

Title	Production of polarized $^3\text{He}$ ion beam based on electron pumping
Author(s)	有本, 靖
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3169104">https://doi.org/10.11501/3169104</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

氏名	ありもと やすし 本 靖
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 15143 号
学位授与年月日	平成12年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 理学研究科物理学専攻
学位論文名	Production of polarized $^3\text{He}$ ion beam based on electron pumping (電子ポンピング法による偏極 $^3\text{He}$ イオンビームの生成)
論文審査委員	(主査) 教授 畑中 吉治  (副査) 教授 佐藤 健次 教授 岸本 忠史 教授 田中 正義 助教授 下田 正

### 論文内容の要旨

大強度、高偏極の $^3\text{He}$ ビームを生成する方法として電子ポンピング法が考案された。我々はこの方法を証明し、実用機としての可能性を探るために、テストベンチ装置を開発し、実験を行なった。電子ポンピング法は光ポンピング型偏極イオン源 (OPPIS) の欠点を克服するものである。その原理は光ポンピング法によって偏極したアルカリ蒸気は無偏極の一価の $^3\text{He}^+$ イオンを入射し、電子捕獲とストリッピングを繰り返して、偏極を大きくしていくものである。この方法によりまず OPPIS では原子番号が2以上の元素を偏極するのに必要な LS Decoupling 磁場 ( $>30\text{T}$ ) を2 T程度にすることが出来る。また、OPPIS では磁場の入口と出口での電荷の状態が異なるために生じるフリッジング磁場によるエミッタンスの劣化を防ぐことができる。

アルカリ蒸気として我々は現在のレーザー技術で生成可能な共鳴波長を持つ Rb 蒸気を選んだ。ポンピングレーザーとしては Ar イオンレーザー励起の Ti-Sapphire レーザーを導入した。LS Decoupling 用の磁場として、2 T の超伝導磁石を導入した。また、 $^3\text{He}^-$  イオン生成のために Duoplasmatron を導入した。このイオン源は  $200\ \mu\text{A}$  の  $^3\text{He}^-$  を生成することが出来る。Rb 蒸気の厚さと偏極度の測定にはファラデー回転法を用いた。また  $^3\text{He}$  の核偏極度はビームフォイル分光法によって測定された。

我々はこれらの装置を用いて、まず電子ポンピング法を証明するために、 $^3\text{He}$  の核偏極度の Rb 厚さ依存性を調べた。その結果、電子ポンピング法に特徴的な傾向である、Rb 蒸気が厚くなるに連れて  $^3\text{He}$  の核偏極度が大きくなる傾向が見られた。また、この傾向が電子ポンピング法によるものであるということを抑えるために、 $^3\text{He}^-$ -Rb 系のスピン交換反応断面積を理論的に計算し、実験結果で得られた、この断面積と比較した結果、矛盾のない結果が得られた。これで電子ポンピング法の正しさが裏づけされた。また、電子ポンピング法において、高密度の偏極 Rb 蒸気を生成することが必要なため、Rb の偏極度が小さくなる。そこで高密度で高偏極 Rb 蒸気を達成するために、減偏極機構を調べた。そのために、光学シャッター素子であるポッケルスセルによりポンピングレーザーをチョップすることによって、緩和時間を測定した。緩和時間には速い緩和と遅い緩和の2つの成分が見られた。速い緩和については今まであまり詳しい議論はなされていなかったが、我々は速い緩和成分はラジエーショントラップによる Rb の偏極に分布が生じた結果であるというモデルでうまく説明できることを示した。また、遅い成分は壁緩和と Rb 炉から偏極 Rb が放出されて、無偏極の Rb と入れ変わる Effusion によって生じるものであることがわかった。Effusion の効果についても定量的に詳しくとり扱われてはいなかったが、今回その効果を熱力学的モデルで説明することが出

来た。また現在の装置では Effusion が大きく減偏極に効いていることが分かった。将来 Rb 炉を設計する際には Rb 炉を大きくする必要があるであろう。またラジエーショントラップの効果を小さくするためには別種のアリカリ蒸気を入れたり炉の長さを長くする必要がある。

### 論文審査の結果の要旨

本研究では、光ポンピング法によって偏極 Rb 蒸気による  $^3\text{He}$  の核偏極度の Rb 厚さ依存性を調べ、蒸気が厚くなるに従い  $^3\text{He}$  の核偏極度が大きくなることを示した。この測定により、大強度、高偏極の  $^3\text{He}$  ビームを生成する方法として提唱された電子ポンピング法を初めて実証した。 $^3\text{He}^+ - \text{Rb}$  系のスピン交換反応断面積を理論的に計算し、実験結果と良い一致を得た。さらに、偏極 Rb 蒸気の緩和現象に 2 つの時間成分があることを発見し、解析モデルを提案し測定結果を説明した。本研究は、博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。