

氏 名 Dong Van Thanh

学位(専攻分野) 博士(理学)

学位記番号 総研大甲第 2035 号

学位授与の日付 平成 30 年9月28日

学位授与の要件 高エネルギー加速器科学研究科 素粒子原子核専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 Study of lepton flavor violation with a high-resolution
tracking device for Belle II experiment

論文審査委員 主 査 教授 中尾 幹彦
教授 藤井 恵介
准教授 西田 昌平
講師 上原 貞治
教授 宇野 彰二
教授 宮林 謙吉
奈良女子大学 自然科学系・物理学領域

(Form 3)

Summary of Doctoral Thesis

Name in full: Dong Van Thanh

Title: Study of lepton flavor violation with a high-resolution tracking device in Belle II experiment

The Belle II / SuperKEKB experiment is an upgrade of the successful Belle / KEKB experiment with 40 times higher luminosity. Collecting a huge number of B , D mesons and τ leptons will enable Belle II to perform rich physics programs to search for new physics beyond the standard model (SM) of elementary particles from rare decay modes and decays which are forbidden in the SM such as the charged lepton flavor violation (LFV), as well as searching for exotic particles like the four-quark state.

In the SM, LFV is not protected by a symmetry, the branching fraction predicted for LFV in the SM is very small and inaccessible with current experiments, even the finite neutrino mass are taken into consideration. In well-motivated extensions of the SM, LFV is naturally introduced with the branching fraction which can be reached by current planned experiments. An observation of LFV would provide a clear signature of new physics.

τ is the heaviest charged lepton, it is expected to have a large coupling to new physics, and offers a long decay list for searching LFV. With a huge number of $\tau^+\tau^-$ pairs will be produced by SuperKEKB, Belle II provides a good opportunity for studying the LFV in decays of the τ lepton. Good reconstructed mass and energy resolutions which measured by tracking detectors are important to reduce the background and improve the efficiency in the LFV study. To do this, Central Drift Chamber (CDC) is the key device.

The CDC of contains 14300 drift cells is the main tracking device of the Belle II detector, CDC plays an important role in measuring momentum of charged particles, and the particle identification using energy loss information, dE/dx . To realize the designed performance of CDC, the calibration and alignment are crucial. In this thesis,

methods for calibration and alignment of CDC are described.

The time offset, the crucial parameter to obtain the drift time, is calibrated for each channel. The time walk effect is corrected for each of electronics board. The propagation velocity of the signal on the wire is examined. The time to space relation and the position resolution as a function of the drift distance are calibrated for each layer in different incident angles and left-right sides. A procedure to combine all algorithms for the full CDC calibration is established. The position resolution become better than 120 μm after the calibration.

CDC is aligned using cosmic-ray muon data taken without magnetic field. The $x(t)$ relation is calibrated in the different way from the standard calibration where hits at the left and right side, are merged to cancel the bias of the $x(t)$ relation on the systematic mis-alignments. By treating a cosmic track as a single track and using two outer most super-layers as a reference for the first step of the alignment, the positions at both sides of each layer in all three directions are aligned together. The global rotation of the forward end-plate with respected to the backward one (twist effect) is corrected using the dependence of the residual on the layer radius and the dip angle of cosmic tracks, four innermost super-layers serve as a reference for the twist alignment. The displacement of each wire due to the mechanical imperfection and the bush, glue effect in Φ direction is also corrected using the observed residual at the end-plates of each channel. The position resolution is significantly improved after alignment.

The performance of CDC after the calibration and the alignment is verified with cosmic-ray data taken under a 1.5 T magnetic field of Belle II solenoid. One single cosmic muon is fitted as two separate tracks at upper and lower sectors of CDC. The track parameter resolutions are obtained by comparing track parameters of these two tracks with an assumption that their resolutions are identical.

After the alignment, the negative shift of the impact parameter in x-y plane (d_0) disappears, the fluctuation of the impact parameter in the z direction (z_0) which causes by wire by wire displacements becomes close to zero. After the calibration, the momentum resolution is greatly improved as compared with the result of Belle CDC, this improvement is not only the result of the extending outer radius of CDC, but also the contribution better calibration and better alignment. The transverse momentum dependence of the momentum resolution is parameterized as $\sigma_{P_T}/P_T = (0.127 \pm 0.001)P_T \oplus (0.321 \pm 0.003)$ (%) after the alignment, the constant term is worse than the expected performance of CDC due to the presence of a large amount of material of the B-field mapper inside CDC during the data taking which causes the multiple

scattering effect.

Studying the LFV in the decay $\tau \rightarrow \mu^- \mu^+ \mu^-$ is performed using 1 ab^{-1} Monte-Carlo data which is equivalent to the 10-year accumulated data of the Belle experiment. Four good charged track events in which one τ decay into three muons (signal) and another is one prog decay of generic τ (tag) are selected. At least one particle at the signal side is required to be identified as muon. The background suppression is done separately for different decay modes in the tag side. The efficiency of the analysis is 11.04%, which is 1.5 times improvement as compared with the result of Belle analysis (7.6%). The upper limit for the branching fraction of the decay is set at $\text{Br}(\tau \rightarrow \mu \mu \mu) < 1.1 \times 10^{-8}$ at the 90% confident level for 1 ab^{-1} data.

博士論文審査結果

Name in Full
氏名 Dong Van Thanh

論文題目 Study of lepton flavor violation with a high-resolution tracking device for Belle II experiment

KEK の SuperKEKB 加速器を用いた Belle II 実験は、B 中間子やチャームハドロン・タウレプトンの崩壊などを通じて新物理の探索を行う世界唯一の電子陽電子衝突型加速器実験である。検出器としては 2010 年まで運転が行われた Belle 検出器をほぼ完全に作り変えることになった。2018 年 7 月に Phase 2 運転が成功裡に終了し、崩壊点検出器を除く全検出器の動作が確認された。現時点では全検出器による物理実験となる Phase 3 運転に向けて準備中である。

Thanh 氏は、Belle II 実験の中心的検出器である中央飛跡検出器 (CDC) グループのエキスパートの一人として複雑なキャリブレーションとアラインメントの手順の各ステップを丁寧に行い、前身の Belle の CDC に比べて新たな手法を導入するなどを行った結果、宇宙線ミュオンを使った運動量やトラックパラメータの測定精度向上につなげることに成功した。Belle II 実験の CDC は、粒子識別検出器の薄型化により、より大きな体積を占めることができるようになったという利点を除けば、Belle と同様のヘリウム・エタン混合ガスを用いるなど検出器本体に本質的な変更はない。ただし SuperKEKB でのルミノシティ向上に伴うトリガレートの増加および大幅に増加するバックグラウンドヒットに対応するために読出回路およびトラック再構成ソフトウェアは大幅に強化されている。

Belle II の CDC はビームエリア外で検出器に設置されたあと、まずはソレノイド磁場のかかっていない状態での宇宙線ミュオンデータの収集を行い、引き続き 2017 年夏に他の準備の出来ていた検出器とともに 1.5T のソレノイド磁場中で長期間の宇宙線ミュオンデータの収集を行った。キャリブレーションは、基準時間 t_0 の決定、ドリフト時間から距離へ換算 ($x(t)$ カーブの決定)、タイムウォーク効果の補正、信号伝播時間の補正などを得られた位置分解能を見ながら詰めてゆく繰り返し作業になる。また、3 次元空間での検出器全体のずれやひねり、レイヤごとのアラインメントおよびワイヤ単位でのアラインメントを行った。この結果、分解能の運動量に比例する成分として Belle と比較して 40% もの向上を得られた。最終的には検出器の体積が大きくなった効果を差し引いても運動量分解能で明らかに大きく向上を引き出すことができている。

この運動量分解能向上をふまえて Belle II のシミュレーションソフトウェアを用いて Belle II 実験の重要な探索項目のひとつであるタウレプトンのフレーバーを破る崩壊モードのひとつである $\tau \rightarrow \mu \mu \mu$ へ応用した場合の感度の評価を行い、実際に Belle での結果を外挿した場合よりも感度が大きく向上していることを示した。解析を行った τ の崩壊モードはひとつだけであるが、実際には反対側のタグに使用する崩壊モードは主要なものについてすべてカバーしており、このモードに限れば可能なことはすべて行っている。

CDC キャリブレーションの途中結果を Thanh 氏は 2017 年の国際会議 IEEE Nuclear Science Symposium で発表しており、また、最終結果を Thanh 氏を筆頭著者とした Belle II CDC グループとして学術誌 (Nucl. Instrum. Meth. A) に現在投稿中である。検出器の基本性能を引き出すプロセスは学術的情報として非常に有用である。また、Belle II グループ内では博士論文テーマ以外でも CDC の運転や CDC へのビームバックグラウンドのシミュレーションなどで活躍している。

以上より、Thanh 氏は研究者としての素質も十分であり、博士論文のテーマである研究も学位論文としてふさわしいものであると認め、合格とした。

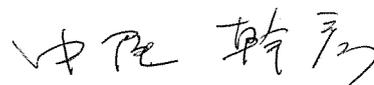
(Form 5)

Title Change Form

Date 2018/7/30

To the Dean of the School of High Energy Accelerator Science

Chief Referee



(Seal or Signature)

Applicant

Dong Van Thanh

This is to notify that my doctoral thesis title is changed as below, in accordance with the instruction from the Thesis Screening Committee.

[Before]

Study of lepton flavor violation with a high-resolution tracking device in Belle II experiment

[After]

Study of lepton flavor violation with a high-resolution tracking device for Belle II experiment

※There is no change in Japanese translation

Belle II 実験における高性能飛跡検出器を用いたレプトンフレーバー非保存崩壊の研究

Note: This sheet must be Japanese Industrial Standard (JIS) A4 vertical.