

# Universo em expansão... ou não?

Domingos Soares

20 de setembro de 2017

## Resumo

O Modelo Padrão da Cosmologia é caracterizado por uma singular propriedade: o universo está se expandindo. Mostrarei que esta não é necessariamente uma característica do universo real, ou em outras palavras, que a expansão do universo real não foi definitivamente estabelecida.

## 1 Introdução

Quando um astrônomo obtém um espectro da radiação emitida por uma estrela, uma galáxia ou outro objeto celeste qualquer, ele observará que a posição das linhas espectrais características dos elementos químicos presentes no objeto observado não “caem” nas posições esperadas. O espectro estará afetado por um fenômeno físico denominado *efeito Doppler*, nome dado em homenagem ao físico austríaco Christian Andreas Doppler (1803-1853) que o descobriu.

O desvio, ou deslocamento, Doppler é um efeito que ocorre quando uma fonte de radiação e o observador se movem um em relação ao outro. O comprimento de onda observado será diferente do comprimento de onda da radiação — sonora ou eletromagnética — emitida.

O caso que nos interessa é o de uma fonte de radiação eletromagnética — uma estrela ou uma galáxia — que se move com velocidade  $v$ , aproximando-se ou afastando-se do observador. Neste caso, se a fonte emite uma radiação cujo comprimento de onda medido em laboratório, i.e., com  $v = 0$ , é  $\lambda_o$ , então o observador detectará um comprimento de onda  $\lambda$ . Se a fonte estiver se afastando ( $v > 0$ ),  $\lambda$  será *maior* do que  $\lambda_o$ , ou seja,  $\lambda_o$  estará desviado,

ou deslocado, na direção do vermelho, no caso de um espectro visível. Em caso contrário ( $v < 0$ , fonte se aproximando),  $\lambda_o$  será observado com um comprimento de onda *menor*, portanto, desviado na direção do azul. O desvio espectral relativo  $(\lambda - \lambda_o)/\lambda_o$  é dado por:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_o} = \frac{v}{c},$$

onde  $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_o$ ,  $v$  é a velocidade da fonte e  $c$  é a velocidade da luz no vácuo ( $v \ll c$ ). Em geral, especialmente em cosmologia, representa-se o desvio Doppler relativo  $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_o$  pela letra  $z$ . O efeito Doppler pode ser então escrito simplesmente como  $z = v/c$ , ou

$$v = zc.$$

Nas primeiras décadas do século XX as técnicas observacionais permitiram o registro dos espectros de inúmeras galáxias. A maioria delas apresentava um espectro com desvio para o vermelho. A figura abaixo mostra uma coleção delas selecionadas por Edwin Hubble (1889-1953).

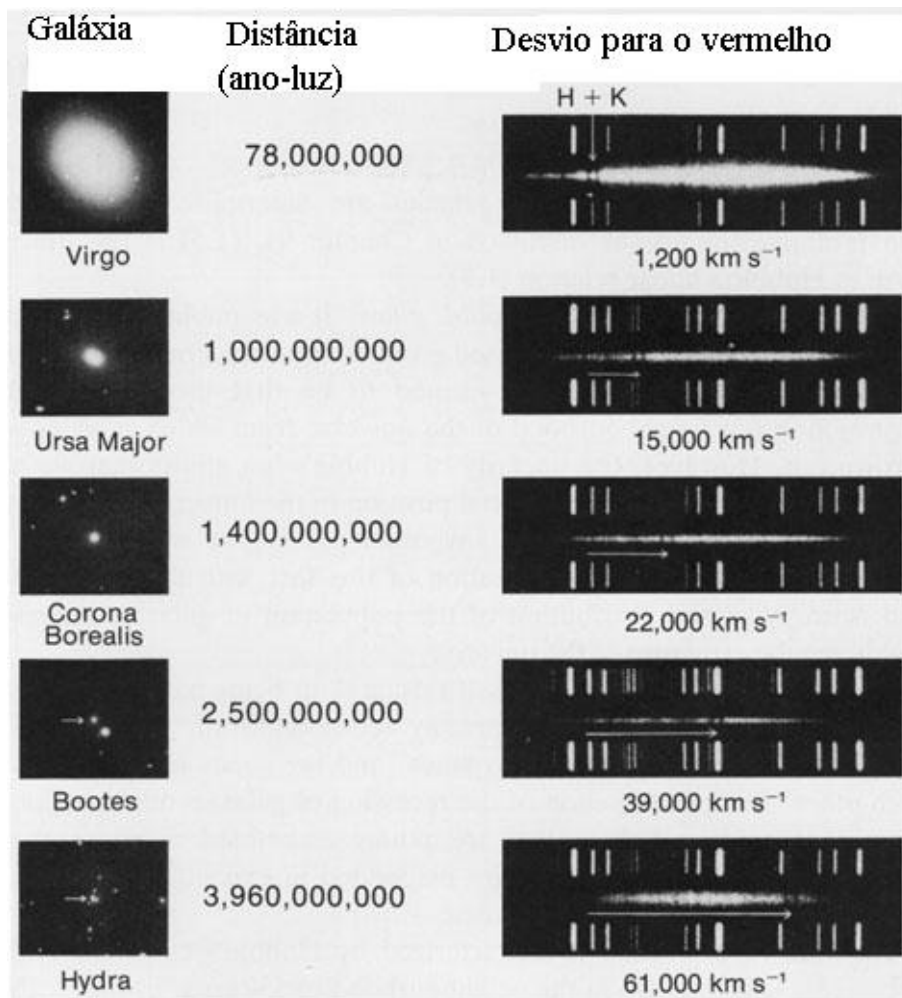


Figura 1: Desvios para o vermelho e distâncias para as galáxias mais brilhantes de aglomerados. As setas brancas na parte central dos espectros indicam os desvios para o vermelho das linhas de absorção H (396,8 nm) e K (393,4 nm) do elemento atômico cálcio. (Observatório Palomar, Estados Unidos, 1983).

A interpretação simplória destas observações é a de que o universo, representado pelas galáxias, está se expandindo, pois a maioria das galáxias apresenta um desvio para o vermelho (ver [1] para mais detalhes).

Mas, por que isto pode não ser verdadeiro? Por que o desvio para o vermelho de uma galáxia pode não indicar expansão? Porque, na verdade, o desvio

para o vermelho apresentado no espectro das galáxias **não é inteiramente devido ao efeito Doppler**, como mostro na próxima seção.

## 2 Qualificando os desvios espectrais

O desvio espectral apresentado na radiação emitida por uma galáxia, ou outro objeto qualquer, tem pelo menos três contribuições (mais detalhes em [2]). As contribuições possíveis, especificamente para o desvio para o vermelho  $z$ , são as seguintes.

- **desvio para o vermelho cosmológico:** presumivelmente causado, nas cosmologias relativistas, pela expansão do espaço cósmico, como estabelecido no Modelo Padrão da Cosmologia (MPC). Existem modelos relativistas em contração, e neste caso o desvio será para o azul; isto pode ocorrer, por exemplo, no modelo de Friedmann fechado.
- **desvio para o vermelho Doppler:** causado pelos movimentos intrínsecos das galáxias. Ele pode ser um desvio para o azul também. Aqui, devem ser considerados os movimentos tanto do emissor da radiação quanto do detector (o observador). Os movimentos do observador também devem ser removidos para se chegar ao desvio Doppler intrínseco das galáxias.
- **desvio para o vermelho gravitacional:** efeito relativista descoberto por Einstein, o qual ocorre quando a luz percorre um campo gravitacional variável, ou, na linguagem da Teoria da Relatividade Geral, um espaço-tempo curvo. Este é, em geral, o menor dos três. Ele pode ser um desvio para o azul também. A radiação sofre um desvio para o vermelho ao deixar a galáxia emissora e um desvio para o azul ao penetrar na Via Láctea e atingir o observador na Terra. Estes desvios são, em geral, desprezíveis frente aos outros dois.

Constitui uma tarefa complexa a separação dos três efeitos na luz observada, e considerações a respeito dos detalhes físicos do problema devem ser criteriosamente utilizadas. Para o universo local, a contaminação pelos outros desvios é mais severa, pois o desvio cosmológico é pequeno (para o caso do MPC, ver a seção *Expansão do universo local* de [2]).

De acordo com o MPC, o desvio para o vermelho cosmológico é interpretado como sendo devido à expansão do espaço. Surge daí a ideia do universo

em expansão. Então, esta *é uma característica do MPC* e não do universo real. Alternativamente o desvio cosmológico pode ser causado por um novo fenômeno da natureza.

Se o MPC não for válido, como parece ser o caso dado as exigências de matérias bariônica e não bariônica e energia escuras (ou seja, desconhecidas, não detectadas) para a sua validação (ver [3]), o  $z$  cosmológico pode ser devido a outros mecanismos físicos como, por exemplo, aqueles preconizados pelo *paradigma da luz cansada* [4].

### 3 Conclusão

O universo em expansão é uma combinação de uma teoria — o MPC — e um conjunto de observações astronômicas — os desvios para o vermelho. A expansão não é comprovada de forma *apenas* experimental. Um exemplo pode esclarecer esta afirmação.

Considere o radar Doppler usado pela polícia de trânsito. O aparelho emite uma onda eletromagnética na faixa de micro-ondas em direção a um carro que se movimenta à distância. A onda ricocheteia no carro e volta ao aparelho com uma frequência modificada pelo efeito Doppler, devido ao movimento do carro. O aparelho então fornece a velocidade do carro. A obtenção desta velocidade é o resultado, também, da combinação de teoria — efeito Doppler — e observação — a detecção da onda refletida no carro. Só que aqui este resultado pode ser conferido pela observação, independente, da velocidade do carro. Em outras palavras, pode se realizar um experimento controlado, onde se sabe a velocidade do carro e esta pode ser confrontada diretamente com a velocidade obtida pelo radar. Sabemos então que o radar realmente mede a velocidade inicialmente desconhecida de um carro e que esta medição é confiável.

Semelhantemente, no caso das galáxias precisamos ter um método, um teste independente para se confirmar a expansão. De fato, tais testes existem. O mais usado é o *teste ou efeito de Tolman*, criado pelo físico-matemático e cosmólogo estadunidense Richard Tolman (1881-1948), que foi, a propósito, grande amigo e colaborador científico de Edwin Hubble.

Um objeto qualquer que ocupa uma área extensa no céu, como uma galáxia, é caracterizado por uma grandeza denominada *brilho superficial*. Ela é dada pela razão entre o fluxo luminoso emitido pelo objeto e a sua área aparente no plano do céu. Estas duas propriedades podem ser medidas sem o

conhecimento da distância até o objeto. O teste de Tolman faz uma predição específica para os modelos relativistas do MPC: os brilhos superficiais das galáxias devem diminuir com  $(1+z)^4$  (seção 2 de [5]).

A aplicação do teste de Tolman tem sido até a atualidade inconclusiva: **não se pode afirmar se o universo está ou não em expansão**. Rocha [6] discute o efeito de Tolman, no contexto geral das controvérsias existentes no MPC, e Soares [5] discute um caso específico de aplicação do teste de Tolman.

## Referências

- [1] D. Soares, *UGE, Universo da Gominha Esticada* in *Tópicos em cosmologia relativista*, <https://www.researchgate.net/publication/338842995>, pp. 45-52 (2020).
- [2] D. Soares, *Universo relativista: expansão no espaço ou do espaço?* in *Tópicos em cosmologia relativista*, <https://www.researchgate.net/publication/338842995>, pp. 21-30 (2020).
- [3] D. Soares, *Joel Primack e a imagética da escuridão*, <http://lilith.fisica.ufmg.br/dsoares/wish/primack-img.htm> (2015).
- [4] D. Soares, *O paradigma da luz cansada revisitado* in *Tópicos em cosmologia relativista*, <https://www.researchgate.net/publication/338842995>, pp. 121-128 (2020).
- [5] D. Soares, *Sandage versus Hubble on the reality of the expanding universe*, <https://arxiv.org/abs/physics/0605098> (2006).
- [6] G.R. Rocha, *Controvérsias Científicas – O caso do modelo padrão da cosmologia*, Caderno de Física da UEFS v. 7, 65, <http://lilith.fisica.ufmg.br/dsoares/ensino/GustavoCosmo-controversias-2009.pdf> (2009).