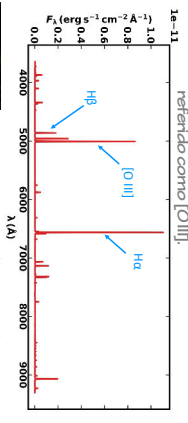


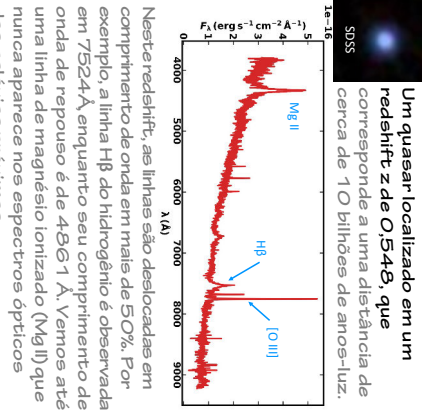
A nebulosa planetária NGC 7662 ionizada por uma estrela de 150000K. Como essa estrela é mais quente, ela produz uma proporção maior de íons O^{+} , e as linhas [O III] são mais intensas em comparação com $H\alpha$ e $H\beta$.



A nebulosa planetária IC 5063 ionizada por uma estrela de 40000K. As linhas mais fortes em seu espectro são as linhas de **recombinação** do hidrogênio $H\alpha$ e $H\beta$ e as **linhas proibidas** do O^{+} (átomo de oxigênio que perdeu dois elétrons), referindo como [O III].

Espectros de nebulosas ionizadas
 Nebulosas são nuvens de gás difuso. Elas podem ser **ionizadas** por estrelas jovens de grande massa com temperaturas em torno de 40000K (as "regiões HII") ou por estrelas evoluídas de menor massa que podem exceder 100000K (as "nebulosas planetárias"). Espectros de nebulosas **ionizadas** diferem de espectros estelares. Esses últimos têm sobretudo linhas de **absorção**, enquanto grande parte da luz de nebulosas é **emitida** apenas em algumas linhas, devidas ou a **recombinações** de hidrogênio e hélio ou a **colisões** com elétrons livres no gás. Linhas de **colisão** não aparecem em estrelas e foram primeiro atribuídas a um elemento desconhecido, o "nebulium". Só em 1928 Iva Bowen mostrou que elas têm origem em elementos conhecidos, mas só aparecem em densidades muito baixas. Elas são chamadas de "**linhas proibidas**".

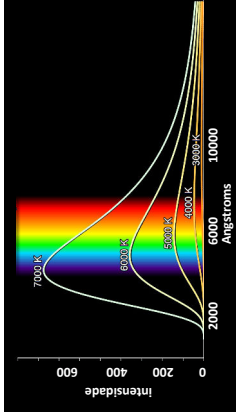
Neste redshift, as linhas são deslocadas em comprimento de onda em mais de 50%. Por exemplo, a linha $H\beta$ do hidrogênio é observada em 7524 Å, enquanto seu comprimento de onda de repouso é de 4861 Å. Vemos até uma linha de magnésio ionizado ($Mg II$) que nunca aparece nos espectros ópticos das galáxias próximas.



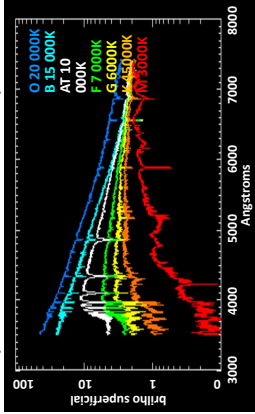
Um quasar localizado em um redshift z de 0,548, que corresponde a uma distância de cerca de 1,0 bilhões de anos-luz.

As temperaturas das estrelas
 Nem todas as estrelas têm a mesma cor. As mais frias são vermelhas. As mais quentes são azuis. O Sol, com uma temperatura superficial de 5500°C (5800 K), é amarelo. Estas diferenças de cor surgem por causa da forma como o espectro de radiação de uma estrela varia com a temperatura, como mostra a figura na página oposta.

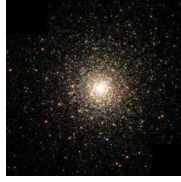
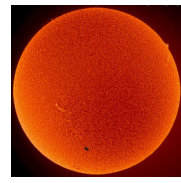
Abaixo estão os espectros visíveis de estrelas reais de diferentes tipos (O, B, A, F, G, K, M). Cada tipo tem sua própria temperatura. Além da distribuição geral da intensidade de radiação, há também linhas de **absorção** de profundidade variável devido aos elementos presentes na atmosfera das estrelas sob a forma de átomos ou íons.



Intensidade de radiação de um corpo quente em função do comprimento de onda para vários valores de temperatura.

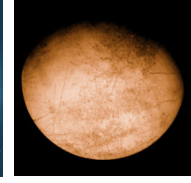
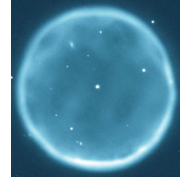


Espectros de estrelas de diferentes tipos na faixa de luz visível do espectro eletromagnético.



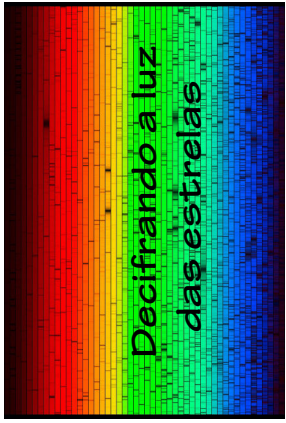
Desafio

Qual destes objetos tem linhas de emissão em seu espectro?



Resposta no verso

O Universo no meu bolso



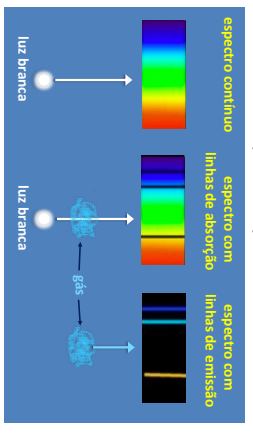
A composição das estrelas

Hoje, graças às linhas de **absorção** observadas nos espectros das estrelas, os astrônomos sabem quais elementos estão presentes em suas atmosferas e podem medir sua abundância.

A composição química da atmosfera de uma estrela é, em geral, idêntica à da nuvem molecular em que ela se formou. O interior da estrela tem uma composição química diferente da atmosfera por causa das reações nucleossintéticas que acontecem ali (ver-TUMJP1.4), mas isto não é medido diretamente.

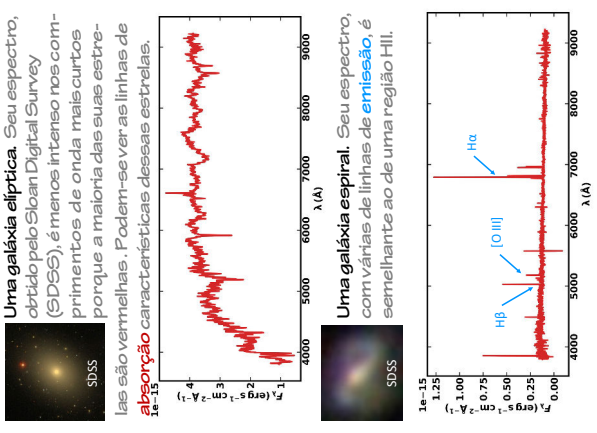
Pode-se ver que, em termos gerais, as estrelas têm uma composição química semelhante à do Sol. Entretanto, as estrelas nas partes mais externas da Galáxia tendem a ser menos ricas em elementos mais pesados que o hélio, porque são menos enriquecidas por produtos de nucleossíntese.

Tipos de espectros



Um fóton (um "grão de luz") pode excitar um átomo movendo um elétron para um nível de energia mais alto. Se o fóton tiver energia suficiente, ele pode **ionizar** o átomo, ou seja, remover o elétron do átomo. Em ambos os casos, o fóton é **absorvido**.

No processo inverso, de excitação ou **recombinação**, um fóton é **emitido**.



Uma galáxia elíptica. Seu espectro, obtido pelo Sloan Digital Survey (SDSS), é menos intenso nos comprimentos de onda mais curtos porque a maioria das suas estrelas são vermelhas. Podem-se ver as linhas de características dessas estrelas.

Uma galáxia espiral. Seu espectro, com várias de linhas de emissão, é semelhante ao de uma região HII.

Uma imagem do Sol. (Crédito: NASA)

A nebulosa planetária Abell 39. (Crédito: NOAO)

A estrela Betelgeuse, uma supergigante vermelha vista pelo Telescópio Espacial Hubble. (Crédito: NASA/AURA)

O aglomerado globular M30. (Crédito: AURA/STSD/NASA).

Europa, um satélite de Júpiter. Foto tirada pela sonda espacial Voyager. (Crédito: NASA).

Somente a nebulosa planetária tem suas **linhas de emissão** em seu espectro.

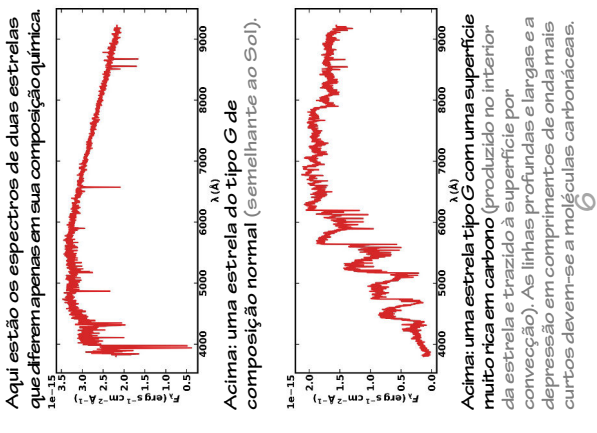
Todos os outros objetos têm espectros **estelares**.

Os espectros das galáxias

Uma galáxia contém milhões ou até bilhões de estrelas e, às vezes, gás. Espera-se, portanto, que o espectro de uma galáxia seja uma combinação de espectros estelares e possivelmente espectros nebulares.

As galáxias elípticas (ver-TUMJP 5 e 23) não contêm gás e nenhuma nova estrela se forma nelas há tempos. Elas são povoadas apenas por estrelas vermelhas velhas. Todas as estrelas de grande massa que existiam antes ali explodiram em supernovas. Seus espectros mostram apenas linhas de **absorção**.

As galáxias espirais contêm gás e estrelas de grande massa (tipo **O** e **B**) capazes de **ionizar** o gás. Assim, seus espectros mostram linhas de **emissão** intensas, sobrepostas em um espectro dominado por estrelas em espes-



Acima: uma estrela do tipo G de composição normal (semelhante ao Sol).

Acima: uma estrela tipo G com uma superfície muito rica em carbono (produzido no interior da estrela e trazido à superfície por convecção). As linhas profundas e largas e a depressão em comprimentos de onda mais curtos devem-se a moléculas carbonáceas.

O Universo no meu bolso nº 30

Este livrinho foi escrito em 2021 por Grázyňa Stránská do Observatório de Paris, com a ajuda de Natália Vale Asari (UFSC, Brasil).

Imagem da capa: O espectro do Sol cortado em faixas, que foram empilhadas uma sobre a outra. Ele mostra todas as linhas de absorção formadas na atmosfera do Sol na faixa visível. Este é o "código de barras" do Sol. Este espectro foi obtido com o telescópio solar no Observatório Solar Nacional em Kitt Peak, Arizona (EUA).

Para saber mais sobre esta coleção e os temas apresentados neste livrinho, você pode visitar <http://www.tumjp.org>.

Tradução: Natália Vale Asari
TUMJP Creative Commons

Em 1835, o filósofo francês Auguste Comte disse que nunca saberíamos de que são feitas as estrelas.

No entanto, Isaac Newton já havia mostrado que, se um feixe de luz do Sol é dispersado por um prisma, obtém-se uma **mancha** com as cores do arco-íris: um "**espectro**" (ver-TUMJP 2).

Em 1814, Joseph von Fraunhofer construiu um espectrógrafo que descobriu mais de **500 linhas** escuras no espectro do Sol. Mas foi somente em 1860 que Gustav Kirchhoff mostrou que estas linhas são devidas a elementos químicos nas camadas superiores do Sol. A identificação destas linhas começou logo depois, contrariando a previsão pesimista de Comte.

Este foi o início da astrofísica, o ramo da astronomia que estuda a natureza das estrelas através da análise da radiação que elas emitem.