

Asterossismologia – as estrelas também tremem!

Autor:
Cláudio Gomes

A asterossismologia é o ramo da astronomia que se dedica a estudar oscilações das estrelas. Etimologicamente, provém do grego «aster» (astro) + «seimos» (tremor) + «logos» (estudo). Quando a estrela em estudo é o Sol, este ramo adota o nome de heliossismologia. De facto, a partir do estudo das suas oscilações internas, ou de outro modo, da sua atividade sísmica, podemos obter informações acerca da estrutura interna de uma estrela, e, por conseguinte, de uma parte da história do Universo.

A propagação de ondas no interior das estrelas produz uma assinatura observável, mas extremamente pequena, no brilho destes astros (ver Fig.1). Isto permite inferir acerca do meio interno e das fontes de energia que mantêm as ondas detetadas, uma vez que a frequência e amplitude destas dependem do meio de propagação.

As estrelas são um elemento crucial no Universo: são fontes da evolução química no mesmo; sendo que as de massas intermédias sintetizam Carbono, Azoto e Oxigénio, ao passo que as mais maciças sintetizam os elementos a partir do Hidrogénio até ao Ferro. Estas podem morrer sob a forma de uma explosão muito energética, denominada supernova, onde são formados os elementos mais pesados que o Ferro. Todavia, a própria evolução química depende

muito da natureza dos processos de mistura internos. Apesar de se conseguir observar muitas estrelas e se obter imensos dados astrofísicos, o Sol é a única estrela em que observa a sua forma tridimensional. As restantes aparecem-nos como pontos devido às distâncias enormes entre nós e aquelas. Assim, a modelação da estrutura interna das estrelas leva em conta diversos processos que podem interferir com as mesmas. Em particular, o efeito da rotação interna diferencial, que leva a deformações (e desvios da forma esférica), o efeito de «overshooting» convectivo que resulta da forma como a mistura ocorre no interior, o préambulo de explosão em supernova, ou os efeitos da evolução de sistemas binários próximos, onde seguramente o efeito gravitacional de duas estrelas próximas afetará a estrutura interna de cada uma (ou pelo menos à de menor massa). Com efeito, o estudo das oscilações internas permite dar algumas respostas a enigmas da ciência da estrutura e evolução estelar.

Quando se ouve falar em sismos, rapidamente remetemos a terremotos ou a maremotos, consoante o epicentro se situa na crosta terrestre ou na oceânica, respetivamente. Este último, podendo levar à formação de tsunamis. De um modo geral, podemos classificar as ondas sísmicas na Terra como:

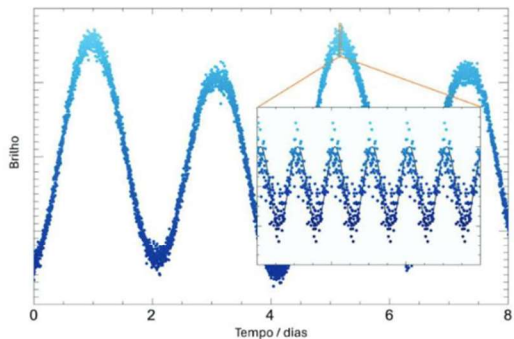


Figura 1 - Variação do brilho da estrela TIC 237338864 com dados provenientes da missão TESS da NASA. As menores variações (ampliadas na figura) correspondem a ondas acústicas.

Créditos: Daniel Holdsworth, Jeremiah Horrocks Institute, University of Central Lancashire.

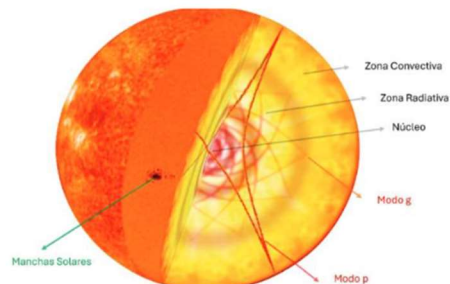


Figura 2 - Visão artística do interior de uma estrela tipo Sol com dois modos de propagação (ondas) e estrutura interna com uma zona radiativa e núcleo, e uma zona convectiva.

Créditos: Garcia, R.A., Ballot, J. Asteroseismology of solar-type stars. *Living Rev Sol Phys* 16, 4 (2019). <https://doi.org/10.1007/s41116-019-0020-1>.

- Ondas longitudinais P. São as ondas de volume primárias, vibram na mesma direção da propagação da onda. Possuem velocidade elevada, sendo as primeiras a chegar à superfície;
 - Ondas transversais S. São ondas de volume secundárias, vibram perpendicularmente à propagação da onda. Apresentam velocidade inferior às ondas P.
 - Ondas de Love. São ondas superficiais polarizadas horizontalmente e resultam da interferência de muitas ondas S. Produzem cisalhamento horizontal do solo.
 - Ondas de Rayleigh. São ondas superficiais resultantes da interferência de ondas P e S, e apresentam vibração no sentido contrário à propagação da onda, ou seja, um movimento de rolamento.
- A caracterização destas ondas e da sua propagação ao longo do interior da Terra, permite-nos inferir acerca da sua composição interna. Isto leva-nos a identificar a crosta/crosta terrestre e oceânica, o manto superior e o inferior, o núcleo externo e o núcleo interno. Por exemplo, através da ausência de ondas S diretas a partir de 103° do epicentro, podemos inferir a existên-

cia de um núcleo externo semifluido, uma vez que as ondas S não se propagam em meios deste tipo. E através de uma zona de sombra de ondas P (i.e., uma região entre os 103° e os 142° onde não são detetadas ondas P diretas) conseguimos detetar uma região mais sólida no interior: o núcleo interno. E quanto a estrelas? Elas também tremem? Nas estrelas existem vários tipos de ondas sísmicas, sendo que as mais estudadas são as seguintes:

- Modos acústicos ou de pressão (p), causados pelas flutuações da pressão dentro da estrela; a sua dinâmica é determinada pela velocidade local do som. Podem ser radiais ou não radiais, e ocorrem em regiões convectivas estáveis ou instáveis;
- Modos de gravidade interna (g), causadas pela impulsão. Apenas não radiais e em regiões convectivas estáveis;
- Modos de gravidade da superfície (f), como ondas de oceano sob a superfície da estrela.

Também existem as ondas de Alfvén e as ondas magneto-gravitacionais, devidas à existência de campos magnéticos no interior das estrelas. Assim, elas também tremem!



Estudos solares e teorias de gravidade

Um estudo publicado em 2022 na prestigiada revista *Physical Review D* (IF: 5,0, Q1) constituiu-se um dos mais detalhados de sempre em teorias gravitacionais alternativas à de Einstein com dados da missão Cassini, de heliossismologia, e

analisando cada carnada do Sol. Esse trabalho foi desenvolvido pelo autor deste artigo UACiência enquanto investigador Postdoc na UAç em colaboração com uma equipa italiana do INFN e da UPorto, e financiado pelo FRCT.