

Étude de la nébuleuse planétaire NGC 7662

Blue snowball nebula – distance ~2600 al - Mag B 9,4 V 12

Septembre 2015 – Centre d'Astronomie de La Couyère - Jacques Montier

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.

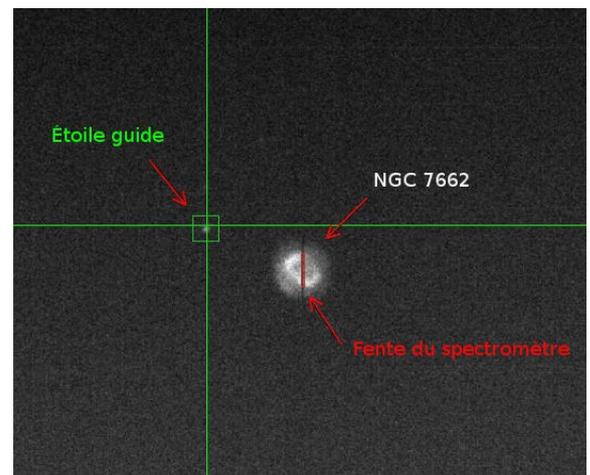
A. Acquisition des spectres

Matériel et logiciels

- Télescope Meade ACF 355 mm focale 3300mm
- Spectromètre basse résolution Alpy 600 avec fente 23 μm .
- Caméra de guidage Atik 314L+
- Caméra d'imagerie Atik 460EX monochrome – température CCD réglée à -10°C
- Logiciel Audela (acquisitions) et Isis (traitement)
- Logiciel Fitik-1.2.9 pour les mesures d'intensités de raies spectrales

Acquisitions

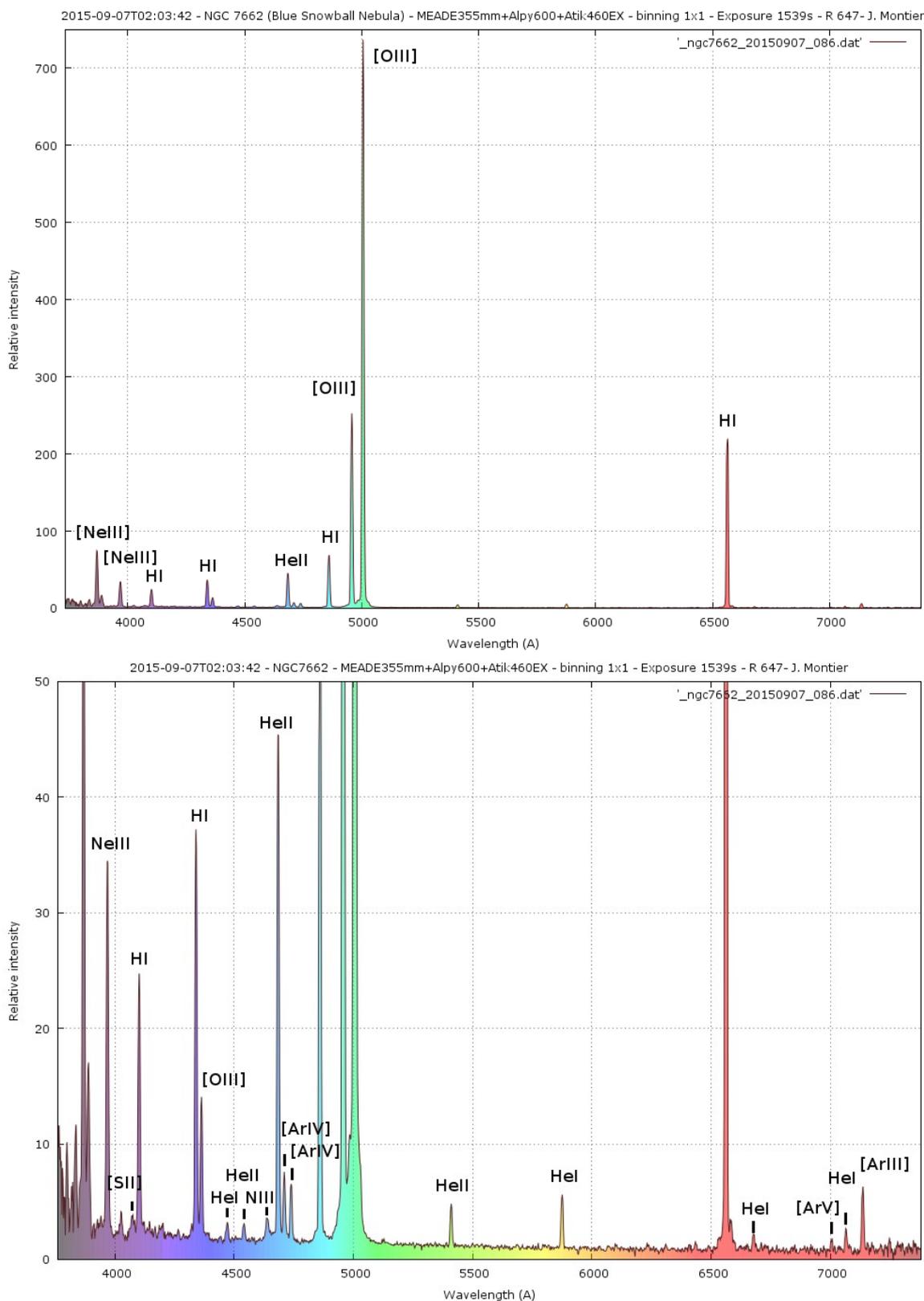
- 5 poses de 300s binning 1x1
- Fond de ciel retiré
- Spectre non corrigé de la vitesse héliocentrique



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

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

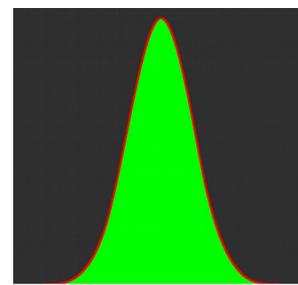
L'intensité de $H\beta$ étant normalisée à 100.

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

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 $H\alpha$.



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. Hétérogénéité de la nébuleuse



ESA/Hubble

Au vu des images, la structure d'une nébuleuse planétaire ne semble pas du tout homogène. Pour le montrer, on se propose de tenter d'évaluer ces paramètres physiques dans deux régions différentes de la nébuleuse notées I et II.

Régions d'intégration du spectre



III. Résultats

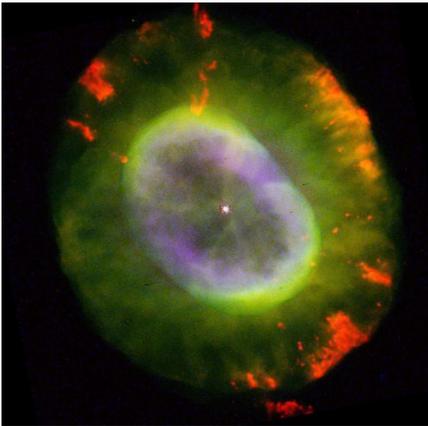
	Longueur d'onde (μm)	Élément	I mesurée	I normalisée	I dérougie
Région I (bord)	0,4340	H γ	203,48	44,87	47,33
	0,4363	[OIII]	61,81	13,63	14,34
	0,4686	H δ	33,92	7,48	7,61
	0,4861	H β	453,49	100,00	100,00
	0,4959	[OIII]	2402,75	529,83	524,94
	0,5007	[OIII]	6942,88	1530,98	1509,99
	0,6563	H α	1463,28	322,67	281,99
Région II (centre)	0,4340	H γ	269,89	51,07	53,78
	0,4363	[OIII]	89,46	16,93	17,78
	0,4686	H δ	429,15	81,21	82,59
	0,4861	H β	528,45	100,00	100,00
	0,4959	[OIII]	1670,39	316,09	313,27
	0,5007	[OIII]	4963,09	939,17	926,73
	0,6563	H α	1697,47	321,21	282,01

Région I (bord)	Balmer	Décrément théorique	Décrément observé	Décrément corrigé
	H γ	0,47	0,45	0,47
	H β	1,00	1,00	1,00
	H α	2,85	3,23	2,82
	Coefficient d'extinction		Excès de couleur E(B-V)	
	0,18		0,12	
Région II (centre)	Balmer	Décrément théorique	Décrément observé	Décrément corrigé
	H γ	0,47	0,51	0,54
	H β	1,00	1,00	1,00
	H α	2,85	3,21	2,82
	Coefficient d'extinction		Excès de couleur E(B-V)	
	0,17		0,12	

Observations

- Les décrets corrigés H α /H β et H γ /H β sont en accord avec la valeur théorique pour la région I
- La valeur du décrement H γ /H β semble trop élevée par rapport à la valeur théorique pour la région II
- les valeurs du coefficient d'extinction et du rougissement sont très voisines voire identiques selon que l'on se trouve sur le bord ou au centre de la nébuleuse.

IV. Comparaison des intensités des raies émissions [OIII] et H α



ESA/Hubble

La région I montre une coloration verte plus intense que la région II. La couleur verte est principalement due aux raies d'émission interdites [OIII] 4959A et 5007A.

Calcul du rapport des intensités par rapport à l'intensité de la raie

$$\text{d'émission H}\alpha \quad R = \frac{[OIII]_{4959} + [OIII]_{5007}}{H\alpha_{6563}}$$

Résultats

	R
Région I (bord)	7,22
Région II(centre)	4,40

Conformément à l'aspect de l'image, le rapport est plus élevé dans la région I que dans la région II traduisant une intensité de l'émission [OIII] relative à l'émission H α plus élevée sur les bords de la nébuleuse qu'au centre.

V. 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)
Région I (bord)	141,9	11600
Région II (centre)	69,7	15500

Observations

La valeur de la température est sensiblement moins élevée sur les bords qu'au centre de la nébuleuse.

D. Autres paramètres observés et publications professionnelles

I. Intensités des raies d'émission [OIII] rapportées à l'émission H β

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

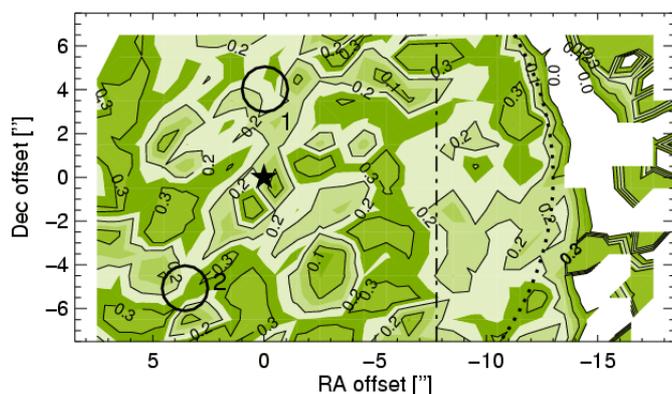
Résultats

	$\frac{[OIII]_{4959} + [OIII]_{5007}}{H_\beta}$
Région I (bord)	20,4
Région II (centre)	12,4

Observations

La valeur 16,8 publiée par Grigor A. Gurzadyan est située dans l'intervalle des mesures [12,4 – 20,4].

II. Coefficient d'extinction

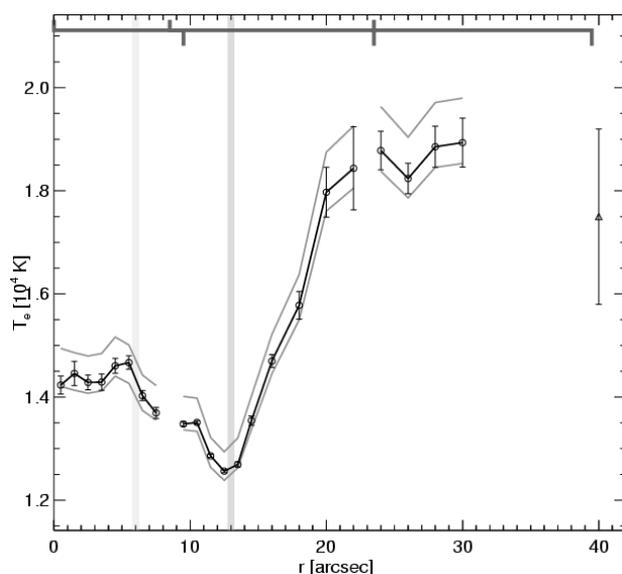


Coefficients d'extinction calculés
- Grigor A. Gurzadyan - 1997

Observations

Les valeurs obtenues (0,17 et 0,18) sont cohérentes avec les valeurs calculées et publiées par Grigor A. Gurzadyan - 1997 .

III. Température électronique



Température électronique en fonction de la distance au centre - Grigor A. Gurzadyan - 1997

Observations

Sur la figure ci-contre,
- Région I (bord) avec $r \sim 13''$: $T_E \sim 12500$ K
- Région II (centre) avec $r < 6''$: $T_E \sim 14500$ K

	T_E (K) G. A. Gurzadyan	T_E (K) Valeurs observées	Écart (%)
Région I ($r \sim 13''$)	~ 12500	11600	~ 7
Région II ($r < 6''$)	~ 14500	15500	~ 7

À noter la très forte élévation de température dans le halo de la nébuleuse ($r > 13''$).

Les valeurs observées semblent cohérentes avec les résultats publiés par Grigor A. Gurzadyan - 1997 .

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

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

dans le cas des nébuleuses de basse classe d'excitation ou

$$\log\left(\frac{[OIII]_{4959} + [OIII]_{5007}}{HeII_{4686}}\right)$$

dans le cas des nébuleuses de moyenne ou haute classe d'excitation.

Résultats

L'intensité relativement forte de la raie $HeII_{4686}$ (fort potentiel d'ionisation de l'hélium) montre que la classe d'excitation doit être plutôt élevée. On emploie alors la seconde formule.

	$\log\left(\frac{[OIII]_{4959} + [OIII]_{5007}}{HeII_{4686}}\right)$
Région I (bord)	2,4
Région II (centre)	1,2

Planetary nebula	$F(4686)$	$F(N_1+N_2)$	$\log \frac{F(N_1+N_2)}{F(4686)}$	T_*, K
				HeII/HI [OIII]/[OII]
NGC 7662	0.47	16.9	1.56	160 000 84 000

Note : La valeur publiée de 1,56 se situe dans l'intervalle des mesures [1,2 – 2,4] observées

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 $(N_1 + N_2)/4686$ 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

La classe d'excitation de la nébuleuse planétaire NGC7662 est élevée ($p = 10$) et elle est due à la très grande température effective de l'étoile centrale dont la valeur diffère selon les sources et les méthodes employées.

$T_E \sim 91200 K$: *Imaging Spectrophotometry of the Planetary Nebulae NGC 7662 and NGC 7009*
Authors: Lane, N. J. & Pogge, R. W. - 1996

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
- Imaging Spectrophotometry of the Planetary Nebulae NGC 7662 and NGC 7009
Authors: Lane, N. J. & Pogge, R. W. - 1996