

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE FÍSICA

**ASPECTOS EM TEORIAS DE CAMPOS A
TEMPERATURA FINITA**

SBI-FUSP



305M810T2579

André Pereira de Almeida

Tese de doutorado apresentada
ao Instituto de Física da
Universidade de São Paulo para a
obtenção do título de Doutor em
Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Josif Frenkel

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Josif Frenkel *Josif Frenkel*
Prof. Dr. Marcelo O. Caninha Gomes
Prof. Dr. Carlos Ourívio Escobar
Prof. Dr. Abraham H. Zimmerman
Prof. Dr. João Barcelos Neto



Sylnio Cavuto
Prof. Iberê Luiz Caldas
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

SÃO PAULO
1996

05/12/96

530.14
A 447 a
D
ex. 4

FICHA CATALOGRÁFICA

**Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo**

**Almeida, André Pereira de
Aspectos em Teorias de Campos à Temperatura Finita.
São Paulo, 1997.**

**Tese (Doutoramento) Universidade de São Paulo.
Instituto de Física - Departamento de Física Matemática**

**Área de Concentração: Teoria de Campos e Partículas
Orientador: Prof. Dr. Josif Frenkel**

**Unitermos: 1. Teoria de Campos; 2. Cromodinâmica
Quântica; 3. Temperatura Finita.**

USP/IF/SBI - 30/97

Resumo

Este trabalho estuda o comportamento de algumas teorias de campos quando a temperatura não é nula. O comportamento infravermelho destas teorias é, em alguns casos, extremamente complicado. No contexto da aproximação ladder, estudamos o cancelamento das divergências infravermelhas para a pressão na teoria escalar com acoplamento $\lambda\phi^3$ e na teoria de Yang-Mills. Nós provamos que as divergências infravermelhas destas teorias que aparecem na série perturbativa se cancelam na aproximação ladder. As massas térmicas que são de fundamental importância para a compreensão destes comportamentos são também estudadas no contexto da gravitação. Nós calculamos algumas propriedades do tensor de polarização do gráviton, em particular calculamos a massa de Jeans que descreve a instabilidade da teoria a temperatura finita.

Abstract

This work studies the behaviour of some fields theories with non-zero temperatures. The infrared behaviour of these theories is, in some cases, quite complicated. In the context of the ladder approximation, we study the cancellation of infrared singularities of the pressure of the scalar theory with a $\lambda\phi^3$ coupling and of the Yang-Mills theory. We prove that the infrared divergencies of these theories that appear in the perturbative expansion cancels out in the ladder approximation. The thermal masses, which are of fundamental importance to understand these behaviours are also studied in the context of gravity. We derive some properties of the graviton's propagator, in particular, we have calculated the Jeans' mass which describe the instability of this theory at finite temperature.

Agradecimentos

Agradeço à minha esposa, Ana Cristina Granado Pereira de Almeida, pelo apoio; ao meu orientador, Josif Frenkel, pela paciência, e à FAPESP pela ajuda financeira.

Conteúdo

1	Fundamentos da teoria de campos a temperatura finita	4
2	Divergências Infravermelhas em teorias de campo a temperatura finita	13
3	Estudo do comportamento infravermelho na aproximação "ladder"	19
4	Efeitos térmicos em um teoria de campos em espaço curvo	29
5	Efeitos de campos térmicos no tensor de polarização do gráviton	37
	Apêndice A	48
	Apêndice B	51

Introdução

O objetivo de teorias de campo a temperatura finita é entender o comportamento da matéria quando a temperatura é extremamente elevada, a tal ponto que os quarks se desconfinam, ou quando a densidade é tão alta que os prótons, nêutrons ou hádrons em geral se sobrepõem, formando um plasma de quarks e glúons. Tais condições extremas ocorrem somente muito longe da experiência humana diária, mas são de importância fundamental para a compreensão de processos que aconteceram no princípio do universo, que o tornaram tal como o conhecemos hoje, ou para o estudo do que acontece no interior de uma estrela de nêutrons onde a matéria nuclear se funde, ou ainda para estudarmos colisões altamente energéticas de núcleos pesados. Para estes estudos precisamos compreender os efeitos coletivos gerados pela associação da teoria de campos usual com a termodinâmica.

Um dos campos mais interessantes da teoria de campos a temperatura finita é o estudo da teoria da interação dos quarks e glúons, a cromodinâmica quântica. Acredita-se que os quarks, a temperatura zero, permanecem confinados. A medida em que a temperatura aumenta, porém, os hádrons devem aumentar de tamanho, pois a energia interna dos quarks aumenta e, a uma determinada temperatura crítica, os quarks devem se desconfinar formando um plasma de quarks e glúons livres. No entanto, o estudo desta teoria é extremamente complicado, pois as divergências infravermelhas que já aparecem a temperatura zero tornam esta teoria impossível de se calcular na prática. Esta divergência, que está intimamente ligada ao fato de os glúons não terem massa, tornam a teoria de perturbações inaplicável além de uma determinada ordem na constante de acoplamento, pois as divergências tornam-se cada vez mais severas. Em alguns modelos, como no caso de uma teoria escalar com acoplamento $\lambda\phi^3$, este problema não aparece a temperatura finita, pois as partículas não massivas ganham uma massa térmica que surge naturalmente

da teoria quando a temperatura não é nula, e esta massa permite eliminar todas as divergências infravermelhas que venham a surgir[1]. Infelizmente isto é apenas em parte aplicável a QCD, pois enquanto os gluons referentes a parte cromoeétrica da teoria efetivamente ganham massa térmica, os gluons cromomagnéticos não apresentam uma massa deste tipo, impossibilitando assim um tratamento simples da teoria.

Entretanto, para que a teoria faça sentido é de se esperar que grandezas físicas mensuráveis como a pressão estejam de alguma forma livres destas divergências, ou seja, que elas se cancelem em um tratamento não perturbativo. A primeira parte desta tese é voltada a este importante problema. Aqui é proposto um mecanismo pelo qual estas divergências podem se cancelar, estudando um modelo simplificado das equações de Schwinger-Dyson para a cromodinâmica. As equações de Schwinger-Dyson são equações não perturbativas que a teoria deve obedecer. Estas equações, no entanto, são extremamente complicadas e, em geral, são um conjunto infinito de equações, o que as tornam impossíveis de lidar. Assim, temos que, de alguma forma, trancar estas equações. Para isto usamos a chamada aproximação "ladder" que consiste em desprezar a contribuição das funções de Green de três e quatro pontos do glúon, de modo semelhante ao proposto por Kajantie e Kapusta[2]. Esta aproximação já foi utilizada por Mandelstam[3] para entender como pode ocorrer o confinamento a temperatura zero, e por Jackiw e Templeton[4] para mostrar como teorias super-renormalizáveis curam as divergências ultravioletas. Com esta aproximação é possível obter um conjunto finito de equações e tentar resolvê-las. Desta forma foi possível mostrar que, apesar de que todos os termos perturbativos divergem a partir de uma determinada ordem de perturbação, o resultado final é finito. Este trabalho foi publicado na *Physical Review*[5].

O conceito de massas térmicas desempenham também um papel fundamental em outro campo desta teoria, a gravitação a temperatura finita. Em gravitação é notória a dificuldade de se obter uma teoria quântica convincente, porém podemos estudar a gravitação quando esta entra de uma forma semi-clássica, no estudo de teorias de campos em espaços curvo. À temperatura finita isto é possível se supusermos que a temperatura do plasma está bem abaixo da escala de Planck, isto é, após os primeiros segundos da formação do universo. Neste regime, podemos obter uma teoria consistente para um plasma sob ação de um campo gravitacional. Um resultado expressivo desta teoria é que o gráviton apresenta uma massa térmica imaginária

para um determinado modo de vibração do plasma. Isto identifica uma instabilidade do espaço plano, indicando que a qualquer temperatura não nula, o espaço plano não é o estado de mínima energia e vai decair. Este resultado é bem conhecido e foi obtido pela primeira vez por sir James Jeans em 1902 para um fluido sob ação de um campo gravitacional newtoniano. O significado deste resultado é simples: a matéria espalhada uniformemente por uma região grande do espaço é instável, assim ela tende a se fragmentar formando as galáxias tais como as conhecemos hoje. O estudo do propagador do gráviton desempenha, desta forma, um ponto fundamental para entendermos esta teoria. Nesta tese obtivemos este propagador, para o caso de uma partícula escalar conforme sem massa, de forma fechada. Obtivemos também que ele apresenta três modos de vibração distintos, um associado a uma massa imaginária, análoga à massa de Jeans clássica; outro modo associado a uma massa real que atenua as vibrações do plasma, e um terceiro modo que não apresenta massa, análogo à parte magnética e uma teoria e Yang-Mills. O estudo deste propagador que consta nesta tese foi também publicado na *Physical Review*[6].

Esta tese está organizada da seguinte forma: no primeiro capítulo apresento um estudo de teorias de campos a temperatura finita, explicando basicamente as ferramentas teóricas necessárias para compreensão do resto da tese. Para mais detalhes recomendo a referência [7]. O segundo capítulo trata basicamente da colocação do problema das divergências infravermelhas numa teoria de Yang-Mills a temperatura finita, como elas aparecem e quais as dificuldades que surgem partir delas. O terceiro capítulo é uma análise de como estas divergências se cancelam na aproximação ladder. O quarto capítulo descrevo alguns pontos de teorias de campos sobre espaço curvo. Para maiores detalhes recomendo os livros [8] e [9]. Finalmente, no último capítulo estudo como deve se comportar o tensor de polarização do gráviton, calculo de forma fechada este tensor e analiso o surgimento de massas térmicas neste propagador.

Capítulo 1

Fundamentos da teoria de campos a temperatura finita

Vamos considerar um sistema descrito por um operador hamiltoniano \hat{H} em contato com um reservatório de calor a temperatura $T = 1/\beta$, isto é, o chamado *ensemble* canônico. Neste sistema a matriz densidade estatística é expressa da forma:

$$\rho = \exp(-\beta\hat{H}) \quad (1.1)$$

e, a partir dela, podemos calcular a média estatística de um operador \hat{A} :

$$A = \frac{\text{Tr}\rho\hat{A}}{\text{Tr}\rho} \quad (1.2)$$

O ponto de partida para estudarmos os efeitos térmicos de uma teoria é a função partição:

$$Z = \text{Tr}\rho \quad (1.3)$$

A partir dela podemos obter todas as propriedades térmicas relevantes do sistema, tais como a pressão, energia ou entropia. Em teoria de campos a função partição pode ser definida como:

$$Z = \int \mathcal{D}\phi \langle \phi | \exp(-\beta\hat{H}) | \phi \rangle \quad (1.4)$$

onde estamos integrando sobre todos os estados possíveis dos campos envolvidos no sistema.

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

