

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：82118

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14307

研究課題名(和文)超冷中性子源の性能向上のための超冷中性子発生容器の開発研究

研究課題名(英文)A development of a storage bottle for Ultra-Cold Neutron source upgrade

研究代表者

川崎 真介(Kawasaki, Shnsuke)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・助教

研究者番号：20712235

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：超冷中性子(UCN: Ultra-Cold Neutron)とは100 neV程度しか運動エネルギーを持たない中性子を指し、物質容器内に閉じ込めておくことが可能となる。しかし、UCNはその容器中である寿命を持って減少する。UCNは容器表面に存在する水素原子による中性子吸収反応によって減少する。そこで、本研究では容器表面を真空ベーキングすることによって水素成分を除去し、UCN保持寿命を向上させた。100 °でのベーキングを行うことにより、ベーキングなしに比べて12%UCNの減少率を低下させることに成功した。また、それ以上の温度でのベーキングではUCNの減少率が変化しないことも分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

UCNは物質容器の閉じ込めておくことが可能で、このためUCNは外場との相互作用時間を長くとることが出来る。この性質を利用しUCNは中性子電気双極子モーメント(nEDM)の探索、中性子寿命測定、重力の検証実験等様々な基礎物理実験に用いられる。多くの実験で、感度が統計精度で制限されており、高強度のUCN源の建設が望まれている。本研究で得られた成果を用いることによって、UCN源の性能を向上することが可能となる。

研究成果の概要(英文)：Ultra-Cold Neutrons (UCNs) are extremely slow neutrons of which energy is a few hundred neV. As a consequence, UCNs can be confined in a material container. However, UCNs decrease with some lifetime in the container. In this research, a method to reduce the loss of UCN was found. The dominant factor of the loss is neutron absorption reaction by hydrogen atoms existing on the container surface. Therefore, the hydrogen content was removed by vacuum baking. The UCN loss rate improves 12 % by baking at 100 degrees as compared with the case without baking. It was found that the baking at higher temperature did not change the UCN loss rate.

研究分野：素粒子物理学、原子核物理学

キーワード：中性子基礎物理 対称性

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

超冷中性子(UCN: Ultra-Cold Neutron)とは 100 neV 程度しか運動エネルギーを持たない中性子を指し、そのド・ブロイ波長は 50 nm 程である。ド・ブロイ波長が原子間距離に比べて十分に長いため、UCN は物質表面で個々の原子核ポテンシャルを平均した擬フェルミポテンシャルを感じる。例えばニッケルの場合、擬フェルミポテンシャルは 252 neV であり UCN はこのポテンシャルを超えることが出来ない。したがってニッケル表面で全反射し容器内に閉じ込めておくことが可能となる。このため UCN は外場との相互作用時間を長くとることが出来る。この性質を利用し UCN は中性子電気双極子モーメント(nEDM)の探索、中性子寿命測定、重力の検証実験等様々な基礎物理実験に用いられる。多くの実験で、感度が統計精度で制限されており、高強度の UCN 源の建設が望まれている。

2. 研究の目的

UCN 源中で生成された UCN は超流動ヘリウム容器内部に保持され蓄積される。UCN は容器内である寿命を持って減少していくため、蓄積される UCN 数は超流動ヘリウム内に入射する冷中性子束と容器内での UCN 余事寿命の積に比例する。UCN の保持寿命は容器表面での反射の際の UCN 損失に大きく依存する。水素原子は中性子に対し大きな吸収断面積を持つためこれを容器表面から取り除くことが肝要である。水素は水分や金属表面に入り込んだ水素原子として容器内壁に吸着する。その水素含有量は容器の表面状態に依存する。水素含有量の少ない容器の表面処理方法を確立することにより UCN 保持寿命の長い容器を実現する。

この容器を用いることで UCN 源の性能を向上させることが可能となる。

3. 研究の方法

図 1 に示す UCN 保持寿命測定装置を製作する。容器に UCN を一定時間閉じ込め、その UCN 数を計測する。UCN 数が閉じ込め時間とともに減少していく様を観測し、UCN の容器内での保持寿命を求める

容器はアルミニウム合金に無電解ニッケルめっきを施したものをを用いた。UCN 生成領域は高放射線環境であるため、放射化してしまうステンレスは用いることができない。また、放射線発熱を抑えるために軽金属を用いることが適している。しかし、アルミニウム合金は中性子に対するポテンシャルが小さいため、UCN 保持容器には適さない。そのた

め、表面に中性子に対してポテンシャルの大きなニッケルをめっき加工によって施すことにより、高放射能下でも使用可能なテスト容器を作成した。

この装置をカナダ TRIUMF 研究所の UCN 源に設置して、UCN の寿命測定試験を行った。平成 30 年に試験を行い、3 日間のビームタイムでデータを取得した。容器表面の水素を取り去るには真空ベーキングが有効である。真空ベーキング時の温度の違いによる UCN 保持寿命の変化を観測し、ベーキング条件の最適化を行う。

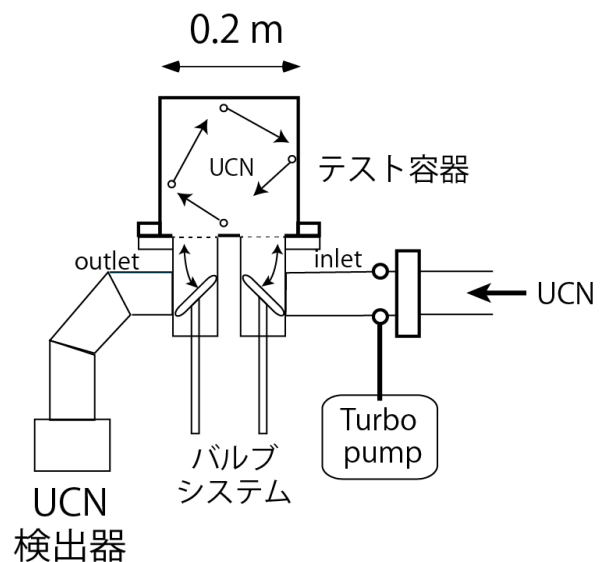


図 1 UCN 保持寿命測定実験装置

4. 研究成果

取得したデータの詳細解析を行い、ベーキングなし、100、150と異なるベーキングにおける UCN 保持寿命を求めた。実際の UCN 発生容器は超流動ヘリウムで満たされ、その温度をモニタする必要がある。超流動ヘリウム温度で動作する温度計として一般に Cernox 温度計があるが、このセンサの上限温度は 150 より低いいため、これ以上の高温で容器をベーキングすることは難しい。

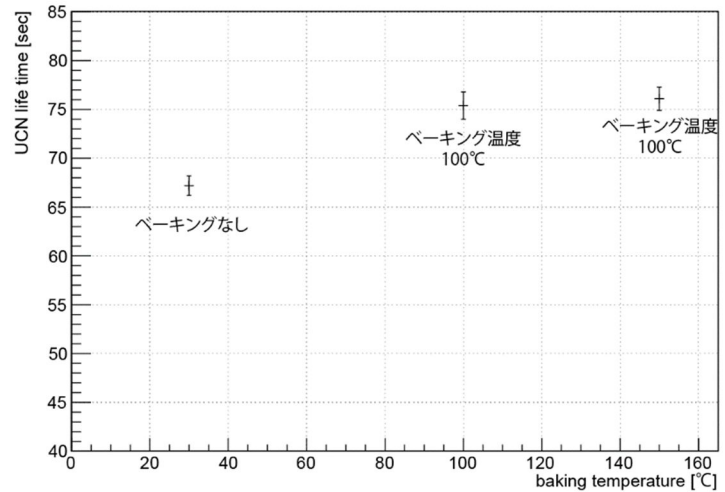


図 2 ベーキングによる UCN 貯蔵寿命の変化

図 2 に示す通りベーキングなし、100 度、150 度の条件でそれぞれ 67.2(1.0)秒、75.4(1.4)秒、76.1(1.2)秒の寿命を持って超冷中性子が損失していることが観測された(括弧内は誤差を表す)。これを超冷中性子の損失率に焼き直すとベーキングなしに比べ 100 度、150 度でのベーキングを行った場合の中性子の損失率が 12%減少と計算される。100 度、150 度のベーキング温度の違いによる損失率は誤差の範囲で一致する。

この結果は様々な超冷中性子実験に応用可能である。超冷中性子源内の超冷中性子発生容器にこの結果を応用することにより、超冷中性子源の性能を 12%向上させることが可能である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Shinsuke Kawasaki
2. 発表標題 Neutron Electric Dipole Moment Search by the TUCAN
3. 学会等名 RCNP Workshop on Fundamental Physics using Neutrons and Atoms (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shinsuke Kawasaki
2. 発表標題 Neutron Electric Dipole Moment Search by the TUCAN collaboration
3. 学会等名 5th Joint Meeting of the APS Division of Nuclear Physics and the Physical Society of Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川崎真介
2. 発表標題 TUCAN実験による中性子電気双極子モーメント探索
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川崎真介
2. 発表標題 TUCAN実験による中性子電気双極子モーメント探索
3. 学会等名 パルス中性子を用いた中性子基礎物理研究研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shinsuke Kawasaki
2. 発表標題 Development of a High Intensity Ultracold Neutron Source at TRIUMF
3. 学会等名 PPNS2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shinsuke Kawasaki
2. 発表標題 Spallation Ultra-Cold Neutron Source for EDM experiment at TRIUMF
3. 学会等名 RCNP Workshop on Fundamental Physics using Neutrons and Atoms, Osaka (Japan) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川崎真介
2. 発表標題 Development a High Intensity Ultra-Cold Neutron Source using Superfluid Helium at TRIUMF
3. 学会等名 nEDM2018, British Columbia (Canada) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shinsuke Kawasaki
2. 発表標題 neutron electric dipole search at TRIUMF
3. 学会等名 FPUA2018, Nagoya (Japan) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川崎真介
2. 発表標題 超冷中性子を用いた中性子電気双極子モーメント探索実験
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会、宇都宮大学（栃木・宇都宮）
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考