

## THÔNG TIN VỀ LUẬN ÁN TIẾN SĨ

1. Họ và tên nghiên cứu sinh: Đinh Quang Sáng
2. Giới tính: Nam
3. Ngày sinh: 02/04/1990
4. Nơi sinh: Quy Nhơn, Bình Định
5. Quyết định công nhận nghiên cứu sinh: Số 3613/QĐ-ĐHKHTN ngày 30/11/2020 của Hiệu trưởng Trường Đại học Khoa học tự nhiên, ĐHQGHN.
6. Các thay đổi trong quá trình đào tạo: Quyết định gia hạn số 4828/QĐ-ĐHKHTN ngày 31/12/2024 của Hiệu trưởng Trường Đại học Khoa học tự nhiên, ĐHQGHN.
7. Tên đề tài luận án: Mô hình chuẩn mở rộng với các hạt vectorlike và nhóm  $U(1)_X$
8. Chuyên ngành: Vật lý lý thuyết và Vật lý toán
9. Mã số: 9440130.01
10. Cán bộ hướng dẫn khoa học: Hướng dẫn 1: PGS. TS. Trần Minh Hiếu  
Hướng dẫn 2: PGS. TS. Phạm Thúc Tuyên
11. Tóm tắt các kết quả mới của luận án:

- Luận án đã tính toán chi tiết các số hạng khối lượng và tương tác mới trong mô hình BDW, một mô hình mở rộng của mô hình chuẩn bằng cách tăng thêm các hạt vectorlike và nhóm  $U(1)_X$ .

- Luận án đã mở rộng mô hình BDW bằng cách xét trường hợp số hạng trộn động năng khác không, và vận dụng nó để khảo sát bài toán muon  $g - 2$  cùng các phân rã semileptonic của B meson, có đối chiếu hai trường hợp có và không có số hạng trộn động năng. Biểu thức giải tích cho các đóng góp của vật lý mới đối với moment từ dị thường của muon và các hệ số Wilson  $C_9^{(\prime)}$ ,  $C_{10}^{(\prime)}$  đã được tính toán chi tiết. Từ các ràng buộc thực nghiệm tương ứng, vùng cho phép trong không gian tham số của mô hình đã được xác định.

- Luận án cũng nghiên cứu về tính unitary của ma trận CKM và phân rã  $b \rightarrow sy$  trong khuôn khổ mô hình BDW. Kết hợp với các dữ liệu cập nhật về muon  $g - 2$ , các phân rã semileptonic của B meson, khối lượng quark, chúng tôi thu được vùng tham số cho phép của mô hình một cách đầy đủ hơn trước.

12. Khả năng ứng dụng thực tiễn:

- Mô hình BDW giúp giải thích được các sai lệch giữa các tính toán lý thuyết và kết quả đo đạc thực nghiệm mà mô hình chuẩn không thể lý giải được.

- Việc mở rộng mô hình BDW bằng cách xét trường hợp số hạng trộn động năng khác không, cũng như việc thu hẹp không gian tham số của mô hình từ các ràng buộc thực nghiệm giúp cho mô hình trở nên chính xác hơn, có thể đưa ra nhiều tiên đoán lý thuyết phù hợp với thực nghiệm hơn.

13. Các hướng nghiên cứu tiếp theo: Trong thời gian tới, chúng tôi dự định sẽ đánh giá ảnh hưởng của hiệu ứng trộn động năng đối với không gian tham số khi kết hợp thêm điều kiện ràng buộc ứng với chuyển tiếp  $b \rightarrow s\gamma$ . Ngoài ra, mô hình BDW còn có thể được mở rộng bằng cách thêm cơ chế seesaw để sinh khối lượng cho neutrino, hoặc siêu đối xứng hóa để giải quyết vấn đề phân bậc gauge.

14. Các công trình công bố liên quan đến luận án:

[1] Tran Minh Hieu, **Dinh Quang Sang** and Trieu Quynh Trang (2020), "On the standard model extension with vector-like fermions and Abelian symmetry", *Communications in Physics* Vol. 30 (3), pp. 231-244.

[2] **Sang Quang Dinh**, Hieu Minh Tran (2021), "Muon  $g-2$  and semileptonic B decays in BDW model with gauge kinetic mixing", *Physical Review D* Vol. 104 (11), 115009.

[3] **Sang Quang Dinh**, Hieu Minh Tran (2023), "A model with vectorlike fermions and  $U(1)_X$  symmetry: CKM unitarity,  $b \rightarrow s$  transitions, and prospect at Belle II", *Nuclear Physics B* Vol. 997, 116384.

[4] Tran Minh Hieu, **Dinh Quang Sang** (2024), "Scalar sector interactions in BDW model", *VNU Journal of Science: Mathematics – Physics* Vol. 40 (1), pp. 105-112.

Hà Nội, ngày 30 tháng 05 năm 2025

**TM. Tập thể hướng dẫn**

**Nghiên cứu sinh**

**PGS. TS. Trần Minh Hiếu**

**Dinh Quang Sáng**

## INFORMATION ON DOCTORAL THESIS

1. Full name: Dinh Quang Sang
2. Sex: Male
3. Date of birth: 02/04/1990
4. Place of birth: Quy Nhon, Binh Dinh
5. Admission decision number: No. 3613/QĐ-ĐHKHTN dated 30/11/2020, by Rector of VNU University of Science.
6. Changes in academic process: No. 4828/QĐ-ĐHKHTN dated 31/12/2024, by Rector of VNU University of Science.
7. Official thesis title: Extended Standard Model with vectorlike particles and  $U(1)_X$  group
8. Major: Theoretical Physics
9. Code: 9440130.01
10. Supervisors: Supervisor 1: Assoc. Prof. Tran Minh Hieu  
Supervisor 2: Assoc. Prof. Pham Thuc Tuyen

### 11. Summary of the new findings of the thesis

- The thesis has described in detail interaction terms in the BDW model, an extension of the Standard Model with extra vectorlike particles and an additional  $U(1)_X$  symmetry. The model's Lagrangian and important terms involving the new physics sector have been analytically calculated.
- The thesis has generalized the BDW model by considering the non-vanishing kinetic-mixing effect, then using it to examine the muon  $g - 2$  problem and B meson semileptonic decays. Analytical expressions of the new physics contributions to the muon anomalous magnetic moment and the Wilson coefficient  $C_9^{(\prime)}$ ,  $C_{10}^{(\prime)}$  have been obtained. From relevant experimental constraints, the viable parameter region has been identified.
- The thesis has also analyzed the  $b \rightarrow sy$  decay and CKM unitarity violation in the scope of the BDW model. Taking into account the recent data on the muon  $g - 2$ , semileptonic decays of B meson, quark masses, we obtained the allowed parameter region of the model in a more comprehensive way.

### 12. Practical applicability, if any:

- The BDW model is capable of explaining some deviations between theoretical predictions and experimental measurements, which the standard model is not.
- By generalizing the BDW model through taking into account the non-vanishing kinetic-mixing term and by reducing the parameter space, the model has become more precise and can produce more accurate predictions that go well with experimental data.

13. Further research directions, if any:

Our research goal in the near future is to investigate the impact of the kinetic-mixing effect on the parameter space of the BDW model when considering additional constraints on the B meson radiative decay. Furthermore, this model can be extended by adding the seesaw mechanism to generate masses for neutrinos, or by integrating supersymmetry to solve the gauge hierarchy problem.

14. Thesis-related publications:

[1] Tran Minh Hieu, **Dinh Quang Sang** and Trieu Quynh Trang (2020), "On the standard model extension with vector-like fermions and Abelian symmetry", *Communications in Physics* Vol. 30 (3), pp. 231-244.

[2] **Sang Quang Dinh**, Hieu Minh Tran (2021), "Muon  $g-2$  and semileptonic B decays in BDW model with gauge kinetic mixing", *Physical Review D* Vol. 104 (11), 115009.

[3] **Sang Quang Dinh**, Hieu Minh Tran (2023), "A model with vectorlike fermions and  $U(1)_X$  symmetry: CKM unitarity,  $b \rightarrow s$  transitions, and prospect at Belle II", *Nuclear Physics B* Vol. 997, 116384.

[4] Tran Minh Hieu, **Dinh Quang Sang** (2024), "Scalar sector interactions in BDW model", *VNU Journal of Science: Mathematics – Physics* Vol. 40 (1), pp. 105-112.

Hanoi, date: 30/05/2025

**On behalf of the academic supervisory team**

**PhD Student**

**Assoc. Prof. Dr. Tran Minh Hieu**

**Dinh Quang Sang**