

精密磁場測定×ミュオンで量子理論に挑む

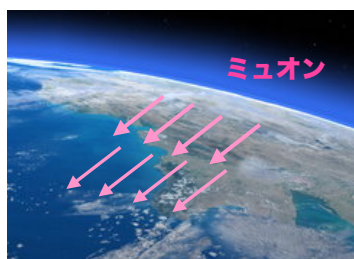
研究室HP:

個人HP



研究室HP:

個人HP



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指しています。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
(量子電磁気学)が
どの程度正しいのか
を検証

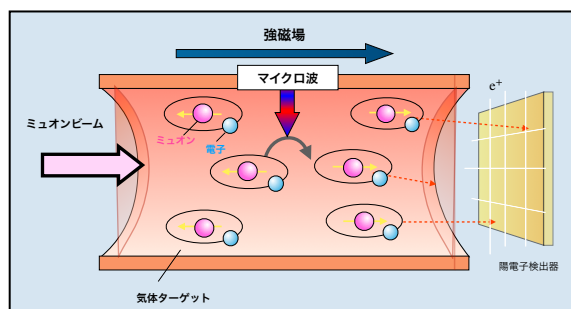
茨城県 大強度陽子加速器施設



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。

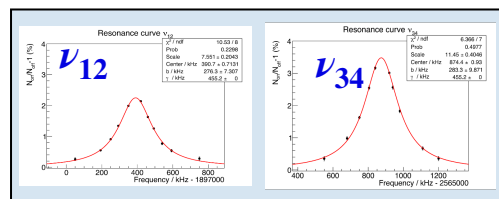


偏極したミュオンビームを標的ガス中に入射すると、電子と結合してミュオン原子(ミュオニウム)が生成されます。このミュオニウムにマイクロ波を照射すると、スピンの向きが変化する(スピン反転)が起こります。ミュオンは平均寿命2.2マイクロ秒で崩壊し、陽電子を放出します。この放出の仕方はミュオニウムのスピン状態に依存しているため、マイクロ波の周波数を掃引しながら陽電子の数を測定することで、エネルギー準位の差(共鳴周波数)を精密に求めることができます。

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。



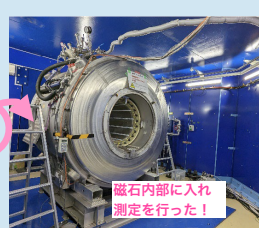
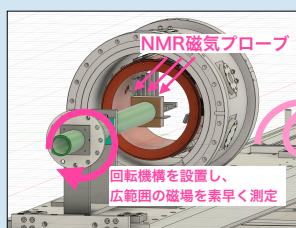
高磁場環境での測定は世界的にも25年ぶりで、まだ目標とする精度には到達していませんが、今後の改良にむけて大きな手応えを感じるデータです。



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。

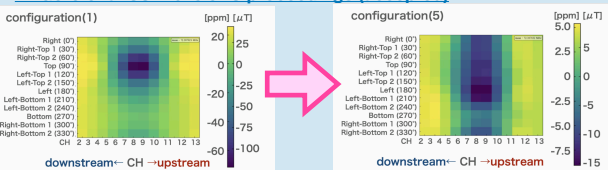
研究活動

proton-NMR磁場測定システムの開発!

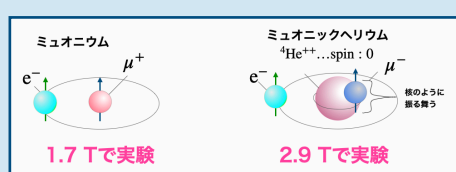


実験環境化での磁場一様性を短時間で測定するための測定装置を企業の方とやり取りしながら作成しました! 昨年夏から磁場測定を繰り返し、磁場一様性の向上の結果についてproceedings論文にまとめています↓

Y. Goto et al SSP2025 JPS proceedings (accepted)

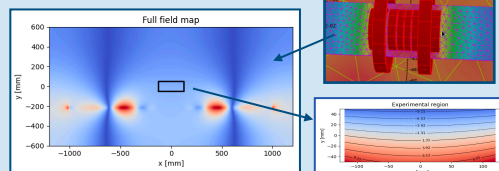


新実験立ち上げに向けた2.9 T磁場環境構築



現在他の原子でも実験の原理実証をすべく、新しい超精密磁場環境の構築を進めています!

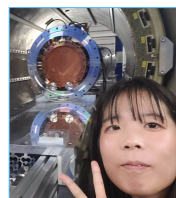
シミュレーションを通した磁場歪みの解析や、磁場一様化に向けた必要事項の整理、新実験実現に向けたスケジュール調整などを行っています!



8月	9月	10月	11月
材料調達・装置準備	磁場環境の構築 磁場一様性の評価・調整	実証実験開始!!	

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題の明確化に取り組んでいる。



ごとう ゆう
後藤 優
国立大学法人 名古屋大学
理学研究科 理学専攻 素粒子物性研究室(Φ研)
日本学術振興会 特別研究員-DC1
〒464-8602 名古屋市千種区不老町
TEL 052-789-5099 FAX 052-789-5500
E-MAIL: goto.yu.c6@s.mail.nagoya-u.ac.jp
URL: https://www.phy.phys.nagoya-u.ac.jp