

A matéria escura e os buracos negros primordiais

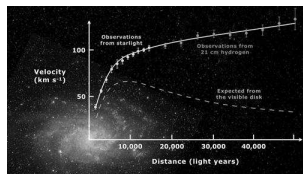


Figura 1 – Legenda: Na foto, a galáxia espiral M33, distante cerca de 2,4 milhões de anos-luz da Terra (1 ano-luz é igual a 63.241 vezes a distância Terra-Sol). Superposto à foto, temos o diagrama velocidade das estrelas (em km/s) versus distância (em anos-luz). Em amarelo (medidas feitas no visível) e azul (medidas feitas em ondas de rádio de 21 cm, emitidas pelo hidrogênio neutro), os valores experimentais com suas respectivas barras de erros. A linha branca contínua é a curva que interpola esses dados experimentais. A linha tracejada branca é a velocidade estimada (levando-se em conta apenas a massa ‘visível’) (Crédito: Mario de Leo)

***Por: Prof. Roberto N. Onody**

A existência de matéria escura no universo é uma imposição das observações astronômicas feitas nos séculos XX e XXI.

A primeira indicação da existência de matéria escura veio quando se mediu as velocidades de boa parte das estrelas que compõem uma galáxia. Numa galáxia, as estrelas orbitam em torno de um centro que contém, geralmente, um buraco negro supermassivo. Quando as velocidades das estrelas foram medidas e plotadas contra as suas respectivas distâncias ao centro de rotação, constatou-se que, em vez delas *diminuírem com a distância* como esperado, elas estavam *aumentando com a distância* (veja Figura 1).

Outra comprovação experimental da existência da matéria escura, veio através do efeito denominado *lente gravitacional*, previsto pela Teoria da Relatividade Geral. A luz que sai de uma galáxia A em direção à Terra, é distorcida ao passar pelo forte campo gravitacional de outra galáxia intermediária B, formando várias imagens (arcos) da galáxia A (Figura 2). As estimativas astronômicas feitas para a massa ‘visível’ da galáxia B (responsável pela curvatura da luz oriunda de A), se revelaram incompatíveis do que aquelas previstas pela Relatividade Geral. Assim, a galáxia intermediária B deveria ter uma massa adicional, invisível, que passou a se chamar *matéria escura*.

E, finalmente, a medição da anisotropia da radiação cósmica de fundo (radiação no comprimento de micro-ondas), determinou que a abundância de matéria visível ou massa bariônica (prótons e nêutrons) é de somente 4% e da matéria escura 26%. O saldo restante, é chamado de *energia escura*. Esta última, compõe 70% de tudo que existe no nosso mundo, e é a responsável pela *expansão acelerada do universo*. A primeira constatação experimental dessa expansão acelerada, veio do baixo brilho observado em explosões de supernovas IA muito distantes [1]. Acredita-se hoje, que a energia escura está associada, de alguma forma, com a constante cosmológica introduzida originalmente por Einstein (e depois, abandonada) na equação da Relatividade Geral.

Mas, afinal, de que é feita a matéria escura?

A matéria escura não é feita de átomos e *não interage eletromagneticamente*. Sua interação com a matéria visível é, predominantemente, *gravitacional*. Experimentos recentes (2020) parecem indicar que a matéria escura não tem *interação forte* (nuclear) com os bárions. Entretanto, é possível que a matéria escura tenha *interação fraca* com prótons e nêutrons (veja ref. [2]).

A necessária existência da matéria escura, deu origem a inúmeras hipóteses sobre sua composição. As mais populares, propõem a existência de *novas partículas* como WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles), axions, supersimétricas, neutrinos estéreis, [3]..., porém, nenhuma delas teve (até agora) confirmação experimental comprovada e inquestionável.

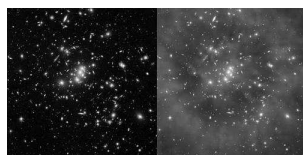


Figura 2 – À esquerda: imagem do aglomerado de galáxias Cl 0024+17, feita em luz visível pelo telescópio Hubble. Junto com as centenas de galáxias amarelas, estão presentes dezenas de estranhos arcos azuis, causados pelo efeito de lente gravitacional. À direita: a distribuição de matéria escura (representada pela névoa azul superposta) necessária para explicar as imagens distorcidas. (Crédito: NASA, ESA, M. J. Jee e H. Ford (Universidade de John Hopkins))

Naturalmente, é muito tentador pensar que a matéria escura poderia ser constituída por buracos negros. Os buracos negros (os que sabemos explicar e, até certo ponto, entender) se formam a partir do colapso gravitacional de estrelas com massa superior a dez vezes a massa solar. Se a matéria escura fosse composta por esses buracos negros, a quantidade de matéria escura estaria aumentando às custas da diminuição da matéria bariônica. Além disso, os buracos negros só poderiam ser criados depois da formação das primeiras estrelas do universo, suas progenitoras.

A primeira estrela deve ter brilhado entre 250 e 350 milhões de anos *após* o Big-Bang. A matéria escura já existia nos primeiros minutos do universo? Não sabemos. Há modelos que cogitam da sua existência até *antes do Big Bang!*? [4] O fato, é que a matéria escura é elusiva e, até aqui, tem-se mostrado *transparente* aos nossos equipamentos e experimentos.

Voltando à questão dos buracos negros, não podemos deixar de mencionar o fato de que nos centros das galáxias habitam os *buracos negros supermassivos*. Com milhões e, muitas vezes, bilhões de massas solares, perguntamos... Qual é a sua origem? Produto da coalescência de buracos negros estelares? Qual a escala de tempo necessária para formar esses monstros?

Talvez a resposta esteja numa hipótese formulada pelo físico Stephen Hawking em 1971. Flutuações quânticas, da enorme densidade de energia inicial que criou o nosso universo, poderiam levar à formação de pequenos buracos negros, os chamados – *buracos negros primordiais* (BNPs). Na sua proposta original, esses BNPs eram monocromáticos, ou, em outras palavras, tinham uma *única e pequena massa*. Assim, a matéria escura seria formada pelos BNPs e teria sido criada logo após o Big Bang. Dois argumentos solaparam essa ideia inicial: a incompatibilidade com os dados observacionais da radiação cósmica de fundo (no comprimento de micro-ondas) e a possível existência da radiação térmica de Hawking, que, com o tempo, *evaporaria* esses pequenos BNPs.

Na teoria do Big Bang, existe um intervalo de tempo que é denominado de *inflação*. A era da inflação começou imediatamente após a explosão e durou muito pouco tempo: de 10^{-36} a 10^{-33} segundos! Mas, teve um efeito gigantesco sobre o nosso universo, aumentando o comprimento linear do espaço por um fator de 10^{26} e, portanto, o seu volume por um fator de 10^{78} !

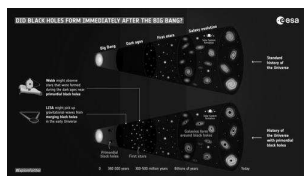


Figura 3 – Na parte superior da figura, a evolução temporal do nosso universo na teoria do Big Bang tradicional (sem BNPs); Na parte inferior da figura, a evolução temporal do nosso universo na teoria do Big Bang com BNPs 6 (Crédito: ESA)

Segundo um modelo [5] da Cromodinâmica Quântica, quando a temperatura do universo começou a diminuir (ficando abaixo de 10^{10} K), o plasma original composto de quarks e glúons passou por uma série de *transições de fase* que, eventualmente, criaram os BNPs.

Essas transições de fase começaram cerca de dois segundos após o fim da era da inflação. Segundo esse modelo [5], essas transições foram acompanhadas de flutuações quânticas que geraram um aumento da curvatura do espaço-tempo em algumas regiões e, nelas, os BNPs. O caráter estocástico dessas flutuações, permitiria a formação de BNPs com massas de vários tamanhos.

Mais detalhadamente, as transições de fase que criaram os bósons Z, W^+ e W^- , os bárions (prótons e nêutrons pela união ou o confinamento de três quarks), os pions (pela fusão de dois quarks) e a aniquilação de elétrons e pósitrons, estiveram acompanhadas de flutuações quânticas da curvatura do espaço-tempo que teriam dado origem a BNPs com massa planetária, massa solar; dezenas de massas solares e milhões ou bilhões de massas solares, respectivamente.

Foi nesse cenário, com os BNPs tendo uma enorme variedade de massas e sendo criados logo após a era da inflação, que três astrônomos Cappelluti, Hasinger e Natarajan [6], propuseram um modelo simples que descarta a necessidade de se recorrer a um zoológico de novas partículas.



Figura 4 – Imagem feita pelo Telescópio James Webb em 16/03/2022, mostrando no seu centro a estrela 2MASS J17554042+6551277 e um conjunto de estrelas e galáxias. O espelho primário do telescópio tem 6,5 metros de diâmetro. Ele é composto por 18 hexágonos de berílio que foram alinhados no espaço para produzir essa imagem. O telescópio opera na região do infravermelho e, em

breve, trará informações fundamentais sobre o universo recém nascido (ou seja, distante), suas galáxias, estrelas, buracos negros e exoplanetas (Crédito: NASA)

Comparando, cuidadosamente, com os dados observacionais disponíveis, eles afirmaram que o modelo se ajusta a todos eles. A conclusão dos autores, é que a *matéria escura é feita de buracos negros primordiais*.

Uma vez que o modelo proposto descreve a evolução do nosso universo desde a sua criação até os dias de hoje, podemos comparar seus resultados aos do Big Bang tradicional.

Na Figura 3, vemos que o modelo com BNPs *antecipa*, em dezenas de milhões de anos, a formação de estrelas no universo. Elas teriam se formado quando o universo era mais jovem. Essa previsão, poderá, em breve, ser corroborada ou não, pelo telescópio James Webb (Figura 4). Lançado pela NASA no Natal do ano passado, ele trará informações precisas sobre a época em que se formaram as primeiras estrelas do universo.

Ainda na Figura 3, vemos uma região onde as estrelas ainda não existiam, mas, os BNPs já estariam presentes. Se isso for correto, as ondas gravitacionais resultantes das colisões desses BNPs, poderão ser detectadas pelo futuro satélite espacial LISA (Laser Interferometer Space Antenna) que está sendo projetado pela ESA (Europe Space Agency).

Ainda, seguindo na mesma linha do que descrevemos acima, acabou de sair um artigo no Physical Review Letters [Z] que propõe um modelo de transição de fase de primeira ordem, que resulta na formação de buracos negros supermassivos primordiais. Que novos resultados de observações astronômicas venham lançar luz sobre esses objetos fascinantes – os buracos negros.

*Físico, Professor Sênior do IFSC – USP

e-mail: onody@ifsc.usp.br

Para acessar *todo* o conteúdo do site “Notícias de Ciência e Tecnologia” dirija a câmera do celular para o QR Code abaixo



Compartilhe o artigo



(Agradecimento: ao Sr. Rui Sintra da Assessoria de Comunicação)

Referências:

[1] <https://ned.ipac.caltech.edu/level5/Sept17/Freese/Freese3.html>

[2] <https://www2.ifsc.usp.br/portal-ifsc/um-misterio-qual-e-o-tempo-de-vida-do-neutron/>

[3] https://en.wikipedia.org/wiki/Dark_matter

[4] T. Tenkanen, Phys. Rev. Lett. 123, 061302 (2019)

<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.123.061302>

[5] Carr *et al.* <https://doi.org/10.1093/mnras/staa3726>

[6] Cappelluti *et al.* <https://arxiv.org/pdf/2109.08701.pdf>

aceito para publicação no The Astrophysical Journal (2022)

[7] Davoudiasl *et al.* [Supermassive Black Holes, Ultralight Dark Matter, and Gravitational Waves from a First Order Phase Transition \(aps.org\)](#)

Assessoria de Comunicação – IFSC/USP

Compartilhe!

