

キーワードは三つ

—「核力」, 「パイ中間子凝縮」, そして「なごり」—

酒井英行 (物理学教室)

何やら某テレビ局のクイズ番組のようなキーワードをならべたタイトルを掲げてみましたが、今日は私がここ数年来取り組んでいる研究の一端をキーワードにそって紹介してみようと思います。

第一のキーワード「核力」は、原子核を構成している核子（陽子と中性子）を空間的に小さい領域に閉じ込めている強い力として知られています。その核力の中心的役割を担っているものはパイ中間子と呼ばれる粒子で1935年に湯川博士により予言され、その後1947年になって宇宙線の中に発見されました。その後実験と理論の両面から研究が精力的に進められて来ました。丁度私が原子核の研究を始めた時期は、核力についての理解が飛躍

的に深まりだした時でしたが、今日にいたるまでその魅力にとりつかれ原子核の研究を続けてきました。

原子核はもちろん小さすぎて目で直接見ることはできませんが核力のもとで様々な運動を見せてくれます。とりわけ原子核の形が変化し共鳴し運動する状態は最も特徴的なものの一つと言ってもよいでしょう。それはあたかも夏の朝日を浴びてキラキラ輝く里芋の葉の上の水滴の運動にも似ているのではないかと思います。畑の中で朝風を受けて時には水滴がラグビーボールの様な楕円形に変形したり、またあるときには三角おむすびの形になったりしますが、同じ様な運動が原子核の場

合にも起こります。それは核力により核内核子の運動位相がそろうことで起こる集団運動状態であって巨大共鳴とも呼ばれます。さてこれらの運動を司る核力は核内核子同志がパイ中間子をキャッチボールのボールの様に交換することにより作られますが、この時パイ中間子は定常的に核内に存在しているわけではなく、ほんの一瞬出来たり消えたりしながら核力を作っています。つまりパイ中間子は文楽の人形使いの黒子のようなもので表舞台には出てきませんが、最近是人間国宝の人形使いのように表舞台に出て来る集団運動状態が話題になっています。

パイ中間子による力は引力ですが、その引力が非常に強ければ相転移を起こし、原子核内の陽子や中性子はパイ中間子を放出してある確率で定常的にパイ中間子が原子核内に核子と共存するようになります。この様な集団運動状態を「パイ中間子凝縮」と呼びますが、これが第二のキーワードです。高密度の中性子星の内部ではパイ中間子凝縮が起こっている可能性が指摘されていますが、通常の原子核は有限な大きさであるためと密度も低いことからパイ中間子凝縮は残念ながら起こらないようです。しかしながらパイ中間子凝縮には至らないが、集団運動の「なごり」が現れる可能性が理論的に予想されます。このなごりはパイ中間子凝縮の前駆現象と呼ばれています。これが第三のキーワードですが、元々の英語はprecursorであって“まえぶれ”とか“先駆け”としたほうがよいかもしれませんが、物理的な本来の意味合いは「なごり」と「まえぶれ」の両方を含んだものなので「なごり」とあえて言うことにしました。「なごり」を確認しその程度を知ることは、核物理学のもっとも基本的な問題の一つであるパイ中間子交換による核力モデルの描像（より正確には高運動量領域での振舞い）をより確かにするばかりでなく、このような核力に頼って進められている多くの関連分野の計算、例えば上に述べた天体核物理、にとっても重要であると考えられています。

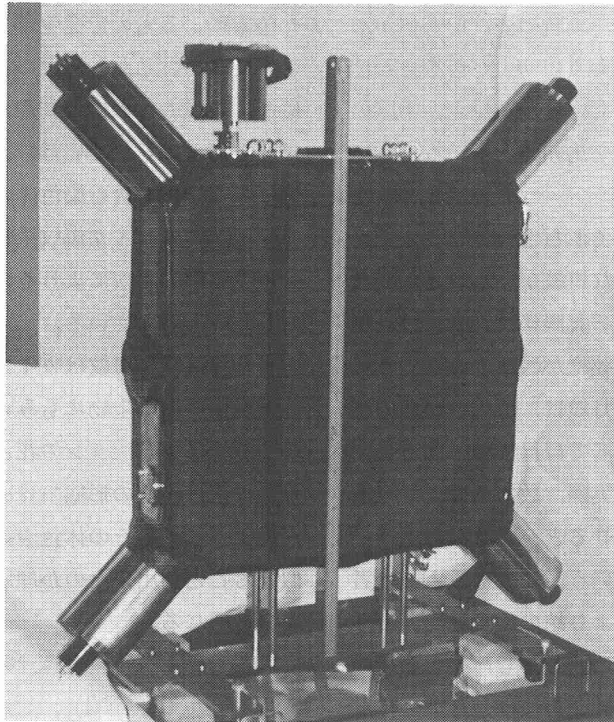
では、「なごり」の存在は実験的にどのようにしたら確かめられるのでしょうか。「なごり」の効果は、原子核の振動の縦波として現れます。残念ながら原子核散乱に於て通常は、縦波と横波の振動は同時に起こり、どちらか一方の波だけを分離し測定することはできません。ところが数年前に全方向のスピンの移行量（偏極移行量と呼ばれることもある）を測定すれば近似的に縦波と横波が分離できる可能性のあることが指摘されました。ここでスピン移行量というのは、文字どおり原子核散乱において原子核に移行されたスピンの大きさであり、実験ではスピン偏極したビームを用いて散乱を起こし出てくる粒子のスピンの向きを測定することにより求められます。この様に書くといとも簡単に全スピン移行量が測定出来ると想像されるかも知れませんが、これはかなり困難な実験でして測定が可能になったのはここ数年のことです。出射粒子スピンの向きはスピナナライザーとよばれる装置で測定しますが、この装置は出てきた粒子をもう一度散乱させて、その散乱の左右非対称を求めるものです。この様に二回原子核散乱を起こさせるので二回散乱実験と呼ばれています。この種の実験の成否を決定するのは、いかに効率の良いスピナナライザーシステムが作れるかにかかっています。そのうえ更にこの実験を困難にしていることに、出射粒子が高速中性子（350 MeV）であるということにもあります。

この春以来のホットな関心を集めている低温核融合でも中性子放出の確認が話題になっていますが、中性子は電荷を持たないため検出効率が悪く一般的に測定は難しく、特に高エネルギーでは検出効率を上げるため測定装置はどうしても大型になってしまいます。そしてこのことは大抵の場合どこで散乱が起こったかの大事な位置の情報が取れなくなることを意味しています。この相反する要求を満たす中性子検出器として、私達は大型で且つ二次元位置が感知できる新しいアイデアによる二次元位置感知型中性子検出器を開発しました。この様な大型（100 cm × 100 cm × 10 cm）検出

器を1メートル間隔で4面並べると、今までに例のない高効率の中性子スピナーライザーシステムが出来ることがわかり提案し、幸いに科研費が認められ、昨年からの建設を始めました。写真は組立途中の二次元位置感知型中性子検出器です。既に2面組上がりオフラインのテストをスタートしました。その結果、検出器の中心部分では約5cmの位置分解能を得ましたが、周辺部分では約10cmと悪く、まだまだ改良の余地が残されているようです。残りの2面は1号館50号室で組立を開始しました。エレクトロニクスやデータ収集系を整備して1991年には「なごり」である前駆現象存在の

測定が開始できるように準備をすすめています。今からどのような結果が出るか楽しみです。実験により核内でのパイ中間子相関について定量的議論が出来れば情報は得られ、核力についての理解が一層深まると期待しています。

最後に私の受けた東京大学の印象をタイトルのように三つのキーワードにしてみますと「伝統」、「象徴」、「なごり」。また観光ガイドブック風には「赤門」、「三四郎池」、「安田講堂」とでもなるのでしょうか。ここでも古き良き時代の「なごり」がみられます。



写真の説明

二次元位置感知型中性子検出器。約100リットルの液体蛍光体が黒紙で覆われた容器に入っている。黒紙は外部の光を遮光するためのもの。四隅に突き出した部分に微弱な蛍光を検出する光電子増倍管と呼ばれる真空管が収められている。右側から入射する中性子が蛍光体と反応して作る蛍光が四隅の光電子増倍管に到着するまでの時間を測定し二次元位置を求める。500ピコ秒（ 500×10^{-12} 秒）より良い精度で時間を決めないといけない。