

## PRÁCTICA DE NEBULOSAS IONIZADAS

Curso 24/25

### ESTUDIO DE LA POBLACIÓN RELATIVA DE LOS NIVELES DE OIII

Estudiar la población relativa de los cinco niveles inferiores del ion OIII ( $O^{++}$ ) en una nebulosa ionizada con distintos valores de las condiciones físicas. Usar el paquete de análisis de líneas de emisión PyNeb<sup>1</sup> con los datos atómicos del ion que usa por defecto<sup>2</sup>.

- Obtener el diagrama de Grotrian del ion OIII (indicando solo las transiciones más brillantes, usando `thresh_int=1e-2`) así como las densidades críticas de los distintos niveles suponiendo una temperatura electrónica de 10000K.
- Representar gráficamente la población relativa de los cinco niveles del OIII para valores de densidad electrónica variando entre 1 y  $10^9 \text{ cm}^{-3}$  y suponiendo una temperatura electrónica de 10000K.
- Representar gráficamente la población relativa de los cinco niveles del OIII para valores de temperatura electrónica variando entre 5000 y 15000K y suponiendo una densidad electrónica de  $100 \text{ cm}^{-3}$ .
- Representar gráficamente el cociente de las emisividades,  $j$ , de las líneas [OIII] 5007 Å y [OIII] 4363 Å:

$$\frac{j([OIII]5007)}{j([OIII]4363)}$$

respecto a la temperatura electrónica (entre 5000 y 15000K) suponiendo una densidad de 100,  $10^5$  y  $10^9 \text{ cm}^{-3}$ .

Hacer un informe en formato PDF incluyendo una breve introducción teórica de los conceptos que se van a utilizar, presentando los resultados en forma de gráficas, discutiendo los resultados a la luz de lo explicado en clase e incluyendo la bibliografía utilizada. Entregar en el Aula Virtual la memoria junto con los scripts de Python desarrollados para realizar la práctica en un único fichero comprimido.

## PRÁCTICA DE NEBULOSAS IONIZADAS

Curso 24/25

### ESTUDIO DE LA POBLACIÓN RELATIVA DE LOS NIVELES DE OIII

Estudiar la población relativa de los cinco niveles inferiores del ion OIII ( $O^{++}$ ) en una nebulosa ionizada con distintos valores de las condiciones físicas. Usar el paquete de análisis de líneas de emisión PyNeb<sup>1</sup> con los datos atómicos del ion que usa por defecto<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Ver: [https://github.com/Morisset/PyNeb\\_devel/tree/master/docs](https://github.com/Morisset/PyNeb_devel/tree/master/docs)

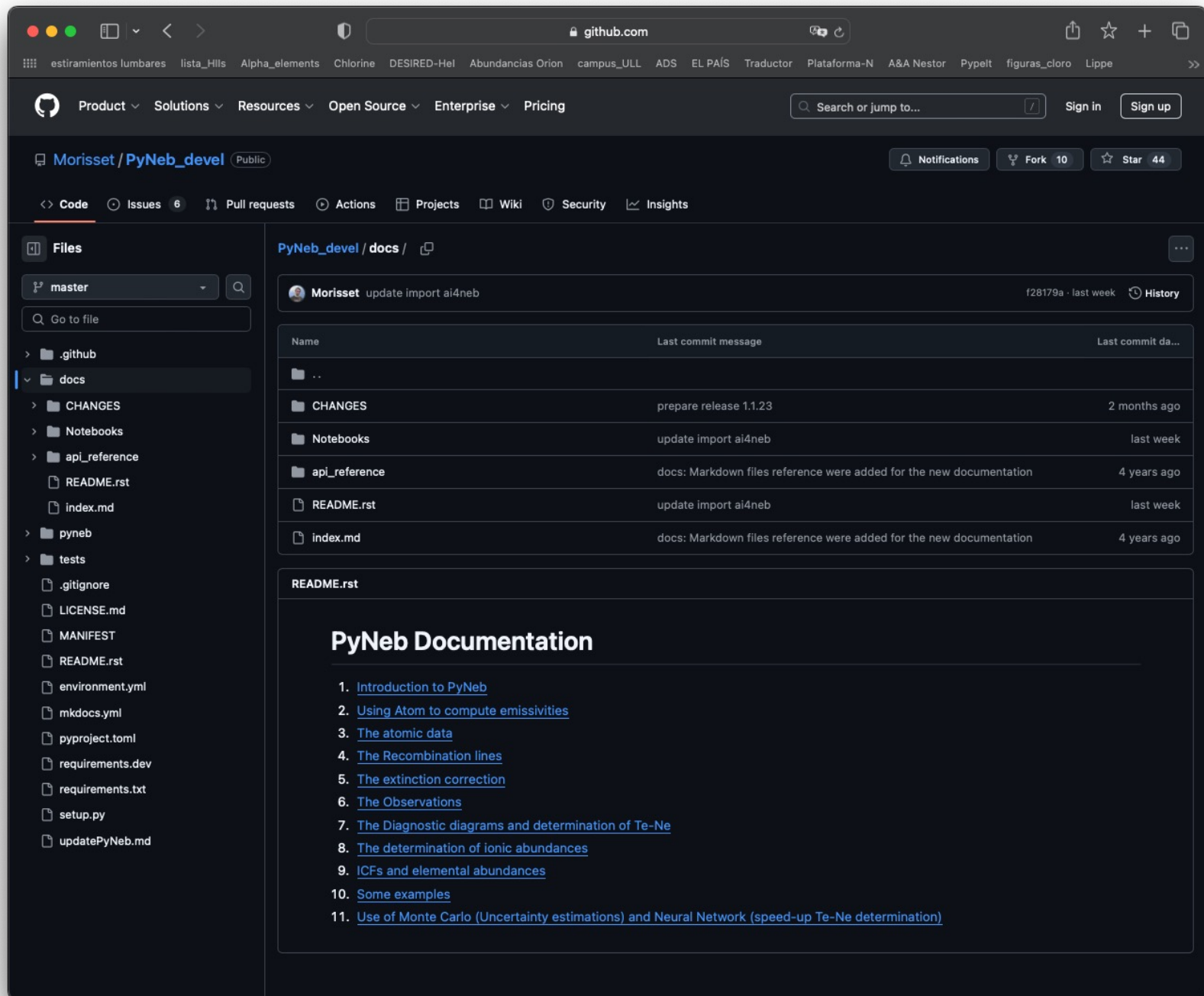
<sup>2</sup> Probabilidades de transición: Wiese, W. L., Fuhr, J. R. & Deters, T. M. (1996) *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, Monograph 7, 403 y Storey, P. J. & Zeippen, C. J. (2000), *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 312, 813. Fuerzas de colisión: Storey, P. J., Sochi, T. & Badnell, N. R. (2000) *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 441, 3028.

- c) Representar gráficamente la población relativa de los cinco niveles del OIII para valores de temperatura electrónica variando entre 5000 y 15000K y suponiendo una densidad electrónica de  $100 \text{ cm}^{-3}$ .
- d) Representar gráficamente el cociente de las emisividades,  $j$ , de las líneas [OIII] 5007 Å y [OIII] 4363 Å:

$$\frac{j([OIII]5007)}{j([OIII]4363)}$$

respecto a la temperatura electrónica (entre 5000 y 15000K) suponiendo una densidad de 100,  $10^5$  y  $10^9 \text{ cm}^{-3}$ .

Hacer un informe en formato PDF incluyendo una breve introducción teórica de los conceptos que se van a utilizar, presentando los resultados en forma de gráficas, discutiendo los resultados a la luz de lo explicado en clase e incluyendo la bibliografía utilizada. Entregar en el Aula Virtual la memoria junto con los scripts de Python desarrollados para realizar la práctica en un único fichero comprimido.



# Installation

## Requirements

To run PyNeb, you must have python v. 2.6 or above installed (including python 3.n, which is a different python branch), plus the matplotlib, numpy and scipy libraries. Numpy minimum version is 1.5.1.

```
In [23]: %matplotlib inline
          %config InlineBackend.figure_format = 'png'
          import matplotlib.pyplot as plt
```

## Installing the code with pip

This is the easiest way to install or upgrade PyNeb. Once pip is installed (it comes with Anaconda package for example, see <https://pypi.python.org/pypi/pip>), enter from the command line:

```
pip install pyneb
```

to install PyNeb and:

```
pip install --upgrade pyneb
```

for any subsequent upgrade. Uninstalling PyNeb is easy as well:

```
pip uninstall pyneb
```

PyNeb's webpage at [www.iac.es/proyecto/PyNeb](http://www.iac.es/proyecto/PyNeb) contains a Troubleshooting page to address most frequent installation problems.

```
In [24]: import pyneb as pn # We use the pn alias for PyNeb
```

In the following, we will always assume that the PyNeb package has been imported under the alias "pn".

```
In [25]: print(pn.__version__)
```

1.1.12b1

## The Atom class

The critical features of the physical atom relevant for our scope are encapsulated, for the collisional case, in the **Atom** data structure. **Atom** contains the way atomic data are read and managed to compute, for example, line emissivities and to determine diagnostics from line ratios, as well as ionic and total abundances.

Instantiation of the **Atom** class to create an **Atom** object is done by specifying an ion:

```
In [26]: import pyneb as pn
O3 = pn.Atom('O', 3)
```

This command tells the code to create an O++ ion model (corresponding to the [O III] spectrum, hence the "3") by reading the [O III] atomic data.

You can create (instantiate) as many atoms as you need, or even create atoms for the same ion using different atomic data. Some basic info on an existing Atom object can be retrieved by the print command:

```
In [27]: print(O3)
```

Atom O3 from o\_iii\_atom\_FFT04-SZ00.dat and o\_iii\_coll\_SSB14.dat

The two \*.dat files mentioned contain the atomic data used to fill in the structure of this particular **Atom** object. The organisation of these data files will be explained in the section on atomic data.

The **Atom** object contains methods (functions) to explore it; for example you can display the ion's intrinsic properties:

```
In [28]: O3.name
```

Out[28]: 'oxygen'

```
In [29]: O3.spec
```

Out[29]: 3

```
In [30]: O3.gs
```

Out[30]: 'p2'

```
In [31]: O3.z
```

Out[31]: 8

```
In [32]: print('{ } eV - { } eV'.format(O3.IP, O3.IP_up))
```

35.12111 eV - 54.93554 eV

```
In [33]: print('Energy of the 4th level = {:.2f} ev.'.format(O3.getEnergy(4, unit='eV')))
```

Energy of the 4th level = 2.51 ev.

## Using Atom to compute populations and emissivities

The **Atom** class is equipped with method which give access to the populations, emissivities, and other atomic quantities:

```
In [1]: import pyneb as pn
        O3 = pn.Atom('O', 3)
        N2 = pn.Atom('N', 2)
        S2 = pn.Atom('S', 2)

In [2]: O3.getEnergy(4, unit='eV')

Out[2]: 2.513565018800101

In [3]: O3.getStatWeight(level=4)

Out[3]: 5.0

In [4]: O3.getPopulations(tem=1.0e4, den=1e2)

Out[4]: array([7.81643685e-01, 1.93870586e-01, 2.44814197e-02, 4.30930821e-06,
               2.97166313e-10])

In [5]: O3.getPopulations(tem=1.5e4, den=1e2)

Out[5]: array([8.02454816e-01, 1.75280839e-01, 2.22544005e-02, 9.94241529e-06,
               2.05075367e-09])

In [6]: O3.getPopulations(tem=1e4, den=1e2).sum()

Out[6]: 1.0

In [7]: print('Critical densities')
        print('N2' + ' '.join('{:8.2e}'.format(cd) for cd in N2.getCritDensity(tem=12000)))
        print('O3' + ' '.join('{:8.2e}'.format(cd) for cd in O3.getCritDensity(tem=12000)))

Critical densities
N20.00e+00 4.06e+01 2.47e+02 9.55e+04 1.74e+07 9.83e+09
O30.00e+00 5.31e+02 3.70e+03 7.31e+05 2.61e+07

In [8]: O3.getEmissivity(tem=1e4, den=1e2, wave=5007) # in erg.s-1.cm3
```

## PRÁCTICA DE NEBULOSAS IONIZADAS

Curso 24/25

### ESTUDIO DE LA POBLACIÓN RELATIVA DE LOS NIVELES DE OIII

Estudiar la población relativa de los cinco niveles inferiores del ion OIII ( $O^{++}$ ) en una nebulosa ionizada con distintos valores de las condiciones físicas. Usar el paquete de análisis de líneas de emisión PyNeb<sup>1</sup> con los datos atómicos del ion que usa por defecto<sup>2</sup>.

- Obtener el diagrama de Grotrian del ion OIII (indicando solo las transiciones más brillantes, usando `thresh_int=1e-2`) así como las densidades críticas de los distintos niveles suponiendo una temperatura electrónica de 10000K.
- Representar gráficamente la población relativa de los cinco niveles del OIII para valores de densidad electrónica variando entre 1 y  $10^9 \text{ cm}^{-3}$  y suponiendo una temperatura electrónica de 10000K.
- Representar gráficamente la población relativa de los cinco niveles del OIII para valores de temperatura electrónica variando entre 5000 y 15000K y suponiendo una densidad electrónica de  $100 \text{ cm}^{-3}$ .
- Representar gráficamente el cociente de las emisividades,  $j$ , de las líneas [OIII] 5007 Å y [OIII] 4363 Å:

$$\frac{j([OIII]5007)}{j([OIII]4363)}$$

respecto a la temperatura electrónica (entre 5000 y 15000K) suponiendo una densidad de 100,  $10^5$  y  $10^9 \text{ cm}^{-3}$ .

Hacer un informe en formato PDF incluyendo una breve introducción teórica de los conceptos que se van a utilizar, presentando los resultados en forma de gráficas, discutiendo los resultados a la luz de lo explicado en clase e incluyendo la bibliografía utilizada. Entregar en el Aula Virtual la memoria junto con los scripts de Python desarrollados para realizar la práctica en un único fichero comprimido.

## PRÁCTICA DE NEBULOSAS IONIZADAS

Curso 24/25

### ESTUDIO DE LA POBLACIÓN RELATIVA DE LOS NIVELES DE OIII

Estudiar la población relativa de los cinco niveles inferiores del ion OIII ( $O^{++}$ ) en una nebulosa ionizada con distintos valores de las condiciones físicas. Usar el paquete de análisis de líneas de emisión PyNeb<sup>1</sup> con los datos atómicos del ion que usa por defecto<sup>2</sup>.

a) Obtener el diagrama de Grotrian del ion OIII (indicando solo las

**Fecha y hora límite de entrega:  
domingo 23 de marzo a las 23:59h**

c) Representar gráficamente la población relativa de los cinco niveles del OIII para valores de temperatura electrónica variando entre 5000 y 15000K y suponiendo una densidad electrónica de  $100 \text{ cm}^{-3}$ .

d) Representar gráficamente el cociente de las emisividades,  $j$ , de las líneas [OIII] 5007 Å y [OIII] 4363 Å:

$$\frac{j([OIII]5007)}{j([OIII]4363)}$$

respecto a la temperatura electrónica (entre 5000 y 15000K) suponiendo una densidad de 100,  $10^5$  y  $10^9 \text{ cm}^{-3}$ .

Hacer un informe en formato PDF incluyendo una breve introducción teórica de los conceptos que se van a utilizar, presentando los resultados en forma de gráficas, discutiendo los resultados a la luz de lo explicado en clase e incluyendo la bibliografía utilizada. Entregar en el Aula Virtual la memoria junto con los scripts de Python desarrollados para realizar la práctica en un único fichero comprimido.