

理論センターでは、KEKの実験プロジェクトである Belle 実験、Belle II 実験や J-PARC 加速器を用いて進められているフレーバー実験などの理論的な側面に関する研究が進められています。そのため、日頃から実験グループと密接に連携をとりながら研究を行なっています。今回は、これらフレーバー実験に関係する最近の理論研究の活動について報告します。

近年のヒッグス粒子の発見による素粒子標準理論の完成は記憶に新しいところですが、一方で素粒子標準理論が宇宙の究極理論ではないことがすでに実験的・観測的に知られています。そのため、現在の標準理論を超える新しい物理理論の構築が素粒子物理学における最重要テーマの一つと見なされています。

これまでに行われてきた実験により、新しい物理理論の効果として有望なシグナルが複数報告されてきました。Belle 実験、Belle II 実験や J-PARC 加速器を用いて進められているフレーバー実験では、これらのシグナルが本当に新しい物理理論の効果であるかを決定づけるだけでなく、その物理理論の全容を明らかにするために欠かすことのできないデータを我々にもたらしてくれることが期待されています。

理論グループでは、これまでに実験からもたらされてきたデータを総合的に研究することで新しい物理理論を見定め、これからどのような実験データが重要な知見をもたらすのか、いわば実験の方向性を提案する活動を行なっています。とくに、いよいよ本格的なデータ取得が始まった Belle II 実験では「Belle II Theory Interface Platform (B2TiP)」プロジェクトに貢献することで、Belle II 実験を理論面から研究・サポートする活動を進めてきました。ここでは実験研究者と理論研究者とが協力して、Belle II 実験で期待される物理成果とそのインパクトについて包括的な検討を行ってきました。この実験では B 中間子崩壊はもちろん D 中間子やタウレプトンの崩壊を含む数多くの崩壊モードが精密に測定されます。その多くでは理論的不定性の扱いが自明ではなく、精度の良い測定を実現するためには理論と実験の連携・協力が不可欠です。実際、前世代の Belle 実験では理論と実験の協力により小林・益川行列要素の精密測定をはじめとして大きな成果を挙げることに成功しました。B2TiPはこの協力関係を Belle II 実験でも推し進めたものであり、今後も理論と実験が密接に関わっていくその端緒となる活動です。とくに平成26年以降の数年間に Belle II 実験で達成が期待される精度とその意義について観測量毎に精査し、それらの新物理探索への感度について詳細な解析を進めてきました。その結果をまとめたレポートが2018年に発表されました[1]。その中でも理論センターは(1) 格子 QCD 計算、(2) 時間依存 CP 非対称性による小林・益川行列のパラメーター ϕ_1 , ϕ_2 の測定、および (3) $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ 散乱断面積の測定によるミューオン異常磁気能率の計算精度の向上に関して理論面から貢献

してきました。今後も Belle II 実験と密に連携し、関連する理論研究を進めていくことが予定されています。

J-PARC 加速器を用いて計画が進められている実験の一つにミューオン異常磁気能率の精密測定があります。これまでに Brookhaven E821 実験からもたらされた実験結果は素粒子標準理論の予言と 7~8 桁の精度で一致することが確かめられています。しかし、実験データおよび理論計算はそれ以上の精度で求められており、3 シグマ以上の有意さで一致しないことが報告されています。この結果は新しい物理理論シグナルの有力候補の一つとして注目されてきました。近年に至るまで標準理論計算ではハドロン真空偏極による効果が不定性の最大要素となっていました。最新の実験データを用いた研究によりこの不定性を大きく抑えることに成功しました[2]。その結果、上記の 3 シグマ以上のズレがより確かなものとなり、現在ではこの研究結果がミューオン異常磁気能率における標準理論の予言値のスタンダードとして世界的に採用されています。そして、この活動は上で述べたように B2TiP プロジェクトの主要ターゲットとして引き継がれています。

2018 年 2 月にハドロン真空偏極に関する国際研究会[3]を KEK つくばキャンパスで開催しました。研究会には国内外から理論・実験の専門家が約 70 名集まり、ハドロン真空偏極の理論計算の将来の精度向上に向けて活発な議論が行われました。また、KEK Theory Meeting on Particle Physics Phenomenology 国際研究会[4]が近日程で行われ、今回はこの研究会と共同セッションを設けることで、ミューオン異常磁気能率による新物理探索に関する議論も行われました。さらに、2018 年 8 月に Flavor Physics Workshop を東京大学柏キャンパスカブリ数物連携宇宙研究機構で行いました[5]。ここでは国内の理論・実験グループに所属する若手研究者を対象に最新の研究研究に関連する講義が行われます。今回は KEK 理論グループのメンバーがミューオン異常磁気能率に関する講義を行いました。ここでは理論グループの学生もフレーバー研究に関する研究発表を行いました。それ以外にも、2019 年 2 月に KEK つくばキャンパスで第 6 回 KEK Flavor Factory Workshop を開催しました。今回は Belle II 実験を中心テーマに据えて、国内外から約 100 名もの理論・実験の専門家が集まって議論を交わしました。また、国内の理論・実験の専門家が集まって Belle II 実験の物理をメインターゲットにした勉強会を定期的で開催しています。

理論グループでは B2TiP プロジェクトや上記の研究会以外にも日頃から実験グループと連携を取りながら研究を進めています。実験グループの活動を理論面からサポートするだけでなく、実験の専門的な見解に基づくフィードバックを受けて理論グループの活動を発展させています。さらに、KEK の共同利用研究所としての利点を活かして国内外の研究者との連携も進めています。これからもこの方針を推進し、KEK の進める実験プロジェクトと連携を取りながら、さらに国内外の研究者との密接な連携を活かして活動を行なっていくことが期待されています。

(文責：遠藤 基)

[1] “The Belle II Physics Book,” arXiv:1808.10567 [hep-ex]

[2] Alexander Keshavarzi, Daisuke Nomura, Thomas Teubner, “Muon $g-2$ and α (MZ2): a new data-based analysis,” Phys. Rev. D97 (2018) no.11, 114025.

[3] <https://www-conf.kek.jp/muonHVPws/index.html>

[4] <https://conference-indico.kek.jp/indico/event/38/>

[5] <https://indico.ipmu.jp/indico/event/164/overview>

[6] <https://conference-indico.kek.jp/indico/event/50/>