

Title	液体ヘリウム中の短寿命核をもつイオンの挙動
Author(s)	高橋, 憲明
Citation	大阪大学低温センターだより. 61 P.9-P.13
Issue Date	1988-01
Text Version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/11094/4798
DOI	
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

液体ヘリウム中の短寿命核をもつイオンの挙動

教養部 高橋 憲明 (内線5237)

核偏極した短寿命ベータ放射核 ^{12}B のイオンを超流動ヘリウム中に打ち込み、崩壊のさい放出されるベータ線の非対称角度分布によって核偏極を測定した。液体ヘリウム中で、 ^{12}B 核を静電場によって搬送し得ること、その核偏極が寿命($T_{1/2}=20.3\text{ms}$)の間保持できることがわかった。不純物イオンのまわりに50-100個のヘリウム原子が凝縮して、帯電した氷球粒子(snowball)ができるため上述の現象を示すと考えられる。氷球粒子のこの性質は、不安定原子核の電磁気モーメントの決定にさいして有効であろう。また、氷球粒子のベータ線による新しい検出法は超流動の基本的な問題等を明らかにするのに用いることができるであろう。

1. はじめに

超流動ヘリウム中に導入された不純物原子のイオンを中心にして50-100個のヘリウム原子が凝集し、+1価の帯電体が生じる。このことは30年近く前、超流動ヘリウム中におけるヘリウムイオンの輸送現象を調べているときに発見された。¹⁾このマイクロクラスターを氷球粒子(snowball)と呼んでいる。ヘリウムイオンだけでなく、他の正イオンも氷球粒子を作ることが知られている²⁾。氷球粒子についての解説は多々あるが、文献³⁾は生き生きとした記述と相俟って、液体ヘリウム中の荷電粒子に関して多々興味を呼び覚ましてくれる。

重イオン反応における核偏極を調べているうちに、この文献³⁾によって氷球粒子に興味を湧き、そこで用いた方法、⁴⁾ベータ線検出法によって個々の氷球粒子を検出をしようとして始めたのが本実験である。

実際、氷球粒子はこれまでそれらが運ぶ電流によって検出されていた。このため、 10° 程度程度の氷球粒子がないと検出は不可能であろう。このことが氷球粒子を用いる実験の障壁の一つになっていたと考えられる。ベータ不安定核を中心として氷球粒子を作り出せば、そのベータ線を検出することによって氷球粒子を個々に検出することが可能になるであろう。これによって、従来に比し遙かに高感度な新しい検出法が確立できるであろう、というのが本実験の狙いである。

氷球粒子は固化した芯をもっていると考えられているが、⁵⁾また一方で、現在までの実験結果が本当にすべて固体の描像を支持しているか疑う面もある。⁶⁾氷球粒子の構造を調べようとすれば、従来の電流検出法とは別の、新しい検出法を開発することが必須であろう。

ここでは液体ヘリウム中に導入された不純物イオンの周りに生ずる氷球粒子の輸送と検出、および不純物イオンの核偏極保持について報告する。報告する当研究班の実験結果は初めてのもので、実験誤差も大きく、まだ最終的ではないことを最初にお断りしておく。

があり、その大きさは 900 G で不均一度は約 2 % である。放射されたベータ線は超流動チェンバーの 100 μm 厚のステンレス窓を通過したのち、真空箱の 50 μm アルミニウム窓を通り検出器に入る。検出器は二対の薄いエネルギー損失検出器と、一对の厚いエネルギー検出器、および磁極の内面で磁極から散乱されるベータ線を除去する検出器の速い同時計数から成っている。ベータ線の検出最小エネルギーはほぼ 3 MeV である。

一回おきのオフビーム時間に高周波磁場を共鳴点 675 kHz を一回通過させることによって、断熱通過の核磁気共鳴をかけ不安定核 ^{12}B の核偏極を 180° 反転させる。これはオンビーム時間が終わったときと、次のオンビーム時間の始まる前それぞれ 5 ms 間に行う。核磁気共鳴用の高周波は静磁場に垂直にかける。そのため高周波コイルは超流動箱の中、超流動ヘリウム中に浸している。別のオフビーム時間には高周波は核磁気共鳴点をはずしてかけるため核偏極の反転は生じない。これらの時間に測定したベータ線計数から、左右非対称を平均によって求めた。この方法によって装置固有の非対称の影響は、取り除かれている。

不安定核 ^{12}B の核偏極は標的から超流動箱の窓のいたる真空中においては、イオンが完全に電子を剥ぎとられた状態にあって超微細相互作用が働かないので、そのまま保持される。窓などを通過中ではこれらの原子との衝突時間が短いため、核偏極がこわされることはない。

偏極核 ^{12}B からのベータ線の角度分布は弱い相互作用におけるパリティ非保存から

$$W(\theta) = 1 - P \cos \theta$$

と書ける。このさい、 $\theta = 0$ は ^{12}B の期待される核偏極 P の方向、すなわち反応平面に垂直な方向である。 P の大きさはベータ線計測の非対称 R を使って

$$P = (1 - R^{1/2}) / (1 + R^{1/2})$$

と書け、そのさい

$$R = [N(0) / N(\pi)]_{\text{off}} / [N(0) / N(\pi)]_{\text{on}}$$

ここで N はそれぞれのオフビーム時間における $\theta = 0$ と π でのベータ線の計数である。

4. 結 果

測定したベータ線のエネルギースペクトルと時間スペクトルは、 ^{12}B ($E_{\beta\text{max}} = 13.7$ MeV, $T_{1/2} = 20.3$ ms) のものと一致している。第 2 図は時間スペクトルの 1 例である。実線は測定点に合わせたもので $T_{1/2} = 20.3$ ms を表わす。測定された偏極の値は $7 \pm 3\%$ で、パーゼル規約に従ったその符号は正である。この値は以前当方で測定した入射エネルギー 129 MeV、角度 30° での核反応 $^{232}\text{Th} (^{14}\text{N}, ^{12}\text{B})$ における ^{12}B の偏極に一致している。すなわち、本来の最もエネルギーの高い部分の平均の偏極値は +10% であった。このことから ^{12}B イオンの核偏極はその寿命の間保持さ

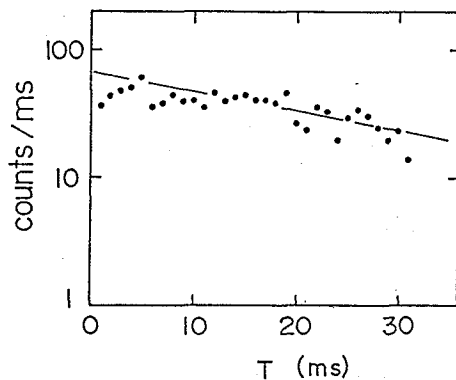


図 2 ベータ線の時間スペクトル

れるものと結論する。ただし、計数の総計を上げて誤差を減らすことが今後の課題である。また、ベータ線の計数率から判断して、液体ヘリウム中に入ってきた¹²Bのうちおよそ1%程度が氷球粒子を形成するようである。

5. 議 論

核偏極保持が観測されたことから、氷球粒子の構造は対称性が極めて高く、固体の性質を持つものである可能性が大きい。すなわち、正に帯電したイオンのまわりにヘリウム原子が極めて恒久的なマイクロクラスターを形成している。古典力学的な模型によったAtkinsの説明⁹⁾は定性的に正しいと考えられる。この模型は1個のパラメーター、表面張力だけを用いて、描像を明らかにしてくれる。誘電分極による凝縮は広い範囲にわたって、イオンのまわりの液体の密度の増大をもたらす。しかし、イオンから数Aにわたって密度が極めて高くなっていることは理解されているものの、果たして固体の芯が形成されているかは、これまで明らかでなかった。

もし、氷球粒子が対称性の低い固体構造や、液相の状態にあれば、実験で得られたように核偏極の凍結が起こると考えるのは無理であろう。例えば、Johnson と Glabersonは、各種の不純物イオンを含む氷球粒子の易動度の測定から、氷球粒子は小さな結晶であると結論しながらも、易動度が不純物イオンの原子番号と単なる比例関係にないことから、氷球粒子は完全な球形ではなくその表面が振動している可能性がある指摘している。²⁾

さて、この実験結果から、氷球粒子中において核偏極が凍結され得ると考えてよいであろう。すると、実験事実はその他に何を示唆するであろうか。不純物イオンの周りに作用する誘電分極はイオンの電荷のみによって、多くのヘリウム原子を集めるであろう。そして、一般にこのような凝集体では、どのような種類の不純物イオンが中心になってもよいであろう。そのさい、固体の芯が形成され、数A程度の半径で液相に変わる可能性がある。⁹⁾

このような核偏極の凍結が生じることは、氷球粒子が核モーメントの決定にさいして極めて有効な捕集体となり得ることを示している。さらに、中心となる核の原子番号(陽子数 Z) や中性子数 N に依存しない。最近完成した、核反応で生成された不安定核をイオン線として形成する方法⁹⁾と、この方法を組み合わせると、従来、 $N-Z$ 平面の安定線附近の狭い部分に限定されていた原子核分光の研究を、広い $N-Z$ 平面に広げる有力な方法を提供する可能性がある。

また、この氷球粒子の新しい検出法は超流動ヘリウムの中における不純物イオンの輸送現象の詳細な研究を可能にするであろう。とくに⁶He や ⁸He 等のベータ放射核のイオン線⁹⁾を用いると超流動における基本的な問題や、ヘリウムの固化に際して、その中に自然に存在する不純物が核になる可能性¹⁰⁾も試されるであろう。

6. ま と め

新しい検出方法によって、超流動ヘリウム中の不純物イオンが静電場によって搬送されること、またその核偏極を凍結し得ることを示した。ヘリウム原子の凝集体である氷球粒子は、このことから対称性の高い構造をしていることと、恒久的な固体の芯をもつかどうかを明らかにする手がかりが得られたと

考えている。

この報告はまだ実験の初期の段階の結果によるものであるが、今後上に述べた発展の方向に期待している。

参考文献

- 1) L. Meyer and F. Reif, Phys. Rev. 110 (1958) 279L. G. Careri, F. Scaramuzzi and J. O. Thomson, Nuovo Cimento 8 (1959) 1758.
- 2) W. W. Johnson and W. I. Glaberson, Phys. Rev. Lett. 29 (1972) 214.
- 3) 伊達、固体物理 5 (1970) 485.
- 4) 高橋、低温センターだよりNo. 45 (1984). K. Sugimoto, M. Ishihara and N. Takahashi, *Polarization Phenomena in Heavy-Ion Reactions* in Treatise on Heavy-Ion Science, edited by D. A. Bromley, Vol. 3, Plenum Press, New York, 1985. N. Takahashi, Hyperfine Interactions 21(1985)173. K. H. Tanaka, Y. Nojiri, T. Minamisono, K. Asahi and N. Takahashi, Phys. Rev. C34(1986)580.
- 5) K. W. Schwarz, Adv. Chem. Phys. 33(1975)1.
- 6) D. L. Goodstein, J. Low Temp. Phys. 33 (1978)137.
- 7) G. W. Rayfield and F. Reif, Phys. Rev. Lett. 11 (1963)305.
- 8) K. R. Atkins, Phys. Rev. 116 (1959)1339.
- 9) I. Tanihata, H. Hamagaki, O. Hashimoto, S. Nagamiya, Y. Shida, N. Yoshikawa, O. Yamakawa, K. Sugimoto, T. Kobayashi, D. E. Greiner, N. Takahashi and Y. Nojiri, Phys. Lett. 160B (1985)380. I. Tanihata, H. Hamagaki, O. Hashimoto, Y. Shida, N. Yoshikawa, K. Sugimoto, O. Yamakawa, T. Kobayashi and N. Takahashi Phys. Rev. Lett. 55(1985)2676.
- 10) M. W. Cole and T. J. Sluckin, J. Chem. Phys. 67 (1977)746.