

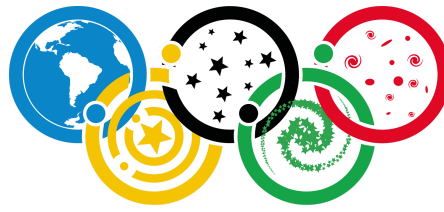


IX OLIMPIADA LATINOAMERICANA
DE ASTRONOMÍA Y ASTRONÁUTICA
ANTOFAGASTA, CHILE, OCTUBRE 2017

Prova teórica Grupal
Quinta-feira 12 de outubro de 2017
Antofagasta - Chile

Instruções:

- O exame tem uma duração de 120 min.
- Os grupos serão compostos por 4 pessoas que serão designadas pelo Conselho Científico.
- No final do teste, envie as folhas de perguntas e todas as folhas de respostas numeradas. Nas folhas de respostas, indique a questão e a seção correspondente. Não escreva seu nome em nenhum deles.
- Use folhas diferentes para responder a cada pergunta.
- Todos os desenvolvimentos, cálculos e respostas às perguntas devem ser feitos em folhas de respostas, exceto se uma tabela deve ser preenchida. Os rascunhos estarão disponíveis.
- Se você precisar de mais folhas, pergunte ao gerente correspondente. Os cálculos na solução de cada questão são obrigatórios. As respostas corretas sem desenvolvimento não serão consideradas com a pontuação máxima.
- Os cálculos podem ser feitos a lápis, mas o resultado deve ser escrito com a caneta.
- O uso de calculadoras é permitido.



IX OLIMPIADA LATINOAMERICANA
DE ASTRONOMÍA Y ASTRONÁUTICA
ANTOFAGASTA, CHILE, OCTUBRE 2017

Pregunta 1: Órbitas de planetas

Determinar o período de um planeta requer algum cuidado já que a Terra, de onde realizamos as observações, está em movimento. Para isso temos que ter em conta a relação que existe entre seu período sideral e seu período sinódico. Chamamos período sideral de um planeta ao tempo que tarda em completar uma órbita ao redor do Sol. O período sinódico é o intervalo de tempo entre duas configurações idênticas sucessivas vistas da Terra, de uma conjunção à seguinte, por exemplo. O período sinódico pode ser determinado por observação celeste, mas o período sideral deve ser encontrado a partir de cálculos. Copérnico descobriu como fazê-lo a partir de uma equação matemática que relaciona o período sinódico **S** com seu período Sideral **P**:

$$1/P = 1/T \pm 1/S$$

Onde T é o período sideral da Terra. Usamos o sinal + quando queremos conhecer o período sinódico de um planeta interno, e o sinal - para planetas externos.

- (a) **30 puntos** Com esta relação, calcule o período sideral ou sinódico dos planetas da tabela segundo a necessidade. Tenha em conta que $T = 1 \text{ ano} = 365,25 \text{ dias}$.
- (b) **20 puntos** A terceira lei de Kepler relaciona o período sideral **P** com o semieixo maior da órbita **a**. Usando a terceira lei de Kepler, calcule o semieixo maior para cada planeta e complete seu valor na tabela, dado em unidades astronômicas.
- (c) **30 puntos** A terceira lei de Kepler só é válida para objetos que orbitam o Sol. Para outros objetos há que usar uma relação mais geral: a forma de Newton da terceira lei de Kepler. Para dois objetos de massas **m₁** e **m₂** orbitando entre si, cumpre se que:

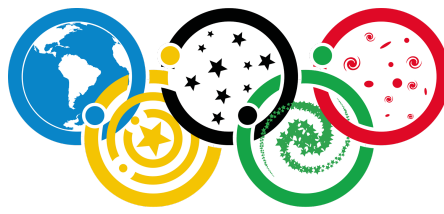
$$P^2 = [4 \pi^2 / G(m_1 + m_2)] a^3$$

Onde G é a constante gravitacional universal $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{s}^2\text{kg}$.

Tenha em conta que para que esta relação tenha sentido, P, a, m₁ e m₂ devem estar em unidades do sistema internacional.

Io é uma das quatro grandes luas de Júpiter, descobertas por Galileo, a qual orbita a uma distância de 421600 km do centro de Júpiter e tem um período orbital de 1,77 dias. Determine a massa combinada de Júpiter e Io.

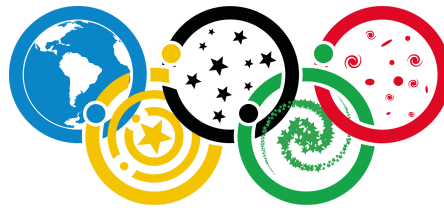
- (d) **20 puntos** Tendo em conta que a massa de Io é uma pequena fração da massa de Júpiter, calcule a massa de Júpiter.



IX OLIMPIADA LATINOAMERICANA
DE ASTRONOMÍA Y ASTRONÁUTICA
ANTOFAGASTA, CHILE, OCTUBRE 2017

Planeta	Periodo Sideral (anos)	Periodo Sinódico (dias)	Semieixo Maior (UA)
Mercúrio		115,88	
Vênus		584	
Terra	1	----	
Marte		780	
Júpiter	11,9		
Saturno		378	
Urano	84,1		
Netuno		368	

En algún sitio algo increíble espera ser descubierto - Carl Sagan



IX OLIMPIADA LATINOAMERICANA
DE ASTRONOMÍA Y ASTRONÁUTICA
ANTOFAGASTA, CHILE, OCTUBRE 2017

Pergunta 2: Forças de Maré

As forças de maré são diferenças nas atrações gravitacionais em diferentes pontos de um objeto, uma consequência da gravidade que deforma os planetas e remodela as galáxias. Podemos ver os resultados desta força no fato de que a Lua permaneça em órbita ao redor da Terra, explicando por que sempre mantém a mesma face voltada para a Terra e as marés oceânicas. De acordo com a lei de Newton da gravitação universal, a força de atração (**F**) entre dois objetos de massas m_1 e m_2 é maior quanto mais próximos estão os dois objetos entre si. A constante gravitacional é $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 / \text{kg}^2$.

Tendo em conta a lei de Newton da gravitação universal, responda as perguntas abaixo..

- (a) A massa da Lua é $7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$, enquanto que a da Terra é $5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$. A distância média entre o centro da Lua e o centro da Terra é de 384000 km.
- (i) **20 pontos** Qual é a força gravitacional que a Terra exerce sobre a Lua?
 - (ii) **10 pontos** Qual é a força gravitacional que a Lua exerce sobre a Terra?
- (b) **20 pontos** Sendo a massa do Sol $1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$, como se comparam suas respostas com a força entre o Sol e a Terra? Nota: $1 \text{ UA} = 1,5 \times 10^{11} \text{ m}$

As forças de maré também são importantes em escalas muito maiores que o sistema solar. A imagem seguinte, do HST, mostra o par de galáxias em interação NGC 2207 (a esquerda) e IC 2163 (a direita). Durante os milhões de anos em que tem ocorrido esse encontro próximo, as forças de maré da galáxia maior capturaram um imenso rastro de estrelas e gás interestelar da galáxia menor.



Crédito de imagem: HST / NASA / ESA.

En algún sitio algo increíble espera ser descubierto - Carl Sagan



IX OLIMPIADA LATINOAMERICANA
DE ASTRONOMÍA Y ASTRONÁUTICA
ANTOFAGASTA, CHILE, OCTUBRE 2017

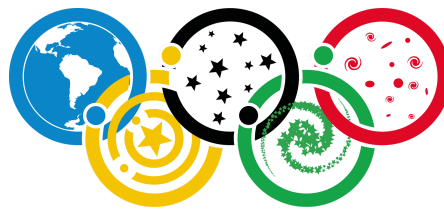
Dahari(1984) desenvolveu um formalismo para estimar a força de maré que afeta um objeto extenso, como o caso de uma galáxia. Para estimar o efeito da força de maré que uma galáxia com massa M_2 exerce sobre outra de massa M_1 e tamanho linear D_1 , que estão separadas uma da outra uma distância d , se usa um parâmetro de força de maré Q , definido como:

$$Q = \log_{10} ((M_2/M_1)(D_1/d)^3)$$

Nota: com esta definição, o parâmetro de força de maré é adimensional.

Sabendo que NGC 2207 tem um massa de $1,16 \times 10^{10}$ massas solares e um diâmetro de 31,33 kpc, e que IC 2163 tem uma massa de $7,28 \times 10^9$ massas solares e um diâmetro de 28,76 kpc, e que os centros de as galáxias estão separados de uma distância de 23,40 kpc, responda as seguintes perguntas:

- (c)
- (i) **10 puntos** Qual é o parâmetro de força de maré que a galáxia NGC 2207 exerce sobre a galáxia IC 2163?
 - (ii) **20 puntos** Calcule o parâmetro de força de maré que a galáxia IC 2163 exerce sobre a galáxia NGC 2207. Compare com o obtido anteriormente. Explique seu resultado.
- (d) **20 puntos** Explique com se comparam os parâmetros anteriores com os parâmetros e força de maré entre a Via Láctea e Andrômeda?



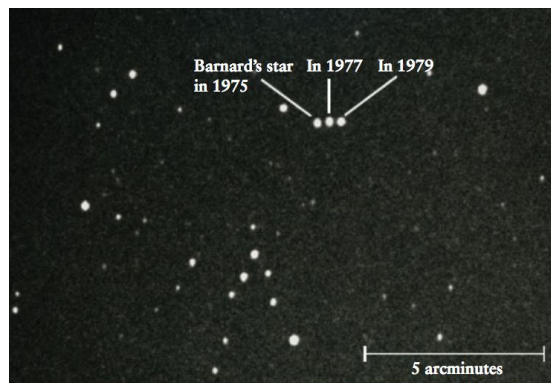
IX OLIMPIADA LATINOAMERICANA
DE ASTRONOMÍA Y ASTRONÁUTICA
ANTOFAGASTA, CHILE, OCTUBRE 2017

Pergunta 4: Movimentos estelares

As estrelas podem se mover através do espaço em qualquer direção. A velocidade espacial de uma estrela descreve o quão rápido e em que direção ela se move. Como mostra a figura anexa, a velocidade espacial \mathbf{v} de uma estrela pode ser dividida em componentes paralelas e perpendiculares à nossa linha de visada. A componente perpendicular à nossa linha de visada, isto é, através do plano do céu, é chamado de velocidade tangencial da estrela (\mathbf{v}_t). Para determiná-la, os astrônomos devem conhecer a distância de uma estrela (\mathbf{d}) e seu movimento próprio μ . Em termos da distância de uma estrela e seu movimento próprio, sua velocidade tangencial (em km/s) é:

$$v_t = 4,74 \mu d$$

Onde μ está em segundos de arco por ano e a distância d em parsecs

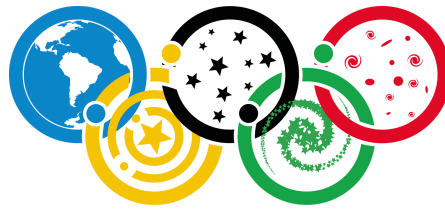


Crédito de imagem John Sanford/Science Photo Library

A componente do movimento de uma estrela paralela à nossa linha de visada é a sua velocidade radial (\mathbf{v}_r). Esta pode ser determinada a partir das medidas do desvio Doppler das linhas espectrais da estrela. Se uma estrela está se aproximando, os comprimentos de onda de todas as suas linhas espectrais são reduzidos (blueshift); Se a estrela está se afastando de nós, os comprimentos de onda crescem (redshift). A velocidade radial \mathbf{v}_r está relacionada ao deslocamento do comprimento de onda.

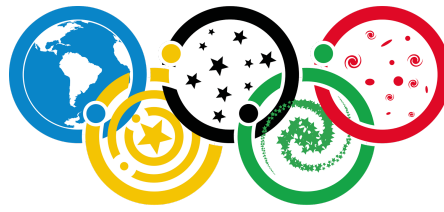
Na figura anterior, a imagem à direita mostra o movimento da estrela de Barnard, que é de 1,82 pc na constelação de Ophiuchus, a partir de três fotografias tiradas ao longo de quatro anos. Durante este intervalo de tempo, ela se moveu mais de 41 segundos de arco na esfera celeste, mais do que qualquer outra estrela.

En algún sitio algo increíble espera ser descubierto - Carl Sagan



IX OLIMPIADA LATINOAMERICANA
DE ASTRONOMÍA Y ASTRONÁUTICA
ANTOFAGASTA, CHILE, OCTUBRE 2017

- (a) **20 puntos** Calcule sua velocidade tangencial sabendo que seu movimento próprio é de 10,36 segundos de arco por ano e está a uma distância de 1,83 pc.
- (b) **30 puntos** No espectro da estrela de Barnard, a linha de ferro tem um comprimento de onda de 516,45 nm. Calcule sua velocidade radial, pois em um laboratório na Terra, a mesma linha espectral tem um comprimento de onda de 516,63 nm.
- (c) **20 puntos** A estrela de Barnard está se afastando ou se aproximando de nós?
- (d) **30 puntos** Determine a velocidade real da estrela de Barnard com a qual ela se move no espaço.



IX OLIMPIADA LATINOAMERICANA
DE ASTRONOMÍA Y ASTRONÁUTICA
ANTOFAGASTA, CHILE, OCTUBRE 2017

Pergunta 4: Lei de Hubble

Suponha que você esteja com um telescópio em um observatório e tira o espectro de uma galáxia distante. Quando você o examina, descobre que as linhas espectrais estão se movendo em direção ao vermelho do espectro. O redshift da galáxia, z , é dado por:

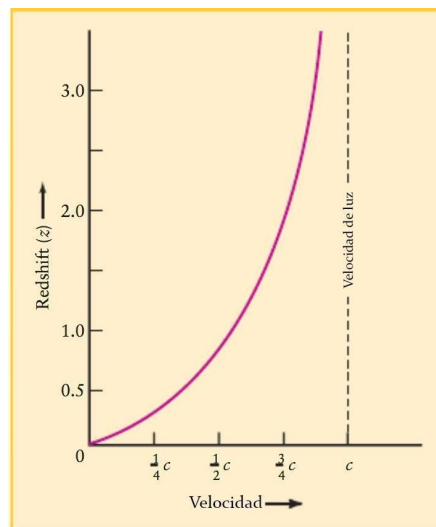
$$z = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0$$

O desvio para o vermelho significa que a galáxia está se afastando de nós. A partir do redshift, podemos conhecer a velocidade (v) com a qual a galáxia se afasta, conhecida como velocidade de recessão.

Se o redshift for inferior a 0,1, podemos desprezar os efeitos da teoria da relatividade especial, de modo que $v = cz$, onde c é a velocidade da luz.

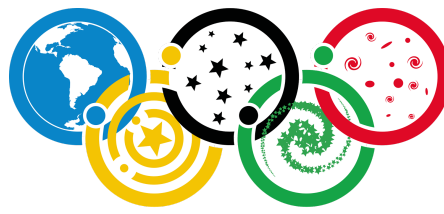
Conforme mostrado na figura a seguir, a relação entre z e v não é sempre linear. Se o deslocamento para o vermelho for maior do que 0,1, então devemos usar a seguinte relação, que é válida para qualquer velocidade:

$$v = [((z+1)^2 - 1) / ((z+1)^2 + 1)] c$$



Conhecendo a velocidade com que uma galáxia se afasta de nós, podemos conhecer a distância (D) à qual se encontra usando a Lei de Hubble:

En algún sitio algo increíble espera ser descubierto - Carl Sagan



IX OLIMPIADA LATINOAMERICANA
DE ASTRONOMÍA Y ASTRONÁUTICA
ANTOFAGASTA, CHILE, OCTUBRE 2017

$$v = H_0 D$$

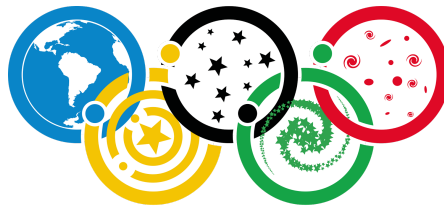
onde H_0 e a constante de Hubble.

Considerando $H_0 = 73 \text{ km/s/Mpc}$, responda as seguintes perguntas:

- (a) **20 puntos** Quando medido em um laboratório na Terra, a linha K, do cálcio ionizado, possui um comprimento de onda $\lambda_0 = 393,3 \text{ nm}$. Mas quando você olha o espectro da galáxia elíptica gigante NGC 4889, você encontra esta linha espectral em $\lambda = 401,8 \text{ nm}$. Encontre a distância a essa galáxia.
- (b) **20 puntos** No final de 1997, os astrônomos observaram uma supernova tipo Ia (chamada SN 1997 ff) com um redshift $z = 1,7$. Use a lei de Hubble para encontrar a distância a essa supernova.
- (c) **30 puntos** Observe os espectros das galáxias que aparecem nas páginas seguintes. A primeira imagem corresponde ao espectro observado no óptico e a imagem seguinte é uma amplificação na faixa espectral da linha $H\alpha$. Tente identificar nelas a linha de emissão $H\alpha$ ($\lambda_0 = 6562,8 \text{ \AA}$) e medir aproximadamente o comprimento de onda correspondente. Preencha a tabela com os comprimentos de onda observados (λ) em cada galáxia. A partir dessas medidas, obtenha uma estimativa do desvio para o vermelho (z), da velocidade de recessão (v) e da distância D para cada galáxia, nas unidades mostradas na tabela.

Nota: Mostramos como um exemplo a identificação de linhas de absorção e emissão para a primeira galáxia, NGC 4750.

Galaxia	λ (Å)	z	v (km/s)	D (Mpc)
NGC 4750	6593			
NGC 7714				

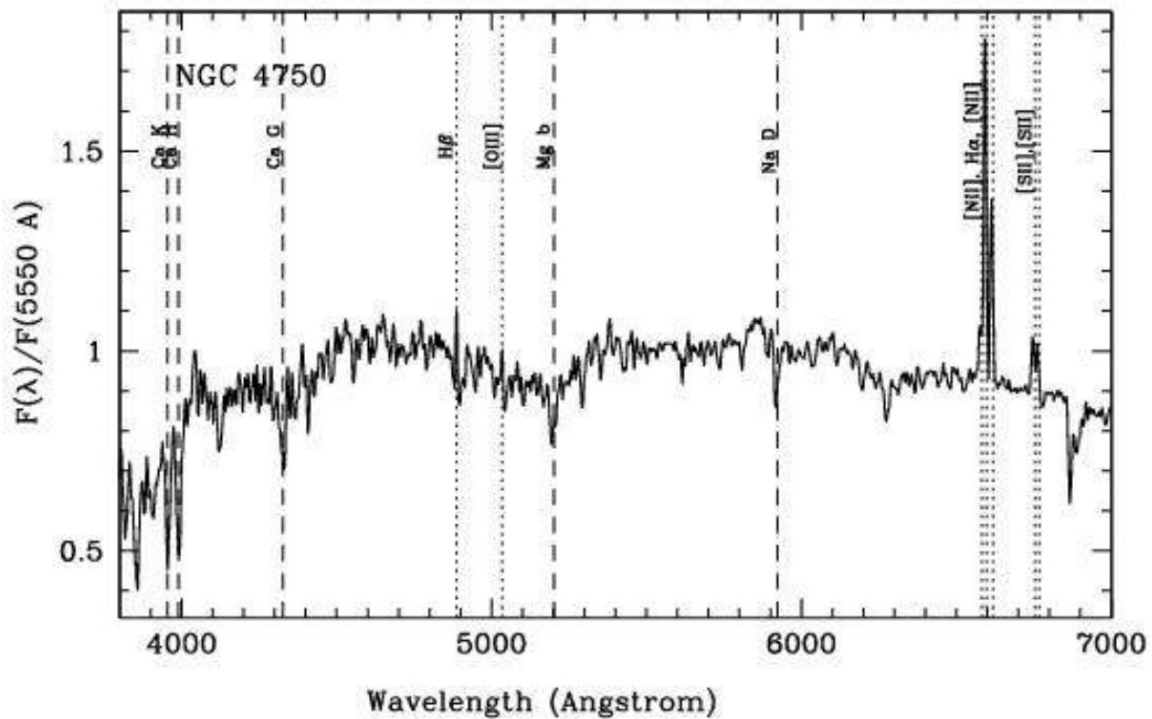


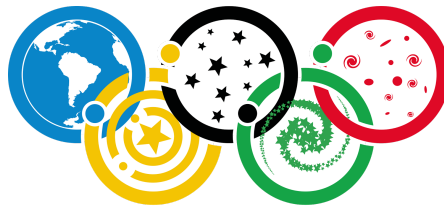
IX OLIMPIADA LATINOAMERICANA
DE ASTRONOMÍA Y ASTRONÁUTICA
ANTOFAGASTA, CHILE, OCTUBRE 2017

NGC 4631				
----------	--	--	--	--

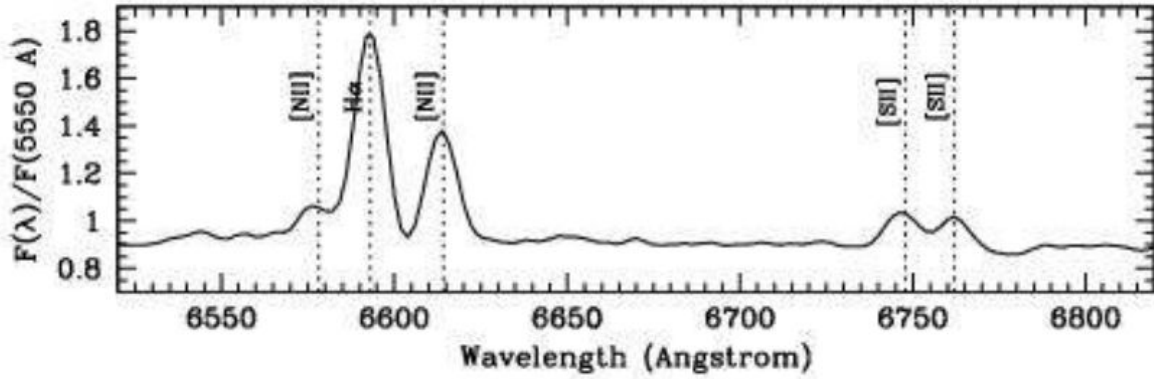
(d) **30 puntos** Desenhe em um gráfico a distância D (no eixo X) em relação à velocidade v (no eixo Y) com os dados dos objetos nas questões (a), (b) e (c). Tendo em conta que na origem, ponto (0,0), está localizado a Via Láctea, o que você pode dizer sobre a dinâmica do nosso Universo?

NGC 4750

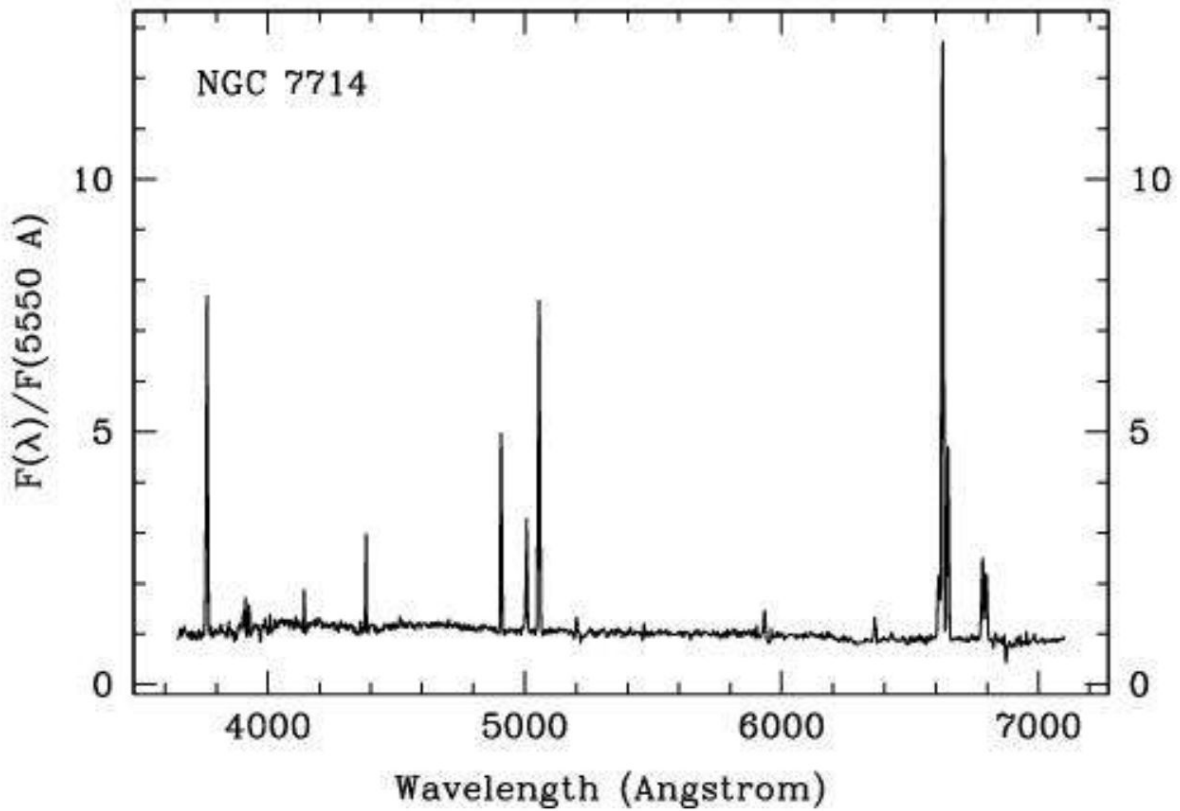




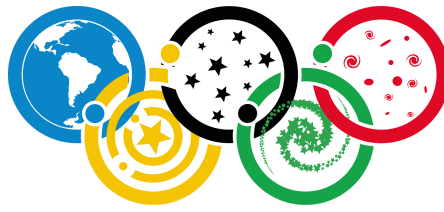
IX OLIMPIADA LATINOAMERICANA
DE ASTRONOMÍA Y ASTRONÁUTICA
ANTOFAGASTA, CHILE, OCTUBRE 2017



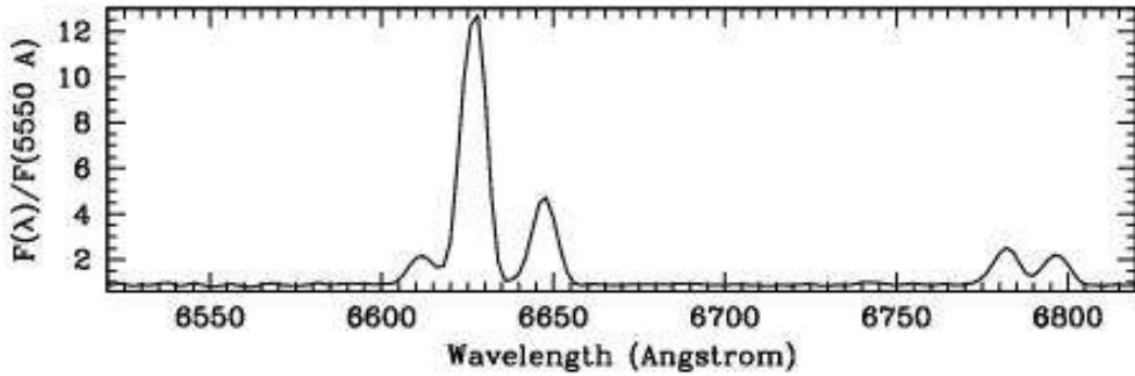
NGC 7714



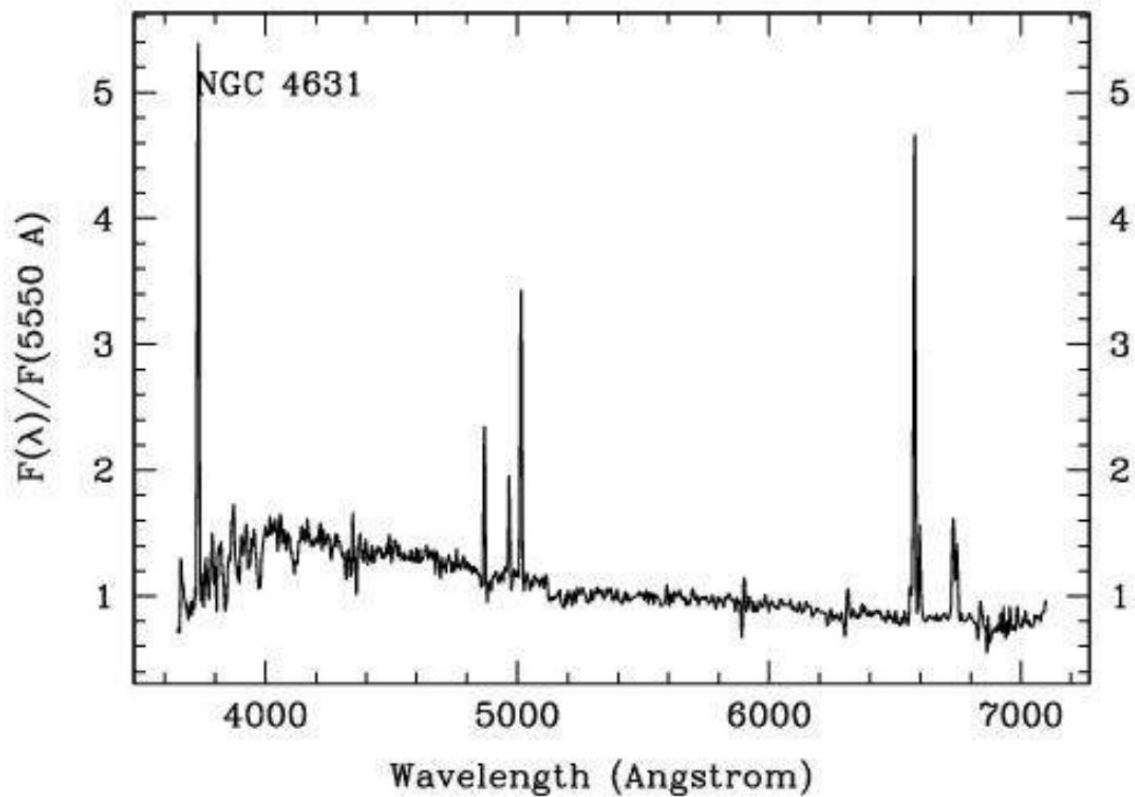
En algún sitio algo increíble espera ser descubierto - Carl Sagan



IX OLIMPIADA LATINOAMERICANA
DE ASTRONOMÍA Y ASTRONÁUTICA
ANTOFAGASTA, CHILE, OCTUBRE 2017



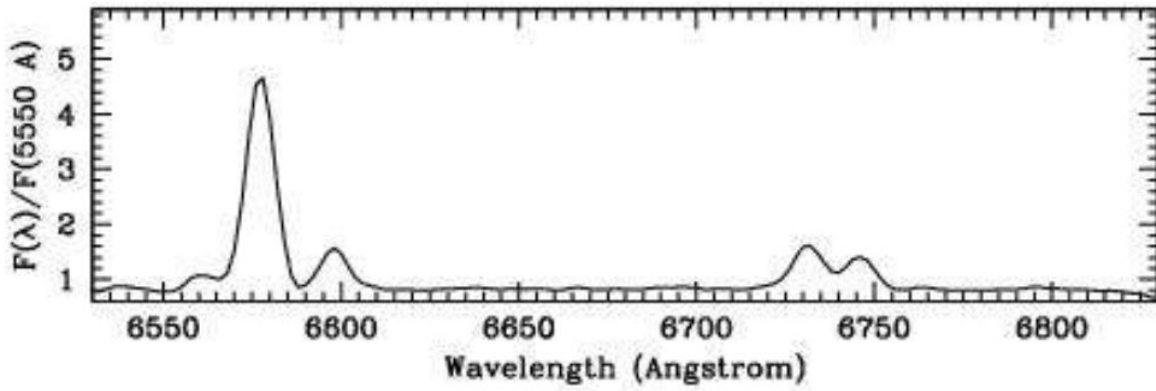
NGC 4631



En algún sitio algo increíble espera ser descubierto - Carl Sagan



IX OLIMPIADA LATINOAMERICANA
DE ASTRONOMÍA Y ASTRONÁUTICA
ANTOFAGASTA, CHILE, OCTUBRE 2017



En algún sitio algo increíble espera ser descubierto - Carl Sagan