

## Buracos Negros Primordiais de massa estelar

José Laurindo Sobrinho

*Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia – Departamento de Matemática, Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira, sobrinho@uma.pt*

**Palavras-chave:** Cosmologia, Universo Primordial, Buracos Negros.

**Resumo:** Os buracos negros (BNs) são objetos previstos pelas Leis da Física. São atualmente conhecidos diversos processos pelos quais se podem formar BNs (e.g. colapso gravitacional de uma estrela na fase final da sua vida ou colapso gravitacional da região central de uma galáxia). Nos instantes iniciais do Universo também podem ter estado reunidas as condições favoráveis à formação de BNs das mais variadas massas. Estes BNs, designados de primordiais (BNPs), podem ter-se formado a partir do colapso gravitacional de flutuações locais de densidade, desde que a amplitude dessas flutuações fosse superior a um determinado valor  $\delta_c$ .

Assumindo para as flutuações de densidade primordiais uma distribuição normal, o principal problema ao determinar a fração do Universo que se converte em BNPs numa dada época, passa por conhecer a *variância da massa*,  $\sigma(k)$ , para essa mesma época ( $k$  representa a escala do Universo num dado instante). Embora a função  $\sigma(k)$  seja atualmente desconhecida, se atendermos a que a força da gravidade não tem uma escala característica então, podemos postular que as flutuações devem obedecer a uma lei da potência,  $k^n$ , onde  $n$  é um parâmetro usualmente designado por *índice espectral*. O valor de  $n$  observado no Universo atual é muito próximo da unidade. Contudo, a produção em números relevantes de BNPs requer que na época em questão seja  $n > 1$ , ou seja, teria de ser  $n = n(k)$ . Esta ideia ganhou força com observações relativamente recentes as quais permitiram medir a variação do valor de  $n$  em função da variação do valor do  $k$ .

No trabalho em desenvolvimento estamos particularmente interessados na formação de BNPs com massas entre  $\approx 0.1M_\odot$  (0.1 massas solares) e  $\approx 100M_\odot$  (i.e. BNPs de massa estelar) os quais podem ter-se formado quando o Universo tinha uma idade compreendida entre  $\sim 10^{-6}$  s e  $\sim 10^{-3}$  s. Nesta época o Universo é dominado pela radiação (i.e. todas as partículas deslocam-se com velocidade da ordem da velocidade da luz) sendo, nesse caso,  $\delta_c \approx 0.43$ . Contudo, quando a idade do Universo rondava os  $10^{-4}$  s ocorreu a chamada mudança de fase da *Cromodinâmica Quântica* (QCD) no decurso da qual quarks e glúons juntaram-se para formarem os primeiros neutrões e prótons. Durante esta mudança de fase o valor de  $\delta_c$  sofre um decréscimo favorecendo, assim, a eventual produção de BNPs. Na falta de um modelo concreto e consensual para determinar a variação do  $\delta_c$  durante a QCD, recorremos a três modelos com diferentes graus de influência: *Bag Model* (variação mais acentuada), *Lattice Fit Model* e *Crossover Model* (variação mais suave).

Quanto ao índice espectral  $n$  consideramos uma expansão em série, com os coeficientes  $n_0$ ,  $n_1$  e  $n_2$  a assumirem os valores medidos recentemente no âmbito da missão *Planck*. Como os restantes coeficientes são atualmente desconhecidos optamos por trabalhar no plano  $(n_3, n_4)$ , considerando  $n_i = 0$  para  $i \geq 5$ . O objetivo central deste estudo será o de encontrar valores de  $n_3$  e  $n_4$  que conduzam a resultados satisfatórios quanto à produção de BNPs de massa estelar tendo também em conta os diferentes modelos para a mudança de fase da QCD.

Muitos dos estudos realizados nos últimos anos sobre a formação de BNPs consideravam um valor de  $\delta_c$  fixo e/ou um valor de  $n$  fixo. Pretende-se com o nosso trabalho mostrar que conciliando um  $\delta_c$  variável durante a QCD com um índice espectral  $n$  também ele variável podemos obter cenários eventualmente mais interessantes e mais concordantes com a observação em relação à produção de BNPs de massa estelar.

## Referências

- [1] Sobrinho, J.L.G., Augusto, P. e Gonçalves, A.L. (2016). New thresholds for primordial black hole formation during the QCD phase transition. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 463, pp. 2348–2357.
- [2] Sobrinho, J.L.G. e Augusto, P. (2014). Direct detection of black holes via electromagnetic radiation. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 441, pp. 2878–2884.
- [3] Sobrinho, J.L.G. (2011). PhD Thesis, Universidade da Madeira available at: <http://hdl.handle.net/10400.13/235>.
- [4] Sobrinho, J.L.G. (2016). Estudo da variação do  $\delta_c$  durante a QCD. *Workshop Matemática na UMa - Celebração do 60.º Aniversário da Professora Rita Vasconcelos, Universidade da Madeira, 13-06-2016*.