

THÔNG TIN VỀ LUẬN ÁN TIẾN SĨ

- Họ và tên nghiên cứu sinh: Trương Minh Anh
- Giới tính: Nữ
- Ngày sinh: 16/11/1989
- Nơi sinh: Lạng Sơn
- Quyết định công nhận nghiên cứu sinh: 2251/QĐ –ĐHKHTN ngày 19/7/2019
- Các thay đổi trong quá trình đào tạo (nếu có):
Văn bản gia hạn số 151/QĐ–ĐHKHTN ngày 17/1/2023 của Trường ĐHKHTN,
Văn bản gia hạn số 1073/QĐ–ĐHKHTN ngày 16/4/2024 của Trường ĐHKHTN,
Văn bản gia hạn số 4828/QĐ–ĐHKHTN ngày 31/12/2024 của Trường ĐHKHTN,
Văn bản tạm ngừng học số 5326/ QĐ–ĐHKHTN ngày 31/12/2024 của Trường ĐHKHTN.
- Tên đề tài luận án: Hiệu ứng của radion và u-hạt lên độ hao hụt năng lượng và tiết diện tán xạ của các quá trình vật lý trong các mô hình chuẩn mở rộng.
- Chuyên ngành: Vật lý lí thuyết và vật lí toán
- Mã số: 9440130.01
- Cán bộ hướng dẫn khoa học: GS.TS. Hà Huy Bằng, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên
- Tóm tắt các kết quả mới của luận án:

Mục đích của luận án này là khảo sát tác động của các hạt mới xuất hiện trong các mô hình chuẩn mở rộng đối với một số quá trình tán xạ kinh điển trong vật lý hạt cơ bản. Nghiên cứu hướng tới việc chỉ ra khả năng phát hiện, tìm kiếm các hạt mới thông qua những tín hiệu đặc trưng trong các quá trình tán xạ, từ đó góp phần đánh giá độ chính xác của các mô hình chuẩn mở rộng.

Đối tượng chính của luận án là các loại hạt được dự đoán bởi các mô hình chuẩn mở rộng, bao gồm: hạt radion, hạt tạt axion, u-hạt, các hạt vật chất tối dạng fermion.

Trong luận án này, chúng tôi sử dụng: Các phương pháp của lý thuyết trường lượng tử: nổi bật là kỹ thuật giản đồ Feynman. Phương pháp này cho phép xây dựng biên độ tán xạ thông qua các sơ đồ trực quan, sau đó bình phương biên độ để tính tiết diện tán xạ. Ngoài ra kỹ thuật giản đồ Feynman còn giúp ta tính được độ hao hụt năng lượng ϵ . Đây là một công cụ chính xác và hiệu quả để liên kết các mô tả lý thuyết với đại lượng thực. Chúng tôi đồng thời sử dụng phần mềm Matlab để vẽ đồ thị, xử lý số và phân tích số liệu bằng đồ thị.

Các kết quả của luận án có thể được tóm tắt lại như sau:

- Đã xây dựng một cách có hệ thống và chi tiết công thức tính độ hao hụt năng lượng cho các quá trình tương tác giữa các hạt, đóng góp một khung lý thuyết tổng quát hơn so với các nghiên cứu trước đây.

- Đã tiên phong đánh giá định lượng (Đánh giá số) đóng góp của hạt radion trong ba quá trình tán xạ diễn ra trong môi trường sao siêu mới SN1987A, bao gồm đánh giá định lượng tiết diện tán xạ toàn phần của các quá trình khi có sự đóng góp của hạt radion. Đồng thời thiết lập mối liên hệ trực tiếp giữa các tham số mô hình radion và các quan sát thiên văn, qua đó đưa ra giới hạn thực nghiệm mới cho kỳ vọng chân không $\langle\phi\rangle$. Với giá trị tiết diện tán xạ toàn phần thu được cỡ femtobarn đến picobarn là phù hợp với Máy dò CMS (Compact Muon Solenoid) tại máy gia tốc LHC của CERN. Quá trình $\gamma_p\gamma_p \rightarrow \gamma_p\gamma_p$ cho kết quả tiết diện tán xạ của quá trình cỡ 2.27×10^{-17} barn – 5.91×10^{-12} barn; và ở quá trình $e^+e^- \rightarrow \chi\bar{\chi}$, tiết diện tán xạ thông qua trao đổi radion thu được trong khoảng 2.75×10^{-26} barn đến 4.40×10^{-21} barn, lớn hơn trao đổi photon từ 5 đến 10 bậc độ lớn. Điều này cho thấy mức độ ảnh hưởng của radion vào quá trình tương tác là rất lớn. Đồng thời, kết quả cho thấy giới hạn dưới của $\langle\phi\rangle$ giảm khi m_ϕ tăng và chỉ ra rằng với điều kiện $\epsilon \leq 7.288 \times 10^{-27}$ và m_ϕ thay đổi từ 10 GeV đến 200 GeV, giới hạn dưới cho $\langle\phi\rangle$ giảm từ 9.18 GeV xuống 2.13 GeV. Thêm vào đó, xét quá trình $e^+e^- \rightarrow \gamma_p\gamma_p$ có hiệu ứng của hạt radion cho kết quả khi $m_\phi = 0.5$ GeV thì ngưỡng dưới của $\langle\phi\rangle$ đạt 926.69 GeV. Việc xác định ngưỡng giới hạn dưới cho giá trị kỳ vọng chân không của radion dựa trên ràng

buộc chặt chẽ bởi điều kiện Raffelt và qua đó cung cấp cơ sở cho phép dự đoán cũng như tìm kiếm hạt radion trong các thí nghiệm hiện tại và tương lai.

- Đã đề xuất và triển khai tính toán chi tiết đóng góp của u-hạt trong hai quá trình quan trọng là $e^+e^- \rightarrow \gamma_p\gamma_p$ và $a\gamma \rightarrow \chi\bar{\chi}$, xác định được giới hạn thang năng lượng Λ_U ở mức chi tiết hơn so với các kết quả đã công bố, góp phần làm sáng tỏ vai trò của u-hạt trong các tương tác năng lượng siêu cao. Xét tại $d_U = 1.6$ và $\Lambda_U = 1\text{TeV}$, kết quả tiết diện tán xạ của quá trình $a\gamma \rightarrow \chi\bar{\chi}$ trong khoảng 8.34×10^{-15} barn - 5.12×10^{-14} barn và tăng từ 26 đến 28 bậc độ lớn khi so sánh với quá trình trao đổi photon, cho thấy sự hiện diện của u-hạt làm thay đổi đáng kể tiết diện tán xạ của quá trình. Áp dụng tiêu chuẩn Raffelt cho độ hao hụt năng lượng của quá trình $e^+e^- \rightarrow \gamma_p\gamma_p$, luận án thu được các giới hạn dưới cho thang năng lượng Λ_U là từ 0.101 TeV đến 32.849 TeV với các giá trị d_U tương ứng và tiết diện tán xạ toàn phần nằm trong khoảng 10^{-20} barn đến 10^{-3} barn. Các điều kiện áp đặt được suy ra trong luận án có thể là quan trọng để kiểm chứng và phân biệt các mô hình chuẩn mở rộng thông qua các hiệu ứng của radion và u-hạt trong một số quá trình tán xạ năng lượng cao hay siêu cao như ở vụ nổ lớn SN1987A.

Như vậy, luận án đã nghiên cứu các mô hình Mô hình chuẩn mở rộng có chứa các hạt mới, cụ thể là radion của mô hình Randall–Sundrum, vật chất tối fermion, u-hạt và hạt tựa axion đóng vai trò trung tâm trong các quá trình tương tác. Trên cơ sở đề cập một cách có hệ thống đến cách xây dựng các mô hình này và dẫn ra các công thức tính toán cần thiết, đặc biệt là công thức tính độ hao hụt năng lượng, luận án đã thu được các biểu thức cho các tiết diện tán xạ và độ hao hụt năng lượng từ các quá trình tán xạ thông qua trao đổi radion hay u-hạt. Hơn nữa, từ các tính toán số và vẽ đồ thị, luận án đã suy ra các giới hạn (constraint) quan trọng cho các tham số cơ bản của các mô hình chuẩn mở rộng như kỳ vọng chân không của trường radion $\langle\Phi\rangle$, ngưỡng năng lượng Λ_U của u-hạt...trong môi trường sao siêu mới cũng như trong va chạm năng lượng cao. Các kết quả của luận án có thể là hữu ích cho việc tìm kiếm các hạt mới có trong các mô hình chuẩn mở rộng và cũng có thể là tiền đề cho việc nghiên cứu các quá trình mới trong tương lai.

12. Các hướng nghiên cứu tiếp theo: Tính giới hạn không gian tham số cho các hạt mới.
13. Các công trình công bố liên quan đến luận án.

- [1]. Truong Minh Anh, Ha Huy Bang, Pham Thi Diem, "Radion Effects on Dark Matter Fermions Production in e^+e^- Collisions", *VNU Journal of Science: Mathematics - Physics*, Vol. 41, No. 2, 2025.
- [2]. Truong Minh Anh, Ha Huy Bang, "The role of radion in SN 1987A cooling", *Indian Journal of Physics*, Vol. 100, Issue 2, 2026.
- [3]. Ha Huy Bang, Truong Minh Anh, "Unparticle effects on Dark Matter production from photon and axion-like", *Communications in Physics*, Vol. 36, Issue 1, 2026.
- [4]. Ha Huy Bang, Truong Minh Anh, "Unparticle effects on plasmon production from electron-positron annihilation in SN 1987A", *VNU Journal of Science: Mathematics - Physics*, Vol. 42, No. 1, 2026.
- [5]. Ha Huy Bang, Truong Minh Anh, "Searching radion signatures through plasmon production SN 1987A cooling", đã được nhận đăng ở *Hanoi Metropolitan University, Natural Science and Technology*.

Hà Nội, ngày 16 tháng 01 năm 2026

TM. Tập thể hướng dẫn

(Ký và ghi rõ họ tên)

Nghiên cứu sinh

(Ký và ghi rõ họ tên)

INFORMATION ON DOCTORAL THESIS

1. Full name: Truong Minh Anh
2. Sex: Female
3. Date of birth: 16/11/1989
4. Place of birth: Lang Son
5. Admission decision number: 2251/QĐ –ĐHKHTN dated 19/7/2019 by HUS-VNU
6. Changes in academic process:
Extension Decision No. 151/QĐ–ĐHKHTN dated 17/1/2023 by HUS-VNU,
Extension Decision No. 1073/QĐ–ĐHKHTN dated 16/4/2024 by HUS-VNU,
Extension Decision No. 4828/QĐ–ĐHKHTN dated 31/12/2024 by HUS-VNU,
Decision No. 5326/QĐ–ĐHKHTN dated 31/12/2024 by HUS-VNU on the temporary suspension of study.
7. Official thesis title: Effects of the radion and unparticle on energy losses and cross sections in Beyond Standard Models.
8. Major: Theoretical Physics and Mathematical Physics
9. Code: 9440130.01
10. Supervisors: Prof. Ha Huy Bang
11. Summary of the new findings of the thesis:

The objective of this dissertation is to investigate the impact of novel particles arising from Beyond the Standard Model (BSM) frameworks on several classical scattering processes in elementary particle physics. This study aims to demonstrate the potential for detecting such particles through characteristic signatures in scattering observables, thereby contributing to precision tests of BSM scenarios.

In this work, quantum field theory methods are employed, most notably the Feynman diagram technique. This approach enables the construction of scattering amplitudes via intuitive diagrammatic representations, which are then squared to obtain scattering cross-sections and energy loss rates. It provides a precise and efficient framework for connecting theoretical predictions with observable physical

quantities. Numerical computations and graphical visualizations are performed using MATLAB, with data analysis supported by graphical methods.

The key findings of the dissertation are summarized as follows:

The role of the radion is investigated in three scattering processes within the SN1987A supernova environment. Quantitative evaluations of total scattering cross-sections including radion contributions are performed. The resulting cross-sections, ranging from femtobarns to picobarns, fall within the sensitivity reach of the CMS (Compact Muon Solenoid) detector at CERN's LHC. Specifically, for $\gamma_p \gamma_p \rightarrow \gamma_p \gamma_p$ process, the cross-section reaches approximately $2.27 \times 10^{-17} \text{ barn} - 5.91 \times 10^{-12} \text{ barn}$; in the $e^+ e^- \rightarrow \chi \bar{\chi}$ process, the cross-section via radion exchange ranges from $8.34 \times 10^{-15} \text{ barn}$ to $5.12 \times 10^{-14} \text{ barn}$, which is 5 to 10 orders of magnitude larger than that of photon exchange. This highlights the significant impact of radion contributions on interaction processes.

Furthermore, the results show that the lower bound of the radion vacuum expectation value VEV $\langle \phi \rangle$ decreases as m_ϕ increases. Under the conditions where $\dot{\epsilon} \leq 7.288 \times 10^{-27}$ and m_ϕ vary from 10 GeV to 200 GeV, the lower bound for $\langle \phi \rangle$ decreases from 9.18 GeV to 2.13 GeV. In particular, for the process including radion effects at $m_\phi = 0.5 \text{ GeV}$, the lower bound of the VEV $\langle \phi \rangle$ reaches 926.69 GeV. These bounds, derived under the stringent Raffelt criterion, provide a basis for predicting and constraining radion properties in both astrophysical and collider environments.

The contribution of unparticles is also analyzed in detail for two key processes: $e^+ e^- \rightarrow \gamma_p \gamma_p$ và $a\gamma \rightarrow \chi \bar{\chi}$. At $d_U = 1.6$ and $\Lambda_U = 1 \text{ TeV}$, the scattering cross-section lies between $8.34 \times 10^{-15} \text{ barn}$ and 5.12×10^{-14} , representing an increase of 26 to 28 orders of magnitude compared to photon exchange processes. This demonstrates that unparticles significantly alter the scattering cross-section. By applying the Raffelt criterion to the energy loss rate, lower bounds for the energy scale Λ_U are derived, ranging from 0.101 TeV to 32.849 TeV for corresponding d_U

values, with total cross-sections spanning 10^{-20} to 10^{-3} barn. These constraints are essential for distinguishing BSM scenarios through radion and unparticle effects in high- and ultra-high-energy environments such as SN1987A.

This dissertation investigates BSM models involving radion, fermionic dark matter, unparticles, and axion-like particles, focusing on their effects on scattering processes. Analytical expressions for scattering cross-sections and energy loss rates are derived, particularly for radion and unparticle exchange.

Numerical analysis constrains key parameters such as the radion vacuum expectation value and unparticle energy scale. These results support experimental searches for new physics and future studies of particle interactions.

12. Further research directions: Derives constraints on the parameter space of new particles

13. Thesis-related publications:

[1]. Truong Minh Anh, Ha Huy Bang, Pham Thi Diem, "Radion Effects on Dark Matter Fermions Production in e^+e^- Collisions", *VNU Journal of Science: Mathematics - Physics*, Vol. 41, No. 2, 2025.

[2]. Truong Minh Anh, Ha Huy Bang, "The role of radion in SN 1987A cooling", *Indian Journal of Physics*, Vol. 100, Issue 2, 2026.

[3]. Ha Huy Bang, Truong Minh Anh, "Unparticle effects on Dark Matter production from photon and axion-like", *Communications in Physics*, Vol. 36, Issue 1, 2026.

[4]. Ha Huy Bang, Truong Minh Anh, "Unparticle effects on plasmon production from electron-positron annihilation in SN 1987A", *VNU Journal of Science: Mathematics - Physics*, Vol. 42, No. 1, 2026.

[5]. Ha Huy Bang, Truong Minh Anh, "Searching radion signatures through plasmon production SN 1987A cooling", accepted for publication in *The journal of Natural Science and Technology, Hanoi Metropolitan University*.

Date: 16/ 01/ 2026

On behalf of academic supervisors

PhD. Student