

公募番号
第1希望 :素核研 18-8
第2希望 :

着 任 後 の 抱 負

記入年月日(西暦) 2018 年 10 月 31 日

申請者は Belle II 実験において、⁽¹⁾バーテックス検出器(VXD : PXD と SVD を合体させた検出器)の性能評価(長期運転で生じる誤差の補正と、バックグラウンドの変動の補正を含めたキャリブレーション測定)と⁽²⁾B 中間子におけるセミレプトニック崩壊および輻射崩壊に関するフレーバー物理解析を中心に研究を遂行する。

【物理モチベーション】

素粒子標準模型(SM)は電弱相互作用から量子電磁学の繰り込み理論による輻射補正によって実験結果のほとんどをよく説明した一方、宇宙の粒子・反粒子非対称性問題、暗黒物質、暗黒エネルギー、ニュートリノ質量、そして階層性問題などの課題を残す。2012 年に発見が認められた Higgs 粒子も詳しい性質の解明が求められている。近年フレーバー物理のアノマリーが注目されている。Belle, BaBar, LHCb で $B \rightarrow D^{(*)} \tau \nu$ と $B \rightarrow D^{(*)} l \nu$ ($l = e, \mu$) の崩壊幅の比 $R(D^{(*)})$ 測定平均が SM と比べて約 4σ 逸脱していると報告されている。超対称性理論やヒッグス多重項模型、レプトクォークなどの SM を超える新物理理論がこのアノマリを説明できるのではと研究されている一方で、高統計の精密測定実験が新物理の検証のために重要である。Belle II は Super-KEKB を用いてルミノシティを Belle の最大 40 倍に改善して新物理の検証を目的とする。

【検出器】

Belle II の VXD は 50 ミクロンのピクセルで読み出す半導体飛跡検出器で e^+e^- 衝突点の再構成を 15 ミクロンの分解能で決定するデバイスである。着任する年度はこの VXD の一部を Belle II 検出器に実装してビーム運転する「フェイズ2」が終わり、VXD をフル実装して運転する「フェイズ3」が開始される予定である。また、VXD は物理解析でのクォリティを左右する重要な検出器で、特に数ミクロン精度での位置合わせが物理解析前に必要である。宇宙線を用いて VXD だけのローカルな位置合わせを実施し、位置再構成における位置分解能、飛跡の検出効率、S/N 比、及びこれらの角度依存性などの性能を評価する。そして、ビーム衝突で生成された

粒子を用いて、Belle II 検出器全体でのグローバルな位置合わせ及び性能評価を実施する。

VXD は e^+e^- 衝突点に最も近い場所に配置される。Belle II では Belle と比べてビーム強度の増加に伴い、ビーム・バックグラウンドも増加すると予想される。このバックグラウンドが VXD の性能及び、物理解析に与える影響について調査することは必須である。そこで、先述の検出器の性能評価と併せて、この重要なバックグラウンド研究にも取り組んでいく。

これらの評価にはモンテカルロ (MC) ・シミュレーションを用いて検出器内部での挙動を把握することで実現する。具体的には、散乱粒子が VXD 各チップに与えるエネルギーやタイミングなどの情報を実験と比較して一致させる。そして、ビーム由来の雑音の傾向を調べ、その中でも衝突点および衝突軌道を追跡できるアルゴリズムを開発する。ビーム由来の雑音は実験的に観測し、MC シミュレーションによって再現する乱数データを作成する。

【運転業務】

Belle II シフト業務ではビーム安定性、各検出器のオンラインモニターのヒストグラム、カウントレートの安定性、Dead チャンネルは存在しないか、データサイズは前 RUN と同程度かなどを確認する。トラブルや挙動不審があればチーム内で議論し対応する。申請者が進めていた J-PARC E36 実験のシフトや、装置開発などで生じた問題・トラブルを解決した経験が活かせる。

Belle II のビーム強度は次第に増加させながら最終的に Belle の 40 倍のルミノシティで衝突させる予定である。その際、強度増加に伴った雑音の影響を監視する必要がある。シンプルなヒットパターンに基づいたオンライン・モニターでは、純粋に信号数が増加しているのか、雑音も増加しているのか区別がつかない。オフライン解析で雑音を評価するとともに、ヒットパターンで対応できるか見極め機械学習を基にしたアルゴリズムを開発する。

【物理解析】

申請者はセミレプトニック崩壊過程の CP 対称性、レプトン世代普遍性について強い興味を持つ。 $R(D^{(*)})$ のアノマリでは $B \rightarrow D^{(*)} l \nu$ の崩壊幅を精密に測定する必要がある。その際、輻射崩壊 $B \rightarrow D^{(*)} l \nu \gamma$ が大きなバックグラウンドになり系統的な不確定性を生む。この輻射崩壊は内部制動放射 (IB) と直接放射過程 (DE) に分類されると考えられており、IB は $R(D^{(*)})$ の計算に含め、DE は含めない必要がある。 $B \rightarrow$

$D^{(*)}lv$ と $B \rightarrow D^{(*)}lv + \text{anything}$ の分離に加え IB, DE の取り扱いによって $R(D^{(*)})$ の精度向上を図る。IB は $lv\gamma$ 静止系で l と γ の角度が小さく γ のエネルギーが低い傾向があり、DE では l と γ の角度が大きく γ のエネルギーが高い傾向があるため区別することができる。 $B \rightarrow D^{(*)}lv\gamma$ (DE)事象の研究も報告例が少なく、ハドロンの 4 体崩壊形状因子パラメータと崩壊分岐比の決定を通して輻射崩壊を明らかにすることも一つのテーマとしては魅力的である。ここで $B \rightarrow D^{(*)}lv\gamma$ においてビーム雑音による γ が混入した $B \rightarrow D^{(*)}lv$ 事象は逃れられないバックグラウンドとなるが、上述した MC シミュレーションを基にしたアルゴリズムを駆使して系統的な不確定性を評価する。この研究を通して $B \rightarrow D^{(*)}lv\gamma$ の検出器 γ 抜け漏れの割合、ビーム雑音 $\gamma+B \rightarrow D^{(*)}lv$ の誤認識の割合を評価し $R(D^{(*)})$ 決定の不確定性を抑制する。

また、B 中間子の 2 体崩壊分岐比 $R_B = \mathcal{B}(B \rightarrow lv)/\mathcal{B}(B \rightarrow \tau\nu)$ 測定も進める。これは申請者が参加している J-PARC E36 実験と同様に崩壊定数 f_B と $|V_{ub}|$ がキャンセルされるため mass の関係と輻射補正だけで $l = \mu$ の場合 $R_B \sim 4.5 \times 10^{-3}$ と計算される。従来の結果は $\mathcal{B}(B \rightarrow lv) \lesssim 10^{-6}$ ($l = e, \mu$)で上限値がつき、 $\mathcal{B}(B \rightarrow \tau\nu) \sim 10^{-4}$ が報告されている。Belle II では $B \rightarrow \mu\nu$ の観測に手が届くため、 R_B 測定値を初めて記録することになる。測定値が SM の誤差から統計的有意に逸脱した場合、SM を超える新物理の寄与を示唆する。主な BG は $B \rightarrow X_c lv$, $B \rightarrow X_u lv$ とビーム雑音である。二体崩壊における損失質量と B 静止系でのレプトン運動量を計算し $B \rightarrow lv$ ピークの事象数とアクセプタンスから分岐比を決定する。これらは MC シミュレーションの検出器応答と比較しながら実施する。特に、二体崩壊事象はレプトンの運動量分解能が感度に効いてくるため、事前に VXD の応答を理解し、分解能の改善およびビーム BG を理解する。加えて $B \rightarrow lv\gamma$ における不確定性を見積もる。申請者の経験を活かして、Belle II 実験において B 中間子のレプトニック崩壊および輻射崩壊に関する研究を発展させようと考えている。

申請者は積極的にグループ内で解析・開発を中心的に進め、研究を牽引する。また、他物理研究グループとも議論を重ねて、Belle II で何か応用できないか模索を継続する。共同実験で参加している学生に対して解析技術や物理理論などを共有しながら、実験プロジェクトを進めていきたいと考えている。