

Science in School – issue 30

Medindo a temperatura superficial de estrelas pela análise do seu espectro

(Atividade do Acantonamento de Astronomia do ESO)

Faixa etária

Estudantes do Ensino Secundário com 16-18 anos

Introdução

A Lei de Wien relaciona o comprimento de onda do máximo de emissão de um corpo negro (λ_{\max}) com a sua temperatura (T):

$$T = (2.9 \cdot 10^7) / \lambda_{\max}$$

onde T é a temperatura da estrela em Kelvin (K), λ_{\max} está em Angström (Å) e $2.9 \cdot 10^7$ é a constante de deslocamento de Wien.

O espectro estelar contém duas componentes: um contínuo que cobre todo o espectro de emissão e riscas escuras sobrepostas a esse. Pode encontrar exemplos de espectros estelares em outros documentos transferíveis.

Para esta atividade desprezaremos as riscas escuras e focar-nos-emos na componente contínua. Enquanto uma estrela puder ser considerada um corpo negro (e isto é *quase* sempre verdade em todas as situações) podemos usar a Lei de Wien para determinar a sua temperatura superficial analisando o seu espectro e identificando o comprimento de onda de emissão máxima.

O espectro que obtivemos durante o Acantonamento está na gama 4000–7000 Å que cobre quase todo o visível. Se formos aos extremos dessa gama, $\lambda_{\min} = 4000$ Å e $\lambda_{\max} = 7000$ Å, e aplicarmos a Lei de Wien, obtemos $T = 7250$ K e $T = 4150$ K, respetivamente (aproximadas por unidades de 50 K). Este cálculo implica que com o equipamento disponível no Acantonamento fomos capazes de medir o λ_{\max} de estrelas cuja temperatura está incluída nesta gama, i.e. estrelas das classes F, G e K. Estrelas mais quentes ou mais frias têm picos fora dos limites dos nossos instrumentos.

No que segue listamos as estrelas que foram observadas durante o Acantonamento, incluindo as suas classes espectrais e temperaturas superficiais, como se encontram na literatura.

<i>Estrela</i>	<i>Classe Espectral</i>	<i>Temperatura superficial (em K)</i>
Aldebaran	K5	4000
Bellatrix	B2	22000
Betelgeuse	M1,5	3600
Capella (*)	G8+G0	4900+5700
Dubhe	K0	4700
Pollux	K0	4800
Sírius	A1	9900

(*) Capella é uma estrela-dupla mas as suas duas componentes são semelhantes; podemos, assim, esperar conseguir medir a temperatura média das duas.

Desta tabela e das considerações prévias vemos que Capella, Dubhe e Pollux são estrelas adequadas para os objetivos da atividade proposta; Aldebaran está no limite das nossas capacidades de medição; Bellatrix, Betelgeuse e Sírius são quentes demais para os nossos instrumentos.

Há mais pontos a considerar:

- Os espectros que adquirimos no Acantonamento são diferentes dos reais pois a atmosfera da Terra interage com a luz estelar. Isto causa uma “extinção” que é muito maior para a componente da luz estelar azul do que para a vermelha (este fenómeno também se chama de *reddening* atmosférico). Além disso, o nosso sensor é mais sensível à luz vermelha do que à luz azul: abaixo dos cerca de 5000 Å e a caminho dos 4000 Å a sua sensibilidade torna-se cada vez pior.
- Estrelas cujas classes espectrais estão entre os últimos tipos B e os primeiros tipos F (em particular, estrelas A) desenvolvem fortes riscas de Balmer na região azul que ajudam a reprimir o espectro nesta área. Isto significa que existe um desvio intrínseco e relevante da curva de corpo negro, o que não permite qualquer exploração com significado da Lei de Wien para estas estrelas.

Estes efeitos têm de ser levados em conta quanto se tenta medir a temperatura com precisão; contudo, serão desprezados nesta atividade, uma vez que um tratamento completo exigiria conhecimentos de nível universitário. Mesmo assim, os resultados gerados nesta atividade ainda são úteis e fazem sentido.

Materiais

- Os três documentos transferíveis com espectro estelar do site do *Science in School*:
 - as imagens dos espectros
 - as tabelas dos espectros com os resultados da luminosidade (só para professores)
 - as tabelas dos espectros sem os resultados da luminosidade (para os alunos)
 O espectro estelar de Aldebaran, Betelgeuse, Capella, Dubhe, Pollux, Sírius e Bellatrix foram obtidos pelos participantes no Acantonamento Astronómico do ESO.
- Um computador com aplicações de folhas de cálculo (e.g. Excel).

Procedimento

- Abra as tabelas sem o resultado da luminosidade. Cada tab contém a tabela para uma estrela; cada tabela mostra:
 - Coluna 1: numeração dos pixeis no sensor, da esquerda para a direita (neste contexto, será ignorada);
 - Coluna 2: comprimento de onda nesse pixel em particular;
 - Coluna 3: numero de fotões incidentes, com esse comprimento de onda particular, detetados durante o tempo de exposição.
- Calcule a razão do numero de fotões para o comprimento de onda, para cada comprimento de onda no espectro, e introduza os resultados na coluna 4. Esta razão indica onde se localiza a luminosidade máxima no espectro.

O sensor da nossa instrumentação (tal como qualquer sensor de CCD) mede o numero de fotões incidentes (mostrado na coluna 3) e não a energia incidente. A energia dos fotões a diferentes comprimentos de onda é definida pela equação seguinte:

$$E_{\text{fotão}} = (\text{constante de Planck} \cdot \text{velocidade da luz}) / \text{comprimento de onda}$$

A luminosidade é definida como a energia que chega da estrela por unidade de superfície e de tempo; no nosso caso, é a energia acumulada, durante o tempo de exposição, pela superfície do

telescópio. Por outras palavras, é a soma de energia de todo o singular fotão detetado durante o tempo de exposição, pelo telescópio:

$$\text{Luminosidade} = \sum E_{\text{fotão}} = (\text{numero de fotões}) * [(\text{constante de Planck} * \text{velocidade da luz}) / (\text{comprimento de onda})]$$

Uma vez que apenas estamos interessados em identificar o comprimento de onda que emite o máximo de luminosidade e não o valor da própria luminosidade, podemos livrar-nos dos valores constantes e considerar que a seguinte razão nos dá uma estimativa precisa da luminosidade:

$$\text{Luminosidade} = (\text{numero de fotões}) / (\text{comprimento de onda})$$

- Represente o gráfico luminosidade (eixo dos y) contra o comprimento de onda (eixo dos x). O gráfico não vai mostrar um espectro de corpo negro bem comportado mas, de facto, um perfil irregular, já que houve riscas espectrais que foram ignoradas no nosso processo. De facto, devido ao espectro estelar não ser exatamente uma curva de corpo negro, os astrónomos tiveram de encontrar outros métodos para calcular com precisão a temperatura das estrelas.
- Encontre o valor máximo da luminosidade a partir do gráfico (também pode ser calculado a partir dos valores na tabela) e o comprimento de onda correspondente.
- Use a lei de Wien para determinar a temperatura superficial da estrela.

Considerando as limitações e aproximações do modelo aqui apresentado, a atividade fornece resultados valiosos e uma boa aproximação de temperatura estelar superficial que pode ser facilmente compreendida por alunos do ensino secundário.