

課題名 (タイトル) :

## レプトン異常磁気能率の精密理論計算

利用者氏名 : ○仁尾 真紀子  
早川 雅司  
青山 龍美

所属 : 和光研究所 仁科加速器研究センター 理論研究部門 川合理論物理学研究室

## 1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

本研究課題は、電子とミュオン粒子の持つ異常磁気能率( $g-2$ )の値を、量子電気力学理論(QED)から計算して精密に求めることである。

電子の  $g$  因子は 2008 年にハーバード大学のグループが 0.28ppt の精度で測定に成功した。この  $g$  因子の測定値に比肩する精度を持つ理論値を QED から第一原理計算によって求め、QED の検証を行うことが研究の目的である。さらに、QED が正しいと仮定すれば、実験と理論の  $g-2$  の値から、電磁気力の相互作用定数である微細構造定数  $\alpha$  の値を、ほかのどの方法よりも高い精度で決定することができる。この値は CODATA 推奨値として広く科学および工学の領域に使われている。

ミュオン粒子は電子よりも 200 倍程度重いため、より、高いエネルギーの現象に敏感である。ミュオン粒子の  $g-2$  は 0.1ppm 程度の精度で未知の重い新粒子の影響を受けるのではないかと予想されており、実験、理論ともに精度の改良に精力がそそがれている。特に、実験は、理研を含め日本主導の研究グループにより新しい実験が計画されている。そのミュオン粒子  $g-2$  理論値における最も大きな寄与を与える QED の寄与を特定することが、私たちの研究目的である。

## 2. 具体的な利用内容、計算方法

レプトン粒子への QED の効果は、ファインマン図を用いた摂動計算によって求めることができる。各ファインマン図はそれに相当する計算式を解析的に処理した後には、多重積分に帰着することができる。今、私たちが関心を持っている摂動の 10 次では、独立な積分の数は数百個、多重積分は 13 次元、一個の独立な積分の被積分関数の長さが 10 万行程度と膨大なものになる。

これを数値積分計算によって求める。

QED 摂動計算において、数値計算上の障害となるのが、赤外および紫外発散のカウンター項による相殺である。特に赤外発散では数値計算の桁落ちが激しく、実数の精度として 4 倍精度、特に桁落ちの激しいものは 8 倍精度、が要求される。

以上、計算量の膨大さと、4 倍精度実数が要求されることから多くの計算機資源を必要としている。

## 3. 結果

2009 年秋に RICC が稼働開始以降、順次 QED10 次の計算を RSCC から RICC に移植した。特に、RSCC では計算機の能力が足りず、倍精度でしか計算できなかった積分計算 50 個あまりを優先的に移植した。RSCC と RICC では計算速度、特に 4 倍精度計算での速度が格段に向上し、計算コア数の増加もあって、順調に計算が進捗するようになった。計算速度の上昇は、メモリアクセスの改善によるものが RSCC と比較して数倍程度、4 倍精度ライブラリ fast\_dd による効果が 2-3 倍程度 (4 倍精度計算が倍精度計算の 10 倍強の計算時間コストですむようになった)、さらにプログラムの徹底改良により、被積分関数の短縮化を行ったことで、最大で 2 倍程度の寄与があった。これらの摂動 10 次の計算結果は、現在、まとめの段階に入っている。2010 年夏の国際会議での発表、ならびに 2010 年末の CODATA の締め切りに間に合うように論文出版を準備中である。

他にもこれまで計算を行っていなかった光光散乱を内部的に含むファインマン図のセットについても、早川を中心として精力的に計算を行った。

摂動 10 次については、これですべての計算が予備的な段階ではあるが終了する目安がついた。これまでの RSCC での計算結果も含めて、次年度中に順次結果を発表してゆく予定である。

#### 4. まとめ

ファイルシステムの不具合や、スイッチの故障の多さなど、RICC にはシステム稼働当初特有の課題が散見される。が、それにも関わらず、その計算能力は、私たちにとっては非常にありがたいものである。ようやく 10 次の計算のゴールが現実として見えてきた。

#### 5. 今後の計画・展望

10 次摂動計算のファイマン図のセットに、まだ、計算していないもの（プログラムの制作は完了している）や、計算をもう少し推し進める必要のあるものがあるので、これを実行する。さらに、10 次の計算がある程度大きな誤差をもってでも値が求められると、より次数の低い 8 次の計算の改良が求められる。こちらも平行して計算を続行してゆく。

#### 6. RICC の継続利用を希望の場合は、これまで利用した状況（どの程度研究が進んだか、研究においてどこまで計算出来て、何が出来ていないか）や、継続して利用する際に行う具体的な内容

5 でも述べたが、10 次の計算の続行、並びに 8 次の計算の改良を行う。10 次は、ファイマン図によって倍精度と 4 倍精度を使い分ける、8 次は、最終結果で 5 桁以上を求めなければならないことも考え合わせて、すべて 4 倍精度で計算をすすめる。

#### 7. 一般利用で演算時間を使い切れなかった理由

RICC の導入初年であるにも関わらず、他のユーザーの利用が多く、計画ほどにジョブが実行できなかった。週末は比較的、キューが空いていて多くの計算を実行することができたが、週末の大規模利用が始まってから、それができなくなった。

#### 8. 利用研究成果が無かった場合の理由

多大な成果があったのだが、まだ、論文として出版していないだけである。結果の速報性よりも、正確性が重要なので、数々の検証を重ねているため。

## 平成 21 年度 RICC 利用研究成果リスト

### 【論文、学会報告・雑誌などの論文発表】

1) Tenth-order lepton g-2: Contribution from diagrams containing sixth-order light-by-light-scattering subdiagram internally.

T. Aoyama, K. Asano, M. Hayakawa, T. Kinoshita, M. Nio, N. Watanabe, . RIKEN-TH-182  
e-Print: arXiv:1001.3704 [hep-ph] □, to appear Phys. Rev. D.

### 【国際会議、学会などでの口頭発表】

1) 「光光散乱を内部に含んだダイアグラムの電子異常磁気能率に対する寄与の計算」

浅野克行、早川雅司、渡邊矩章、日本物理学会第 64 回年次大会（立教大学）2009 年 3 月 29 日

2) 「光光散乱を内部に含んだダイアグラムの電子異常磁気能率に対する寄与の計算 2」

渡邊矩章、日本物理学会第 64 回年次大会（立教大学）2009 年 3 月 29 日

3) 「電子異常磁気能率への QED 高次補正計算の現状」青山龍美、日本物理学会 2009 年秋季大会（神戸大学）

シンポジウム招待講演、2009 年 9 月 10 日

4) 「QED 高次補正計算の発展」木下東一郎、日本物理学会 2009 年秋季大会（神戸大学）シンポジウム招待講演、

2009 年 9 月 10 日

