

Relatório
Lista 8 - Parte I

Andriele Carolayne da Silva Mendonça

14 de março de 2018

Sumário

1	Espectros de estrelas na sequência Principal	2
1.1	Exercício 1	2
1.2	Exercício 2	3
1.2.1	Estrela do tipo F	3
1.2.2	Estrela do tipo G	4
1.2.3	Estrela do tipo K	6
1.2.4	Estrela do tipo M	7
1.3	Exercício 3	8
1.3.1	Estrela F	9
1.3.2	Estrela G	9
1.3.3	Estrela K	9
1.3.4	Estrela M	9
1.4	Exercício 4	9
2	Transmissão da Atmosfera	14
2.1	Exercício 1	14
2.2	Exercício 2	14
2.3	Exercício 3	14

Capítulo 1

Espectros de estrelas na sequência Principal

1.1 Exercício 1

O IRTF Spectral Library cobre uma faixa de espectro de $0.8 \mu\text{m}$ à $10 \mu\text{m}$. Os surveys Spitzer, 2MASS, UKIDSS e Spitzer também cobrem esta mesma faixa. O IRTF disponibiliza espectros observados com uma resolução média de $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \sim 2000$. espectros observados com uma resolução média de $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \sim 2000$. “late type” e “early type” refere-se à temperatura das estrelas. São chamadas “tipo inicial” as estrelas mais quentes, como O, B e A. Já as estrelas de “tipo tardio” são estrelas mais frias, como K e M. As estrelas AGB são estrelas que estão no ramo gigante assintótico.

A classe de luminosidade é determinada pela largura das linhas espectrais, que dependem fortemente da gravidade superficial, diretamente relacionada à luminosidade pelo raio. Para estrelas de mesma temperatura, quanto maior ela for mais luminosa será. As classes de luminosidade são:

- Ia: Supergigantes superluminosas;
- Ib: Supergigantes;
- II: Gigantes luminosas;
- III: Gigantes;
- IV: Subgigantes;
- V: Anãs.

As estrelas da sequência principal pertencem à classe de luminosidade V, são com os espectros de estrelas pertencentes à esta classe que trabalharemos a seguir. O IRTF possui latitude $+19^\circ 49' 35''$ e longitude $-155^\circ 28' 23''$ e sua altitude é de 4207 m. Ele está localizado em um lugar chamado Manua Kea,

no Havaí, que é um ótimo sítio de telescópios por ser o ponto mais alto do Havaí e um dos mais proeminentes do mundo, além de ser uma das montanhas de maior isolamento topográfico do mundo. Além do IRTF, existem outros telescópios que estão instalados em Manua Kea, como o CFHT (Canada-France-Hawaii Telescope) e os dois telescópios do Observatório W. M. Keck.

1.2 Exercício 2

Nos exercícios a seguir foram utilizados espectros apenas de estrelas da sequência principal (Classe V). As medidas que constam nos arquivos de dados de um espectro são o comprimento de onda (μm), o fluxo ($wm^{-2} \mu m^{-1}$) e o erro de medida do fluxo ($wm^{-2} \mu m^{-1}$), como pode ser visto nos cabeçalhos apresentados abaixo.

1.2.1 Estrela do tipo F

```
SIMPLE = T / Written by IDL: Tue Dec 1 10:44:11 2009
BITPIX = 32 / Number of bits per data pixel
NAXIS = 2 / Number of data axes
NAXIS1 = 7976 /
NAXIS2 = 3 /
DATE = '2009-12-01' / Creation UTC (CCCC-MM-DD) date of FITS header
NORDERS = 1 / Number of Orders
ORDERS = '1' / Order Numbers
NAPS = 1 / Number of Apertures
XUNITS = 'um' / Wavelength Units
YUNITS = 'Wm-2um-1' / Flux Units
WAVETYPE= 'Vacuum' / Wavelength Type
XTITLE = '!7k !5(!7l!5m!N)' / IDL X Title
YTITLE = '!5f!D!7k!N!5 (W m!U-2!N !7l!5m!U-1!N)'/ IDL Y Title
OBJECT = 'HD 87822' /
SPTYPE = 'F4 V' / Spectral Type
OBSMODE = 'SXD and LXD2.3' / Spectroscopy Mode
SXDUT = '2001 Mar 10' / UT date of SXD observations
LXDUT = '2001 Mar 10' / UT date of LXD observations
SXD_R = '2000' / Resolving power for SXD mode
LXD_R = '2500' / Resolving power for LXD mode
MINWAVE = 0.804949 / Minimum wavelength (um)
MAXWAVE = 5.39248 / Maximum wavelength (um)
V = 6.24000000000 / V magnitude
VERR = 'NAN' / V magnitude error
(B-V) = 0.445000000000 / B-V color
(B-V)ERR= 'NAN' / B-V color error
J = 5.37200000000 / 2MASS J magnitude
JERR = 0.0180000000000 / 2MASS J magnitude error
```

```

H      = 5.251000000000 / 2MASS H magnitude
HERR   = 0.0330000000000 / 2MASS H magnitude error
KS     = 5.131000000000 / 2MASS Ks magnitude
KSERR  = 0.0210000000000 / 2MASS Ks magnitude error
QFLAG  = 'AAA'          / 2MASS quality flag
FCBANDS = 'JHKs'        / 2MASS bands used for absolute flux calibration
ABSFERR = 0.0126266000000 / Relative error in the absolute flux calibration
RV     = 4.95839490000 / Measured radial velocity (km s-1)
(B-V)_0 = 0.420000000000 / Intrinsic Color
E(B-V)  = 0.0250000000000 / Color excess
COMMENT FITS(Flexible Image Transport System) format is defined in 'Astronomy
COMMENT and Astrophysics', volume 376, page 359; bibcode2001A&A...376..359
COMMENT
COMMENT Please reference Rayner et al. (ApJS, 185, 289) if you use this
COMMENT spectrum. The spectrum has been absolutely flux calibrated using
COMMENT 2MASS photometry and has been shifted to zero radial velocity. For
COMMENT other pertinent information, please see Rayner et al. (ApJS, 185, 289).
COMMENT
COMMENT The spectra are stored in a 2D array where:
COMMENT
COMMENT Wavelength = array[:,0]
COMMENT Flux Density = array[:,1]
COMMENT Error      = array[:,2]
COMMENT
COMMENT Finally, missing data are denoted as NaN.
END

```

Pelo cabeçalho apresentado acima, verifica-se que o espectro foi observado em 10 de março de 2001. Trata-se da estrela HD 87822, uma estrela F4 V, cujo espectro possui $\lambda_{\min} = 0.804949 \mu\text{m}$ e $\lambda_{\max} = 5.39248 \mu\text{m}$. O valor utilizado para o "Missing Data" foi NaN. A referência bibliográfica para este espectro é Rayner et al.(2009ApJS...185...289R).

1.2.2 Estrela do tipo G

```

SIMPLE = T / Written by IDL: Tue Dec 1 10:45:34 2009
BITPIX = -32 / Number of bits per data pixel
NAXIS  = 2 / Number of data axes
NAXIS1 = 8008 /
NAXIS2 = 3 /
DATE   = '2009-12-01' / Creation UTC (CCCC-MM-DD) date of FITS header
NORDERS = 1 / Number of Orders
ORDERS  = '1' / Order Numbers
NAPS    = 1 / Number of Apertures
XUNITS  = 'um' / Wavelength Units

```

```

YUNITS = 'Wm-2um-1' / Flux Units
WAVETYPE= 'Vacuum ' / Wavelength Type
XTITLE='!7k !5(!71!5m!N)' / IDL X Title
YTITLE='!5f!D!7k!N!5 (W m!U-2!N !71!5m!U-1!N)'/ IDL Y Title
OBJECT = 'HD 20619' /
SPTYPE = 'G1.5 V ' / Spectral Type
OBSMODE = 'SXD and LXD2.3' / Spectroscopy Mode
SXDUT = '2001 Jan 25' / UT date of SXD observations
LXDUT = '2001 Jan 25' / UT date of LXD observations
SXD_R = '2000 ' / Resolving power for SXD mode
LXD_R = '2500 ' / Resolving power for LXD mode
MINWAVE = 0.808042 / Minimum wavelength (um)
MAXWAVE = 5.43879 / Maximum wavelength (um)
V = 7.049000000000 / V magnitude
VERR = 0.0220000000000 / V magnitude error
(B-V) = 0.656000000000 / B-V color
(B-V)ERR= 0.0150000000000 / B-V color error
J = 5.876000000000 / 2MASS J magnitude
JERR = 0.0190000000000 / 2MASS J magnitude error
H = 5.552000000000 / 2MASS H magnitude
HERR = 0.0400000000000 / 2MASS H magnitude error
KS = 5.469000000000 / 2MASS Ks magnitude
KSERR = 0.0210000000000 / 2MASS Ks magnitude error
QFLAG = 'AAA ' / 2MASS quality flag
FCBANDS = 'JHKs ' / 2MASS bands used for absolute flux calibration
ABSFERR = 0.0132889000000 / Relative error in the absolute flux calibration
RV = 42.7755080000 / Measured radial velocity (km s-1)
(B-V)_0 = 0.620000000000 / Intrinsic Color
E(B-V) = 0.0360000000000 / Color excess
COMMENT FITS (Flexible Image Transport System) format is defined in 'Astronomy
COMMENT and Astrophysics', volume 376, page 359; bibcode 2001A&A...376..359H
COMMENT
COMMENT Please reference Rayner et al. (ApJS, 185, 289) if you use this
COMMENT spectrum. The spectrum has been absolutely flux calibrated using
COMMENT 2MASS photometry and has been shifted to zero radial velocity. For
COMMENT other pertinent information, please see Rayner et al. (ApJS, 185,289).
COMMENT
COMMENT The spectra are stored in a 2D array where:
COMMENT
COMMENT Wavelength = array[:,0]
COMMENT Flux Density = array[:,1]
COMMENT Error = array[:,2]
COMMENT
COMMENT Finally, missing data are denoted as NaN.
END

```

Conforme consta no cabeçalho, o espectro é da estrela HD 20619, do tipo G1.5 V, foi observado em 25 de Janeiro de 2001 e possui $\lambda_{\min} = 0.808042 \mu\text{m}$ e $\lambda_{\max} = 5.43879 \mu\text{m}$. O valor utilizado para o "Missing Data" foi NaN. A referência bibliográfica para este espectro é Rayner et al.(2009ApJS...185...289R).

1.2.3 Estrela do tipo K

```

SIMPLE = T / Written by IDL: Tue Dec 1 10:50:40 2009
BITPIX = -32 / Number of bits per data pixel
NAXIS = 2 / Number of data axes
NAXIS1 = 8013 /
NAXIS2 = 3 /
DATE = '2009-12-01' / Creation UTC (CCCC-MM-DD) date of FITS header
NORDERS = 1 / Number of Orders
ORDERS = '1' / Order Numbers
NAPS = 1 / Number of Apertures
XUNITS = 'um' / Wavelength Units
YUNITS = 'Wm-2um-1' / Flux Units
WAVETYPE= 'Vacuum' / Wavelength Type
XTITLE = '!7k !5(!7l!5m!N)' / IDL X Title
YTITLE = '!5f!D!7k!N!5 (W m!U-2!N !7l!5m!U-1!N)'/ IDL Y Title
OBJECT = 'HD 36003' /
SPTYPE = 'K5 V' / Spectral Type
OBSMODE = 'SXD and LXD2.3' / Spectroscopy Mode
SXDUT = '2000 Dec 11' / UT date of SXD observations
LXDUT = '2000 Dec 11' / UT date of LXD observations
SXD_R = '2000' / Resolving power for SXD mode
LXD_R = '1500' / Resolving power for LXD mode
MINWAVE = 0.807269 / Minimum wavelength (um)
MAXWAVE = 5.44471 / Maximum wavelength (um)
V = 7.640000000000 / V magnitude
VERR = 0.01300000000000 / V magnitude error
(B-V) = 1.113000000000 / B-V color
(B-V)ERR= 0.01000000000000 / B-V color error
J = 5.615000000000 / 2MASS J magnitude
JERR = 0.01900000000000 / 2MASS J magnitude error
H = 5.111000000000 / 2MASS H magnitude
HERR = 0.07100000000000 / 2MASS H magnitude error
KS = 4.880000000000 / 2MASS Ks magnitude
KSERR = 0.02400000000000 / 2MASS Ks magnitude error
QFLAG = 'AEA' / 2MASS quality flag
FCBANDS = 'JHKs' / 2MASS bands used for absolute flux calibration
ABSFERR = 0.01457940000000 / Relative error in the absolute flux calibration
RV = -42.1032680000 / Measured radial velocity (km s-1)
(B-V)_0 = 1.150000000000 / Intrinsic Color
E(B-V) = -0.03699990000000 / Color excess

```

```

COMMENT FITS (Flexible Image Transport System) format is defined in 'Astronomy
COMMENT and Astrophysics', volume 376, page 359; bibcode 2001A&A...376..359H
COMMENT
COMMENT Please reference Rayner et al. (ApJS, 185, 289) if you use this
COMMENT spectrum. The spectrum has been absolutely flux calibrated using
COMMENT 2MASS photometry and has been shifted to zero radial velocity. For
COMMENT other pertinent information, please see Rayner et al. (ApJS, 185, 289).
COMMENT
COMMENT The spectra are stored in a 2D array where:
COMMENT
COMMENT Wavelength   = array[:,0]
COMMENT Flux Density = array[:,1]
COMMENT Error        = array[:,2]
COMMENT
COMMENT Finally, missing data are denoted as NaN.
END

```

Conforme informa o cabeçalho, o espectro é da estrela HD 36003, do tipo K5 V, foi observado em 11 de Dezembro de 2000 e possui $\lambda_{\min} = 0.807269 \mu\text{m}$ e $\lambda_{\max} = 5.44471 \mu\text{m}$. O valor utilizado para o "Missing Data" foi NaN. A referência bibliográfica para este espectro é Rayner et al.(2009ApJS...185...289R).

1.2.4 Estrela do tipo M

```

SIMPLE = T / Written by IDL: Tue Dec 1 10:51:04 2009
BITPIX = -32 / Number of bits per data pixel
NAXIS = 2 / Number of data axes
NAXIS1 = 8000 /
NAXIS2 = 3 /
DATE = '2009-12-01' / Creation UTC (CCCC-MM-DD) date of FITS header
NORDERS = 1 / Number of Orders
ORDERS = '1' / Order Numbers
NAPS = 1 / Number of Apertures
XUNITS = 'um' / Wavelength Units
YUNITS = 'Wm-2um-1' / Flux Units
WAVETYPE= 'Vacuum' / Wavelength Type
XTITLE = '!7k !5(!71!5m!N)' / IDL X Title
YTITLE= '!5f!D!7k!N!5 (W m!U-2!N !71!5m!U-1!N)' / IDL Y Title
OBJECT = 'HD 209290' /
SPTYPE = 'M0.5 V' / Spectral Type
OBSMODE = 'SXD and LXD2.3' / Spectroscopy Mode
SXDUT = '2003 Jul 06' / UT date of SXD observations
LXDUT = '2003 Jul 06' / UT date of LXD observations
SXD_R = '2000' / Resolving power for SXD mode
LXD_R = '2500' / Resolving power for LXD mode

```



```

MINWAVE =          0.807453 / Minimum wavelength (um)
MAXWAVE =          5.42490 / Maximum wavelength (um)
V        =   9.16700000000 / V magnitude
VERR     = 0.0120000000000 / V magnitude error
(B-V)    =   1.45700000000 / B-V color
(B-V)ERR= 0.0150000000000 / B-V color error
J        =   6.19600000000 / 2MASS J magnitude
JERR     = 0.0230000000000 / 2MASS J magnitude error
H        =   5.56200000000 / 2MASS H magnitude
HERR     = 0.0510000000000 / 2MASS H magnitude error
KS       =   5.32200000000 / 2MASS Ks magnitude
KSERR    = 0.0230000000000 / 2MASS Ks magnitude error
QFLAG    = 'AAA      ' / 2MASS quality flag
FCBANDS  = 'JHKs    ' / 2MASS bands used for absolute flux calibration
ABSFERR  = 0.0154947000000 / Relative error in the absolute flux calibration
RV       =   37.8146270000 / Measured radial velocity (km s-1)
(B-V)_0  =   1.42000000000 / Intrinsic Color
E(B-V)   = 0.0370001000000 / Color excess
COMMENT FITS (Flexible Image Transport System) format is defined in 'Astronomy
COMMENT and Astrophysics', volume 376, page 359; bibcode 2001A&A...376..359H
COMMENT
COMMENT Please reference Rayner et al. (ApJS, 185, 289) if you use this
COMMENT spectrum. The spectrum has been absolutely flux calibrated using
COMMENT 2MASS photometry and has been shifted to zero radial velocity. For
COMMENT other pertinent information, please see Rayner et al. (ApJS, 185, 289).
COMMENT
COMMENT The spectra are stored in a 2D array where:
COMMENT
COMMENT Wavelength   = array[:,0]
COMMENT Flux Density = array[:,1]
COMMENT Error        = array[:,2]
COMMENT
COMMENT Finally, missing data are denoted as NaN.
END

```

O cabeçalho acima nos informa que o espectro da estrela HD 209290, do tipo M0.5 V, observado em 06 de Julho de 2003, possui $\lambda_{\min} = 0.807453 \mu\text{m}$ e $\lambda_{\max} = 5.42490 \mu\text{m}$. O valor utilizado para o "Missing Data" foi NaN. A referência bibliográfica para este espectro é Rayner et al.(2009ApJS...185...289R). As temperaturas efetivas foram retiradas do Pastel Catalogue.

1.3 Exercício 3

Pesquisando o nome das estrelas escolhidas no Simbad, nota-se que os tipos espectrais das estrelas no Simbad eram os mesmos que constavam nos cabeça-

lhos. Os dados obtidos no Simbad para cada estela estão listados a seguir.

1.3.1 Estrela F

RA: $10^h 08^m 15.88717^s$; DEC: $+31^\circ 36' 14.5875''$
Paralaxe: 16.33 mas (mili segundos de arco)
Movimento próprio: RA = -80.47 mas/yr; DEC = -92.07 mas/yr
Velocidade radial: -8.00 km/s
Temperatura efetiva: 6586 K

1.3.2 Estrela G

RA: $03^h 19^m 01.8944^s$; DEC: $-02^\circ 50' 35.493''$
Paralaxe: 41.93 mas
Movimento próprio: RA = 253.709 mas/yr; DEC = -100.728 mas/yr
Velocidade radial: 22.779 km/s
Temperatura efetiva: 5703 K

1.3.3 Estrela K

RA: $05^h 28^m 26.0955^s$; DEC: $-03^\circ 29' 58.400''$
Paralaxe: 77.20 mas
Movimento próprio: RA = -308.000 mas/yr; DEC = -797.299 mas/yr
Velocidade radial: -55.53 km/s
Temperatura efetiva: 4647 K

1.3.4 Estrela M

RA: $22^h 02^m 10.2751^s$; DEC: $+01^\circ 24' 00.832''$
Paralaxe: 94.22 mas
Movimento próprio: RA = -452.404 mas/yr; DEC = -278.732 mas/yr
Velocidade radial: 18.144 km/s
Temperatura efetiva: 3580 K

1.4 Exercício 4

Neste exercício, além de normalizar o fluxo do espectro para o fluxo num determinado λ^l contínuo, foi gerada uma curva de corpo negro, também normalizada para o mesmos λ^l . Observa-se que os espectros das estrelas não correspondem exatamente às suas respectivas curvas de corpo negro, isto se deve à absorção causada pela atmosfera terrestre e também pela atmosfera da própria estrela.

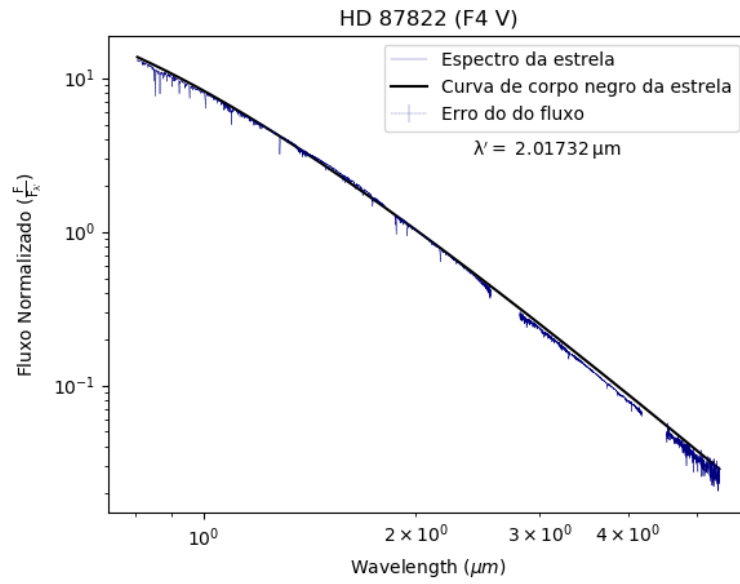


Figura 1.1: Espectro da estrela HD 87822, em escala logarítmica, normalizado para um comprimento de onda sem absorções ou emissões e sua curva de corpo negro para sua temperatura efetiva (6586 K).

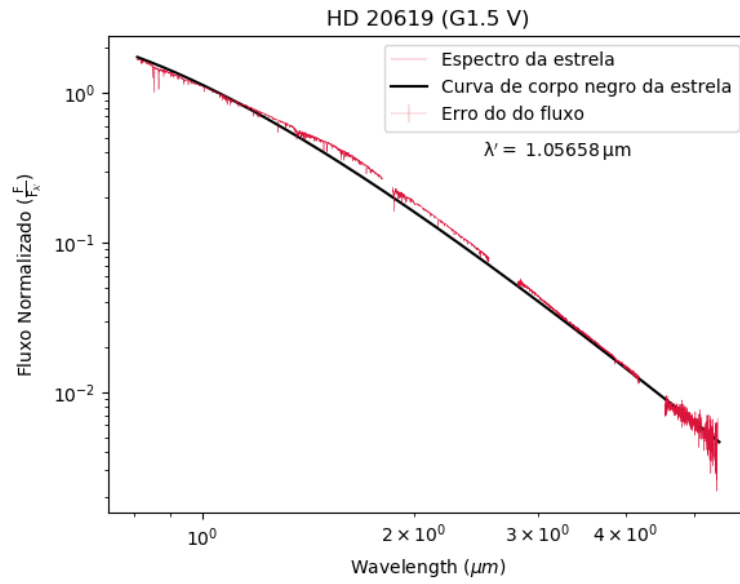


Figura 1.2: Espectro da estrela HD 20619, em escala logarítmica, normalizado para um comprimento de onda sem absorções ou emissões e sua curva de corpo negro para sua temperatura efetiva (5703 K).

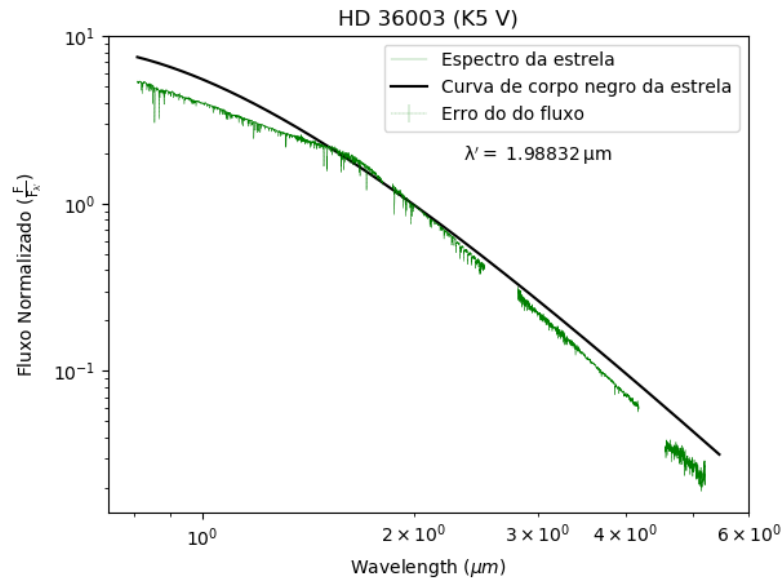


Figura 1.3: Espectro da estrela HD 36003, em escala logarítmica, normalizado para um comprimento de onda sem absorções ou emissões e sua curva de corpo negro para sua temperatura efetiva (4647 K).

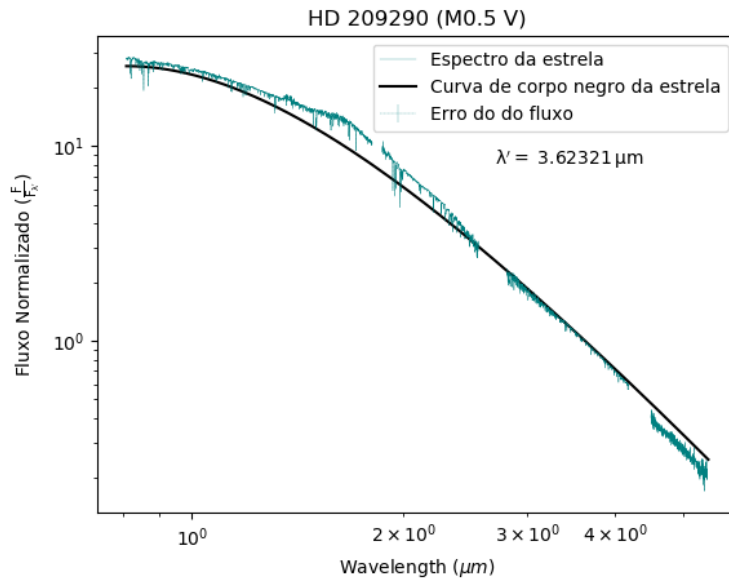


Figura 1.4: Espectro da estrela HD 209290, em escala logarítmica, normalizado para um comprimento de onda sem absorções ou emissões e sua curva de corpo negro para sua temperatura efetiva (3580 K).

Capítulo 2

Transmissão da Atmosfera

2.1 Exercício 1

Através da ferramenta online disponibilizada pelo SOFIA, gerou-se curvas de transmissão da atmosfera nos seguintes intervalos de comprimento de onda:

- 0.85 - 1.5 μm
- 1.5 - 2.4 μm
- 2.4 - 4.0 μm
- 4.0 - 7.2 μm
- 7.2 - 12.0 μm
- 12.0 - 22.0 μm
- 22.0 - 36.0 μm

2.2 Exercício 2

Observando as Figuras 1.1, 1.2, 1.3 e 1.4, nota-se que há "missing points" principalmente entre 1.8 - 1.9 μm e 2.55 - 2.86 μm , isto ocorre porque a atmosfera terrestre não transmite estes comprimentos de onda, como ilustram as Figuras 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4. Para obter esses dados perdidos, é necessária a utilização de um telescópio espacial.

2.3 Exercício 3

Analisando as Figuras 2.5, 2.4, 2.3, 2.2 e 2.1, nota-se a necessidade de se fazer telescópios espaciais, pois os dados das faixas do espectro cujos comprimentos de ondas não são transmitidos pela atmosfera terrestre, principalmente a região

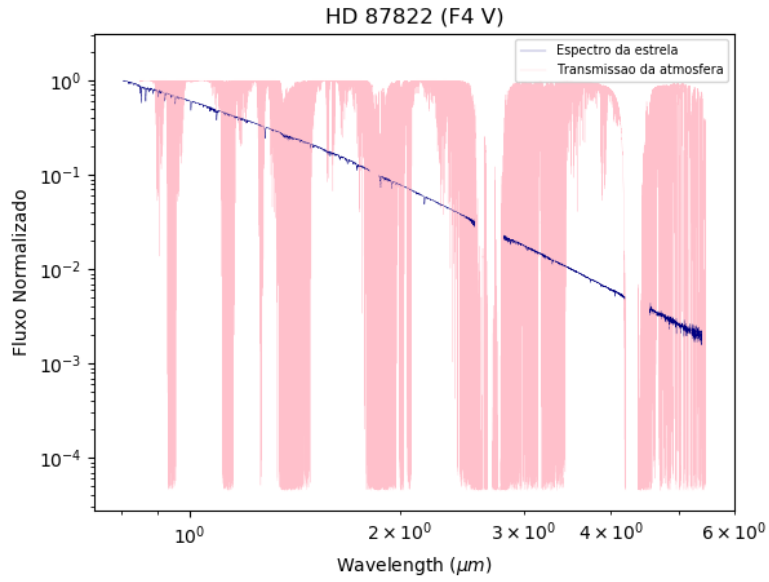


Figura 2.1: Espectro da estrela HD 87822, em escala logarítmica, com fluxo normalizado para seu valor máximo e curva de transmissão da atmosfera terrestre no intervalo 0.85 - 7.2 μm

de altas energias, não podem ser detectados por telescópios terrestres. Então, apenas um telescópio espacial, fora da interferência atmosférica, seria capaz de detectar toda a faixa de comprimento de onda do espectro de uma fonte.

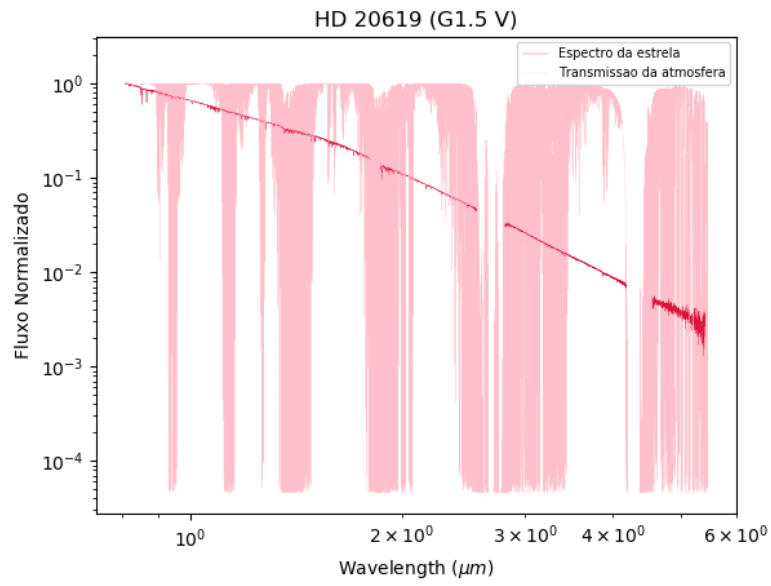


Figura 2.2: Espectro da estrela HD 20619, em escala logarítmica, com fluxo normalizado para seu valor máximo e curva de transmissão da atmosfera terrestre no intervalo 0.85 - $7.2 \mu\text{m}$

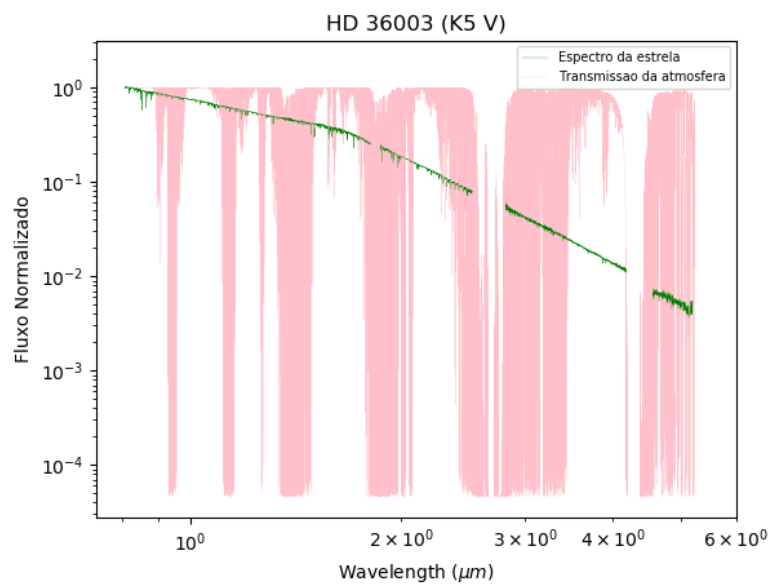


Figura 2.3: Espectro da estrela HD 36003, em escala logarítmica, com fluxo normalizado para seu valor máximo e curva de transmissão da atmosfera terrestre no intervalo 0.85 - 7.2 μm

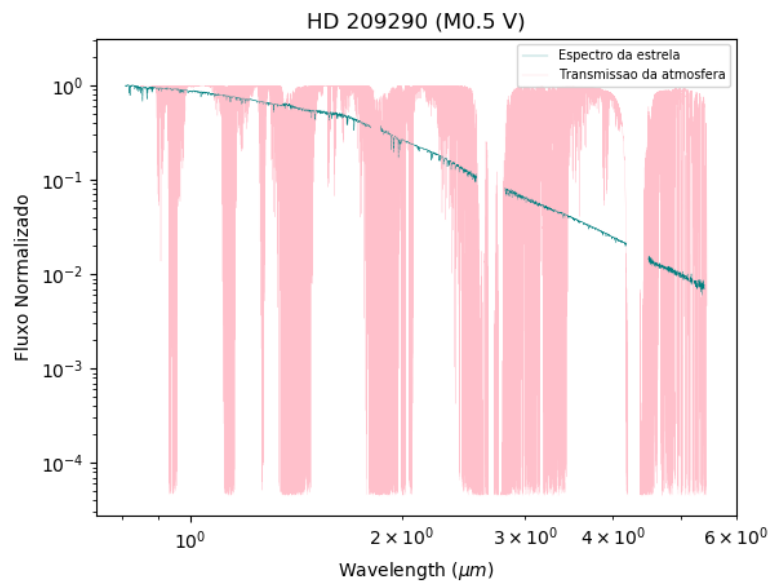


Figura 2.4: Espectro da estrela HD 209290, em escala logarítmica, com fluxo normalizado para seu valor máximo e curva de transmissão da atmosfera terrestre no intervalo 0.85 - 7.2 μm

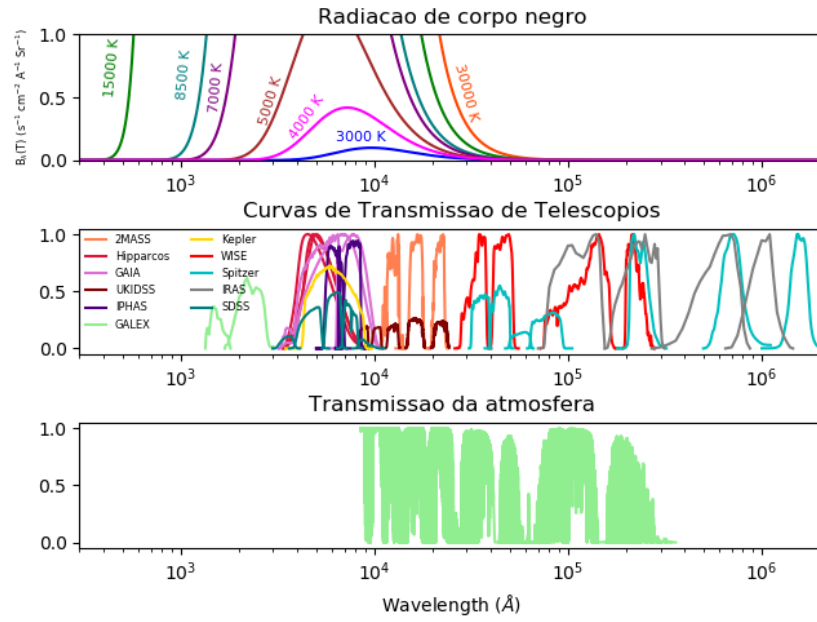


Figura 2.5: Na parte superior, curvas de corpo negro para as temperaturas 30000 K, 15000 K, 8500 K, 7000 K, 5000 K, 4000 K e 3000 K; No meio, curvas de transmissão dos sistemas fotométricos de cada survey/telescópio citado na Figura. Na parte inferior, curvas de transmissão da atmosfera terrestre, no intervalo $0.85 \cdot 10^4 - 36.0 \cdot 10^4 \text{ \AA}$. Os três com eixo x em escala logarítmica e eixo y normalizado, em escala linear.