

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VN

VIỆN VẬT LÝ

TRẦN ĐÌNH THÁM

VẬT CHẤT TỐI TRONG MỘT SỐ MÔ HÌNH 3-3-1
MỞ RỘNG

Chuyên ngành: Vật lý lý thuyết và Vật lý toán

Mã số: 62 44 01 03

LUẬN ÁN TIẾN SĨ VẬT LÝ

Người hướng dẫn khoa học
GS. TS. Đặng Văn Soa

Hà Nội - 2014

Lời cảm ơn

Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn đến GS. TS. Đặng Văn Soa đã hướng dẫn tôi học tập, nghiên cứu trong suốt thời gian làm nghiên cứu sinh và giúp tôi hoàn thành luận án này. Xin cảm ơn GS. TS. Hoàng Ngọc Long, TS. Phùng Văn Đồng, TS. Đỗ Thị Hương, TS. Lê Thọ Huệ, ThS. Cao Hoàng Nam - Viện Vật lý và TS. Nguyễn Huy Thảo, TS. Hà Thanh Hùng - Trường Đại học Sư phạm Hà Nội 2 đã giúp đỡ và có nhiều đóng góp đối với kết quả của luận án.

Tôi xin cảm ơn Trường Đại học Phạm Văn Đồng nơi tôi đang công tác đã có những hỗ trợ và động viên cần thiết trong thời gian tôi làm nghiên cứu sinh. Xin cảm ơn Viện Vật lý là cơ sở đào tạo đã tạo điều kiện thuận lợi và giúp đỡ tôi trong quá trình làm nghiên cứu sinh và bảo vệ luận án.

Cuối cùng, tôi xin dành sự biết ơn sâu sắc tới gia đình đã động viên, ủng hộ và hỗ trợ vô điều kiện về mọi mặt để tôi có thể yên tâm nghiên cứu và bảo vệ thành công luận án này.

Lời cam đoan

Luận án này là kết quả mà bản thân tôi đã thực hiện trong thời gian làm nghiên cứu sinh tại Viện Vật lý. Cụ thể, chương một là phần tổng quan giới thiệu những vấn đề cơ sở có liên quan đến nội dung của luận án. Trong chương hai tôi đã sử dụng kết quả nghiên cứu mà tôi đã thực hiện cùng với thầy hướng dẫn GS. TS. Đặng Văn Soa và GS. TS. Hoàng Ngọc Long. Chương ba tôi sử dụng các kết quả nghiên cứu cùng với TS. Phùng Văn Đồng - Viện Vật lý và đồng nghiệp là TS. Hà Thanh Hùng - Trường Đại học Sư phạm Hà Nội 2. Chương bốn là biện luận ý nghĩa vật lý dựa trên các kết quả đã nghiên cứu.

Cuối cùng tôi xin cam đoan và khẳng định rằng, đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các kết quả có trong luận án "Vật chất tối trong một số mô hình 3-3-1 mở rộng" là kết quả mới, không trùng lặp với bất kỳ luận án hay công trình nào đã công bố.

Hà Nội, ngày 30 tháng 4 năm 2014
Tác giả luận án

Trần Đình Thám

Mục lục

Lời cảm ơn	ii
Lời cam đoan	iii
Các ký hiệu chung	vi
Danh sách bảng	vii
Danh sách hình vẽ	viii
Mở đầu	1
1 Vật chất tối và sự mở rộng của mô hình chuẩn	5
2 Axion trong mô hình 3-3-1 và thực nghiệm tìm kiếm	15
2.1 Axion trong mô hình Peccei-Quinn	15
2.1.1 Vấn đề strong-CP	16
2.1.2 Đối xứng Peccei-Quinn, bảo toàn CP và sự xuất hiện axion	27
2.2 Axion trong mô hình 3-3-1 với neutrino phân cực phải .	32
2.2.1 Tổng quan về mô hình	32
2.2.2 Đối xứng Peccei-Quinn và axion	35
2.2.3 Quá trình rã của axion thành hai photon	37
2.3 Tiết diện tán xạ của quá trình chuyển hóa photon-axion trong trường điện từ ngoài	38
2.3.1 Yếu tố ma trận	38
2.3.2 Sự chuyển hóa trong điện trường tĩnh	40
2.3.3 Sự chuyển hóa trong từ trường tĩnh	42
2.3.4 Sự chuyển hóa trong ống dẫn sóng	45
2.4 Tóm tắt kết quả	47

3	Vật chất tối trong mô hình 3-3-1-1 và thực nghiệm tìm kiếm	50
3.1	Mô hình 3-3-1-1	50
3.1.1	Fermion trung hòa và các hạt lepton sai	50
3.1.2	Đối xứng chuẩn 3-3-1-1 và W -parity	55
3.1.3	Thế vô hướng và khối lượng	59
3.2	Vật chất tối và thực nghiệm tìm kiếm	66
3.2.1	Mật độ tàn dư của boson chuẩn X^0	67
3.2.2	Mật độ tàn dư của fermion trung hòa N_R	68
3.2.3	Thực nghiệm tìm kiếm vật chất tối N_R	70
3.3	Tóm tắt kết quả	72
4	Kết luận	74
4.1	Các kết quả chính của luận án	74
4.2	Các hướng nghiên cứu tiếp theo	75
	Danh sách các công bố của tác giả	79
	Tài liệu tham khảo	80
	Phụ lục	89
A	Tìm yếu tố ma trận	90
B	Kiểm tra các dị thường $U(1)_N$	92
C	Nguồn gốc của W-parity	95

Các ký hiệu chung

Trong luận án này tôi sử dụng các kí hiệu sau:

Tên	Viết tắt
Vật chất tối (Dark Matter)	DM
Mô hình chuẩn (Standard Model)	SM
Liên hợp điện tích-Chẵn lẻ (Charge conjugation-Parity)	CP
CP trong tương tác mạnh	Strong-CP
Máy gia tốc hadron lớn (Large Hadron Collider)	LHC
Trung tâm nghiên cứu hạt nhân Châu Âu (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire)	CERN
Sắc động lực học lượng tử (Quantum Chromodynamics)	QCD
Chẵn lẻ W hay chẵn lẻ lepton	W -parity
Mô hình chuẩn siêu đối xứng tối thiểu (Minimal Supersymmetric Standard Model)	MSSM

Danh sách bảng

2.1	Sự phụ thuộc của bề rộng rã Γ và thời gian sống τ của axion theo khối lượng của nó.	38
3.1	Tích \mathcal{L} của các đa tuyến trong mô hình.	52
3.2	Số lepton của các hạt trong mô hình.	53
3.3	Tích \mathcal{B} của các đa tuyến trong mô hình.	54
3.4	Các đa tuyến trong mô hình 3-3-1-1 với tích N tương ứng.	56
3.5	R -parity của các hạt trong mô hình 3-3-1-1 gồm hai loại là các hạt lepton sai và các hạt thông thường.	58

Danh sách hình vẽ

2.1	Tiết diện tán xạ toàn phần (cm^2) của quá trình chuyển hóa photon thành axion trong điện trường tĩnh ứng với xung lượng $q = 10^{-4} \div 10^{-3} eV$. Đồ thị trên vẽ với 300 điểm và đồ thị dưới vẽ với 3000 điểm.	43
2.2	Tiết diện tán xạ toàn phần (cm^2) của quá trình chuyển hóa photon thành axion trong từ trường tĩnh ứng với xung lượng $q = 10^{-4} \div 10^{-3} eV$. Đồ thị trên vẽ với 300 điểm và đồ thị dưới vẽ với 3000 điểm.	46
2.3	Tiết diện tán xạ toàn phần (cm^2) của quá trình chuyển hóa photon thành axion trong ống dẫn sóng với xung lượng $q = 10^{-5} \div 10^{-4} eV$	47
3.1	Các đóng góp chính cho quá trình hủy X^0 thành W^+W^-	67
3.2	Các đóng góp chính cho quá trình hủy của N_R	68

Mở đầu

Lý do chọn đề tài

Trong nhiều thập kỷ qua, việc tìm kiếm các hạt mới trong vật lý hạt cơ bản đã và đang thu hút rất nhiều nhà vật lý, nhằm tìm hiểu và giải thích cấu trúc cũng như bản chất của Vũ trụ. Những thành công về công nghệ quan sát của thế kỷ 21 đã đem lại cho chúng ta những hiểu biết sâu hơn, nhưng thực chất vẫn chỉ là một phần rất nhỏ để hiểu bản chất của Vũ trụ. Theo thực nghiệm quan sát hiện nay, Vũ trụ hiện tại chứa 68.3% năng lượng tối, 26.8% vật chất tối (Dark Matter - DM), chỉ có 4.9% là vật chất thông thường (vật chất mà chúng ta quan sát được) [1]. Trên thực tế có hai quan niệm về DM. Dạng thứ nhất là DM được tạo ra từ các hạt vật chất thông thường, chúng ta gọi chúng là vật chất tối dạng baryonic (baryonic DM). Đối tượng chủ yếu của DM dạng này là các ngôi sao không phát ra bức xạ và trôi trong không gian Vũ trụ. Các ngôi sao này không có sự liên hệ với hệ thống các sao trong Vũ trụ, chúng được gọi là MACHO (Massive astrophysical compact halo object). Các ứng cử viên cho dạng DM này là các ngôi sao neutron hay hố đen. Dạng thứ hai của DM là dạng vật chất không bắt nguồn từ các dạng vật chất thông thường, chúng được gọi là non-baryonic DM. Các ứng cử viên cho non-baryonic DM được cho là các hạt WIMPs (weakly interacting massive particles), là các hạt có khối lượng nhưng tương tác rất yếu với vật chất thông thường (các hạt chỉ có tương tác hấp dẫn mà không có các tương tác khác). Các nhà thiên văn học chủ yếu nghiên cứu các ứng cử viên của DM là baryonic DM, trong khi đó các nhà vật lý hạt cơ bản thì tìm kiếm DM là các hạt WIMPs. Trong luận án này, chúng tôi tập trung nghiên cứu DM dựa trên quan điểm của vật lý hạt cơ bản.

Trên quan điểm của vật lý hạt cơ bản, các hạt DM là các hạt trung hòa, không bị rã hoặc thời gian sống của chúng phải đủ lớn (tức là thời gian sống của DM phải lớn hơn tuổi của Vũ trụ). Hiện tại, các hạt

WIMPs chưa được tìm thấy trong các máy gia tốc và cũng chưa có bằng chứng nào cho ta xác định các thông tin về spin cũng như khối lượng của chúng. Chính vì vậy, nghiên cứu bản chất của DM và tìm kiếm chúng là một trong những vấn đề đã và đang được các nhà khoa học trên thế giới, kể cả các nhà vật lý lý thuyết và thực nghiệm quan tâm.

Mặt khác, mô hình lý thuyết mô tả các tương tác của các hạt cơ bản trong Vũ trụ được thực nghiệm ủng hộ nhất hiện nay là mô hình chuẩn (Standard Model - SM). Tuy nhiên, trong SM không tồn tại ứng cử viên thỏa mãn tính chất của DM. Do đó, chúng ta cần phải mở rộng SM để chúng xuất hiện các ứng cử viên của DM. Do tính chất về spin của DM là không xác định và phổ khối lượng của DM là rộng nên các ứng cử viên của DM là rất phong phú. Chúng có thể là hạt vô hướng, hạt véc tơ hay hạt fermion.

Chúng tôi muốn nhấn mạnh, khi mở rộng SM thì vùng không gian tham số xuất hiện trong mô hình sẽ rộng hơn. Tuy nhiên, dựa vào các số liệu thực nghiệm về mật độ và thời gian sống của DM, chúng tôi có thể giới hạn được vùng không gian tham số xuất hiện trong mô hình. Dựa vào vùng không gian tham số vừa tìm được và các tương tác của chúng, chúng tôi có thể dự đoán được về khả năng tìm kiếm DM một cách trực tiếp hoặc gián tiếp.

Vì vậy, tôi chọn đề tài "Vật chất tối trong một số mô hình 3 – 3 – 1 mở rộng" để nghiên cứu về bản chất và khả năng tìm kiếm DM. Mô hình mở rộng chúng tôi nghiên cứu là các mô hình $SU(3)_C \otimes SU(3)_L \otimes U(1)_X$ có thêm các đối xứng mới.

Mục đích nghiên cứu

- Khảo sát vai trò DM của axion trong mô hình 3-3-1 với neutrino phân cực phải. Nghiên cứu tương tác của axion với photon trong trường điện từ ngoài và trên cơ sở đó đưa ra phương án có lợi nhất để thu axion trong thực nghiệm.
- Xây dựng mô hình 3-3-1-1 và khảo sát vai trò DM của fermion trung hòa chứa trong mô hình.