

# A verdadeira grande mancada de Albert Einstein

Domingos Soares

14 de março de 2018

Albert Einstein (1879-1955) apresentou a versão final de sua teoria de gravitação, a Teoria da Relatividade Geral (TRG), em 1915. A TRG resolveu alguns problemas não solucionados pela teoria de gravitação de Isaac Newton (1642-1727). Em 1917 Einstein deu um passo ambicioso e genial: aplicou a TRG ao universo e criou o primeiro modelo cosmológico relativista, resolvendo as equações da TRG para o caso especial de um universo homogêneo e isotrópico. Supôs também que o universo era estático e para conseguir isto fez uma modificação nas equações originais da TRG. Acrescentou nelas uma constante, a chamada *constante cosmológica* (representada pela letra grega maiúscula  $\Lambda$ ), que tinha a função de contrabalançar os efeitos atrativos da matéria-energia do universo de modo a produzir um modelo estático.

Por volta de 1930 Einstein tomou conhecimento da lei dos desvios para o vermelho de galáxias distantes, resultante das observações de Edwin Hubble (1889-1953) e colegas. Esta lei, conhecida como *lei de Hubble*, ajusta-se bem a um universo dinâmico em expansão e, na época, parecia representar a exclusão definitiva da ideia de um universo estático. Por causa disto ele rejeitou a constante cosmológica classificando-a como a sua “maior mancada”.

Na realidade a inclusão de  $\Lambda$  nas equações aumentou de maneira substancial a aplicabilidade da TRG, sem causar problemas do ponto de vista formal. A sua *verdadeira grande mancada* foi propor um modelo que era claramente instável. O fato dele não ter percebido isto é que nos causa uma grande surpresa. Uma simples analogia newtoniana, que mostrarei abaixo, evidencia esta gravíssima falha. A minha interpretação, então, é que Einstein, como um mágico, desvia a atenção de sua verdadeira grande mancada criando a história da constante cosmológica, cuja rejeição não era apoiada

por importantes cosmólogos de sua época, tais como o estadunidense Richard Tolman (1881-1948), o inglês Arthur Eddington (1882-1944) e o belga Georges Lemaître (1894-1966), que compartilhavam da opinião de que  $\Lambda$  enriquecera a TRG e deveria ser mantida em sua formulação

Passemos agora à análise da estabilidade do modelo estático de Einstein. Primeiro mostro um sistema físico estável típico, o sistema massa-mola. A figura 1 ilustra este sistema.

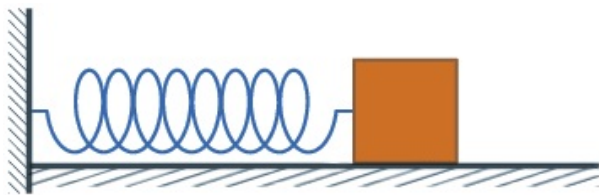


Figura 1: O sistema massa-mola é um sistema estável pois possui um ponto de equilíbrio estável (distensão da mola nula). Se o sistema sofre uma perturbação em torno do ponto de equilíbrio, ele tende a voltar para a posição de equilíbrio. Dizemos que o sistema está preso num *poço de energia potencial*. A força sobre a massa, fora do ponto de equilíbrio, é *atrativa*.

A energia potencial do sistema é dada pela energia potencial elástica da mola  $U_k = (1/2)kR^2$ , onde  $k$  é a constante elástica e  $R$  é a distensão da mola a partir da posição de equilíbrio  $R = 0$ , onde a mola não exerce força sobre a massa (figura 2). Se a massa é deslocada da posição de equilíbrio a força da mola faz com que ela volte para lá. O sistema massa-mola é, portanto, estável.

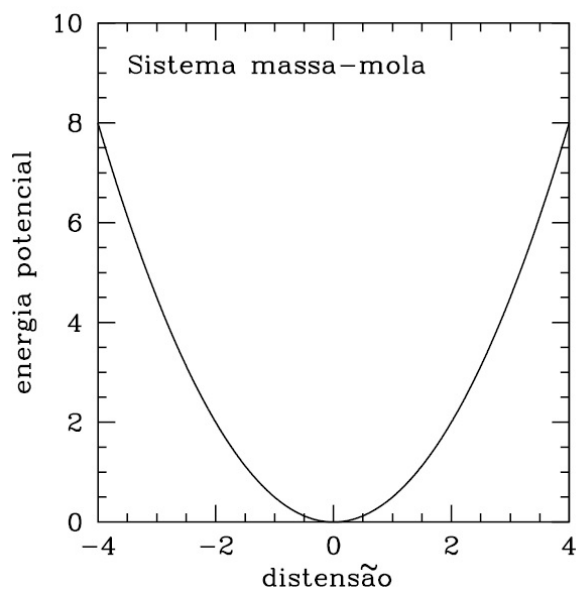


Figura 2: Poço de energia potencial do sistema mostrado na figura 1. O ponto de equilíbrio estável é o ponto de distensão nula. O sistema sofre uma força restauradora sempre que é perturbado para fora do equilíbrio.

Na TRG, o contínuo tetradimensional do espaço-tempo (3 coordenadas espaciais mais o tempo) é dotado de realidade física e constitui o chamado “tecido espaço-temporal”. A gravidade é descrita pela curvatura deste tecido. Einstein acrescentou um ingrediente adicional para obter o seu universo estático. Ele dotou este tecido da propriedade da elasticidade, quantificada pela constante cosmológica  $\Lambda$ , o que nos lembra a elasticidade de uma mola, esta quantificada pela constante elástica  $k$ . A diferença importante aqui é que a elasticidade do tecido cósmico é repulsiva enquanto que a elasticidade da mola é atrativa.

A energia potencial do modelo estático de Einstein possui duas componentes. Uma componente gravitacional com origem nas forças gravitacionais entre as várias partes do sistema, que são forças atrativas, e uma componente “elástica” modelada como a repulsão cosmológica elástica mencionada acima. Sendo  $R$  o fator de escala espacial do universo, a energia gravitacional será representada por  $-1/R$  e a energia potencial elástica repulsiva por  $-(1/2)R^2$ . A energia potencial total do modelo de Einstein é então

$U_E = -1/R - (1/2)R^2$ , mostrada na figura 3. A presença da instabilidade é bastante clara. O ponto  $R_E = 1$  é um ponto de equilíbrio instável. Note que, ao contrário da curva de energia potencial de um sistema estável que possui concavidade para cima, aqui a concavidade é para baixo. O modelo, no ponto de equilíbrio, não pode sofrer qualquer perturbação, pois a diminuição ou aumento de  $R$  faz com que o modelo colapse para  $R = 0$  ou se desintegre para  $R \rightarrow \infty$ , respectivamente.

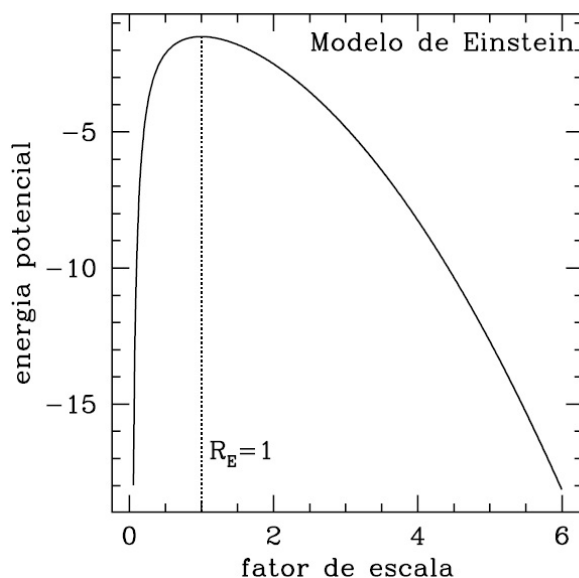


Figura 3: O universo estático de Einstein possui um ponto de equilíbrio instável (fator de escala  $R_E = 1$ ). Se o sistema sofrer uma perturbação em torno do ponto de equilíbrio ele tenderá a se afastar da posição de equilíbrio, colapsando para o fator de escala zero ou se desintegrando para  $R \rightarrow \infty$  (mais detalhes em [1]).

Em 1930, Arthur Eddington mostrou de forma rigorosa, com as equações da TRG, que o modelo estático de Einstein é instável, como ilustrado acima através da analogia newtoniana.

A constante cosmológica voltou a ser usada em vários modelos cosmológicos posteriores ao modelo de Einstein e é mesmo considerada em alguns círculos científicos como a *quinta constante fundamental da natureza* (cf. a proposta do físico francês G. Cohen-Tannoudji [2]). Quer dizer, a invenção da constante cosmológica não foi definitivamente a grande mancada de Einstein. A

sua verdadeira grande mancada foi o descuido quanto à instabilidade física de seu modelo, que conseqüentemente não poderia ser aplicado ao universo. Mas esta não foi a única mancada do grande físico; veja mais em [3].

**Agradecimento:** As figuras 2 e 3 foram confeccionadas em um dos computadores do Instituto Astronômico Kapteyn, Groningen, Holanda, sob os auspícios do Prof. Reynier Peletier.

## Referências

- [1] D. Soares, *O universo estático de Einstein* in *Tópicos em cosmologia relativista*, <https://www.researchgate.net/publication/338842995>, pp. 53-60 (2020).
- [2] G. Cohen-Tannoudji, *Lambda, the Fifth Foundational Constant Considered by Einstein*, arXiv:1802.08317v3 [physics.hist-ph], <https://arxiv.org/abs/1802.08317> (2018).
- [3] D. Soares, *Mancadas einsteinianas*, <http://lilith.fisica.ufmg.br/~dsoares/einstein/mancadas.htm> (2005).