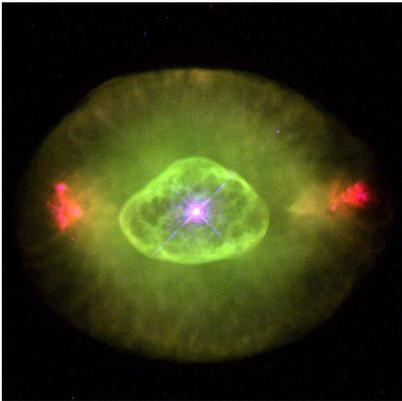


Étude de la nébuleuse planétaire NGC 6826

Blinking nebula – distance ~5220 al - Mag B 10,21 V 9,6

Octobre 2016 – Centre d'Astronomie de La Couyère - Jacques Montier



Hubble Space Telescope (HST) image of NGC 6826. Credit: HST/NASA/ESA

Généralités

Une nébuleuse planétaire est constituée d'une enveloppe gazeuse en expansion de très grandes dimensions provenant d'une étoile centrale (ou noyau) de haute température effective.

Cette étoile en fin de vie de masse comprise entre 0,8 et 8 masses solaires, se trouve dans une période de transition entre l'état de géante rouge et l'état de naine blanche (branche asymptotique des géantes ou AGB).

Cette étoile émet un rayonnement principalement ultraviolet qui va ioniser l'enveloppe gazeuse atomique qui émet par différents mécanismes de la lumière dans le domaine visible.

A. Acquisition des spectres

Dispositif

- Télescope Meade ACF équipé du réducteur de focale Optec 0.7
- Spectromètre Alpy600 avec modules de guidage et de calibration.
- Caméras CCD Atik460EX pour l'imagerie et Atik314L+ pour le guidage.
- caméra Starlight Lodestar montée sur la lunette 80/600mm en parallèle comme chercheur électronique.

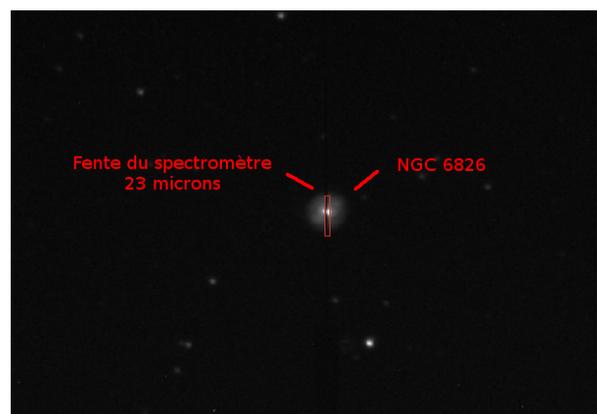
Logiciels sous Linux

- Carte du ciel v-3.11-3299 (25 octobre 2016) communiquant avec la monture 10-Micron intégrée au réseau.
- Acquisition d'images CCDciel 0.8.4-290 (23 septembre 2016)
- Guidage PHD2 Guiding 2.6.2dev4
- Pilotage de la caméra Lodestar : Lin_guider v-4.0.0

Cette nébuleuse planétaire encore appelée "blinking nebula" se trouve dans la constellation du Cygne

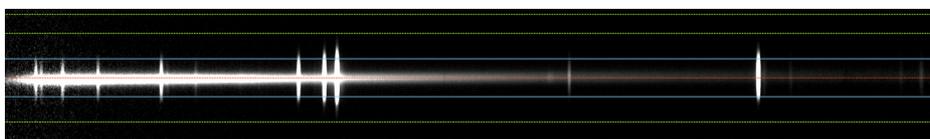


Situation de la nébuleuse NGC 6826



Position de la fente

Zone d'intégration du spectre



B. Profil spectral et identification des raies les plus intenses

Quelques remarques :

- Les raies de Balmer ($H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$, $H\delta$) sont des raies permises obtenues par recombinaison d'électrons avec les ions H^+ suivies de désexcitations radiatives.

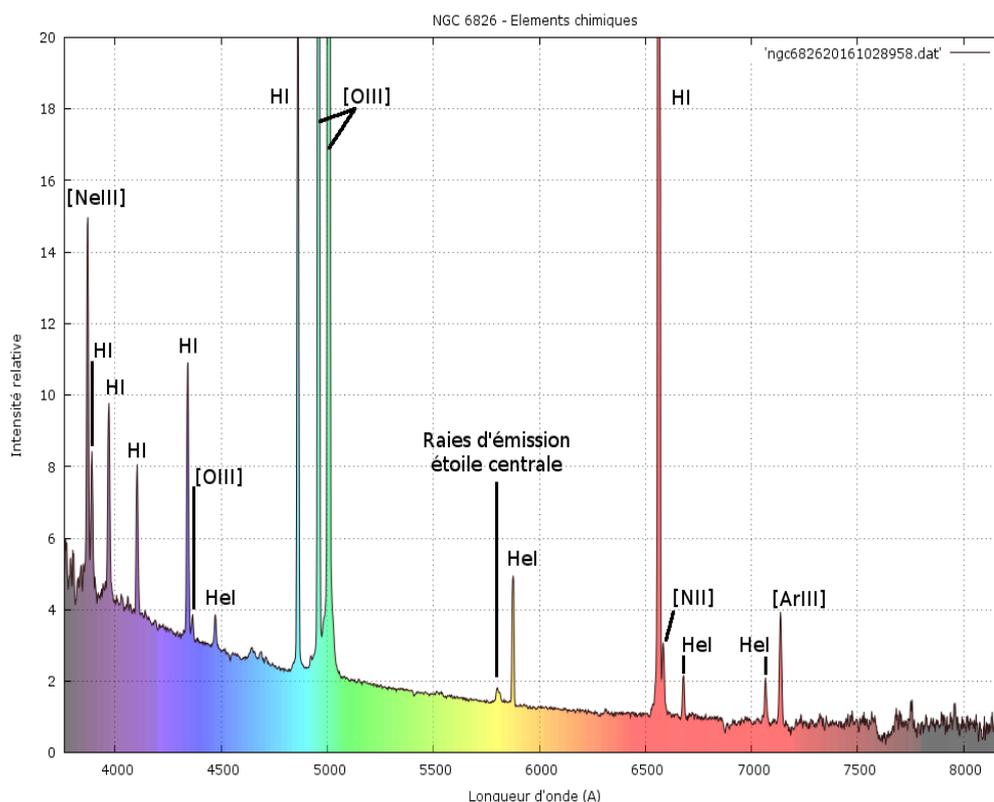
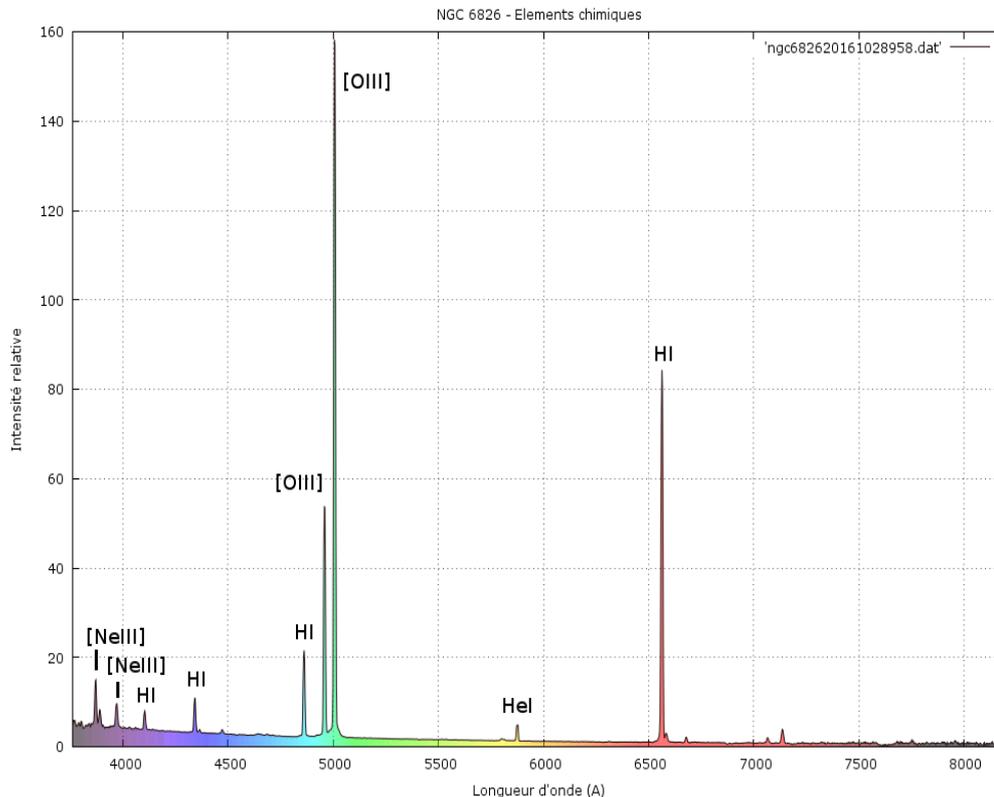
- Le continuum très faible est caractéristique d'un milieu très peu dense.

- Les raies très fines indiquent des vitesses faibles dans le milieu gazeux.

- Présence de raies correspondant à des transitions dites « interdites » : $[OIII]$, $[ArIII]$, etc...

Ces transitions uniquement possibles dans des milieux très dilués, sont dues à des excitations d'atomes par collisions d'électrons libres, suivies de désexcitations radiatives.

Ces transitions ne peuvent être observées dans les laboratoires terrestres du fait de la densité trop élevée du milieu.



Pour évaluer ces grandeurs physiques, se posent deux problèmes :

- l'extinction interstellaire
- l'hétérogénéité de la nébuleuse

I. Le problème de l'extinction interstellaire

Les valeurs des intensités des raies sont malheureusement faussées par la présence de matière interstellaire (gaz et poussières) située sur la ligne de visée de l'observateur.

Cette matière va absorber une partie du rayonnement ; c'est l'**extinction interstellaire**.

Pour compliquer le problème, cette absorption varie selon la longueur d'onde de la lumière émise.

Les rayonnements de courtes longueur d'onde sont plus absorbés que ceux de longueur d'onde plus élevée.

On retrouve un phénomène analogue lorsque le Soleil se couche sur l'horizon. La lumière solaire traverse alors une plus grande épaisseur d'atmosphère absorbant et diffusant les radiations de courte longueur d'onde comme le violet et le bleu. La proportion de radiations rouges est alors plus importante et l'observateur voit le Soleil devenir rouge ; c'est le phénomène de rougissement.

Avant toute mesure, il faut donc corriger les valeurs mesurées de l'extinction interstellaire.

Comment déterminer cette extinction ?

Le décrétement de Balmer

Au laboratoire, les intensités des raies de Balmer décroît naturellement de la raie $H\alpha$ vers la raie $H\delta$; soit $I(H\alpha) > I(H\beta) > I(H\gamma) > I(H\delta)$; c'est le décrétement de Balmer.

Le calcul donne les valeurs théoriques des rapports de flux F :

$$\left(\frac{FH\alpha}{FH\beta}\right)_{th} = 2,85 \quad \text{et} \quad \left(\frac{FH\gamma}{FH\beta}\right)_{th} = 0,47$$

Du fait du rougissement, $H\beta$ plus absorbé que $H\alpha$ et $H\gamma$ plus absorbé que $H\delta$.

Donc

$$\left(\frac{FH\alpha}{FH\beta}\right)_{obs} > 2,85 \quad \text{et} \quad \left(\frac{FH\gamma}{FH\beta}\right)_{obs} < 0,47$$

En mesurant les décrétements sur la ligne de visée de la nébuleuse, et en les comparant aux valeurs théoriques, il est possible de déterminer l'extinction interstellaire.

La constante d'extinction relative au flux $FH\beta$ notée $c(H\beta)$ peut se calculer par la formule

$$c(H\beta) = 3,08 \cdot \log I(H\alpha)_{obs} - 7,55 \quad (1)$$

L'intensité de $H\beta$ étant normalisée à 100.

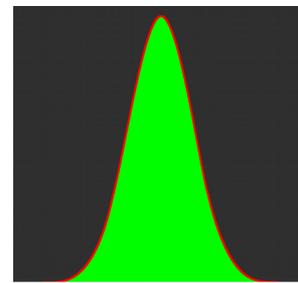
Note :

Les intensités I sont obtenues en mesurant l'aire (en vert) sous chaque raie spectrale.

La formule (1) permet de calculer la constante d'extinction $c(H\beta)$ à partir de l'intensité normalisée I_{obs} de la raie $H\alpha$ ainsi que l'excès de couleur $E(B-V)$.

$$E(B-V) = \frac{c(H\beta)}{1.46}$$

Source : *Astronomie Astrophysique - Agnès Acker 5ème édition p315*



Déroutissement des raies spectrales

L'intensité I de chaque raie de longueur d'onde λ corrigée de l'extinction peut s'exprimer selon la formule

$$I(\lambda) = I(\lambda)_{obs} \cdot 10^{c(H\beta) \cdot f(\lambda)} \quad (2)$$

Source : *Astronomie Astrophysique - Agnès Acker 5ème édition p315*

La fonction $f(\lambda)$ a été établie analytiquement par Kaler (1976) à partir de données numériques

$$f(\lambda) = 1,7636 - 4,8735 \lambda + 2,5634 \lambda^2$$

La longueur d'onde λ est exprimée en micromètre (μm)

La formule (2) permet d'obtenir les intensités corrigées pour les autres raies de Balmer.

II. Résultats

Longueur d'onde (μm)	Élément	I mesurée	I normalisée	I dérougie
0,4340	H γ	203,48	44,87	47,33
0,4363	[OIII]	61,81	13,63	14,34
0,4686	Hell	Non détectée	-	-
0,4861	H β	453,49	100,00	100,00
0,4959	[OIII]	2402,75	529,83	524,94
0,5007	[OIII]	6942,88	1530,98	1509,99
0,6563	H α	1463,28	322,67	281,99

Balmer	Décrément théorique	Décrément observé	Décrément corrigé
H γ	0,47	0,40	0,48
H β	1,00	1,00	1,00
H α	2,85	4,53	2,80
Coefficient d'extinction		Excès de couleur E(B-V)	
0,6		0,4	

Observations

- Les décrets corrigés H α /H β et H γ /H β sont en accord avec la valeur théorique.

III. Évaluation de la température électronique avec les raies interdites [OIII]

Les intensités des raies interdites [OIII] sont de bons indicateurs pour évaluer la température électronique T_e . Celle-ci peut se calculer par la formule

$$T_e = \frac{3,29 \cdot 10^4}{\ln\left(\frac{R_{[OIII]}}{8,32}\right)} \quad \text{avec le rapport} \quad R_{[OIII]} = \frac{I(\lambda_{5007}) + I(\lambda_{4959})}{I(\lambda_{4363})}$$

Source : *Astronomie Astrophysique - Agnès Acker 5ème édition p315*

Résultats

R[OIII]	T_e (K)
392,70	8500

Observations

Barker, Timothy (Wheaton Coll., Norton, MA, United States)

Spectrophotometric observations of emission-line intensities over the spectral range 1400 to 1700 Å were made in seven positions in the planetary nebulae NGC 6826. The O(++) electron temperature varies little from 8900 K throughout the nebula; the Balmer continuum electron temperature averages 1500 K higher. The wavelength 4267 Å C II line intensities imply C(++) abundances that are systematically higher than those determined from the wavelength 1906, 1909 Å C III lines, but because of uncertainties in the intensities of the ultraviolet lines relative to the optical ones, this discrepancy is less conclusively demonstrated in NGC 6826 than in other planetaries in this series.

Extrait de la publication de Timothy Barker - Jan 01, 1987

La valeur de la température électronique trouvée semble cohérente avec la valeur publiée par T. Barker.

IV. Classe d'excitation de la nébuleuse planétaire

L'intensité des raies d'émission peut évoluer fortement d'une nébuleuse planétaire à une autre. Il est possible d'effectuer un classement des spectres des nébuleuses en fonction de l'intensité de certaines raies : c'est la **classe d'excitation**.

Elle dépend fortement de la température effective de l'étoile centrale et peut être définie à partir du rapport

$$\frac{[OIII]_{4959} + [OIII]_{5007}}{H_\beta} \quad \text{dans le cas des nébuleuses de basse classe d'excitation ou}$$

$$\log\left(\frac{[OIII]_{4959} + [OIII]_{5007}}{HeII_{4686}}\right) \quad \text{dans le cas des nébuleuses de moyenne ou haute classe d'excitation.}$$

Résultats

$\frac{[OIII]_{4959} + [OIII]_{5007}}{H_\beta}$
11

Valeur cohérente avec celle de la publication de A. Gurzadyan.

Table 1.1. The ratio of intensities of emission lines ($N_1 + N_2$) [OIII] to H_β of hydrogen in the spectrum of some planetary nebulae

Nebula	$\frac{N_1 + N_2}{H_\beta}$	Nebula	$\frac{N_1 + N_2}{H_\beta}$	Nebula	$\frac{N_1 + N_2}{H_\beta}$
BD+30°3639	0.06	IC 4997	7.58	NGC 3211	20.8
He 2-162	0.16	NGC 6543	8.50	NGC 3918	21.5
Cn 3-1	0.23	NGC 6826	10.20	NGC 6644	23.5
Mz 3	0.31	NGC 6565	12.7	M 2-21	24.6
He 2-64	0.57	NGC 1535	13.8	Mz 2	26.3
Cn 1-2	1.00	NGC 7009	14.0	He 2-76	28.2
IC 418	1.85	NGC 7662	16.8	A 23	32.0
M 2-24	2.55	NGC 2440	17.9	He 2-84	33.0
M 3-20	3.35	NGC 6818	18.9	Wray 16-122	38.7
Hb 12	4.66	NGC 7027	19.2	HaTr 3	44.5

The Physics and Dynamics of Planetary Nebulae Grigor A. Gurzadyan - 1997

Table 1.4. Excitation class p of planetary nebula spectra of low ($p = 1-4$), middle ($p = 4-8$) and high ($p = 9-12^+$) classes of excitation estimated by observed magnitude of the ratio $(N_1 + N_2)/4686 \text{ HeII}$ and $(N_1+N_2)/H\beta$

p	$\frac{N_1 + N_2}{H\beta}$	p	$\log \frac{N_1 + N_2}{4686}$	p	$\log \frac{N_1 + N_2}{4686}$
	Low		Middle		High
1	0- 5	4	2.6	9	1.7
2	5-10	5	2.5	10	1.5
3	10-15	6	2.3	11	1.2
4	>15	7	2.1	12	0.9
		8	1.9	12 ⁺	0.6

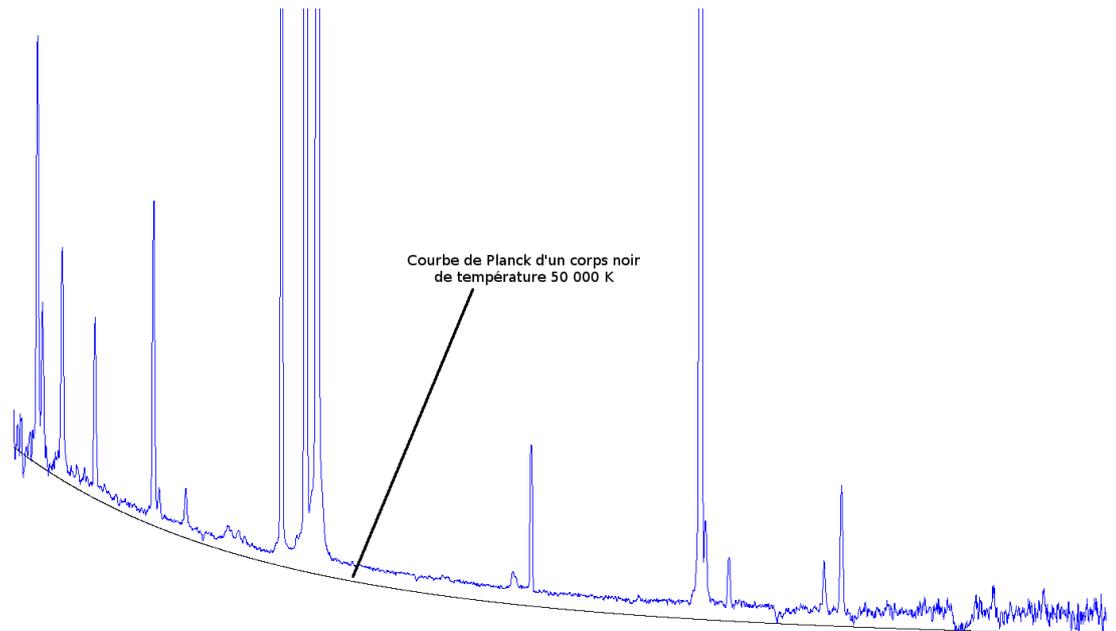
The Physics and Dynamics of Planetary Nebulae Grigor A. Gurzadyan - 1997

D'après le tableau ci-dessus, la valeur trouvée 11 est comprise entre 10 et 15.

La classe d'excitation de la nébuleuse NGC 6826 est donc faible et est estimée à $p = 3$.

V. Température de l'étoile centrale

Dans les publications scientifiques, la température de l'étoile centrale est estimée à 50 000 K.



L'allure du continuum du spectre de la nébuleuse NGC 6826 s'ajuste correctement avec la courbe d'un corps noir de température 50 000 K.

Note : Le télescope spatial Kepler a détecté des variations aléatoires d'éclat de cette étoile.

On pense que cette étoile est peut-être une binaire.

Pour plus d'infos, voir l'article : [http://iopscience.iop.org/article/10.10 ... 7X/756/1/9](http://iopscience.iop.org/article/10.10...7X/756/1/9)

Références

- Détermination température et densité de NCG 2392 par François Teysier <http://www.astronomie-amateur.fr/feuilles/Spectroscopie/NGC2392.html>
- Astronomie Astrophysique - Agnès Acker 5ème édition
- The Physics and Dynamics of Planetary Nebulae - Grigor A. Gurzadyan – 1997