

令和 元年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K13800

研究課題名（和文）超冷中性子を用いたマイクロオーダーでの新物理探索

研究課題名（英文）Search for a clue of new physics at the micron scale using ultra-cold neutrons

研究代表者

駒宮 幸男（Komamiya, Sachio）

東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・名誉教授

研究者番号：80126060

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：重力場における超冷中性子の量子束縛状態の長さスケールを精密に測定し、既知の相互作用による影響を検証することで、数マイクロオーダーにおける新物理探索の可能性を探った。量子効果によって、超冷中性子の存在確立分布は変調分布を示すが、本科研費の研究期間内において、変調コントラストの改善に向けた諸問題を調べた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

質量などを結合荷とするような新物理探索を行う可能性を調べるのが、本研究の目的である。素粒子標準理論が確立しておりそれを越える新しい物理の手掛りが見付かっていない現状で、技術的に困難を共にしていたためにこれまであまり行われてこなかった研究対象へアプローチすることのできる可能性を秘めたもので、学術的・社会的意義は高い。

研究成果の概要（英文）：The possibility of new physics search in the order of several microns was explored by measuring the length scale of the quantum bound state of ultracold neutrons in the gravitational field precisely and verifying the influence of known interactions. The probability distribution of ultracold neutrons shows a modulated distribution due to the quantum effect and we have investigated ways towards the improvement of modulation contrast within the period of this research.

研究分野：素粒子物理学実験

キーワード：超冷中性子 未知短距離力 重力 量子力学

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1)古く物理学が作られ始めた時代から、万有引力の法則で示されるニュートン重力の逆二乗則の適用限界についての実験的な検証がなされてきている。

(2)研究開始当初においても、さまざまな長さスケールにおいて実験的検証が行われてきており、当初の重力の検証という意味のみならず、現在の標準理論を越えた重力に準ずるような新物理現象の探索としての意味を持つようになる。

(3)プランクスケールより低エネルギーで、本研究で用いる系と結合する新物理が存在するとすると、捻れ秤などによる実験結果からは、そのスケールは 100 ミクロン以下であると考えられる。

(4)国内外において、数ミクロンオーダーにおいての新物理探索が精力的に行われているが、その多くは巨視的な系によるものであった。

(5)本研究において、微視的な系における検証の可能性を探ることとした。

2. 研究の目的

(1)これまで私達は、超冷中性子の量子束縛状態の観測に成功し、量子効果の検証などを行ってきた。量子束縛状態の長さスケールは数ミクロンである。

(2)本研究の目的は、特徴的な変調分布を持つ上記の量子束縛状態を、重力の検証の新しいプローブとして活用し、新物理探索の可能性を探ることである。

(3)プローブとする超冷中性子量子系は電磁気力による影響が制限されるため、重力の検証だけでなく、弱く結合する新物理の探索との側面を合わせ持つ。

3. 研究の方法

(1)フランスの ILL 研究所の研究炉から引出された中性子を、25K の重水素で冷し、大型タービンとの弾性散乱により生成される超冷中性子(UCN)を用いることとする。UCN の速度は 10 m/s 程度で、波長にして 1000 オングストロームとなる。

(2)供給された中性子を高さ 100 microns の中性子ガイドに通して量子束縛状態を生成する。束縛された UCN は、数ミクロンのスケールを持った特徴的な変調分布を示す。これを、CCD などのイメージセンサーを用いることで測定し、系の長さスケールを決定する。

(3)イメージセンサーの位置分解能が長さスケールの決定精度を決める要素の一つとして上げられる。本研究において Geant4 を用いた測定器シミュレーション環境を構築し、最適化を進めた。また、ドイツ Max-Planck 研究所などでイメージセンサーの開発を行っている技術者と相談し、現在の技術で到達可能な状況を調べ、性能向上へ向けた問題点を整理した。

(4)量子束縛状態の変調分布のコントラストもまた、新物理探索における感度向上に大きく影響する。そのため、面粗さの異なる複数の中性子ガイドを用意し、J-parc MLF の超冷中性子ポートにおいて反射率測定をした。

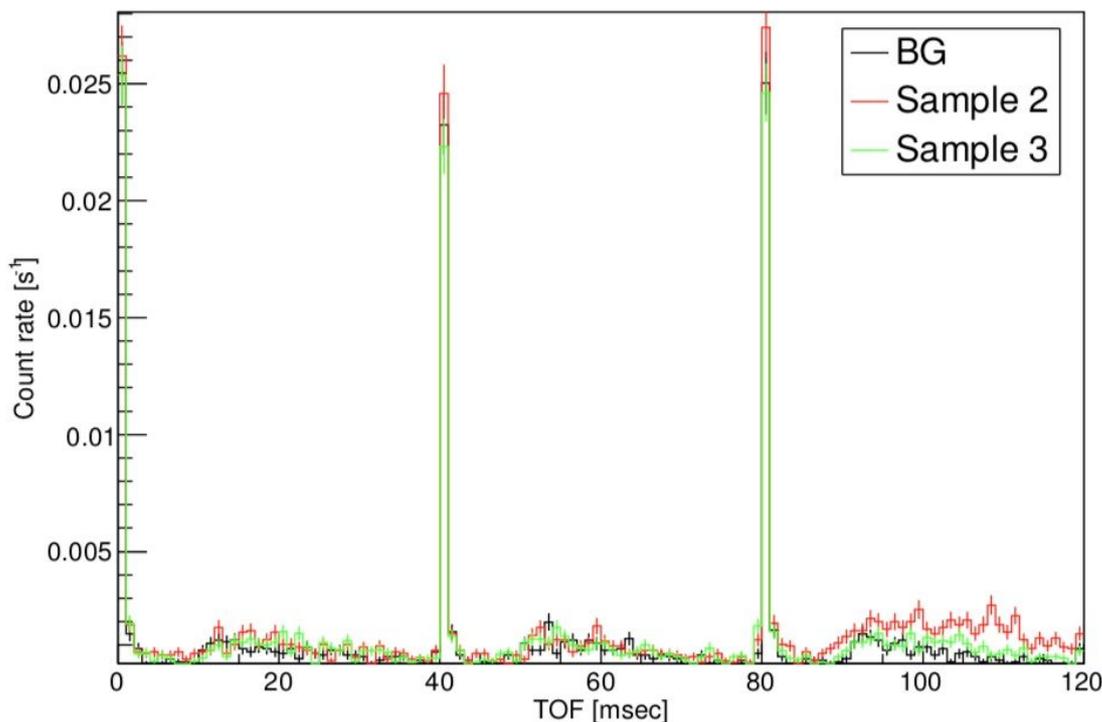
4. 研究成果

(1)ミクロンオーダーにおける逆二乗則の検証を既存のデータを用いて行ない、実験感度の評価方法を確立した。結果は巨視的方法による現在の制限から 3 桁ほど悪い探索精度であった。主に、ピクセル検出器の長さキャリブレーションの不定性が感度を決めていた。

(2)上記の長さキャリブレーションの問題を解決した場合、ピクセルサイズにして 25 ミクロン程度のイメージセンサーを用いることで、現在の制限と同等から 1 桁悪いオーダーでの探索が可能であると見積った。中性子の変調分布のコントラストを改善することで、実験感度の向上が見込まれる。

(3)変調分布のコントラスト改善に向け、中性子ガイドの反射率の、表面粗さと UCN 速度の面垂直成分との依存性を測定した(図参照)。測定データからバックグラウンドの影響を取り除く解析過程に困難が残り、評価に使える実効的な統計量が想定していた数より不足したことから、定性的な議論にとどまった。

(4)ガイド表面の評価方法を実証した。



図：ヘリウム検出器による中性子イベントの TOF 分布。J-parc MLF の超冷中性子ポートから供給された超冷中性子は、図の横軸 90 msec ~ 120 msec の領域に表れる。110 msec 付近において、表面粗さの異なるサンプル(Sample1, Sample2)とともに、バックグラウンドによる分布に対して優位な超過があることが確認できる。

5 . 主な発表論文等

[学会発表](計 13 件)

Y. Kamiya, Y. Sasayama, K. Itagaki, M. Tani, S. Komamiya and G. N. Kim, Experimental Search for New Gravity-like Interactions using Slow Neutrons, Accelerating Universe in the Dark, 2019

Y. Kamiya, Y. Sasayama, K. Itagaki, M. Tani, S. Komamiya and G. N. Kim, Search for New Gravity-like Short-range Interactions using Slow Neutrons Beams, The 11th International Workshop on Fundamental Physics Using Atoms, 2019

神谷好郎、超冷中性子による弱い等価原理検証実験の開発状況、弱値・弱測定の見通し、2018
神谷好郎、Wigner 擬確率関数による超冷中性子の量子束縛状態の記述と時間発展、弱値・弱測定、エンタングルメント、量子コヒーレンスの新地平、2018

Y. Kamiya, Y. Arai, S. Komamiya et al., Imaging Detector for Ultracold Neutrons using SOI Pixel Sensors and its Application to an Experimental Test of the Weak Equivalence Principle, HSTD11 in conjunction with SOIPIX2017, 2017

神谷好郎、超冷中性子検出に向けた半導体検出器開発と弱い等価原理検証実験への応用、電気学会低レベル放射線(能)測定に関する技術調査専門委員会シンポジウム、2017

神谷好郎、山田耕史、内田健太、駒宮幸男、SOI 技術を用いた中性子検出器の開発と弱い等価原理の検証実験、新学術領域研究「3次元半導体検出器で切り拓く新たな量子イメージングの展開」第8回研究会、2017

神谷好郎、Wigner 擬確率分布関数を用いた超冷中性子の量子状態の記述、弱値を通した新物理の探索、2017

内田健太、重力場による超冷中性子の量子状態を利用した弱い等価原理の検証に向けた研究、第 23 回 ICEPP シンポジウム、2017

内田健太、神谷好郎、駒宮幸男、三島賢二、超冷中性子の重力束縛状態を利用した弱い等価原理の検証実験に向けた研究、日本物理学会第 72 回年次大会、2017

Y. Kamiya, K. Yamada, K. Uchida, Y. Sasayama, K. Itagaki, M. Tani, S. Komamiya and G. N. Kim、Fifth Force Search with Neutron Scattering、High Sensitivity Experiments beyond the Standard Model、2016

Y. Kamiya, K. Yamada, K. Uchida, Y. Sasayama, K. Itagaki, M. Tani, S. Komamiya and G. N. Kim、Search for new gravity-like Interactions and test of the equivalence principle using slow neutrons、Physics of Fundamental Symmetries and Interactions-PSI2016、2016

内田健太、神谷好郎、駒宮幸男、超冷中性子を用いた弱い等価原理の検証実験に向けた進展、日本物理学会 2016 年秋季大会、2016

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：神谷 好郎

ローマ字氏名：(KAMIYA, Yoshio)

所属研究機関名：東京大学

部局名：素粒子物理国際研究センター

職名：助教

研究者番号 (8 桁) : 90434323

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。