

Tópicos de Astronomia, Astrofísica e Cosmologia B (FIW829)

Professor: Miguel Quartin

Semestre: 2024/1

Análise de Dados e Estatística Bayesiana

Ementa:

- Introdução à probabilidade: definições. probabilidades conjuntas e disjuntas; probabilidade condicional; momentos e momentos amostrais; transformação de variáveis; distribuições Binomial, de Poisson, Gaussiana; probabilidade multivariada.
- Teorema de Bayes; método da verossimilhança e o chi-quadrado; estimação de parâmetros e estimadores de máxima verossimilhança; prioris; marginalização; interpretações frequentista e Bayesiana; previsões para experimentos futuros.
- Método de matriz de Fisher; manipulação da matriz de Fisher; Figura de Mérito; propriedades; exemplos; o método além-Fisher DALI.
- Métodos numéricos: grid, Cadeias de Markov de Monte Carlo e Nested Sampling; obtenção de curvas de nível em 1D, 2D e 3D; implementação no software Mathematica e/ou Python.
- Estatística de dois pontos, função de correlação e espectro de potência; estatística de ordens superiores.
- Evidência bayesiana; seleção de modelos.
- Teste de hipótese; testes não paramétricos
- Mão-na-massa com códigos numéricos na literatura em Python: emcee, MontePython, Cobaya e outros
- Testes de consistência: robustez, surpresa e suspiciousness
- Análise por componentes principais (PCA).

Bibliografia Principal:

- P. Gregory, Bayesian Logical Data Analysis for the Physical Sciences, Cambridge University Press (2005)
- R. Trotta, Bayesian Methods in Cosmology (Lecture notes, 2017)
- L. Amendola, Statistical Methods (Lecture notes, 2022)

Pré-requisitos:

Ao menos um curso de graduação de programação em Python

Tópicos de Física Atômica, Molecular e Ótica - Pós-Graduação/IF-UFRJ

2024.I - Prof. Cláudio Lenz Cesar <lenz@if.ufrj.br>

Resumo: Este curso visa introduzir diferentes áreas modernas de pesquisa em Física Atômica, Molecular e Ótica a alunos de pós-graduação que trabalhem ou tenham interesse na área ou simplesmente curiosidade científica na área (servindo como disciplina opcional). O curso vai incluir práticas no laboratório: acoplamento de laser a interferômetro de Fabry-Perot e geração de sinal de erro de Pound-Drever-Hall; e experimento de espectroscopia a laser de átomos de lítio em feixe frio e armazenamento de íons. Dos assuntos explorados estão: ressonância e sistemas de 2 níveis, alargamento espectral e técnicas de espectroscopia de alta resolução, estrutura hiperfina, armadilhas de átomos e íons, resfriamento a laser e por evaporação forçada, testes fundamentais de Física, bem como uma visão da técnica desenvolvida no IF-UFRJ de Sublimação de Matriz e Isolamento como fonte de átomos e moléculas frias. Uma base de Mecânica Quântica e Mecânica Estatística é prevista.

O curso terá listas quinzenais, provas e um artigo (tamanho equivalente a meia PRL, ou 4 páginas) de fim-de-curso com respectivo seminário de 1/2 hora.

Programa Previsto:

1. Matriz ABCD: propagação de feixe gaussiano; caracterização de feixe.
 2. Interferômetro de Fabry-Perot (FPI): modos transversos e acoplamento espacial; modos longitudinais e ressonâncias; técnicas de geração de sinal de erro: banda da ressonância, FM: Pound-Drever-Hall, Hänsch-Cuillaud.
 3. Prática: - caracterização de feixe gaussiano; - acoplamento em FPI; - travamento de laser ao FPI.
 4. Panorâmica; Ressonância Clássica; Ressonância de Spin Clássica e Quântica.
 5. Método de Ramsey (campos oscilatórios separados e interferômetros)
 6. Interação da Radiação com sistema de 2-níveis; espectroscopia a laser.
 7. Resfriamento de átomos.
 8. Armadilhas de Átomos e Íons.
 9. Prática: - armazenamento de íons.
 - 10: Estudo individual: em vistas ao artigo/seminário; - Panorama de Ótica Não Linear; - Técnicas de Espectroscopia de Alta Resolução, Lasers; - Força do Fóton e Resfriamento a Laser; - Armadilha Magneto-Ótica; Armadilha Ótica de Dipolo; - Estrutura Fina, Hiperfina, Armadilha Magnética; - Resfriamento por gás buffer; Resfriamento por Matriz de Isolamento; Resfriamento por Evaporação Forçada; - Armadilha para partículas carregadas: Penning, aprisionamento de íons, pósitrons, antiprótons e Hbar; Armadilha de Paul; - Metrologia com átomos frios: relógios, sensores; testes de Física fundamental: variação de constantes fundamentais, violação de P, CP e CPT, QCD: hidrogênio muônico, Princípio de Equivalência
- Refs: A.Yariv, Quantum Electronics; Demtröder, Laser Spectroscopy; Metcalf and van der Straten, Laser Cooling and Trapping;

TÓPICOS DE FÍSICA TEÓRICA A (FIW838)

Título: Técnicas para o cálculo de propagadores de Feynman e funções de Green

Professor: *Carlos Farina*
Instituto de Física, 1º semestre de 2024

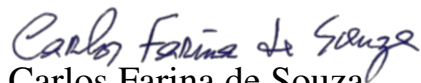
Prezado Coordenador da Pós-Graduação,

Apresento, aqui, a minha solicitação para ministrar um curso de Tópicos na pós-graduação de nosso instituto no primeiro período de 2024. Trata-se de um curso que tem como um de seus principais objetivos ensinar técnicas de cálculo muito úteis em algumas áreas de física teórica, como por exemplo, teoria quântica de campos e óptica quântica, entre outras, mas analisando problemas relativamente simples de mecânica quântica não relativística, mecânica estatística ou mesmo mecânica quântica relativística. O curso está dividido em vários módulos, cada um deles tratando de um tema específico. Embora os módulos não sejam totalmente independentes entre si, serão apresentados da forma mais auto-suficiente possível.

Esse curso pode ser acompanhado por estudantes que estejam no final da graduação, desde que já tenham feito Mecânica Quântica II e Eletromagnetismo II. Cada estudante deverá apresentar um seminário no final do curso assim como fazer pequenas apresentações sobre artigos durante o curso.

A avaliação de cada estudante será baseada nessas apresentações e em sua participação em sala de aula. A seguir, descrevo de uma forma resumida, os tópicos a serem abordados ao longo do curso.

Atenciosamente,


Carlos Farina de Souza

EMENTA

1 Introdução

- operador de evolução temporal para hamiltonianos independentes do tempo;
- relação de Baker-Campbell-Hausdorff (BCH) e o operador de evolução temporal para hamiltonianos dependentes do tempo;
- definição e propriedades básicas do propagador de Feynman;
- representação espectral; relação com a função de partição; a função de Green de energia;
- exemplos introdutórios: partícula livre, oscilador harmônico, partícula carregada em campo magnético externo;
- método das imagens: partícula próxima a uma parede impenetrável, partícula dentro de uma caixa de paredes impenetráveis com condições de contorno de Dirichlet e Neumann.

2 Método de Schwinger

Trata-se de um método operatorial elegante e conveniente em muitos casos, como por exemplo no cálculo de funções de Green de partículas carregadas na presença de campos externos.

- Equações básicas do método de Schwinger;
- exemplos introdutórios: partícula livre, oscilador harmônico unidimensional e partícula carregada na presença de um campo magnético constante e uniforme;
- oscilador harmônico carregado na presença de um campo magnético uniforme;
- oscilador harmônico com frequência variável.

3 Introdução ao método algébrico

Trata-se de um método operatorial no qual se utiliza extensivamente relações tipo BCH para se fatorar convenientemente os operadores de evolução temporal dos sistemas em estudo.

- Introdução e idéias básicas do método;
- grupos, grupos de Lie e álgebras de Lie;

- exemplos introdutórios: partícula sujeita a uma força constante; oscilador harmônico unidimensional;
- oscilador harmônico unidimensional revisitado;
- evolução temporal de um oscilador harmônico na presença de uma força dependente do tempo arbitrária e estados coerentes;
- evolução temporal de um oscilador harmônico com frequência variável e estados comprimidos. Exemplo introdutório: caso em que a frequência inicial do OH muda abruptamente de ω_0 para ω_1 e depois de um intervalo de tempo finito retorna ao valor inicial.
- Apêndice: uma fórmula tipo BCH para a álgebra $so(2,1)$.

4 Método algébrico: procedimento sistemático e elaborações

- Os geradores da álgebra $so(2,1)$ e potenciais unidimensionais;
- a construção da função de Green;
- funções de onda e espectro de potenciais unidimensionais; exemplos: oscilador harmônico no semi-eixo, oscilador harmônico no eixo real, oscilador harmônico no semi-eixo positivo com barreira centrífuga; potencial coulombiano no semi-eixo;
- problemas bidimensionais com simetria axial: oscilador harmônico bidimensional e o potencial coulombiano bidimensional;
- problemas tridimensionais com simetria esférica: oscilador harmônico isotrópico e o potencial coulombiano.

5 Integrais de caminho

- Introdução ao método de Feynman;
- equivalência entre os formalismos de Feynman e de Schrödinger;
- exemplos introdutórios: partícula livre e o oscilador unidimensional no semi-eixo e no eixo real;
- oscilador harmônico unidimensional com barreira centrífuga;
- o caminho inverso e a fórmula de Trotter;
- método de Schwinger e a integral de Feynman

- interação eletromagnética: procedimento padrão (equivalência com a equação de Schrödinger), regra do ponto médio via método de Schwinger;
- aproximação semiclássica e aplicações (oscilador harmônico forçado, oscilador harmônico com frequência variável, partícula carregada em campo externo, ...);
- O método WKB e a aproximação semiclássica;
- Expansão perturbativa para o propagador e regras de Feynman, aplicações;
- Elementos de matriz e o funcional gerador no caso não-relativístico de um oscilador harmônico.

6 Funções de Green relativísticas

Nesta seção, aplicaremos os métodos expostos anteriormente a problemas envolvendo partículas carregadas relativísticas de spin 0 ou spin 1/2 na presença de campos eletromagnéticos externos.

- Equações relativísticas: a equação de Klein-Gordon e a equação de Dirac;
- cálculo de funções de Green relativísticas pelo método de Schwinger;
- cálculo de funções de Green relativísticas pelo método algébrico;
- cálculo de funções de Green relativísticas via integrais de caminho;
- limite não-relativístico da função de Green de uma partícula livre.

7 Método da função zeta generalizada

- Introdução: determinantes em física (o fator pré-exponencial de propagadores semiclássicos, a função de partição de um oscilador harmônico, a amplitude de persistência no vácuo na presença de um campo externo e o efeito Casimir)
- alguns métodos para se calcular o determinante de um operador diferencial:
 - cálculo direto (produtório infinito), exemplos;
 - método do tempo próprio de Schwinger, exemplos: funções de partição de um oscilador bosônico e de um oscilador fermiônico;
 - cálculo via função de Green, exemplos: cálculo de funções de partição variadas e cálculo da energia de Casimir;
- O método de regularização da função zeta generalizada:

- prescrição da função zeta generalizada;
- aplicações: cálculo da função de partição do oscilador harmônico e da energia de Casimir (com diferentes condições de contorno tanto a temperatura zero quanto a temperatura finita);
- Comentários finais: breve discussão sobre prolongamento analítico no plano complexo, extensões analíticas das funções zeta de Riemann e de Epstein, equivalência entre o método da zeta e o método do tempo próprio de Schwinger.

8 Aplicações variadas

Os tópicos listados abaixo, juntamente com outros tópicos a serem sugeridos durante o curso, serão propostos à turma como possíveis temas de seminários.

- Funções de Green no espaço dos momentos. Aplicação: átomo de Hidrogênio;
- integrais de caminho em teoria quântica de campos: o funcional gerador das funções de Green, o funcional gerador das funções de Green conexas e a ação efetiva (funcional gerador das funções de Green irreduzíveis a uma partícula);
- método de tempo próprio de Schwinger para ações efetivas em Eletrodinâmica Quântica e o cálculo da taxa de criação de pares elétron-pósitron por campo elétrico externo;
- cálculo da anomalia axial por integração funcional (método de Fujikawa);
- soluções de modelos bidimensionais por integrais de caminho: modelo de Schwinger (EDQ em 1+1 dimensões com férmions de massa nula), modelo de Thirring e modelo axial, entre outros.

Referências

- [1] C. Farina, A.N. Vaidya e H. Boschi Filho, *Técnicas de cálculo de propagadores de Feynman e funções de Green*, notas de aula, Instituto de Física, UFRJ.
- [2] P.A.M. Dirac, *Physik. Zeits. Sowjetunion* **3** (1933), 64.
- [3] R.P. Feynman, *Rev. Mod. Phys.* **20** (1948), 367.
- [4] R.P. Feynman e A.R. Hibbs, *Quantum Mechanics and Path Integrals* (McGraw-Hill, New York, 1965).
- [5] L.S. Schulman, *Techniques and Applications of Path Integration* (John Wiley and Sons, New York, 1981).
- [6] D.C. Khandekar, S.V. Lawande e K.V. Bhaqwat, *Path-Integral Methods and their Applications* (World Scientific, Singapore, 1993).
- [7] A. Inomata, H. Kuratsuji e C.C. Gerry *Path Integral and Coherent States of SU(2) and SU(1,1)* (World Scientific, Singapore, 1992).
- [8] H. Kleinert, *Path Integral in Quantum Mechanics Statistics and Polymer Physics* (World Scientific, New Jersey, 1995).
- [9] A. Das *Field Theory: A Path Integral Approach* (Univ. of Rochester, New York).
- [10] R. Rivers, *Path Integral Methods in Quantum Field Theory* (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1987).
- [11] C. Farina, M.B. Hott e A.S. Dutra, *Am. J. Phys.* **54** (1986) 377-378, *Zassenhaus Formula and the Propagator of a Particle Moving under the Action of a Constant Force*.
- [12] A.N. Vaidya, C. Farina e M.B. Hott, *J. Phys.* **A21** (1988) 2239-2247, *Algebraic calculation of the Green Function for a Spinless Charged Particle in an External Plane Wave Electromagnetic Field*.
- [13] C. Farina e A. Segui-Santonja, *Phys. Lett.* **A184** (1994) 23-28, *Schwinger's Method for a Harmonic Oscillator with a time-dependent frequency*.
- [14] F.A. Barone e C. Farina, *Am. J. Phys.* **69** (2001) 232-235, *The zeta-function method and the harmonic oscillator propagator*.
- [15] F. Barone e C. Farina, *Am. J. Phys.* **69**, (2001) 505-507, *Path integral and the induction law*.
- [16] F.A. Barone, H. Boschi-Filho e C. Farina, *Am. J. Phys.* **71** (2003) 483-491, *Three methods for calculating the Feynman Propagator*.