



Title	重イオン核反応における生成核の偏極
Author(s)	高橋, 憲明
Citation	大阪大学低温センターだより. 1984, 45, p. 6-10
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/9378
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

重イオン核反応における生成核の偏極

教養部 高橋憲明 (豊中 5238)

スピンに関する物理量の決定には、対象が何であれ、磁気量子数が单一の純粹な状態をつくり出すことがのぞましい。これは一般には易しいことではなく、むしろ磁気量子数が不均一に分布した偏極や整列をもつ状態が用いられる。スピンが偏極した原子核がつくり出されると電磁気モーメントや核構造の研究さらには相互作用における対称性の研究や物質の内部電場の研究にも利用できよう。

この項では重イオン核反応生成核のスピン偏極の決定とその系統性にふれ、偏極した不安定核がいろいろの物理測定に役立つことを考えてみる。

スピン偏極した原子核を得る方法が種々あるうち、原子核反応を用いると不安定核をふくめ多種の原子核を偏極させることができる。この十年来イオン源技術と加速器技術の向上と多様化によって、Heより質量数の大きいイオン線を高いエネルギーまで加速できるようになった。これらのイオン線によってひき起こされる原子核反応を普通重イオン核反応と呼んでいる。重イオン反応の特徴は、もちろん入射エネルギーにもよるが、一般に生成核が多様なことである。したがって安定な核のみならず、不安定な核あるいはそれらを持つイオンや原子をつくりだすことが可能である。これらの生成核は安定、不安定をとわず一般にスピン偏極を示すことが容易に予想される。とくに重イオン反応では軌道角運動が大きく、これが生成核のスピンに移行する可能性は大である。さてここでは種々の重イオン反応のうち、

^{14}N イオンを ^{232}Th ,

^{100}Mo などの標

的に行打込むとき
生成される ^{12}B イ
オンの核スピン偏
極について述べよ
う。

実験では生成核
 ^{12}B のスピン偏極
を、反応 Q 値の関
数として調べる。
ベータ放射性核
 ^{12}B はスピン・パ
リティー 1^+ で半

減期 20.3 ミリ秒、

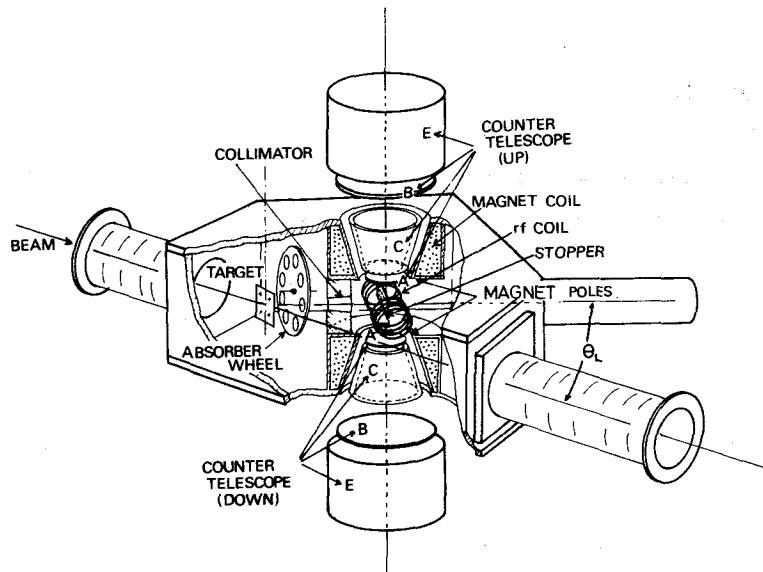


図1 実験装置の見取図

最大 13.4 MeV の電子を放出して ^{12}C の基底状態 0^+ に崩壊する。測定の原理は飛程分析法を用いて生成核の運動エネルギー、したがって反応 Q 値を決定し、ベータ線放出の非対称性の検出からスピノ偏極を決定することにある。

実験装置は図 1 のとおりである。サイクロトロンからの入射重イオン (^{14}N) 線は標的箔に導びかれる。特定の反応角度 θ_L ($= 20 \sim 30^\circ$) に放出される重イオン反応の生成核をエネルギー吸収体 (A1 箔) とコリメータをとおしたあと捕集体 (Pt 箔) に植えこむ。吸収体と捕集体の厚さによって植えこまれた生成核のもとのエネルギーが決まる。

真空容器は電磁石ヨークを兼ねていて、捕集体周辺に反応の平面に垂直に約 1 kG の静磁場をつくり出している。捕集体箔からのベータ線を反応平面の上下に置いた 1 対の検出器テレスコープで検出する。

このとき、A, B, E 検出器の同時計数のうち C 検出器の計数がないものをとる。ベータ線の角度分布は ^{12}B 核のスピノ偏極の方向からはかって $\mathcal{W}(\theta) = 1 - P \cos \theta$ であらわされ、 $\theta = 0, \pi$ のベータ線計数率から偏極が求められることになる。

実際には図 2 のような時間図表による。サイクロトロンからのイオン線をパルス化し約 20~30 ミリ秒標的に入射させる。次の 40~50 ミリ秒ではイオン線は入射せず、ベータ測数を行う時間である。はじめ 2.5~5 ミリ秒で捕集体の両側に置いた高周波コイルに、振幅と周波数共に変調した高周波を加える。静磁場に垂直の高周波磁場を発生させ ^{12}B の核磁気共鳴点 f_0 ($= 765 \text{ kHz}$) 上を一度掃引することによってスピ

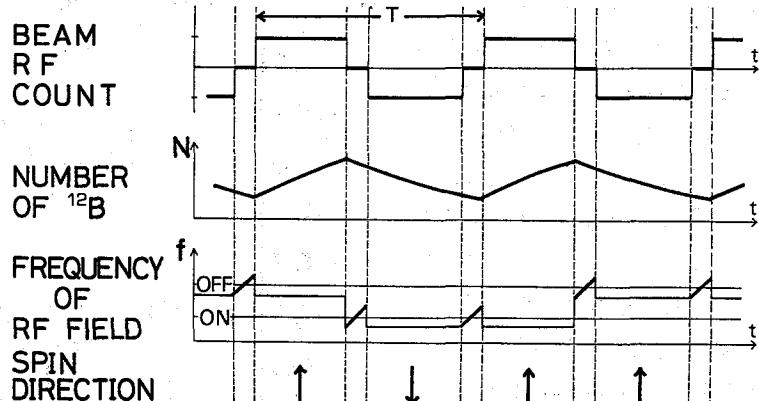


図 2 測定の時間図表

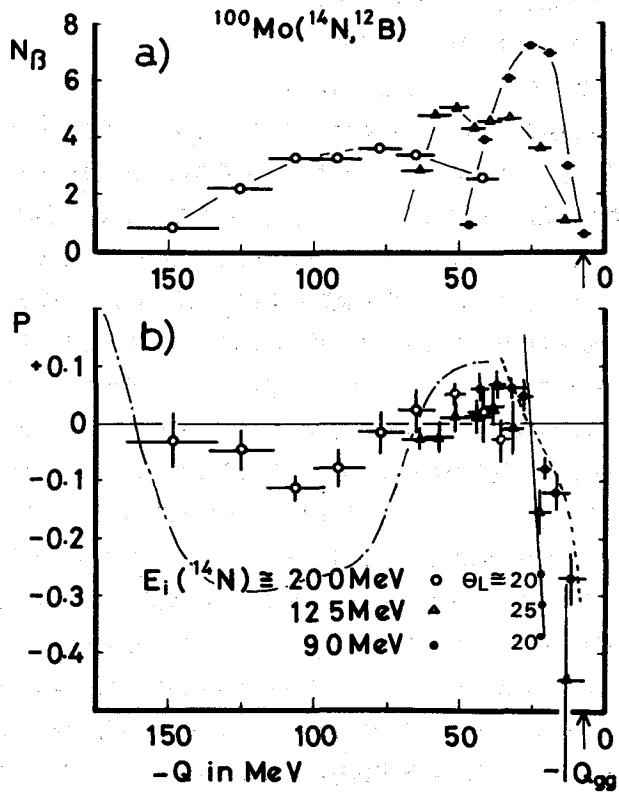


図 3 測定結果の例、a)はスペクトル b)は偏極

の向きを 180° 反転させる。計数時間の終り $2.5 \sim 5$ ミリ秒で再び同じ高周波磁場を加えてスピンの向きを元に戻し、次の照射に移る。次の計数時間の前後では高周波磁場は共鳴点をはずして ($f_0 + 100\text{kHz}$) かけられて、スピンの向きは不変である。このサイクルを十分な計数率を得るまで繰り返す。これら 2 つの計測時間における上下の計数率比 R_{on} と R_{off} から

$P = (\sqrt{\varepsilon} - 1) / (\sqrt{\varepsilon} + 1)$ ただし $\varepsilon = R_{\text{on}} / R_{\text{off}}$ によって実験装置固有の上下非対称の影響なく、偏値 P が決定される。図 3 および図 4 に代表的な 2 つの実験結果を示す。

入射エネルギー $E_i = 90 \sim 200\text{ MeV}$ における標的核 ^{232}Th と ^{100}Mo

における ($^{14}\text{N}, ^{12}\text{B}$) の反応から

^{12}B のスペクトル(上)と ^{12}B のスピン偏極(下)である。横軸は反応 Q 値で Q_{gg} は反応生成核とともに基底状態にある Q 値である。 Q 値が Q_{gg} より小さくなるにつれ反応生成核の運動エネルギーが小さくなり核の内部励起が大きくなる。偏極の Q 値依存性で気がつくのは、 Q_{gg} から 20 MeV 程度にわたって見られる大きな負の偏極であろう。これにつづいてスペクトルの最大附近で偏極は零になる。更に Q 値が小さくなると偏極は正の値をとっている。これは ^{232}Th 標的のばあい顯著である。更に Q 値が小さくなると ^{100}Mo でみられるように偏極は再び負の値をとる。種々の標的を用いて測定した結果一般にこの 3 種の領域が出ることが認められるに至った。重イオン反応の機構は多くの研究者の努力にもかかわらず、いまだに十分な解釈ができない状態にある。1 つの解釈として ^{100}Mo ($^{14}\text{N}, ^{12}\text{B}$) 反応における偏極の実験値に理論から得られた計算値を合わせ示した。細部はさておき、大まかには次のとおりである。 Q_{gg} 附近の負の偏極は ^{14}N から ^{12}B へ 2 つの陽子が一段階で移行されたとした直接反応の模型で説明されている。実線は陽子対の移行に関して運動量と角運動量の整合条件から計算したものであり、移行された陽子対の角運動量の逆向きにスピン偏極が生ずる。点線は歪曲波ボルン近似による計算した結果で、いずれも量子的効果をあらわしたものといえる。一方、破線は核反応時の 2 つの核の接触に伴い 2 つの核表面で粘性があるため軌道角運動量が自転の角運動量に移行したと考えていわば古典力学的な模型によった計算である。入射エネルギーに近い運動エネルギーをもつ生成核は標的核との間のクーロン斥力の影響をうけて外側にまげられる。衝突係数が小さくなるにつれ 2 つの核の間の重なりが大きくなり、生成核は励起されて運動エネルギーは小さくなる。これらの生成核は強い核間引力をうけて標的核をまわりこむ。当

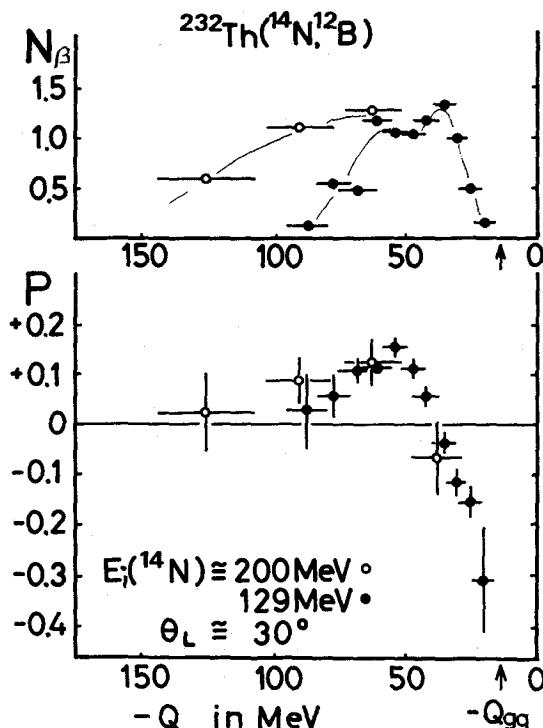


図 4 測定結果の例

然軌道角運動量の向きが逆であるため、スピンの偏極も符号をかえる。この様子は $E_i = 200 \text{ MeV}$ における $^{100}\text{Mo} (^{14}\text{N}, ^{12}\text{B})$ 反応においてよく見られる。 ^{232}Th 標的ではクローラン斤力が大きく、それをのりこえて“まわりこみ”を実現するには 200 MeV より高い入射エネルギーが必要であろうと考えられる。二つのスペクトルの成分に対しておきる偏極のちがいを図式で示したものが図 5 である。

偏極した原子核を利用するとき、収量 σ と偏極 P が共に大きいことが重要であろう。有効指数として $\sigma^2 P$ がとられる。図 3, 4 をみると $Q \sim -50 \text{ MeV}$ の正の偏極と $Q \sim -100 \text{ MeV}$ の負の偏極を用いると有効であることがわかる。

この実験をスタートさせるに当つて重イオンの反応生成核には本当にスピン偏極があるのかとか、どうい

う系統性をもっているのかとかは未知であったので、まず反応の機構の研究から手をつけなければならなかつた。今、やっと偏極の系統性が明らかになり、定性的ながら反応の機構を理解する手がかりがつかめて來た。

さて、このような核反応によって生成される偏極した原子核とくに不安定原子核はどのような実験に役立つであろうか。まず重イオン反応の生成核は一般にスピン偏極していることが期待される。これら生成核の特徴はまず運動エネルギーが大きいことである。したがつて容易に物質中に打ち込むことが出来る。また運動エネルギーが十分高いと ^{12}B は電子をはぎとられた状態にあるため、超微細相互作用によって偏極がくずれることもない。たとえば、 $^{100}\text{Mo} (^{14}\text{N}, ^{12}\text{B})$ 反応における $Q = -100 \text{ MeV}$ の負の偏極は $150 \mu\text{m}$ 厚のアルミニウムの吸収体をとおったあと白金箔に植えこまれた ^{12}B のベータ線を測って得られたものである。

スピン偏極したこれらの原子核をスピン偏極を保ったまま捕集体に植えこみ、核磁気共鳴法を併用してその崩壊時の放射線の観測を行うことによって不安定核の電磁気モーメントの研究ができるこまづあげたい。同位体についてのこれらの情報が得られれば、原子核構造の研究の見地から一連の貴重なものとなろう。さらに弱い相互作用等について基本的な知見が得られることも期待されよう。物質に偏極したイオンを植えこむことは、また物性物理とくに超微細相互作用を介した物理への知見を見のがすことはできないであろう。運動エネルギーが大きいと液相中へ植え込むことも可能となろう。これらの実験は物質中の内部電磁場の研究として意義をもつと考えられる。

このような実験を考えるに当つて生成核の収量あるいは、放射線の計数率が問題となろう。入射重イオン線平均電流 $1 \mu\text{A}$ 、反応断面積数 mb/sr のばあい、標的箔、捕集体の厚さにもよるが ^{12}B からの計数率は平均每秒数カウントくらいは可能である。

重イオン線は種々の加速器から得られる。たとえば、 $\text{Li} \sim \text{Ar}$ の加速器として、大阪大学核物理センターのサイクロotron をはじめわが国にもいくつかのサイクロotron やタンデム型静電加速器がある。さらに重いイオンは日本原子力研究所の大型 (25 MV) ベレtron、さらに建設中の理化学研究所の

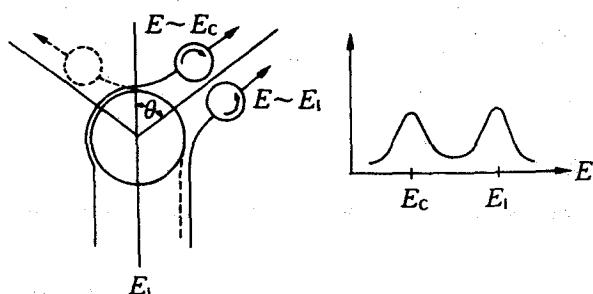


図 5 反応のさいの軌道と生成核の回転

新しい重イオンサイクロトロンが有効であろう。これらは核子当り数MeVから十数MeVのエネルギーをもつ良質の各種重イオン線を供給してくれる。

この方向の実験によって原子核および物性物理両面への応用が広がり新しい知見の得られることを期待する。

ここで挙げた実験結果は、大阪大学核物理研究センターと理化学研究所のサイクロトロンを用いて得たものである。

参考文献

- M. Morita, *Beta Decay and Muon Capture*, W.A. Benjamin Inc., (1973).
- K. Sugimoto, M. Ishihara and N. Takahashi, *Polarization Phenomena in Heavy-Ion Reaction*, Prenum Press (to appear soon in a series, Heavy Ion Sciences ed, D.A.Bromley).
- T. Minamisono et al., *Hyperfine Interactions* 9, (1981) 53.
- N. Takahashi, *Polarization Phenomena in Nuclear Physics-1980* pp 1016-1026, AIP (1981).

訂正とお詫び

本誌44号目次のうち、「接着剤の科学」の執筆者 中尾一宗さんの名前を間違えておりました。

ここに訂正すると共にご本人にお詫びいたします。