durch Bildung anomaler Mischkristalle der Silberhalogenide mit Blei- und Cadmiumhalogeniden Leerstellen im Kationengitter in bekannter Zahl herzustellen und damit die Größen $E_0$ und $U$ in (2) getrennt zu ermitteln. Es lag nahe, diese Ergebnisse durch Messungen der Druckabhängigkeit der Leitfähigkeiten in anomalen Mischkristallen zu prüfen. Wenn die Zahl der Leerstellen durch die Konzentration des Zusatzes fest vorgegeben ist, kann die Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit nur noch durch $U$ gegeben sein, wie aus den Messungen von Koch und Wagner zu ersehen ist. Dann muß auch der Druckeffekt durch die Änderung von $U$ allein gegeben sein und entsprechend geringer ausfallen als im reinen Silberhalogenid.

Messungen dieses Effektes, die bereits vor 10 Jahren begonnen worden waren, konnten nun zum Abschluß gebracht werden. Dabei ergab sich beim Silberchlorid, wie zu erwarten, eine kleinere Druckabhängigkeit im Falle anomaler Mischkristalle mit Bleichlorid als mit reinem Silberchlorid.

Im einzelnen wurde gefunden:

AgCl: $t = 256$—$313\,^\circ$ C $\quad -\frac{1}{\sigma}\frac{\partial\sigma}{\partial p} = 3{,}0\cdot 10^{-4}$.

AgCl + 0,42 Mol-% $PbCl_2$: $t = 293\,^\circ$ C $\quad -\frac{1}{\sigma}\frac{\partial\sigma}{\partial p} = 1{,}3\cdot 10^{-4}$.

Jost und Nehlep[12] hatten im Mittel gefunden:

AgCl bei $300\,^\circ$ C $\quad -\frac{1}{\sigma}\frac{\partial\sigma}{\partial p} = 2{,}5\cdot 10^{-4}$.

Der Druckeffekt der anomalen Mischkristalle beträgt also im Mittel nur etwa 40% desjenigen des reinen Salzes.

Stellt man $E$ bzw. $U$ (vgl. die theoretischen Rechnungen von Jost[3], Schottky[4], Mott-Littleton[5]) mittels einer zweikonstantigen Formel dar:

$$U = \frac{A}{r} + \frac{B}{r^n}, \tag{5a}$$

$$U = \frac{A}{r} + B \exp(\varrho/r), \tag{5b}$$

wobei $n$ bzw. $\varrho$ aus anderweitigen Beziehungen entnommen sind, so erlaubt die Kombination der Koch-Wagnerschen Resultate mit der Bestimmung von $-\frac{1}{\sigma}\frac{\partial\sigma}{\partial p}$, welche auf eine Bestimmung von $\partial E/\partial r$ bzw. $\partial U/\partial r$ herauskommt, die Ermittlung der Konstanten $A$ und $B$ und damit eine weitere Kontrolle theoretischer Ansätze. Über weitere Resultate wird bei späterer Gelegenheit berichtet werden.

## Beobachtungen an den Raman-Linien binärer und ternärer Gemische von Aceton, Methylalkohol und Schwefelkohlenstoff

Von Maria Joerges und Alexander Nikuradse

Institut für Elektronen- und Ionenforschung der Techn. Hochschule München

(Z. Naturforschg. **4 a**, 228 [1949]; eingeg. am 21. April 1949)

1. Die Untersuchung der Raman-Frequenzen binärer Gemische aus Methylalkohol und Aceton sowie ternärer Gemische von Methylalkohol, Aceton und Schwefelkohlenstoff zeigt an den Frequenzen der betreffenden Substanzen Verschiebungen, die eine H-Brückenbildung Aceton-Methylalkohol wahrscheinlich machen.

2. Die Untersuchung der Intensitätsverhältnisse einiger Raman-Linien der genannten Gemische lassen den Schluß zu,

a) daß das Assoziat ungefähr im Verhältnis 1 : 4 Moleküle Aceton : Methanol gebildet wird und

b) daß das bei eben diesem Konzentrationsverhältnis ein Minimum erreichende Streuvermögen von Aceton gegenüber Methanol wohl deswegen so verringert wird, weil durch die Umlagerung des Aceton-Moleküls durch mehrere Methanol-Moleküle die für die Intensität maßgebende Größe $\left(\frac{\partial\alpha}{\partial q}\right)_0$ stärker beeinflußt wird — und zwar verringert — als die durch die Anlagerung einzeln nicht so stark beeinflußten Methanolmoleküle.

# BERICHTE

## Die Supernovae des Milchstraßensystems

In der modernen astrophysikalischen Forschung der letzten zehn Jahre gibt es kaum ein Problem, das weit über die Grenzen der Astronomie hinaus eine so weitgehende Beachtung gefunden hat wie das Wesen der Supernovae[1]. Es handelt sich dabei um eine besondere Klasse der Neuen Sterne, deren Erscheinung sich anfangs ausschließlich auf ferne Sternsysteme zu beschränken schien, die aber neuerdings auch in der Milchstraßenwelt nachgewiesen werden konnte.

### 1. Novae und Supernovae

Die gewöhnlichen Novae bilden in der Milchstraße und in benachbarten Welteninseln keine sonderliche Seltenheit. Allein im Andromedanebel leuchten in jedem Jahre etwa 20 Novae auf, während im Milchstraßensystem die Zahl der jährlichen Erscheinungen mit rund 25 anzunehmen ist, wovon aber nur ein geringer Prozentsatz durch die Beobachtung erfaßt wird. Insgesamt sind in den letzten 400 Jahren in der Milchstraße annähernd 100 Novae[2] aufgezeichnet worden, denen in außergalaktischen Nebeln aus den letzter

[1] Vgl. K. Lundmark, Supernovae. Vjschr. Astronom. Ges. **47**, 243 [1939].

[2] Vgl. S. Tuchenhagen, Die Neuen Sterne Diss. Berlin 1938.

60 Jahren zusammen 170 Novae gegenüberstehen, von denen auf den Andromedanebel allein 130 entfallen.

Als die gemeinsame charakteristische Eigenschaft der galaktischen und außergalaktischen gewöhnlichen Novae ist ihre nur geringen Streuungen unterworfene absolute Maximalhelligkeit hervorzuheben, die im Mittel $-7^M$ beträgt, so daß eine Nova in der Maßstabsentfernung von 10 Parsec (= 32,4 Lichtjahre) 20000-mal heller strahlen würde als die ebenfalls in diese Entfernungseinheit versetzte Sonne.

Anders verhalten sich die Supernovae, auf die man zuerst aufmerksam wurde, als 1885 im Andromedanebel eine Nova aufflammte, deren scheinbare Helligkeit mit $7{,}2^m$ ermittelt wurde, so daß sie sich von der Gesamthelligkeit des Nebels ($= 4{,}5^m$) nur um 2,7 Größenklassen unterschied. Der eigentliche Charakter dieses Gestirns trat aber erst hervor, als die Entfernung des Andromedanebels sicherer bekannt und demgemäß die absolute Leuchtkraft der Nova mit $-15^M$ ermittelt wurde, so daß sie die Leuchtkraft der Sonne 100-Millionen-mal übertroffen haben muß. Das heißt: die Nova strahlte in 25 Tagen soviel Energie aus, wie die Sonne in 1 Million Jahre verausgabt! Noch deutlicher wird das Wesen jener Riesennova dadurch unterstrichen, daß sie die absolute Gesamthelligkeit des Andromedanebels ($= -17{,}7^M$) fast erreichte.

In den letzten 30 Jahren sind auch in anderen Weltsystemen derartige Novae aufgeleuchtet, die ihrer gewaltigen Leuchtkraft gemäß die Bezeichnung Supernovae erhalten haben. Bisher sind etwa 40 Supernovae bekannt, die sich auf 36 Sternsysteme verteilen, unter denen sich aber 3 Nebel befinden, die innerhalb weniger Jahre zwei- bzw. dreimal zum Schauplatz eines solchen Ereignisses wurden.

Als Beispiel ist in Abb. 1 der Spiralnebel NGC 4273 wiedergegeben, dessen linkes Bild ihn ohne Supernova zeigt, während auf der rechten Seite im oberen Teil des Nebels deutlich ein Stern erkennbar ist, der die im Jahre 1936 aufstrahlende Supernova darstellt. Die scheinbare Helligkeit dieser Supernova betrug $14{,}4^m$, die absolute Leuchtkraft $= -12{,}3^M$.

Die mittlere absolute Helligkeit aller Supernovae zur Zeit ihres Maximums liegt bei $-14{,}3^M$. In bezug auf die Leuchtkräfte werden neuerdings zwei Typen unterschieden. Und zwar stellt Typ I die normalen Supernovae dar, während mit dem Typ II diejenigen Supernovae klassifiziert werden, deren Helligkeiten den Leuchtkräften der gewöhnlichen Novae näherstehen. Bezeichnend ist jedoch die Tatsache, daß die Supernovae die Gesamthelligkeit ihrer Nebelsysteme vielfach erreichen und vereinzelt sogar überschreiten, so daß sie in ihrer unmittelbaren Umgebung imposante Erscheinungen sein müssen. Einige Beispiele dieser Art sind nach W. Baade[3] in Tab. 1 zusammengestellt.

| System | Jahr | Scheinbare Helligkeit | | Absolute Helligkeit | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Nebel m | Supernova m | Nebel M | Supernova M |
| NGC 224 | 1885 | 4,5 | 7,2 | — 17,7 | — 15,0 |
| NGC 1003 | 1937 | 13,1 | 12,8 | — 13,7 | — 14,0 |
| IC 4182 | 1937 | 13,5 | 8,2 | — 11,3 | — 16,6 |
| NGC 4273 | 1936 | 12,4 | 14,4 | — 14,3 | — 12,3 |
| NGC 4303 | 1926 | 10,4 | 12,8 | — 16,3 | — 13,9 |
| NGC 4321 | 1914 | 10,5 | 11,9 | — 16,2 | — 14,8 |
| NGC 4424 | 1895 | 12,5 | 11,1 | — 14,2 | — 15,6 |
| NGC 4486 | 1919 | 10,1 | 12,0 | — 16,6 | — 14,7 |
| NGC 4527 | 1915 | 11,3 | 13,0 | — 15,4 | — 13,7 |

Tab. 1. Helligkeiten der Supernovae und Nebelsysteme.

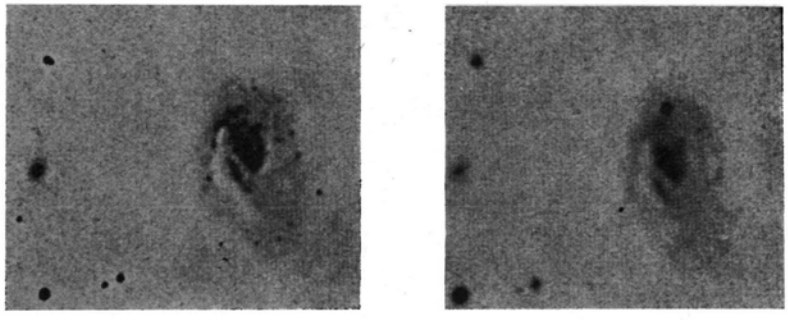

Abb. 1. Supernova in NGC 4273; linkes Bild vor dem Aufleuchten der Supernova, rechtes Bild im oberen Teil des Nebels als dunkler Punkt die Supernova von 1936.

Im Dienste um die Erforschung der Supernovae hat sich besonders das Schmidt-Teleskop bewährt, das sich durch große Lichtstärke und ein Blickfeld von 9,5° auszeichnet. Mit einem solchen 18″-Instrument sind in den Jahren 1936—1940 auf dem Mount Palomar in Californien bei der planmäßigen Überwachung von 3000 außergalaktischen Nebelsystemen allein 18 Supernovae aufgefunden worden, wozu etwa 2000 Aufnahmen mit je 30 Min. Belichtungszeit erforderlich waren. Hierbei wurden alle Sterne bis $17^m$ erfaßt. Unter den im Zuge dieses Überwachungsunternehmens aufgefundenen Supernovae befand sich auch die bisher hellste ihrer Art, die 1937 im Nebel IC 4182 erstrahlte und eine absolute Helligkeit von $-16{,}6^M$ erlangte, so daß sie 330-Millionen-mal heller gewesen sein muß als unsere Sonne. Die scheinbare Helligkeit dieser 3 Millionen Lichtjahre entfernten Supernova wies sich im Maximum mit $8{,}2^m$ aus; sie war also um $5{,}3^m$ heller als der Nebel selbst, dessen scheinbare Helligkeit $13{,}5^m$ ausmacht. Zufällig wurde der Nebel IC 4182 kurz vor dem Aufleuchten der Supernova am 100″-Reflektor der Mount-Wilson-Sternwarte aufgenommen, wo sich an Stelle der Supernova kein Stern fand, der heller als $21^m$ gewesen wäre. Binnen kürzester

[3] W. Baade, The absolute photographic magnitude of supernovae. Astrophysic. J. 88, 285 [1938] = Contrib. Mt. Wilson Obs. Nr. 600.

Zeit muß daher die Nova einen Helligkeitsausbruch über 12,8 Größenklassen dargeboten haben, der sie zu einer gewaltigen Fackel des Weltalls aufsteigen ließ, die sich anschließend rasch zurückbildete, so daß zwei Jahre später ihre Helligkeit wieder 13 Größenklassen unterhalb des Maximums ($= 8{,}2^m$) lag. Der Helligkeitsverlauf ist in der beistehenden Lichtkurve (Abb. 2) nach W. Baade und F. Zwicky[4] dargestellt. Das Kurvenbild ist in dieser Form für alle Supernovae weitgehend als verbindlich anzusehen.

Es bedarf keiner besonderen Betonung, daß derartig gewaltige Leuchtvorgänge physikalische Prozesse voraussetzen, die über die normalen Ereignisse im Sternendasein weit hinausgreifen. Schon eine gewöhnliche Nova, die sich innerhalb weniger Tage aus einem lichtschwachen Stern durch eine Helligkeitssteigerung um 10—12 Größenklassen entwickelt, erfährt dadurch eine Zunahme ihrer Leuchtkraft um das 50000-fache ihrer Ausgangshelligkeit. Die Ursachen sind entweder in einer raschen Steigerung der Temperatur des betreffenden Sterns oder aber in einer Vergrößerung seiner Oberfläche zu suchen, die sich mit dem plötzlichen Anwachsen des Sternradius um das 100-fache plötzlich 10000-mal vergrößert. An diesem Vorgang nimmt sicherlich nicht die gesamte Sternmaterie teil, sondern als wahrscheinlich gilt, daß nur die äußere Hülle mit ungeheurer Wucht fortgeschleudert wird, wobei sich in der abgeworfenen Nebelmaterie des Sterns Radialgeschwindigkeiten zwischen 100 und 4000 km/sec entwickeln.

Demgegenüber nehmen die Vorgänge in der Supernova katastrophenhafte Ausmaße an. Die Supernova IC 4182 strahlte in 100 Tagen $4 \cdot 10^{48}$ Erg als sichtbares Licht aus, was einer Verbrennungsenergie von 10 Quintillionen Tonnen Kohle entspricht! Nimmt man für die Supernova eine zehnfache Sonnenmasse ($= 2 \cdot 10^{34}$ Gramm) an, so wird pro Gramm Masse mindestens eine Energie von $2 \cdot 10^{14}$ Erg frei, die als sichtbares Licht zur Ausstrahlung kommt. Die gesamte dabei erzeugte Energie ist wesentlich größer. Aber selbst dieses Minimum erweist sich bereits 100-mal so hoch als die in einem Gramm Materie entwickelte stärkste chemische Reaktion, die als Wärmetönung allenfalls $10^{12}$ Erg pro Gramm betragen kann. Aus diesem Anlaß hat F. Zwicky[5] die Supernovae kürzlich als die „Atombomben des Weltalls" bezeichnet. Damit ist klar ausgesprochen, daß die Supernovae gewaltige Explosionen der Sternmaterie darstellen, deren Ursachen noch ganz und gar hypothetisch erscheinen.

Gegenwärtig stehen zwei Hypothesen miteinander im Wettstreit: Einmal ist es die Annahme, daß alle nicht in Strahlung umgewandelte Sternmaterie einem makroskopischen Zustand entgegenstrebt, der sich darin ausprägt, daß Protonen und Elektronen gewissermaßen „zusammengeschmolzen" sind. In einer so dicht gefügten Materie werden ständig Kernreaktionen eintreten, wobei es sich ereignen kann, daß (ebenso wie bei der Uranspaltung) „mehr Neutronen erzeugt werden, als es dem Gleichgewicht des Sterns entspricht. Die überschüssigen Neutronen ‚regnen' gegen das Zentrum des Sterns, da sie dem nach außen wirkenden Lichtdruck in viel geringerem Maße ausgesetzt sind als elektrisch geladene Elementarteilchen. Der Kern fällt deshalb in sich zusammen. Die dabei frei werdende Gravitationsenergie stößt, nachdem sie in Strahlung und schnell fliegende Teilchen umgesetzt ist, die äußere Hülle explosionsartig vom Kern ab"[5]. Diese Explosionen, bei denen die Expansion der Materie Geschwindigkeiten von 5000 bis 6000 km/sec erreicht, wird dann im Supernova-Phänomen sichtbar, so daß nach dieser Hypothese der Anlaß zu einem solchen Vorgang im Übergang eines aus normalen Atomen aufgebauten Sterns zu einem Neutronenstern zu suchen wäre.

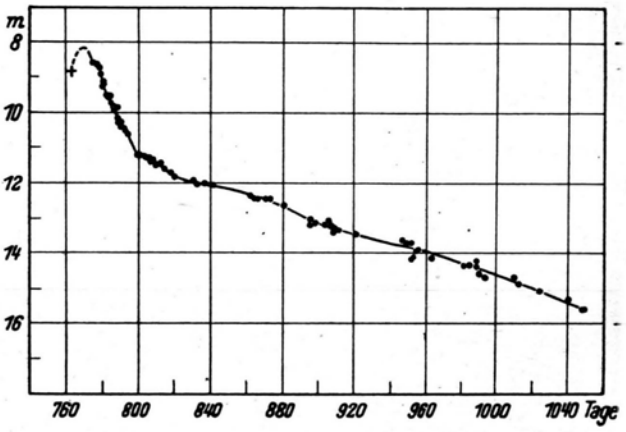


Abb. 2. Lichtkurve der Supernova im Nebel IC 4182 von 1937.

Im Gegensatz dazu nimmt P. Jordan[6] an, daß die Supernovae im Sinne des Wortes wirkliche „Neue Sterne" sind, für die es einen vorzeitlichen Zustand nicht gibt. Er sieht darin vielmehr Zeugnisse einer noch ständig fortschreitenden kosmischen Materialisation, die vielleicht der Neuschöpfung von Materie aus dem „Nichts" gleichkommt. Dabei bilden sich zunächst Neutronenpakete bzw. Neutronensterne, deren Dichtigkeit $10^{14}$ g/cm³ beträgt, so daß ein Fingerhut voll 100 Millionen Tonnen wiegt! Die darin herrschende Temperatur nimmt Jordan mit 1 Billion Grad an, bei der sich die Neutronenmaterie extrem explosiv erweist, so daß die erste Reaktion nur in einer gigantischen Explosion bestehen kann, durch die der neugebildete Stern erst sein eigentliches Sternendasein erlangt. Die Materie dehnt sich mit ungeheurer

[4] W. Baade u. F. Zwicky, Photographic lightcurves of the two supernovae in IC 4182 and NGC 1003. Astrophysic. J. **89**, 411 [1939] = Contrib. Mt. Wilson Obs. Nr. 601.

[5] F. Zwicky, Supernova — Die Atombombe des Weltalls. Universitas **1947**, 567.

[6] P. Jordan, Die Herkunft der Sterne. Stuttgart 1947. Ferner: W. Grotrian, Neuere Vorstellungen über die Entstehung des Weltalls. Berlin-Frohnau 1947.

Schnelligkeit stark aus, was von einer gewaltigen Lichtentfaltung begleitet wird, die sich dann im Aufflammen der Supernova widerspiegelt. Nach dieser Auffassung steht die Supernova also am Anfang des Sternenlaufs. Erst weitere Beobachtungsgrundlagen und neue Fortschritte der physikalischen Erkenntnis werden über beide hier angeführten Hypothesen ein abschließendes Werturteil sprechen können.

Als ein grundsätzlicher Unterschied zwischen einer gewöhnlichen Nova und einer Supernova ist hervorzuheben, daß bei der ersteren in der Regel eine Prä- und Ex-Nova, also ein Vor- und Endzustand, nachweisbar ist. Von beiden Produkten weisen die Supernovae keine Spuren aus. Kosmogonisch bemerkenswert ist jedoch die Tatsache, daß die Exnova der gewöhnlichen Neuen Sterne in der Regel zur Klasse der Weißen Zwerge gehört.

Sehr deutlich treten die Gegensätze zwischen beiden Nova-Klassen im Häufigkeitsverhältnis in Erscheinung. Aus den am Mount-Palomar-Observatorium gesammelten Erfahrungen hat F. Zwicky den Schluß gezogen, daß auf 10000 Novae nur eine Supernova entfällt und daß folglich jedes Sternsystem nur alle 600 Jahre einen Supernova-Ausbruch erlebt. Jordan nimmt ein solches Ereignis jeweils in einem Zeitintervall von 200—300 Jahren an und hält es im Rahmen seiner Überlegungen für möglich, daß im Weltall in jeder Sekunde 400 Supernovae aufleuchten und von der Entstehung neuer Sterne Kunde geben. Den für jedes Sternsystem nach Jahrhunderten bemessenen Intervallen ist allerdings entgegenzuhalten, daß einige Nebelsysteme kurz hintereinander Supernovae zeigten. So sind im Nebel NGC 3184 im Jahre 1921 sogleich zwei Supernovae und 1937 eine weitere Erscheinung bemerkt worden. Ebenso wurden in NGC 4321 in den Jahren 1901 und 1914 sowie in NGC 6946 in den Jahren 1917, 1939 und 1948 Supernovae beobachtet. Die Häufigkeit scheint daher größer zu sein, als im Hinblick auf die vorliegenden Erfahrungen durchschnittlich angenommen werden kann.

Nicht minder interessant ist die Frage, inwiefern die verschiedenen Nebeltypen durch die Supernovae bevorzugt werden. Hierüber hat W. Baade[3] nähere Untersuchungen angestellt und gefunden, daß namentlich die Spättypen, also die geöffneten Spiralsysteme mit ausgebildeten Spiralarmen, den Hauptanteil bilden, worüber die Tab. 2 näheren Aufschluß gibt.

| Nebeltyp | Prozentsatz |
|---|---|
| Sc und SBc | 72 |
| Sb und SBb | 16 |
| Übrige | 12 |

Tab. 2. Häufigkeit der Supernovae.

Da neueren Forschungen von W. Baade[7] gemäß unser Milchstraßensystem ebenfalls eine Sb-Spirale darstellt, erhält die Frage eine innere Berechtigung, ob in der Milchstraßenwelt verläßliche Anzeichen dafür erkennbar sind, daß auch hier die Voraussetzungen für das Aufflammen von Supernovae bestehen. Diese Frage kann man heute mit ziemlicher Gewißheit bejahen. Aus der Zeit der modernen astrophysikalischen Forschung haben sich zwar keine Beispiele gefunden, die eine Identifizierung mit einer Supernova ohne weiteres rechtfertigen würden. Dafür sind aus geschichtlichen Aufzeichnungen drei Fälle bekannt geworden, die für das Aufleuchten von Supernovae im laufenden Jahrtausend sprechen. Es handelt sich dabei um die Neuen Sterne aus den Jahren 1054, 1572 und 1604, die zu eingehenden Untersuchungen Veranlassung gegeben haben, deren Ergebnisse ihre Identität mit Supernovae deutlich herausstellen.

## 2. Die Nova aus dem Jahre 1054

Aus alten chinesischen Chroniken hat Ma-Tuan-lin Nachrichten über einen im Jahre 1054 erschienenen Stern überliefert, der ohne Zweifel eine Nova gewesen ist. In den erhaltenen Aufzeichnungen darüber heißt es (gemäß einer Übersetzung von Biot): „Im ersten Jahre der Periode Tschi-ho, im 5. Monat, am Tage Ki-tschou (4. Juli 1054) erschien ein fremder Stern südöstlich von Thien-kuan (= ζ Tauri); er mochte von diesem einige Tsun entfernt sein. Am Ende des Jahres (= Januar 1055) verschwand er"[8]. Zu diesen Angaben ist zu sagen, daß das Tsun eigentlich kein Winkelmaß, sondern eine Entfernungseinheit von etwa 4 cm darstellt, womit offenbar ein kleiner, durch Schätzungen ermittelter Bogen am Himmel bezeichnet werden sollte. Der wahrscheinliche Zusammenhang dieses Gestirns mit einer Supernova wird in hohem Maße durch die Tatsache unterstrichen, daß sich in unmittelbarer Nähe von ζ Tauri der seiner eigentümlichen Form wegen so genannte Krebsnebel M 1 (= NGC 1952) befindet, der zur Klasse der planetarischen Nebel gehört, deren Beziehungen zu den Supernovae ohnehin als unzweifelhaft gelten dürfen.

Die Orts- und Helligkeitsangaben beider Objekte sind der folgenden Tab. 3 zu entnehmen. Ein Vergleich der mitgeteilten Ortsangaben mit dem Wortlaut des Chronisten führt zu einem Widerspruch; denn M 1 steht nordwestlich von ζ Tauri, während er dem Bericht gemäß südöstlich davon wahrgenommen wurde. Die Erklärung des Gegensatzes folgt aber offenbar aus der Tatsache, daß den Angaben des Be-

| Objekt | Ort 1940 | | Helligkeit |
|---|---|---|---|
| | RA | Dekl. | m |
| ζ Tau | $5^h 32^m$ | + 21° | 3,0 |
| M 1 | $5^h 31^m$ | + 22° | 9,0 |

Tab. 3. ζ Tauri und M 1 (NGC 1952).

[7] W. Baade, A search for the nucleus of our galaxy. Publ. Astronom. Soc. Pacific **58**, 249 [1946].

[8] K. Ferrari, Der neue Stern vom Jahre 1054. Himmelswelt **1938**, 113.

richtes das System des Horizonts zugrunde liegt, wie dieses vielfach den Gepflogenheiten der altchinesischen Astronomie entsprach, obwohl ihr das äquatoriale System nicht ungeläufig war. Infolgedessen ging ζ Tauri am 4. Juli 1054 für einen Ort im südlichen China mit einer geographischen Breite von + 35° etwa $2^1/_2$ h vor der Sonne auf. Stellt man sich die Lage von ζ Tauri und M 1 zueinander über dem Aufgangshorizont vor, so erweist sich, daß M 1 dem Meridian und dem Ostpunkt tatsächlich näher stand als ζ Tauri, so daß die Angaben des historischen Berichtes wirklich ein gewisses Gewicht erlangen.

Die Wahrscheinlichkeit der Angabe, daß die frühen Morgenstunden für die Entdeckung der Nova in Betracht kommen, erhellt aus dem Umstande, daß in der Frühe des 4. Juli 1054 die schmale Sichel des abnehmenden Mondes ($3^d$ nach dem letzten Viertel) zwischen den Hyaden und Plejaden stand und sicherlich die Aufmerksamkeit der chinesischen Beobachter auf den Osthimmel lenkte. Da die astronomische Dämmerung Sterne mit geringeren Helligkeiten als $2^m$ bereits unsichtbar gemacht haben dürfte, lassen sich daraus für die Helligkeit des Neuen Sterns vielleicht einige Rückschlüsse ziehen, die angesichts der langen Sichtbarkeitsperiode von mehr als 6 Monaten auch absolut wesentlich größer gewesen sein muß als die einer normalen Nova.

Beide Nova-Klassen pflegen in den ersten 6 Monaten nach ihrer Erscheinung um $5^m$ bis $6^m$ abzunehmen. Und da der Stern tatsächlich ein halbes Jahr mit bloßem Auge sichtbar war, müßte er in seinem größten Licht mindestens $0^m$ bis $-1^m$ hell gewesen sein, um nach einem halben Jahre bis $5^m$ abgesunken zu sein. Diese Annahme findet eine weitgehende Bestätigung durch die im Jahre 1938 erfolgte Veröffentlichung eines aufgefundenen altjapanischen Berichtes durch Y. Iba über den Neuen Stern im Stier, worin dessen Helligkeit dem Licht des Jupiters gleichgesetzt wird. Wie noch zu zeigen sein wird, besitzt der Krebsnebel eine Entfernung von 1350 Parsec. Eine normale Nova mit der absoluten Helligkeit $-7^M$ würde in dieser Entfernung etwa $11^m$ schwächer erscheinen und wie ein Stern der Helligkeitsstufe $+4^m$ leuchten. Unter den bezeichneten Umständen wird ein solcher Stern in der Morgendämmerung dem bloßen Auge nur schwerlich sichtbar gewesen sein. Nimmt man dagegen als scheinbare Mindesthelligkeit $-1^m$ an, so würde sich eine absolute Leuchtkraft von $-1^m$ minus $11^m = -12^M$ ergeben, was dem Wesen einer Supernova zweifellos entspräche. Umgekehrt folgt aus der Annahme einer mittleren absoluten Helligkeit von $-14^M$, wie sie den außergalaktischen Supernovae eigentümlich ist, daß der Stern in diesem Falle eine scheinbare Helligkeit von $-3^m$ besessen hätte, so daß er sich von der Helligkeit der Venus nur unwesentlich unterschieden hätte. Dafür liegen aber keine ausreichenden Zeugnisse vor. Zwicky hat deshalb auf Grund des angeführten japanischen Berichtes in Anlehnung an die darin erwähnte Jupiterhelligkeit für die Nova von 1054 ein scheinbares Helligkeitsmaximum von $-2{,}2^m$ angenommen, wonach Lundmark, im Zusammenwirken mit der für den Krebsnebel hergeleiteten Entfernung, die absolute Helligkeit der Nova zu $-13{,}5^M$ bestimmte. Oort und Mayall fanden 1942 sogar eine absolute Leuchtkraft von $-16{,}5^M$, so daß kaum ein Zweifel möglich erscheint, der gegen die Identifizierung der Nova von 1054 mit einer Supernova des Typs I sprechen würde.

Heute findet sich von der Nova selbst am Ort ihres Aufleuchtens keinerlei Spur. Der einzige Anhaltspunkt ist der Krebsnebel, in dessen Innerem zwei Sterne existieren, deren Helligkeiten Baade im Mittel zu $15{,}9^m$ bestimmte. Es steht jedoch bisher nicht fest, ob einer dieser Sterne als Exnova in Betracht kommt. Da aber mit Gewißheit Sterne mit größeren Helligkeiten als $16^m$ in der Nähe des Nebels nicht vorkommen, folgt daraus für die Nova eine Amplitude von wenigstens ($-2{,}2^m$ plus $15{,}9^m =$) $18{,}1^m$. Unter Hinweis auf das Beispiel der Supernova IC 4182 mag damit dargetan sein, daß auch für die Nova von 1054 nur eine Supernova in Frage kommen kann, die dem Milchstraßensystem angehörte, zumal die Amplituden der gewöhnlichen Milchstraßen-Novae 14 Größenklassen erfahrungsgemäß nicht überschreiten.

### 3. Der Krebsnebel M 1

Der heute am Ort der Nova im Stier sichtbare Nebel wurde 1731 durch Bevis entdeckt. In Messiers Nebelverzeichnis erscheint er an erster Stelle und führt daher die Bezeichnung M 1. Messier hat ihn als Nebel ohne Sterne beschrieben, der in weißlichem Lichte der Gestalt einer Flamme gleiche. Auch W. Herschel hat ihn beobachtet und beschrieben. Er bezeichnete ihn als „einen der prachtvollsten Gegenstände des Himmels". Später sah Lord Rosse im Innern des Nebels Sterne und empfand von seiner äußeren Gestalt den Eindruck eines Krebses, so daß der Nebel seither unter der Bezeichnung Krebs- oder Crabnebel bekannt ist.

Die Helligkeit des Nebels wird verschieden angegeben. Visuell fand Holetschek sie mit $8{,}5^m$, Wirtz mit $8{,}1^m$ und Lundmark mit $8{,}5^m$, während sie photographisch von Hubble als $11{,}2^m$, von Lundmark als $9{,}4^m$ und von Baade mit $9{,}0^m$ vermerkt wird.

Einblicke in den faserigen Aufbau des Nebels hat erst die Photographie geschaffen. Vergleiche von längere Zeit auseinander liegenden Aufnahmen zeigten deutliche Veränderungen im Erscheinungsbilde des Nebels, die auf Bewegungen der Nebelmaterie schließen ließen. Im Jahre 1921 konnte Duncan auf Grund von Vermessungen zweier Aufnahmen mit dem 60″-Reflektor der Mount-Wilson-Sternwarte aus den Jahren 1909 und 1921 eine fortschreitende Ausdehnung der Nebelmaterie feststellen, was sich durch die beobachtete Verbreiterung und Aufspaltung der Spektrallinien noch bestätigte. 17 Jahre später (1938) hat Duncan dieselben Aufnahmen wiederholt und seine früheren Ergebnisse erneut bewiesen gefunden. Die radiale Expansion des Nebels ergab sich zu 1300 km/sec, die sphärische zu 0,235″ im Jahre. Aus der Verknüpfung der spektroskopisch ermittelten

Radialbewegung mit der aus den Beobachtungen abgeleiteten Winkelgeschwindigkeit konnte die Entfernung des Nebels zu 1350 Parsec (= 4200 Lichtjahre) und der Durchmesser zu 6 Lichtjahren ermittelt werden. Da der scheinbare Durchmesser des Nebels bekannt ist und für die große Achse eine Länge von 178″ ± 5″ bestimmt wurde, ließ sich aus den Messungen der Bewegungen von 20 Nebelknoten die Zeit berechnen, die seit dem vermutlichen Ausbruch der Nebelmaterie aus einer Nova vergangen ist. Sie fand sich mit 766 Jahren, die als Zeitpunkt des Nova-Ausbruches in das Jahr 1172 weisen würden. Die Zeit von 766 Jahren wäre also das „Alter" des Krebsnebels.

Bei Aufrechterhaltung der Beziehungen von M 1 zur Nova von 1054 bleibt folglich eine Unsicherheit von 118 Jahren, die sich bei Annahme einer gleichförmigen Expansionsgeschwindigkeit der Nebelhülle nicht erklären läßt, da in diesem Falle die jährliche Expansion des Nebels nur 0,201″ betragen dürfte. Es ist daran gedacht worden, daß in der Expansion des Nebels gegenüber der Anfangsgeschwindigkeit eine Beschleunigung von 0,034″ eingetreten sein könnte, und daß sich dadurch der seit dem Ausbruch errechnete Zeitraum als zu kurz erweist. Neuere Untersuchungen von W. Baade[9] lassen jedoch erkennen, daß für eine Beschleunigung an sich keine Anzeichen vorhanden sind. Auch die Expansion des Nebels in Winkelgrößen ist sicherlich nicht so groß wie Duncan angenommen hatte, da die radiale, aus dem Doppler-Effekt hergeleitete Geschwindigkeit der Nebelmaterie 1000 km/sec nicht überschreiten wird.

Als das wesentliche Ergebnis der neuen Baadeschen Arbeit ist jedoch die Tatsache zu bewerten, daß Aufnahmen des Krebsnebels am 100″-Reflektor auf panchromatischen Platten in wechselnden Spektralbereichen seinen Aufbau aus zwei Teilen erweisen. Die in den Spektralgebieten λλ 3600—5000, λλ 5200—6600, λλ 6300—6700 und λλ 7200—8400 gewonnenen Nebelbilder lassen eindrucksvoll hervortreten, wie eine im Innern des Nebels vorhandene strukturlose Masse von einem äußeren System fein gefaserter Filamente (Abb. 3) umgeben wird. Diese Struktur zeigt eine nahe Beziehung zum Spektrum des Nebels, das R. Minkowski[10] gleichzeitig eingehend untersuchte.

Spektralaufnahmen im Lichte der Hα-Linie zeigen, daß die äußeren filamentartigen Regionen des Nebels ein Emissionsspektrum hervorrufen, in dem (gemäß Tab. 4) Linien von Wasserstoff, Helium I und II, Stickstoff II, Sauerstoff I, II und III sowie Schwefel II hervortreten, während das strukturlose Innere des Nebels die Erzeugung des kontinuierlichen Spektrums bewirkt. Bei 4500 Å erweist sich die Farbtemperatur zu 8400° und bei 6000 Å zu 6700°, während sich bei den Sternen ein umgekehrtes Verhältnis ergeben würde und im Blauen eine niedrigere

| Wellenlänge Å | Identifizierung | Wellenlänge Å | Identifizierung |
|---|---|---|---|
| 3727 | [O II] | 4959 | [O III] |
| 3869 | [Ne III] | 5007 | [O III] |
| 3889 | He I | 5875 | He I |
| 3967 | [Ne III] | 6300 | [O I] |
| 4100 | H δ | 6548 | [N II] |
| 4340 | H γ | 6563 | H α |
| 4363 | [O III] | 6584 | [N II] |
| 4472 | He I | 6711 | [S II] |
| 4686 | He II | 6728 | [S II] |
| 4861 | H β | | |

Tab. 4. Emissionslinien im Krebsnebel.

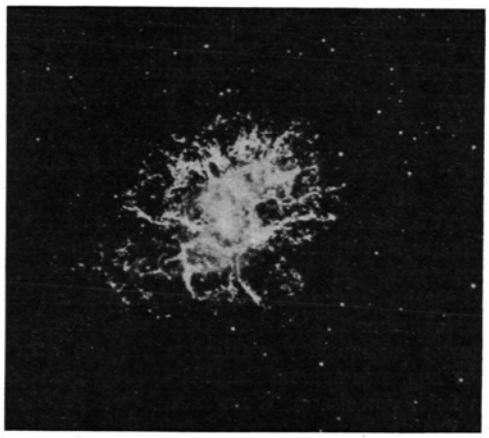

Abb. 3. Krebsnebel M 1 im Stier.

Farbtemperatur zu erwarten wäre als im roten Spektralgebiet.

Nach dem Ausdruck des Spektrums befinden sich die Gase in einem hochionisierten Zustand, der eine Elektronentemperatur von 50000° zur Folge hat. Die Intensität der Spektrallinien ist weitgehend von der Temperatur des lichtanregenden Sterns abhängig. Je höher seine Temperatur ist, um so stärker werden die Linien der hochgeladenen Ionen hervortreten, während bei niedriger Temperatur ein entsprechend umgekehrtes Verhalten eintritt. Von den Zentralsternen der planetarischen Nebel, zu denen der Krebsnebel seiner Natur gemäß gleichfalls gehört, sind allgemein hohe Temperaturen bekannt, die in keinem Falle die untere Größenordnung von 30000° unterschreiten. Indessen gleichen die spektralen Eigenschaften der Zentralsterne den heißen Sternen vom O- und Wolf-Rayet-Typ, freilich mit der Einschränkung, daß die absolute Leuchtkraft der letztgenannten Sterne etwa $-4{,}0^M$ beträgt, während die der Zentralsterne nur etwa $+5{,}0^M$ erreicht. Diese geringe absolute Leuchtkraft ist das wesentliche Merkmal der Weißen Zwerge. Einem solchen Weißen Zwerge verdankt auch der Krebsnebel sein Licht, obwohl die Identität dieses Sterns nicht mit Gewißheit feststeht. Wahrscheinlich kommt dafür einer der beiden Sterne im

[9] W. Baade, The Crab nebula. Astrophysic. J. **96**, 188 [1942] = Contrib. Mt. Wilson Obs. Nr. 665.

[10] R. Minkowski, The Crab nebula. Astrophysic. J. **96**, 199 [1942] = Contrib. Mt. Wilson Obs. Nr. 666.

Nebelzentrum, und zwar der südlich vorangehende, in Frage, der ein kontinuierliches Spektrum zeigt. Seine scheinbare Helligkeit ist $15{,}9^m$, und die absolute Leuchtkraft ist mit $+4{,}8^M$ gefunden worden. Der Farbenindex beträgt $0{,}15^m$. Die scheinbare Helligkeit des vermutlichen Zentralsterns ist also um $6{,}9^m$ (phot.) schwächer als die des Nebels. Dieses Verhältnis entspricht den Erfahrungen bei planetarischen Nebeln (vgl. Tab. 12). so daß dadurch die Identität des (planetarischen) Krebsnebels mit den Produkten einer Supernova deutlich herausgestellt wird, weil die planetarischen Nebel gleichfalls als solche Produkte angesehen werden.

Zur Klassifizierung des Zentralsterns im Krebsnebel sei noch angeführt, daß sein Durchmesser nur 0,020 Sonnendurchmesser (= 28000 km) umfaßt. Seine Oberflächentemperatur ist mit 500000° anzunehmen, so daß er in seiner totalen Helligkeit 30000 und in seiner Dichtigkeit 180000 Sonneneinheiten verkörpert. Die Gesamtmasse des Nebels hat Minkowski zu 15 Sonnenmassen abgeleitet.

### 4. Die Tychonische Nova B Cassiopeiae von 1572

Als zweites Beispiel einer galaktischen Supernova hat sich der Neue Stern von 1572 erwiesen, der durch die Beobachtungen Tycho Brahes Berühmtheit erlangte. Tycho Brahe erblickte den Stern am Abend des 11. November 1572, als er eben sein Laboratorium (Kloster Herritzwadt) verließ. „Da ich nun", so schreibt Tycho in seinem Bericht über den Stern, „im Freien nach gewohnter Weise den Blick auf das mir wohlvertraute Himmelsgewölbe richtete, sah ich mit nicht zu beschreibendem Erstaunen nahe dem Zenit in der Cassiopeia einen strahlenden Fixstern von nie gesehener Größe. In der Aufregung glaubte ich meinen Sinnen nicht trauen zu können. Um mich zu überzeugen, daß es keine Täuschung sei, und um das Zeugnis anderer einzusammeln, holte ich meine Arbeiter aus dem Laboratorium und befragte alle vorbeifahrenden Landleute, ob sie den plötzlich auflodernden Stern ebenso sähen als ich. Später habe ich erfahren, daß in Deutschland Fuhrleute und anderes gemeines Volk die Astronomen erst auf die große Erscheinung am Himmel aufmerksam machten ..."

„Den neuen Stern fand ich ohne Schweif, von keinem Nebel umgeben, allen anderen Fixsternen völlig gleich, nur noch stärker funkelnd als Sterne erster Größe. Sein Glanz übertraf den des Sirius, der Leier und des Jupiter. Man könnte ihn nur der Venus gleichsetzen, wenn sie der Erde am nächsten steht. Menschen, die mit scharfen Augen begabt sind, erkennen bei heiterer Luft den neuen Stern bei Tage selbst in der Mittagsstunde. Zur Nachtzeit, bei bedecktem Himmel, wenn alle anderen Sterne verschleiert waren, wurde er mehrmals durch Wolken von mäßiger Dicke gesehen. Abstände von anderen nahen Sternen der Cassiopeia, die ich im ganzen Jahre mit vieler Sorgfalt maß, überzeugten mich von seiner völligen Unbeweglichkeit. Bereits im Dezember 1572 fing die Lichtstärke an abzunehmen; der Stern wurde dem Jupiter gleich, im Januar 1573 war er minder hell als Jupiter. Fortgesetzte photometrische Schätzungen gaben: für Februar und März Gleichheit mit Sternen erster Ordnung, für April und Mai Lichtglanz von Sternen zweiter, für Juli und August dritter, für Oktober und November vierter Größe... Der Übergang zur fünften und sechsten Größe fand im Dezember 1573 bis Februar 1574 statt. Im folgenden Monat verschwand der neue Stern, nachdem er 17 Monate lang geleuchtet hatte."[11]

| Planet | Julian. Datum | Visuelle Helligkeit m |
|---|---|---|
| Venus | 1572 Nov. 10 | — 4,35 |
| | 20 | — 4,29 |
| | 30 | — 4,19 |
| | Dez. 10 | — 4,09 |
| Jupiter | 1572 Nov. 15 | — 2,61 |
| | Dez. 15 | — 2,40 |
| | 1573 Jan. 15 | — 2,18 |

Tab. 5. Helligkeiten von Venus und Jupiter 1572—1573.

| Stern | Helligkeiten nach Ptolemäus m | Helligkeiten nach Harvard m | Stern | Helligkeiten nach Ptolemäus m | Helligkeiten nach Harvard m |
|---|---|---|---|---|---|
| α Lyrae | 1 | 0,14 | ζ Cas | 4—3 | 3,72 |
| α Aurigae | 1 | 0,21 | η Cas | 4 | 3,64 |
| α Tauri | 1 | 1,06 | ε Cas | 4 | 3,44 |
| β Orionis | 1 | 0,34 | ι Cas | 4 | 4,59 |
| α Can.min. | 1 | 0,48 | ϑ Cas | 4 | 4,52 |
| α Can.maj. | 1 | — 1,58 | κ Cas | 4—5 | 4,24 |
| α Virginis | 1 | 1,21 | | | |

Tab. 6. Sternhelligkeiten nach Ptolemäus und Harvard.

Tychos Beobachtungen finden sich vollzählig in seiner 1573 zu Kopenhagen erschienenen Schrift „De Nova Stella".

Vor Tycho war der Neue Stern bereits in Japan, Wittenberg, Augsburg, Messina, Berlin und Rostock beobachtet worden, so daß die ersten Novembertage 1572 als Zeitpunkt des Aufleuchtens zu gelten haben werden. Tycho hat, wie er selbst schreibt, sehr sorgfältige Helligkeitsbeobachtungen und Ortsbestimmungen durch Sextantenmessungen ausgeführt, indem er die Nova mit den Sternen ζ, α, η, γ, δ, ε, ι, κ und β Cassiopeiae verband. Danach ergibt sich der Nova-Ort (nach modernen Angaben von Böhme und Baade) zu RA = $0^h 22^m 0{,}2^s$; Deklination = $+63° 52' 12''$ (1950).

Die Bestimmung des genauen Helligkeitsverlaufs und die Ableitung der Lichtkurve aus den Beobachtungen erfordert die Reduzierung der Tychonischen Helligkeitsangaben in Ptolemäischen Größenklassen auf ein modernes Helligkeitssystem. Das gilt sowohl für die Planeten- als Sternhelligkeiten. In Tychos Bericht ist das Maximum der Nova Stella festgelegt durch die Beziehung zu den Helligkeiten von Venus

[11] Zit. nach A. v. Humboldt, Kosmos, Bd. III, S. 144, Verlag Cotta, Stuttgart 1870.

| Zeitangabe nach Tycho | Angenommenes mittl. julianisches Datum | Beschreibung | Visuelle Helligkeit (Harvard) m |
|---|---|---|---|
| 1572 Nov. | 1572 Nov. 15 | Fast so hell wie ♀ | — 4,0 |
| Dez. | Dez. 15 | Etwa so hell wie ♃ | — 2,4 |
| 1573 Jan. | 1573 Jan. 15 | Wenig schwächer als ♃, doch wesentlich heller als ein Stern $1^m$ | — 1,4 |
| Febr./März | März 2 | So hell wie ein Stern $1^m$ | + 0,3 |
| April/Mai | Mai 1 | „ „ „ „ „ $2^m$ | + 1,6 |
| Juli/Aug. | Aug. 1 | „ „ „ $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ Cas | + 2,5 |
| Okt./Nov. | Nov. 1 | „ „ „ ein Stern $4^m$ | + 4,0 |
| Nov. | Nov. 15 | „ „ „ $\varkappa$ Cas | + 4,2 |
| 1573 Dez./1574 Jan. | 1574 Jan. 1 | „ „ „ ein Stern $5^m$ | + 4,7 |
| 1574 Febr. | Febr. 15 | „ „ „ „ „ $6^m$ | + 5,3 |
| März | März 15 | Unsichtbar | |

Tab. 7. Helligkeiten der Nova B Cassiopeiae 1572.

und Jupiter, die für 1572 nach W. Baade[12] in Tab. 5 zusammengestellt sind. Danach läßt sich das Helligkeitsmaximum mit $-4{,}0^m$ ($\pm 0{,}3^m$) angeben, die im Dezember 1572 entsprechend dem Vergleich mit Jupiter auf $-2{,}4^m$ abgenommen hatte.

Weniger einfach sind die Beziehungen zu den Fixsternhelligkeiten. Da heißt es z. B. im Beobachtungsbericht vom Januar 1573: „Helligkeit wie Sterne der 1. Größenklasse". Tycho waren bei den Vergleichssternen die Helligkeitsangaben nach Ptolemäus bekannt. Übertragen auf das Harvard-System, treten dabei naturgemäß erhebliche Unterschiede hervor, wie Tab. 6 für Sterne der 1. und 4. Größe lehrt. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei den übrigen Helligkeitsklassen, aus deren Zurückführung auf das Harvard-System sich für das gesamte Erscheinungsbild der Nova der Helligkeitsverlauf im Sinne der Tab. 7 ableiten läßt. Danach hat Baade die Lichtkurve entworfen, die in Abb. 4 der Helligkeitskurve der Supernova in IC 4182 gegenübergestellt ist und sich damit in völliger Übereinstimmung befindet. Der Gleichlauf der Lichtkurven bestätigt die Vermutung, daß B Cassiopeiae eine Supernova gewesen ist, wie denn auch ihre große scheinbare Helligkeit schon diesem Bilde entspricht.

Am Ort der Nova sind wiederholt ergebnislose Nachforschungen nach der Exnova angestellt worden. Bereits im Jahre 1921 haben Humason und Lundmark am Mount-Wilson-Observatorium in der Umgebung von B Cas die Spektren aller Sterne bis $14^m$ aufgenommen, ohne irgendein Merkmal zu finden, das eine Identifizierung mit einem Supernova-Spektrum ermöglicht hätte. Schon damals war klar, daß die Exnova jetzt schwächer sein müßte als $14^m$, und daß demzufolge der gesamte Helligkeitsabfall $18^m$ bis $19^m$ betrage, wie dies nur für eine Supernova typisch sein konnte. In den letzten Jahren hat W. Baade den Ort von B Cas mit dem 100″-Spiegel auf Mount Wilson abermals durchforscht, aber keinen Stern heller als $19^m$ gefunden, der als Exnova in Frage käme. Auch von einer Nebelhülle zeigte sich keine Spur, so daß hier nur der 200″-Spiegel, der eben in Betrieb genommen wurde, noch eine Hoffnung läßt, obwohl dann nach Maßgabe der Sachlage erwartet werden muß, daß ein Weißer Zwerg an Stelle der Nova allenfalls eine absolute Helligkeit von $+9{,}0^M$ besitzen könnte, die nicht ausreicht, um eine Nebelhülle mit den gegenwärtigen optischen Hilfsmitteln sichtbar zu machen, zumal diese, wenn wir den Helligkeitsunterschied zwischen dem Krebsnebel und seinem vermutlichen anregenden Stern als Maßstab nehmen, vielleicht nur $25^m$ hell sein könnte.

Die absolute Leuchtkraft von B Cassiopeiae läßt sich in Ermangelung der Parallaxe mit Sicherheit nicht angeben. Sie wird mit $-12{,}5^M$ angenommen[13]. An Hand der Lichtkurve erweist sich jedenfalls, daß mit hoher Wahrscheinlichkeit die Nova B Cas dem Supernova-Typ I angehörte.

### 5. Keplers Nova Ophiuchi von 1604

Im Jahre 1604 leuchtete im Sternbild des Ophiuchus abermals ein neuer Stern auf (RA = $17^h 26^m 44{,}9^s$; Deklination = $-21° 25' 55''$, 1935), der in seinem scheinbaren Licht der Tychonischen Nova nachstand, seinem Wesen gemäß aber unverkennbare Eigenschaften zeigte, die eine Klassifizierung als Supernova gestatten.

Die Nova ist mit dem Namen Keplers unlösbar verbunden, der dem Stern auch eine eigene Schrift widmete, die 1606 zu Prag unter dem Titel „De stella nova in pede serpentarii" erschien, obwohl Kepler selbst nicht der eigentliche Entdecker des Sterns war. Aufgefunden wurde die Nova am 10. Oktober 1604 von Johann Brunowski, einem Schüler Keplers, der sie „größer als alle Sterne erster Ordnung, größer als Jupiter und Saturn, doch weniger groß als Venus" sah. Später ergab sich, daß der Stern in Italien bereits einen Tag früher, nämlich am 9. Oktober 1604, beobachtet wurde. In Cosenza erschien er einem Be-

[12] W. Baade, B Cassiopeiae as a supernovae of type I. Astrophysic. J. **102**, 309 [1945] = Contrib. Mt. Wilson Obs. Nr. 711.

[13] Vgl. H. Schneller, Die Sterne **21**, 101 [1941].

obachter „so hell wie Mars", und in Verona beschrieb sie Altobelle „so hell wie Jupiter". Zum Vergleich bzw. zur Umwandlung dieser Helligkeitsangaben sind nachstehend (Tab. 8) die auf das Harvard-System reduzierten Größenklassen der genannten Planeten nach Baade zusammengestellt.

| Planet | Datum | Helligkeit m |
|---|---|---|
| Mars | 1604 Okt. 9 | + 0,90 |
| Jupiter | 8 | — 1,87 |
| | 15 | — 1,84 |
| | Nov. 12 | — 1,73 |
| Saturn | 1605 Jan. 13 | + 0,78 |

Tab. 8. Visuelle Helligkeiten von Mars, Jupiter und Saturn (1604/1605).

Die Nächte vom 11. bis 16. Oktober ließen in Prag keine Beobachtungen zu, so daß Keplers erste Aufzeichnung vom 17. Oktober datiert ist, wo ihm die Nova, die zu dieser Zeit offenbar ihr Maximum durchlief, „so hell als Jupiter" erschien. Die Tage zuvor, besonders der 15. Oktober, sind durch zahlreiche Beobachtungen anderer Astronomen besetzt, so daß sich die Entwicklung der Helligkeitsverhältnisse befriedigend darstellen läßt. Die Beobachtungen aus dem Jahre 1605 (3. Januar bis 8. Oktober) stammen in der Mehrzahl von Kepler. Auch in China ist die Nova in der Zeit vom 10. Oktober 1604 bis 7. Oktober 1605 mehrfach beobachtet worden.

Auf Grund des gesamten verfügbaren Beobachtungsmaterials hat W. Baade[14] genauere Untersuchungen über die Helligkeit der Nova von 1604 angestellt und die Helligkeitsangaben der einzelnen Beobachter auf das Harvard-System umgerechnet. Die einzelnen Helligkeitswerte sind aus Tab. 9 zu entnehmen. Die da-

| Datum (gregorian.) | Angenommene Helligkeit m | Datum (gregorian.) | Angenommene Helligkeit m |
|---|---|---|---|
| 1604 Okt. 8 | + 3,0 | 1605 | |
| 9 | + 0,9 | Ende Jan. | + 1,2 |
| 10 | + 0,5 | März 20 | + 2,4 |
| 11 | — 0,7 | 27 | + 2,4 |
| 12 | — 1,5 | 28 | + 2,4 |
| 15 | — 2,2 \| 2,25 | April 12 | + 2,6 |
| 17 | — 2,6 \| | 21 | + 2,6 |
| 1605 Jan. 3 | + 0,9 | Aug. 12/14 | + 4,5 |
| 13 | 0,0 | 29 | + 4,5 |
| 14 | + 0,9 | Sept. 13 | + 5,0 |
| 21 | + 1,2 | Okt. 8 | + 4,8 |

Tab. 9. Helligkeiten der Nova Ophiuchi von 1604.

nach abgeleitete Lichtkurve der Nova Ophiuchi ist in Abb. 4 eingezeichnet und gestattet dadurch ebenfalls einen Vergleich mit IC 4182, so daß im Hinblick auf die gute Übereinstimmung der Kurve die Anerkennung der Nova von 1604 als Supernova vom Typ I ohne weiteres möglich ist. Die im Maximum erreichte Helligkeit betrug — 2,2$^m$.

Von der Exnova hat sich bisher kein Sternchen nachweisen lassen, das am Nova-Ort heller wäre als 18$^m$. Die Amplitude der Nova ist deshalb größer als 20$^m$, womit sich die Natur einer Supernova einwandfrei kennzeichnen dürfte.

Interessant ist jedoch, daß Baade im Jahre 1941 in unmittelbarer Nähe des Nova-Ortes mit Hilfe rotempfindlicher Platten (λλ 6300—6700) am 100-Zöller eine fächerförmig gestaltete Nebelmasse auffand, deren photographische Helligkeit bei 19,0$^m$ liegt. Die Ausdehnung des Nebels beträgt etwa 40″. Es handelt

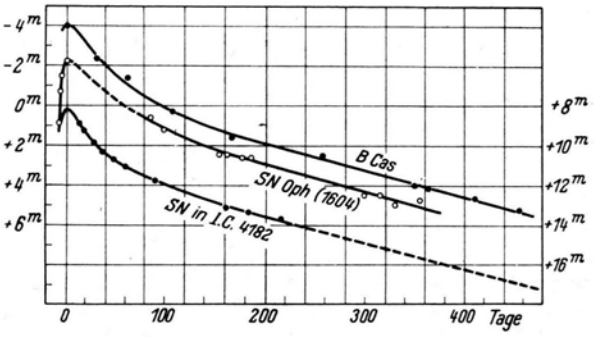


Abb. 4. Lichtkurven der Supernovae B Cassiopeiae (1572), Ophiuchi (1604) und IC 4182 (1937). Links Helligkeiten der SN 1572 und 1604, rechts SN in IC 4182 (nach W. Baade).

sich um eine aufgelöste Nebelmasse mit hellen Knoten und Filamenten, deren Mitte die Koordinaten RA = 17$^h$ 26$^m$ 42,8$^s$ und die Deklination = — 21° 25′ 54″ (1935) besitzt, also um — 2,1$^s$ und + 1″ vom Ort der Nova abweicht. Aufnahmen in der photographischen Region λλ 5000—3600 zeigen den Nebel wesentlich schwächer.

Der die Lichtanregung hervorrufende Stern ist bisher nicht sicher identifiziert. Vermutlich handelt es sich um ein Sternchen der phot. Helligkeit 18,6$^m$ im Innern der Nebelmasse; möglicherweise kommt dafür aber auch ein Stern in Frage, der sich im Umkreis von 50″ befindet. Allein die Entscheidung darüber wird erst gelingen, wenn eine sichere Klassifizierung der Spektren aller schwachen Sterne möglich ist.

Das Spektrum des Nebels ist von R. Minkowski[15] näher untersucht worden. Die vom 16. bis 19. Mai 1942 und vom 8. bis 11. Juni 1942 aufgenommenen Spektrogramme erforderten Belichtungszeiten von 15$^h$ 30$^m$ bzw. 16$^h$ 45$^m$. Im Spektrum haben sich die in Tab. 10 vereinigten Emissionslinien nachweisen lassen.

Das Nebelspektrum zeigt sehr enge Beziehungen zum Spektrum der Filamente des Krebsnebels, beson-

[14] W. Baade, Nova Ophiuchi of 1604 as a supernova. Astrophysic. J. **97**, 119 [1943] = Contrib. Mt. Wilson Obs. Nr. 675.

[15] R. Minkowski, The spectrum of the nebulosity near Kepler's nova of 1604. Astrophysic. J. **97**, 128 [1943] = Contrib. Mt. Wilson Obs. Nr. 676.

| Wellenlänge Å | Deutung | Wellenlänge Å | Deutung |
|---|---|---|---|
| 6548 | [N II] | 6731 | [S II] |
| 6584 | [N II] | 6300 | [O I] |
| | H α | 5007 | [O III] |

Tab. 10. Emissionen im Spektrum des Nebels um Nova Ophiuchi.

ders in den relativen Intensitäten der Hα- und [N II]-Linien. Außerdem konnten in der Nebelmasse Radialbewegungen von — 200 km/sec in den Spitzen und — 260 km/sec auf der Basis der fächerförmigen Nebelmasse nachgewiesen werden, die andeuten, daß es sich dabei um Teilmassen eines expandierenden Nebels handelt, dessen größere Masse durch vorgelagerte Absorptionen der Beobachtung entzogen ist. Es liegt die Vermutung nahe, daß hier in der Tat ein planetarischer Nebel entstanden ist, der mit der Nova Ophiuchi unzweifelhaft einen inneren Zusammenhang besitzt. Diese auf der Hand liegende Identität mit dem Beispiel des Krebsnebels legt es nahe, die Nova Ophiuchi von 1604 gleichermaßen als Supernova anzusehen und sie, entsprechend ihrer wahrscheinlichen absoluten Helligkeit von $-12^M$, ebenfalls als Typ I anzuerkennen.

In geschichtlicher Zeit sind in der Milchstraße also drei außergewöhnliche Neue Sterne aufgeflammt, deren Verhalten den Merkmalen der außergalaktischen Supernovae entspricht, so daß damit nachgewiesen ist, daß auch im Milchstraßensystem die Supernovae als kosmische Erscheinungsform der Materie nicht unbekannt sind. Umgekehrt erhält dadurch die Hypothese, daß unsere Milchstraße den spiralförmigen Nebelsystemen im Weltall durchaus ebenbürtig ist, eine weitere Bestätigung.

| Nova | Helligkeiten scheinbar m | Helligkeiten absolut M | Typ |
|---|---|---|---|
| 1054 | — 2,2 | — 16,5 | I |
| 1572 | — 4,0 | — 12,5 | I |
| 1604 | — 2,2 | — 12,0 | I |

Tab. 11. Die galaktischen Supernovae.

Zusammenfassend sind in Tab. 11 die physikalischen Daten der galaktischen Supernovae noch einmal einander gegenübergestellt.

## 6. Planetarische Nebel und Supernovae

Die bei dem Krebsnebel und in der Nebelmasse der Nova von 1604 nachgewiesenen Expansionsvorgänge legen, wie schon angedeutet, ganz allgemein einen Zusammenhang mit den planetarischen Nebeln nahe, wo ähnliche Vorgänge zu bestehen scheinen. Charakteristisch für die planetarischen Nebel, deren Zahl sich im Milchstraßensystem auf etwa 150 beläuft, ist der im Innern der kreisförmig oder elliptisch geformten Nebelmasse stehende Zentralstern (Abb. 5), der für die Lichtanregung in der Nebelmaterie verantwortlich ist. Die Zentralsterne sind ausnahmslos Angehörige der Weißen Zwerge, die angesichts ihrer geringen absoluten Leuchtkraft (etwa $+5{,}0^M$) über hohe Temperaturen verfügen müssen, um in den Nebeln eine wirksame Lichtanregung hervorzurufen. Die Temperaturen der Sterne liegen zwischen 30 000° und 140 000°, beim Krebsnebel sogar bei 500 000°. Im Grunde genommen bilden diese Objekte daher eine Klasse von Sternen, die von ausgedehnten, in der Regel scharf begrenzten Nebelhüllen umgeben werden und deren scheinbare Durchmesser 10″ bis 20″,

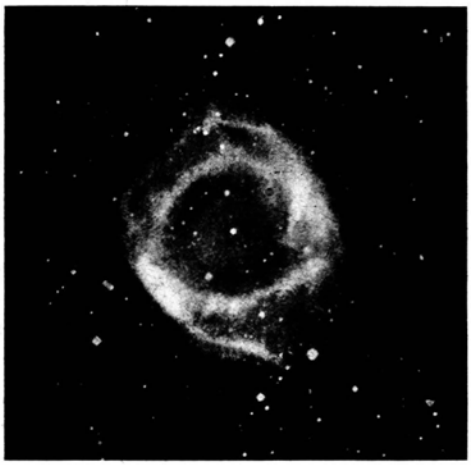

Abb. 5. Planetarischer Nebel NGC 7293.

vereinzelt aber auch einige Bogenminuten betragen.

Bei der Entfernungsbestimmung ist man auf indirekte Methoden angewiesen, wonach sich die Distanzen zwischen 500 und 1350 Parsec (1600—4200 Lichtjahre) ergeben haben. Demgemäß dürften die Nebelhüllen im Mittel einen wahren Durchmesser von etwa 1 Lichtjahr aufweisen. Wäre unsere Sonne von einer derartigen Hülle umgeben, so müßte sie 1500-mal weiter in den Raum hinaus reichen als die Bahn des Pluto, was etwa einem Viertel der Strecke bis α Centauri entsprechen würde.

Über den Aufbau der Nebelhülle haben ihre Spektren hinreichenden Aufschluß gegeben. Die Emissionsspektren gleichen im wesentlichen den spektralen Eigenschaften der übrigen Gasnebel. Vornehmlich besteht die leuchtende Hülle der planetarischen Nebel aus Wasserstoff, Helium, Sauerstoff und Stickstoff. Durch die energiereiche Ultraviolettstrahlung des heißen Zentralsterns werden die Gase zum Leuchten angeregt. Es haben sich jedoch bei den Linien dieser Nebelspektren eigenartige Aufspaltungen und Verdoppelungen nachweisen lassen, die zwanglos nur durch die Annahme erklärt werden können, daß ihnen Doppler-Effekte zugrunde liegen, die auf Expansionsvorgängen in der Nebelhülle beruhen. Aus dem Um-

| NGC | Helligkeiten | | Expansion der Nebel | |
|---|---|---|---|---|
| | Nebel m | Zentralstern m | km/sec | in 100 Jahren |
| 1952 | 9,0 | 15,9 | 1300 | 23,5″ |
| 2392 | 10,0 | 8,4 | 53 | 2,7 |
| 3242 | 11,7 | 7,1 | 10,5 | 0,7 |
| 6210 | 11,7 | 8,5 | 8,5 | 0,3 |
| 6543 | 11,3 | 8,1 | 12 | 0,6 |
| 6720 | 14,7 | 8,8 | 19 | 0,5 |
| 6818 | 14,9 | 8,8 | 21 | 0,5 |
| 7009 | 11,7 | 7,2 | 15 | 0,9 |
| 7662 | 12,7 | 8,4 | 14 | 0,9 |

Tab. 12. Expansion der planetarischen Nebel.

fang der Linienspaltung hat H. Zanstra[16] die Expansionsgeschwindigkeiten berechnet, die nach Tab. 12 zwischen 10 und 50 km/sec liegen. Von den im Krebsnebel vorherrschenden Verhältnissen sind diese Werte zwar stark verschieden. Immerhin sind die Expansionsgeschwindigkeiten meßbar, und wenn sie innerhalb einer angemessenen Zeit nach dem Beispiel des Krebsnebels auch keine Veränderungen ihrer äußeren Gestalt zu erkennen geben, so gestatten sie doch umgekehrt die Berechnung der Zeit, die seit dem Beginn der Nebelexpansion verstrichen ist, wenn man ihr jährliches Wachstum in Betracht zieht. Hier haben Untersuchungen von F. Whipple[17] an insgesamt 23 planetarischen Nebeln zu dem Ergebnis geführt, daß 10 unter ihnen zwischen 1700 und 6000 Jahren „alt" sind. Das würde heißen, daß die planetarischen Nebel kosmisch als kurzlebige Objekte anzusehen sind, weil sie sich im Zuge ihrer Entwicklung aufblähen und dadurch mit der Zeit verflüchtigen und unsichtbar werden. Statistische Grundsätze sprechen dafür, daß etwa alle 200 Jahre ein planetarischer Nebel neu entsteht. Darüber hinaus erweist sich als wahrscheinlich, daß die diffusen Nebel im Sternsystem u. U. auf ähnliche Weise entstanden sind, zumal die geringen Massen der Milchstraßennebel mit den Sternmassen oder der Krebsnebelmasse gut übereinstimmen.

Die konsequente Weiterführung dieser Überlegungen zieht zwangsläufig die Folgerung nach sich, daß die planetarischen Nebel ihrerseits Reste von kosmischen Katastrophen darstellen, die in ihrem Ausmaß nur mit den Vorgängen in einer Supernova verglichen werden können. Gelegentlich haben sich auch bei den gewöhnlichen Novae Nebelhüllen gezeigt (Abb. 6). Doch sind die Massen dieser Hüllen viel zu gering, um Jahrtausende hindurch sichtbar zu bleiben, wie dies gewiß bei den planetarischen Nebeln zutreffend ist, zumal diese einen Bestand bis zu 30000 Jahren und ein mittleres Alter von 15000 Jahren haben. Die Entwicklungswege der planetarischen Nebel weisen

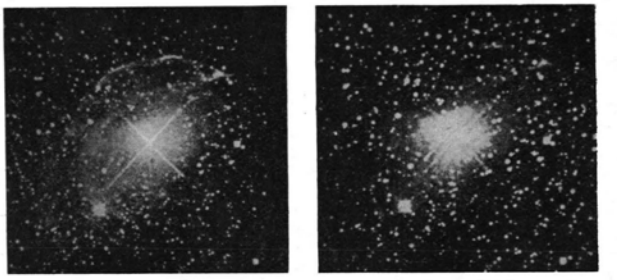

Abb. 6. Nebel um die Nova im Perseus (1901). Links: 30. Sept. 1901; rechts: 13. Nov. 1901.

daher mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die Supernovae im Milchstraßensystem zurück, deren Häufigkeit sie auch mit großer Näherung entsprechen. Daraus geht ferner hervor, daß die Supernovae der Milchstraße keineswegs auf die drei behandelten historischen Fälle beschränkt sind, sondern daß ihnen eine viel größere Verbreitung im Sternsystem beizumessen ist. Die endgültige Klärung dieser Zusammenhänge wird allerdings erst dann gelingen, wenn das kosmogonische Problem der Weißen Zwerge in den planetarischen Nebeln aufgeklärt ist und in gleicher Hinsicht das anscheinende Fehlen der Exnovae bei den Neuen Sternen von 1054, 1572 und 1604 durchschaut werden kann.

Diedrich Wattenberg,
Archenhold-Sternwarte, Berlin-Treptow.

[16] H. Zanstra, Luminosity of planetary nebulae and stellar temperatures. Publ. Astrophysic. Obs. Victoria IV [1931]; Untersuchungen über planetarische Nebel II. Z. Astrophysik **2**, 329 [1931].

[17] F. Whipple, Harvard Bull. Nr. 905 [1938]; ref. in Weltall **39**, 35 [1939].

# Die Analyse des Erd-Magnetfeldes und seiner Variationen[1]

Das Department of Terrestrial Magnetism der Carnegie Institution of Washington hat sich durch seine grundlegenden geophysikalischen Arbeiten eine führende Stellung auf dem Gebiet der erdmagnetischen Forschung erworben. Es ist daher in hohem Maße zu begrüßen, daß nunmehr seitens dieser autoritativen Stelle eine umfassende Darstellung aller erdmagnetischen Beobachtungen der letzten Jahre und Jahrzehnte (bis 1945) erfolgt ist, und zwar in der Veröffentlichung Nr. 578[2], die alles für die Praxis

[1] Bericht über E. H. Vestine, L. Laporte, I. Lange u. W. E. Scott, The Geomagnetic Field, Its Description and Analysis. Carnegie Institution of Washington, Publication Nr. 580, vi + 390 S., Washington 1947.

[2] Description of the Earth's main magnetic field and its secular change, 1905—1945; vgl. Referat von S. Chapman, Nature [London] **161**, 160 [1948].