

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
VIỆN NĂNG LƯỢNG NGUYÊN TỬ VIỆT NAM
-----oOo-----

NGUYỄN VĂN THỤ

NGHIÊN CỨU CHUYỂN PHA TRONG MÔ HÌNH SIGMA TUYẾN TÍNH

LUẬN ÁN TIẾN SĨ VẬT LÝ

Chuyên ngành: Vật lý lý thuyết và Vật lý toán

Mã số: 62.44.01.01

Hướng dẫn khoa học:
GS.TSKH TRẦN HỮU PHÁT
TS. NGUYỄN TUẤN ANH

Hà Nội - 2011

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các kết quả thu được bằng phương pháp nêu trong luận án là trung thực và chưa từng được công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Hà Nội, ngày 11 tháng 11 năm 2011

Tác giả luận án

Nguyễn Văn Thụ

LỜI CẢM ƠN

Lời đầu tiên tôi xin bày tỏ lòng kính trọng và biết ơn sâu sắc nhất tới GS. TSKH. Trần Hữu Phát - người thầy đã luôn tận tình hướng dẫn, giúp đỡ và tạo điều kiện thuận lợi nhất cho tôi trong suốt thời gian thực hiện luận án này.

Tôi xin chân thành cảm ơn TS. Nguyễn Tuấn Anh và TS. Nguyễn Văn Long đã nhiệt tình hướng dẫn tôi trong việc tính số bằng phần mềm Mathematica, đồng thời đã cho tôi nhiều ý kiến đóng góp quý báu trong suốt quá trình tôi thực hiện luận án.

Tôi xin chân thành cảm ơn Bộ Giáo dục và Đào tạo, Việt Năng lượng nguyên tử Việt Nam, Viện khoa học và kỹ thuật hạt nhân và Trường Đại học Sư phạm Hà Nội 2 đã tạo những điều kiện thuận lợi nhất để tôi có thể hoàn thành luận án.

Nhân dịp này tôi xin được bày tỏ tấm lòng biết ơn tới các thầy cô, bạn bè và những người thân đã động viên và giúp đỡ tôi trong những năm qua. Tôi cũng xin được cảm ơn sự quan tâm của anh chị em ở Trường Đại học Sư phạm Hà Nội 2, đặc biệt là Khoa Vật lý đã tạo điều kiện thuận lợi nhất cho tôi dành thời gian hoàn thành luận án.

Cuối cùng, tôi xin dành sự biết ơn của mình tới những người thân yêu nhất trong gia đình đã động viên, giúp đỡ và dõi theo từng bước đi của tôi trong nhiều năm qua.

Hà Nội, ngày 11 tháng 11 năm 2011

Tác giả luận án

Nguyễn Văn Thụ

Mục lục

	<i>Trang</i>
Trang bìa phụ	i
Lời cam đoan	i
Lời cảm ơn	ii
Mục lục	iii
Danh mục các chữ viết tắt	v
MỞ ĐẦU	1
Chương 1: CẤU TRÚC PHA TRONG MÔ HÌNH SIGMA TUYẾN TÍNH KHI KHÔNG CÓ SỰ THAM GIA CỦA QUARK	8
1.1. Mô hình sigma tuyến tính	8
1.2. Cấu trúc pha khi số hạng phá vỡ đối xứng có dạng chính tắc	9
1.2.1. Chuyển pha chiral khi thế hóa bằng không	9
1.2.2. Cấu trúc pha ở nhiệt độ và ICP hữu hạn	16
1.3. Cấu trúc pha khi số hạng phá vỡ đối xứng có dạng không chính tắc	33
1.3.1. Khi $\mu_I > m_\pi$	38
1.3.2. Khi $\mu_I < m_\pi$	42
1.4. Vai trò của cân bằng điện tích	44
1.4.1. Khi số hạng phá vỡ đối xứng có dạng chính tắc	45
1.4.2. Khi số hạng phá vỡ đối xứng có dạng không chính tắc	49
1.5. Nhận xét	50
Chương 2: CẤU TRÚC PHA TRONG MÔ HÌNH SIGMA TUYẾN TÍNH KHI CÓ SỰ THAM GIA CỦA QUARK	54
2.1. Thế hiệu dụng trong gần đúng trường trung bình	54

2.2.	Khi số hạng phá vỡ đối xứng có dạng chính tắc	56
2.2.1.	Giới hạn chiral $\epsilon = 0$	57
2.2.2.	Trong thế giới vật lý $\epsilon = 1$	61
2.3.	Khi số hạng phá vỡ đối xứng có dạng không chính tắc	72
2.3.1.	Khi $\mu_I > m_\pi$	76
2.3.2.	Khi $\mu_I < m_\pi$	81
2.4.	Vai trò của điều kiện trung hòa điện tích	84
2.4.1.	Khi số hạng phá vỡ đối xứng có dạng chính tắc	88
2.4.2.	Khi số hạng phá vỡ đối xứng có dạng không chính tắc	90
2.5.	Nhận xét	93
Chương 3: CHUYỂN PHA CHIRAL TRONG KHÔNG-THỜI GIAN		
	RÚT GỌN	97
3.1.	Chuyển pha chiral khi không tính đến hiệu ứng Casimir	97
3.1.1.	Thế hiệu dụng và phương trình khe	97
3.1.2.	Tính số	99
3.2.	Chuyển pha chiral dưới ảnh hưởng của hiệu ứng Casimir	104
3.2.1.	Năng lượng Casimir	104
3.2.2.	Tính số	107
3.3.	Nhận xét	111
	KẾT LUẬN	114
	Các công trình liên quan đến luận án	116
	Tài liệu tham khảo	117
	PHỤ LỤC	124

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

CEP	critical endpoint (điểm tới hạn).
CJT	Cornwall-Jackiw-Tomboulis.
HF	Hartree-Fock.
ICP	isospin chemical potential (thế hóa spin đồng vị).
IHF	improved Hatree-Fock (Hatree-Fock cải tiến).
LQCD	lattice quantum chromodynamics (mạng sắc động lực học lượng tử).
LSM	linear sigma model (mô hình sigma tuyến tính).
LSMq	linear sigma model with constituent quarks (mô hình sigma tuyến tính với sự tham gia của quark).
NJL	Nambu-Jona-Lasinio.
PNJL	Polyakov-Nambu-Jona-Lasinio.
QCD	quantum chromodynamics (sắc động lực học lượng tử).
QCP	quark chemical potential (thế hóa quark).
SB	symmetry breaking (sự phá vỡ đối xứng).
SD	Schwinger-Dyson.
TQ	twisted quark (quark có cấu trúc trường xoắn).
UQ	untwisted quark (quark có cấu trúc trường không xoắn).

MỞ ĐẦU

1. Lý do chọn đề tài

Nghiên cứu chuyển pha hiện đang là vấn đề thời sự của vật lý hiện đại. Nó đang được các nhà vật lý quan tâm trong nhiều lĩnh vực khác nhau, từ vũ trụ học đến vật lý hạt nhân.

Trong lĩnh vực vũ trụ học, người ta cho rằng đã xảy ra rất nhiều các quá trình chuyển pha ở thời kì đầu khi vũ trụ được hình thành. Chuyển pha của QCD là một trong số những chuyển pha đó. Có hai hiện tượng liên quan đến chuyển pha QCD đó là hiện tượng không giam cầm của các quark và gluon và hiện tượng phục hồi đối xứng chiral. Ở giá trị nào đó của nhiệt độ sẽ xảy ra sự chuyển pha từ pha các hadron đến pha quark-gluon plasma. Trạng thái không giam cầm cũng xảy ra khi mật độ đạt giá trị tới hạn, ở đó có sự dịch chuyển pha giữa pha hadron và pha của vật chất quark lạnh. Tại cùng giá trị tới hạn của nhiệt độ và mật độ có thể xảy ra sự chuyển pha không giam cầm và chuyển pha chiral.

Sắc động học lượng tử được xem là lý thuyết phù hợp nhất để mô tả vật chất tương tác mạnh. Về mặt nguyên tắc, QCD có thể mô tả tất cả các pha của vật chất tương tác mạnh ở mọi giá trị của nhiệt độ và mật độ. Việc khảo sát cấu trúc pha của QCD sẽ cho ta cái nhìn tổng quát về sự chuyển pha vật chất trong tương tác mạnh.

Trong những năm gần đây đã có rất nhiều các công trình nghiên cứu về cấu trúc pha của QCD ở giá trị hữu hạn của nhiệt độ và thế hóa. Các nghiên cứu này đã chỉ ra rằng bài toán cấu trúc pha chỉ có thể giải chính xác trong một số trường hợp giới hạn. Trước tiên, ở nhiệt độ hoặc mật độ đủ cao để đạt đến trạng thái tiệm cận tự do, sao cho tương tác giữa các hạt đủ nhỏ, lúc này ta có thể sử dụng khai triển nhiễu loạn. Trong trường hợp này mô hình hiệu dụng cho QCD được gọi là lý thuyết nhiễu loạn chiral [14, 36, 39, 57].

Khi nhiệt độ thấp và mật độ đủ lớn các nghiên cứu đã cho thấy rằng QCD ở pha có màu và hương bị khóa, lúc này QCD được mô tả bởi các mô hình như NJL [9, 24, 29, 30], LSM [4, 5, 52], PNJL [1, 43]. Trong số các mô hình này thì LSM là một mô hình tiêu biểu, nó bắt đầu được nghiên cứu từ nhiều thập kỷ trước đây. Đây là một mô hình rất phù hợp để nghiên cứu các hiện tượng liên quan đến tương tác mạnh ở nhiệt độ thấp, bao gồm cả đối xứng chiral. Tuy nhiên các nghiên cứu theo LSM cho đến nay vẫn chưa đầy đủ, đặc biệt khi tính đến ICP và QCP. Chính vì lý do này mà chúng tôi chọn đề tài "**Nghiên cứu chuyển pha trong mô hình sigma tuyến tính**" làm vấn đề nghiên cứu của luận án này.

2. Lịch sử vấn đề

Mô hình sigma tuyến tính được đề cập lần đầu tiên trong công trình nghiên cứu của M. Gell-Mann và M. Levy [25] khi nghiên cứu đối xứng chiral trong QCD. Từ đó đến nay LSM luôn thu hút được sự quan tâm của các nhà vật lý. Mô hình này được coi là lý thuyết hiệu dụng để nghiên cứu sự ngưng tụ trong chất hạt nhân.

Sau [25], nghiên cứu đáng kể về LSM phải kể đến công trình của D. K. Campell, R. F. Dashen và J. T. Manassah [18]. Trong công trình này các tác giả đã khảo sát chi tiết cấu trúc năng lượng của hệ với hai dạng khác nhau của số hạng phá vỡ đối xứng: số hạng phá vỡ đối xứng dạng chính tắc (standard case) hay còn gọi là phá vỡ đối xứng dạng $\cos \theta$ và số hạng phá vỡ đối xứng dạng không chính tắc (non-standard case) hay còn gọi là phá vỡ đối xứng dạng $\sin^2 \theta$. Tuy nhiên các tính toán ở đây chỉ dừng lại ở gần đúng cây.

Bây giờ chúng tôi đi qua về việc sử dụng LSM ở gần đúng bậc cao trên hai phương diện: hai dạng khác nhau của số hạng phá vỡ đối xứng và sự tham gia của các quark.

Trước tiên ta nói đến trường hợp không có sự tham gia của các quark và số hạng phá vỡ đối xứng có dạng chính tắc. Khi không có ICP, các tác giả [38] đã sử dụng phương pháp tác dụng hiệu dụng CJT để khảo sát sự phụ thuộc nhiệt độ của khối lượng các pion và hạt sigma theo LSM ở nhiệt độ hữu hạn trong hai gần đúng khác nhau là gần đúng HF và gần đúng khai triển N lớn. Cũng xét cho trường hợp không có ICP, các tác giả [59] khảo sát sự chuyển pha chiral trong LSM theo phương pháp tác dụng hiệu dụng CJT và đề xuất một phương pháp tái chuẩn hóa mới trong gần đúng HF. Kết quả cho thấy, trong giới hạn chiral chuyển pha là loại một, trong thế giới vật lý thì đối xứng chiral được phục hồi ở nhiệt độ cao.

Trường hợp số hạng phá vỡ đối xứng có dạng không chính tắc, sau [18], hiện chưa có công trình nào khảo sát bài toán này ở gần đúng bậc cao.

Bây giờ ta xét đến bài toán cấu trúc pha của vật chất tương tác mạnh với sự tham gia của các quark. Hiện nay nghiên cứu cấu trúc pha của LSMq mới chỉ dừng lại ở trường hợp không có ICP [52], trong đó bỏ qua khối lượng dòng của quark. Các nghiên cứu về cấu trúc pha của QCD hiện nay chủ yếu tập trung vào mô hình NJL [6] và mô hình PNJL [51].

Nghiên cứu về không-thời gian rút gọn với số chiều không gian được bổ sung thêm (extra dimension) đang thu hút được sự quan tâm lớn của nhiều nhà nghiên cứu trong nhiều lĩnh vực khác nhau của vật lý. Công trình đầu tiên nghiên cứu về vấn đề này thuộc về Kaluza và Klein [54] khi cố gắng thống nhất lực hấp dẫn với các lực khác trong tự nhiên. Từ đó đến nay vấn đề này đã có những bước tiến đáng kể. Trước tiên phải kể đến những thành công trong lý thuyết siêu hấp dẫn, siêu dây và lý thuyết màng [53]. Đặc biệt, thành phần không gian bổ sung đã được mở rộng đến thang năng lượng thấp [3, 48]. Toàn ảnh QCD [50], lý thuyết hạt nhân toàn ảnh [12] và lý thuyết toàn ảnh về siêu dẫn nhiệt độ cao [32] đã hình thành và phát triển với những kết quả rất đáng quan tâm. Bên cạnh đó các nghiên cứu về không-thời gian

với topo không tầm thường cũng đưa đến những hiệu ứng vật lý mới như hiệu ứng Casimir [15, 46] gây ra bởi cấu trúc chân không của trường lượng tử của không-thời gian rút gọn, lý thuyết về năng lượng tối [22], sự dẫn nổ vũ trụ [21].

3. Mục đích nghiên cứu

Luận án đặt ra mục đích là nghiên cứu cấu trúc pha của LSM trong hai trường hợp: có và không có sự tham gia của quark. Trong mỗi trường hợp này đều lần lượt khảo sát hai dạng khác nhau của số hạng phá vỡ đối xứng.

Bên cạnh đó chúng tôi cũng đặt ra mục tiêu nghiên cứu chuyển pha chiral trong không-thời gian rút gọn trong trường hợp không có ICP.

4. Đối tượng, nhiệm vụ và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng chúng tôi lựa chọn để nghiên cứu trong luận án này là mô hình sigma tuyến tính mô tả tương tác của các hạt pion, sigma và các quark.

Mô hình sigma tuyến tính cũng là đối tượng mà chúng tôi lựa chọn khi nghiên cứu chuyển pha chiral trong không-thời gian rút gọn.

Trên cơ sở đó, những mục tiêu chính mà chúng tôi đặt ra trong luận án này như sau:

- *Khảo sát sự khôi phục đối xứng chiral trong mô hình sigma tuyến tính ở ICP bằng không khi số hạng phá vỡ đối xứng có dạng chính tắc, trong cả giới hạn chiral và thế giới vật lý.*
- *Nghiên cứu chuyển pha nhiệt và chuyển pha lượng tử trong trường hợp số hạng phá vỡ đối xứng có dạng chính tắc, trong giới hạn chiral và ở ICP hữu hạn.*
- *Nghiên cứu sự phá vỡ đối xứng, sự phục hồi đối xứng và giản đồ pha ở ICP hữu hạn khi số hạng phá vỡ đối xứng có dạng chính tắc.*