


論文内容要旨 (和文)

氏名 王 力 論文題目 高分子の偏極重陽子標的の開発

1960年代以降、偏極固体ターゲットはスピン依存相互作用によってハドロンの構造を研究するために使用されてきた。一般的に偏極固体ターゲットはスピンを持つ粒子の集合体であるサンプルを高い磁場の下に置き、非常に低い温度にまで冷却することによって実現されるものである。このとき、偏極固体ターゲットを実現するために基本的に念頭に置かなければいけないことは、核スピンの対する高い偏極度を如何にして得るか、ということである。このためには、マイクロ波の場を利用して、電子の高いスピン偏極を核スピン偏極に移行させるようにする方法が取られる。この方法は、能動核偏極、英語でDynamic Nuclear Polarization(DNP)と呼ばれている。原子核物理学実験や素粒子物理学実験のための固体偏極ターゲットの分野では、能動核偏極は、いわゆる放射線照射によるドーブ法、または化学的なラディカルドーブ法によって核偏極を得る有効な技術として知られている。1970年代の超伝導電磁石と希釈冷凍機の発展によって、放射線照射アンモニアや化学ドーブされたエタンジオールなどを使って、70-100%の陽子偏極度が安定的に得られるようになった。この時の標準的な磁場と温度は、(2.5T, T<0.3K)あるいは(5T, T=1K)であった。重陽子は陽子よりもより小さな磁気能率を持つため、その偏極度はかなり低く、化学ドーブした重陽子化ブタノールで典型的に30%から40%程度、放射線ドーブしたアンモニア、および重水素化リチウムでそれぞれ、40%から45%および50%から55%であった。高分子材料は1994年以来PSIグループによって偏極シンチレータターゲットとして開発された。これらは、化学ドーブされたポリエチレン、ポリスチレンおよびエチレン・プロピレン重合体であった。

さて、最近、高分子系のサンプルを用いた偏極ターゲットの長所が理解され、興味を持たれている。このサンプルは、従来によく利用されてきたアルコール系のサンプルに比較して、室温でも扱いやすい。また、室温においてフォイル形状への加工の容易さを備えているため、1994年以来使用されている。これまでに、80%を超える陽子偏極度が素粒子物理学実験のシンチレーティング偏極標的において得られている。しかし、重陽子化高分子材料、すなわち、放射線照射された重陽子化ポリエチレンや化学ドーブされた重陽子化ポリスチレンでも40%以上の偏極度が得られていない。

我々は偏極ターゲットサンプルとして、高分子サンプル中の陽子を重陽子に置換した重陽子化サンプル、すなわち、重陽子化ポリエチレン (C_2D_2) と重陽子化ポリスチレン (C_8D_8) を製作し、研究を行った。

DNPに必要な常磁性中心を作り出す過程として、放射線ドーピングと化学ドーピングがあるが、両方の方法をそれぞれの重陽子化サンプルに試みた。これらの要求される常磁性中心はXバンドの電子スピン共鳴スペクトロメータによって確認された。CD₂の放射線ドーピングは、ボン大学のELSA加速器施設の線型加速器を用いて行われた。この線形加速器からの20MeVの電子を 1.0×10^{15} - 1.0×10^{17} e/cm²の電子線強度でサンプルに照射し、サンプルを調整し、能動核偏極を試みたところ、重陽子偏極度31%の磁場2.5テスラ、温度150mKの能動核偏極条件において観測することができた。

一方、重陽子化ポリスチレンに常磁性センターを埋め込むため、フリーラディカルであるトリチルラディカル化合物の主要なメンバーである"Finland D36"と呼ばれる化合物を使って化学ドーピングを施した。重陽子偏極度のスピン集中度についての依存性を調べるために、スピン濃度が 0.4×10^{19} から 1.56×10^{19} spins / gのサンプルが準備された。BochumのDNP装置で以下の標準的な条件でテストを行った：(a)2.5 T /1.0 K (b)5.0 T /1.0 K (c)2.5 T, <400 mK (d) 5.0T, < 400 mK 放射線ドーピングのCD₂フォイルサンプルでは、能動核偏極条件、磁場2.5T、温度150mKにおいて重陽子偏極度31%が得られた。化学ドーピングのC₈D₈サンプルは能動核偏極条件、磁場5テスラ、温度1 Kにおいて、重陽子偏極度32%が得られ、磁場5テスラ、温度400mKにおいて60%以上という高い重陽子偏極度が得られた。






数時間という短い偏極生成時間と14時間という長いスピン緩和のため、そのサンプルは、散乱実験での極重陽子化高分子標的やシンチレーション偏極標的の良い候補である。その高い偏極度は、トリチルラディカルが持つ電子スピン共鳴の狭い線幅に起因する。そして、より低い温度で運転された希釈冷凍機を使えば、さらに重陽子偏極度の向上が期待できる。サンプル準備に関する将来的な課題は如何にして均一な厚さをもつフォイルサンプルの製作を実現するかということである。今後、相対的にダイリュージョンファクターを与えるためのトリチルラディカルを用いて化学ドーピングした重陽子化ポリスチレンを準備する努力が払われることになる。

学位論文の審査及び学力確認の結果の要旨

平成26年 2月 10日

理工学研究科長 殿

論文博士論文審査委員会

主査 岩田 高広 
副査 近藤 慎一 
副査 宮地 義之 
副査 堀川 直顕 
副査 

学位論文の審査及び学力確認の結果を下記のとおり報告します。

記

1. 論文申請者

氏名 王 力

2. 論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記する。)

..... The development of deuterated polymer target

..... (高分子の偏極重陽子標的の開発)

3. 審査年月日

論文審査 平成 26年2月7日 ~ 平成 26年2月7日

論文公聴会 平成 26年2月7日

場所 理学部13番教室

学力確認 平成 26年2月7日

4. 学位論文の審査及び学力確認の結果 (「合格」・「不合格」で記入する。)

(1) 学位論文審査 合格

(2) 学力確認 合格

5. 学位論文の審査結果の要旨 (1,200字程度)

別紙のとおり

6. 学力確認の結果の要旨

別紙のとおり

別紙

氏名	王力
学位論文の審査結果の要旨	
<p>本論文は素粒子、原子核実験で利用される偏極標的の開発に関して記述されたものである。特に低エネルギーでの核融合などの研究での利用が期待される重陽子化高分子偏極標的について薄膜試料作成から能動核偏極による偏極励起実験の結果までが述べられている。</p> <p>第1章【研究目的】では研究目的に関して、能動核偏極の歴史、偏極重陽子標的の重要性、高分子の偏極標的の役割について記述されている。</p> <p>第2章【スピン偏極パラメータ】ではスピン偏極のパラメータの定義、散乱実験非対称度測定における Figure of Merit、偏極度、熱平衡偏極度、能動核偏極などについて記述している。</p> <p>第3章【能動核偏極のメカニズム】では能動核偏極を引き起こすメカニズムとして代表的な固体効果と等スピン温度の理論について述べている。</p> <p>第4章【能動核偏極でのフリーラディカルの役割】では能動核偏極におけるフリーラディカルの役割に関して、固体中での ESR 幅の広がり、放射線照射や化合物ドーブによる常磁性中心の生成について議論し、様々なポリマーの ESR 測定について記述している。</p> <p>第5章【NMR による偏極度の決定】では、NMR の一般論を示した後、NMR による重陽子偏極度測定の方法としてピーク値非対称度法と面積法について記述している。</p> <p>第6章【能動核偏極装置】では冷却系、磁石系、マイクロ波系、NMR 系など能動核偏極のための装置について記述している。</p> <p>第7章【CD_2 と C_8D_8 試料の準備】では CD_2 (ポリエチレン) と C_8D_8 (ポリスチレン) 偏極試料の準備として、薄膜試料の作成や放射線照射の方法について述べている。</p> <p>第8章【実験結果】では能動核偏極によって得られた偏極度について示している。C_8D_8 にトリチルラディカルを化学ドーブした試料で 60% という高分子試料では過去最高の重陽子偏極度が得られたことが示されている。</p> <p>第9章【まとめ】では、本論文のまとめが書かれている。</p> <p>本論文は従来高い重陽子偏極度が得られていなかった高分子試料を対象にして、実際の原子核実験で使用できるほどの高偏極度を持つ標的の生成を目指した研究をまとめたものである。CD_2 と C_8D_8 の2つの試料について、能動核偏極に必要な常磁性中心の混入法として放射線照射と化学ドーブという2つの方法を試している。また、それぞれの方法について、パラメータを様々な変化させ、ESR 測定を地道に行い、最適な試料の探索の後、能動核偏極を実施している。結果的に、高分子標的として最も高い重陽子偏極度が得られる試料とその作成法を探し出している。これにより、高分子偏極標的の実用化への道が拓けたと評価できる業績であり、博士の学位審査として合格であると判定した。</p> <p>また、特許関係も無いので、論文の印刷公表について問題が無いことが確認された。</p>	
学力確認の結果の要旨	
<p>本論文は英語で記述されており、公聴会も英語で行われたため、外国語科目について十分な学力があると判断した。専門分野に関連する科目の学力確認として、「核融合反応」、「核磁気共鳴」、「スピンドイナミックス」、「古典電磁気学」などに関する口頭試問を行ったところ、期待した受け答えができていた。これらによって、基本的な学力が認められたため合格と判定した。</p>	