

平成 30 年 6 月 27 日現在

機関番号：55401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K13490

研究課題名(和文)増幅型液体アルゴン検出器検討のための基礎的研究

研究課題名(英文)Basic study for amplified liquid argon detector

研究代表者

笠井 聖二(KASAI, Seiji)

呉工業高等専門学校・自然科学系分野・教授

研究者番号：70221869

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文):液体アルゴン検出器の課題を解決する一つのアイディアとしての「液体アルゴン中の希ガスマイクロバブルによるガス増幅」の可能性確認のために、簡易装置による宇宙線実験とシミュレーションを計画し、基礎的な開発をおこなった。実験装置は、冷却装置を持たない簡易な構成であるが、液体窒素の補充などにより、24時間程度の稼働可能性を示すことができた。ネオンガス循環の問題などから、実際の実験を実施することができなかったが、システムの各部分の設計・製作及び機能を確認することができた。この過程で、アルゴン中のネオンガス混在の方法について新しいアイデアを見出した。

研究成果の概要(英文):As an idea to solve the problems of the liquid argon detector, we study on the possibility of "gas amplification by rare gas microbubbles in liquid argon". We planned a cosmic ray experiment by a test stand with the simple structure without a liquefier device and computer simulation.

The simple test detector system was designed and developed with the aim of running for about 24 hours without a liquefier device. We were able to demonstrate the possibility of operation for about 24 hours by refilling with liquid nitrogen. The experiment could not be performed due to problems of the neon gas circulation etc, but each part of the test detector system was designed, developed, and confirmed. In the process, I found a new idea on the method of mixing neon gas in argon.

研究分野:素粒子・原子核実験

キーワード:液体アルゴン検出器 マイクロバブル 増幅型

1. 研究開始当初の背景

液体アルゴン TPC (Time Projection Chamber) は、高分解能の3次元飛跡検出能力、高い粒子識別能力を有した検出器として、今後のニュートリノ振動実験での利用が期待されている。検出器の提案がなされて40年以上たつが、解決しなくてはならない技術要素が多く、大型化が難しい。その起因は、入射荷電粒子によって発生した電離電子は、他の検出器のように増幅されることがないためである。位置検出のために、数千個/mm程度の少数の電離電子を、液体アルゴン中を長い距離移動(ドリフト長5m以上)させ、信号として読み出すことが必要である。電離電子の寿命は液体アルゴン中の不純物の濃度に反比例するため、高純度を維持(酸素・水などの不純物の0.1ppb程度以下)する必要があり、液体アルゴン中での電離電子の吸収確率を下げるために高圧(数百V/cm以上)を必要とする。

液体アルゴン検出器に持つ課題への対応方法としては、液体アルゴン検出器内に気体(気相)の層を組合せた(2相型液体アルゴン検出器)が考えられている。アノード側にアルゴンの気体層を設け、ドリフトしてきた電離電子をここでガス増幅させるものである。S/N比の向上により検出器の性能向上が期待される。しかし、大型化においては液体部分が主要な部分となり、課題が軽減されるが、解決されるわけではない。大型の液体アルゴン検出器を用いたニュートリノ実験DUNEにおいては、単相・2相の両方の検出器を想定し、実験装置の検討が進められている。

2. 研究の目的

液体アルゴン検出器の課題を本質的に解決するには、液体アルゴン中の全ての領域で増幅可能にする以外になく、また、増幅としては電離電子のガス増幅に関係する基本的な現象しかないために、気相と液相のアルゴンが混在したような状態が必要であると考えた。この一見不思議な状態は、水中においては、マイクロバブルとして液体中に気体が溶け込んだような状態が知られており、液体アルゴン中に他の希ガスのマイクロバブルと同様な状態を作り出すことであれば、「液体アルゴン中にマイクロ・ナノバブル(超極小バブル)によるネオンガスの疑似溶解状態を実現し、極小バブル中で、電離電子とネオン原子の2次衝突を起こさせ、結果的に10~数10倍程度の増幅をおこなう」という本研究のアイデアに至った。

しかし、マイクロバブルの形成には極性を持つ水分子の振る舞いが関係していると考えられおり、水以外での液体でマイクロバブルを考えることはなく、当然、液体アルゴンのような低温(アルゴンの沸点-185.8℃)でのマイクロバブルの研究事例はなく、一方、液体アルゴン検出器においては一般に「泡」

の発生は避けるべき事項とされており、特に局所的に一様でない領域に気体中で放電が起きることで気体状態を破壊する可能性も危惧されていた。

このように、現状では「液体アルゴン中にマイクロバブル(極小バブル)によるネオンガスの疑似溶解状態を実現し、極小バブル中で、電離電子とネオン原子の2次衝突を起こさせ、結果的に10~数10倍程度の増幅をおこなう」というアイデアを研究者間で議論するような状況にない。そこで、本アイデアの可能性を、液体アルゴン検出器の開発に関係する研究者がデータに基づき議論することを目指し、議論に必要な実験・シミュレーションなどのデータを提供することを目的とする。

3. 研究の方法

液体アルゴンとネオンガスが混在した状態で宇宙線を用いた確認実験を、簡素な装置で簡便に実施するため、必要な、断熱収納容器、バブル発生装置、液体アルゴン装置などの設計・製作をおこなった。

簡素化として液体アルゴンの液化装置を必要せず保冷構造による装置を考えた。断熱容器中に液体窒素の容器を置き、その中に液体アルゴン装置を置く2重構造の簡単な構造の実験装置として、その基本的な装置部品の設計と作成をおこなった。

3D CADシステムSolidworksで装置の設計をおこない、それをマルチ・フィジックス・シミュレータ「COMSOL」に読み込ませ、シミュレーションをおこなう方法で装置の基本的な構造などを少しずつ明らかにした。また、簡単な装置を用いて液体窒素の保存の確認をおこなった。

低温でのネオンガスマイクロバブルの発生方法について、水中でのマイクロバブル発生方法の低温での実現方法等の検討をおこなった。剪断などの方法により低温でもバブルの極小化は本研究の本質ではなく、液体アルゴンとネオンガスが混在した状態さえ作り出せればよいので、バブルのサイズや液体アルゴン中での浮上移動は許容できるため、研究全体の進捗を鑑み、極板を斜めに配置し、極板間にバブルの層を作る方法で装置を開発することし、設計を行うこととした。これにより、測定できる宇宙線の数は減少するが、測定時間の確保のための装置開発の研究に課題を集中することで、研究の効率化をおこなった。細いスリットと小さな穴を組み合わせた簡単なノズルで実現が可能と考え、ネオンガスの流量で制御と液体アルゴン上部からのネオンガス回収の構造を持つ装置を設計した。

シンチレーションカウンタによるトリガーシステム、高電圧の印加システム、読み出しエレクトロニクスについては、様々な実験

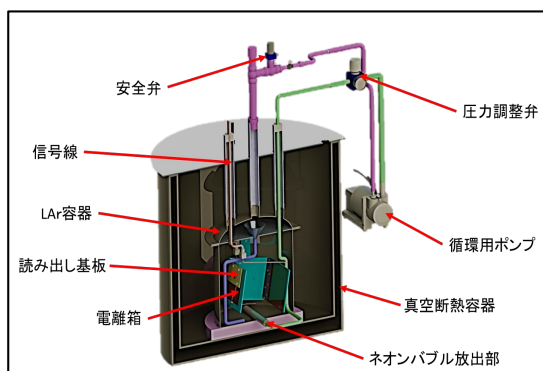
の可能性に対応するために他の宇宙線実験で使ったシステムの再構築を目指しそれぞれの回路の設計等を進めたが、全体の進捗を考慮し保有の既存装置を活用した形で本研究の実験に対応する構築をおこなった。

最も液体アルゴン検出器の研究実績のある実験グループのシミュレーションソフトを参考にしながら、素粒子実験分野で一般的に使用される汎用的なシミュレーションソフトの利用を考えたシミュレーションの実装の研究を進めた。

4. 研究成果

液体アルゴン検出器の課題を解決する一つのアイディアである「液体アルゴン中の希ガスマイクロバブルによるガス増幅」の可能性の研究として、予定よりは大幅におくれたがその基礎的な部分に対して以下の成果を得た。

宇宙線実験においては、計画時には1時間程度の測定時間を想定したが、検出器サイズ・検出器の冷却時間及び実験の実施可能回数などの再検討した結果、想定した時間より長い稼働時間(24時間程度)を実現することとし、下図のような簡易な実験装置・システムとし設計した。



最終的に、断熱箱の中で、液体窒素の容器の2重化により、液体窒素の補充と併せ24時間程度の稼働の可能性を示すことができた。また、トリガーを含め各システム部分の設計・製作・確認をおこなった。稼働時間確保とのトレードオフのためネオンガス循環との整合性を取るところまでいかず、実際の実験を実施することができなかった。

シミュレーションにおいては、液体アルゴン実験グループが開発したシミュレーションソフトウェアの利用を検討し、本研究の実験装置への適用を試みた。実験に即した最終的なシミュレーションの実施には至らなかったが、シミュレーションの枠組みの検討と実験装置適用の基本事項の検討や試験的開発を実施した。現在、主に2種類のシミュレーションソフトが存在するが、増幅型液体アルゴン装置の基本的特徴を確認するために、

特殊性はあるがR&D的に実績のあるソフトウェアの利用を検討した。マイクロバブルの存在など既存の装置では想定されていない事項の組み込み方法の研究を実施したが、系統的にデータを出すまでには至らなかった。

本研究における課題(稼働時間確保とネオンガス循環など)は、本研究の想定する小さな実験室でも実施可能な簡易な実験装置で顕著化する問題あり、アルゴンの液化装置を組み込んだ一般的な大型の装置では気体循環を含むために比較的対応が可能と考えられる。しかし、この課題は「液体アルゴン中のネオンガス」をどのレベル(融解状態~気泡)でどのように実現するかに関係しており、未知の領域である「極低温の液体アルゴン中の気体のマイクロバブルの作成」とあわせ検討することが必要である。これに対して新しいアイディアを見いだした。



装置開発の過程において写真のように液体アルゴンが固体化しつつある状態が観察された(中央円筒容器内が液体アルゴン。その外側が液体窒素)。液体アルゴン中にネオンガスの疑似的な溶解状態(液相と気相の混合状態)をマイクロバブルとして実現する以外にも、シャーベット化したアルゴン中にネオンガスを混在させる方法や、アルゴンの固体化などを組み合わせる方法などの可能性などを見いだすことができた。

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)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕
ホームページ等 なし

6．研究組織

(1)研究代表者

笠井 聖二 (KASAI, Seiji)
呉工業高等専門学校・自然科学系分野・教授

研究者番号：70221869