

La composizione chimica della nebulosa planetaria NGC2392

Gianluca Benetello, Dario Giacoia, Nicolò Monaco, Giovanni Pecoraro

Scuola Navale Militare “F. Morosini”, Venezia

SOMMARIO

Le nebulose sono oggetti celesti che si originano durante la parte finale della vita di particolari stelle. Questi corpi emettono una certa quantità di radiazioni che producono uno spettro di emissione che ci permette di analizzare importanti caratteristiche del corpo, come temperatura e densità. Attraverso il fenomeno del decremento di Balmer, che ci permette di calcolare il valore dell'estinzione, riusciamo a correggere i valori del flusso delle righe spettrali. Possiamo così sfruttarli per determinare le caratteristiche sopra citate che, con l'ausilio di appositi software, ci permetteranno di calcolare le abbondanze chimiche che caratterizzano il corpo celeste.

I. INTRODUZIONE

Una stella di massa iniziale inferiore a 5 masse solari al termine del suo ciclo evolutivo rilascia gradualmente materiale gassoso che rimane attorno alla stella attratto dalla sua forza gravitazionale formando una nebulosa planetaria. L'unica fonte di energia di questo corpo celeste è data dalla stella interna che ormai si appresta a diventare una nana bianca.

Ottimo esempio di nebulosa planetaria è la NGC 2392, comunemente detta Eskimo (Fig. 1).

Questa fu scoperta dall'astronomo William Herschel nel 1787 e solo nel recente 2000 il telescopio spaziale Hubble ce ne ha fornito un'immagine dettagliata. Vista da terra, assomiglia alla testa di una persona racchiusa dal cappuccio di una giacca a vento. Formatasi circa 10000 anni fa è ancora oggetto di approfonditi studi tesi a comprendere le complesse nuvole di gas che circondano la stella centrale.



Figura 1: La nebulosa NGC2392 fotografata dall' Hubble Space Telescope.

II. DATI OSSERVATIVI

La nebulosa è stata osservata il 13 Gennaio 2007, con il telescopio di 122cm di diametro dell'Osservatorio Astrofisico di Asiago. Sullo spettrografo è stato montato un reticolo da 150 tratti/mm che ha prodotto uno spettro della nebulosa esteso da 3200 a 11700 Angstrom. La fenditura dello spettrografo era larga 300 micron, corrispondenti a circa 3" in cielo. Il tempo di esposizione applicato è stato di 180 sec. Lo spettrografo è stato orientato con la fenditura in direzione Est-Ovest e centrata sulla nebulosa in modo da osservare contemporaneamente la stella nana bianca al centro e il gas ionizzato circostante.

I dati raccolti con l'utilizzo di tali strumenti hanno permesso di affrontare uno studio approfondito degli spettri stellari. Prima di analizzare nello specifico lo spettro emesso dalla nebulosa è meglio indicare le sue caratteristiche astronomiche (Fig. 2).

Sigle catalogo: NGC 2392 - PK 197+17.1
 Costellazione: Gemelli
 A.R. (J2000): 7^h 29^m 12.00^s
 Dec. (J2000): +20° 55' 00.0"
 Dimensioni: 0.8'x 0.7'
 Magnitudine: 8.60
 Dimensioni reali: 0.2 a.l.
 Distanza: ~5000 a.l.
 Mag stella centrale: 10.5
 Spettro: O7
 Velocità di espansione: 55 km/s

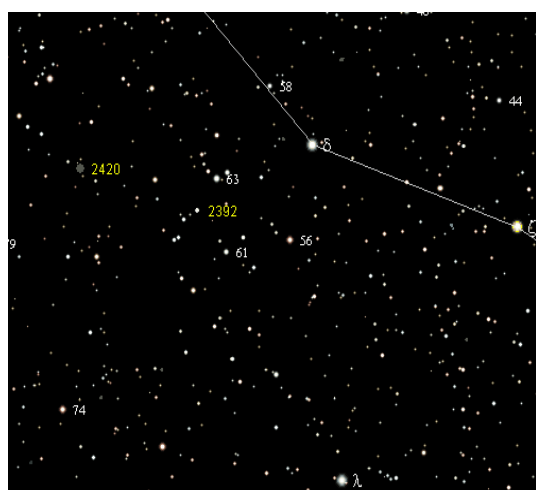


Figura 2: La nebulosa nella costellazione dei Gemelli

III. DESCRIZIONE DEL LAVORO

Il punto di partenza è stato lo spettro grezzo della nebulosa (Fig. 3).

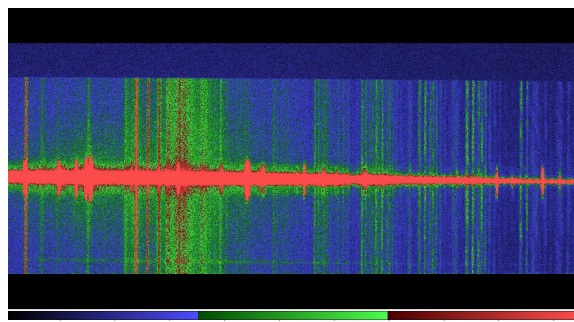


Figura 3: Spettro grezzo della nebulosa ottenuto con il CCD

Partendo dai dati sopra citati abbiamo proceduto alla loro riduzione tramite l'ausilio del programma *IRAF*,

disponibile in versione open source per piattaforme linux. Innanzi tutto è stato necessario eliminare il BIAS, il rumore di fondo del CCD. Per fare questo è stato utilizzato un'immagine di base del bias (Fig. 4).

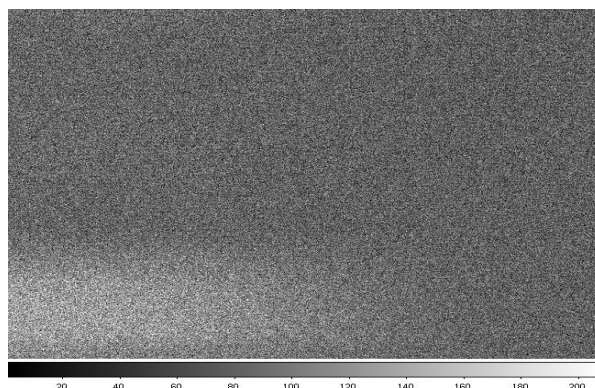


Figura 4: Immagine di bias

Dopodiché siamo passati all'analisi del FLAT-FIELD, caratteristica propria del CCD che varia a seconda del tipo utilizzato e che comporta una diversa capacità di percezione dei segnali alle varie lunghezze d'onda. A questo punto è stato necessario confrontare lo spettro elaborato con quello di una lampada ferro-argon (Fig. 5).

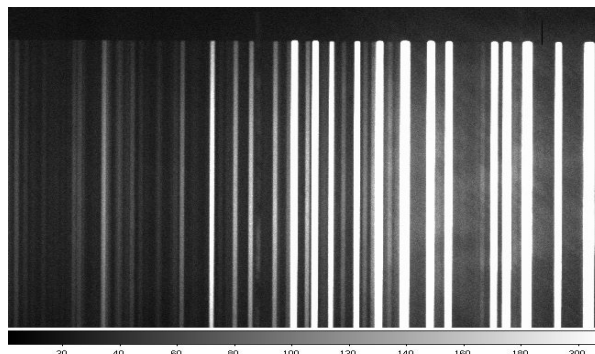


Figura 5: Spettro della lampada di Fe-Ar

Questo passaggio è servito a calibrare in valori di lunghezza d'onda (misurati in Angstrom) l'asse delle ascisse del diagramma cartesiano che presentava ancora valori in pixel (Fig. 6).

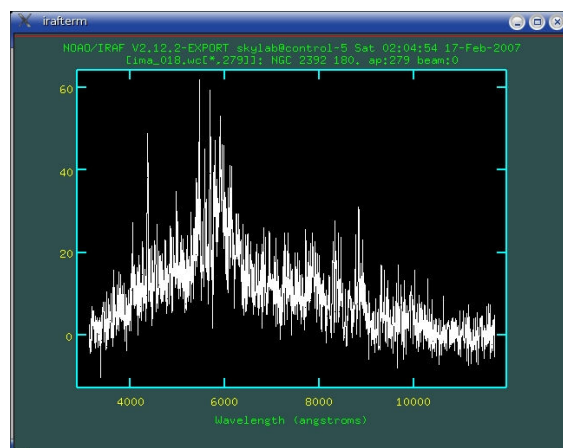


Figura 6: Esempio di spettro calibrato in lunghezza d'onda

In seguito abbiamo calibrato anche il flusso luminoso, trasformando i valori presenti sottoforma di conteggio di fotoni in unità $\text{erg}\times\text{cm}^{-2}\times\text{s}^{-1}$. L'ultima operazione è stata l'eliminazione delle righe spettrali e del continuo appartenenti alle radiazioni diffuse ed emesse dall'atmosfera della Terra, il cosiddetto spettro del cielo notturno. Ciò ci ha permesso di ottenere uno spettro pulito e adatto ad un'analisi più precisa con i supporti informatici (Fig. 7).

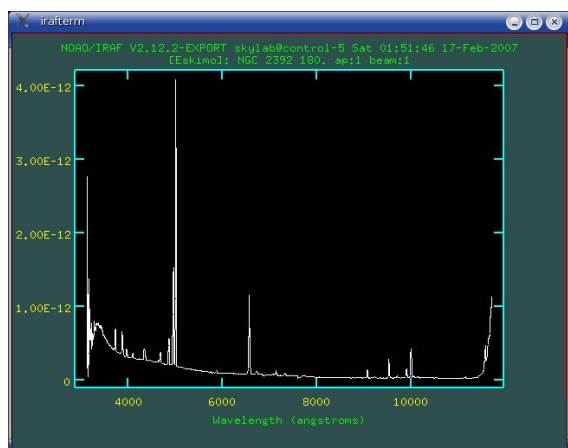


Figura 7: Spettro della nebulosa al termine della riduzione

Una volta effettuate tali operazioni abbiamo potuto procedere all'analisi completa, iniziata con l'identificazione delle righe spettrali appartenenti ad elementi campione presenti nello spettro (Tab. 1). Purtroppo i flussi delle varie righe presentano un'ulteriore complicazione. Le polveri ed i gas contribuiscono infatti ad assorbire pesantemente le radiazioni più vicine al blu, molto meno invece quelle nella zona del rosso, e questo fenomeno è detto *estinzione o arrossamento*. Abbiamo dovuto quindi effettuare delle correzioni sfruttando gli studi di Balmer, che nel 1885 determinò una legge matematica che permetteva di calcolare le lunghezze d'onda delle righe emesse dall'idrogeno nello spettro visibile. Scoprii così che i rapporti tra le intensità di queste righe decrescono man mano che ci si avvicina alla parte blu dello spettro. Calcolando tali rapporti in base ai dati a nostra disposizione abbiamo determinato i seguenti valori:

$$\begin{aligned} I_{H\alpha}/I_{H\beta} &= 3,15 \\ I_{H\gamma}/I_{H\beta} &= 0,41 \\ I_{H\delta}/I_{H\beta} &= 0,18 \end{aligned}$$

Sfruttando il software per l'elaborazione dei dati abbiamo scoperto che il valore dell'estinzione era pari a 0,3 mag. Grazie a questo è stato possibile correggere i flussi di determinate righe utili nello svolgimento dei calcoli di abbondanza degli elementi.

Tabella 1

Elem.	λ (Ang)	Flusso ($\text{erg}\times\text{cm}^{-2}\times\text{s}^{-1}$)	$I/I_{H\beta}$
[O II]	3727	$6,69\times 10^{-12}$	0,92

[O III]	4363	$1,38\times 10^{-12}$	0,17
He II	4686	$2,85\times 10^{-12}$	0,36
[O III]	4959	$2,91\times 10^{-11}$	3,59
[O III]	5007	$8,56\times 10^{-11}$	10,44
He I	5876	$7,33\times 10^{-13}$	0,08
[N II]	6548	$1,92\times 10^{-12}$	0,22
[N II]	6583	$5,75\times 10^{-12}$	0,64
[S II]	6724	$2,16\times 10^{-13}$	0,03
[S III]	9069	$2,23\times 10^{-12}$	0,23
[S III]	9532	$5,70\times 10^{-12}$	0,57

Questi valori saranno fondamentali per calcolare temperatura e densità, in un primo momento e le abbondanze in seguito. Per il calcolo della temperatura del corpo celeste utilizzeremo le righe spettrali del [O III], mentre per la densità le righe del [S II].

T_e [O III] = 14182,6 K
$N_e = 2553 \text{ cm}^{-3}$

Tali valori sono stati direttamente forniti dal software e ci hanno permesso di calcolare le abbondanze degli elementi.

IV. RISULTATI

Sfruttando delle equazioni ricavate sperimentalmente abbiamo ottenuto il valore della temperatura del [O II].

$$t = \frac{T_e[\text{O III}]}{10000\text{K}}$$

$$T_e[\text{O II}] = [0,243 + t(1,031 - 0,184t)] \times 10000 = [z] \times 10000\text{K} = 13000\text{K}$$

Usiamo quindi il valore nell'equazione per il calcolo delle abbondanze.

$$\begin{aligned} 12 + \log\left(\frac{\text{O}^+}{\text{H}^+}\right) &= \log\left(\frac{I_{3727}}{I_{H\beta}}\right) + 5,89 + \\ &+ \frac{1,676}{z} - 0,40 \times \log z + \log(1 + 1,35x) \end{aligned}$$

dove

$$x = \frac{N_e}{10000\sqrt{z}} = 0,22$$

Quindi,

$$\frac{\text{O}^+}{\text{H}^+} = 1,58 \times 10^{-5}$$

Questi risultati sono abbastanza in accordo con le stime ottenute da Barker (1991): $\text{O}/\text{H} = 3,4 \times 10^{-4}$, $\text{N}/\text{H} = 1,1 \times 10^{-4}$, $\text{S}/\text{H} = 4,3 \times 10^{-6}$, che ha osservato la nebulosa in 6 zone diverse, non coincidenti con quella osservata da noi.

Utilizzando formule analoghe che coinvolgono i rapporti di flusso fra righe spettrali, abbiamo ottenuto i seguenti risultati:

$$\frac{\text{O}^{++}}{\text{H}^+} = 1,38 \times 10^{-4}$$

$$\frac{\text{O}^{+++}}{\text{O}^{++} + \text{O}^+} = 0,5$$

E infine, l'abbondanza di ossigeno nella nebulosa è:

$$\frac{\text{O}}{\text{H}} = 4,44 \times 10^{-4}$$

Dal rapporto fra ossigeno e azoto,

$$\frac{\text{O}^+}{\text{N}^+} = 2,45$$

ricaviamo l'abbondanza di azoto:

$$\frac{\text{N}}{\text{H}} = 1,76 \times 10^{-4}$$

Per concludere, calcoliamo l'abbondanza di zolfo:

$$\frac{\text{S}^+}{\text{H}^+} = 5 \times 10^{-8}$$

$$\frac{\text{S}^{++}}{\text{H}^+} = 1,6 \times 10^{-6}$$

$$\frac{\text{S}}{\text{H}} = 2,51 \times 10^{-6}$$

BIBLIOGRAFIA

Barker T. 1991, ApJ 371, 217-225. *The ionization structure of planetary nebulae. X. NGC 2392.*