

O Universo no meu bolso



Decifrando a luz
das estrelas



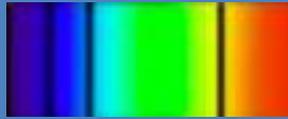
Grażyna Stasińska
Observatório de Paris

Tipos de espectros

espectro contínuo

espectro com
linhas de absorção

espectro com
linhas de emissão



← gás →

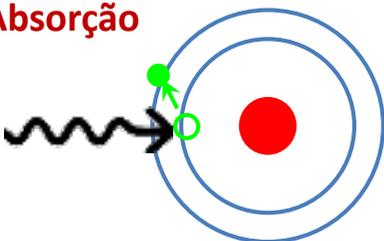
luz branca

luz branca

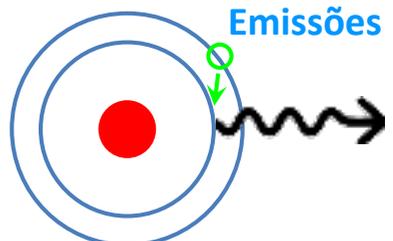
Um fóton (um “grão de luz”) pode excitar um átomo movendo um elétron para um nível de energia mais alto. Se o fóton tiver energia suficiente, ele pode **ionizar** o átomo, ou seja, remover o elétron do átomo. Em ambos os casos, o fóton é **absorvido**.

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

Absorção



Emissões

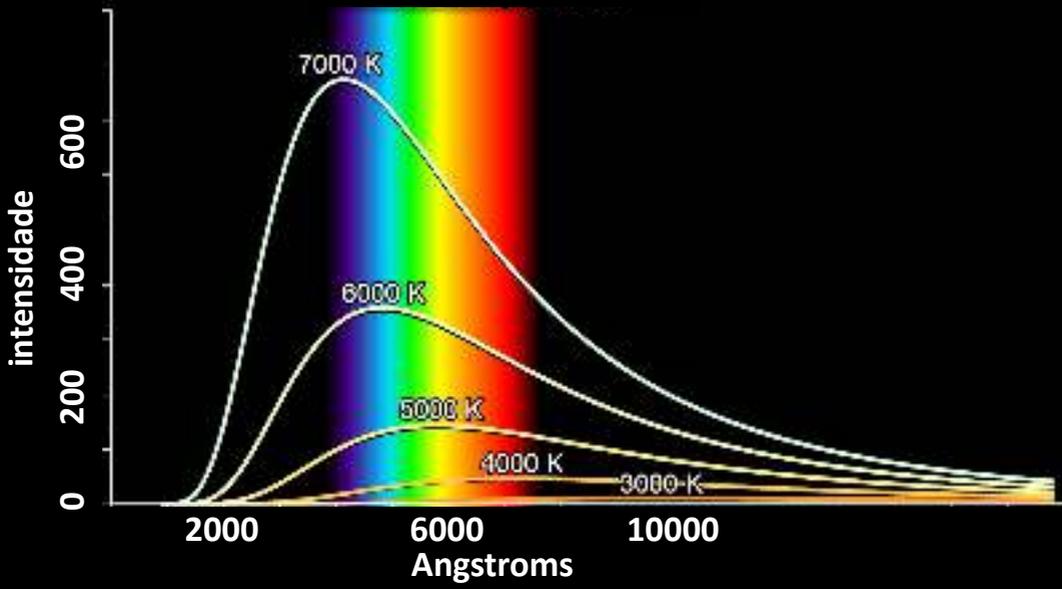


Em 1835, o filósofo francês Auguste Comte disse que nunca saberíamos de que são feitas as estrelas.

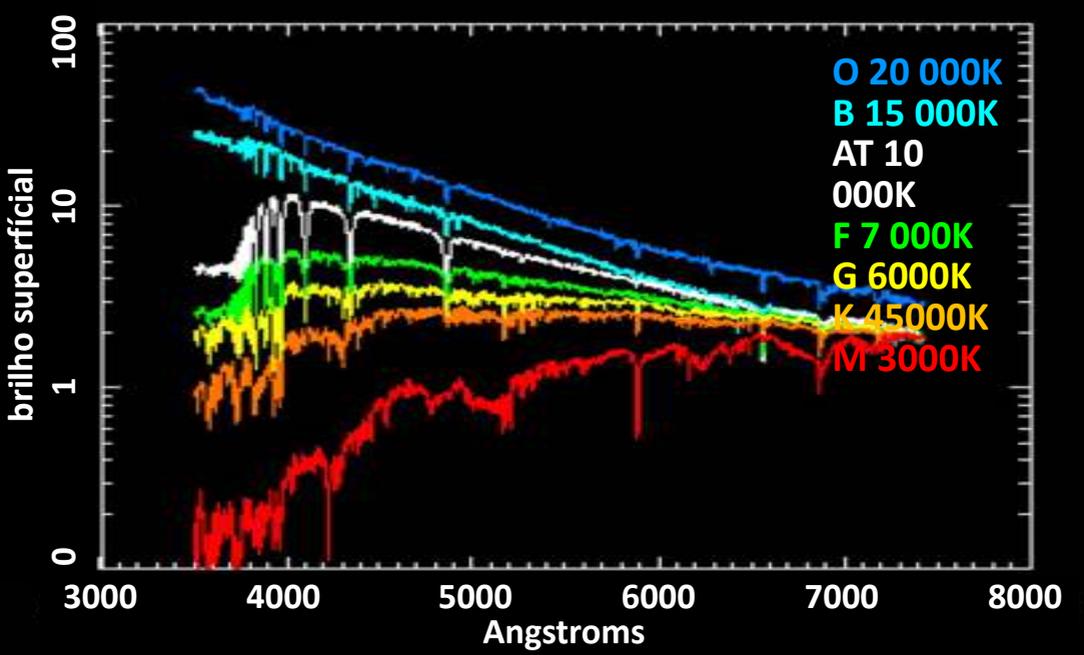
No entanto, Isaac Newton já havia mostrado que, se um feixe de luz do Sol é dispersado por um prisma, obtém-se uma mancha com as cores do arco-íris: um “**espectro**” (ver TUIMP 2).

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, contradizendo a previsão pessimista 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.



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



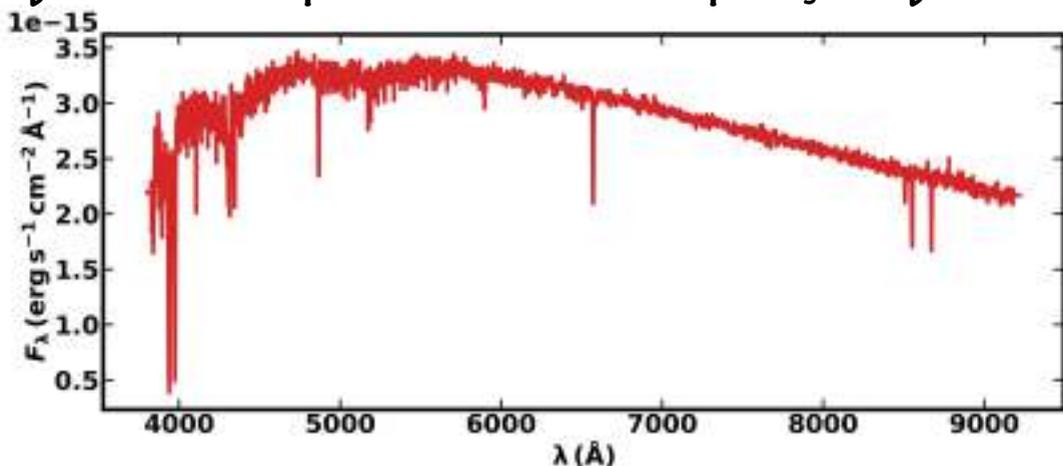
Espectros de estrelas de diferentes tipos na faixa da luz visível do espectro eletromagnético.

As temperaturas das estrelas

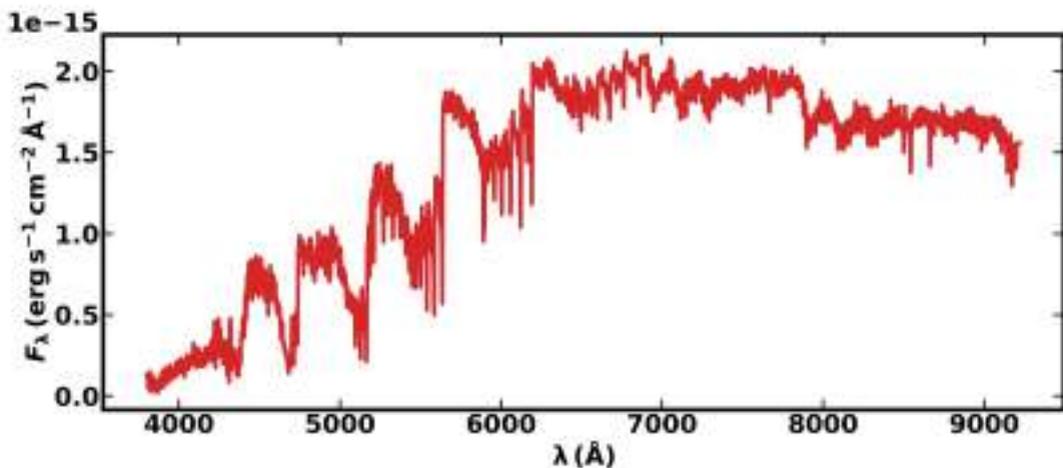
Nem todas as estrelas têm a mesma cor. As mais frias são vermelhas. As mais quentes são azuis. O Sol, com uma temperatura superficial de 5500°C (5800 K), é amarelo. Estas diferenças de cor surgem por causa da forma como o espectro de radiação de uma estrela varia com a temperatura, como mostra a figura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

Aqui estão os espectros de duas estrelas que diferem apenas em sua composição química.



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



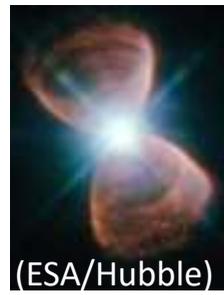
Acima: uma estrela tipo G com uma superfície muito rica em carbono (produzido no interior da estrela e trazido à superfície por convecção). As linhas profundas e largas e a depressão em comprimentos de onda mais curtos devem-se a moléculas carbonáceas.

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.

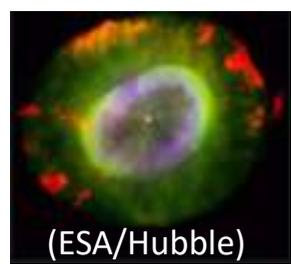
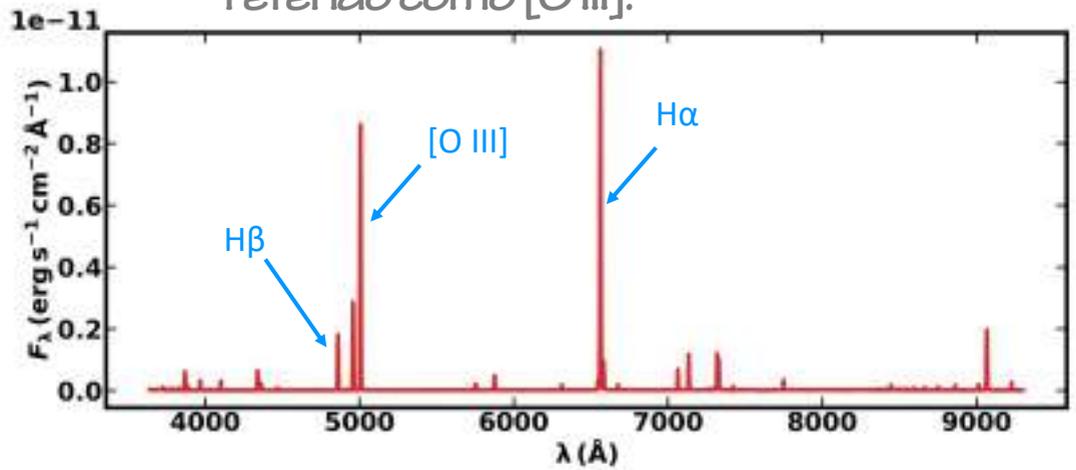
A composição química da atmosfera de uma estrela é, em geral, idêntica à da nuvem molecular em que ela se formou. O interior da estrela tem uma composição química diferente da atmosfera por causa das reações nucleossintéticas que acontecem ali (ver TUIMP14), mas isto não é medido diretamente.

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.



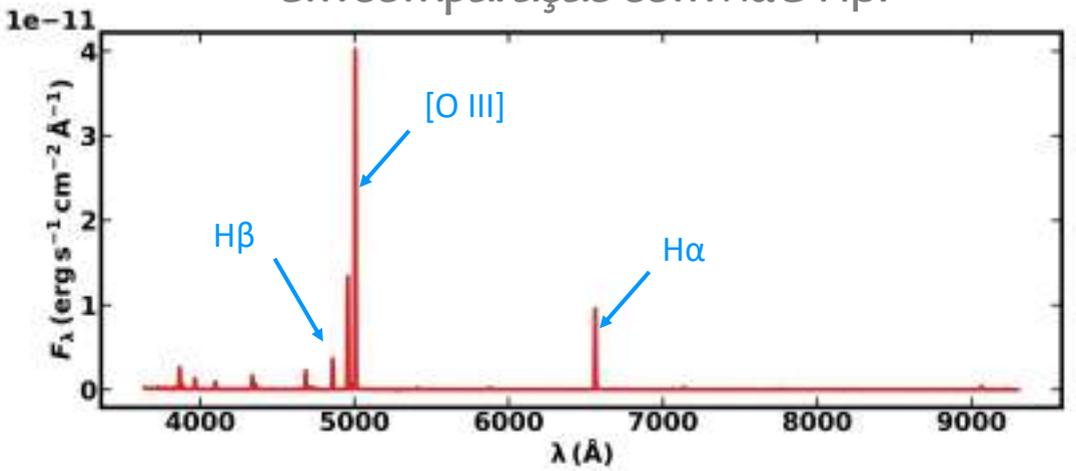
(ESA/Hubble)

A nebulosa planetária Hb 12, ionizada por uma estrela de 48000K. As linhas mais fortes em seu espectro são as linhas de **recombinação** do hidrogênio H α e H β e as linhas **proibidas** do íon O $^{++}$ (átomo de oxigênio que perdeu dois elétrons), referido como [O III].



(ESA/Hubble)

A nebulosa planetária NGC 7662 ionizada por uma estrela de 130000K. 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 α e H β .



Espectros de nebulosas ionizadas

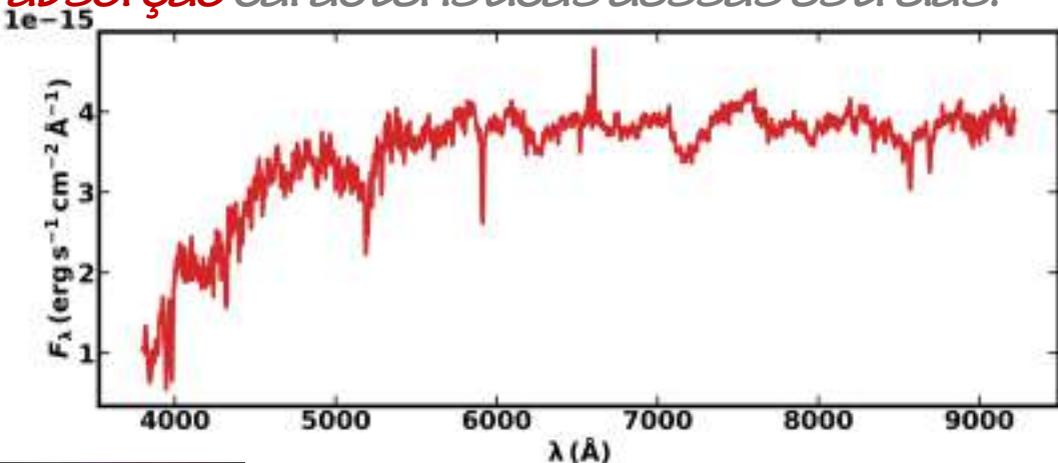
Nebulosas são nuvens de gás difuso. Elas podem ser **ionizadas** por estrelas jovens de grande massa com temperaturas em torno de 40000K (as “regiões HII”) ou por estrelas evoluídas de menor massa que podem exceder 100000K (as “nebulosas planetárias”).

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 Ira Bowen mostrou que elas têm origem em elementos conhecidos, mas só aparecem em densidades muito baixas. Elas são chamadas de “**linhas proibidas**”.

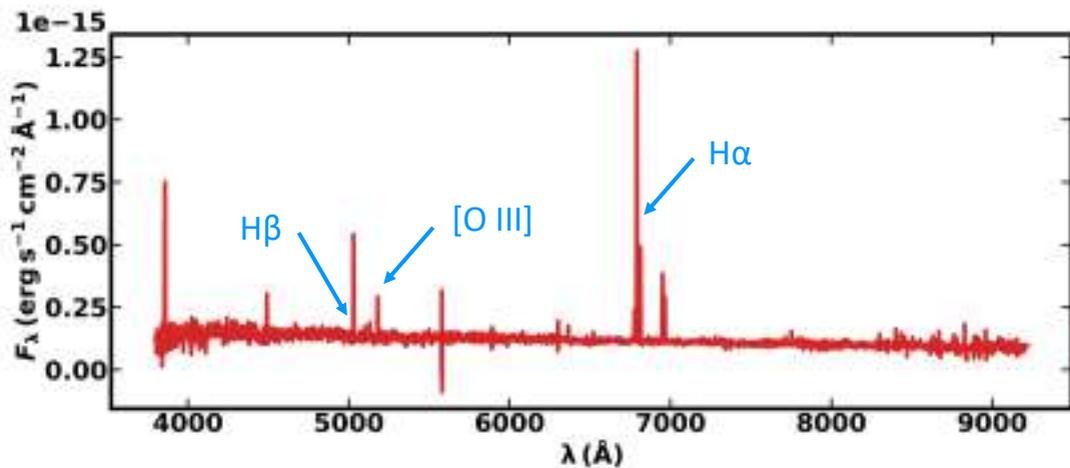
Uma galáxia elíptica. Seu espectro, obtido pelo Sloan Digital Survey (SDSS), é menos intenso nos comprimentos de onda mais curtos porque a maioria das suas estrelas são vermelhas. Podem-se ver as linhas de **absorção** características dessas estrelas.

SDSS



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

SDSS



Os espectros das galáxias

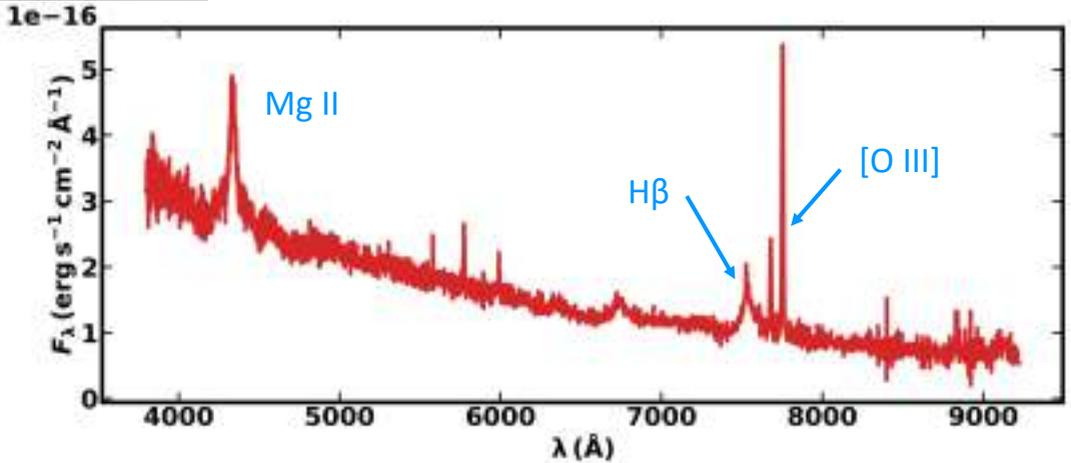
Uma galáxia contém milhões ou até bilhões de estrelas e, às vezes, gás. Espera-se, portanto, que o espectro de uma galáxia se pareça com uma combinação de espectros estelares e possivelmente espectros nebulares.

As galáxias elípticas (ver TUIMP 3 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 quentes.



Um quasar localizado em um redshift z de 0,548, que corresponde a uma distância de cerca de 10 bilhões de anos-luz.



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\AA , enquanto seu comprimento de onda de repouso é de 4861\AA . Vemos até uma linha de magnésio ionizado ($Mg\ II$) que nunca aparece nos espectros ópticos das galáxias próximas.

Algumas linhas ($H\beta$, $Mg\ II$) são muito largas, pois se formam perto do buraco negro em uma zona onde a velocidade de rotação atinge 20000km/s .

O espectro sobe no azul por causa da emissão do disco de acreção, que é muito quente.

Espectros de quasares

Os quasares são objetos localizados a distâncias muito grandes e contêm um buraco negro supermassivo em seu centro, que atrai a matéria circundante (ver TUIMP 6). Antes de cair no buraco negro, a matéria é espiralada em um “disco de acreção” e aquecida a centenas de milhares de graus. Isto resulta em um espectro muito azul.

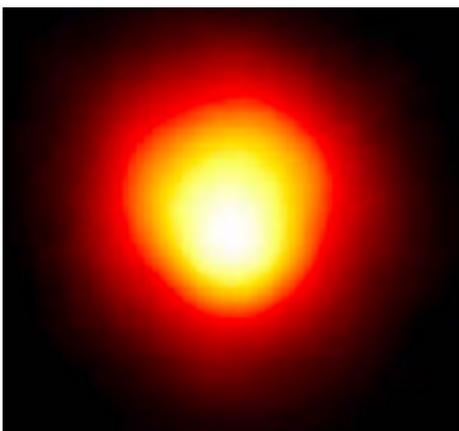
As linhas de **emissão** são alargadas e desviadas para o vermelho (esta mudança é chamada de “redshift”).

O alargamento e o redshift são devidos ao efeito Doppler (ver TUIMP 15), que muda a frequência da onda de luz em função da velocidade da fonte em relação ao observador. As linhas são deslocadas para o vermelho por causa da recessão dos quasares devido à expansão do Universo e alargadas devido à rotação da matéria em torno do buraco negro.



Desafio

Qual destes objetos tem linhas de emissão em seu espectro?



Resposta no verso



Uma imagem do Sol.
(Crédito NASA).



O aglomerado globular M80
(crédito: AURA/STScI/NASA).



A nebulosa planetária Abell 39
(Crédito: NOAO).

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



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



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

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

O Universo no meu bolso nº 30

Este livrinho foi escrito em 2021 por Grażyna Stasińska, do Observatório de Paris, com a ajuda de Natalia 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.tuimp.org>.

Tradução: Natalia Vale Asari
TUIMP Creative Commons

