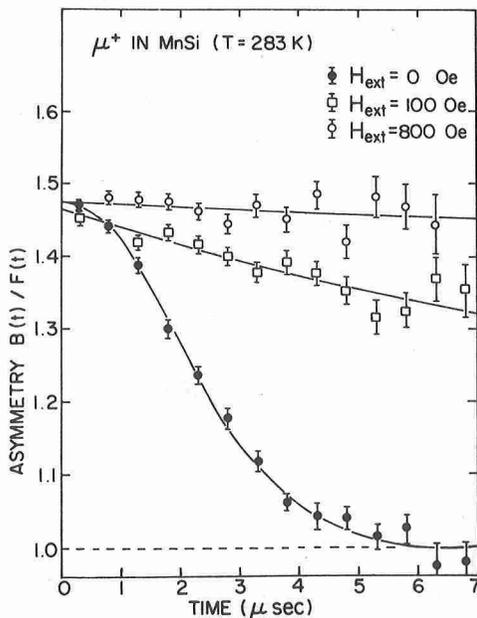
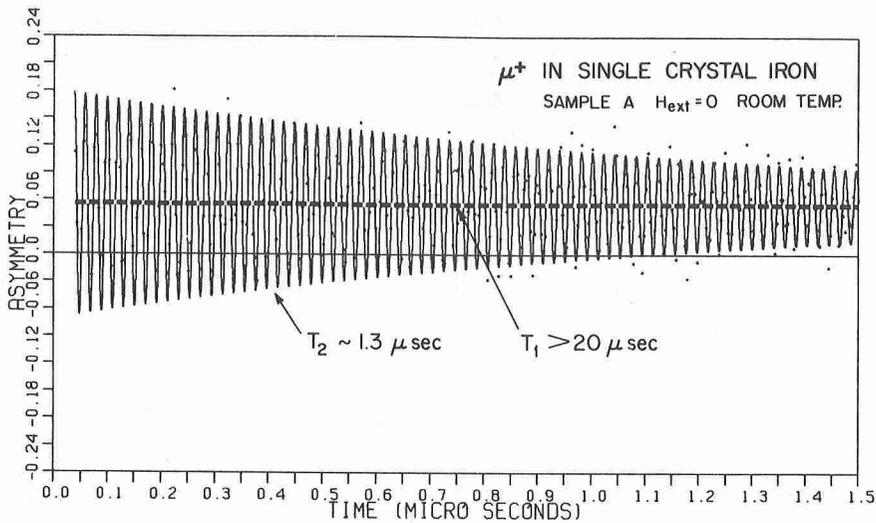
さて、 π 中間子もミュオンも、電子の約200倍の質量をもつ不安定粒子で、物質中でとまったのち、その静止質量がいろいろな形で放出されます。その意味では中間子はエネルギー貯蔵器のようなものです。負の中間子は電子と同様、原子核に束縛されて、いわゆる“中間子原子”をつくりますが、その軌道半径は通常原子の約1/200、エネルギーは約200倍となり、原子核の大きさ、形の影響を強く受けます。又、中間子原子の生成過程が物質の化学結合状態に左右されることも興味ある現象で、ここに化学の新しい領域が生まれました。ミュオン原子X線は通常X線よりもはるかにエネルギーが高く、且つその発生位置を三次元的に同定できるので、空間・時間分解能をもつ非破壊分析法としてユニークなものであり、医学・生物学への応用が期待されています。又、負の π 中間子は、中間子原子を形成後ただちに核と反応を起し、その分裂片が大きな放射線効果をもたらします。これがガンの治療の可能性をもつものとして

注目されているところです。

ミュオンは磁気モーメントをもっており、そのスピンの運動は放射線角分布の時間変化から容易に検知できるので、物質研究のプローブとして魅力あるものです。NMRやESRという略語をなぞって、 μ SR (ミュオンスピン回転) と呼ばれる領域ができました。正のミュオンは、“軽い放射性プロトン”とも云うべきもので、スピンの検知できる水素トレーサーです。中性原子はミュオニウムと呼ばれ、ESR に対応する高い周波数 (1.38MHz/Gauss)

でミュオンスピンが回転するので、裸のミュオンの場合 (13.6KHz/Gauss) とただちに区別できます。ミュオニウムを伴う化学反応はスピンをトレースしながらしらべることができるようになり、水、氷、高分子などでのミュオン状態について新しい知見が得られてきました。

固体中の稀薄な水素の挙動、その電子状態は大変おもしろいものですが、観測可能なだけマクロの水素が入らないところが問題でした。一方、ミュオンはどんな物質の中へも注入できるので、磁性体中の



第1図

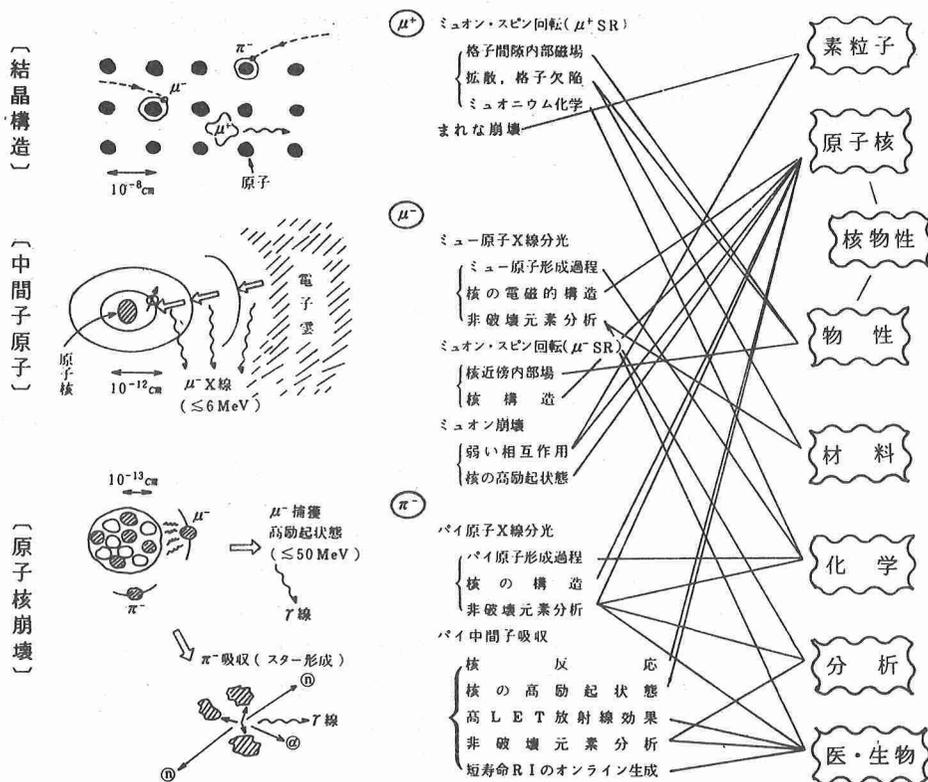
(a) 正ミュオンのスピン回転の例。単結晶の鉄の中で受ける磁場によるラーモア回転と緩和が観測される。これから、鉄の中での伝導電子スピン偏極と量子拡散の様子がわかる。

(b) 正ミュオンのスピン縦緩和の例。弱い強磁性体 (遍歴電子磁性体) MnSi の中では、外部磁場が零のとき、久保一鳥谷部の零磁場共鳴理論に従うようなガウス型緩和関数が見られる。外部磁場がかかるとこれは消滅し、指数関数型になる。キューリー一点近傍まで緩和時間がはかられ、守谷理論が実証された。

“水素”がどのような静的・動的磁場を感じるかとい
 うような、これまで全く未開拓の領域が研究され
 るようになっていきます。(μSRのパターンの一例を
 第1図に示しましょう)。ミュオンは陽子の1/9
 の質量しかもたないため、量子効果(零点運動、ト
 ンネル効果など)がきわだっていることも面白く、
 ミュオニウム化学反応における反応定数の質量依存
 性にも温度によらない量子効果が反映されています。

負のミュオンのスピンもミュオン原子を形成した
 あとまで保たれるので、興味あるプローブとなりま
 す。たとえば、酸素や炭素などNMRのむづかしい
 ものに捕獲されるとき、生成した中間子原子は有効
 な磁気プローブとなります。そのような中間子原子
 をとりかこむ電子状態にも理論の光があてられるよ
 うになってきました。

このたび発足した中間子科学実験施設は、中間子
 が生みだすさまざまなエキゾチックな現象を、既存
 基礎科学との関連において研究し応用することを目
 的としています。そのカバーする領域をまとめると
 第2図のようになるでしょう。プースターのパルス
 状ビームでできない実験は、とりあえず12GeV主
 リング実験室内につくられるPhase 0と呼ばれる
 テストチャンネルで行うこともできます。又、将来、
 専用の加速器がつくられる可能性もありましょう。
 中間子チャンネルの建設というハードな作業と並行し
 て、近い将来行われるべき研究題目についての討論
 も“中間子科学セミナー”を通して行ってあります。
 理学部の教官・学生の皆様方の積極的参加を歓迎い
 たします。



第2図 中間子科学の領域