Neue Sterne

Autor(en): **Wild, Paul**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **- (1957)**

Heft 57

PDF erstellt am: **01.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-900367

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

ORION

Mitteilungen der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Bulletin de la Société Astronomique de Suisse

JULI — SEPTEMBER 1957 **No. 57**

7. Heft von Band V — 7me fascicule du Tome V

Neue Sterne

Von PAUL WILD, Bern

Das gelegentliche Auftauchen und Wiederverschwinden eines neuen Sterns gehört zu den faszinierendsten Vorgängen am Himmel. Zwar halten wir nicht mehr, wie die alten Chinesen, die Novae für «Gaststerne», deren Besuchen an unserem Firmament besondere Bedeutung zukäme. Wir wissen auch, dass die Bezeichnung «neue Sterne» nicht den physikalischen Tatsachen entspricht. Diese kosmischen Signale verkünden nicht freudige Ereignisse, sondern bedeuten Katastrophen grössten Ausmasses.

1. Der Nova-Ausbruch. Veränderungen der Helligkeit und des Spektrums. Nebelhüllen.

In mehr als zwanzig Fällen ist die Helligkeit der Praenova bekannt, freilich erst nachträglich gemessen auf älteren photographischen Aufnahmen. Beim Ausbruch einer Nova verläuft der Helligkeitsanstieg so rasch, dass sein Beginn bis jetzt noch nie beobachtet werden konnte. Die Entdeckung geschieht, wenn überhaupt schon während des Aufleuchtens, fast nie mehr als zwei bis drei Grössenklassen unterhalb der maximalen Helligkeit. Es scheint, dass an jenem Punkte oft eine kleine Pause eintritt vor dem «Gipfelanstieg». Das Spektrum einer Nova unterscheidet sich zu jener Zeit noch nicht wesentlich von demjenigen eines normalen, heissen B-Sterns. Nach dem weiteren Verlauf der Lichtkurve lassen sich mehr oder weniger deutlich zwei Hauptgruppen von Novae unterscheiden: Die Helligkeit der schnellen Novae steigt sogleich weiter an zu einem scharfen, wenige Tage oder gar bloss Stunden dauernden Maximum, während die langsamen Novae nur ganz allmählich (im Laufe von Wochen oder Monaten) und unter beträchtlichen Schwankungen ein sehr flaches, wenig ausgeprägtes Lichtmaximum erreichen [1]). In beiden Fällen ändert sich in dieser Zeit der Spektraltyp von B zu A oder F und zeigt dadurch eine Verminderung der Oberflächentemperatur an (etwa von 50 000° auf 8 000°). Dass die Helligkeit trotzdem ansteigt, kann nur dadurch zustande kommen, dass der Stern seine Oberfläche vergrössert, d. h. sich ausdehnt, zu-

[1]) Alle Hinweise sind auf S. 285 zusammengefasst.

mindest in seinen äusseren Schichten. In der Tat weisen zur Zeit der grössten Lichtentfaltung die Absorptionslinien im Spektrum auf Ueberriesen-Natur hin. Sie sind auch, wie zu erwarten, gegen Violett verschoben und bestätigen uns damit, dass der von uns aus vor dem Stern gesehene Atmosphärenzylinder sich auf uns zu bewegt. Früher oder später — je nach der Ausdehnungsgeschwindigkeit und dem Umfang des Materienachschubs — wird aber die Hülle sehr dünn und für gewöhnliches Licht durchsichtig. Die Photosphäre, d. i. die Schicht, aus der der Hauptanteil am kontinuierlichen Lichthintergrund des Spektrums stammt, rückt tiefer ins Innere. Der eigentliche Stern wird kleiner, und seine Helligkeit beginnt zu sinken. Das kontinuierliche Praemaximum-Spektrum samt seinen Absorptionslinien schwindet allmählich dahin. Unterdessen sind, meistens kurz nach dem Maximum, zahlreiche helle und breite Emissionslinien aufgetaucht, vor allem die Balmer-Serie des Wasserstoffs und einige Linien von einfach ionisiertem Eisen und anderen Metallen. Die meisten nicht von blossem Auge sichtbaren Novae werden einige Zeit nach dem Maximum auf Grund dieses sehr auffälligen Hauptemissionsspektrums entdeckt. Eine Schmidt-Kamera mit Objektivprisma eignet sich vorzüglich für das Aufsuchen von Novae, wie z. B. die Erfolge von Zwicky auf Palomar und von Haro in Tonantzintla (Mexiko) bewiesen haben. Mit dem Studium und der Deutung der Novaspektren hat sich Dean B. Mc Laughlin in Ann Arbor (Michigan) am intensivsten befasst [2] [3]. Wir folgen im grossen und ganzen seinen Darlegungen, verzichten aber der besseren Uebersicht halber auf manche interessante Details (vgl. Abb. 1). Das Emissionsspektrum erklärt sich folgendermassen: Nach dem Maximum besteht die Nova aus dem Zentralstern, der wieder zusammenschrumpft und heisser wird, und einer weiten Hülle, die ringsum davonfliegt mit einer Geschwindigkeit von mehreren hundert Kilometern pro Sekunde. Die Hülle ist nicht durchsichtig für die kräftige Ultraviolett-Strahlung des Zentralsterns, sondern verschluckt sie schon weit innen und sendet sie darauf z. T. als sichtbares Licht wieder aus, auf charakteristischen Wellenlängen. Diese Emissionslinien sind durch den Dopplereffekt stark verbreitert, weil zu ihnen Licht beigetragen wird von Atomen über den ganzen Umfang der Hülle, d. h. mit Radialgeschwindigkeiten (in Bezug auf uns), die von Null bis zur vollen Expansionsgeschwindigkeit reichen. Die letztere lässt sich daher aus der Breite der Emissionen ablesen. Die äussersten, am schnellsten laufenden Schichten der Hülle auf der uns zugewandten Hälfte schneiden auf der violetten Seite jeder Emissionslinie eine Absorptionslinie heraus. Im allgemeinen bleibt es nun nicht bei diesem einen System («Hauptsystem») von Emissionen und Absorptionen. Gaswolken in wilder, turbulenter Bewegung innerhalb der Haupthülle werden durch den wachsenden Druck der Ultraviolett-Strahlung oder ev. auch durch sekundäre Ausbrüche mit noch höheren Geschwindigkeiten weggeblasen und dabei nach und nach in einzelne Hüllen «zusammengerecht». Dem Hauptspektrum überlagert sich so das sog. diffuse

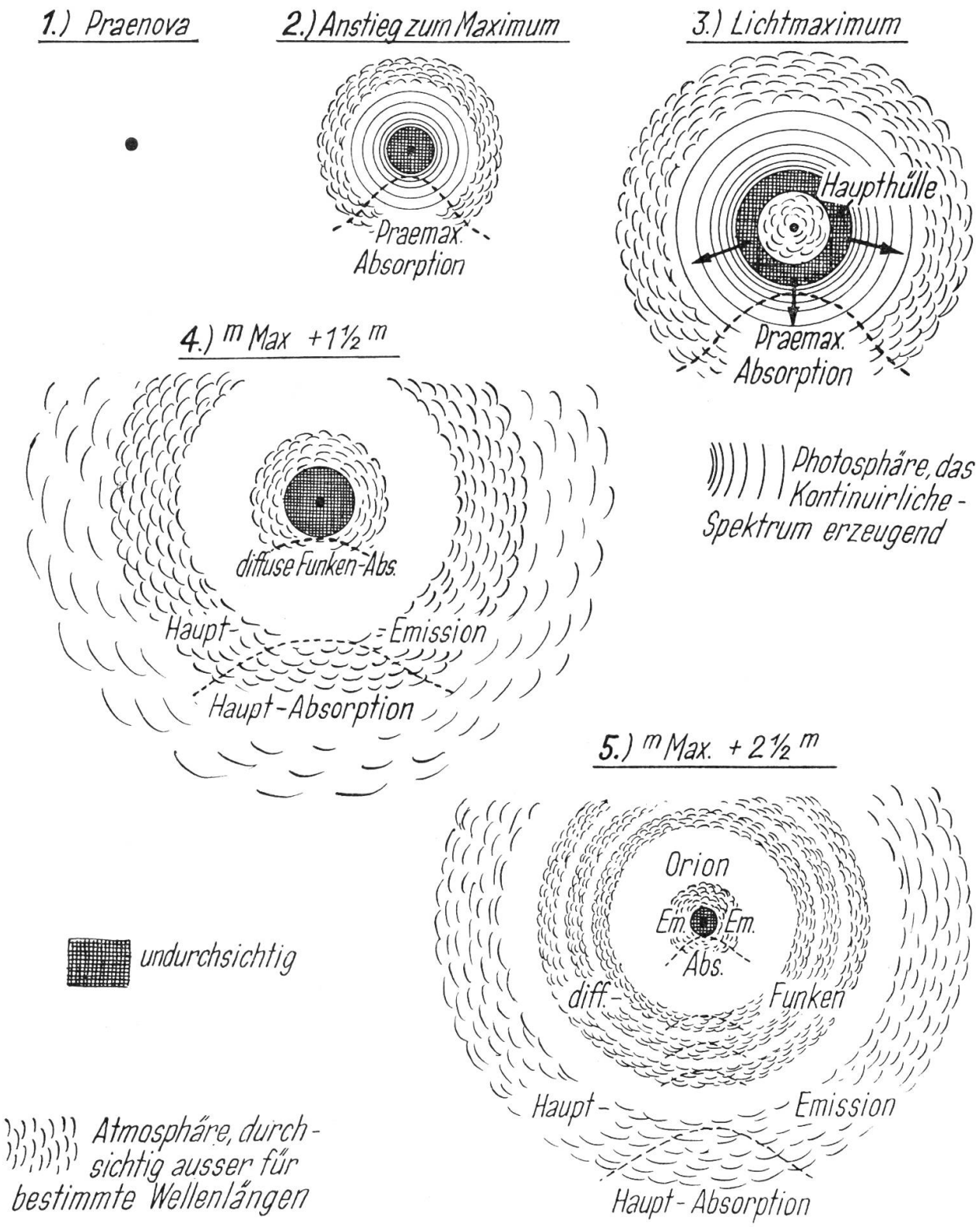

Abb. 1

Schematische Entwicklung eines Nova-Ausbruchs und Entstehung der Spektren nach Mc Laughlin (Pop. Astr. 58, 1950)

Funkenspektrum, bestehend aus sehr breiten Emissionen und Absorptionen, welche alle später in einzelne Sätze scharfer Linien zerfallen. Wenn der Fluss der aus dem Zentralstern strömenden Materie nachlässt, werden schliesslich die innersten Schichten, direkt an der Sternoberfläche, stark angeregt und ionisiert. Dieses zusätzliche, neue Spektrum gleicht demjenigen von heissen B-Sternen mit Emission und wird Orion-Spektrum genannt. Es besteht aus breiten, verwaschenen Emissions- und Absorptionslinien von Helium und von einfach, später auch zweifach ionisiertem Sauerstoff und Stickstoff, und enthält manchmal auch die Wasserstofflinien. Diese ganze reichlich verwirrende Folge von Spektralerscheinungen läuft ab während der Zeit, da die Nova von der maximalen Helligkeit um rund drei Grössenklassen absinkt. Dieses Zeitintervall t_3 ist natürlich sehr verschieden für schnelle und für langsame Novae. Es charakterisiert aber durchwegs die Entwicklungsgeschwindigkeit einer individuellen Nova, in allen Phasen.

Zwischen etwa drei und sechs Grössenklassen unterhalb des Maximums vollzieht sich der Uebergang von einem zusammengesetzten Spektrum zu demjenigen eines reinen Nebels. Die verschiedenen inneren, schneller angetriebenen Gashüllen stossen bis zur Haupthülle vor und vereinigen sich mit ihr; die jüngeren Liniensätze im Spektrum verblassen oder verschmelzen mit dem Hauptspektrum. Durch die nunmehr unbehindert zutretende Ultraviolett-Strahlung des Zentralsterns wird die expandierende Hülle stärker ionisiert. Zunächst dominiert eine diffuse helle Linie von doppelt ionisiertem Stickstoff bei 4640 Å, nebst den selten ganz verschwindenden Wasserstofflinien, und bald treten die grünen Linien der planetarischen Nebel, die sog. verbotenen Linien N_1 und N_2 von doppelt ionisiertem Sauerstoff (4959 und 5007 Å), stärker und stärker in Erscheinung. Das Licht der Nova unterliegt während des Uebergangsstadiums oft starken und fast periodischen Schwankungen (am deutlichsten wohl bei Nova Persei 1901). Dass bei jedem Lichtanstieg das Spektrum in ein früheres Stadium zurückfällt, deutet darauf hin, dass es sich um regelmässige sekundäre Ausbrüche der Nova handelt. Häufig erscheint die Lichtkurve im Uebergangsstadium auch bloss ein wenig «deprimiert»; bei langsamen Novae dagegen kommt es vor, dass die Helligkeit rasch und sehr tief absinkt und erst nach Monaten wieder auf die «normale» Lichtkurve zurücksteigt. Ein drastisches Beispiel davon bot die Nova Herculis 1934 [4]) (Abb. 2).

Von rund sechs Grössenklassen unter dem Maximum an wird die Nova im allgemeinen ganz allmählich und ohne weitere Störungen schwächer, bis sie nach durchschnittlich zehn bis zwanzig Jahren wieder auf die Helligkeit der Praenova abgesunken ist. Dies ist eine bedeutsame Tatsache. Es wäre sehr seltsam, wenn nur gerade in dem willkürlich gewählten photographischen Farbbereich der Stern vor und nach dem Ausbruch gleich hell sein sollte. Man darf ruhig annehmen, dass das ganze Spektrum und die bolometrische

Helligkeit schliesslich sozusagen unverändert geblieben sind; und daraus folgt u. a., dass die Nova beim ganzen Ausbruch nicht einen wesentlichen Bruchteil ihrer Masse verloren haben kann. Man schätzt die Masse der «abgeblasenen» Hülle einer Nova auf etwa $^1/_{10\,000}$ bis $^1/_{1000}$ der gesamten Sternmasse. Bei allen hellen Novae der neueren Zeit sind einige Jahre nach dem Ausbruch die ausge-

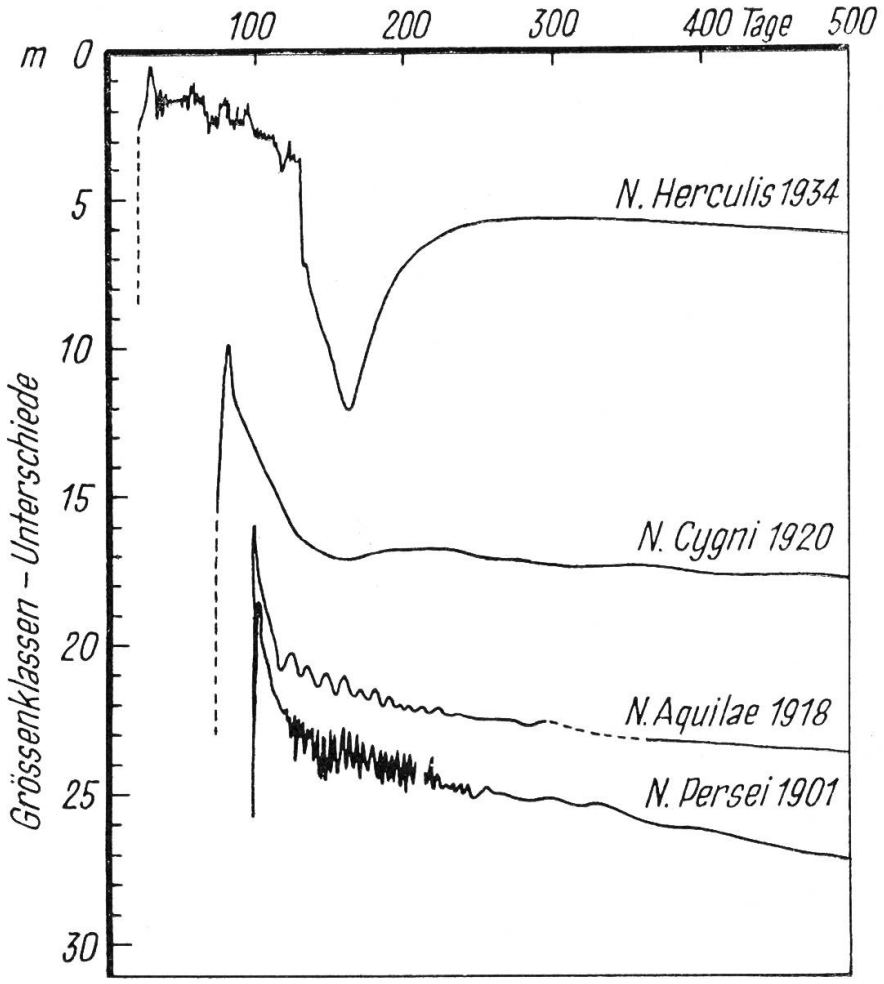

Abb. 2
Lichtkurven von Nova Persei 1901, Nova Aquilae 1918, Nova Cygni 1920, Nova Herculis 1934

stossenen Gaswolken als expandierende Hüllen direkt beobachtet worden [5]) (Abb. 3). In jedem Falle, in dem schon die frühesten Emissionslinien nicht gleichmässig intensiv waren über das Bild des Sterns hin, konnten die hellsten Stellen später als Knoten im Nebel einzeln identifiziert werden, und jedesmal stimmte auch die Geschwindigkeit des gegenseitigen Auseinanderstiebens dieser Knoten überein mit der anfänglichen, aus den Linienbreiten im Hauptspektrum ermittelten Ausdehnungsgeschwindigkeit der Novahülle.

Die beobachteten Geschwindigkeiten liegen zwischen 300 km/sec (bei der langsamen Nova Herculis 1934) und 1700 km/sec (bei der sehr raschen Nova Aquilae 1918). Es sei zum Vergleich hier erwähnt, dass die Entweichgeschwindigkeit von der Oberfläche unserer Sonne rund 600 km/sec beträgt. Wenn die seitliche Ausdehnungsgeschwindigkeit des Nebels um eine Nova ebenfalls messbar ist, in Bogensekunden pro Jahr, so kann unter der Annahme von Kugelsymmetrie die Entfernung der Nova von uns bestimmt werden.

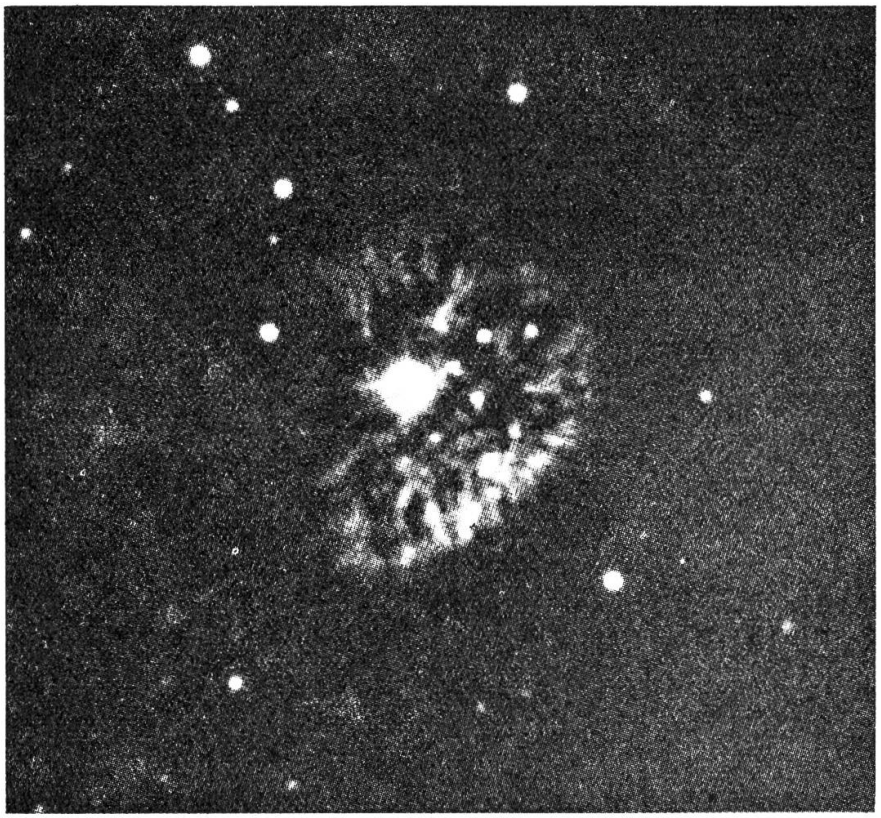

Abb. 3
Nebelhülle um Nova Persei 1901. Aufnahme ca. 1950

2. Nova Herculis 1934. Postnovae. Wiederholte Ausbrüche. Merkwürdige Novaerscheinungen.

Einige Anmerkungen über die besonders interessante Nova Herculis 1934 dürften hier am Platze sein. Im Jahre nach dem Ausbruch wies die Hülle zwei Knoten auf, die fast sternförmig rund und dicht erschienen und an der Ausdehnung des Nebels teilnahmen. (Aehnliches geschah mit der Nova Pictoris 1925.) Diese Ausdehnung geht auch heute noch mit der gleichen, relativ geringen Geschwindigkeit von 300 km/sec vonstatten. Der Nebel hat eine kompliziertere Struktur angenommen, zwar symmetrisch, aber ungleich in ver-

schiedenen Farbbereichen. Der Zentralstern, d. h. die eigentliche Nova, ist unterdessen längst wieder zum Vorschein gekommen, und vor drei Jahren machte M. F. Walker bei photoelektrischen Messungen auf Mt. Wilson die überraschende Entdeckung, dass dieser Stern ein Bedeckungs-Veränderlicher ist, und zwar mit der kürzesten bekannten Periode (4^h39^m). Es muss dies ein sehr enges Paar sein, und es wäre selbstverständlich von grösstem Interesse, zu wissen, ob schon die Praenova ein Doppelstern war oder ob der Begleiter erst beim Ausbruch abgetrennt wurde [6] [7] [8].

Walkers Entdeckung hat dem Studium der alten Novae neuen Auftrieb gegeben. Wir haben bereits darauf aufmerksam gemacht, dass in keinem bekannten Falle die Postnova sich wesentlich von der Praenova unterscheidet. Etliche Novae waren sowohl vor als auch nach dem Ausbruch unregelmässige Variable von geringer Amplitude, so auch die Nova Herculis, neben ihrem Bedeckungs-Lichtwechsel. Humason hat die Spektren zahlreicher Exnovae untersucht, wie sie nach der Verflüchtigung des abgestossenen Nebels aussehen, und hat ausnahmslos Sterne vom Spektraltyp O gefunden, also solche mit Oberflächentemperaturen von rund 50 000 [0] [9]. Etwa die Hälfte sind Wolf-Rayet-Sterne, d. h. O-Sterne mit Emissionslinien; viele weisen nur Absorptionslinien auf, und einige zeigen ein rein kontinuierliches Spektrum ohne jegliche Linien. Es ist noch nicht bekannt, ob dies verschiedene Stadien der Entwicklung sind oder ob jede Nova nach dem Abklingen eines Ausbruchs ihr Spektrum beibehält bis zur nächsten Katastrophe. Dass eine solche wieder eintreten wird, ist aus folgenden Gründen so gut wie sicher:

1. Die bei einem Ausbruch verlorene Energie beträgt, obgleich sie einigen hundert Jahren normaler Strahlung entspricht, doch nur rund $^1/_{10\,000}$ der thermischen, potentiellen und Ionisationsenergie eines Sterns [10]. Der innere Aufbau kann also nicht wesentlich geändert werden durch einen einzelnen Ausbruch; und da der Vorgang offenbar gerade durch den inneren Aufbau bedingt ist, so wird er sich früher oder später wiederholen.

2. Novae sind nicht sehr seltene Phänomene. Es mag zwar angezweifelt werden, ob sie tatsächlich, wie einige Abschätzungen andeuten, häufig genug sind, dass jeder Stern in unserer Milchstrasse alle paar hundert Millionen Jahre an die Reihe käme [11]. Da aber nach aller Evidenz nur die raren Sterne frühen Spektraltyps überhaupt als Novae in Frage kommen, so bleibt es doch sicher, dass wenigstens unter diesen jeder, der ausbrechen kann, dies mehrere Male tun muss.

3. Tatsächlich sind einige solche sich wiederholende oder rekurrente Novae bekannt und werden laufend überwacht. Die berühmteste unter ihnen ist T Coronae borealis, die 1866 aufleuchtete und nicht ganz unerwarteterweise wieder 1946 (nach einer «Vorprobe» im Jahre 1938). Sie ist bemerkenswert noch aus weiteren Gründen: Als einzige unter den bekannten Novae steht sie in hoher

galaktischer Breite; alle andern erscheinen in oder nahe dem Band der Milchstrasse (siehe Becvars Himmelsatlas und [12]). Ferner war ihr zusammengesetztes Spektrum lange ein Rätsel, bis man herausfand, dass die Nova der kleine, heisse Begleiter eines normalen roten Riesensterns ist. Bei folgenden Novae ist bis jetzt mehr als ein Ausbruch beobachtet worden [13]:

Nova	Amplitude	m_{max}	Datum	Intervall
T Pyxidis	7^m	$7^m.9$	Mai 1890	
		7.2	Mai 1902	11.9 J.
		6.5	April 1920	17.9 J.
		7.1	Nov. 1944	24.6 J.
T Coronae borealis	8^m	2^m	Mai 1866	
		1.7	Febr. 1946	79.8 J.
RS Ophiuchi	ca. 7^m	?	Juni 1898	
		4.3	Aug. 1933	35.1 J.
U Scorpii	$> 9^m$	$9^m.1$	Mai 1863	
		8.8	Mai 1906	43.0 J.
		8.8	Juni 1936	30.1 J.
Nova Sagittae 1913	8^m	$7^m.1$	Nov. 1913	
		7.7	Juni 1946	32.6 J.
Nova Sagittarii 1919	7^m	($10^m.8$	Sept. 1901)	
		7.2	März 1919	17.5 J.

Verwandte dieser rekurrenten Novae sind offensichtlich die Nova-ähnlichen Veränderlichen, vorab die SS Cygni-Sterne, die in halb regelmässigen Intervallen um ein paar Grössenklassen aufleuchten und rasch wieder auf konstante Normalhelligkeit absinken (s. E. Leutenegger, «Orion» Nr. 56). Man kennt ihrer mehr als fünfzig, und bei diesen allen besteht eine Beziehung zwischen durchschnittlicher Periode $\overline{P}$ (in Jahren) und Amplitude A (in Grössenklassen): $\log \overline{P} = 0.6\ A - 3$. Diese Formel von Kukarkin und Parenago scheint aber auch für die rekurrenten Novae wenigstens grössenordnungsmässig zu stimmen. Z. B. errechnet man für T Coronae eine mittlere Periode von 60 Jahren, für T Pyxidis eine solche von 16 Jahren. Nimmt man versuchshalber an, alle Novae befolgten dieses Gesetz, und rechnet man mit einer mittleren Amplitude von 12 Grössenklassen, so findet man, dass eine gewöhnliche Nova rund alle zehntausend Jahre ihren Ausbruch wiederholt. Dieses Ergebnis ist durchaus vereinbar mit den obigen Erwägungen über die Häufigkeit der Novae.

Das Studium der rekurrenten Novae und der Nova-ähnlichen Veränderlichen wird zweifellos noch viel beitragen zum Verständnis des Nova-Vorgangs. Dieser verläuft auch gelegentlich, besonders wenn er viel Zeit braucht, ganz eigentümlich und gibt spezielle Rätsel auf. RT Serpentis z. B. blieb 14 Jahre lang (1909—1923) im Maximum (10^m) und fällt seitdem wieder langsam ab. Das Spektrum hat, im selben «kosmischen Schneckentempo», alle normalen

Phasen durchlaufen. 32 Jahre nach dem Anfang des Ausbruchs befand sich RT Serpentis in einem Stadium, welches die Nova Aquilae 1918 innert einer Woche erreicht hatte! — Berühmtheit erlangte der Stern η Carinae, am Südhimmel. Im 18. Jahrhundert schwankte seine Helligkeit zwischen zweiter und dritter Grösse, stieg dann langsam an und erreichte -1^m um 1840, begann darauf stetig zu sinken und ist seit 1895 auf $m_{pg} = 8.3$ geblieben. Die spektrale Entwicklung gedieh nie über das früheste Stadium nach dem Maximum hinaus (Typ F mit Emissionen). η Carinae scheint inmitten eines grossen Gasnebels zu stecken, und es ist nicht ausgeschlossen, dass dies den normalen Verlauf des Ausbruchs verhindert oder doch verändert. — Ein weiteres merkwürdiges Objekt ist Wachmanns Stern FU Orionis, der zwischen Nov. 1936 und Febr. 1937 von 16. auf 10. Grösse aufleuchtete und seither hell blieb. Das Spektrum hat sich zwar allmählich von F 2 auf G 3 umgestellt, aber bis heute sind darin keine Nova-Charakteristiken aufgetreten, sodass schliesslich Zweifel aufgetaucht sind, ob der Lichtanstieg auf einen wirklichen Helligkeitsausbruch zurückzuführen sei. Ein Reflexionsnebel liegt dicht bei FU Orionis, und Wachmann hat unlängst in einer sehr interessanten Arbeit auf die Möglichkeit aufmerksam gemacht, dass eine sog. Globule, d. i. eine Verdichtung in der interstellaren Materie, eine grosse Gaskugel, die im Begriffe ist, sich zu einem jungen Stern zu formen, vor FU Orionis vorübergezogen sei, und dass wir das Ende dieser Bedeckung beobachtet hätten [14]).

Schliesslich verdienen noch besondere Erwähnung die Sterne vom Typ P Cygni, die oft «permanente Novae» genannt werden. Ihre Spektren weisen ständig helle Wasserstoff- und Helium-Linien samt Absorption je am violetten Rand auf. Diese Sterne sind in ihrem normalen Zustand (wovon sie gelegentlich erratisch abweichen) Ueberriesen wie die Novae im Maximum. Unter den paar Dutzend P Cygni-Sternen, die man kennt, befindet sich der Stern mit der höchsten Leuchtkraft: S Doradus in der Grossen Magellanschen Wolke, mit $M = -9$.

3. Entfernungen, absolute Helligkeiten und Massen von Novae. Ursachen der Ausbrüche.

Für die Kenntnis der physikalischen Natur eines Sterns ist es wichtig, seinen Platz im Hertzsprung-Russell-Diagramm genau zu kennen. Ueber die Spektren und Temperaturen der Novae haben wir uns bereits eingehend unterhalten; wir müssen noch über ihre absoluten Helligkeiten einige Betrachtungen anstellen. Es wird genügen, die absolute Helligkeit jeweilen im Lichtmaximum zu kennen; diejenige der Prae- bzw. Postnova folgt daraus ja ohne weiteres, wenn die Amplitude beobachtet ist. In seltenen besonders günstigen Fällen kann man etwa folgendermassen vorgehen: Während des Lichtanstiegs wird aus dem Spektrum die Oberflächentemperatur der Nova abgelesen; sie bestimmt (wie bei allen Ster-

nen) die Leuchtkraft pro cm^2. Die totale Leuchtkraft ist bekannt, wenn die Grösse der Oberfläche oder also der Radius des Sterns ermittelt werden kann. Dies geschieht in unserem Falle so: Das relative (multiplikative) Anwachsen des Radius wird durch den Helligkeitsanstieg angezeigt; das differentielle Anwachsen (die Aufblähgeschwindigkeit) ist in km/sec aus der Doppler-Verschiebung der Spektrallinien abzulesen; durch Kombination erhält man den Sternradius direkt in km zu jedem Zeitpunkt. — Statt aus Temperatur und Oberfläche wird die absolute Helligkeit indessen häufiger aus scheinbarer Helligkeit und Entfernung ermittelt. Die Entfernung kann gelegentlich abgeschätzt werden aus der Intensität der interstellaren Linien oder aus ihrer Doppler-Verschiebung infolge der Rotation des Milchstrassensystems. Beide sind ein ungefähres Mass für die Länge des Lichtweges von der Nova durch das interstellare Gas bis zu uns. Eine genauere Entfernungsbestimmung ist möglich — freilich erst Jahre nach dem Ausbruch —, wenn die abgestossene Gashülle rings um die Nova sichtbar wird. Ihre Ausdehnungsgeschwindigkeit kann dann gemessen werden, einerseits radial auf uns zu (in km/sec, aus der Doppler-Verschiebung des Spektrums), anderseits lateral (in Bogensekunden pro Jahr, durch Vergleichungen lange nacheinander aufgenommener Bilder). Weil damit eine Strecke in der Gashülle (z. B. die Ausdehnung pro Jahr) in km bekannt ist, und zugleich auch der Winkel, unter dem sie uns erscheint (in Bogensekunden), so ist ihre Entfernung sofort zu errechnen. In der Praxis ist die Methode freilich nicht ganz so einfach wie in der Theorie, vor allem da kugelsymmetrische Ausdehnung der Hülle vorausgesetzt wird; aber mit Vorsicht angewandt ist sie wohl doch die zuverlässigste. — Bei der Nova Persei 1901 wurde bald nach dem Ausbruch das Aufleuchten schon an Ort und Stelle vorhandener interstellarer Materie rings um den Stern beobachtet, und man errechnete aus der scheinbaren Ausbreitungsgeschwindigkeit jenes «Lichtsignals» die Entfernung der Nova von uns. Das Resultat erwies sich später — als die wirkliche, expandierende Novahülle vermessen werden konnte — als viel zu klein. In einer sehr schönen analytisch-geometrischen Arbeit wies Paul Coudere darauf hin, dass natürlich nur in einer senkrecht zu unserer Blickrichtung stehenden Ebene, die die Nova selber enthält, das Lichtsignal sich tatsächlich transversal ausbreitet, dass dagegen in einer weit vor oder hinter dem Stern plazierten flachen Schicht von Materie der Abstand je zweier Punkte grösser ist als die Differenz ihrer Abstände von der Nova, und dass daher das «Signal» (das in Wirklichkeit gar nicht in der Schicht drin läuft) sich mit Ueberlichtgeschwindigkeit seitlich auszubreiten scheint [15]).

Es ist auf keinen Fall leicht, für die Novae in unserer eigenen Galaxie sichere Entfernungen und Leuchtkräfte zu bestimmen, besonders da sie alle entlang der Milchstrasse erscheinen, in Gebieten mit kräftiger interstellarer Absorption. Die Beobachtung der Novae in benachbarten Galaxien, mit den grossen Teleskopen, versieht uns

mit zuverlässigeren statistischen Mustern. — Buscombe und de Vaucouleurs dehnten in Australien ihre Untersuchungen auf die Magellanschen Wolken aus. Sie fanden u. a., dass die absoluten Lichtkurven sonst ganz verschiedenartiger Novae 15 Tage nach dem Maximum bemerkenswert nahe zusammentreffen: $\overline{M}_{15d} = -5.2 \pm 0.1$ [16]). Mit dem 60-Zöller auf Mt. Wilson hat Arp während zweier Halbjahre den Andromedanebel sorgfältig überwacht und hat zu Hubbles früheren 108 Novae 30 weitere gefügt, über die er kürzlich genauen Bericht erstattete [17]). Er fand die gleiche Mannigfaltigkeit der Lichtkurvenformen wie bei den galaktischen Novae und unterscheidet zwei Gruppen mit M_{max} um —6.7 und um —8.2. Dies sind durchaus normale Werte auch für galaktische Novae. Ferner fand Arp bestätigt, wenigstens qualitativ, dass zwischen der absoluten Helligkeit im Maximum und der Entwicklungsgeschwindigkeit eine gewisse Korrelation besteht. Die schnelleren Novae erreichen im allgemeinen grössere Leuchtkraft [18]).

Einige sehr schwache Novae in unserer Milchstrasse, z. B. Nova Sagittae 1913 und 1946, für die $M_{max} = +3.7$ bestimmt wurde, und Nova Lyrae 1919, mit $M_{max} = +2.4$, haben zur Frage Anlass gegeben, ob nicht etwa eine besondere Klasse von «Subnovae» oder «Zwergnovae» existiere. Die beiden genannten Sterne sind während des Minimums (d. h. zwischen ihren Ausbrüchen) praktisch weisse Zwerge, während die meisten übrigen Novae im Hertzsprung-Russell-Diagramm im wenig bevölkerten Gebiet zwischen hellen, heissen Hauptreihensternen und weissen Zwergen liegen. Es ist denkbar, dass eine Folge von vielen Nova-Ausbrüchen aus einem dazu geeigneten mehr oder weniger normalen Stern nach und nach einen weissen Zwerg macht. — Wie gross die Masse einer typischen Nova sei, ist seit langem eine Streitfrage unter Spezialisten. Im Doppelstern-System von T Coronae borealis ist leider die Neigung der Bahnebene zur Sichtlinie unbekannt; aber an der Nova Herculis als einem Bedeckungsveränderlichen war zum ersten Mal eine vernünftige Abschätzung möglich. Walker fand eine erstaunlich geringe Masse, nämlich nur einige Tausendstel von derjenigen unserer Sonne. Da sich aber auch das Volumen als sehr klein erwies, so ist die mittlere Dichte in der Nova Herculis doch mehrfach grösser als in der Sonne [19]).

Wie der Ausbruch einer Nova erzeugt wird, ist im einzelnen noch wenig abgeklärt, doch sind die folgenden Betrachtungen den meisten modernen Theorien gemeinsam: Es darf heute als sozusagen gesichert angenommen werden, dass Sterne in fortgeschrittenem Alter sich zusammensetzen aus einem isothermen Kern, in dem aller Wasserstoff bereits in Helium umgesetzt ist, und einer Hülle, in der diese energieerzeugende Atomumwandlung noch vor sich geht. In kleinen, dichten Sternen in solchem Zustand befinden sich die an den Kern grenzenden Schichten in instabilem Gleichgewicht. Schon eine geringfügige, zufällige lokale Mehrproduktion von Energie kann wegen der grossen Opazität der Materie nicht mehr durch

Liste der helleren Novae

Erklärung S. 281 unten

Nova		m_{max}	M_{max}	d	A	t_3	Typ	Bemerkungen
η Carinae	1843	—1.0	—8.0	820	10.6		II	20 Jahre im Max.
Ophiuchi	1848	4			8.5	300	I	irreg. variabel
T Coronae borealis		2	—6.6	1700	8	6	s	rekurrent, 1866 u. 1946; irreg. var.; Doppelstern
Cygni	1876	3.0			11.8	11	s	irreg. variabel
Aurigae	1891	4	—5.3	2350	10.9	100	I	leicht variabel
Sagittarii	1898	4.9			11.6	20	s	
Persei	1901	0.2	—8.4	1700	12.8	13	s	irreg. variabel und periodisch
RS Ophiuchi		4.3	—5.6	3100	6.7	9	s	rekurrent, 1898 u. 1933; irreg. variabel
Geminorum	1903	5			11.5	17	s	
Lacertae	1910	4.3	—3.9	1410	10.0	37	s	konstant
Geminorum	1912	3.6	—6.0	2700	11.1	35	s	konstant
Aquilae	1918	—1.1	—9.1	1300	11.9	8	s	leicht variabel
Monocerotis	1918	5.7			9.4	21	s	
Cygni	1920	2.0	—8.9	4900	13.5	16	s	konst.; Postnova etwas heller als Praenova
Pictoris	1925	1.2	—8.1	2350	11.6	150	I	konstant
Herculis	1934	1.5	—7.1	1700	13.0	94	I	Bedeckungs-Veränderl. u. irreg. Schwankungen
Lacertae	1936	2.0	—8.5	4100	13.3	9	s	Praenova var.
Sagittarii	1936	4.5			10.5	9	s	
Monocerotis	1939	4.3	—5.7	3250	11.5	36	s	Praenova var.
Puppis	1942	0.4	—10.8	4700	>16.6	7	s	
Lacertae	1950	5.0	—7.0	5000		30	s	

Strahlung allein nach aussen abgeleitet werden, sondern erhöht die Temperatur an Ort und Stelle, und dies wiederum verstärkt die Energieerzeugung. Die Nova «lädt sich auf», bis schliesslich in der Druckverteilung eine Diskontinuität entsteht, die sich als Schockwelle sehr schnell nach allen Richtungen fortpflanzt [20]). Sie jagt die oberste Schicht des Sterns weg, und zwar als eine mehr oder weniger unsymmetrische Hülle, je nach der Lage der ursprünglichen Explosionsstelle. Es ist auch denkbar, dass die Schockwelle, sobald sie in tiefere Schichten gelangt, dort weitere energisch verlaufende Reaktionen auslöst, die erst die Hauptexplosion erzeugen [21]).

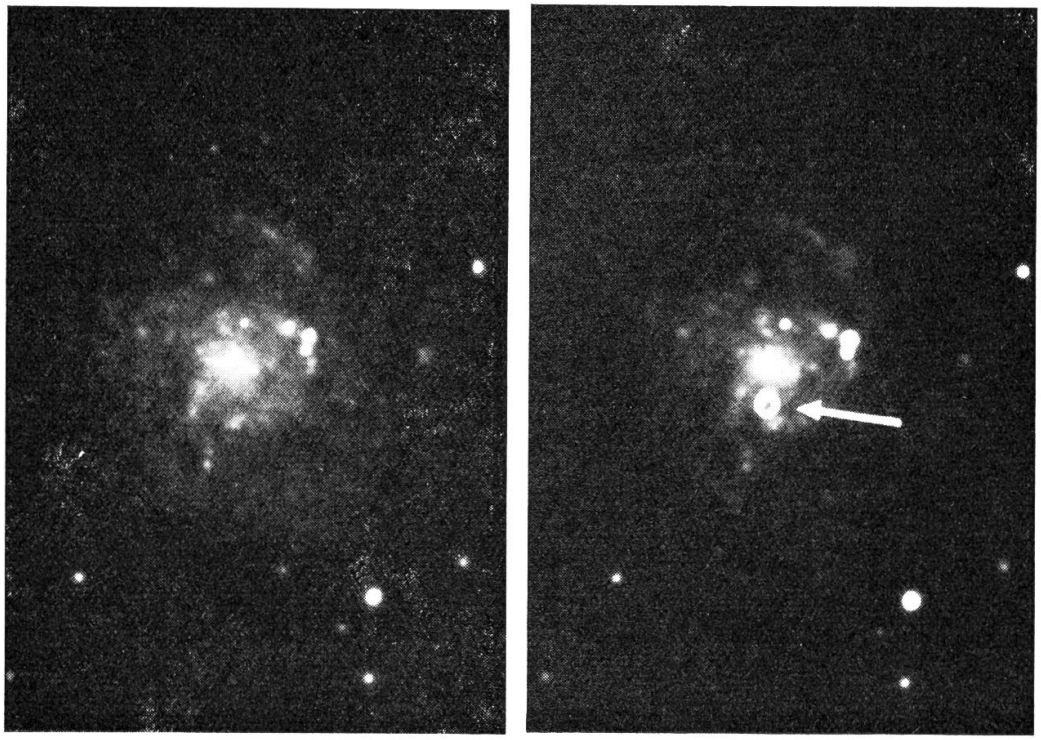

Abb. 4
Supernova in NGC 5668. Links Aufnahme von 1950, rechts Mai 1954
(Photos National Geographical Society — Palomar Sky Survey)

4. Liste der helleren Novae.

Die nebenstehende Liste aller helleren Novae seit rund hundert Jahren ist im wesentlichen einer ausführlichen Arbeit von Bertaud entnommen [13]). m_{max} und M_{max} bedeuten die scheinbare und die absolute Helligkeit im Lichtmaximum. d ist die Entfernung von uns (in Lichtjahren), A die Amplitude (in Grössenklassen) (mit der die Helligkeiten im Normalzustand errechnet werden können). t_3 gibt die Zeit an (in Tagen), die die Nova benötigte, um vom Maximum drei Grössenklassen schwächer zu werden. Typ: l bedeutet «langsam», s «schnell». Die zusätzlichen Bemerkungen beziehen sich grösstenteils auf die Postnova.

5. Supernovae. Planetarische Nebel.

Eine helle gewöhnliche Nova im Andromedanebel erreicht etwa die 16. Grössenklasse. Aber im Jahre 1885 erschien nahe dem Zentrum des Nebels ein Stern 5. Grösse, S Andromedae. Als von etwa 1920 an auch in viel ferneren, schwächeren Galaxien Sternexplosionen beobachtet wurden, stand es schliesslich fest, dass es ausser den gewöhnlichen Novae noch eine besondere Kategorie von sehr viel helleren gebe. Sie werden Supernovae genannt (Abb. 4). Ihrer rund fünfzig sind bis heute photographiert worden, wovon etwa zwanzig von Prof. Zwicky und seinen Assistenten mit der 18-Zoll-Schmidt-Kamera auf Palomar entdeckt wurden. Zwei verschiedene Typen von Supernovae sind erkannt: Typus I mit absoluten Maximumshelligkeiten von etwa —15 bis —18 (d. h. rund zehntausend mal so hell wie eine gewöhnliche Nova), und Typus II von mässigerer Leuchtkraft (etwa —10 bis —13) [22]. Die Spektren vom Typ II ähneln denjenigen gewöhnlicher Novae mit hohen Expansionsgeschwindigkeiten, weisen aber zudem besonders kräftiges kontinuierliches Licht im Violetten und Ultravioletten auf. Typ I-Supernovae sind eher gelbe Sterne. In ihren Spektren reiht sich ein breites Lichtband dicht ans andere; und es ist bis heute nicht sicher, ob sie prinzipiell als Emissions- oder als Absorptionsspektren zu betrachten sind. Zeitliche Veränderungen in diesen Spektren sind nicht so drastisch wie bei gewöhnlichen Novae. Dafür verliefen sie in allen beobachteten Fällen so strikte identisch, dass ihr Erforscher Minkowski mehrere Male kurz nach einer Entdeckung imstande war, das bereits vergangene Datum des Lichtmaximums korrekt anzugeben. (Neue Sterne können oft nachträglich auch auf zufälligen Aufnahmen aus der Zeit vor der Entdeckung gefunden und vermessen werden. So war es z. B. Dr. E. Leutenegger in Frauenfeld beschieden, die früheste Aufnahme einer besonders hellen und gut studierten Supernova vom Jahre 1937 zu besitzen.)

Die Helligkeiten aller Supernovae vom Typ I, die genügend lange zu beobachten waren, schwanden nach dem ersten Abklingen der Explosion streng exponentiell dahin, mit einer Halbwertszeit von etwas mehr als 50 Tagen. Eine moderne, ordentlich begründete Hypothese macht dafür den radioaktiven Zerfall des Transuran-Elements Californium, Cf 254, verantwortlich, welches auf der Erde zum ersten Mal vor einigen Jahren in den Rückständen einer Atombombe gefunden wurde [29].

Unsere Kenntnis vor allem der frühen Phasen eines Supernova-Ausbruches ist noch sehr unvollständig. Eine neue, mehrjährige, photographische Suche nach Supernovae in einigen hundert nahen Galaxien ist im Gange an ein paar amerikanischen Sternwarten und am Astronomischen Institut der Universität Bern, wo bereits ein

erster, anspornender Erfolg zu verzeichnen war (s. «Orion» Nr. 56). Die beste Chance, mehr über Supernovae zu lernen, wäre uns freilich geboten, wenn in unserer eigenen Milchstrasse eine aufflammte. Nach Zwickys Statistik sollte dies im Mittel rund alle drei Jahrhunderte geschehen [23], [24]. Die letzten «eigenen» Supernovae, die

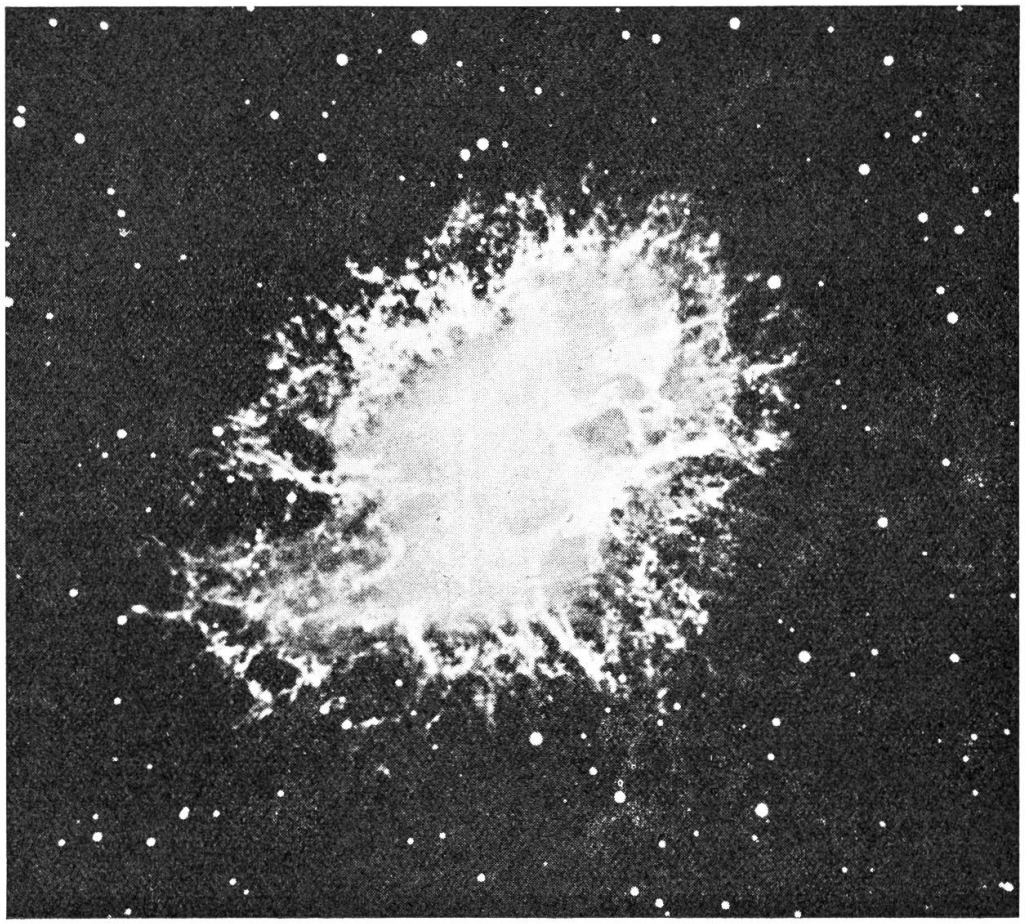

Abb. 5
Krebs-Nebel M 1 im Sternbild Stier

uns bekannt sind, waren Keplers Nova in Ophiuchus, 1604, und Tycho Brahes berühmter Stern von 1572, der in der Cassiopeia stand und selbst am hellen Tage strahlte wie Venus. Ebenso war der helle «Gaststern», den chinesische Chronisten im Jahre 1054 im Sternbild des Stiers aufzeichneten, eine Supernova. Ihre Explosion erzeugte den sonderbaren «Krebsnebel», Messier 1, der sich noch heute mit unverminderter Geschwindigkeit ausdehnt [25] (Abb. 5). Er ist eine kräftige Radioquelle; dies, sowie die kürzlich entdeckte Tatsache, dass an einzelnen Stellen sein Licht fast vollständig polarisiert ist, dürfte einiges beitragen zur Kenntnis der physikalischen Natur der Supernovae [26] [27].

Die Vermutung ist oft in allgemeiner Form ausgesprochen worden, dass die planetarischen Nebel (wie z. B. der Ringnebel, der Hantelnebel, der Eulennebel) durch Nova-Explosionen entstanden seien. Den Haupteinwand gegen diese Hypothese bieten die sehr ungleichen Ausdehnungsgeschwindigkeiten der beiden Arten von Objekten: Novahüllen um die 1000 km/sec, planetarische Nebel um 20 km/sec. Man darf sich auch kaum die planetarischen Nebel als alte Novahüllen vorstellen, die durch die interstellare Materie gebremst worden sind, denn die Beobachtung zeigt, dass gerade die äussersten Schichten am schnellsten laufen. Sodann beträgt die Masse eines durchschnittlichen planetarischen Nebels etwa $^1/_{10}$ Sonnenmasse, also rund tausendmal mehr als diejenige einer gewöhnlichen Novahülle [28]). — Von den drei erwähnten Supernovae in unserer Milchstrasse hat nur die älteste einen hellen Nebel hinterlassen. Tycho Brahes Stern ist spurlos verschwunden, und an der Stelle von Keplers Nova steht bloss ein ganz unscheinbares Wölkchen [26]). Aber auch der Krebsnebel ist, nach seiner feinen, wirren inneren Struktur und wegen seiner grossen Expansionsgeschwindigkeit, kein typischer planetarischer Nebel. Hingegen stimmt es wieder, dass die Zentralsterne der planetarischen Nebel von der Art der Novae im Minimum sind, nämlich klein, blau, heiss.

Wir wissen zwar noch nicht, was die Novae und die Supernovae aufleuchten lässt und wie die planetarischen Nebel entstehen; aber es ist wahrscheinlich, dass all diese Vorgänge irgendwie miteinander in Beziehung stehen, und dass wir sie bald einmal sicher in das allgemeine Bild der Sternentwicklung werden einordnen können, dessen erste sinnvolle Konturen die Astronomen seit einigen Jahren zu erahnen glauben.

6. Literatur.

a) *Allgemeines*

Bestens zu empfehlen ist als Einführung: «The Story of Variable Stars», von L. Campbell und L. Jacchia (Harvard Books on Astronomy, Blakiston Co., Philadelphia, 3. Aufl. 1946). «Variable Stars» von C. P. & S. Gaposchkin (Cambridge, 1938) ist ein sehr gutes, ausführliches Werk. Beide Bücher enthalten ein langes Kapitel über Novae und Supernovae.

Die ausgezeichneten Abhandlungen von D. B. Mc Laughlin in «Popular Astronomy» sind unter den nachfolgenden speziellen Hinweisen erwähnt. Ein anderer unermüdlicher Erforscher der neuen Sterne ist Ch. Bertaud in Meudon. Aus seiner Feder stammen einige gut verständliche, zusammenfassende Artikel in «L'Astronomie» [*66*, 227, 281 (1952); *64*, 177 (1950)].

Die grösste Fülle von speziellen Daten ist zusammengetragen im umfangreichen Werk «Gasnebel und Neue Sterne» von R. A. Woronzow-Weljaminow (Moskau, 1948), wovon 1953 eine deutsche Uebersetzung im Verlag Kultur und Fortschritt, Berlin, erschienen ist. Die Lektüre ist leider beeinträchtigt durch eine gehässige politische Einleitung und ein ähnliches Schlusswort.

b) *Spezielle Hinweise im Text*

1. D. B. Mc Laughlin, Pop. Astr. *47*, 410, 481, 538 (1939).
2. D. B. Mc Laughlin, Pop. Astr. *58*, 50 (1950).
3. D. B. Mc Laughlin, Ap. J. *95*, 428 (1942).
4. W. Grotrian, Z. f. Aph. *13*, 215 (1937).
5. D. B. Mc Laughlin, Pop. Astr. *56*, 459 (1948).
6. M. F. Walker, PASP *66*, 230 (1954).
7. M. F. Walker, PASP *67*, 262 (1955).
8. O. Struve, Sky and Telescope *14*, 275 (1955).
9. M. L. Humason, Ap. J. *88*, 228 (1938).
10. L. Biermann, Z. f. Aph. *18*, 344 (1939).
11. C. Lönnqvist, Lund Obs. Circular *7*, 135 (1932).
12. Ch. Bertaud, Ann. d'Aph. *14*, 199 (1951).
13. Ch. Bertaud, Ann. d'Aph. *11*, 1 (1948).
14. A. A. Wachmann, Z. f. Aph. *35*, 74 (1954).
15. P. Couderc, Ann. d'Aph. *2*, 271 (1939).
16. W. Buscombe and G. de Vaucouleurs, Observatory *75*, 170 (1955).
17. H. C. Arp, Astronomical Journal *61*, 15 (1956).
18. D. B. Mc Laughlin, PASP *57*, 69 (1945).
19. M. F. Walker, PASP *67*, 262 (1955).
20. L. E. Gurevitch and A. I. Lebedinsky, IAU-Symposium No. 3, S. 77 (Dublin, 1955).
21. Z. Kopal, in «Vistas in Astronomy», Vol. II, S. 1491.
22. R. Minkowski, PASP *53*, 224 (1941).
23. F. Zwicky, Ap. J. *88*, 529 (1938).
24. F. Zwicky, Ap. J. *96*, 28 (1942).
25. W. Baade, Ap. J. *96*, 188 (1942).
26. W. Baade and R. Minkowski, Ap. J. *119*, 215 (1954).
27. J. H. Oort and Th. Walraven, Bull. Astr. Inst. Netherlands *12*, 285 (1956).
28. R. Minkowski, Ap. J. *107*, 106 (1948).
29. Baade, Burbidge, Hoyle et al., PASP *68*, 296 (1956).

Abkürzungen der Zeitschriften:

Ann. d'Aph. = Annales d'Astrophysique
Ap. J. = Astrophysical Journal
PASP = Publications of the Astronomical Society of the Pacific
Pop. Astr. = Popular Astronomy
Z. f. Aph. = Zeitschrift für Astrophysik

Résumé

Le nombre annuel des Novae dans notre Galaxie est d'une trentaine, mais on en découvre effectivement beaucoup moins. Les Novae sont probablement de petites étoiles denses et très chaudes, dont la structure interne instable provoque des explosions intermittentes, à de longs intervalles. L'éclat croît alors très rapidement dans la proportion de 1 à 10 000 ou 100 000, puis décroît à nouveau pour reprendre exactement, au bout de plusieurs années, sa valeur primitive. Selon la durée de la phase décroissante et l'allure de la courbe d'éclat on distingue plusieurs types de Novae, notamment les Novae rapides et les Novae lentes (fig. 2). Le spectre montre l'alternance rapide de raies d'émission et d'absorption formant des séries complètes. L'analyse de ces raies et de leur décalage par effet Doppler prouve que la Nova, au cours d'une explosion, expulse plusieurs

couronnes gazeuses qui se propagent dans tous les sens (fig. 1). Ces couronnes ont été directement observées sur toutes les Novae brillantes, quelques dizaines d'années après l'explosion (fig. 3). La mesure de leur vitesse d'expansion fournit une détermination sûre de la distance des Novae. La masse de la matière expulsée est faible (1/10 000 à 1/1 000 de la masse de l'étoile), et l'énergie ainsi dilapidée est peu de chose en regard de l'énergie totale. La structure de l'astre en est peu affectée, et il sera prêt à récidiver après un laps de temps plus ou moins long. De fait, on connaît plusieurs «Novae récurrentes». De même, il y a de nombreuses «variables novoïdes»; leur période et leur amplitude obéissent à une relation intéressante. Quelques Novae remarquables sont décrites plus en détail.

Le présent article se termine par un bref résumé de nos connaissances sur les Supernovae. Celles-ci sont de deux types. Les plus faibles (type II) présentent une certaine analogie avec les Novae ordinaires les plus fortes. Les plus brillantes, par contre (type I), ont un rayonnement environ 10 000 fois plus intense que les Novae ordinaires (fig. 4), et l'origine de leur spectre, composé de bandes larges, demeure mystérieuse. Pour toutes les Supernovae du type I observées jusqu'ici, la décroissance de l'éclat, après la fin de l'explosion proprement dite, suit une loi strictement exponentielle. Cela semble imputable à un processus de désintégration radioactive. On évalue le nombre des Supernovae par galaxie à 1 tous les 300 ans environ. Des trois spécimens connus dans notre Galaxie, une seule, celle de 1054, a laissé un résidu remarquable: c'est la nébuleuse du Crabe, dans la constellation du Taureau (fig. 5). Ce n'est pas une nébuleuse planétaire typique; ces dernières se distinguent par bien des points, malgré les ressemblances, des enveloppes de Novae.