

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. 1988, 61, p. 9-13
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/4798
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

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}=20.3ms)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。"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"。氷球粒子について の解説は多々あるが、文献"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"によって氷球粒子に興味が湧き、そこ で用いた方法、"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、10⁶ 個程度の氷球 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。

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。

-9-

2. 氷球粒子

液体ヘリウム中に導入された正イオンはそのまわりに強い電場を作る。ヘリウム原子は極めて電気分 極しにくく、そのため僅かばかり誘電分極したヘリウム原子が多数凝集して氷球粒子ができる。氷球粒 子の内部の圧力は0 Kにおける融解圧を十分超えている。したがってその内部その内部は固相になって いる可能性がある。これらのことはすでに1958年頃に見出された。氷球粒子の関係する一連の仕事の意 味は、超流動ヘリウムの素励起の1つロトンの存在を明確に示したりして、超流動状態の全体としての 描像を明らかにした点であり、また最も顕著な例は量子化された渦の発見"である。

氷球粒子はちょうど上層大気中にある埃の粒子の周りに水滴が凝固して雨粒ができる状況に似ている。 気相中で不均一に液相ができるように超流動ヘリウムの液相には氷球粒子という固相を含んだ凝集体が できると考えてよいのであろう。

3. 実 験

この実験は大阪大学核物理研究センターのサイクロトロンを用いて行った。135 MeVまで加速された" Nビームを30 msのビーム幅、繰り返し80 msにパルス化し、まず4 mmの直径に集束させたのち、水冷 したTh標的に導いた。標的を通過したビームはファラデーカップで止め、ビーム電流を測定した。反 応生成核¹² Bを²³² Th (¹⁴ N, ¹² B)反応により創り出し、反応角度 25°に置いたスリットを通して 取り出した後、クライオスタットの空間に導き、1.7 Kの超流動へリウム中に打ち込んだ。超流動へり

ウムの温度は超流動チェンバー中の蒸気圧と GeとC抵抗によって測った。チェンバーの 窓は50µm 厚のステンレスで出来ていて、 ある値以上の運動エネルギーをもつ反応生成 核のみ超流動へリウム中へ入ることができる。 超流動へリウム中での不安定核の飛程は数m である。入ってきた¹² Bは停止過程でほとん ど中性化されるが、一部は中性化されずに誘 電分極によって50 – 100個のへリウム原子で 固く囲まれて氷球粒子を形成する。このよう にして生成された氷球粒子は30m×50mの超 流動チェンバー中に印加された静電場によっ て約20m搬送される。実験装置を第1図に示 す。

こうして搬送された不安定核が放射するベー タ線を40 msのオフビームの間にプラスティッ ク検出器によって検出する。左右一対の検出 器は反応平面に垂直に配置してある。標的か ら超流動チェンバーにいたる道筋には静磁場



図1 測定装置

-10 -

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100µm 厚のステンレス窓を通過したのち、真空箱の50µm 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、一対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、超流動へ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剝 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そ 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ー非保存から

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

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

 $R = [N(0) / N(\pi)]_{off} / [N(0) / N(\pi)]_{on}$ である。 ここで N はそれぞれのオフビーム時間における $\theta = 0 \ge \pi$ 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 ($E_{\beta \max} = 13.7$ 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±3% で、バ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 Th ("N,¹² 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

-11 -

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¹² B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"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 る可能性があると指摘している。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Å程度の 半径で液相に変わる可能性があろう。⁵

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⁹⁹と、この方法 を組合わせると、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⁶ H e や⁶ H e 等のペ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

- 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.
- 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.