

Quelques paramètres physiques de la nébuleuse d'émission M42

Décembre 2013 - Observatoire de La Couyère
Jacques Montier

Objectifs

Évaluer la température et la densité électronique dans une région de la nébuleuse d'Orion M42.

A- Principe

Les évaluations de la température et de la densité électronique du milieu peuvent être obtenues par les mesures des rapports des intensités de certaines raies spectrales.

Matériel

- Télescope Meade ACF 355 mm focale 3,30m
- Caméra QSI 683ws
- Spectromètre basse résolution Alpy 600

Acquisitions

- 5 poses de 300s binning 1x1 sans guidage
- Traitement par le logiciel ISIS-5.3.1

La fente a été placée dans la région à l'est du trapèze d'étoiles selon la direction Nord-Sud

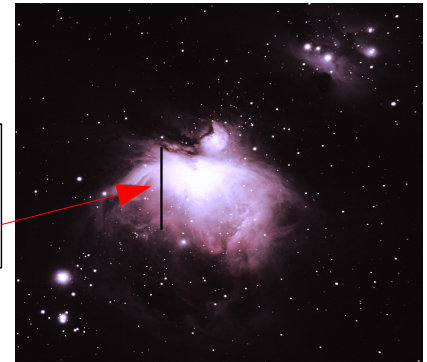
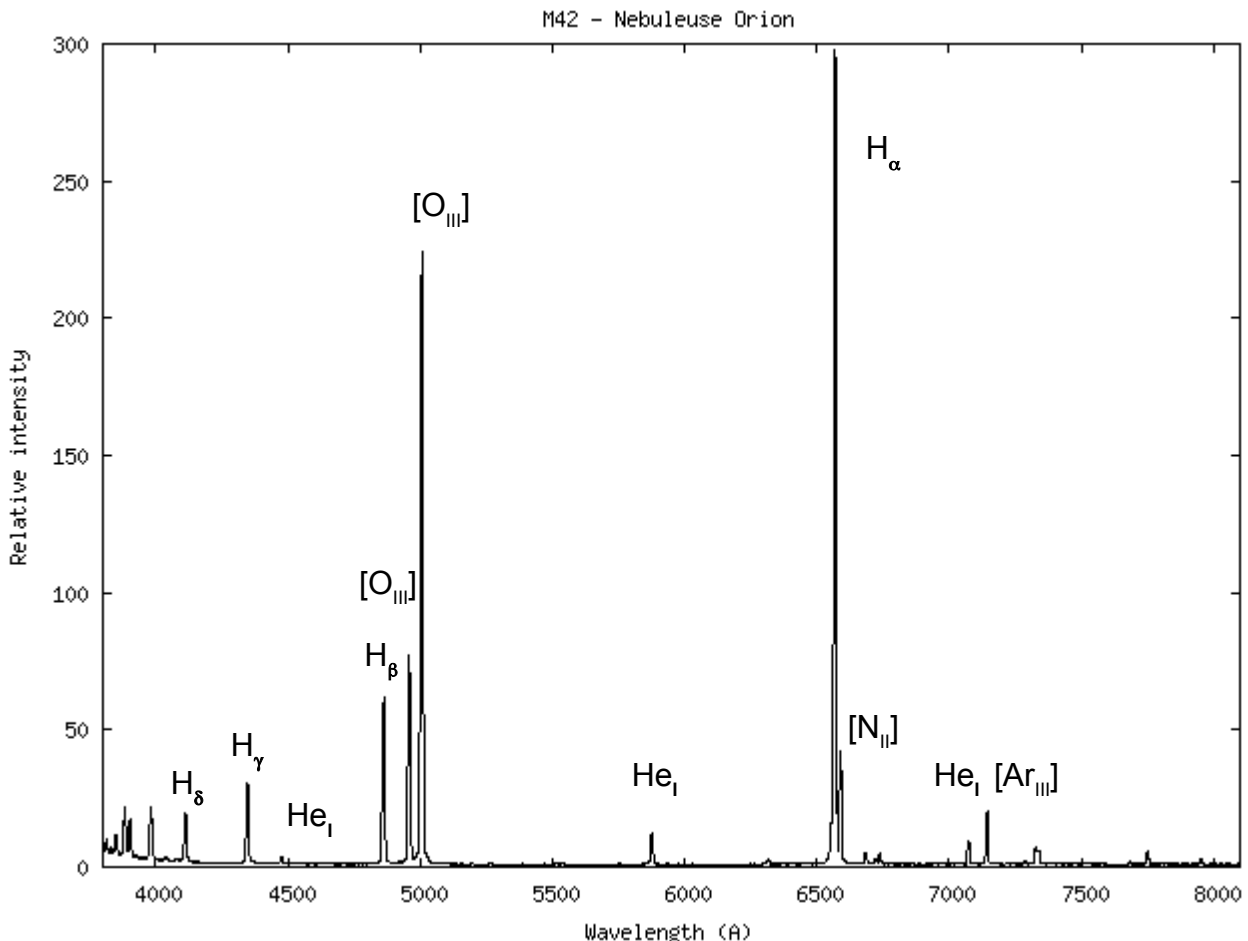


Photo S. Heterier

Note : Le fond de ciel n'a pas été retiré

Spectre final et identification des raies les plus intenses



Quelques remarques :

- Le spectre est caractéristique d'une région gazeuse dite HII principalement constituée d'hydrogène chauffé par des étoiles chaudes environnantes émettant des photons énergétiques ultraviolet ; ces photons ionisent les atomes d'hydrogène en ions H^+ .
- 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 » : $[O_{III}]$, $[N_{II}]$, 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.

B- 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 ?

1- 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.

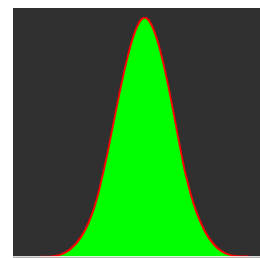
La constante d'extinction relative au flux $H\beta$ notée $c(H\beta)$ peut se calculer par la formule

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

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.



2- 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)

Résultats

La formule (1) permet de calculer la constante d'extinction $c(H\beta)$ à partir de l'intensité normalisée I_{obs} de la raie $H\alpha$, soit :

$$I(H\alpha)_{obs} = 484,40$$

Constante d'extinction mesurée : $c(H\beta) = 0,72$

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

Élément	Intensité	Intensité normalisée I_{obs}	Intensité corrigée I
$H\alpha$	2596,79	484,40	279,86
$H\beta$	536,08	100	100
$H\gamma$	235,72	43,97	54,66

On peut également en déduire le décrément de Balmer corrigé de l'extinction interstellaire.

Décrément	Décrément observé	Décrément corrigé	Décrément théorique
$H\alpha/H\beta$	4,84	2,80	2,85
$H\gamma/H\beta$	0,44	0,55	0,47

- Le décrément corrigé $H\alpha/H\beta$ est en accord avec la valeur théorique.

- Par contre, la valeur $H\gamma/H\beta$ semble un peu trop élevée par rapport au résultat théorique.

Il est possible maintenant de déterminer les intensités corrigées de toutes les raies du spectre.

Longueur d'onde (Å)	Élément	Intensité mesurée	Intensité normalisée	Intensité corrigée	Écart (%)
4340,47	H γ	235,72	43,97	54,66	-19,56
4363,21	[OIII]	4,69	0,87	1,08	-18,75
4861,33	H β	536,08	100	100	0
4958,92	[OIII]	717,36	133,81	128,86	3,85
5006,85	[OIII]	2065,28	385,25	364,20	5,78
5875,62	HeI	104,6	19,51	13,66	42,84
6300,00	[OI]	3,7	0,69	0,43	61,59
6312,10	[SIII]	14,45	2,70	1,66	62,12
6548,06	[NII]	140,35	26,18	15,18	72,44
6562,82	H α	2596,79	484,40	279,86	73,08
6583,39	[NII]	385,67	71,94	41,35	73,98
6678,15	HeI	35,94	6,70	3,77	78,05
6716,50	[SII]	21,83	4,07	2,27	79,69
6730,70	[SII]	34,47	6,43	3,57	80,30
7065,30	HeI	72,95	13,61	7,01	94,19
7135,80	[ArIII]	166,88	31,13	15,80	97,01

C- Évaluation de la température électronique avec les raies interdites [OIII]

La température T_e peut se calculer par la formule

$$T_e = \frac{3,29 \cdot 10^4}{\ln\left(\frac{R_{OIII}}{8,32}\right)} \quad \text{avec le rapport} \quad R_{OIII} = \frac{I(\lambda 5006,85) + I(\lambda 4958,92)}{I(\lambda 4363,21)}$$

Source : Astronomie Astrophysique - Agnès Acker 5ème édition p315

Résultat :

$$T_e = 8200 \text{ K}$$

D- Évaluation de la densité électronique avec les raies interdites [SII]

La densité électronique peut se calculer par la formule

$$N_e = 10^2 \cdot T_e^{1/2} \cdot \left(\frac{R_{SII} - 1,49}{5,62 - 12,8 \cdot R_{SII}} \right) \quad \text{avec} \quad R_{SII} = \frac{I(\lambda 6716,5)}{I(\lambda 6730,70)}$$

Source : Astronomie Astrophysique - Agnès Acker 5ème édition p317

Résultat :

$$N_e = 3080 \text{ cm}^{-3}$$

E- Les valeurs trouvées sont-elles cohérentes ?

Extraits de publication parue dans « The Astronomical Journal »

<http://iopscience.iop.org/1538-3881/140/4/985/>

SPECTROPHOTOMETRY OF THE HUYGENS REGION OF THE ORION NEBULA, THE EXTENDED ORION NEBULA, AND M 43: SCATTERED LIGHT SYSTEMATICALLY DISTORTS CONDITIONS DERIVED FROM EMISSION LINES

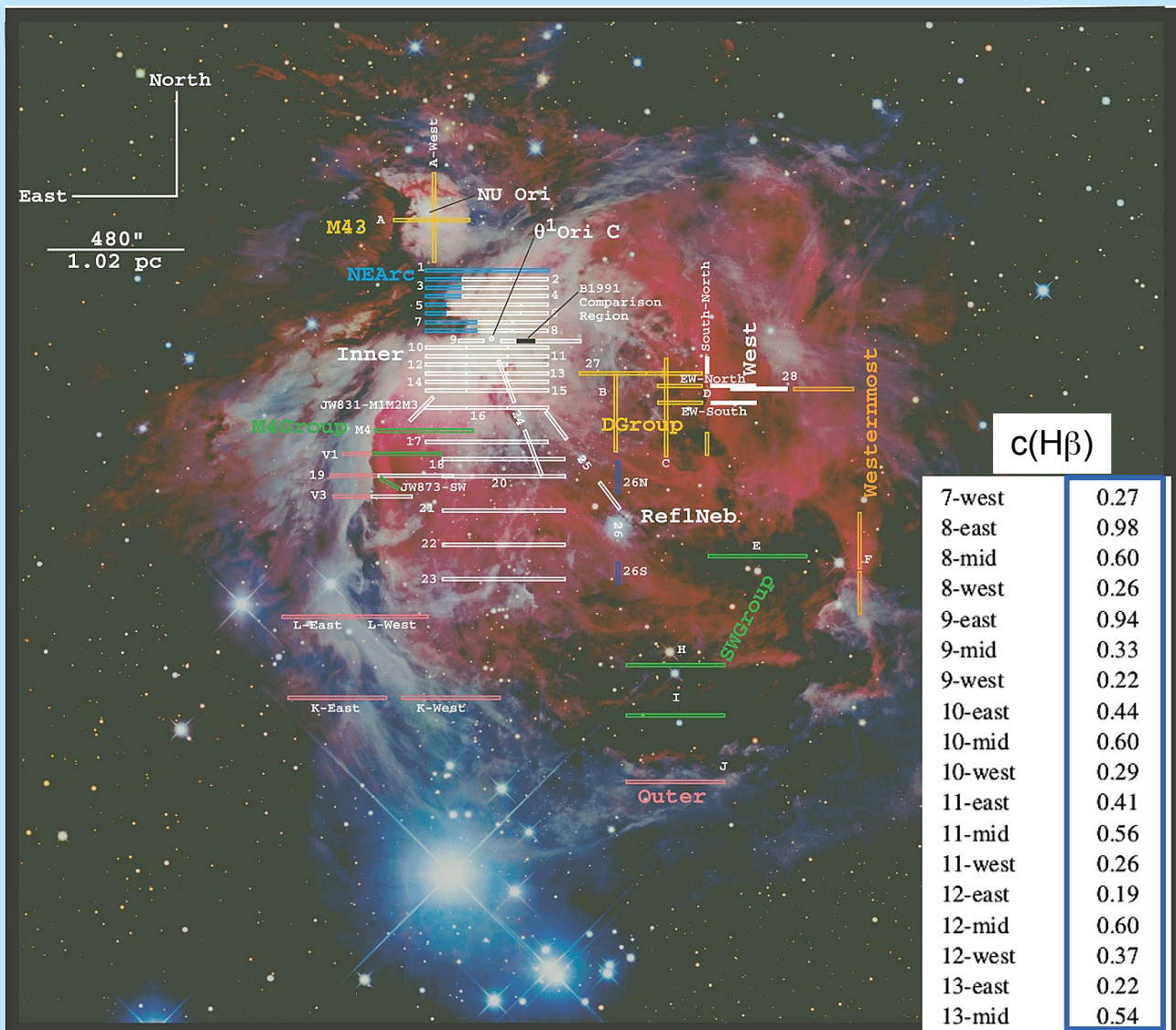
C. R. O'Dell 1 and Jessica A. Harris 2

1 Department of Physics and Astronomy, Vanderbilt University, Box 1807-B, Nashville, TN 37235, USA; cr.odell@vanderbilt.edu

2 Department of Physics, Fisk University, 1000 17th Avenue, Nashville, TN 37208, USA; jessica.a.harris@vanderbilt.edu

Received 2010 June 8; accepted 2010 August 4; published 2010 September 8

Coefficient d'extinction $c(H\beta)$



Positions de la fente du spectromètre sur la nébuleuse - quelques valeurs de constante d'extinction

Température électronique T_e et densité

Derived Electron Temperatures and Densities ^a				
Sample Designation	T_e ([S II])	T_e ([N II])	T_e ([O III])	N_e ([S II])
7-West	7650	9340	8200	1330
8-East		8140		1190
8-Mid	10850	10180	8650	3350
8-West	10590	8400	8700	1610
9-East		9200	9260	1650
9-Mid		10050	8240	5440
9-West		8950	7750	550
10-East	14470	8940	8050	1580
10-Mid	12660	11390	8500	5820
10-West	16420	9190	8000	1550
11-East	7650	9360	8820	1740
11-Mid	8960	10210	8080	3800
11-West	9170	8350	7750	1130
12-East	7230	8260	9020	800
12-Mid	9140	9570	7690	2890
12-West	9560	8690	7860	980
13-East	8860	8170	8400	960
13-Mid	8810	9330	8080	1930

F- BILAN

- Les valeurs expérimentales trouvées ci-dessus sont très différentes selon les régions explorées.
- Cela est sans doute caractéristique de l'hétérogénéité du milieu gazeux.
- Les fentes ont été le plus souvent orientées Est-Ouest alors qu'ici l'orientation choisie était Nord-Sud.



Fente du spectromètre

Résultats obtenus à l'observatoire de La Couyère

$c(H\beta) = 0,72$	$T_e = 8200 \text{ K}$	$N_e = 3080 \text{ cm}^{-3}$
--------------------	------------------------	------------------------------

Malgré les conditions expérimentales très différentes (emplacement et orientation de la fente, non retrait du fond de ciel), les résultats semblent toutefois cohérents avec les valeurs trouvées par l'équipe professionnelle.

Références

- Détermination température et densité de NGC 2392 par François Teyssier
<http://www.astronomie-amateur.fr/feuilles/Spectroscopie/NGC2392.html>
- Astronomie Astrophysique - Agnès Acker 5ème édition
- C. R. O'Dell, Jessica A. Harris