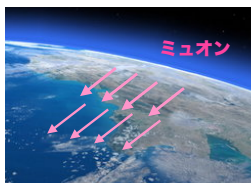




ミュオニウムの精密分光



ミュオンとは

私の研究ではミュオンという粒子に注目した素粒子物理学の実験に取り組んでいます。ミュオンという粒子は自然界には安定して存在してはいませんが宇宙線として宇宙から降ってきていることで知られている身近な素粒子です。

ミュオンの生成とミュオン原子

このミュオンという粒子は加速器で人工的に作り出すことも可能で、私たちは、大規模加速器施設で生成されたミュオンからミュオンと電子でできた、ミュオン原子(ミュオニウム)というものを作って実験しています。

ミュオン原子(ミュオニウム)の分光



ミュオン原子は理論の精密検証にとっても向いている原子で、私はこの原子のエネルギー準位を1億分の1以下の精度で測定することで現在の理論値と比較することを目標としています。そして、理論値とのズレなどから現在の物理学では解明できていない問題を解決できるような新しい理論のためのヒントを探そうとしています。

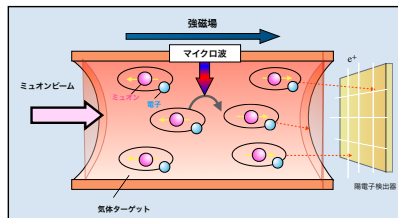
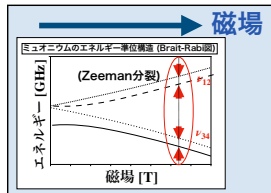
現在の理論(量子電磁学)がどの程度正しいのかを検証

茨城県 大強度陽子加速器施設



実験原理

以下は我々が用いるミュオン原子のエネルギー準位図で、それぞれの準位がミュオンと電子のスピン状態に対応しています。強磁場中で分裂する二つの準位間のエネルギー差を高精度で測定することで、現在の理論の多角的な検証を目指しています。

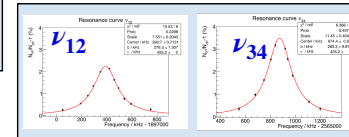


偏極したミュオンビームを標的ガス中に入射すると、電子と結合してミュオン原子(ミュオニウム)が生成されます。このミュオニウムにマイクロ波を照射すると、スピンの向きが変化する(スピン反転)が起こります。ミュオンは平均寿命2.2マイクロ秒で崩壊し、陽電子を放出します。この放出の仕方はミュオニウムのスピン状態に依存しているため、マイクロ波の周波数を掃引しながら陽電子の数を測定することで、エネルギー準位の差(共鳴周波数)を精密に求めることができます。

下の図は、2025年1月の実験で得られた共鳴曲線 (ν_{12} , ν_{34}) の結果を示しています。実験は茨城県にある日本最大規模の加速器施設J-PARCで行なっています。

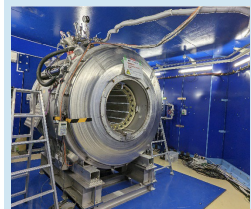


高磁場環境での測定は世界的にも25年ぶり、まだ目標とする精度には到達していませんが、今後の改良にむけて大きな手応えを感じるデータです。



最終的な目標精度である1億分の1の精度に向かって、系統誤差の追い込みや、未知のバックグラウンドの調査長期測定に向けて自動化にも取り組んでいます

研究活動

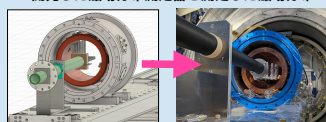


磁場測定

実験系に高磁場を印加するためにMRI用超伝導磁石を使用します。次回のビーム実験に向けた精度向上の一貫として、磁場の均一性を向上させる計画を立てています。

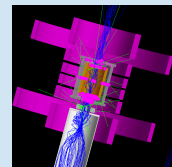
磁場均一性の向上のためには、そもそも現状の磁場を詳しく知る必要があります。従来のMRI内部用磁場測定器を参考に、我々の実験装置のインストール後の磁場を測定可能な磁場測定装置を企業の方とやり取りしながら作成しました。

開発した磁場分布測定器と測定した磁場分布



磁場測定を行い、今後の磁場均一度向上のための計画を立てています。

MCシミュレーション



もう一つの精度向上の鍵として、バックグラウンド事象の抑制があります。

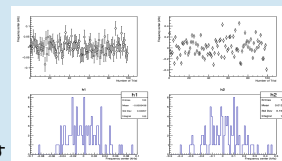
主なバックグラウンド事象と思われる、実験領域以外からくる崩壊陽電子の発生源を後輩らと協力しシミュレーションを組み立て解明しようとしています。

実験と解析



実験はミュオンビームが出る期間に行います

解析等は主にROOT, C++, python, を用いて行なっています



まとめ

- ・ミュオニウムの精密分光を通じて、量子理論(標準模型)の高精度な検証を目指している。
- ・2025年1月の実験では、高磁場環境での共鳴曲線の取得(世界的に25年ぶり)を実現した。
- ・世界最高精度にむけ、磁場測定-均一化やバックグラウンド抑制など、今後の改善に向けた課の明確化に取り組んでいる



後藤 優
名古屋大学
理学研究科 物理学専攻 量子物理研究 (08)
博士後課程 1年 後藤優
〒464-8602 名古屋市中区千石 1-1-1
TEL: 052-788-6000 FAX: 052-788-6000
E-MAIL: goto.yu@nagoya-u.ac.jp
URL: https://www.ph.nagoya-u.ac.jp