Dados do Projeto de Pesquisa	
Título do Projeto de Pesquisa:	Teoria de grupos e a física de partículas
Grande área/área segundo o CNPq (https://goo.gl/JB3tAs):	Ciências Exatas e da Terra/ Física e Astronomia/ Física da Matéria Condensada
Grupo de Pesquisa vinculado ao projeto::	Grupo de Física Teórica e Computacional GFTC-UFCA
Linha de pesquisa do grupo de pesquisa vinculado ao projeto::	Física do Estado Sólido
Categoria do projeto:	( ) projeto em andamento, já cadastrado na PRPI ( ) projeto não iniciado, mas aprovado previamente (X) projeto novo, ainda não avaliado
Palavras-chave:	Teoria de grupos; Física de partículas; Modelo padrão; Simetrias

1 Introdução

O conceito de simetria é uma das ferramentas mais poderosas no estudo da física teórica, uma vez que tornou-se evidente que praticamente todas as leis da natureza estão relacionadas às simetrias. Muito antes de um estudo formal acerca da ideia de simetria, esta já encontrava-se presente, implicitamente, na matemática, nas artes, na arquitetura, etc. Na matemática, a generalizacão da ideia geométrica de simetria culminou no desenvolvimento da teoria de grupos. Na física, o conceito de simetria encontra-se manifesto explicitamente, por exemplo, no teorema de Noether, que afirma, de maneira simplificada, que a cada simetria contínua está associada uma quantidade conservada.

Mesmo após a publicação do teorema de Noether em 1915 (NOETHER E, 1918), a ideia de descrever a natureza em termos de aspectos de simetria e invariância só passou a ser trabalhada de maneira mais formal após os trabalhos de Dirac em 1931, trabalhos estes que investigavam a possibilidade de associação dos estados de energia negativa emergentes da equação de Dirac com uma nova partícula, o pósitron. A busca por esta associação do pósitron com os estados de energia negativa foi profundamente influenciada por Hermann Weyl, profundo conhecedor de teoria de grupos e que havia publicado no mesmo ano um livro intitulado "Group Theory and Quantum Mechanics" (WEYL H, 1931). Desde então a teoria de grupos tornou-se uma ferramenta padrão no estudo de física teórica e em particular no estudo de física de altas energias.

A teoria de grupos é um ramo da álgebra abstrata que estuda estruturas conhecidas como grupos (GONÇALVES A, 2017). De maneira geral dizemos que um dado conjunto G não vazio e uma operação $(\cdot)$ função binária entre pares de G é chamado de grupo se são válidas as seguintes propriedades:

$$a \cdot (b \cdot c) = (a \cdot b) \cdot c \;\; \forall \, a, b, c \, \in \, G \tag{1}$$

$$\exists \, e \, \in \, G \; tal \; que \; a \cdot e = e \cdot a \; \forall \, a \, \in \, G \tag{2}$$

$$\forall a \in G \; \exists \; a^{-1} \in C \; tal \; que \; a \cdot a^{-1} = a^{-1} \cdot a = e. \tag{3}$$

Evariste Galois foi o matemático que alcunhou o termo “grupo” para designar tais estruturas e foi o primeiro a tentar usar grupos a fim de determinar a solubilidade de equações polinomiais. Os grupos matriciais e em particular os grupos de Lie desempenham um papel importante no estudo de física de altas energias. Os grupos de Lie são grupos contínuos e portanto perfeitamente adequados para descrever simetrias contínuas, tais como a simetria de rotação (MARTIN L S, 2017).

Um dos grupos de Lie mais simples, porém de grande importância em física, é o grupo ortogonal em duas dimensões $O(2)$, que descreve um conjunto de matrizes ortogonais de ordem dois com entradas reais. Tal grupo possui um subgrupo $SO(2) \subset O(2)$ que descreve o grupo do rotações em duas dimensões e é homomorfo ao grupo das matrizes unitárias em uma dimensão, isto é, ao grupo $U(1)$, que é de extrema importância para a descrição dos campos de calibre, da eletrodinâmica quântica e do fóton em si. O grupo $SO(3) \subset O(3)$, subgrupo do grupo das matrizes ortogonais de ordem três com entradas reais, é um grupo não abeliano que descreve a simetria de rotação em três dimensões. O grupo das matrizes unitárias de ordem dois com entradas complexas, isto é, o grupo $SU(2)$, é homomorfo ao grupo $SO(3)$ e é o grupo de simetria por trás da descrição do spin do elétron (dos férmions, de modo geral) e do modelo de nucleons (GREINER W, 1992).

Em 1961 Gell-Mann, na tentativa de identificar um padrão entre as partículas constituintes de toda a natureza, desenvolveu o que hoje é conhecido como “o caminho do octeto”. O caminho do octeto organiza bárions (partículas compostas por três quarks) e mésons (partículas compostas por dois quarks) em padrões geométricos regulares de acordo com duas propriedades quânticas das partículas, a saber, a carga elétrica e a estranheza. Os bárions mais leves organizam-se como disposto na figura 1, enquanto que os mésons mais leves distribuem-se em um padrão similar de acordo com a figura 2. (GRIFFITHS J D, 2008)

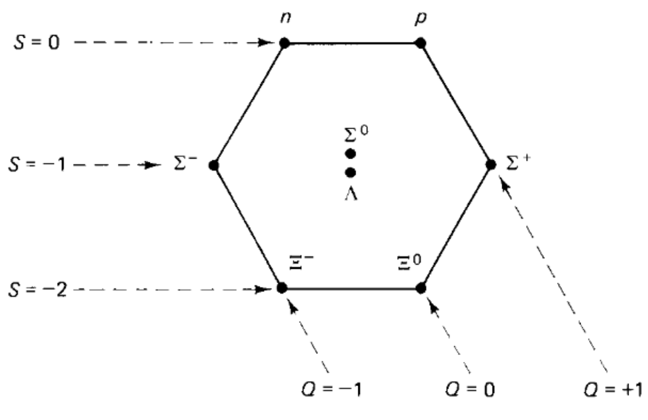

Figura 1: Octeto bariônico

Note que as partículas de mesma carga elétrica distribuem-se ao longo da linha diagonal enquanto que as partículas que possuem mesma estranheza dispoem-se ao longo das linhas horizontais. Tal padrão de classificação e organização está intimamente relacionado ao grupo de simetria $SU(3)$, um subgrupo do grupo das matrizes unitárias de ordem três.

O modelo padrão (MP) das partículas elementares e campos descreve três, das quatro interações fundamentais da natureza, a saber, as interações eletromagnética,

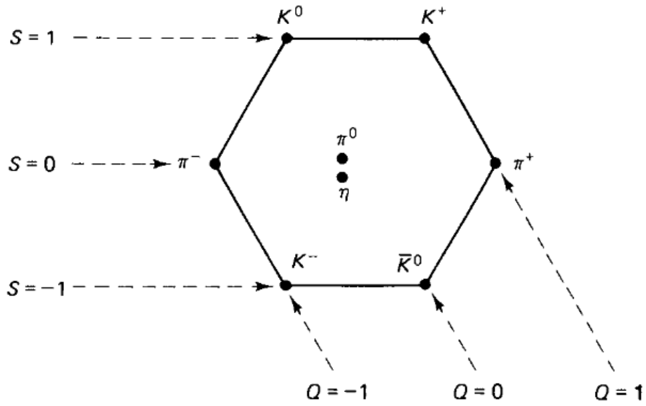

Figura 2: Octeto mesônico

fraca e forte. O MP é uma teoria efetiva que possui simetria $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ e que mostrou-se extremamente bem sucedida, com uma enorme concordância entre previsões teóricas e resultados experimentais. Apesar de todo sucesso, o MP não é uma teoria completa pois deixa em aberto algumas questões, tais como o problema da hierarquia, a falta de uma descrição quântica para a gravitação, o problema do gap de massa em teorias de Yang-Mills, dentre outros. Portanto, acredita-se que o MP deva ser o limite de baixas energias de alguma teoria mais fundamental, tal como a teoria de supercordas, ou subsetores de teorias de grande unificação. Em ambos os casos os grupos de simetria passam a ser mais complexos. Grupos tais como $SU(5)$, $SO(10)$, $E6$, M_{24} e $SU(M/N)$, estão presentes em teorias fundamentais e teorias de grande unificação. Estes grupos carregam a informação de como a natureza comporta-se em seu nível mais fundamental e descrevem, portanto, propriedades importantes acerca dos primeiros instantes após o Big Bang. Compreender as propriedades de tais grupos de simetria e sua relação com a física de altas energias pode levar à solução de problemas em aberto e ao apronfundamento do conhecimento humano acerca da natureza (PESKIN M E, 1995).

2 Objetivos

O objetivo geral é o de estudar fenômenos relacionados à física de partículas e à física para além do modelo padrão através da aplicação da teoria de grupos.

2.1 Objetivos específicos

Estudar a estrutura algébrica geral de um grupo, detendo-se em especial aos grupos de Lie.

Estudar o grupo matricial SU(2) e sua relação com o modelo de nucleons e quaternions.

Estudar o grupo matricial SU(3) e sua relação com o modelo de quarks.

Estudar propriedades matemáticas e físicas de grupos de simetria emergentes em modelos recentes de física de altas energias, mais especificamente, em modelos de supersimetria.

3 Metodologia

A metodologia de desenvolvimento do projeto se fará, inicialmente, através de um extensivo estudo de livros texto acerca do tema de teoria de grupos e física de partículas, a fim de garantir que o aluno obtenha uma base matemática e física robusta para que seja possível atingir o objetivo final do projeto, que é a análise de propriedades físicas e matemáticas de grupos de simetria emergentes em modelos recentes de física de altas energias.

Para tal o estudo de teoria de grupos se fará de maneira simultânea ao estudo da sua relação com a física de partículas. De modo que, dispondo de maneira independente, o que será estudado está disposto na lista abaixo:

1. Teoria de Grupos:
    - Aspectos gerais de um grupo;
    - Teorema de Lagrange;
    - Propriedades e álgebra associadas aos grupos de Lie;
2. Física de partículas:
    - Spin em mecânica quântica;
    - Modelo de nucleons;
    - Modelo de Quarks;
    - Supersimetria;

Por fim, após a fundamentação obtida durante a fase inicial do projeto, será investigada a literatura científica recente em busca de investigar propriedades de grupos de simetria em modelos de supersimetria afim de obter física nova.

4 Principais contribuições científicas, tecnológicas ou de inovação do projeto

Desde a detecção do Bóson de Higgs em 2013, o LHC (Large Hadron Collider) opera, tendo como um dos focos principais, a obtenção de indícios acerca da existência de parceiros supersimétricos para as partículas do modelo padrão, o que confirmaria a teoria supersimétrica. Sendo a comunidade de física de altas energias uma das menores comunidades de físicos, em número de pesquisadores, os modelos propostos, sejam eles em supersimetria, teoria de cordas ou qualquer outra teoria, permanecem, por vários anos com propriedades físicas e matemáticas desconhecidas. Este projeto busca contribuir de maneira efetiva para a solução de alguns problemas em aberto em física, tais como o problema da hierarquia, o confinamento de quarks, dentre outros. A busca pela compreensão dos aspectos fundamentais da natureza está no cerne do desenvolvimento da ciência e a publicação dos possíveis resultados encontrados poriam a Universidade Federal do Cariri dentro do cenário internacional na busca pela compreensão dos constituintes fundamentais da natureza.

5 Cronograma de atividades

CRONOGRAMA DE ATIVIDADES	
OBJETIVOS: Estudar de maneira formal a teoria de grupos e sua relação com a física de altas energias.	
MÊS	**ATIVIDADE**
AGO - SET	Estudar através de uma noção intuitiva e clara o grupo SO(2) e sua relação com o conceito de invariância. Estudar ainda o grupo Sp(2) e sua relação com o espaço Anti-de-Sitter.
OUT - NOV	Estudar aspectos formais da teoria de grupos. Estudar o grupo SU(2) e sua conexão com o spin em mecânica quântica e o modelo de nucleons. Estudar também o homomorfismo entre o grupo SU(2) e o grupo U(1).
DEZ - JAN	Estudar, através do grupo SU(2), o conjunto dos quaternions e a técnica do rearanjamento de Fierz. Estudar também o grupo SU(1,1)
FEV - MAR	Estudar o grupo SO(3) e o grupo SO(1,1) (Grupo de Lorentz)
ABR	Estudar o grupo SU(3) e o modelo de quarks, bem como o grupo SU(4) e a propriedade de Charme.
MAI	Investigar o grupo Super unitário SU(M/N) e a super álgebra de Lie.
JUN	Investigar as propriedades do grupo SU(M/N) e sua possível relação com o confinamento de quarks.
JUL	Discussão dos resultados, escrita e submissão de artigo.

Referências

[1] NOETHER, E. **Invariante Variationsprobleme**. Math-Phys. Klasse 1918, 235-257.

[2] GONÇALVES, A. **Introdução à álgebra**. SBM, 6 ed. 2017

[3] WEYL, H. **The theory of groups and quantum mechanics**. Dover, 1931

[4] MARTIN, L. S.. **Grupos de Lie**. Unicamp, 2017

[5] GREINER, W.; MÜLLER, B.. **Quantum Mechanics: Symmetries**. Springer. 1994

[6] GRIFFITHS, J. D.. **Introduction to elementary particles**, Wiley-vch. (2008).

[7] PESKIN, M. E., SCHROEDER, D. V. **An introduction to quantum field theory**, Westview Press, 1995