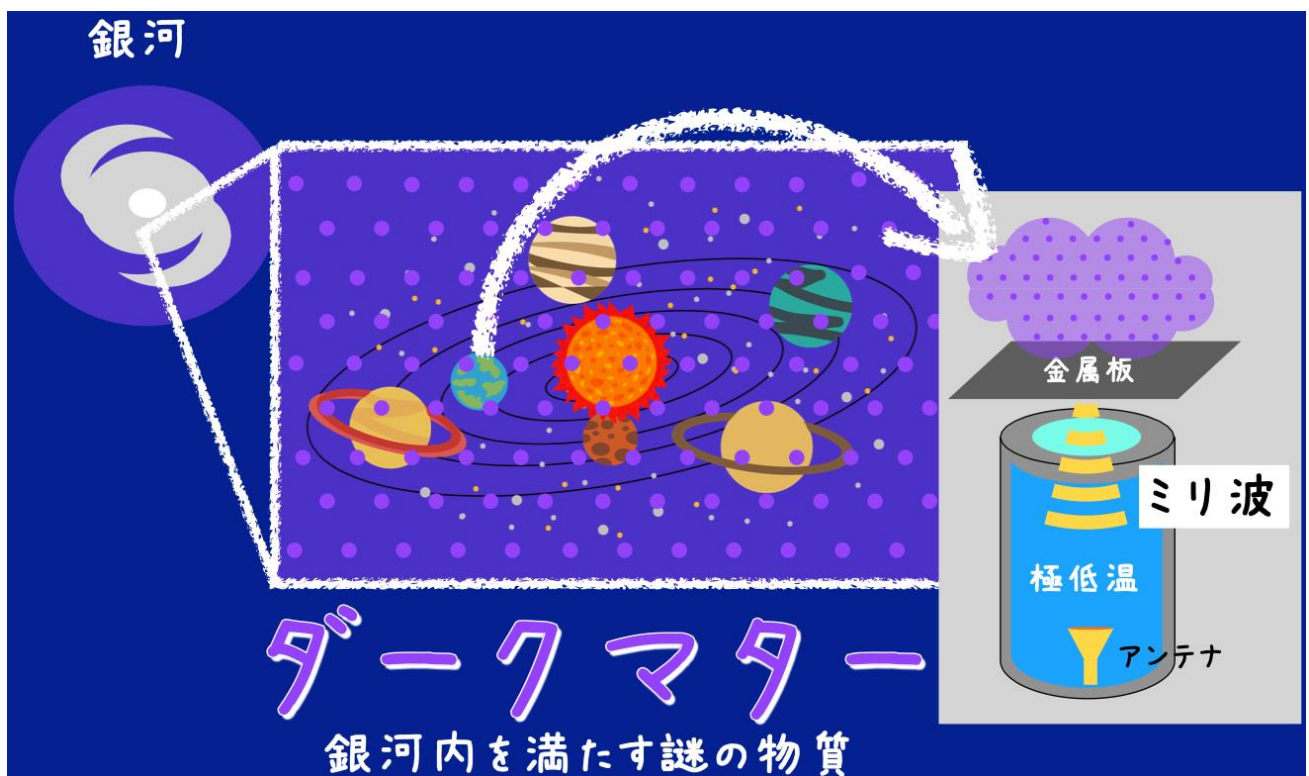


ミリ波を用いたダークマター探索手法を確立

概要

ダークマターとは、宇宙の全エネルギーの 1/4 を占める謎の物質であり、銀河はダークマターで満たされています。我々の住む太陽系は銀河の中を公転運動しているので、ダークマターは今この瞬間も地球を素通りしています。しかしながら、それを捉えるのは非常に難しく、人類は未だその直接的な検出に成功していません。そのため、ダークマター 1 個あたりの質量すらわかっていません。京都大学白眉センター 安達俊介 特定助教、理学研究科 小高駿平（研究当時、2022 年卒業）、筑波大学数理物質系 本多俊介 助教らの研究チームでは、電磁波の一種、ミリ波を観測する受信機を応用して、ダークマターを探索する実験手法を確立しました。ダークマター探索に特化した極低温のミリ波受信機を開発し、0.1 ミリ電子ボルト付近の質量を仮定してダークマターの検出を目指す実験を行いました。残念ながら、その検出には至りませんでした。このような超軽量のダークマター探索実験を世界最高感度で行うことに成功しました。本研究で実験手法が確立されたことによって、さらなる前人未踏の質量領域にわたってダークマターを探索することも可能になりました。本成果は、2023 年 2 月 17 日に米国の国際学術誌「*Physical Review Letters*」にオンライン掲載されました。



1. 背景

ダークマターとは、宇宙の全エネルギーの 1/4 を占める謎の物質です。銀河はダークマターで満たされています。一方で、ダークマターは通常の物質とはほとんど反応しないこともわかっており、人類は未だその直接的な検出に成功していません。そのため、ダークマター1 個の質量も不明です。これまでは、陽子¹よりも重いダークマターを仮定した探索が盛んに行われてきましたが、決定的な実験結果はありません。そこで、軽いダークマターの可能性が注目され始めています。軽いダークマター候補の中でも、我々の研究チームが注目しているのは、光と微弱に反応するという特徴も持った粒子「ダークフォトン」です。我々が今回探索した 0.1 ミリ電子ボルト²を含む、超軽量の質量領域のダークフォトンというのは、これまで探索されたことがなく、人類未踏の質量領域でした。

2. 研究手法・成果

ダークフォトンとは金属表面で微弱な光に転換され、その光が金属板の垂直方向に放出される現象を引き起こすと予想されています。その転換光を検出できれば、ダークフォトンの決定的証拠となります。ダークフォトンと転換光の間には、それらの持つエネルギーは等しくなるというエネルギー保存則が成り立ちます。ダークフォトンの持つエネルギーはその質量に由来し（有名な $E = mc^2$ の式より）、光の持つエネルギーはその周波数に対応することから、転換光の周波数はダークフォトンの質量に 1 対 1 対応します。例えば、ミリ波³帯域の転換光は、ダークフォトン質量 0.05—1 ミリ電子ボルトに相当します。この領域は宇宙観測からの間接的な制限が弱く、かつ地上実験による探索も全くされてこなかった質量領域です。本研究では、18—26.5 GHz の転換光を受信できる受信機を開発し、金属板からの転換光を検出する実験を行いました。転換光の強度は非常に弱いため、雑音の少ない受信機を開発する必要があります。そのために、熱雑音を極限まで抑えられるよう、受信機全体を-270°Cの極低温まで冷やした装置を開発しました。10 日間の実験によって、世界で初めてこの質量領域でのダークフォトン探索実験を行うことに成功しました。

3. 波及効果、今後の予定

本研究によって、ミリ波受信機を用いて超軽量ダークマターを探る実験方法が確立しました。今後、測定可能な周波数帯域を変えていくことで、さらなる前人未踏の質量領域にわたってダークマターを探していくことが期待されます。本研究チームはそれを目指して研究を進めていく予定です。また、ミリ波を受信する技術の高度化は、5G、6G 通信等の産業技術の発展にも役立つと期待されます。

4. 研究プロジェクトについて

本研究は京都大学白眉プロジェクト、京都大学 SPIRITS プログラム、日本学術振興会科研費 20K14486、20K20427、21H01093、村田財団、住友財団によって助成を受けました。

<用語解説>

1. 陽子…あらゆる原子中の原子核を構成する粒子。
2. ミリ電子ボルト…電子ボルトはエネルギーや質量の単位であり、1 ミリ電子ボルトは 1 電子ボルトの千分の一の大きさである。陽子の質量は約 10^{12} ミリ電子ボルトである。
3. ミリ波…電磁波(光)の一種であり、波長がおおよそミリメートルであるのがミリ波であり、周波数は 10—300 GHz 付近になる。

<研究者のコメント>

ダークマター探索実験は、素粒子物理学においては盛んな分野の一つであり、かつ大規模化も進んでいます。そのため、なかなか世界に先立って探索をおこなうということは難しくはなっていますが、小規模な実験なりに世界で初めての探索が行えたことに喜びを感じています。(安達 俊介)

<論文タイトルと著者>

タイトル：Search for Dark Photon Dark Matter in the Mass Range $74\text{--}110\ \mu\text{eV}$ with a Cryogenic Millimeter-Wave Receiver

極低温ミリ波受信機を用いた $74\text{--}110\ \mu\text{eV}$ の質量領域におけるダークフォトン-ダークマターの探索

著者：S. Kotaka, S. Adachi, R. Fujinaka, S. Honda, H. Nakata, Y. Seino, Y. Sueno, T. Sumida, J. Suzuki, O. Tajima, S. Takeichi (DOSUE-RR Collaboration)

掲載誌：*Physical Review Letters* DOI：10.1103/PhysRevLett.130.071805

< 参考図表 >

