

Título em Português: ESTUDO DA MATÉRIA ESCURA A PARTIR DE SIMULAÇÕES DE N-CORPOS

Título em Inglês: STUDY OF DARK MATTER FROM N-BODY SIMULATIONS

Autor: Marcos Vinicius Tomás Olegario

Instituição: Universidade de São Paulo

Unidade: Instituto de Física de São Carlos

Orientador: Luiz Vitor de Souza Filho

Área de Pesquisa /
SubÁrea: Física das Partículas Elementares e Campos

Agência Financiadora: FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

ESTUDO DA MATÉRIA ESCURA A PARTIR DE SIMULAÇÕES DE N-CORPOS

Marcos Vinicius Tomás Olegario

Luiz Vitor de Souza Filho

Instituto de Física de São Carlos/Universidade de São Paulo

marcos.olegario@usp.br

Objetivos

A principal constituinte da parte massiva de nosso Universo é uma componente que não interage eletromagneticamente, denominada Matéria Escura. A sua principal interação em larga escala é a gravidade e as simulações de n-corpos são uma abordagem fundamental utilizada em seu estudo. Em minha iniciação científica, tive como objetivos estudar os principais métodos para a solução numérica do problema gravitacional de n-corpos. Além disso, estudei as curvas de rotação de galáxias anãs, visando comparar as distribuições de matéria escura obtidas observacionalmente e através de simulações.

Métodos e Procedimentos

As simulações de n-corpos são uma abordagem numérica para resolver o chamado “problema de n-corpos”, que consiste em determinar a dinâmica de um sistema composto por n partículas massivas que interagem entre si. Em casos mais simples, utilizamos a lei da gravitação universal para determinar as acelerações de cada corpo e, a partir de métodos numéricos de integração, encontrar as posições em cada instante de tempo.

Inicialmente, o trabalho se deu através de uma pesquisa bibliográfica sobre os principais modelos de matéria escura e algoritmos

utilizados na resolução do problema. Após isso, o foco passou a ser a implementação de códigos que resolvessem os problemas de dois e três corpos interagindo gravitacionalmente, expandindo, em seguida, para um número qualquer de corpos.

Uma das principais dificuldades encontradas na pesquisa foi a otimização do tempo de execução dos códigos. Devido ao alto custo computacional deste tipo de simulação, decidimos utilizar o programa já otimizado GADGET-2, disponível na literatura para simulações cosmológicas de n-corpos. Com ele, realizamos uma simulação da estrutura em larga escala do Universo, visando extrair os halos de matéria escura formados ao fim do processo.

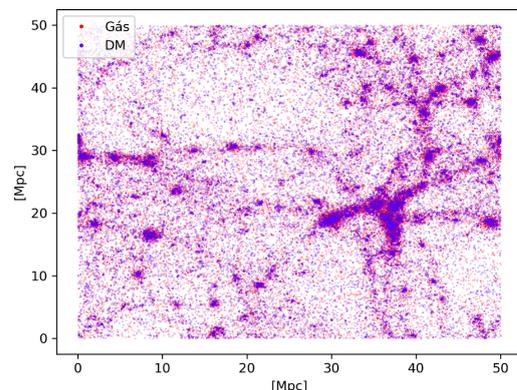


Figura 1: Resultado de uma simulação de baixa resolução da estrutura em larga escala do Universo com cosmologia Λ CDM.

O próximo trabalho realizado foi extrair as curvas de rotação de 19 galáxias anãs próximas — a partir dos campos de velocidade disponíveis no catálogo LITTLE THINGS —, comparando os resultados obtidos com os dados pela referência [2].

Resultados

Na Figura 2, evidenciamos a discrepância entre os tempos de execução do nosso código implementado e do programa GADGET-2.

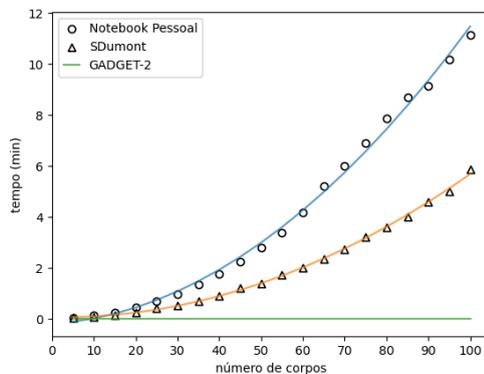


Figura 2: Simulação executada com o GADGET-2 em um computador pessoal e do código implementado na pesquisa executado no mesmo computador e no supercluster Santos Dumont.

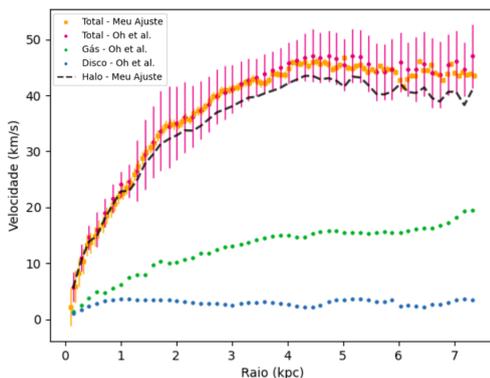


Figura 3: Curvas de rotação para a galáxia anã DDO 154. A linha tracejada representa a distribuição de velocidades em função do raio para o halo de matéria escura.

Além disso, utilizando a equação

$$V_{\text{total}}^2 = V_{\text{gas}}^2 + \Upsilon_{\star} V_{\star}^2 + V_{\text{halo}}^2 \quad (1)$$

determinamos as curvas de rotação dos halos de matéria escura para as galáxias do LITTLE THINGS, como mostrado na Figura 3 para a galáxia DDO 154.

Conclusões

Nesta iniciação científica, estudei o desenvolvimento da solução numérica do problema de n-corpos. Ademais, a partir do catálogo LITTLE THINGS extraí as curvas de rotação associadas aos halos de matéria escura de galáxias anãs. Os próximos passos que poderiam ser dados a este trabalho seriam a realização de simulações de maior resolução para extração de halos a serem comparados com os obtidos pelo catálogo.

Agradecimentos

À FAPESP pela concessão da bolsa de iniciação científica e pelo apoio financeiro desta pesquisa por meio do processo nº 2023/05909-9. Ao Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC) por fornecer os recursos computacionais do supercluster Santos Dumont que permitiram acrescentar ainda mais discussões e análises para este trabalho.

Referências

- [1] MARCOMINI, J. A. Estudo da possibilidade de detecção da matéria escura com telescópios Cherenkov. Universidade de São Paulo, 2015.
- [2] Se-Heon Oh et al. 2015. AJ, v. 149, p. 180.

STUDY OF DARK MATTER FROM N-BODY SIMULATIONS

Marcos Vinicius Tomás Olegario

Luiz Vitor de Souza Filho

São Carlos Institute of Physics/University of São Paulo

marcos.olegario@usp.br

Objectives

The main constituent of the massive part of our Universe is a component that does not interact electromagnetically, called Dark Matter. Its primary large-scale interaction is gravity, and N-body simulations are a fundamental approach used in its study. In my undergraduate scientific research, my objectives were to study the main methods for the numerical solution of the N-body gravitational problem. Additionally, I studied the rotation curves of dwarf galaxies, aiming to compare the dark matter distributions obtained observationally and through simulations.

Materials and Methods

N-body simulations are a numerical approach to solving the so-called "N-body problem," which consists of determining the dynamics of a system composed of n massive particles interacting with each other. In simpler cases, we use the law of universal gravitation to determine the accelerations of each body and, through numerical integration methods, find their positions at each point in time.

Initially, the work involved a literature review of the main dark matter models and algorithms used to solve the problem. After that, the focus shifted to implementing codes that solve the two- and three-body gravitational interaction problems, later expanding to an arbitrary number of bodies.

One of the main challenges encountered in the research was optimizing the execution time of the codes. Due to the high computational cost of this type of simulation, we decided to use the already optimized program GADGET-2, available in the literature for cosmological N-body simulations. With it, we performed a simulation of the large-scale structure of the Universe, aiming to extract the dark matter halos formed at the end of the process.

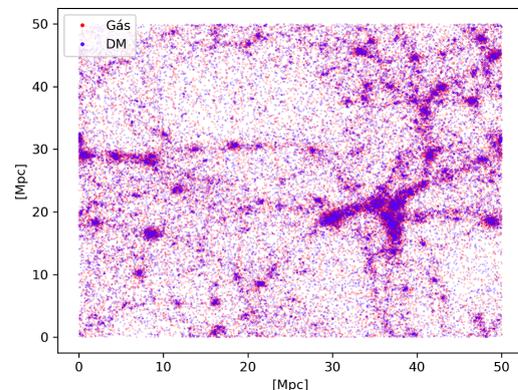


Figure 1: Result of a low-resolution simulation of the large-scale structure of the Universe with Λ CDM cosmology.

The next task involved extracting the rotation curves of 19 nearby dwarf galaxies — from the velocity fields available in the LITTLE THINGS catalog — and comparing the obtained results with the data from reference [2].

Results

In Figure 2, we highlight the discrepancy between the execution times of our implemented code and the GADGET-2 program.

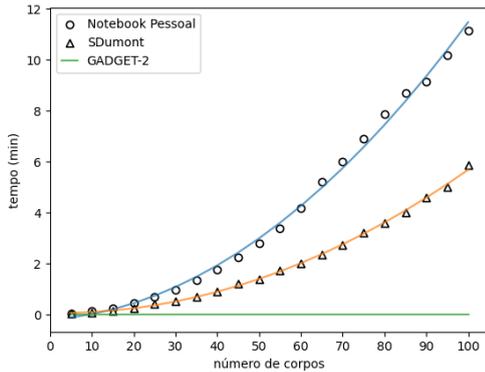


Figure 2: Simulation run with GADGET-2 on a personal computer, and the code implemented in the research executed on the same computer and on the Santos Dumont supercluster.

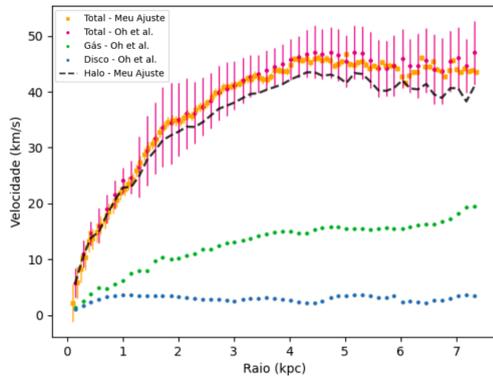


Figure 3: Rotation curves for the dwarf galaxy DDO 154. The dashed line represents the velocity distribution as a function of radius for the dark matter halo.

In addition, using the equation

$$V_{\text{total}}^2 = V_{\text{gas}}^2 + \Upsilon_{\star} V_{\star}^2 + V_{\text{halo}}^2 \quad (1)$$

we determined the rotation curves of the dark matter halos for the galaxies from the LITTLE THINGS catalog, as shown in Figure 3 for the galaxy DDO 154.

Conclusions

In this undergraduate scientific research, I studied the development of the numerical solution to the N-body problem. Additionally, using the LITTLE THINGS catalog, I extracted the rotation curves associated with the dark matter halos of dwarf galaxies. The next steps that could be taken in this work would be to conduct higher-resolution simulations to extract halos and compare them with those obtained from the catalog.

Acknowledgements

To FAPESP for granting the undergraduate scientific research scholarship and for the financial support of this research through process No. 2023/05909-9. To the National Laboratory for Scientific Computing (LNCC) for providing the computational resources of the Santos Dumont supercluster, which allowed for further discussions and analyses in this work.

References

- [1] MARCOMINI, J. A. Estudo da possibilidade de detecção da matéria escura com telescópios Cherenkov. Universidade de São Paulo, 2015.
- [2] Se-Heon Oh et al. 2015. AJ, v. 149, p. 180.