

ATIVIDADE PRÁTICA:

Proposta de observação astronômica

Prática elaborada por Vitor Bootz

Introdução à atividade:

Dentre as diversas etapas de uma pesquisa científica – revisão bibliográfica, formulação do problema, análise dos dados, escrita do artigo, etc. – a coleta dos dados possui um papel fundamental na qualidade final do trabalho. Atualmente, existem diversos levantamentos (em inglês, *surveys*) que disponibilizam gratuitamente grandes quantidades de dados astronômicos (exemplos: **SDSS** – *Sloan Digital Sky Survey*; **2MASS** – *The 2-micron All-Sky Survey*; **COSMOS** – *The Cosmic Evolution Survey*). Em muitos casos, no entanto, desejamos investigar alguma propriedade de algum tipo de objeto cujos dados ainda não foram disponibilizados por nenhum destes *surveys*. Por exemplo:

- Deseja-se analisar o espectro de um sistema binário de estrelas detectado por um *survey* de dados fotométricos, mas o objeto encontra-se numa região do céu ainda não observada pelo *survey* que disponibiliza os espectros de suas observações.
- Deseja-se conhecer a atividade estelar de uma galáxia anã distante, mas seu brilho superficial é muito tênue devido ao curto tempo de observação empregado pelo *survey* para cada objeto.
- Deseja-se estudar os efeitos do buraco negro central de uma galáxia massiva no meio interestelar desta galáxia. No entanto, a abertura do telescópio utilizado na elaboração do *survey* era muito menor que o diâmetro angular da galáxia, de modo que diversas regiões da galáxia não foram devidamente observadas.

Nestes e em diversos outros casos, há a possibilidade de se realizar uma **proposta de observação** a um Observatório Astronômico (exemplos de observatórios: Gemini, Arecibo, VLT – Very Large Telescope, Observatório Pico dos Dias, ...). Estas propostas são elaboradas pelo astrônomo (ou time de astrônomos) e avaliadas pelas equipes técnica e científica do Observatório. Nesta avaliação, o comitê averigua a justificativa científica da proposta; a possibilidade da observação ser realizada no período do ano desejado (considerando efeitos ambientais como clima, posição do objeto no céu, fase lunar, etc.); se as especificações da observação estão de acordo com as propriedades do telescópio e instrumento escolhidos, entre outros fatores que devem ser levados em conta na elaboração de sua proposta.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo **simular a elaboração de uma proposta de observação astronômica real**, onde serão explorados diversos conhecimentos adquiridos durante a disciplina.

Contexto Tarefa 1:

Imagine que você é um astrônomo e que durante sua pesquisa você se depara com 4 galáxias azuis, o que é um forte indício de que estas galáxias possuem estrelas muito jovens em seu interior. Ao mesmo tempo, você percebe que estas galáxias são curiosamente pequenas e fica intrigado em como é possível que galáxias tão compactas possam ter tamanha quantidade de estrelas jovens. Antes de iniciar sua investigação, você decide explorar os dados públicos em busca de informações úteis, optando por utilizar o catálogo do SDSS (*Sloan Digital Sky Survey*) para coletar algumas informações gerais sobre estas galáxias.

Tarefa 1:

A partir das coordenadas das 4 galáxias apresentadas abaixo, preencha o restante da tabela utilizando os dados disponibilizados no SDSS.

Instruções:

- ★ Nesta questão, utilizaremos duas tabelas do SDSS: “*PhotoObj*” e “*SpecObj*”, onde constam os principais dados fotométricos e espectroscópicos dos objetos observados, respectivamente.
- ★ As colunas da tabela abaixo representam (acesse [este site](#) para saber mais sobre as tabelas do SDSS):
 - **RA (deg):** Ascensão Reta [*graus*]
 - **Dec (deg):** Declinação [*graus*]
 - **z:** redshift espectroscópico do objeto
 - **petroRad_r:** Raio petrosiano na banda r [*arcsec*] (o raio petrosiano representa apenas uma das muitas maneiras de se medir o raio de uma galáxia)
 - **petroMag_r:** Magnitude petrosiana na banda r [*mag*]
 - **sn1_r:** Razão Sinal-Ruído na banda r (ler aula 13 para saber mais)
 - **objID:** identificador do objeto na tabela PhotoObj
 - **bestObjID:** identificador do objeto na tabela SpecObj
- ★ Para acessar as informações de cada galáxia e preencher a tabela, entre [neste site](#) e no canto superior esquerdo clique em “Search”. Uma pequena aba se abrirá e então basta colocar as coordenadas em “RA/Dec” e clicar em “Go” (o restante das opções de busca podem ser ignoradas). As tabelas: “*PhotoObj*” e “*SpecObj*” podem ser acessadas no menu à esquerda do site para cada objeto. **Veja abaixo um esquema de como acessar todas estas informações.**

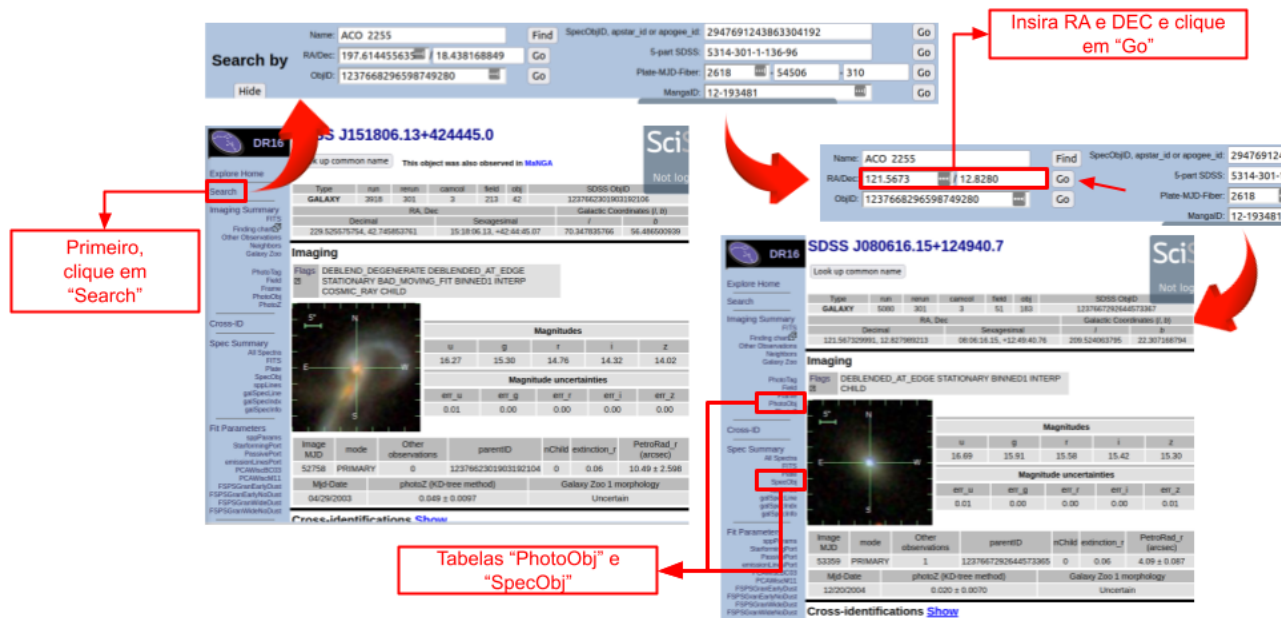


Tabela :

RA (deg)	Dec (deg)	z (SpecObj)	petroRad_r (PhotoObj)	petroMag_r (PhotoObj)	sn1_r (SpecObj)	objID (PhotoObj)	bestObjID (SpecObj)
121.5673	12.8280						
200.0040	52.0509						
146.4625	66.9678						
153.3594	30.1302						

Observatórios e instrumentos :

Mesmo com os dados obtidos e depois de várias horas de investigação, você não consegue explicar o porquê de galáxias tão compactas estarem formando tantas estrelas. Eis que você tem uma ideia: que tal estudar o espectro de diversas regiões de cada galáxia, em vez de estudar o espectro de sua luz integrada (como é o caso dos espectros do SDSS)? Da aula 17, você lembra que o modo IFU (Espectroscopia de Campo Integral) é a técnica ideal para isto, então você decide fazer uma proposta de observação ao Observatório Gemini no modo IFU para observar suas galáxias!

Mas por que o Observatório Gemini? Bem, o Brasil possui um consórcio com este Observatório, de modo que a comunidade científica brasileira ganha o direito a uma quantidade específica de horas para observação nos telescópios Gemini a cada semestre (para o segundo semestre de 2022, por exemplo, são 70 horas no Gemini Norte e 67 horas no Gemini Sul). Além disso, é claro, o instrumento escolhido deve satisfazer a justificativa científica para observação. Neste caso, por exemplo, é do nosso interesse realizar a observação no óptico (380 nm - 760 nm), que é uma região do espectro eletromagnético observada pelos instrumentos do Gemini (caso fosse do nosso interesse observar em rádio, por exemplo, o Observatório Gemini não seria adequado).

Olhando [neste site](#) você verifica que para uma observação adequada o objeto de interesse deve ter um tamanho angular semelhante ao das dimensões do instrumento, no caso 3.5'' x 5''. Objetos maiores resultarão em dados incompletos, pois apenas uma pequena região da galáxia será observada. Já objetos muito pequenos podem invalidar a técnica utilizada, visto que os detalhes do objeto não serão espacialmente resolvidos.

Utilizando as [ferramentas de imagem](#) do SDSS, é possível verificar se as dimensões do objeto são compatíveis com as dimensões do instrumento. A figura 1 abaixo mostra um exemplo de galáxia adequada para observação utilizando o modo IFU do Gemini. Aah, e não se preocupem! Todas as galáxias da tabela 1 possuem as dimensões adequadas para observação!

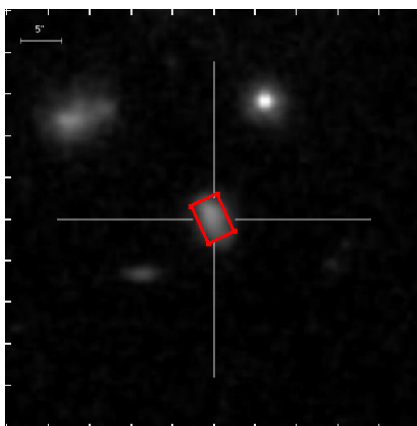


Figura 1: Imagem do SDSS em escala de cinza com destaque para o retângulo de dimensões 3.5''x 5'' representando as dimensões do instrumento sobre uma galáxia de tamanho semelhante.

Contexto Tarefa 2 :

Agora que você já encontrou algumas informações relevantes sobre cada objeto e optou por fazer a observação no Observatório Gemini no modo IFU, está na hora de criar um plano de observação, ou seja, determinar quando e onde o conjunto de objetos de interesse deverá ser observado!

Tarefa 2 :

Utilize as ferramentas [STARALT, STAROBS, STARTRACK E STARMULT](#) para elaborar seu plano de observação.

Instruções:

- ★ Você terá direito a apenas uma única noite no ano em um único observatório para esta observação. Garanta que a data escolhida compreenda a melhor qualidade de observação para a maior quantidade de objetos possível.
- ★ **Você deve considerar:** a fase da lua, a altura dos objetos, o tempo útil de observação de cada objeto naquela noite e o observatório a ser escolhido (pesquise o nome dos observatórios onde estão localizados os telescópios Gemini Norte e Sul e escolha o mais adequado). Lembre-se de explicar em detalhes as razões de suas escolhas no relatório.
- ★ Consulte a aula 4 para lembrar de maiores detalhes sobre o uso das ferramentas.

Contexto Tarefa 3 :

Agora que você já conhece bem seus objetos de interesse e elaborou seu plano de observação, vamos para a parte mais importante da proposta, que é definir os detalhes da observação. Nesta etapa, você deverá determinar o **tempo de observação** de cada objeto levando em conta: a magnitude do objeto; a razão Sinal-Ruído desejada para as linhas de emissão e para o contínuo de cada espectro e o tempo de ajuste do instrumento.

Tarefa 3 :

Elabore uma sequência de observações que cumpra os seguintes requisitos:

- O tempo TOTAL de observação não pode passar de 5h, incluindo o tempo utilizado pelo telescópio para ajustes e apontamentos (*Program time*).
- A razão S/N deve ser de no mínimo 50 para o contínuo e de no mínimo 250 para a linha de $H\alpha$ para todas as galáxias.
- Cada exposição deve levar no máximo 1800s (mas podem haver múltiplas exposições para cada objeto, isto porque exposições muito longas aumentam o risco de informações indesejadas: passagem de objetos na atmosfera, raios cósmicos, etc.).

!!! Lembre-se de apresentar no relatório:

- i) o output disponibilizado pela ferramenta;
- ii) uma explicação para as configurações escolhidas; e
- iii) a sua interpretação dos resultados !!!

Instruções:

- ★ Para definir o tempo de exposição das observações, utilizaremos uma Calculadora de Tempo de Integração (ITC, do inglês “*Integration Time Calculator*”) que é uma ferramenta muito importante para simular o resultado das observações baseado em um conjunto de parâmetros especificados pelos autores da proposta. É importante notar que, para o Gemini, existe um ITC para o [Gemini Sul](#) e outro para o [Gemini Norte](#), portanto utilize aquele que condiz com o observatório escolhido no seu plano de observação.

Observações:

- Os objetos podem ser observados em diferentes tempos de exposição, ou seja, o tempo total de observação do objeto x pode ser maior que do objeto y. No entanto, para um mesmo objeto, todas as repetidas exposições devem possuir o mesmo período: por exemplo, o objeto x deve ser observado em 3 vezes de 1200s (e não 1200s+900s+500s).
- Modificar as condições climáticas recomendadas pode melhorar o S/N final, mas isso **não** deve ser alterado para respeitar um equilíbrio entre qualidade final do espectro e probabilidade de ocorrência da observação.
- Neste trabalho utilizaremos apenas a rede de difração B600. No entanto, caso você tenha curiosidade, [neste link](#) estão apresentadas as curvas de eficiência das diferentes redes de difração do Telescópio Gemini.
- Nas próximas páginas há um tutorial de utilização do ITC e uma explicação de quais parâmetros devem ou não ser levados em conta para este trabalho. Logo após, uma explicação do output do ITC.

Bônus: Utilize a ferramenta “Interactive Spectrum” [no site da Tarefa 1](#) para verificar quais são e onde se encontram as linhas de emissão de cada galáxia de acordo com seu redshift e apresente no relatório quais linhas de emissão foram identificadas no output do seu ITC (este tipo de informação poderia contribuir para a justificativa científica de sua proposta em um pedido real de observação).

Tutorial para uso do ITC:

1) Astronomical source definition

Spatial profile and brightness: [\(more info\)](#)
Choose one of point, extended or user-defined source profile and the brightness in any filter/wavelength

☒ **Point source** [\(more info\)](#) with spatially integrated brightness: [15.0] mag (e.g. 18.3 mag or 24-27 Wierlajns)

Extended source history: Select the option if selected the image source selection is within 1 of the (11-11 degrees)

with the above brightness normalisation applied in filter: **r' (0.62 μm)**

Spectral distribution: [\(more info\)](#)
Choose one SED, the redshift and redshift

☒ **Library spectrum of a non-stellar object:** Spiral galaxy (Sc, 22 nm - 9.7 μm)

with the spectrum mapped to a redshift: **z=0.0** or a radial velocity: **v=0.0** km/s

Selecione "Point source" e insira a magnitude (parâmetro **petroMag_r**) de cada objeto

Escolher a normalização de brilho aplicado no filtro **r' (0.62 μm)**

Selecione "Library spectrum of a non-stellar object" e manter "Spiral galaxy (Sc, 22nm - 9.7μm)"

Escolher o **redshift z** de cada objeto

IGNORAR O QUE ESTÁ EM ROXO

2) Instrument and telescope configuration

Instrument (OMOS North) and telescope configuration

Instrument optical properties: [\(more info\)](#)

Grating: **none (imaging)**

Filter: **g (475 nm)**

Spectrum central wavelength: [] nm

Focal plane unit: none

Detector properties: [\(more info\)](#)

CCD type: **Advanced CCD (1024 x 1024 pixels)**

Detector binning:

- Spatial: **1 (1 pixel)** (For grating the number of pixels in the detector for each wavelength is 1024 pixels)
- Spectral: **1 (1 pixel)** (This corresponds to the detector's resolution in a single wavelength)

Region of interest: **Full frame (detector) - central spectrum (spectrograph controller) for**

Antagonist: **yes** (no and no) **yes**

Telescope configuration: [\(more info\)](#)

Telescope: **to none**

Observing port: **to telescope (3 telescopes)**

Instrument filter: **to none (3 telescopes)**

Instrument filter: **to none (3 telescopes)**

Em "Grating", selecionar "B600 grating"

Em "Filter", selecionar "none"

Em "Spectrum central wavelength", inserir um comprimento de onda central (em nm) adequado para a visualização da linha de H α

Em "Focal plane unit", selecionar "IFU Right Slit (red)"

3) Observing condition constraints:

Observing condition constraints

Please read the [explanatory notes](#) for the meaning of the percentiles and to ensure that your selected conditions are appropriate for the observing wavelength. Further details are available on the [observing condition constraints](#) pages.

Image Quality:	<input type="radio"/> 20%/Best	<input type="radio"/> 70%/Good	<input checked="" type="radio"/> 85%/Poor	<input type="radio"/> Any
Cloud Cover:	<input type="radio"/> 50%/Clear	<input checked="" type="radio"/> 70%/Cirrus	<input type="radio"/> 80%/Cloudy	<input type="radio"/> Any
Water Vapor:	<input type="radio"/> 20%/Low	<input type="radio"/> 50%/Median	<input type="radio"/> 80%/High	<input checked="" type="radio"/> Any
Sky Background:	<input type="radio"/> 20%/Darkest	<input type="radio"/> 50%/Dark	<input checked="" type="radio"/> 80%/Grey	<input type="radio"/> Any/Bright
Airmass:	<input type="radio"/> <1.2	<input checked="" type="radio"/> 1.5	<input type="radio"/> 2.0	

Calculate

Alterar cada ponto de acordo com o apresentado abaixo



Observing condition constraints

Please read the [explanatory notes](#) for the meaning of the percentiles and to ensure that your selected conditions are appropriate for the observing wavelength. Further details are available on the [observing condition constraints](#) pages.

Image Quality:	<input type="radio"/> 20%/Best	<input checked="" type="radio"/> 70%/Good	<input type="radio"/> 85%/Poor	<input type="radio"/> Any
Cloud Cover:	<input checked="" type="radio"/> 50%/Clear	<input type="radio"/> 70%/Cirrus	<input type="radio"/> 80%/Cloudy	<input type="radio"/> Any
Water Vapor:	<input type="radio"/> 20%/Low	<input type="radio"/> 50%/Median	<input type="radio"/> 80%/High	<input checked="" type="radio"/> Any
Sky Background:	<input type="radio"/> 20%/Darkest	<input checked="" type="radio"/> 50%/Dark	<input type="radio"/> 80%/Grey	<input type="radio"/> Any/Bright
Airmass:	<input type="radio"/> <1.2	<input checked="" type="radio"/> 1.5	<input type="radio"/> 2.0	

Calculate

4) Details of observation

Na primeira caixa, inserir a quantidade de exposições. Na segunda, o tempo (em segundos) de cada exposição (no máximo 1800s). Não alterar o valor da terceira caixa.

[illegible]

Selecione esta opção e substitua o valor de 1.0 para 0.56

Para saber mais do significado de cada opção indicada (e ignorada), veja este material extra.

Output do ITC:

Primeiramente, o output do ITC apresenta algumas informações que, para este trabalho, não são importantes:

Gemini Integration Time Calculator GMOS-N - 2021B.1.1.1

[Click here for help with the results page.](#)

Read noise: 3.6

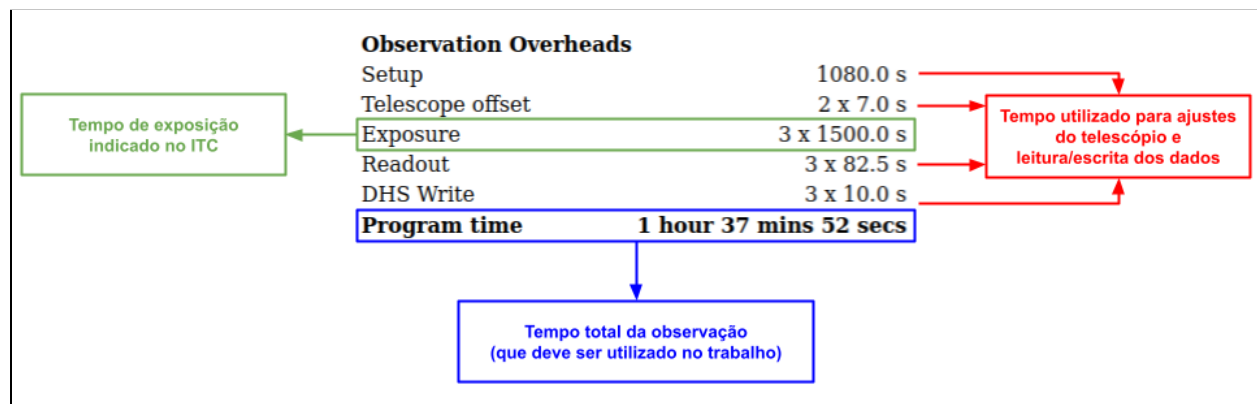
derived image size(FWHM) for a point source = 0.96 arcsec

Sky subtraction aperture = 250.0 times the software aperture.

Requested total integration time = 4500.00 secs, of which 4500.00 secs is on source.

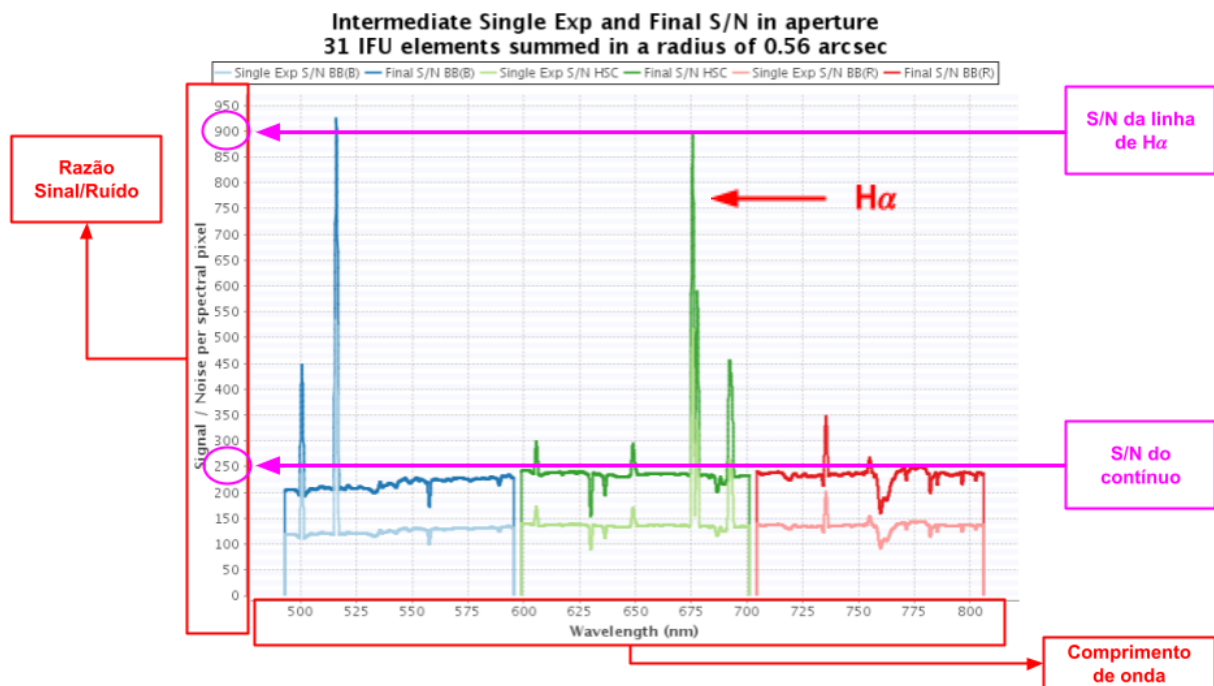
The peak pixel signal + background is 14872 e- (9124 ADU). This is 14% of the saturation limit of 106822 e-.

Em seguida, há o “observation overheads”, contendo algumas informações relevantes sobre o tempo total de observação. É importante ressaltar que o tempo que deve ser utilizado é o **Program time**, ou seja, o tempo total da observação.



Após isto, há dois gráficos, mas nós vamos focar nossa atenção apenas no segundo plot, ou seja, da Razão Sinal/Ruído (Signal to Noise per spectral pixel) em função do comprimento de onda (Wavelength). Nele, precisamos identificar o valor da razão S/N para o contínuo e para a linha de $H\alpha$:

- Para o contínuo estelar, utilizamos o maior valor encontrado nesta linha (para maiores detalhes do que é o contínuo estelar, consulte a aula 17).
- Para a linha de emissão de $H\alpha$, basta verificar o valor máximo alcançado pela linha.



Finalmente, a última parte do output é um compilado de todas as informações inseridas no ITC. Nota: é importante que o output completo esteja incluído no relatório.

Output:
• Spectra autoscaled.

Input Parameters:
Instrument: GMOS-N

Source spatial profile, brightness, and spectral distribution:
The $z = 0.03000$ point source is a 15.58 Vega spiral-galaxy in the r band.

Instrument configuration:
Optical Components:
• Fixed Optics
• IFU Transmission
• Grating Optics: B600_G5303
• Detector - Hamamatsu array
Amp gain: Low, Amp read mode: Slow
• Focal Plane Mask: IFU Right Slit (red)

Region of Interest: Full Frame Readout
Central Wavelength: 650.0 nm
Spatial Binning (imaging mode: same in x and y, spectroscopy mode: y-binning): 1
Spectral Binning (x-binning): 1
Pixel Size in Spatial Direction: 0.080778arcsec
Pixel Size in Spectral Direction: 0.05nm
IFU is selected, with IFU elements summed within 0.56arcsecs of center.

Telescope configuration:
• silver mirror coating.
• side looking port.
• wavefront sensor: oiwfs

Observing Conditions:
• Image Quality: 70.00%
• Sky Transparency (cloud cover): 50.00%
• Sky transparency (water vapour): 100.00%
• Sky background: 50.00%
• Airmass: 1.50
Likelihood of execution: 17.50%

Calculation and analysis methods:
• Mode: spectroscopy
• Calculation of S/N ratio with 3 exposures of 1500.00 secs, and 100.00% of them on source.
• Analysis performed for aperture that gives 'optimum' S/N and 250 fibres on sky.