

## ANEXOS

As páginas seguintes contêm as traduções para o português de dois “exercícios de laboratório” (simulações didáticas de projetos astrofísicos reais realizadas em computadores) desenvolvidos originalmente pela equipe do Projeto CLEA (Contemporary Laboratory Experiences in Astronomy), do Gettysburg College, PA (EUA), com apoio da National Science Foundation e da NASA.

As traduções foram preparadas para facilitar aos professores a aplicação desses excelentes trabalhos do Gettysburg College, que os disponibiliza gratuitamente desde 1992 a astrônomos e educadores de todo o mundo. Selecionamos dois dos mais representativos exercícios do Projeto CLEA para serem realizados em classe pelos alunos, conforme descrito em detalhes na seção “Atividades sugeridas (para professores)” do Capítulo 7 do Guia de Estudos. Trata-se dos exercícios “Photoelectric Photometry of the Pleiades” (Fotometria Fotoelétrica das Plêiades) e “Classification of Stellar Spectra” (Classificação de Espectros Estelares).

Considerando o volume de trabalho envolvido em cada exercício, optamos aqui por dividir cada um deles em duas partes. Cada parte pode ser executada tipicamente em duas a três horas pelos alunos, trabalhando em grupos de quatro a cinco pessoas sob a orientação do professor. Recomendamos vivamente, caso o cronograma de aulas o permita e a critério do professor, a realização de todos os quatro exercícios na ordem abaixo indicada. Em qualquer circunstância, todavia, só se deve realizá-los após completar o Capítulo 7 do Guia de Estudos, ocasião em que todo o conteúdo teórico necessário para sua execução já terá sido fornecido. Assume-se, naturalmente, que os alunos disponham de computadores com o programa VIREO já instalado<sup>1</sup>.

O primeiro exercício (“Photoelectric Photometry of the Pleiades”) foi dividido em:

- Fotometria Fotoelétrica das Plêiades, Parte 1 (Determinação das magnitudes aparentes e índices de cor de 24 estrelas do aglomerado das Plêiades).
- Fotometria Fotoelétrica das Plêiades, Parte 2 (Diagrama HR e distância do aglomerado das Plêiades).

O segundo exercício (“Classification of Stellar Spectra”) foi dividido em:

- Espectrometria, Parte 1 (Classificação de espectros estelares)
- Espectrometria, Parte 2 (Aquisição de espectros estelares, Paralaxe espectroscópica).

Traduções originais feitas pelo autor. Adaptação para o pacote VIREO e respectivas traduções feitas por Francisco Conte, Lilian Pera, Maria da Anunciação Rodrigues e Maria Eduarda Frabasile.

---

<sup>1</sup> O programa VIREO é obtido em <<http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/cleahome.html>>. Em caso de quaisquer dúvidas, consultar a seção “Atividades sugeridas (para professores)” do Capítulo 7 do Guia de Estudos.

## ANEXO 1

### Exercício CLEA – Fotometria Fotoelétrica das Plêiades

#### Parte 1 – Determinação das magnitudes aparentes e índices de cor de 24 estrelas do aglomerado das Plêiades

##### **Conceitos envolvidos**

Magnitude aparente, índice de cor.

##### **Objetivos**

Usar um fotômetro simulado para medir as magnitudes aparentes U, B e V de 24 estrelas do aglomerado das Plêiades.

##### **Material necessário**

Calculadora, computador com Windows e programa CLEA VIREO “Photoelectric Photometry of the Pleiades”, papel milimetrado, papel transparente, lápis e régua ou planilha de dados.

##### **Introdução**

O programa “Photoelectric Photometry of the Pleiades” faz uma simulação realista de fotômetros acoplados a telescópios profissionais. Os telescópios são controlados por um computador que permite movê-los de uma estrela para outra e fazer medidas. Filtros diferentes podem ser selecionados para cada medida, e o tempo de integração pode ser ajustado. O computador também executa o trabalho de converter a contagem de fótons em magnitudes aparentes e fornece uma estimativa da qualidade dos dados coletados.

Na primeira parte deste exercício, você coletará dados de 24 estrelas do aglomerado estelar das Plêiades (M45). Você medirá as magnitudes aparentes de cada estrela, em cada uma das três cores (U, B e V). Assumiremos que todas essas estrelas estão aproximadamente à mesma distância. Essa hipótese é razoável, uma vez que elas pertencem ao mesmo aglomerado.

## Medidas das magnitudes aparentes e índices de cor de 24 estrelas do aglomerado das Plêiades

### 1. Inicializar o VIREO e inserir as informações do aluno

- Clique no menu **File** e, no menu vertical que se abre, em **Login**.
- Digite seu nome e os de seus colegas de grupo nos campos **Student#...** Clique **OK** e depois **Sim**, na janela com os dizeres “**Have you finished logging in?**”.

### 2. Abrir o programa de fotometria fotoelétrica das Plêiades

- Clique no menu **File**.
- No menu vertical que se abre, clique em **Run exercise...** No menu vertical seguinte, clique em “**Photoelectric Photometry of the Pleiades**”

Se durante a execução do exercício você tiver alguma dúvida, acesse o menu **Help – Topics**.

### 3. Escolher o telescópio

- Clique em **Telescopes** e em **Optical**.
- A princípio normalmente só estará disponível o telescópio de 0,4 metro. Clique em **Access 0,4 Meter** para acessá-lo.

A utilização de telescópios de maior abertura é útil para a observação de estrelas de brilho fraco (em alguns casos, é a única opção). Durante a realização do exercício, quando você tiver uma ideia melhor do brilho das estrelas que serão medidas, poderá solicitar o acesso aos outros telescópios do menu. O programa foi desenvolvido de tal forma que, para diferentes usuários, o acesso aos outros telescópios poderá ser concedido em momentos diversos (simulando assim também o que acontece com os astrônomos na vida real).

### 4. Abrir a cúpula do observatório e fazer ajustes

- Clique na parte superior do botão que fica do lado direito da tela (**Open**).
- Quando a cúpula estiver totalmente aberta, o centro da tela mostrará uma vista do aglomerado.
- Na caixa **Telescope Control Panel**, na direita da tela, clique no botão onde está marcado **Off** para acionar o telescópio.
- Clique em **Tracking** para ligar o acompanhamento do telescópio e compensar o movimento de rotação da Terra.
- Na parte direita da tela, na caixa **View**, deslize o botão para **Telescope**, para obter uma ampliação maior (consequentemente, o campo de visão irá se restringir).

## 5. Fazer medidas do fundo do céu

- Coloque o círculo que representa a abertura do fotômetro em uma região sem estrelas para medir o brilho do céu. Para mover o telescópio use os botões **N, S, E, W**, na parte esquerda da tela. Você pode mudar a velocidade de movimento do telescópio com o botão **Slew Rate**.
- Na direita da tela, na caixa **Instrument**, com **Photometer** selecionado, clique em **Access**.
- Em **Filter**, arraste o botão para selecionar o filtro **U** (ultravioleta).
- Em **Integration seconds**, arraste o botão para escolher o tempo de integração de cada medida. O tempo pode ser ajustado entre 0,1 e 100 segundos.
- Em **# of Integrations** arraste o botão para selecionar o número de integrações. O programa permite que você faça de 1 a 5 integrações. O resultado final das medidas é fornecido pela média entre as sucessivas integrações.
- Confira se na caixa **Reading**: está selecionada a opção **Sky**.
- Clique em **Start** para iniciar as integrações e aguarde enquanto o fotômetro realiza esse trabalho.
- Preencha a primeira célula da tabela abaixo, anotando o valor médio dessas contagens por segundo do céu (**Mean sky counts/sec**) obtido para o filtro **U**.
- Preencha também os campos referentes a telescópio, tempo e integrações.
- Repita todo o procedimento para os filtros B e V, usando os mesmos parâmetros de tempo e número de integrações.

**Medidas do fundo do céu**  
(contagens por segundo, filtros U, B e V)

	<b>U</b>	<b>B</b>	<b>V</b>	<b>Telescópio</b>	<b>Tempo</b>	<b>Integrações</b>
Padrão 1						
Padrão 2						
Padrão 3						
Padrão 4						
Padrão 5						
Padrão 6						
Padrão 7						
Padrão 8						
Padrão 9						
Padrão 10						

O tempo e o número de integrações utilizadas ao obter as medidas de magnitude de uma estrela deverão ser os mesmos usados para a medida do céu. Por exemplo, para medir a magnitude de uma estrela que necessite de quatro integrações de 10 segundos, será necessário que o céu tenha sido medido imediatamente antes com quatro integrações de 10 segundos.

Uma boa ideia é começar com um padrão de medida rápido, como 5 integrações de 1 segundo, por exemplo, medir todas as estrelas da planilha que for possível e só então passar a outro padrão de medida. Não esqueça de preencher, a cada mudança de padrão, a tabela **Medidas do fundo do céu**.

## 6. Medidas das estrelas

- Vamos medir agora as magnitudes U, B e V das estrelas relacionadas na **Planilha de dados** que se encontra no fim deste Anexo 1. Para localizar cada estrela que consta dessa planilha, você poderá utilizar os botões **N, S, E, W**. As coordenadas da posição do diafragma (círculo vermelho) aparecem na parte inferior da tela. Outra opção, mais prática, é inserir diretamente as coordenadas da estrela. Para isso, clique no menu em **Slew** e em seguida em **Set Coordinates**. Forneça a ascensão reta e declinação da primeira estrela. Clique **OK** e o telescópio se moverá para ela.
- Se necessário, acerte a posição do diafragma, de modo que a estrela fique bem no centro. Volte à tela do fotômetro (**Access**), mude o botão deslizante da caixa **Reading** de **Sky** para **Object** e faça medidas dessa estrela nos três filtros (**U, B e V**), com os mesmos parâmetros de integrações e tempo usados para medir o fundo do céu. A cada medida verifique a razão sinal/ruído (**SN ratio**), que deverá ser superior a 100.
- Caso a razão sinal/ruído seja insatisfatória, pule essa estrela e passe para a seguinte da lista, deixando para refazer suas medidas no final, com tempo ou número de integrações maior (ou usando outro telescópio, se necessário). Lembre-se, sempre que mudar o tempo, número de integrações ou telescópio, de medir antes o fundo do céu usando esses novos parâmetros e de anotá-los numa nova linha da tabela **Medidas do fundo do céu**.
- Preencha a linha correspondente à estrela na **Planilha de dados** com os valores de magnitude obtidos, até três casas decimais. Na coluna **Padrão**, insira o número correspondente que está na tabela **Medidas do fundo do céu**.
- Repita o procedimento para todas as demais estrelas da planilha. Uma maneira mais fácil de acessá-las é clicar em **Slew – Observation hot list – View/Select from list...**
- Você poderá salvar seus resultados no programa, mas para isso deve gravar cada uma das medidas em cada um dos filtros, clicando em **File – Data – Record/review** ao final de cada medida (caso você não faça isso, um lembrete aparecerá na tela, cada vez iniciar uma medida com um novo filtro). E, ao final da observação, antes de fechar o programa, salve essas informações usando o menu **Tools – Result editors – Observational results – Save data**.

## 7. Mudança de telescópio

- Para solicitar tempo em um telescópio maior, feche primeiramente a tela do telescópio em uso (**File – Exit telescope**).
- Clique em **Telescopes – Optical – Request time** e escolha outro telescópio. Se você não obtiver o acesso imediatamente, o programa avisará quando chegar o momento adequado para solicitá-lo novamente. Refaça o pedido e, caso seja realmente aceito, clique em **Telescopes – Optical** e, na lista da parte de baixo do menu vertical, no telescópio que irá usar. Automaticamente a cúpula será fechada, para que você possa então abrir o novo telescópio (botão **Open**).

É possível pedir acesso aos dois telescópios maiores ao mesmo tempo. É importante: no momento em que conseguir o telescópio não demore a usá-lo, pois depois de algum tempo ele poderá ser desabilitado. Além disso, ele sempre será disponibilizado para um número limitado de medidas.

Ao utilizar um novo telescópio, refaça as medidas do fundo do céu antes de medir as magnitudes de estrelas.

## 8. Conclusão da primeira parte do exercício

- Quando tiver terminado as medidas de todas as estrelas, feche a janela de fotometria, clique no botão **Tracking** para desligar o acompanhamento do telescópio e depois no menu **File – Exit telescope**. Na direita, clique na parte de baixo do botão (**Close**) para fechar a cúpula.

Se quiser salvar as magnitudes que gravou durante a realização do exercício para poder acessá-las mais tarde, use o menu **Tools – Result editors – Observacional results – Save data**. Para acessá-las quando reabrir o programa, clique em **Tools – Result editors – Observacional results – Load saved data**.

- Calcule os índices de cor B-V até duas casas decimais e anote na planilha. Estrelas quentes terão B-V pequenos e em alguns casos negativos. Estrelas frias terão B-V entre 1 e 2.

Após preencher toda a **Planilha de Dados**, copie-a ou imprima-a para uso na Parte 2 do exercício.

**Fonte e referências para este exercício:**

**CLEA – Contemporary Laboratory Experiences in Astronomy – Department of Physics,  
Gettysburg College, Gettysburg, PA 17325, USA.**

[<http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/cleahome.html>](http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/cleahome.html)

### Planilha de dados

Estrela	Padrão	RA (h min s)	Dec (° ' ")	U	B	V	(B-V)
1		3 41 18	23 58 00				
2		3 42 55	24 29 36				
3		3 44 07	24 20 12				
4		3 45 07	24 15 49				
5		3 45 13	24 28 02				
6		3 45 40	24 37 39				
7		3 45 42	25 03 26				
8		3 45 43	24 16 13				
9		3 45 48	24 52 43				
10		3 46 27	24 15 18				
11		3 46 28	23 35 35				
12		3 46 34	23 37 27				
13		3 46 51	23 14 22				
14		3 46 59	24 31 12				
15		3 47 01	24 22 24				
16		3 47 29	24 06 18				
17		3 47 37	23 36 34				
18		3 47 51	24 40 45				
19		3 48 13	25 05 56				
20		3 48 21	23 25 16				
21		3 48 30	24 20 44				
22		3 49 08	24 00 40				
23		3 49 25	23 47 42				
24		3 49 57	24 20 56				

## ANEXO 2

### Exercício CLEA – Fotometria Fotoelétrica das Plêiades

#### Parte 2 – Diagrama HR e distância do aglomerado das Plêiades

##### **Conceitos envolvidos**

Magnitude absoluta, magnitude aparente, índice de cor, distância, diagrama HR.

##### **Objetivos**

1. Fazer e comparar diagramas HR, encontrar a relação entre magnitude aparente e magnitude absoluta.
2. Determinar a distância do aglomerado M45 (Plêiades).

##### **Material necessário**

Calculadora, planilha de dados obtida na Parte 1 deste exercício (ou computador com Windows e programa CLEA VIREO “Photoelectric Photometry of the Pleiades”, para os que optarem por fazer as duas partes do exercício de uma só vez). Papel milimetrado, folha de papel ou plástico transparente (transparência para retroprojetor, papel celofane ou papel de seda) e caneta adequada para escrever na transparência. Alternativamente ao processo manual, poderá ser usado software MS-Excel ou equivalente para a construção dos gráficos.

##### **Introdução**

Na primeira parte deste exercício, você coletou dados de 24 estrelas do aglomerado estelar das Plêiades (M45), mediu as magnitudes aparentes de cada estrela em cada uma das três cores U, B, V e calculou seu índice de cor (B-V).

Nesta segunda parte, você construirá, a partir dos seus dados medidos, um diagrama HR (Hertzsprung-Russell), mostrando as magnitudes aparentes V das estrelas do aglomerado em função de seus índices de cor. O índice de cor (B-V) é a magnitude aparente no filtro azul (B) menos a magnitude aparente no filtro visual (V). Assumiremos que todas essas estrelas estão aproximadamente à mesma distância. Essa hipótese é razoável, uma vez que elas pertencem ao mesmo aglomerado.

Você construirá também outro diagrama HR (padrão), referente a um grupo de estrelas da sequência principal com magnitudes absolutas visuais previamente conhecidas (tabela **Estrelas-padrão da sequência principal**). Sobrepondo e alinhando



esses dois gráficos, você poderá associar a magnitude aparente ( $V$ ) de uma estrela do aglomerado das Plêiades com sua magnitude absoluta ( $M_V$ ).

Conhecendo a magnitude aparente e a magnitude absoluta da estrela, você poderá determinar a sua distância, em parsecs, a partir da equação do módulo de distância:

$$(V - M_V) = 5 \log d - 5$$

onde  $(V - M_V)$  é o *módulo de distância* e

$V$  = magnitude aparente

$M_V$  = magnitude absoluta

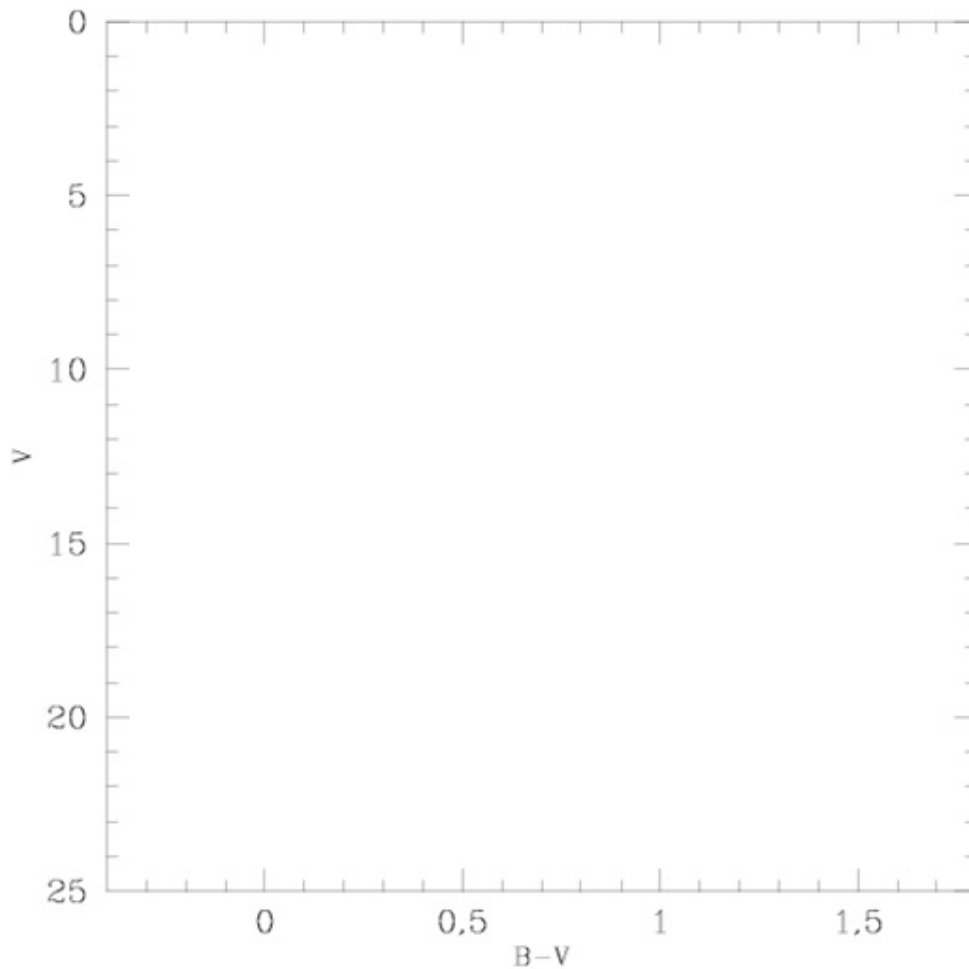
$d$  = distância em parsecs

### Construção dos diagramas HR e determinação da distância do aglomerado das Plêiades

#### 1. Construção do diagrama HR das Plêiades

Para construir seu diagrama HR, você deve usar uma folha de papel milimetrado (ou planilha Excel). Recupere a **Planilha de dados** que você montou na primeira parte deste exercício. Plote no eixo vertical ( $y$ ) as magnitudes aparentes visuais ( $V$ ) das estrelas que mediu. Plote no eixo horizontal ( $x$ ), os valores de  $(B-V)$  que calculou para essas estrelas. Lembre-se de que, quanto mais fraca uma estrela, maior é o número que representa sua magnitude aparente. Construa seu eixo  $y$  “invertido”, de modo que a magnitude zero esteja no topo do eixo, e a magnitude 25 esteja na interseção com o eixo horizontal. O eixo  $x$  deve cobrir o intervalo entre  $-0,4$  (à esquerda) e  $1,8$  (à direita).

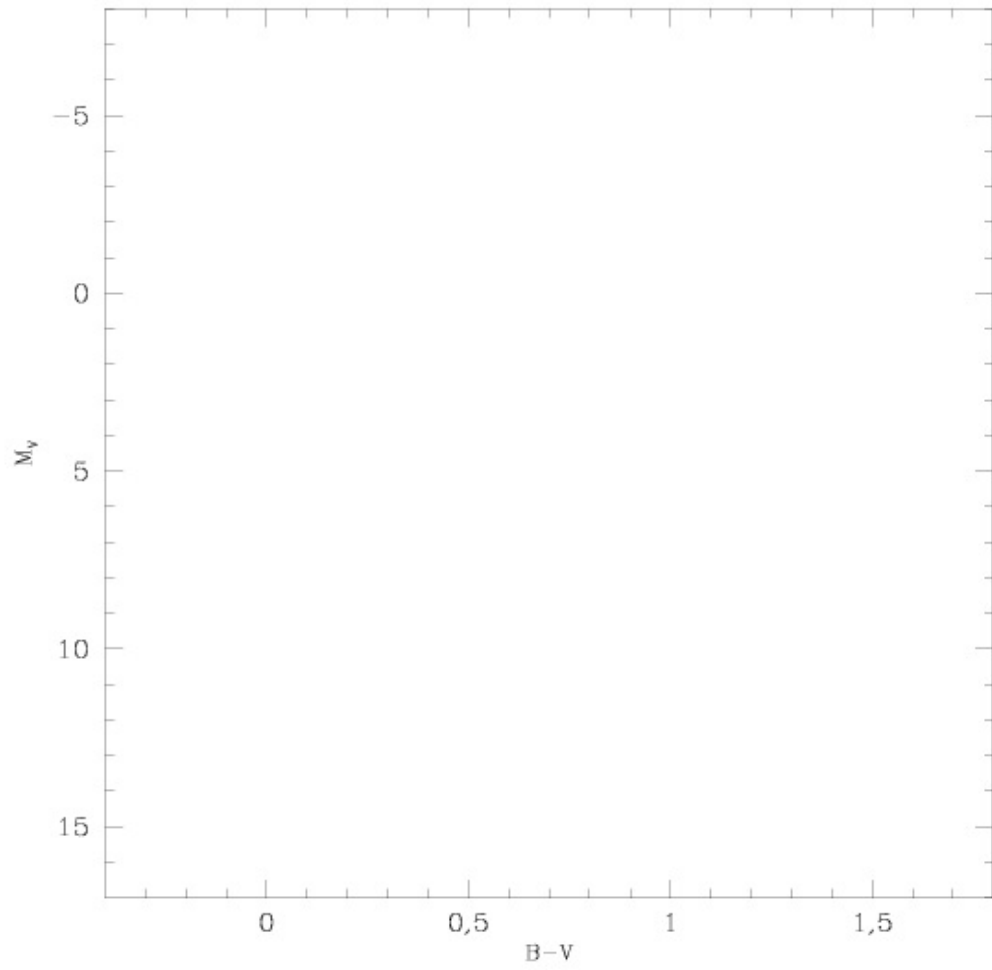
Faça seu gráfico como no gabarito abaixo, mas expandido, de forma a ocupar toda a folha de papel milimetrado. Um gráfico muito pequeno torna mais difícil a colocação dos dados de forma precisa.



## 2. Construção do diagrama HR das estrelas-padrão

Você agora criará um segundo gráfico na sua transparência. Neste gráfico, você plotará os dados constantes da tabela **Estrelas-padrão da sequência principal**, referente a um grupo de estrelas da sequência principal para as quais as magnitudes absolutas visuais ( $M_V$ ) foram previamente determinadas.

- Coloque a folha de papel ou plástico transparente sobre seu gráfico e, com uma régua, trace os eixos x e y de forma que eles fiquem exatamente do mesmo tamanho e com as mesmas divisões que os do diagrama HR dos dados medidos. A diferença é que o eixo y deste novo gráfico terá uma escala entre  $-8$  (limite superior) e  $+17$  (limite inferior). A escala do eixo x fica a mesma. A figura abaixo mostra o que deve aparecer em cada eixo do gráfico na folha transparente.



- Agora, plote as estrelas-padrão da tabela **Estrelas-padrão da sequência principal** na sua folha transparente.

### Estrelas-padrão da sequência principal

Magnitude absoluta $M_v$	Índice de cor (B-V)	Tipo espectral
-5,8	-0,35	O5
-4,1	-0,31	B0
-1,1	-0,16	B5
0,7	0,00	A0
2,0	0,13	A5
2,6	0,27	F0
3,4	0,42	F5
4,4	0,58	G0
5,1	0,70	G5
5,9	0,89	K0
7,3	1,18	K5
9,0	1,45	M0
11,8	1,63	M5
16,0	1,80	M8

### 3. Determinação da distância do aglomerado das Plêiades

- Deslize o papel transparente sobre o papel milimetrado para cima e para baixo até a posição em que as duas sequências principais de estrelas se sobreponham melhor na parte central, sempre mantendo os eixos  $y$  superpostos. As estrelas vermelhas e frias (na parte inferior direita do gráfico das Plêiades) poderão ter uma dispersão um pouco maior e não se ajustarem muito bem.
- Quando as duas sequências estiverem superpostas, cada estrela da sequência principal combinada pode ser descrita ou em termos de  $V$  ou de  $M_v$ . A relação entre magnitude absoluta e magnitude aparente é a mesma para todas as estrelas, não importa sua magnitude. Então, pegue qualquer magnitude na

escala de magnitude absoluta e leia sua magnitude aparente correspondente. Leia cada escala com precisão de uma casa decimal.

Conhecendo a magnitude aparente ( $V$ ) e a magnitude absoluta ( $M_V$ ) de uma estrela, você poderá determinar sua distância  $d$ , em parsecs, a partir da equação do módulo de distância:

$$(V - M_V) = 5 \log d - 5$$

Note que a distância determinada na equação acima está em parsecs. Converta depois a sua resposta para anos-luz, lembrando que 1 pc equivale a 3,26 anos-luz.

Se você desejar, poderá repetir esse procedimento para várias estrelas e fazer uma média aritmética dos valores de  $d$  obtidos para cada estrela. Isso pode melhorar a precisão do seu resultado.

Resumo do processo:

- Magnitude absoluta (lida na folha transparente):  $M_V = \dots\dots\dots$
- Magnitude aparente (lida na folha milimetrada):  $V = \dots\dots\dots$
- Distância ao aglomerado:  $d = \dots\dots\dots$  (parsecs)
- Distância ao aglomerado:  $d = \dots\dots\dots$ (anos-luz)

**Fonte e referências para este exercício:**

**CLEA – Contemporary Laboratory Experiences in Astronomy – Department of Physics,  
Gettysburg College, Gettysburg, PA 17325, USA.**

**<<http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/cleahome.html>>**

## **ANEXO 3**

### **Exercício CLEA – Espectrometria**

#### **Parte 1 – Classificação de espectros estelares**

##### **Conceitos envolvidos**

Espectros contínuo e discreto, linhas de absorção, tipo espectral, sequência principal, lei de Wien.

##### **Objetivos**

1. Familiarizar-se com a aparência de espectros de estrelas da sequência principal.
2. Fazer a classificação espectral de estrelas da sequência principal.

##### **Material necessário**

Computador com Windows e programa CLEA VIREO “Classification of Stellar Spectra”.

##### **Introdução**

O exercício computacional CLEA consiste em duas partes. Nesta primeira parte, você examinará os espectros digitalizados de 25 estrelas desconhecidas, determinará o tipo espectral de cada uma delas e anotará seus resultados juntamente com a justificativa para a classificação. Para realizar essa tarefa, você usará um atlas digital representativo com 13 espectros-padrão (incluído no software). Comparando as intensidades relativas de linhas de absorção características com as das estrelas desconhecidas você será capaz de estimar seu tipo espectral.

## Classificação espectral de estrelas da sequência principal

### 1. Inicializar o VIREO e inserir as informações do aluno

- Clique no menu **File** e, no menu vertical que se abre, em **Login**.
- Digite seu nome e os de seus colegas de grupo nos campos **Student#...** Clique **OK** e depois **Sim**, na janela com os dizeres “**Have you finished logging in?**”.

Se durante a execução do exercício você tiver alguma dúvida, acesse o menu **Help – Topics**.

### 2. Abrir o programa de classificação espectral de estrelas

- Clique no menu **File** e, no menu vertical que se abre, em **Run exercise** e depois em **Classification of Stellar Spectra**.

### 3. Abrir o atlas de espectros-padrão

- Clique no menu **Tools** e, no menu vertical que se abre, em **Spectral classification**.
- Clique no menu **File** e em **Atlas of Standard Spectra**.
- No quadrinho que se abre, dê um duplo clique sobre **Main Sequence**.

Você poderá acessar treze espectros-padrão, listados na janela do lado direito da tela. São sempre exibidos dois espectros-padrão, nos painéis superior e inferior da tela. Para mudar os espectros exibidos, use as setas do teclado ou clique nos nomes dos tipos espectrais, na janela da direita.

O número romano **V** ao lado de cada tipo espectral indica que são estrelas da sequência principal.

Os pontos mais altos dos espectros correspondem ao *contínuo*, que é devido à luz total da fotosfera das estrelas. Os sulcos nos espectros são *linhas de absorção* produzidas por átomos e íons na atmosfera das estrelas.

Duas coisas importantes podem ser notadas olhando-se todos os espectros:

1. Os diferentes tipos espectrais mostram diferentes linhas de absorção, que correspondem às transições atômicas que ocorrem em cada temperatura.
2. A forma do contínuo varia, pois é determinada pela lei de radiação do corpo negro (lei de Planck). A lei de Wien nos diz que o comprimento de onda em que ocorre a intensidade máxima ( $\lambda_{\max}$ ) é inversamente proporcional à temperatura do objeto (T):

$$\lambda_{\max} = (2,9 \times 10^7) / T$$

onde  $\lambda_{\max}$  está em angstroms (Å) e T em kelvins (K).

Ou seja, quanto maior a temperatura da estrela, menor será o comprimento de onda correspondente à intensidade máxima do contínuo.

*Observando o contínuo das treze estrelas do atlas, você pode dizer qual tipo espectral é mais quente?*

*Identifique-o aqui.....*

*Qual tipo espectral, aproximadamente, tem o pico do contínuo em 4200 Å?*

*.....*

*Qual seria a temperatura dessa estrela? .....*

#### **4. Comprimentos de onda e intensidades**

- Para medir o comprimento de onda e a intensidade de qualquer ponto do espectro, clique sobre ele. Surge uma linha cruzada na tela, que facilita a centralização sobre o ponto. Você poderá usar ainda os botões **In** e **Out** do **Zoom** (na direita da tela), se quiser ampliar ou reduzir o campo, para melhorar o posicionamento do cursor. A leitura do comprimento de onda e da intensidade é vista abaixo dos painéis.

*Escolha qualquer ponto do contínuo do espectro-padrão B0 V e anote abaixo seu comprimento de onda e intensidade.*

*Comprimento de onda ..... Intensidade.....*

*Meça o comprimento de onda e a intensidade do ponto mais profundo da linha de absorção mais intensa (mais funda) no espectro-padrão F0 V. Anote abaixo:*

*Comprimento de onda ..... Intensidade.....*

#### **5. Linhas espectrais e elementos químicos**

- Agora você irá identificar os elementos químicos que produzem as linhas. Para isso, clique no menu **File** e em **Spectral Line Table**. Aparecerá uma lista de linhas espectrais, cada uma com o comprimento de onda e o elemento que a produz. O algarismo romano ao lado do símbolo do elemento indica se o elemento é neutro (I) ou ionizado (o algarismo II indica uma vez ionizado, III indica duas vezes ionizado etc.) Ao clicar sobre uma linha do espectro, o nome da linha será destacado na lista. Ou, alternativamente, clicando sobre um nome na lista, a linha correspondente será indicada no espectro.

Para obter mais informações sobre uma linha, clique duas vezes sobre o nome na lista.

#### **Exercício da Tabela 1 – Linhas espectrais**

*Para cada um dos seis tipos espectrais listados na tabela, identifique agora as principais linhas espectrais produzidas, suas intensidades e os elementos que as estão produzindo. Atenção: lembre-se de clicar sobre a linha no painel do tipo espectral que*



*está sendo estudado, e não em algum outro. Liste seus resultados na tabela 1 deste exercício.*

## **6. Para classificar uma estrela**

- Clique no menu **File**, em **Unknown Spectrum** e em **Program List**. Uma lista de estrelas vai aparecer, com a primeira delas – HD124320 – já selecionada. Clique duas vezes sobre esse nome. O espectro dessa estrela vai aparecer no painel central da tela. Nos painéis superior e inferior permanecerão os espectros-padrão do atlas.

Observe que os espectros que você está vendo (que são típicos daqueles usados para classificação espectral) não cobrem todo o intervalo de comprimentos de onda visíveis (3900 a 7000 Angstroms), mas apenas uma porção limitada entre 3700 Å e 4700 Å. Esta é uma simulação precisa do que acontece na prática: a faixa espectral que se consegue cobrir é uma função das características do equipamento (espectroscópio, telescópio) usado.

*A que faixas de energia corresponde o intervalo coberto pelo espectroscópio deste exercício?*

*No trecho visível do espectro, a que cores corresponde o intervalo coberto pelo espectroscópio deste exercício?*

- Começando pelos primeiros espectros-padrão vistos no atlas, você verá o de uma estrela O5, no painel de cima, e o de uma estrela B0, no de baixo. Vá alternando agora os espectros-padrão exibidos, até que o da estrela desconhecida fique entre dois de aparência bem próxima. Por exemplo, o espectro da estrela HD 124320 está entre os de uma A1 e de uma A5. Confira.
- Para fazer a comparação de uma maneira mais precisa, clique em **File**, **Display** e **Show Difference**. O painel de baixo passa então a mostrar uma linha vermelha que representa a diferença entre o espectro de cima e o do meio. Para desativar esse recurso, use a mesma série de comandos.

*Estime o tipo espectral da estrela HD 124320 .....*

## **Exercício da Tabela 2 – Classificação espectral**

A seguir, você irá fazer a classificação espectral de 25 estrelas com espectros não classificados armazenados no computador e colocar seus resultados na Tabela 2. Para servir de exemplo, o primeiro item da tabela (HD 124320) já foi

preenchido. Para prosseguir, clique em **File, Unknown Spectra** e **Next on list**. (Ou, alternativamente, clique em **File, Unknown Spectra** e **Program List** e veja a lista de todas as estrelas que devem ser classificadas; escolha a próxima, que é HD 37767).

*Estime o tipo espectral de cada estrela, da mesma maneira que você já fez com HD 124320, justificando a sua classificação com base na intensidade das linhas características de cada tipo.*

*Após apresentá-las ao instrutor, guarde uma cópia de suas tabelas. Elas serão úteis para discussões posteriores em aula.*

**Fonte e referências para este exercício:**

**CLEA – Contemporary Laboratory Experiences in Astronomy – Department of Physics,  
Gettysburg College, Gettysburg, PA 17325, USA.**

**<<http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/cleahome.html>>**

**Tabela 1 – Linhas espectrais**

<i>Tipo espectral</i>	<i>Comprimento de onda da linha</i>	<i>Intensidade (forte/média/fraca)</i>	<i>Átomo ou íon</i>
O5			
B6			
A5			
F5			
G6			
M5			



## ANEXO 4

### Exercício CLEA – Espectrometria

#### Parte 2 – Aquisição de espectros estelares. Paralaxe espectroscópica

##### **Conceitos envolvidos**

Espectro, contínuo, linhas de absorção, tipo espectral, sequência principal, lei de Wien, magnitude aparente, magnitude absoluta, módulo de distância.

##### **Objetivos**

1. Obter espectros de estrelas desconhecidas em um campo simulado de estrelas e classificar as estrelas de acordo com seu espectro.
2. Determinar a distância dessas estrelas pelo método da paralaxe espectroscópica.

##### **Material necessário**

Computador com Windows e programa CLEA VIREO “Classification of Stellar Spectra”.

##### **Introdução**

Nesta segunda parte do exercício de espectrometria temos uma simulação realista de um espectrômetro astronômico acoplado a um telescópio. Você irá classificar seus espectros comparando-os com espectros de estrelas-padrão armazenados no computador, como foi feito na primeira parte do exercício. O programa permite acessar três telescópios diferentes: um pequeno (0,4 m), um médio (0,9 m) e um grande (4 m), mas o telescópio acessado automaticamente por default é o pequeno. Se ao fim da observação você sentir a necessidade de usar um telescópio maior para melhorar a razão sinal/ruído, poderá requerer tempo de observação num telescópio maior (menu **Telescope**, opção **Request time**). Mas isso ficará como um exercício opcional.

## Aquisição de espectros estelares e paralaxe espectroscópica

### 1. Inicializar o VIREO e inserir as informações do aluno

- Clique no menu **File** e, no menu vertical que se abre, em **Login**.
- Digite seu nome e os de seus colegas de grupo nos campos **Student#...** Clique **OK** e depois **Sim**, na janela com os dizeres “**Have you finished logging in?**”.

### 2. Abrir o programa Classificação de Espectros Estelares

- Clique no menu **File** e, no menu vertical que se abre, em **Run exercise** e depois em **Classification of Stellar Spectra**.

Se durante a execução do exercício você tiver alguma dúvida, acesse o menu **Help – Topics**

### 3. Escolher o telescópio

- Clique em **Telescopes** e em **Optical**.
- A princípio normalmente só estará disponível o telescópio de 0,4 metro. Clique em **Access 0,4 Meter** para acessá-lo.

### 4. Abrir a cúpula do observatório e fazer ajustes

A tela do observatório é idêntica à do observatório de fotometria, que você usou ao fazer o exercício “Fotometria Fotoelétrica das Plêiades”.

- Clique na parte superior do botão que fica do lado direito da tela (**Open**).
- Na caixa **Telescope Control Panel**, na direita da tela, clique no botão onde está marcado **Off** para acionar o telescópio.
- Clique em **Tracking** para ligar o acompanhamento do telescópio e compensar o movimento de rotação da Terra.

### 5. Aquisição dos espectros

- Clique em **Slew**, em **Set coordinates** e insira as coordenadas da estrela número 1 (veja a **Tabela 1 – Tipos espectrais de quatro estrelas desconhecidas**).
- Na parte direita da tela, na caixa **View**, deslize o botão para **Telescope**, para obter uma ampliação maior (consequentemente, o campo de visão irá se restringir). O display mostrará a fenda do espectrômetro, que tem 15 minutos de arco de largura.
- Após selecionar a primeira estrela da Tabela 1 através de suas coordenadas, centre cuidadosamente a estrela dentro da fenda usando os botões **N**, **S**, **E** ou **W**. Você poderá mudar a velocidade de movimento do telescópio para um valor

menor, para facilitar a centralização (caixa **Slew Rate**, na parte de baixo da tela).

- Na parte direita da tela, na caixa **Instrument**, clique em **Access** (já estará selecionada a opção **Spectrometer**).
- A tela agora mostra um gráfico de comprimento de onda (eixo x) versus intensidade (eixo y).
- Clique em **Go** para começar a medir o espectro. O espectrômetro começará a coletar fótons da estrela (e alguns do céu). Após alguns segundos o espectro começa a tomar forma. Quanto mais fótons você coletar, mais bem definido será o espectro. O computador automaticamente ajusta o espectro de forma que os pontos mais intensos tenham o valor 1,0 no gráfico. Por isso o espectro não aumenta em altura: apenas se torna mais definido.

A tela do espectrômetro mostra algumas outras informações, como o nome do objeto, sua magnitude visual aparente, o número total de fótons coletados e o número médio de fótons por pixel, o tempo decorrido desde o início da medida e a razão sinal/ruído (S/N), que é uma medida da qualidade dos dados obtidos.

Para uma boa classificação, convém alcançar uma razão S/N de no mínimo 100, o que é rápido para uma estrela brilhante, mas pode ser muito demorado para uma estrela fraca.

- Para parar a coleta de dados, clique em **Stop**. O computador vai mostrar o espectro final.

***Anote a magnitude aparente dessa estrela na Tabela 1 deste exercício.***

- Ainda na janela do espectrômetro, clique no menu **File, Data, Save spectrum**. Salve o espectro com o próprio nome que o programa fornece (é o mesmo que consta como “Identificação” na Tabela 1).
- Feche a janela do espectrômetro para voltar ao telescópio. Na parte direita da tela, na caixa **View**, deslize o botão para **Finder**, escolha a segunda estrela da Tabela 1 e proceda da mesma forma como foi feito com a primeira. Repita o procedimento com as estrelas 3 e 4 da Tabela 1. Lembre-se de coletar dados até obter S/N **no mínimo** igual a 100.

***Anote a magnitude aparente de cada estrela na Tabela 1.***

## **6. Classificação dos espectros**

- Quando você já tiver obtido e salvo os espectros, feche a janela do espectrógrafo. Feche o observatório (desligue **Tracking** e clique em **File** e em **Exit Telescope**).
- Acesse a tela de classificação espectral: clique no menu **Tools** e, no menu vertical que se abre, em **Spectral classification**. Daqui em diante o exercício é similar ao que foi feito anteriormente.
- Você está agora no modo de classificação. Para ver os espectros que você obteve, clique na tecla **File** do menu, selecione a função **Unknown Spectrum** e

então **Saved spectra**. Uma lista com os nomes dos espectros que você obteve vai aparecer. Selecione o correspondente à estrela 1 da tabela e clique o botão **Abrir**. O espectro dessa estrela vai ocupar no painel do meio. Você pode medir a intensidade e o comprimento de onda em cada ponto do espectro exatamente como na primeira parte do exercício de classificação espectral.

- Clique no menu **File** e em **Atlas of Standard Spectra**.
- No quadrinho que se abre, dê um duplo clique sobre **Main Sequence**. Dois espectros de estrelas-padrão da sequência principal vão ocupar os outros dois painéis.
- Determine o tipo espectral da estrela 1. Para isso, vá alternando os espectros-padrão exibidos, até que o da estrela 1 fique entre dois de aparência bem próxima.

Se quiser fazer a comparação de uma maneira mais precisa, clique em **File, Display e Show Difference**. O painel de baixo passa então a mostrar uma linha vermelha que representa a diferença entre o espectro de cima e o do meio. Para desativar esse recurso, use a mesma série de comandos. Vá alternando o espectro-padrão, no painel de cima, até que a diferença com o espectro observado seja mínima.

- Anote o resultado de sua classificação na Tabela 1. Depois proceda de maneira similar para fazer a classificação espectral das outras estrelas observadas, anotando os resultados na mesma tabela. Atenção, pois a ordem em que aparecem na lista de espectros gravados, em seu computador, pode não ser a mesma da tabela.

**Tabela 1 – Tipos espectrais de quatro estrelas desconhecidas**

Estrela	Identificação	RA (h min s)	Dec (° ' ")	Magnitude aparente	Tipo espectral
1	N3000-00260	6 12 40.1	32 58 18		
2	N3000-00671	6 12 39.1	32 54 12		
3	N3000-00730	6 20 50.1	32 50 13		
4	N3000-00581	6 22 35	32 45 35		



## 7. Determinação da distância das estrelas (método da paralaxe espectroscópica)

- Tendo o tipo espectral e a magnitude aparente  $m$  de uma estrela, é possível determinar sua distância, uma vez que existe uma relação conhecida entre o tipo espectral de uma estrela da sequência principal e a sua magnitude absoluta  $M$ , conforme demonstrado na Tabela 3, na próxima página. Uma vez conhecida a magnitude aparente e a magnitude absoluta, pode-se determinar a distância usando a relação do *módulo de distância*, como foi feito no exercício de fotometria:

$$(m - M) = 5 \log d - 5$$

onde a distância  $d$  é dada em parsecs.

- Usando os tipos espectrais das quatro estrelas que você acaba de classificar e os dados da Tabela 3, determine as magnitudes absolutas das estrelas. Com esses valores, use agora a equação do módulo de distância para calcular as distâncias dessas quatro estrelas. Coloque seus resultados na Tabela 2, abaixo. Guarde as suas folhas de trabalho para discussões em aula, após apresentá-las ao instrutor.

**Tabela 2 – Distâncias de quatro estrelas desconhecidas**

Estrela	Identificação	Tipo espectral	Magnitude aparente	Magnitude absoluta	Distância (parsecs)
1	N3000-00260				
2	N3000-00671				
3	N3000-00730				
4	N3000-00581				

**Tabela 3 – Tipo espectral e magnitude absoluta  
Estrelas da sequência principal (classe de luminosidade V)**

Magnitude absoluta	Tipo espectral
-5,8	O5
-4,1	B0
-1,1	B5
0,7	A0
2,0	A5
2,6	F0
3,4	F5

Magnitude absoluta	Tipo espectral
4,4	G0
5,1	G5
5,9	K0
7,3	K5
9,0	M0
11,8	M5
16,0	M8

**Fonte e referências para este exercício:**

**CLEA – Contemporary Laboratory Experiences in Astronomy – Department of Physics,  
Gettysburg College, Gettysburg, PA 17325, USA.**

**<<http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/cleahome.html>>**