

As condições de contorno das equações de Schwinger-Dyson: Uma analogia com osciladores harmônicos amortecidos

The boundary conditions of the Schwinger-Dyson equations: An analogy with damped harmonic oscillators

RESUMO

O Modelo Padrão da física de partículas é a teoria que descreve o comportamento de três das quatro forças fundamentais conhecidas, interação eletromagnética, fraca e forte. Entretanto, como sabemos hoje o Modelo Padrão é uma teoria aproximada, válida até a escala de energia de $O(1)\text{TeV}$. Neste trabalho apresentamos os principais aspectos de modelos de Technicolor, que consiste de uma extensão do setor de Higgs. Em particular verificamos como o comportamento das condições de contorno de um sistema mecânico simples, como o OHS forçado, pode ser empregado para ilustrar como novas interações modificam o comportamento assintótico de sistemas complexos.

PALAVRAS-CHAVE: Modelo-Padrão, Partículas Elementares, Quebra de Simetria, Modelos de Technicolor, Oscilador Harmônico Amortecido e Forçado

João Alexandre de Carvalho Santana
jsantana@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil
Adriano Doff Sotta Gomes
adoff.gomes@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

The Standard Model of particle physics (SM) is the theory describing three of the four known fundamental forces - electromagnetic, weak, and strong interactions. However, as we now know the Standard Model is an incomplete theory, assumed to be valid up to $O(1)\text{TeV}$. In this article we show the main aspects of Technicolor models (TC), which consists of an extension of the Higgs sector. In particular, we look at how the behavior of boundary conditions of a simple mechanical system, as forced OHS, can be employed to illustrate as new interactions affect the asymptotic behavior of complex systems.

KEYWORDS: Standard Model, Elementary Particles, SymmetryBreaking, Technicolor Models, HarmonicOscillator

INTRODUÇÃO

O Modelo Padrão[1] é um conjunto de três teorias quânticas de Campo, QED, QFD e QCD que é capaz de descrever o comportamento das forças que atuam no interior dos núcleos atômicos, as forças nucleares forte e fraca, e a interação eletromagnética a nível quântico, bem como descreve de forma adequada as interações destas forças com as partículas fundamentais conhecidas até o momento (léptons e quarks). Todavia existem questões ainda em aberto e que não podem ser explicadas no contexto do Modelo Padrão, fato este que sugere pela procura de novos modelos e teorias que sejam capazes de responder tais questões. Neste relatório apresentamos os aspectos gerais de modelos de TC[3], onde a partícula de Higgs é um estado composto, em particular no subprojeto de IC desenvolvido verificamos como o comportamento de condições de contorno de um sistema como OHS forçado na região assintótica pode ser empregado para ilustrar como em modelos de TC, o comportamento de um Higgs composto é influenciado por novas interações incorporadas neste tipo de teoria. Para o entendimento deste tópico é necessário por primeiro focar no Fermions os quais são divididos entre Léptons e Quarks. Existem três famílias de quarks e léptons. Na figura seguinte descrevemos os léptons, ordenando pela família associada a cada lépton e seus neutrinos correspondentes. Temos, então Elétron (e) e seu respectivo Neutrino, o Múon (μ) e seu respectivo Neutrino e o Tau (τ) com o seu Neutrino.

Devemos pontuar que a carga elétrica dos Neutrinos é nula, daí o nome Neutrino. Os neutrinos os quais surgem em processos que envolvem a interação fraca, que possuem baixas interações energéticas, quando um Lépton pesado decai, uma das partículas em que ele decai é seu neutrino correspondente.

Os Quarks são as partículas que, unidas pela Interação Forte, formam os Bárions e os Hádrons. São divididos em três pares e seis sabores.

As partículas tem carga fracionária (os quarks “superiores” tem carga de $\frac{2}{3}$ do módulo da carga do elétron ($|e|$) e os “inferiores” carga de $-\frac{1}{3}$), desta forma ainda mantendo a carga unitária do electrón. Os quarks possuem antimatéria correspondente, que são os antiquarks (partículas idênticas aos quarks, porém com carga elétrica contrária).

Os Bárions são partículas presentes no núcleo atômico as quais são compostas por 3 quarks. Por exemplo, um próton é formado por dois quarks up e um quark down. Todavia o nêutron é constituído por dois quarks down e um quark up[2]. Enquanto que os mésons são partículas formadas por um quark e sua antimatéria.

Outro importante tópico para entender toda parte da física de partículas e como estas interações se relacionam com a temática do projeto são os Bósons sendo estas partículas mediadoras das interações. Acredita-se que os bósons sejam responsáveis pelas quatro interações da natureza, embora até os dias atuais, a natureza quântica apenas de três interações foram convenientemente descritas, uma vez que a escala de energia dos aceleradores de partículas limita a pesquisa.

Existindo três tipos de bósons Vetoriais, os glúons que compõe interações fortes mantendo os núcleos atômicos unidos, do tipo W e Z que apresentam ligações fracas e os fótons os quais apresentam as interações eletromagnéticas

Figura 1: Léptons, Quarks e Bósons relacionados

Modelo Padrão				
	Fermions			Bosons
Quarks	u up	c charm	t top	γ photon
	d down	s strange	b bottom	Z Z boson
Léptons	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson
	e electron	μ muon	τ tau	g gluon

Fonte: Própria

Todavia, deve-se notar que existem argumentos que levam a crer que o Modelo Padrão deva ser considerado uma teoria aproximada, válida a baixas energias, de uma teoria mais completa, uma vez que muitas questões fundamentais não podem ser explicadas dentro do atual conhecimento a respeito da física das partículas elementares.

O modelo padrão baseado na existência de um bóson escalar fundamental (bóson de Higgs) apresenta problemas de naturalidade e trivialidade[2]. Uma proposta de solução para estes problemas consiste em assumir o bóson de Higgs como sendo uma partícula composta, formada por um novo conjunto de partículas, chamados de techniférmions, através da introdução de uma nova interação forte, a Technicolor(TC)[3], tornando-se o suficientemente forte para produzir a formação deste estado ligado a uma escala de energia da ordem de $O(1)\text{TeV}$. O resultado final para a massa gerada tanto para os férmions, quanto para o bóson de Higgs neste tipo de modelo, irá depender crucialmente da forma assumida por uma quantidade chamada de auto-energia dos techniférmions, que irá depender da solução obtida para as Equações de Schwinger-Dyson para TC[4]. Este é um problema extremamente complexo, que foge do contexto de um projeto de IC, entretanto, neste trabalho considerando uma analogia com um sistema mecânico simples, onde verificamos como novas interações(forças), modificam o comportamento do OHS forçado na região assintótica, ilustramos

como previsões do Modelo Padrão podem ser influenciadas por novas interações incorporadas neste tipo de teoria.

MATERIAIS E METODOS

Primeiramente realizou-se uma análise do comportamento de osciladores harmônicos amortecidos e forçados, verificando que a partir da análise do comportamento assintótico das condições de contorno, a possibilidade de inferir o comportamento dinâmico nesta região para sistemas mais complexos. Sendo a equação de movimento para o oscilador harmônico amortecido e forçado descrita por:

$$\dot{x}(t) + 2\gamma\dot{x} + \omega_0^2 x(t) = \frac{F(t)}{m} \quad (1)$$

Para modelar o comportamento desta equação consideramos a introdução dos seguintes operadores assim propondo uma solução a equação. Os operadores irão consistir na seguinte premissa:

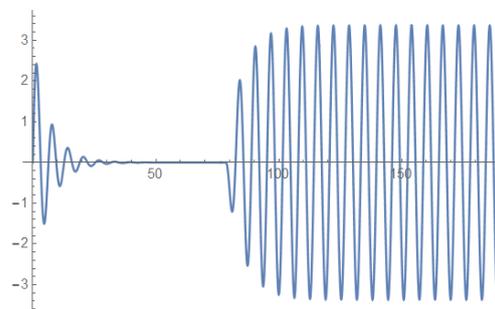
$$\dot{x} = \frac{dx}{dt} = Dx(2) \quad \text{e} \quad \ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2} = D^2x(3)$$

Foi abordado tanto o método de operadores para caso onde o sistema estava no seu estado natural, ou seja, sem nenhum agente externo causando perturbação e posteriormente foi analisado com a atuação de uma força externa sobre ele.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

O comportamento assintótico do OHS amortecido e forçado é representado pela figura abaixo:

Figura 2: movimento da partícula definida por x

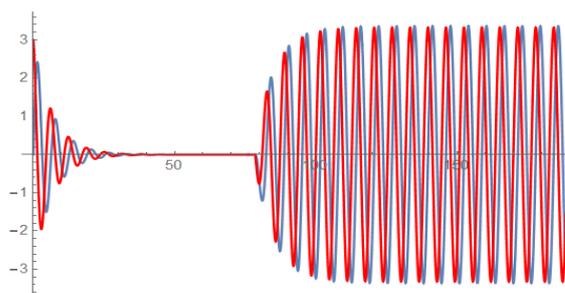


Fonte: Obtida pelo autor através de modelagem computacional

Foram utilizados de softwares com recursos gráficos afim de realizar tal modelagem. Este resultado foi obtido quando foi adicionado uma força externa ao sistema em estudo, assim explicando sua parte inicial que poderá ser modulada através da ideia de uma função de grau. Assim como o operador foi utilizado no

método para calcular essa forma de onda foi utilizado do mesmo para entender e evidenciar o \acute{x} sendo que esta parcela se relaciona com a velocidade de propagação do movimento, as análises obtidas tanto para o espaço quanto para velocidade possuíram características similares. Como pode ser verificado na figura abaixo

Figura 3: sobreposição das variáveis x e \acute{x}



Fonte: Obtida pelo autor através de modelagem computacional

O tema tratado nesta primeira etapa já foi bastante discutido dentro da literatura, o propósito de apresentação desta seção teve o intuito apenas de familiarizar a discussão a respeito de como condições de contorno na região assintótica, lidas a partir das figuras, podem ser empregadas a inferir o comportamento assintótico de sistemas como OHS, OH forçado e amortecido e aplicar tais ideias a sistemas mais complexos como os estudados em Física de Partículas.

CONCLUSÃO

Neste trabalho apresentamos os principais conceitos associados ao Modelo Padrão da física das partículas elementares, mostrando atual classificação existente, em conjunto com as interações sentidas por cada partícula. Além disso, apresentamos os aspectos gerais de modelos de Technicolor, que é capaz de explicar alguns pontos não explicados pelo Modelo Padrão. Fenômenos oscilatórios são interesse em todos os campos da física e sistemas físicos que são governados por uma equação do tipo oscilador harmônico amortecido e forçado, como o circuito RLC submetido a uma tensão periódica são questões de interesse. No sub-projeto desenvolvido apresentamos uma análise do comportamento assintótico de Osciladores Harmônicos Amortecidos e Forçados, e verificamos que a partir da análise do comportamento assintótico das condições de contorno, tomando como exemplo o caso particular de Osciladores Harmônicos Amortecidos e Forçados, é possível inferir o comportamento dinâmico nesta região para sistemas mais complexos, como a equação Integral não-linear (Equação de Schwinger-Dyson), empregada em modelos de TC para caracterizar o comportamento de uma partícula de Higgs composta.

AGRADECIMENTOS

João Santana e Adriano Doff agradecem o apoio financeiro do CNPq para o subsídio e desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] S. L. Glashow, Nucl. Phys. **B 22**, 579 (1961); S. Weinberg, Phys. Rev. Lett. **19**, 1264 (1967); A. Salam, in Elementary particle Theory, N. Svartholm, Ed., Almquist and Wiksell 367 (1968).
- [2] SavasDimopoulos and Leonard Susskind (1979). "Mass without scalars". Nuclear Physics B155, 237–252 (1979). T. Hill e E. H. Simmons, Phys. Rep. 381, 235 (2003); 390, 553(Errotum) (2004); F. Sannino, hep-ph/0911.0931.
- [3] L. Susskind, Phys. Rev. D 20 , 2619 (1979); S. Dimopoulos and L. Susskind, Nucl. Phys. B155 , 237 (1979); S. Weinberg, Phys. Rev. D 13, 974 (1976); S. Weinberg, Phys. Rev. D 19 1277 (1979).
- [4] A. Doff , A. A. NATALE , Int. J. Mod. Phys. A 31, 1650024 (29 pages) (2016);] A. Doff , A. A. NATALE , Eur. Phys. J. C 78, 872-1-872-7, (2018); A. Doff , A. A. NATALE , Phys. Rev. D 99, 055026-1-055026-14, (2019).