

Liebe Leserin, lieber Leser,

haben Sie den Kometen gesehen? Ich leider nicht. Alles Warten auf Wetterbesserung war umsonst, „all for naught“, wie es der britisch-australische Astronom und Asteroidenjäger Robert McNaught ausgedrückt hätte. Sein Komet, C/2006 P1, kommt nie wieder. Dessen Bahnparabel entführt ihn in unermessliche Fernen.

Vermutlich geht er wirklich als der „Große Komet von 2007“ in die Geschichte ein. Aber man soll den Morgen nicht vor dem Abend loben.

Auf jeden Fall Geschichte geschrieben hat vor 20 Jahren ein Stern in der Großen Magellanschen Wolke, einem kleinen Begleitsternsystem der Milchstraße. Am 23. Februar 1987 verschwand der blaue Überriese Sanduleak -69° 202 mit einem gigantischen Neutrinoblitz von der Bildfläche. Sein Inneres kollabierte binnen Bruchteilen einer Sekunde zu einem Winzling von der Größe Berlins, einem Neutronenstern, Dass dabei die äußere Hülle abgestoßen wurde, was Stunden später zu einem gewaltigen Lichtausbruch führte, ist zwar zweitrangig – eine Äußerlichkeit eben –, katapultierte den Unglücksstern aber für Wochen und Monate in die Schlagzeilen: nach 383 Jahren wieder eine mit bloßem Auge sichtbare Supernova! Wie kam es dazu, und wo zum Teufel ist der Neutronenstern?

Lesen Sie weiter, und seien Sie nicht enttäuscht, wenn es nicht auf alle Fragen schon eine bleibende Antwort gibt. Das Schicksal von Sk -69° 202 wird die Astronomenzunft noch über Jahre hinweg beschäftigen.

Einen guten Start in den letzten Monat des alten Römischen Kalenders, den „Reinigungsmonat“ vor dem Frühlingserwachen (februa: Sühnefest), wünscht Ihnen

Ihr Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im Februar

Planet des Monats ist der Saturn. Er steht am 10. Februar, 20 Uhr MEZ, der Sonne genau gegenüber am Himmel und ist die ganze Nacht über sichtbar.

Er verbringt das Jahr 2007 im „Löwen“.

Zwischen dem 7. und 10. Februar zeigt sich Merkur am Abendhimmel. Er erreicht seinen Maximalabstand von 18° zur Sonne und geht 1 1/2 Stunden nach ihr unter. Da die Ekliptik um diese Jahreszeit steil am Horizont aufragt, ist die Gelegenheit günstig. Imposanter ist Venus. Sie posiert die ganze erste Jahreshälfte als Abendstern, nicht nur vier, fünf Abende.

Der große Jupiter treibt sich im „Schlangenträger“ herum und ist etwas für Frühaufsteher.

Und die Tage werden wieder länger! Man merkt es im Februar auch des Morgens.

Wenn ein Stern zusammenbricht

Um es vorwegzunehmen: Eine Supernova (SN) ist nichts besonderes – kosmisch gesehen. Gott-sei-dank. Ohne sie gäbe es uns nicht. Supernovae „verschmutzen“ die Umwelt im großen Stil und bereichern den Kosmos mit schweren chemischen Elementen. Das Eisen in unseren roten Blutkörperchen stammt von dort, um nur ein Beispiel zu geben.

Im Laufe der Zeit dürften allein in unserem Sternsystem Hunderte von Millionen massereicher Sterne explodiert sein. Ihre massiven Überreste ziehen nun als erkaltete Neutronensterne durch die Weiten der Galaxis oder treiben ihr Unwesen gar im Raum zwischen den Sternsystemen. Leider sind wir zu kurzlebig, als dass wir dieses galaktische Feuerwerk als Insider miterleben könnten. Viele Explosionen ereignen sich überdies in der galaktischen Scheibe, nahe ihrer Mittelebene. Der kosmische Staub dort enthält uns viele Supernovae vor. Wir bekommen von ihnen nichts mit. So geschehen gegen Ende des 17. Jahrhunderts im Sternbild Cassiopeia. Radio- und Röntgenastronomen zeigen uns die Überreste (Cas A). Aus deren Expansionsgeschwindigkeit kann man sich sogar das Explosionsdatum berechnen. Gesehen hatte man nichts (wenn man von einem rätselhaften Eintrag in John Flamsteeds Sternkatalog von 1680 absieht, der bald getilgt wurde).

Was lässt einen Stern explodieren?

Unsere Sonne wird am Ende ihrer Tage noch zu einem Roten Riesen. Sie bläht sich bis auf Erdbahngröße auf. Ihre Ausstrahlung wird dann „kurzzeitig“ gedeckt durch die thermonukleare Verschmelzung von Heliumatomkernen zu Kohlenstoff- (C) und Sauerstoffatomkernen (O). Irgendwann versiegt auch

diese Energiequelle und der Sonnenkern kühlt aus. Übrig bleibt ein Weißer (CO-)Zwerg. Das war's dann. Die Sonne wird nicht als SN enden.

Selbst ohne wärmebedingten Druck, also sogar am absoluten Nullpunkt bei -273°C , kann die Natur Kugeln bis zu 1,4 Sonnenmassen allein durch den quantenmechanischen Entartungsdruck am gravitativen Kollaps hindern. Was aber, so fragt man sich, überschreitet ein ausgebrannter Sternkern diese Massengrenze? Dann bleibt nur noch der Kollaps zu einem tausendmal kleineren Neutronenstern. Aber auch (kalte) Neutronensterne können nicht beliebig schwer sein. Ihre Maximalmasse liegt bei zwei bis drei Sonnenmassen. Schwerere Gebilde sind durch keine Kraft der Welt am ultimativen Kollaps zu einem schwarzen Loch zu hindern.

Für eine (Typ-II-)Supernovaexplosion kommt also nur ein massereicher Stern in Frage, einer, der wenigstens acht Sonnenmassen auf die Waage bringt (wegen der enormen Windverluste im Riesen- und Überriesenstadium). Solche Sterne aber sind jung, sprich sie haben nur wenige Promille des Sonnenalters auf dem Buckel. Man findet sie noch nahe dem Ort, wo sie geboren sind, in Sternentstehungsgebieten, wie eben dem Tarantelnebel (30 Doradus) in der Großen Magellanschen Wolke, der LMC. (An den Ort des Orionnebels versetzt, nähme die „Tarantel“ das gesamte Sternbild Orion ein! Zwar ist der Orionnebel das bekannteste Sternentstehungsgebiet, aber keineswegs das größte.)

Der Vorrat an thermonuklearer Energie ist begrenzt. Durch Kernverschmelzungen (Kernfusionen) können massereiche Sterne am Ende ihrer Tage einen Eisenkern erzeugen – durch Silizium„brennen“. Eisen ist das Element im Periodensystem mit der höchsten Bindungsenergie. Ein Eisenatomkern ist das kompakteste Gebilde, das man sich vorstellen kann, in der nuklearen Welt. Aus ihm kann man keine Energie mehr gewinnen, weder durch Fusion noch durch Fission (Spaltung). Die Idee mit der Eisenproduktion war keine gute: Der Stern hat sich in eine energetische Sackgasse manövriert. An deren Ende steht der Kernkollaps.

Das Zusammenkrachen eines Sternkerns – er schnurrt im freien Fall zu einem Neutronenstern zusammen – setzt etwa 10^{46} Joule frei. Ein Vergleich: Diese Energie zu erzeugen, müsste nahezu eine Sonnenmasse gemäß Einsteins Formel $E = m \cdot c^2$ in Energie zerstrahlt werden! Zum Kollaps kommt's nur, kann die gravitativ freigesetzte Energie sofort 'raus. Mit elektromagnetischer Strahlung, d.h. Licht etc., geht das nicht. Sterne sind undurchsichtig. Das einzige, was nahezu ungehindert einen Sternkern verlassen kann,

sind Neutrinos. Sie entstehen in riesigen Mengen bei der Neutronisierung der Materie, d. h. beim radioaktiven Zerfall der rund 10^{58} Protonen. (Die Elektronen werden bildlich in die Atomkerne „gequetscht“ und „neutralisieren“ die Protonen.) Es ist die Auskühlung durch Neutrinos, die einen Eisenkern implodieren macht! 99% der potentiellen Energiedifferenz zwischen dem etwa mondgroßen „Eisenstern“ und dem neugeborenen Neutronenstern verpuffen in einem Neutrino blitz von wenigen Sekunden Dauer! Die Theorie stimmt. Sie fand an jenem 23. Februar 1987 eine unerwartete Bestätigung. Stunden bevor der Unglücksstern schlagartig heller wurde, registrierten um 8 Uhr 36 MEZ drei unterirdische Neutrino teleskope auf der Erde über einen Zeitraum von einer Viertel Minute insgesamt zwei Dutzend überzählige Neutrinos. Sie kündeten vom Kernkollaps jenes 168 000 Lj entfernten blauen Überriesen! Es ist gar nicht so einfach, Neutrinos einzufangen. Sie, die es geschafft haben, einen ganzen Stern von vielen Sonnenmassen zu durchdringen, warum sollten sie in einer von Menschen gemachten Apparatur von einigen Tausend Tonnen Gewicht hängenbleiben? Nun die Menge machts. Für zwei Dutzend Neutrinos waren unsere Neutrino teleskope jedenfalls die Endstation einer 168 000 Jahre währenden Reise von Galaxie zu Galaxie.

Und wo bleibt die Explosion? Ja, die ist ein Problem. Genaugenommen ist sie ein Nebeneffekt. Auslöser ist ihr Gegenteil: die Implosion des ausgebrannten Sternkerns. Energetisch gibt es gar kein Problem, im Gegenteil. Das Problem ist, einen *ineffizienten* Mechanismus zu finden, der *nur* 1% Prozent der gravitativ freigesetzten Bindungsenergie anzapft und damit die äußere Hülle des Sterns absprengt. Der einfachste Mechanismus, den man sich vorstellen kann – der gerade geborene Neutronenstern wurde durch die Wucht des Zusammenbruchs über seine Gleichgewichtsstatur hinaus komprimiert und schnell nun wie eine Feder zurück, wobei Impuls in die Sternenhülle übertragen wird –, er funktioniert leider nicht. Die sich ausbildende Stoßwelle versandet.

Egal, der restliche Stern explodiert (vermutlich verspätet wegen eingefangener hochenergetischer Neutrinos, die nach draußen drücken und die Sternmaterie so zum „Überkochen“ bringen). Die sich rasch vergrößernde Oberfläche erzeugt den Lichtausbruch. Die strahlende Fläche der Explosionswolke nimmt dramatisch zu. Hinzu kommt das monatelange Nachheizen der Trümmer durch den radioaktiven Zerfall von gerade erst erbrüteten chemischen Elementen, wie z. B. Kobald-60.

Das Jahrhundertereignis in der Großen Magellanschen Wolke gibt Rätsel auf.

Vor zwanzig Jahren war man davon ausgegangen, dass nur *rote* Überriesen als Kernkollaps-SN explodieren. Sanduleak -69° 202 war, wie gesagt, blau. Da gab es also etwas neues zu lernen. Und der Neutronenstern? Trotz angestrebter Suche auf allen Kanälen, vom γ - bis zum Radiofrequenzbereich, einfach unauffindbar! Sollte er, kaum abgekühlt, weiter kollabiert sein, ins Bodenlose, sprich zu einem mathematischen Punkt, einem „schwarzen Loch“?

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass auch ein alter Weißer Zwerg zur Explosion gebracht werden kann. Man muss ihm bloß so viel an Masse überhelfen, dass er das kritische Gesamtgewicht von 1,4 Sonnenmassen überschreitet. Als Einzelstern geht das nicht, als Mitglied eines engen Doppelsternsystems aber schon. Der weiße Zwerg kann einem aufgeblähten Begleiter Masse entziehen. Bei der dadurch ausgelösten thermonuklearen Detonation bleibt außer der Explosionswolke nichts übrig. Man spricht von einer SN vom Typ I. Die SN 1987A in der LMC war vom Typ II. Die Astronomen haben einen Faible für Typ-I-SN. Eine gleicht der anderen, da allen ein kritisch gewordener weißer Zwerg von exakt 1,4 Sonnenmassen vorausgeht. Ihre Maximalhelligkeit beim Ausbruch ist immer die gleiche (jedenfalls fast), was sie zu idealen Standardkerzen macht, um das Universum auszuleuchten und auszumessen. Dank der Typ-I-SN glauben wir zu wissen, dass sich die kosmologische Expansion seit wenigen Milliarden Jahren beschleunigt, was als ein Hinweis auf eine ominöse „dunkle“ Energie gewertet wird.

Wann flammt endlich eine SN in unserer Galaxis auf? Ein Frühwarnsystem aus Neutrinooteleskopen und Gravitationswellendetektoren wird uns rechtzeitig Bescheid geben, bevor uns das „Nebensächliche“, die Explosion, in ihren Bann ziehen kann.

<http://www.kosmos-bote.de>