

平成 30 年 9 月 2 日現在

機関番号：56301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26800151

研究課題名(和文)方向感度をもつ暗黒物質直接検出実験の理論的研究

研究課題名(英文)Theoretical study of direct dark matter detection with directionality

研究代表者

長尾 桂子(NAGAO, Keiko)

新居浜工業高等専門学校・数理科・講師

研究者番号：90707986

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)：宇宙から到来する暗黒物質の方向を検出できる検出実験では、方向情報を利用して暗黒物質の様々な性質を調べることができると考えられる。暗黒物質の速度分布は先行研究から非等方的な成分を含むことが示唆されており、この検証には方向を検出できる検出実験が適している。本研究では、方向情報を利用して速度分布の非等方性を検証するのに必要なイベント数や検出器のエネルギーしきい値等の条件を、モンテカルロシミュレーションを利用して明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In directional detection of dark matter, not only recoil energy but also dark matter direction are expected to be detected. Some N-body simulation of dark matter suggest that the dark matter velocity distribution has anisotropic component. Directional detector is suitable to verify the anisotropy. By investigating data of Monte-Carlo simulation of dark matter scattering, we find that about $O(10000)$ event number is required to check the anisotropy for both gas and solid directional detector.

研究分野：素粒子論

キーワード：暗黒物質 ダークマター 直接検出実験 速度分布 非等方性

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初には、暗黒物質と標的原子核の反跳エネルギーを測定することによって暗黒物質を検出する直接検出実験によって暗黒物質の相互作用に強い制限をつけつつある一方で、反跳エネルギーだけでなくその到来方向にも感度を持つ直接検出実験（以下、方向感度を持つ直接検出実験）の研究開発が進められていた。しかしながら、方向感度を持つ直接検出実験に関する理論的な研究は少なく、気体を用いた検出器についての研究に限られていた。

一方で、暗黒物質の速度分布は通常等方的だと仮定されているが、25%程度の非等方成分が含まれる可能性があることが、先行研究のN体シミュレーションによって示唆されていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、方向感度を持つ直接検出実験を用いて検証しうる暗黒物質の性質と、検証可能な条件を明らかにすることである。特に、暗黒物質の速度分布の等方性は、方向が検出できる実験を利用した測定が有効であると期待されるため、等方性の検証可能性に重点をおくこととした。検出器に気体を用いる場合と固体を用いる場合では検証可能なパラメータ領域が異なるため、それらを考慮して包括的に調べた。

3. 研究の方法

本研究では、以下のような手順で、方向感度を持つ直接検出実験において得られるデータをシミュレーションし、そのデータから暗黒物質の性質を検証するためにはどのような条件が必要かを調べた。

- (1) 直接検出実験における暗黒物質と標的原子核の散乱をモンテカルロ・シミュレーションでシミュレーションし、実験で得られると想定される標的原子核の反跳エネルギーと散乱角を求める。実験を想定した疑似実験的なデータと、十分なイベント数が得られた場合の理想的なデータの2種類、速度分布の非等方性の条件を変えて複数作成する。
- (2) 疑似実験的なデータと理想的なデータを比較し、類似性の検定を行うことによって、疑似実験的なデータから非等方性を求めるのに必要な条件を調べる。

4. 研究成果

暗黒物質の速度分布に20~30%程度の非等方成分が含まれている場合に、速度分布が完全に等方的な場合を方向感度を持つ直接検

出実験の結果から排除するためには、ガスを用いた検出器で0(1000)~0(10000)個、固体を用いた検出器で0(10000)個程度のイベント数が必要であることを明らかにした。詳細は以下の通りである。

方向感度を持つ直接検出では、暗黒物質の反跳エネルギーと方向の情報が得られるため、一般にはエネルギーと散乱角の分布(図1)を利用することができる。一方で、検出器のエネルギー分解能によっては、散乱角の分布(図2)を利用する方が適切な場合もありうる。

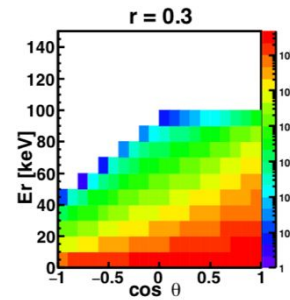


図1：エネルギーと散乱角の分布例

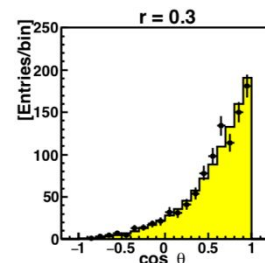


図2：散乱角の分布例

このような分布がモンテカルロ・シミュレーションで得られた場合に、その類似性をカイ2乗検定から判別し、30%程度の非等方成分が速度分布に含まれていた場合に完全に等方的な場合を90%の信頼度で排除するために必要なイベント数は、 $r = 0.3$ のいずれの場合においても0(1000)~0(10000)程度となった(図3)。必要なイベント数を最小化するためには、暗黒物質の質量によって検出器のエネルギーしきい値を最適化することが望ましく、本研究ではその条件についても議論した。また、統計的検定手法としては主にカイ2乗検定を用いたが、コルモゴロフ-スミルノフ検定についても検討し、結果として必要なイベント数はほぼ変わらなかった。

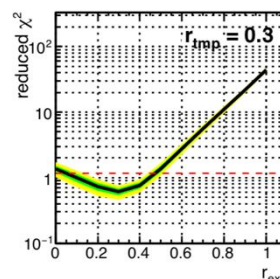


図3：速度分布が完全に等方的な場合($r_{exp}=0$)を排除可能な条件が存在する

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7件)

Keiko I. Nagao, Anisotropy of dark matter velocity distribution, 素粒子論研究、査読無、印刷中、2018、<https://arxiv.org/abs/1805.02472>

長尾桂子・矢ヶ部遼太・中竜大・身内賢朗, Kolmogorov-Smirnov Test for Discrimination of Dark Matter Velocity Distributions, 新居浜工業高等専門学校紀要、査読有、54巻、2018、11-14

Keiko I. Nagao, Measurement of anisotropy of dark matter velocity distribution using directional detection, Proceedings of 6th International Conference on New Frontiers in Physics (ICNFP 2017)、査読有、印刷中、2018、<https://arxiv.org/abs/1805.02472>

Takuya Morozumi, Keiko I. Nagao, Apriadi Salim Adam, Hiroyuki Takata, A new mechanism for generating particle number asymmetry through interactions, 査読無(投稿中)、2017、<https://arxiv.org/abs/1709.08781>

Keiko I. Nagao, Ryota Yakabe, Tatsuhiro Naka, Kentaro Miuchi, Discrimination of anisotropy in dark matter velocity distribution with directional detectors, 査読無(投稿中)、2017、<https://arxiv.org/abs/1707.05523>

Takuya Morozumi, Keiko I. Nagao, Apriadi Salim Adam, Hiroyuki Takata, Creation and evolution of particle number asymmetry in an expanding universe, Russ.Phys.J. 59, 11巻、2016、1852-1856、査読有

Keiko I. Nagao, Directional Dark Matter Search and Velocity Distribution, 査読無、2014、<https://arxiv.org/abs/1412.4302>

[学会発表](計13件)

Keiko Nagao, Anisotropy of dark matter velocity distribution, 1st workshop on Phenomenology for Particle and Anti-Particle 2018, 広島大学、2018

長尾桂子, 矢ヶ部遼太, 中竜大, 身内賢太郎, 方向感度をもつ暗黒物質直接検出実験を用いた速度分布の非等方性測定について、日本物理学会年次大会、東京理科大、2018

Keiko Nagao, Discrimination of Anisotropy in Dark Matter Velocity Distribution with Directional Detector, 2017 NCTS Workshop on Dark Matter, Particles and Cosmos, National Dong Hwa University (台湾)、2017(招待講演)

長尾桂子, Apriadi Salim Adam, 両角卓也, 高田浩行, Time evolution of particle number asymmetry in the realistic situation of expanding universe, 日本物理学会秋季大会、宇都宮大学、2017

Keiko Nagao, Dark matter velocity distribution measured in directional detection, Dark matter, neutrinos and their Connections, South Denmark University (デンマーク)、2017

Keiko Nagao, Dark matter velocity distribution measured in directional detection, 6th International Conference on New Frontiers in Physics, Conference Center of the Orthodox Academy of Crete (ギリシャ)、2017

長尾桂子, 矢ヶ部遼太, 中竜大, 身内賢太郎, 暗黒物質の直接検出実験を利用した速度分布非等方性の測定について、日本物理学会年次大会、大阪大学、2017

Keiko Nagao, Can directional detection be a clue to velocity distribution of dark matter?, 4th International Workshop on Dark Matter, Dark Energy and Matter-Antimatter Asymmetry, National Tsing Hua University (台湾)、2016

Keiko Nagao, Measuring Velocity Distribution of Dark Matter by Directional Detection, 22nd International Symposium on Particles, Strings and Cosmology, ICISE (ベトナム)、2016

長尾桂子, 中竜大, 方向感度をもつ直接検出実験で探る暗黒物質の性質、日本物理学会秋季大会、大阪市立大学、2015

Keiko Nagao, 2nd International Workshop on Particle Physics and Cosmology after Higgs and Planck, National Tsing Hua University (台湾)、2014

Keiko Nagao, Interplay between Particle and Astroparticle physics, Queen Mary University of London (イギリス)、2014

長尾桂子, 中竜大, 到来方向情報を含めた非弾性暗黒物質の検出、日本物理学会秋季大会、佐賀大学、2014

[図書](計 件)

[産業財産権]

出願状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~keiko.nagao/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長尾 桂子 (Keiko NAGAO)

新居浜工業高等専門学校・数理科・講師

研究者番号： 90707986

(2) 連携研究者

身内 賢太郎 (Kentaro MIUCHI)

神戸大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号： 80362440

中 竜大 (Tatsuhiko NAKA)

名古屋大学・素粒子宇宙起源研究機構・特任
助教

研究者番号： 00608888

(3) 研究協力者

矢ヶ部 遼太 (Ryota YAKABE)