

M1-Aufnahme vom 29. Januar 2009 (Crabnebel im Stier)

(Gottfried Reimann / Albert Kummutat, Johannes-Kepler-Sternwarte Weil der Stadt)

Informationen zum Objekt und zum Bild

Teleskop C14, Kamera SBIG 11000M mit AOL

Der Nebel wurde am 29.1.2009 in der Zeit von 21:50 bis 0:10 mit 8 Photos erfaßt:

Rot 600 s, Grün 420+450s, Blau 420s, Tracking mit AOL 8s

Clear 3x600s / Tracking mit AOL 3 bzw. 4s

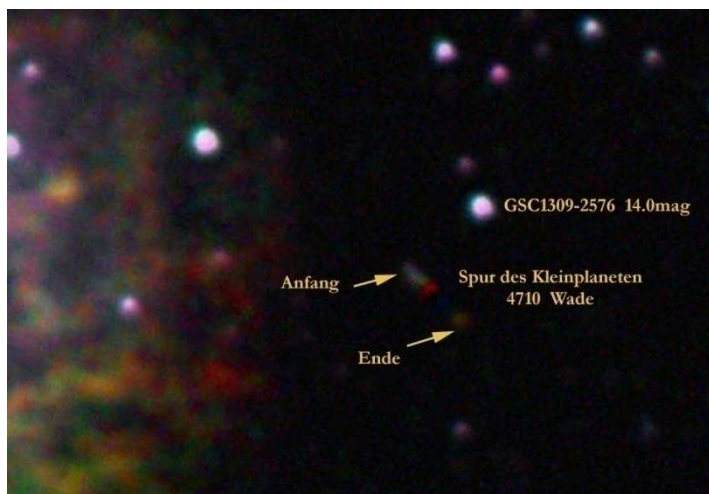
H α 600s, OIII 600s, Tracking mit ext. Guidehead 2s

Gesamtbelichtung 4890 s bzw. 1h 22min

Bedingungen: Transparenz mäßig, Seeing gut, Temperatur -5 °C, Kamera -30°C

Ein Kleinplanet im Bild

Zwischen den einzelnen Aufnahmen wird das Teleskop durch die Montierung weiterhin nachgeführt, das präzise Tracking mittels Guidestar entfällt jedoch. Die Bilder weichen deshalb bezüglich ihres abgebildeten Ausschnitts leicht voneinander ab und müssen später relativ zueinander exakt positioniert werden. Mittels ‚Blinken‘ von zwei Bildern wird dabei das Ergebnis genau überprüft.



Auf diesen M1-Aufnahmen fiel dabei ein Stern auf, der sich von Bild zu Bild geringfügig voran bewegte. Die Größenordnung des Wertes legte nahe, hier an einen Asteroiden oder Kleinplaneten zu denken, weshalb Rolf Apitzsch von der Sternwarte Wildberg gebeten wurde, uns bei der Bestimmung zu unterstützen. Er identifizierte das Objekt als den erst 1989 entdeckten Minor Planet 4710 Wade.

Das Objekt hat einen Durchmesser von 6-8 km und eine Umlaufzeit von 3.36 Jahren. Im LRGB-Bild macht sich das Objekt durch eine Aneinanderreihung farbiger Punkte bemerkbar (es war ja nach jedem Filterwechsel schon ein kleines Stück weitergewandert).

H α und OIII-Spektrallinien

Mittels Schmalbandfilter wurden die Linien des einfach ionisierten Wasserstoff sowie des zweifach ionisierten Sauerstoffs in der Nebelregion aufgenommen. Für deren Entstehung sind vor allem Schockfronten ursächlich. Die sich mit derzeit 1500 km/s ausbreitenden Gaswolken treffen hier auf interstellare Materie, werden dabei aufgeheizt und ionisiert.

Für das LRGB-Foto wurden die H α und OIII-Bilder beim Rot- bzw. Grünbild mit einbezogen, dadurch treten diese Linien besonders intensiv hervor. Sie markieren die Filamente des Nebels, die Überreste des Vorgängersterns dieser Supernova vom Typ II. (s. LRGB-Ausschnitt rechts)

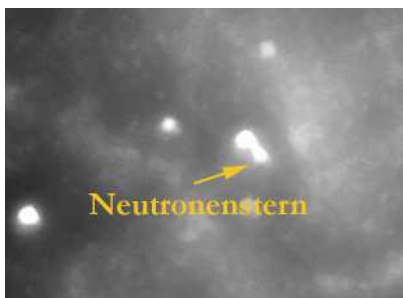


Neutronenstern im Nebelzentrum

Der Stern dürfte ursprünglich 10 ± 2 Sonnenmassen besessen haben, übrig blieb außer dem Nebel ein Neutronenstern im Nebelzentrum.



Er hat nur 10 bis 20 km Durchmesser, ist sehr dicht mit 10^{11} bis 10^{12} kg/cm³, seine absolute Helligkeit ist +4.5 M, seine scheinbare nur 16 mag, bei 6.3 Lichtjahren Entfernung. Auf unserem Foto ist dieser Neutronenstar deutlich sichtbar und klar von einem dicht stehenden helleren Nachbarstern getrennt (siehe nebenstehende Luminanzaufnahme sowie die Ausschnittvergrößerung darunter).



Die Aufnahme ist ein Komposit aus drei Belichtungen von je 10 Minuten mit Clear-Filterung.

Magnetfeld und Synchrotronstrahlung

Für die ins blauviolett gehende leichte Färbung des diffus-nebeligen Schleiers im mittleren Bereich des Nebels ist Synchrotronstrahlung die Ursache, die vom Neutronenstern ausgeht. Das Spektrum dieser Strahlung überdeckt einen Bereich von den Röntgen- bis zu den Radiowellenlängen, es liegt eine ausgeprägte Polarisation vor.



Ausschnitt aus dem LRGB-Bild: Das Zentrum von M1 mit dem Neutronenstern, der mit seinem Magnetfeld die Synchrotronstrahlung antreibt.

Ursache für diese Strahlung ist das extrem starke Magnetfeld, in dem freie Elektronen (aber auch Positronen) auf mehr als halbe bis fast volle Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und in eine Spiralbahn gezwungen werden. Dabei entsteht Bremsstrahlung, die in diesem speziellen Fall als Synchrotronstrahlung bezeichnet wird (wie sie schon aus den Speicherringen bekannt ist). Sie wird kegelförmig von den Magnetpolen ausgehend in Richtung der Polachse abgestrahlt. Beim Zentralstern von M1 steht die Polachse des Feldes nahezu senkrecht auf seiner Rotationsachse, die wiederum in einem Winkel zu unserer Blickrichtung liegt, der nicht allzu stark von 90° abweicht. Der Strahlungskegel trifft uns dabei regelmäßig bei einem Zeitintervall von 33 Millisekunden, was etwa 30 Rotationen pro Sekunde entspricht. Die Strahlung (Energieverlust des Systems) hat Auswirkung auf die Drehgeschwindigkeit: Die Rotationsdauer nimmt täglich um 36 Nanosekunden zu!

Die hohe Temperatur des kollabierten Sternkörpers (noch bis zu 1 Mrd. $^\circ\text{K}$, anfänglich sogar 100 Mrd. $^\circ\text{K}$) sorgt für freie Elektronen an der Oberfläche. Das eingefrorene ursprüngliche Magnetfeld (Produkt aus Sternquerschnitt und Magnetfeld bleibt erhalten) erreicht eine Stärke von 1 Billion Gauß (Erde: um 0.5 Gauß, Sonne: 1 Gauß).

Ergänzende Anmerkungen zu den Neutronensternen:

Elektronen und Neutronen sind Fermionen (beide haben Spin $\frac{1}{2}$) und unterliegen gleichermaßen dem Paulischen Ausschlussprinzip. Ebenso wie sich durch Gravitation im Innern eines weißen Zwerges durch Elektronen der ‚Entartungsdruck‘ aufbaut (Fermigas) und damit der Gravitation zunächst entgegenwirkt, begrenzen entartete Neutronen im Innern des Neutronensterns den Kollaps zu noch dichterem Materie oder weiter zu einem ‚Black Hole‘. Weiße Zwerge und Neutronensterne werden so stabilisiert.

Der Übergang vom ‚Weißen Zwerg‘ zum Neutronenstern ist durch die Chandrasekhar-Grenze gegeben (1.4 Sonnenmassen).

Extreme Neutronensterne und Quarksterne

Ob bei zunehmender Masse zwischen Neutronenstern und Schwarzem Loch noch ein weiterer Materiezustand existiert, bleibt vorerst noch unentschieden. Die Massengrenze für Neutronensterne liegt irgendwo zwischen 1.5 und 3 Sonnenmassen. Es könnte sich dann gegebenenfalls um ein Quark-Gluonen-Plasma handeln. Hier würden Quarks miteinander wechselwirken. Solch ein Stern wäre kleiner als ein Neutronenstern, hätte wohl einen Durchmesser unter 10km.

Rechnerisch ergibt sich für die Rotationsgeschwindigkeit von Neutronensternen eine Grenze von ca. 1000Hz, danach würde es den Neutronenstern zerreißen. Fände sich also ein Sub-Millisekunden Pulsar, so müsste dieser dichter gepackt sein als ein Neutronenstern, eben ein Quarkstern. Dieser könnte sich schneller drehen, ein 0.8 ms Pulsar wäre somit schon ein starkes Indiz für die Existenz eines Quarksterns. Allerdings verhindern möglicherweise die Abstrahlungsverluste (Synchrotronstrahlung) auch generell solch hohe Rotationsfrequenz.

Die bisher schnellsten entdeckten Pulsare liegen über 700 Hz (PSR J1748-2446ad 716 Hz).

Schnell sind Pulsare manchmal auch in ihrer Translation: B1 508 55 bewegt sich mit über 1000 km/s durch unsere Galaxis. Er hat schon einen großen Teil der Milchstraße durchquert und wird sie wohl irgendwann verlassen.

Die Recherche zu dieser Übersicht erstreckte sich über eine Vielzahl unterschiedlicher Quellen. Die Angaben wurden nach Möglichkeit quergeprüft.

Diese Beschreibung soll in erster Linie die Hintergrundinformation zu unserem Bild liefern und Anregung zu weiteren Studien geben.

Gottfried Reimann