



世界初の正ミュオンの高周波加速の成功とミュオン異常磁気能率・電気双極子能率の超精密測定

素粒子、原子核、宇宙物理学
およびその関連分野

研究者所属・職名 : 素粒子原子核研究所・教授

ふりがな みべ つとむ

氏名 : 三部 勉

主な採択課題 :

- [特別推進研究「ミュオン異常磁気能率・電気双極子能率の超精密測定」\(2020-2025\)](#)
- [基盤研究\(B\)「超低速ミュオンウムの高効率・高密度生成」\(2017-2019\)](#)
- [基盤研究\(B\)「ミュオン \$g-2\$ /EDM精密測定のための時空間較正方法の開発」\(2014-2016\)](#)

分野 : 素粒子物理学、量子ビーム

キーワード : ミュオン、異常磁気能率、電気双極子能率、ミュオン冷却、高周波加速

課題

●なぜこの研究をおこなったのか？(研究の背景・目的)

量子ループを通じてミュオン異常磁気能率($g-2$)や電気双極子能率(EDM)に現れうる素粒子標準理論の綻びを研究できる。本研究ではJ-PARCの大強度陽子ビームと新しい実験技術を組み合わせることにより、従来とは異なる研究手法によりミュオン $g-2$ およびEDMの超精密測定を行い、素粒子標準理論との比較により新物理の存在に迫る。また、その過程で開発する世界初のミュオン加速器を、様々な研究開発分野へ波及させることを目指す。

●研究するにあたっての苦労や工夫(研究の手法)

ミュオン加速器が実現すると、素粒子物理学や物質生命科学、地球科学など、さまざまな分野での活用が期待される。しかし、加速器施設を用いて人工的に生成するミュオンは、向きや速さのばらつきが大きく上記のような実験に適さないという困難があるため、ミュオンの高周波加速は技術的に難しかった。本研究では、プラスの電荷を持つミュオン(ミュオンの反粒子の正ミュオン)を、ほぼ止まるまでいったん減速して向きや速さをそろえる(冷却する)ことにより、正ミュオンを光速の約4%(エネルギー100 keV)まで加速することに成功した(図1)。



図1 ミュオン加速実験装置



世界初の正ミュオンの高周波加速の成功とミュオン異常磁気能率・電気双極子能率の超精密測定

素粒子、原子核、宇宙物理学
およびその関連分野

研究成果

●どんな成果がでたか？どんな発見があったか？

ミュオンの加速が難しいのは、加速器施設で作る通常のミュオンビームの向きや速さがそろっておらず(指向性が悪く)、電場で粒子を加速する高周波加速空洞に効率よく入れて加速できないことが理由である。そこで、ミュオンをいったんほぼ静止した状態にしてから、高周波加速空洞で加速することによって、向きや速度や向きのばらつきを飛躍的に減らすことができ、こうした指向性が高いミュオンビームを用いれば、高周波加速空洞で効率よく加速することができると考えた。2024年、その技術の実証に成功した([Phys. Rev. Lett. 134, 245001 \(2025\)](https://arxiv.org/abs/2406.14501))。

J-PARC物質・生命科学実験施設ミュオン実験施設において、供給されるミュオンビームをほぼ止まった状態まで冷却・減速し、高周波加速空洞に入射することにより、ミュオンを光速の約4%まで加速することに成功した。図2は電子をはざとるレーザーをミュオンに照射したとき、高周波加速空洞の出口で、想定された速さ(光速の4%、エネルギーの単位では90 keV)の正ミュオンが検出されたことを示す。この方法によって正ミュオンの高周波加速を実証し、さらに加速することで、指向性が極めて高いミュオンビームを得るための礎を築いた。

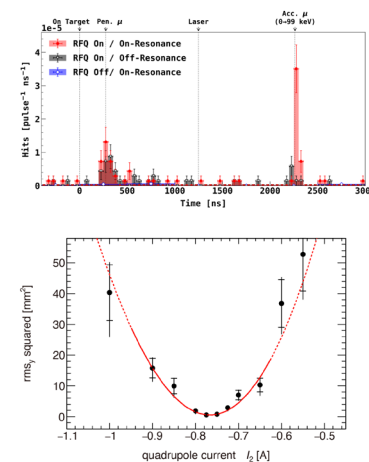


図2 成果が掲載された学術雑誌の表紙(左)と加速されたミュオンを示す実験データ(右)

今後の展望

●今後の展望・期待される効果

世界には多数の加速器施設が稼働しているが、ミュオンの加速器はまだ存在しない。本研究で実現したミュオンの冷却・加速技術によって、世界初のミュオン加速施設を段階的に実現する(図3、図4)。これを用いてミュオンg-2やEDMの超精密測定、透過型ミュオン顕微鏡など、さまざまな研究開発に活用する。

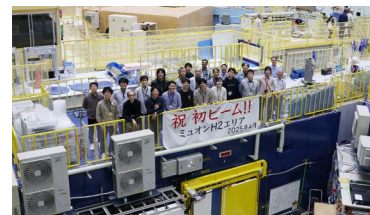


図3 ミュオン加速(4 MeV)を行う実験エリア(整備済)

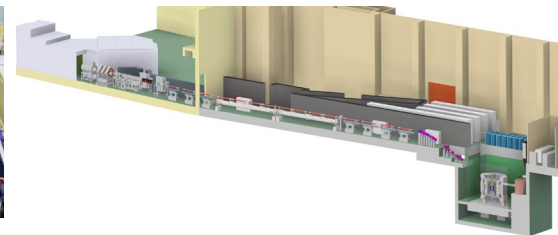


図4 ミュオン加速(210 MeV)とミュオンg-2/EDM実験を行う実験エリア(計画中)