

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 22 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23654073

研究課題名(和文) ナノテクノロジーを応用した、ニュートリノ実験のためのシンチレータの開発・研究

研究課題名(英文) R&D study on a scintillation detector for neutrino studies with nano-technology

研究代表者

岸本 康宏 (Kishimoto, Yasuhiro)

東京大学・宇宙線研究所・准教授

研究者番号：30374911

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：液体シンチレータ中にナノ粒子を分散させることで、光学的に透明でかつ巨大な標的物質を含んだ、新しいタイプのシンチレータの開発と研究を行った。本研究では、標的物質として、二重ベータ崩壊核であるカルシウムに注目し、炭酸カルシウムのナノ粒子についての実験を行った。4種類のナノ炭酸カルシウム試薬を液体シンチレータ中に分散させることを試みたが、溶解度が小さく、しかも安定でないことが判明した。ナノ粒子の分散では、表面修飾がカギを握るため、この動向に注意して将来再チャレンジしたい。

研究成果の概要(英文)：R&D studies on a new type of liquid scintillator with nano-particles. We selected four type of nano-compounds made of CaCO₃, which contains Ca and used as target substance for future double neutrino experiments. It was found that none of the nano-compounds are stably suspended in liquid scintillator which is pseudo-cumene base. Surface treatment is crucial for nano-compounds to be stably suspended, so it is important to study about this context.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学、素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：シンチレータ ナノテクノロジー

1. 研究開始当初の背景

ナノテクノロジーの進展に伴い、比較的安価で容易に入手可能なナノ粉末が市販されるようになった。他方、ニュートリノ研究の分野では、反応頻度が希であるため、巨大で安価な検出器が望まれている。

ニュートリノは反応の頻度が非常に希であるため、非常に巨大な検出器を必要とする。実際の実験では、1 トンを超えることが必須で、詳細な実験を遂行する上では 10~数 100 トンまでの拡張を容易に行えるスケールビリティを念頭に置くことが多い。

昨今、ニュートリノ 2 重ベータ崩壊の内、ニュートリノを出さないモードの探索が非常に強い関心を集めている。これは、このニュートリノ反応が検出されると、ニュートリノは素粒子の内での唯一のマヨナラ粒子と言う性質を持ち、しかも、そのマヨナラ性のために、この宇宙に反物質が無いこと、ニュートリノ質量がなぜ非常に軽いのか、等、宇宙と素粒子の謎と深く関係しているからである。

このようにニュートリノ 2 重ベータ崩壊のニュートリノを出さないモードの探索は、非常に注目を集めている一方、その観測には、前述のように非常に巨大な検出器を必要とする。10 トンを超えた装置で、詳細な研究を進めるには、比較的安価な有機液体シンチレータ様々な物質を溶解させて、実験を遂行する必要が有る。

しかし、2 重ベータ崩壊する原子核の種類は限られており、そのため、液体シンチレータに溶解させる際には、液体シンチレータの発光特性を損なうことが無いように、その原子核種毎に化学物質を選択、合成する必要があり、現在の所、それに成功しているのは、カムランド(日本)と SNO(カナダ)のみである。

このような状況下、本研究では、炭酸カルシウムのナノ粒子が安価に流通していることに注目した。特に、塗料への添加剤への利用がなされ、有機シンチレータと相性が良いと予測された。

しかも、カルシウムは 2 重ベータ反応原子核の内、最も高い Q 値を持ち、希減少実験の大敵であるバックグラウンドに強いという利点が考えられた。

このような背景の下、本研究に着手した。

2. 研究の目的

本研究では上記 2 つを背景、即ち、ナノ粒子が容易に入手可能となったこと(特に炭酸カルシウムのナノ粒子は安価)、及び、ニュートリノ物理(そのうちでも特に 2 重ベータ崩壊実験)の関心の高まりを背景として、ナノ粒子を標的物質として含有した、液体シンチレータの開発・研究を行った。

特に、炭酸カルシウムのナノ粒子を分散させた液体シンチレータの光学的な諸性質を調べ、それが将来のニュートリノ実験に使用可能であるかを調べることを目的とした。

具体的には、

- (1) ナノ粒子を液体シンチレータに分散した際の、分散量、安定性等を調べる。
- (2) 液体シンチレータとして基本的な以下の諸性質を測定する
発光量
透過、散乱
- (3) ニュートリノ実験は非常に希な事象を捉えるため、シンチレータ中の放射性元素を極限まで減少させる必要が有る。本研究では、その放射性元素の成分と量を定量する。
- (4) これらの情報を元に、将来のニュートリノ実験に使用可能であるかを評価する。

炭酸カルシウムの他にも、2 重ベータ崩壊核を含む、ナノ粒子を調べ、酸化ジルコニウム、硫酸カドミウムなどが本研究の目的、即ち、ナノ粒子を用いた、将来のニュートリノ実験のためのシンチレータ開発・研究に合致しているため、これらのナノ粒子も、炭酸カルシウムと同様に対象とした。

3. 研究の方法

液体シンチレータ中に、炭酸カルシウムのナノ粒子を分散させ、その溶解度、安定度等を調べる。

これにあたり、液体シンチレータの候補として、ニュートリノ実験装置として実績のある、

- (1) プソイドクメンベースの液体シンチレータ
- (2) リニアアルキルベンゼンベースの液体シンチレータ

の 2 種類を主要な候補として用いる。

また、発光溶質としてはジフェニルオキサゾールを用いる。(これは、入手等の面からほぼ唯一の候補と考えられる)

これらのシンチレーションに、ナノ粒子を分散させ、シンチレータとして、最も重要な発光量を先ず、測定する。

測定では、液体シンチレータに紫外線を照射し、その発光量が充分であるかを目視し、

その発光量が十分な場合には、ガンマ線放射線源を照射し、その際の発光量を、ナノ粒子を導入していない液体シンチレータと比較する。

また、大型化の際に問題となる発光波長領域での光の透過長を測定する。この透過長の測定では、外部の分析会社にその測定を依頼する。

この際には、輸送中に分散の様子が変動する（原因としては、温度変化、経時変化、振動等様々が考えられる）可能性もあるので、開発したシンチレータの安定性を確認してから実施する。

ナノ粒子では、溶媒中に安定に分散するために、溶媒に合わせた表面修飾が施されている。炭酸カルシウムのナノ粒子でも、数種類の表面修飾を施した製品が入手可能である。これら表面修飾の違いによる違いを上記の手順で評価を行う。

また、開発したシンチレータでは、シンチレーション光の散乱も重要な因子である。ナノ粒子はその名の通り、10～100nmの径を持っており、これはシンチレーション光の波長（短波長側では300nmのものもある）に近く、強い散乱因子となる可能性がある。このため、ナノ粒子の径と、シンチレータの発光波長の関連も調べる。

具体的には、2重スリットを用いて、絞った紫外線を照射し、その光軸から離れた場所がどの程度発光するかを比較することで、その見積もりを行う。

これら、発光、吸収、散乱という、シンチレータで最も基本的な3つの性質について、調べる。

また、ニュートリノ実験と言う観点では、その事象数が非常に希であるため、低バックグラウンドであることが要求される。従って、ナノ粒子の放射性元素の量を調べることも重要である。そのため高感度のゲルマニウム半導体検出器のスペクトルを分析する。特に、自然放射線源である、ウラン、トリウム、カリウムを定量する。この他にも、放射線源が存在しているかも測定する。（例えば、原子炉事故や各実験に由来するセシウム、鉄の製造過程で導入されるコバルト等を測定しておくことが重要である。）

この測定を元に、大型のシンチレータ系が開発できるかを研究する。殊に、将来のニュートリノ検出器としての性能を、シミュレーションによって見積もる。

4. 研究成果

4種類の炭酸カルシウム試薬を使用して、液体シンチレータに導入したが、安定に分散させることが出来なかった。試薬の表面修飾ばかりでなく、シンチレータの純度や薬品を変えて試したが、いずれも成功しなかった。

また、ある企業で、酸化ジルコニウムを透明なプラスチック樹脂に分散させることが可能な製品を試作しており、これを入手して、プラスチックシンチレータとして機能するかどうかを調べようとしたが、入手することが出来なかった。ジルコニウムも重要な2重ベータ崩壊核であるため、非常に残念であった。また、硫化カドミウムのナノ粒子発光体が非常に高価ではあるが過去に市販されていた。これは、カドミウムの使用は環境負荷が大きいという理由で研究も販売も終了していた。カドミウムもニュートリノ実験の標的としての利用が注目された元素であったため、この点も本研究に影響した。

本研究では、将来に向けた液体シンチレータを開発するまでに至らなかったが、この研究は表面修飾が重要な因子であり、また企業の製品化、大量生産に向けた研究開発が非常に活発な分野である。従って、今後もナノテクノロジーの進歩に注目し、期を見て、再度可能性を追求したいと考えている。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岸本 康宏 (KISHIMOTO Yasuhiro)

東京大学・宇宙線研究所・准教授

研究者番号：30374911

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：