
Resolução de Problemas do Livro

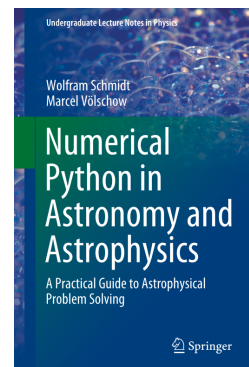
Numerical Python in stromy and Astrophysics: A practical guide to astrophysical problem solving (Schmidt, W.; Völschow, M)

por

Igo da Costa Andrade

Referência

SCHMIDT, W.; VÖLSCHOW, M. **Numerical Python in stromy and Astrophysics**: A practical guide to astrophysical problem solving. Switzerland, Springer, 2021.



Capítulo 2: Computação e exibição de dados¹

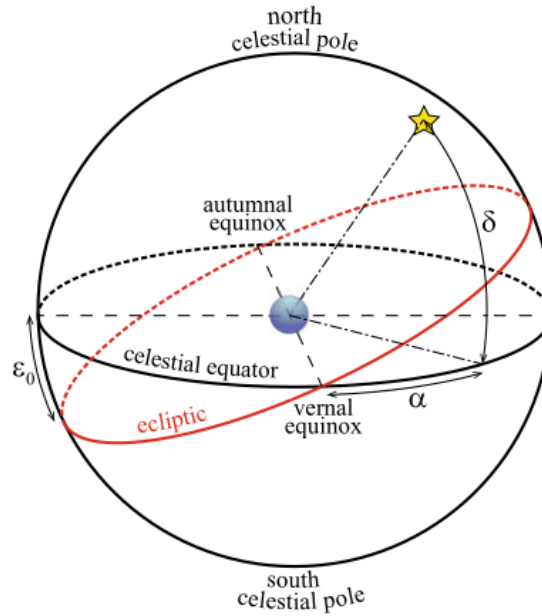
Resumo do capítulo: Os arrays do NumPy são essenciais para cálculos numéricos em Python, estendendo suas capacidades numéricas de forma notável. Por exemplo, eles podem ser usados como variáveis simples para avaliar uma expressão aritmética para muitos valores diferentes sem precisar programar um loop. Na primeira seção, combinamos o poder do NumPy e do Astropy para calcular as posições de objetos na esfera celeste. Além disso, introduzimos o Matplotlib para produzir gráficos a partir de dados de arrays. Outras aplicações são mostradas no contexto das leis de Kepler e forças de maré, como a impressão de tabelas formatadas e a plotagem de mapas vetoriais.

1 Astronomia Esférica

Esfera celeste com coordenadas α (ascensão reta) e δ (declinação) de um objeto estelar. O plano orbital da Terra (eclíptica) intersecta a esfera ao longo do círculo vermelho, que é inclinado pelo ângulo ε (obliquidade) em relação ao equador celeste. O equador celeste é a projeção externa do equador da Terra na esfera celeste. Os pontos de interseção da eclíptica e do equador celeste são os dois equinócios.

¹Título original: *Computing and Displaying Data*.

Figure 1: Esfera Celeste



1.1 Declinação do Sol

Enquanto a declinação das estrelas é constante, a posição do sol muda no sistema equatorial no decorrer do período de um ano. Isso decorre da inclinação do eixo de rotação da Terra em relação à direção perpendicular da eclíptica, a qual é denominada obliquidade e vale $\epsilon_0 = 23,44^\circ$. A variação anual da declinação do Sol é dada por

$$\delta_{\odot} = -\arcsin \left[\sin \epsilon_0 \cos \left(\frac{360^\circ}{365.24} (N + 10) \right) \right]$$

em que N é a quantidade de dias a partir de 1º de janeiro.

Exemplo:

```
# Biblioteca importada
import math

# Dados do exemplo
N = 171 # dia do primeiro solstício
omega = 2*math.pi/365.24 # velocidade angular em rad/dia
ecl = math.radians(obliq) # obliquidade da eclíptica em rad

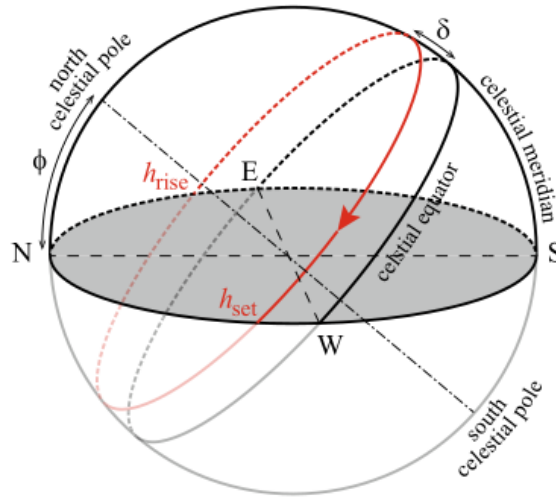
# Aproximação para a declinação do Sol
delta = -math.asin(math.sin(ecl) * math.cos(omega*(N+10)))
```

Resultado: Declinação do Sol em 20 de junho de 2020: $\delta_{\odot} = 23,43^\circ$

1.2 Arco Diurnal

Denomina-se **arco diurnal** ao arco descrito na esfera celeste por um objeto em movimento.

Figure 2: Arco Diurnal



Arco diurno de uma estrela movendo-se ao redor da esfera celeste (círculo vermelho espesso) no sistema horizontal de um observador na latitude ϕ (o plano horizontal é mostrado em cinza). Como o plano equatorial está inclinado pelo ângulo $90^\circ - \phi$ em relação ao plano horizontal, a culminação superior da estrela no meridiano é dada por $a_{\max} = 90^\circ - \phi + \delta$, onde δ é a declinação. No sistema corotacional, a estrela nasce no ângulo horário h_{rise} , atinge sua maior altitude quando cruza o meridiano em $h = 0$, e se põe no horizonte em $h_{\text{set}} = -h_{\text{rise}}$.

$$\cos h_{\text{set}} = -\tan \delta \tan \phi,$$

em que δ é a declinação d objeto e ϕ é a latitude da posição do observador na Terra.

Exemplo:

Consideremos a estrela Betelgeuse na constelação de Orion. É uma gigante vermelha que está entre as estrelas mais brilhantes do céu. Sua declinação pode ser obtida com a ajuda de `astropy.coordinates`, o qual oferece uma função que pesquisa pelo nome de um objeto em bancos de dados online:

```
from astropy.coordinates import SkyCoord, EarthLocation

betelgeuse = SkyCoord.from_name('Betelgeuse')
table = ""
table += 46 * "="
table += "\n"
table += f"{'Name':>12s} | {'RA':>16s} | {'dec':>12s}\n"
table += 46 * "-"
table += "\n"
table += f"{'Betelgeuse':>12s} | {betelgeuse.ra:>16s} | {betelgeuse.dec:>12s}\n"
table += 46 * "="
print(table)
```

```
## =====
##      Name |              RA |              dec
## -----
##  Betelgeuse | 88.79293899 deg | 7.407064 deg
## =====
```

```
delta = betelgeuse.dec
print(delta)
```

```
## 7d24m25.4304s
```

Suponhamos que desejamos determinar o comprimento do arco diurnal de Betelgeuse visto do Observatório de Hamburg ($\phi \approx +53^\circ 28' 49''$).

```
import math
import astropy.units as u

# posição geográfica do observador
obs = EarthLocation(
    lat=53*u.deg + 28*u.arcmin + 49*u.arcsec,
    lon=10*u.deg + 14*u.arcmin + 23*u.arcsec,
)

# Latitude
phi = obs.lat

# h
h = math.acos(-math.tan(delta.radian) * math.tan(phi.radian))

# T
T = (math.degrees(2*h)/360) * u.sday

print(f"T = {T.to(u.h):.2f} (em dias siderais).")
```

```
## T = 13.31 h (em dias siderais).
```

Exemplo: Variação do arco diurnal do Sol durante o ano

```
# Bibliotecas importadas
import math
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import astropy.units as u
from astropy.coordinates import SkyCoord, EarthLocation

N = np.arange(364) # Array com elementos 0, 1, 2, ..., 364
omega = 2*math.pi/365.24 # Velocidade angular da Terra em rad/dia
ecl = math.radians(23.44) # obliquidade da eclíptica em radianos

# Cálculo da declinação do Sol para todos os dias do ano
delta = -np.arcsin(math.sin(ecl) * np.cos(omega*(N+10)))

# Cálculo do comprimento do dia em horas solares
h = np.arccos(-np.tan(delta) * math.tan(phi.radian))
T = (np.degrees(2*h)/360) * u.sday.to(u.h)

# Gráfico
plt.plot(N, T)
plt.xlabel("Dia")
plt.ylabel("Comprimento do dia (h)")
```

```
plt.grid(ls='dashed')
plt.savefig('figure/chap-02/day-length.pdf')
plt.close()
```

Figure 3: Variação do arco diurnal Solar durante o ano

