

CLASS/HI-CLASS como uma ferramenta de trabalho e ensino de cosmologia e programação

Cristiane Fontana

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas

Resumo

Resumo do pôster apresentado na segunda edição do evento As Astrocientistas, realizado entre os dias 7 e 10 de fevereiro 2023.

Abstract

Summary of the poster presented in the second edition of the As Astrocientistas event, held between 7 and 10 February 2023.

Palavras-chave: cosmologia, CLASS, radiação cósmica de fundo

Keywords: cosmology, CLASS, cosmic microwave background

DOI: [10.47456/Cad.Astro.v5nEspecial.44993](https://doi.org/10.47456/Cad.Astro.v5nEspecial.44993)

1 Discussão

A cosmologia é o estudo da origem, composição, estrutura e evolução do Universo. Este estudo se dá através da aplicação da Física já estabelecida e da coleta de dados disponíveis para caracterizar a estrutura cosmológica. Para descrever o Universo, necessita-se inferir sua composição, sua configuração inicial e os processos que afetam a evolução desse estado. A composição do Universo parece ser essencialmente matéria (escura e bariônica), radiação e energia escura. A era da inflação criou as pequenas perturbações que hoje evoluíram para formar galáxias, aglomerados de galáxias e a estrutura de larga escala que vemos. Unidos de uma Teoria da Gravitação e da Mecânica Estatística, é possível obter previsões para diferentes modelos de universos e diferentes configurações iniciais. As contas que necessitamos resolver para obter essas previsões são sistemas de equações diferenciais que muitas vezes não tem solução exata e necessitam de muitas operações. Para obter as evoluções das sobredensidades de matéria e a forma da radiação cósmica de fundo (CMB), foram criados vários códigos de Boltzmann que integram as equações e até mesmo plotam os resultados.

Um desses códigos é o *Cosmic Linear Anisotropy Solving System* (CLASS) [1]. É extremamente robusto, rápido e preciso, possui passo de integração

adaptável e testes de viabilidade cosmológica já implementados. O CLASS computa o espectro da CMB e o espectro de potência da matéria através da evolução das perturbações advindas do Universo primordial, além de obter a evolução das quantidades usuais do fundo cosmológico, como a temperatura, as densidades das componentes e a função de Hubble. Possui versão com implementação de gravitação modificada via teoria de Horndeski [2]. Dentre as vantagens deste código está o fato de que é um código fácil de usar, flexível de modificar, rápido e preciso. Isto o torna uma ferramenta excelente tanto de pesquisa quanto de educação.

O uso científico desse código é reconhecido na comunidade acadêmica. O artigo em que este código foi apresentado possui mais de 1500 citações. Destaca-se a utilização do CLASS para obter o espectro de potência da matéria para diferentes parâmetros de *input*. Um outro uso é implementação de nova física através de equações adicionais e inclusão de novas componentes para o Universo. No entanto, propõe-se a popularização do CLASS no seu aspecto educacional. Sugerem-se 2 maneiras de inclusão deste código em cursos de cosmologia:

A facilidade de uso permite que o professor faça figuras personalizadas dos assuntos que deseja evidenciar. É possível visualizar diversos aspectos do modelo Λ CDM, como a diminuição de temperatura dos

fótons ao longo do tempo, a variação das densidades de energia das componentes e a previsão estatística do espectro de potência da matéria para diferentes valores da densidade fracional de matéria Ω_{m0} .

A forma explicativa e simplificada do arquivo de *input* também permite que um curso de Cosmologia seja montado de forma que os alunos interajam diretamente com o código. O professor inicialmente sugere que os alunos executem o código com os valores padrões da Cosmologia, e então propõe alguns diferentes cenários, como diferentes valores iniciais do parâmetro de Hubble h e universos contendo apenas radiação e matéria bariônica. Após, ele encoraja os estudantes a explorar com autonomia as possibilidades de *input* e as consequências das condições escolhidas, que se refletem na evolução do fundo cosmológico e na forma do espectro de potência da matéria. A tarefa dada aos alunos é a de escolher um tipo de mudança com relação aos valores padrões usados pelo CLASS no modelo cosmológico padrão e então analisar visualmente as diferenças nos gráficos que surgem das quantidades calculadas pelo código. Dentre as coisas que se pode escolher estão a presença ou não de neutrinos, a quantidade fracional de matéria bariônica e de matéria escura, o valor da constante cosmológica, o valor da constante de Hubble, etc. Espera-se que o aluno possa obter através dessa atividade uma intuição de como a Cosmologia é desenvolvida, expondo-os diretamente ao método científico, que envolve desde a proposição de ideias até o confronto com os dados experimentais. O aluno deve concluir que as diferentes hipóteses sobre a constituição e história do Universo geram diferentes previsões de quantidades que são testadas através de evidências experimentais.

Uma terceira ideia é a utilização do CLASS em cursos de Python para alunos de Cosmologia. Saber programar pode ser considerado essencial atualmente dentro da Cosmologia, e é uma habilidade que deve ser estimulada pelos professores da área. Existem já iniciativas no sentido de aliar conteúdos de interesse do aluno para introduzir temas de computação, como por exemplo o curso “Métodos para Análise de grande volume de dados e Astroinformática”, oferecido em 2022 pelo Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. O CLASS entra em iniciativas assim tanto como um provedor de dados como quanto um código que pode ser utilizado diretamente de Jupyter notebooks, contribuindo para a experiência do aluno com a linguagem Python.

Diante disso, conclui-se que o CLASS tem um grande potencial para ser usado como ferramenta educacional, contribuindo para partes essenciais da formação de um estudante de cosmologia. Sugere-se ao professor 3 formas de utilizar o CLASS em sala de aula, com diferentes focos e níveis de contato dos alunos com o programa em si. Em especial, propõe-se que o aluno seja estimulado a utilizar ele mesmo este programa, reforçando a autonomia do estudante na aprendizagem.

Sobre a autora

Cristiane Fontana é formada em física pela Universidade Federal de Santa Maria e Mestre em física pelo Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas.

Referências

- [1] D. Blas, J. Lesgourgues e T. Tram, *The Cosmic Linear Anisotropy Solving System (CLASS). Part II: Approximation schemes*, [Journal of Cosmology and Astroparticle Physics](#) **2011(07)**, 034 (2011).
- [2] M. Zumalacárregui et al., *hi_class: Horndeski in the Cosmic Linear Anisotropy Solving System*, [Journal of Cosmology and Astroparticle Physics](#) **2017(08)**, 019 (2017).