

# Der Planetarische Nebel NGC 2392

Dr. W. Ober & StD. A. Terkowski – OMG-Campus-Observatorium

## Koordinaten:

**RA : 07h 29m 11s**

**Dec: +20° 54' 43"**

**Parallaxe : 0.5451 mas**

**Entfernung: 1835 pc**

**Teleskop: RC 305 mm / 2438 mm**

## Photometrie:

# G3-11000 CCD – Kamera; 2x2 Binning; CCD-Temp: -20° C

# Baader LRGB-Filter

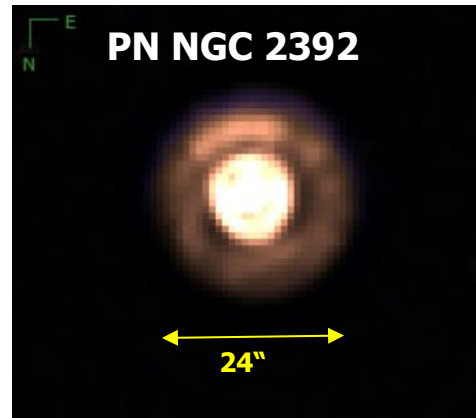
# Exp-Time: 20x30s pro Filter → Total Exp-Time: 2400s

# Images = **80** NGC2392\_001\_L.fit ... NGC2392\_080\_B.fit

# TimeStart = 2022-02-28 19:23:55.6 (UTC)

# TimeEnd = 2022-02-28 20:15:22.1 (UTC)

# astrometrically Plate solved



## Spektroskopie:

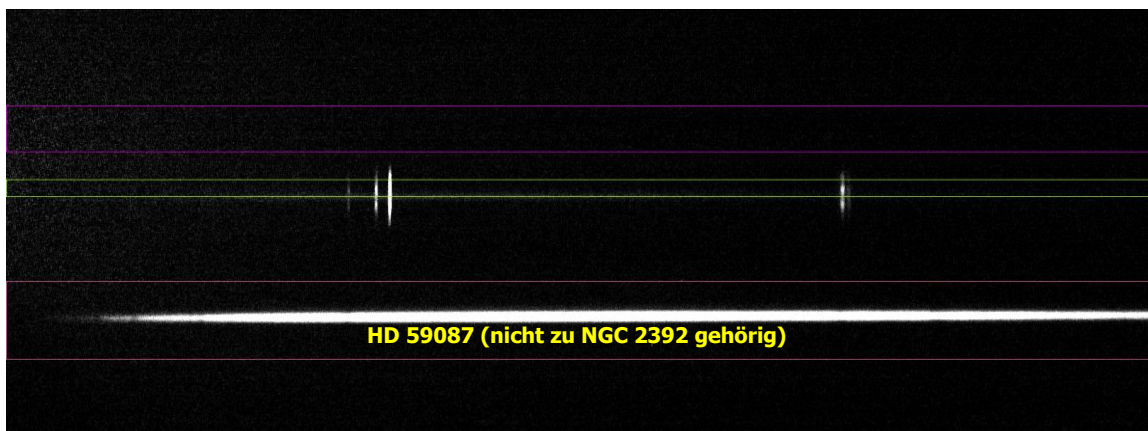
# DADOS 200 l/mm; HyperCam 183m ProTec CMOS-Kamera

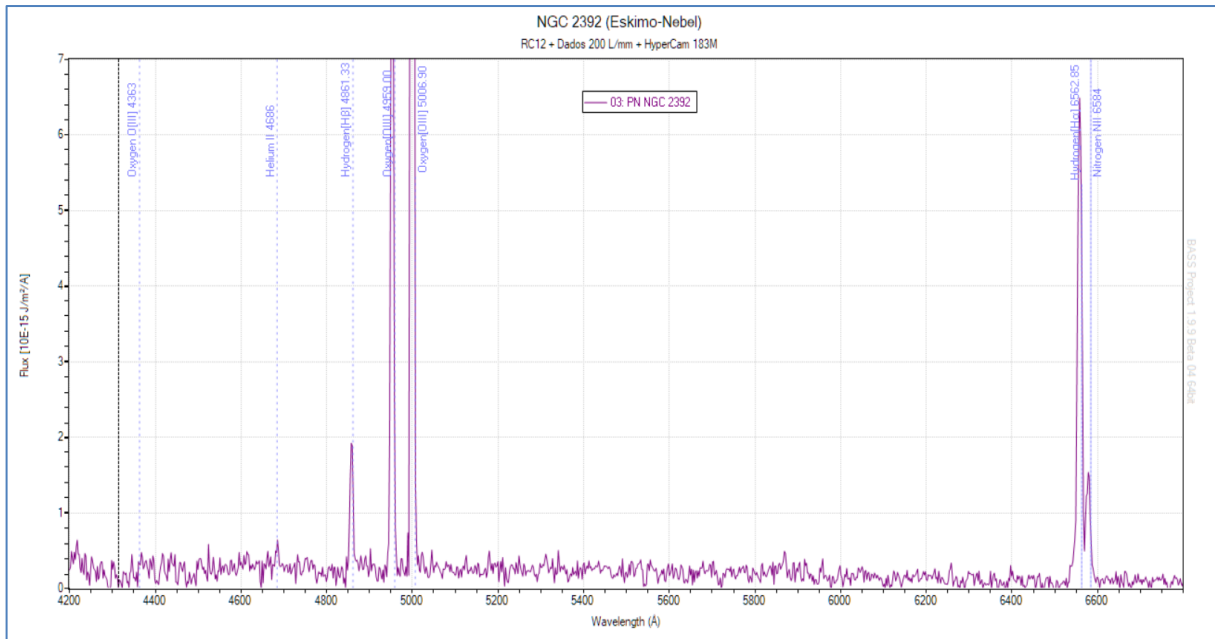
# Exp-Time 3x600s; 3x3 Binning; Chip-Temp: -20° C

# TimeStart = 2022-03-11 18:47:16.3 (UTC)

# TimeEnd = 2022-03-11 19:29:05.5 (UTC)

# Dispersion: 2,2375 Å/px ( $\lambda_{\min}$ : 3750 Å;  $\lambda_{\max}$ : 7800 Å; Range: 4050 Å; R=550)





03 PN NGC 2392 28.02.2022	H $\alpha$	O[III] 5007	O[III] 4959	H $\beta$	He 4686	O [III] 4363
Selected Start Å	6545,2	4990,1	4937,9	4848,4	4678,20	4360,6
Selected End Å	6571,3	5020	4964	4867,1	4690,10	4372,4
Max Flux	6,4937	32,357	8,711	1,984	0,647	0,485
Max Flux normiert	327,2704	1630,7328	438,9930	100,0000	32,6076	24,4431
Profile Area	8,1308	30,562	8,517	2,011	5,818	4,319
Line Area	-6,2486	-29,212	-7,804	-1,430	-2,342	-0,685
Continuum Area	1,8822	1,350	7,136	5,814	3,476	3,634
Equiv Width Å	-8,6667	-64,580	-28,546	-4,585	-8,041	-2,216
FWHM Å	1,1467	9,303	8,945	8,140	7,609	3,58
R-Wert	572	556	554	531	616,00	519,000
Barycentre Å	6557,9	4999,8	4952,8	4858,1	4684,30	4368,000

### A: Die Ausdehnung von NGC 2392:

Mit Kenntnis der Entfernung von  $D$  [pc] =  $1/p'' \approx 1835$  pc ergibt sich die radiale Ausdehnung zu:

$$R \approx 12'' \cdot 1835 \text{ [AE/1'']}/206265 \text{ [AE/pc]} \approx 0,107 \text{ pc}$$

$$R \approx 0,107 \text{ pc} \cdot 3,26 \text{ [LJ/pc]} \approx 0,35 \text{ LJ} \rightarrow \varnothing \approx 0,7 \text{ LJ}$$

NGC 2392 besitzt demnach einen Durchmesser von ca. 0,7 LJ.

**Durchmesser [ $\varnothing$ (NGC 2392)  $\approx$  0,7 LJ]**

## **B: Das Alter von NGC 2392:**

Bei einer (konstant angenommenen) mittleren Expansionsgeschwindigkeit von ca.  $v \approx 20$  km/s ergibt sich das Alter des PN zu

$$t = R/v \approx 0,35 \cdot 3 \cdot 10^5 \text{ km/s} \cdot 1 \text{ Jahr} / 20 \text{ km/s} \approx 5250 \text{ Jahre}$$

Auf der anderen Seite wird von Odell & Ball (1985) [3] für den Nebel eine Doppelstruktur als Modell für NGC 2392 angegeben. Die innere Schale wird fast „pole-on“ gesehen und hat mit  $v_{\text{exp}} \approx 93$  km/s die höchste Expansionsgeschwindigkeit von allen untersuchten PNs. Der äußere Ring dagegen ist rundes Sphäroid mit ca. 16 km/s Expansionsgeschwindigkeit. Das Alter der inneren Schale wird auf ca. 800 Jahre geschätzt. Die hohe Expansionsgeschwindigkeit der inneren Schale ist wahrscheinlich auf einen starken stellaren Wind vom Zentralstern zurückzuführen. Akzeptiert ist allgemein, dass sich NGC 2392 aus 2 Schalen zusammensetzt, die unterschiedlich alt sind und mit erheblich unterschiedlichen Geschwindigkeiten expandieren. Werte für die innere Schale variieren von ca. 54 km/s – 93 km/s, für die äußere Schale werden Werte zwischen 16 km/s und 35 km/s angegeben. [4]; [5]

**[ $t_{\text{PN}} \approx 1130 - 5250$  Jahre]**

## **C: Balmer-Dekrement:**

Als Balmer-Dekrement bezeichnet man die Abnahme der Intensität der H-Balmer-Emissions-Linien zu kleineren Wellenlängen und ist definiert als das Intensitätsverhältnis  $D = I(\text{H}\alpha)/I(\text{H}\beta)$ . [1]; [2]

Aus der Quantenmechanik ergibt sich ein theoretischer Wert des Balmer-Dekrements von  $D_{\text{theo}} \approx 2,86$  für typische Planetarische Nebel, obwohl große Abweichungen vorkommen können.

Dem Spektrum von NGC 2392 entnimmt man ein Balmer-Dekrement von

$$D_{\text{obs}} = I(\text{H}\alpha)/I(\text{H}\beta) \approx 327,27/100 \approx 3,27$$

**Balmer-Dekrement [ $D_{\text{obs}}(\text{NGC 2392}) \approx 3,27$ ]**

## D: Interstellare Extinktion:

Mit Hilfe des Balmer-Dekrements lässt sich die interstellare Absorption in Richtung des Nebels abschätzen. Der Extinktionskoeffizient  $c$  ist abhängig von der Wellenlänge und ist definiert durch die Intensität der  $H_\beta$ -Linie:

$$c(H_\beta) = 2,857 \cdot \log(D_{\text{obs}}) - 1,3041 \approx 0,166$$

Die beobachteten Intensitäten müssen wegen der Abhängigkeit von der Wellenlänge noch mit einer Funktion  $f(\lambda)$  korrigiert werden.

$$I(\lambda)_{\text{corr}} = I_{0,\text{obs}} \cdot 10^{c(H_\beta) \cdot f(\lambda)}$$

$f(\lambda)$  kann für unsere Zwecke genähert werden durch:

$$f(\lambda) \approx -2,1 \cdot 10^{-4} \cdot \lambda(\text{\AA}) + 1,0208.$$

Damit werden die Intensitäten relativ zur  $H_\beta$ -Linie „entrötet“, in der Literatur als „Dereddening“ bezeichnet.

Für die  $H_\alpha$ -Linie ergibt sich ein Korrekturfaktor von  $f(H_\alpha) = -0,357$ .

$$I(\lambda)_{\text{corr}} = I_{0,\text{obs}} \cdot 10^{c(H_\beta) \cdot (-0,357)} \approx 327,27 * 0,872 \approx 285,5$$

Der damit berechnete Wert für das Balmer-Dekrement von 2,855 steht in sehr guter Übereinstimmung mit dem theoretischen Wert von 2,86.

Der Farbexzess kann mit Hilfe des Weber-Fechner-Gesetzes abgeschätzt werden:

$$E(H_\beta - H_\alpha) = 2,5 \cdot \log(D_{\text{obs}}) - 1,141$$

Einsetzen unseres beobachteten Balmer-Dekrements  $D \approx 3,27$  führt zu:

$$E(H_\beta - H_\alpha) = 2,5 \cdot \log(3,27) - 1,141 = 0,145^{\text{[mag]}}$$

Die interstellare Absorption ist dann in Richtung von NGC 2392:

$A \approx 3,1 \cdot E(H_\beta - H_\alpha) \approx 0,45^{\text{[mag]}}$  und ist konsistent mit dem Wert von Heap, die als Farbexzess  $0,168^{\text{[mag]}}$ , resp. als Extinktion  $0,52^{\text{[mag]}}$  angibt **[5]**.

**Extinktion [A  $\approx$  0,45<sup>mag</sup>]**

## E: Die Anregungsklasse E von Planetarischen Nebeln:

Die Anregungsklassen E1 – E12+ basieren auf der Tatsache, dass mit zunehmender Temperatur die Intensität der verbotenen Sauerstofflinien O[III] bei  $\lambda=4959 \text{ \AA}$  und  $\lambda=5007 \text{ \AA}$  im Vergleich zu den Balmer-Linien immer stärker werden. Für die frühen Klasse E1 – E4 bestimmt man deshalb das Intensitätsverhältnis der beiden O[III] Linien (hier mit  $N_1$  und  $N_2$  abgekürzt) zur Intensität der  $H\beta$ -Linie (s. Tabelle). **[1], [2]**

Low		Middle		High	
E-Class	$I_{N_1+N_2} / I_{H\beta}$	E-Class	$\log(I_{N_1+N_2} / I_{4686})$	E-Class	$\log(I_{N_1+N_2} / I_{4686})$
E1	0 - 5	E4	2.6	E9	1.7
E2	5 - 10	E5	2.5	E10	1.5
E3	10 - 15	E6	2.3	E11	1.2
E4	>15	E7	2.1	E12	0.9
		E8	1.9	E12 <sup>+</sup>	0.6

Die Auswertung der Intensitäten unseres Spektrums ergibt folgende Werte:  $I(N_1) \approx 32,36$ ;  $I(N_2) \approx 8,71$ ;  $I(H\beta) \approx 1,98$

Damit erhält man  $\frac{[I(N_1) + I(N_2)]}{I(H\beta)} \approx 20,7$ , was auf eine Anregungsklasse von mindestens E4, eher E5 hinweist.

Bei höheren Temperaturen bleibt die Intensität der  $H\beta$ -Linie konstant, aber die He II-Linie bei  $4686 \text{ \AA}$  wird zunehmend stärker. Deshalb ersetzt man für höhere Temperaturen die  $H\beta$ -Linie durch die He II-Linie bei  $4686 \text{ \AA}$  und logarithmiert den Quotienten:  $\log\left(\frac{[I(N_1) + I(N_2)]}{I(\text{He II})}\right)$  (s. Tabelle)

Die He II-Linie wurde durch das Verstärkerflühen der Kamera stark beeinträchtigt. Auch durch sorgfältige Dark-Frame Korrektur blieb ein Restrauschen im Spektrum übrig. Entsprechend schwierig ist die Analyse der nur schwach ausgeprägten He II-Linie. Die Ergebnisse müssen hier

also mit Vorsicht betrachtet werden. Das Spektrum liefert für die Intensität der He II-Linie einen Wert von 0,65 →

$$\log \left( \frac{[I(N1) + I(N2)]}{I(\text{He II})} \right) \approx \log \left( \frac{41,07}{0,65} \right) \approx 1,8$$

Das würde auf eine Anregungsklasse von E8 – E9 hinweisen, was sowohl mit der linearen Ausdehnung des Nebels als auch mit der Arbeit von Heap (1977) **[5]** zusammenpasst. Die Intensität He II -Linie ist dafür aber eigentlich zu schwach. Erschwerend kommt hinzu, dass der Zentralstern von NGC 2392 (HD 59088) dem Spektraltyp O6 f zugeordnet wird, d.h. auch das Sternspektrum sollte die He II-Linie bei 4686 Å in Emission zeigen. Eine Bestimmung der Anregungsklasse setzt deutlich bessere Spektren voraus. Mit dem vorhandenen Spektrum ist die Bestimmung der Anregungsklasse deshalb mit großen Unsicherheiten behaftet.

### **Anregungsklasse [E5 – E8?]**

#### **F: Elektronen-Temperatur und – Elektronendichte des Nebels**

Die Abschätzung der Elektronen-Temperatur basiert auf der Auswertung der O [III] – Linien bei 5007 Å, 4959 Å und 4363 Å. Während die O [III] – Linien bei 5007 Å und 4959 Å im Spektrum dominieren, ist die Analyse der 4363 Å – Linie ähnlich problematisch wie bei der Auswertung der Anregungsklasse. In unserem Spektrum kann  $I(4363) \approx 0,43 \pm 0,05$  ermittelt werden. Die Elektronen-Temperatur  $T_e$  hängt dabei vom Verhältnis der Intensitäten  $R = \frac{[I(5007) + I(4959)]}{I(4363)}$  ab. Einsetzen der gemessenen Werte liefert  $R \approx 97 \pm 10$ . Eine Approximationsformel für dünne Gasnebel unter der Annahme einer moderaten Elektronendichte von  $N_e \approx 10^3 / \text{cm}^3$  ist:

$$T_e \approx \frac{33000 \text{ K}}{\ln(R/8,74)} = \frac{33000 \text{ K}}{\ln(11,1 \pm 1,15)} \approx 13.700 \pm 700 \text{ K} \quad \mathbf{[1]}$$

Ausgehend davon kann die Elektronendichte  $N_e$  abgeschätzt werden:

$$N_e \approx \sqrt{T_e} \cdot \frac{2,76 \cdot 10^5 \cdot e^{-\frac{3,05 \cdot 10^4 \cdot R}{T_e}}}{\frac{13,3 \cdot R}{e^{33000/T_e}} - 1} \quad [1]$$

Einsetzen der Werte ergibt für die Elektronendichte  $N_e \approx 10^4/\text{cm}^3$ .

**Elektronen-Temperatur [ $T_e \approx 13.700 \text{ K}$ ]**

**Elektronen-Dichte [ $N_e \approx 10^4 / \text{cm}^3$ ]**

**G: Zusammenfassung:**

Die Spektroskopie von Planetarischen Nebeln ist mit den uns zur Verfügung stehenden Mitteln durchaus machbar. In Zukunft sollte versucht werden, mit einer Kamera, die möglichst nur sehr geringes oder, besser noch, gar kein Verstärkergeräusch zeigt, helle Planetarische Nebel mit längerer und höherer spektraler Auflösung zu beobachten. Die von uns aufgenommenen Spektren sind gerade im interessanten Bereich unterhalb der  $H\beta$ -Linie leider sehr verrauscht. Die Gesamtbelichtungszeit von 30 Minuten muss als untere Grenze betrachtet werden. Angestrebt werden sollten mindestens ca. 60 – 90 Minuten. Das setzt natürlich ein stabiles System aus Teleskop, Montierung und CCD/CMOS-Kamera voraus. Die von uns erzielten Ergebnisse sind im Wesentlichen mit denen in der Literatur konsistent.

## H: Quellen

- [1] Richard Walker  
Analysis and Interpretation of Astronomical Spectra  
Version 5.1, May 2012
  
- [2] G.A. Gurzadyan, The Physics and Dynamics of Planetary Nebulae,  
Springer Verlag, 1997  
ISBN-13: 9783540609650
  
- [3] Odell, C. R. ; Ball, M. E.  
A model of the planetary nebula NGC 2392 determined from velocity  
observations.  
Astrophysical Journal, Vol. 289, p. 526-534 (1985)
  
- [4] Reay, N. K. ; Atherton, P. D. ; Taylor, K.  
Kinematic structure of planetary nebulae- II. The Eskimo, NGC 2392  
Mon. Not. R. astr. Soc. (1983) 203, 1087-1098
  
- [5] Sara R. Heap  
SPECTROSCOPIC STUDIES OF VERY OLD HOT STARS.  
II. SPECTRAL CLASSIFICATION, ABSOLUTE MAGNITUDES, AND  
DISTANCES OF O-TYPE PLANETARY NUCLEI  
The Astrophysical Journal, Vol. 215, p. 609-619, 1977 July 15
  
- [6] Garrelt Mellema  
Dynamics of [WR] Planetary Nebulae  
PLANETARY NEBULAE: THEIR EVOLUTION AND ROLE IN THE  
UNIVERSE  
IAU Symposium, Vol. 209, 2003  
S. Kwok, M. Dopita, and R. Sutherland, eds.