

電子銃ビームラインにおける Q-Scan 法を用いた ビームエミッタンス測定 及びビーム制御精度の向上

Beam emittance measurement using Q-Scan method
and improvement of beam control at electron beamline

楊井京輔¹、杉田萌¹、大金千織¹、齋藤真慶¹、飯沼裕美²、
三部勉³、大沢哲⁴、古川和朗⁴、中山久義⁴、M. A. Rehman⁵

1 茨城大学理学部、2 茨城大学理工学研究科、
3 KEK 素核研、4 KEK 加速器研究施設、5 総研大

J-PARC で計画されているミュオン異常磁気モーメント($g-2$)と電気双極子モーメント(EDM)の精密測定実験($g-2$ /EDM 実験)[1]において、医療用 MRI ソレノイド磁石技術を応用した直径 0.66m の小型蓄積リングに、蓄積磁場を乱さずにビームを3次元らせん軌道で入射するという前例のない手法[2]が計画されている。この3次元らせん入射を実証すべく、電子銃とオリジナルより約 1/3 のサイズに縮小された蓄積ソレノイド磁石からなる、全長 1m 弱、80keV、0.1mA の小規模なテストビームラインを設置し入射実験を行っている。

本ポスター発表では、上記のビームラインにおいて収束電磁石走査(Q-Scan)法[3]という手法によって、四重極極磁石 1 台を用いてビームエミッタンス測定を試みた結果と、並びに自身でコイル巻きを行った新規偏向磁石をビームラインに導入し、蓄積磁石入射後のビーム制御の精度向上に取り組んだ結果を報告する。

加えて、入射後 3 次元らせん軌道を描くビームを蓄積領域内に保持するため弱収束磁場による制御装置とキッカー装置について、これら装置による磁場を評価するためのピックアップコイルの信号の調整を行い、キッカーコイルが作る磁場の空間分布の評価を行った結果も合わせて示す。

[1] M. Abe et al., arXiv:1901.03047 (2019).

[2] H. Iinuma et al., Nucl. Instrum. Meth. A832 (2016)51-62.

[3] 阪井寛志,「ビーム計測 II」. 高エネルギー加速器セミナー-OHO'02, (2002).

ソレノイド磁石内設置のための磁場のキャンセル機能付き 空芯コイルの設計

Design of the air-core coil with function to cancel magnetic field to set in the solenoid magnet

大金千織¹、齋藤真慶¹、杉田萌¹、楊井京輔¹、飯沼裕美²、阿部充志³

1 茨城大学理学部、2 茨城大学理工学研究科、3 KEK 素粒子原子核研究所

J-PARC で計画が進められている、ミュオン $g-2/EDM$ 実験において、加速した後のミュオンビームを蓄積させるために、直径 0.66m の、医療用 MRI 磁石の技術が使われた、超高精度ソレノイド磁石を用いる。この磁石を用いることにより、磁場の制御精度は 1ppm[1]に達することが可能である。また、このコンパクトな蓄積リングにビームを入射するには、従来の入射方法を用いることができないため、世界初の試みとして、3次元螺旋軌道[2]による入射、及び蓄積を行う。

本ポスター発表において、ソレノイド磁石内のミュオンビームの入射領域に設置する、ミュオンビームの軌跡に沿った、ビーム制御のための空芯コイルの設計について議論する。ミュオンビームの蓄積領域内の磁場に影響を及ぼさないための磁場のキャンセル機能について、及び試作機の作成に向けての計算手法について説明する。

[1] M. Abe, et al., Nucl. Instrum. Meth. A890(2018) 51-63

[2] H. Iinuma, et al., Nucl. Instrum. Meth. A832 (2016)51-62

ポジトロニウムのレーザー冷却に向けた 陽電子ビームの空間及び時間性能の向上 Improvement of spatial and time profiles of positron beam for laser cooling of positronium

山田恭平¹、周健治¹、橋立佳央理¹、石田明¹、難波俊雄¹、浅井祥二¹、
田島陽平²、蔡恩美²、吉岡孝高²、大島永康³、オロークブライアン³、
満汐孝治³、伊藤賢志³、兵頭俊夫⁴、望月出海⁴、和田健⁵

1 東大-理・素セ、2 東大-工、3 産総研、4 KEK-放射光、5 量研

ポジトロニウム(Ps)は電子とその反粒子である陽電子の束縛系でシンプルな系のため、基礎物理学の検証に有用である。低温 Ps の生成は、Ps のエネルギー準位の超精密測定による量子電磁力の精密検証や、反物質を含む系で世界初となる Ps のボース・アインシュタイン凝縮の実現に必須である。Ps は崩壊寿命が 142 ns と短いため、低温 Ps の実現には従来にない高速冷却が必要である。われわれは低温多孔質シリカと Ps の衝突、及びレーザー冷却を組み合わせる新手法を提案し、KEK 物構研低速陽電子ビームライン SPF-B1 にて反物質を含む系で世界初のレーザー冷却となる Ps レーザー冷却を 2019 年度中に実現すべく実験を行っている(課題番号 2018G100)。

これまでに陽電子ビームの空間及び時間性能の向上を行い、レーザー冷却に適したビームの準備に取り組んだ(図1)。空間性能については対物集束磁気レンズを導入し、 $\phi 6$ mm のビームを $\phi 2$ mm まで集束することに成功した。今後、レンズを最適化することでレーザー冷却に必要な $\phi 1$ mm までの集束に取り組む。時間性能については、SPF-B1 のビームは 16 ns の短パルスピーク後に 200 ns 程度の時定数を持つテール成分が僅かにあることがわかってきた。このテール成分は o-Ps の自己崩壊ガンマ線と区別しづらいバックグラウンドになるため、低速陽電子(1-5keV)に対して+5.3 kV の高電圧チョッパーを導入し、テール成分を大きく低減することに成功した(図 2)。

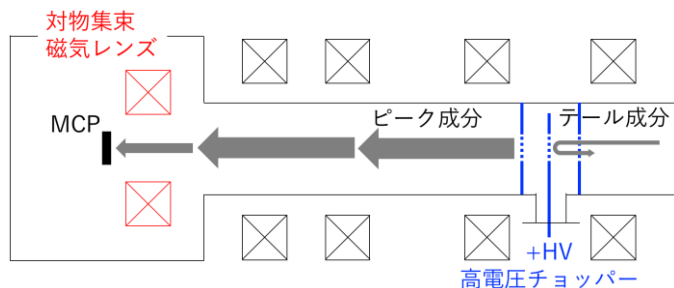


図 1 実験のレイアウト。既存ビームラインに対物集束磁気レンズと+HV チョッパーを追加し、陽電子ビームの性能向上を行った。

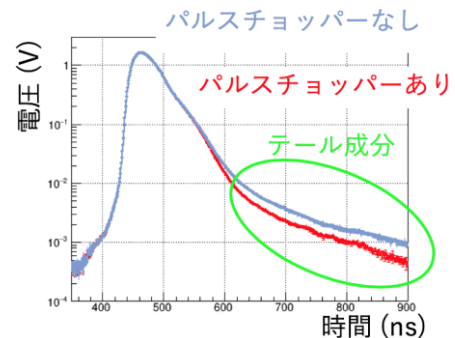


図 2 陽電子消滅ガンマ線検出器の平均波形。パルスチョッパーによってテール成分が大きく減少した。

ビーム蓄積用超伝導磁石において 超高均一磁場を得るためのシミング手法の開発 Development of shimming method to acquire super flat magnetic field in beam storage magnet

齋藤真慶¹、阿部充志²、飯沼裕美¹、大金千織¹、
佐々木憲一²、杉田萌¹、楊井京輔¹、山口博史²

1 茨城大、2 KEK

J-PARC E34 実験[1]では加速したミュオンビームをほぼ一様な平行磁場内で周回運動させ、崩壊時に放出される陽電子の偏りの向きから異常磁気能率($g-2$)と電気双極子モーメント(EDM)を測定する。この陽電子の偏りはミュオンが磁場を受けたことによるスピン歳差運動が原因で、精密な測定を行うには磁場自体の均一度も重要である。E34 実験ではソレノイド形の超伝導磁石を用いてミュオン蓄積部に 3T、均一度 0.1ppm 以下の磁場を実現する計画である。このように磁場に対して高い均一度が要求される場合、シミング(Shimming)と呼ばれる手法を用いる。シミングには鉄片を配置することで磁場を補正する受動(Passive)シミングと、電流の配分を変えることによる能動(Active)シミングがある。E34 実験では定常的な磁場誤差の補正に受動シミングを、熱による膨張や磁化率の変化など時間変動する磁場誤差の補正に能動シミングを用いる。

本研究では受動シミングによって実現可能な磁場均一度の向上を目的として、鉄以外の材料をシミングに利用できないかを検討する。受動シミングで達成可能な均一度を向上させるには配置する鉄の最小量をより小さくすれば良いが、小さくしすぎると寸法誤差などの影響を受ける。そこで鉄より飽和磁化が小さいニッケルや磁性流体を試料として MRI 用超伝導磁石内の均一磁場内に置き、試料が作る磁場の強度を測定する。また実際にシミングに用いる場合の形状に加工し、寸法誤差とそれに伴う磁場の変動を計測する。これらの結果から鉄以外の材料ではどの程度の磁場均一度が見込めるかを評価する。

[1]M. Abe et al. , arXiv:1901.03047 (2019)

J-PARC ミューオン $g-2$ /EDM 実験のビーム輸送ライン設計 Beam transport line for J-PARC muon $g-2$ /EDM experiment

飯沼裕美¹、中山久義²、佐々木憲一³、阿部充⁴、三部勉⁴

1 茨城大学理工学研究科、2 KEK-加速器、3・KEK-低温センター、4 KEK 素
核研

ミューオン異常磁気モーメント($g-2$)と電気磁気双極子モーメント(EDM)の超精密測定のため、LINAC で再加速したミューオンビームを、MRI 技術を応用した直径 66cm の小型ソレノイド磁石に蓄積するビームラインを設計している。1990 年代～2000 年に行われた BNL-E821 実験[1]やその実験手法を踏襲した FNAL-E989[2](2017 年から実験開始)とは異なり、本実験ではミューオニウムをレーザー乖離して得たほぼ静止状態のミューオンビームを線形加速器により相対論的エネルギーまで再加速し、サブメートルの小型リングへの入射する手法をとる。これは、前例がない世界初の試みである。更に、ソレノイド磁場は軸対称な磁場であるため、ビーム運動の水平方向・垂直方向成分が高度に結合(X-Y 結合)した特殊なビーム位相空間を制御せねばならない[3]。本ポスター発表では、ミューオン LINAC 出口から蓄積ソレノイド磁石までの輸送ライン設計について議論する。特に、高度な X-Y 結合を実現するために複数個の回転 4 極磁石の配置と、ビームモニター手法について議論する。

[1] G.W.Bennett, et al., Phys. Rev. D 73 (2006), 072003

[2] <http://muon-g-2.fnal.gov>

[3] H. Iinuma, et al., Nucl. Instrum. Meth. A832 (2016)51-62

ポジトロニウムレーザー冷却のための 新しいシリカキャビティとガンマ線検出手法の試験 Test of new silica cavity and gamma-ray detection method for positronium laser cooling

周健治¹、石田明¹、村吉諄之¹、難波俊雄¹、浅井祥仁¹、蔡恩美²、吉岡孝高²、
大島永康³、オロークブライアン³、満汐孝治³、伊藤賢志³、熊谷和博³、
藤野茂⁴、兵頭俊夫⁵、望月出海⁵、和田健⁶、川合健太郎⁷

1 東大-理・素セ、2 東大-工、3 産総研、4 九大-GIC、
5 KEK-物構研、6 量研、7 阪大-工

電子とその反粒子である陽電子の束縛系：ポジトロニウム(Ps)は基礎物理学の検証に有用である。Ps を低温にすることで、物質・反物質対称性の超精密検証や反物質を含む系で初となるボース・アインシュタイン凝縮が実現する。冷却が難しいのは、長寿命のオルソ-Ps(σ -Ps)でも 142 ns という短い寿命でガンマ線へ崩壊してしまうからである。われわれは、Ps・低温シリカ間衝突とレーザー冷却とを併用する新手法によりPs冷却を高速化するスキームを提案し、反物質を含む系で初めてのレーザー冷却実現に向け、KEK 物構研低速陽電子ビームライン SPF-B1 にて研究を進めている。

Ps冷却に先立ち、SPF-B1 にてPs崩壊ガンマ線検出手法の試験を行い、試作したPs冷却用新規シリカガラス材料の有用性も調べた(課題番号2017P009)。パルス低速陽電子を用いるため短時間に多くのPs崩壊ガンマ線が発生し検出時にパイルアップする。この状況でも崩壊ガンマ線の量とタイミングを正しく測定する手法として、LaBr₃(Ce)シンチレータとPMTを用いてシングルショット法と呼ばれる方法を試験した。新規シリカガラス及び性質が既知

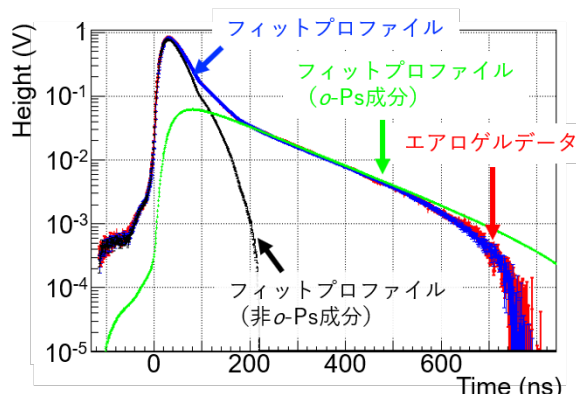


図 1 シリカエアロゲルに陽電子を入射し得られた PMT 出力波形平均。崩壊様式毎に波形プロファイルを生成し、データにフィッティングすることで σ -Ps 崩壊寿命 141.5 ns が得られた。この値は既存手法と無矛盾である。

のシリカエアロゲルへ陽電子を入射し、生成した Ps の寿命を測定した。図 1 にシリカエアロゲルで取得した PMT 出力波形平均を示す。 σ -Ps 成分の寿命が 141.5 ns と求められ、シングルショット法が期待通り働いていることが分かった。また Ps 生成率が最も高かったことから、レーザー冷却には薄くしたシリカエアロゲルを用いることに決定した。今後は Ps 温度測定実験により Ps 冷却を定量的に評価する手法を確立した上で Ps レーザー冷却に取り組む。

複合核共鳴から原子核低励起状態への即発ガンマ線の強度比計測（MLF長期課題2017L2000）

Branching ratio measurement of prompt gamma-rays from the compound resonances to the low lying states.

広田克也¹、石崎貢平²、猪野隆³、遠藤駿典²、奥平琢也⁴、奥隆之⁴、木村敦⁴、北口雅暁²、古賀淳⁵、酒井健二³、佐藤匠⁴、嶋達志¹、清水裕彦⁴、高田秀佐、谷結以花⁶、藤岡宏之⁶、牧瀬壯、山本知樹⁴、吉岡瑞樹⁵、吉川大幹¹、
他 NOPTREX Collaboration

¹大阪大、²名古屋大、³KEK、⁴JAEA、⁵九州大、⁶東工大

核子間相互作用におけるパリティ反転対象性の破れは、中性子複合核共鳴を經由した場合に増大することが知られており、これまでの研究で p 波共鳴と s 波共鳴の干渉によりこの増幅効果が大きくなると説明されている。このパリティ破れの増幅効果は時間反転対象性の破れに拡張することができ[1]、両者を結ぶ関係式におけるスピン結合の組替係数 $k(J)$ を求めることが、時間反転対称性の破れ探索実験における測定可能性を見積もるために重要な要素となる。この $k(J)$ は p 波共鳴時に中性子が持ち込む全角運動量 j の比に依存する量となっており、計算で求めることができず、 (n, γ) 反応実験の角度分布測定から決められる。

我々は ^{139}La に対してこの $k(J)$ を求めることができ[2]、引き続きその他の元素に関しても $k(J)$ の決定作業を進めている。この $k(J)$ を求める計測においては p 波共鳴から残留核の低励起状態への直接遷移のガンマ線計測が必要であるが、通常のデータベースに掲載されている熱中性子入射によるガンマ線とはスピン角運動量が異なるため、遷移強度が異なって観測される。そこで本長期課題において様々な原子核のガンマ線強度を計測することで、 $k(J)$ 解析に使えるような各種の候補を探す研究を進めている。

本発表においてはこれまでの計測結果に関して報告をする。

[1] V.P. Gudkov, Phys. Rep. 212 (1992) 77–105

[2] T. Okudaira, et al., Phys. Rev C97 (2018) 034622

偏極Xe標的を用いた中性子-原子核スピン相関項の研究 Study of neutron-nuclear spin correlation term with a polarized xenon target

酒井健二¹、奥隆之¹、奥平琢也¹、甲斐哲也¹、原田正英¹、廣井孝介¹、
林田洋寿²、清水裕彦³、山本知樹³、猪野隆⁴、広田克也⁵

1JAEA MLF、2 CROSS、3 名古屋大 理、4 KEK KENS、5 大阪大 RCNP

中性子基礎物理学において、弱い相互作用の増幅効果が期待できる中性子共鳴ピーク付近での時間反転非保存 (TRNC) 項の検証は重要な研究テーマである。パリティ非保存 (PNC) 項の増大が測定され、スピン交換光ポンピング (SEOP) 法による高偏極が期待できるキセノン (Xe) は、TRNC 項検証の有力な標的核候補であるものの、TRNC 項と干渉する中性子スピン s と Xe 核スピン I の相関項 $s \cdot I$ に関する測定データは殆ど報告されていない。我々は MLF の狭いビームラインに設置可能な小型 SEOP システムを用いた偏極 Xe 標的を開発し、核破碎中性子源で得られる大強度の熱外中性子ビームを利用した $s \cdot I$ 項の研究を計画している。

その第一段階として、我々は ^{129}Xe の 9.6eV 共鳴ピーク付近での Xe 偏極時と非偏極時の中性子透過率比の変化 ΔR_P を捕らえることで、 $s \cdot I$ 項の虚数部に起因する中性子偏極能力の測定を MLF BL10 で実施した。予想される ΔR_P が $\sim 10^{-2}$ と小さいため、測定には高い計数能力 ($>1\text{Mcps}$) が期待できる Li ガラスとマルチアノード光電子増倍管を組み合わせた中性子位置敏感型検出器を使用した。実験では、本測定系がドップラーブロードニングの影響 ($\Delta R_{DB} \sim 10^{-2}$) を検知できることを示した上で、初期結果として有意な ΔR_P の値を得ている。現在は ΔR_P をより定量的に評価するための中性子ビームによる追実験や、核磁気・電子スピン共鳴法による Xe 偏極度の導出を進めている。今後は ^{129}Xe の ΔR_P を基準にして、 ^{131}Xe の 14.4eV 共鳴ピーク付近での ΔR_P 測定を計画している。