

Fritz Zwicky's Pionierarbeiten in der Astronomie : Vortrag an der Tagung der Fritz- Zwicky-Stiftung, Glarus, 14. November 1998

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

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **57 (1999)**

Heft 291

PDF erstellt am: **24.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-898235>

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.

Fritz Zwicky's Pionierarbeiten in der Astronomie

Vortrag an der Tagung der Fritz-Zwicky-Stiftung, Glarus, 14. November 1998

PAUL WILD



Fig. 1: Prof. FRITZ ZWICKY (1898-1974) in seinem Büro im California Institute of Technology, Pasadena. (Photo: Caltech-Archiv)

Prof. FRITZ ZWICKY (Fig. 1), dessen 100. Geburtstag wir am 14. Februar dieses Jahres in seiner Heimatgemeinde Mollis gefeiert haben, ist am Hauptort seines Lebens und Wirkens, in Pasadena, im Februar 1974 gestorben. Dass er auch heute noch sehr viel erwähnt und zitiert wird, hat mehrere Gründe, vor allem: sehr eigenwillige (und daher legendenträchtige) Persönlichkeit; grossen Ideenreichtum, Breit- und Weitblick in mehreren Wissenschaften, Intuition für Zusammenhänge; striktes, allgemein anwendbares Denk- und Forschungssystem («Morphologie»).

Ich möchte hier einige bedeutende Entwicklungen in der Astronomie skizzieren, die er ausgelöst oder doch wesentlich mitbestimmt hat.

ZWICKY kam 1925 als Physiker ans California Institute of Technology («Caltech») nach Pasadena und geriet dort bald in den Anziehungsbereich der damals grössten Sternwarte, auf Mount Wilson, wo kurz zuvor HUBBLE und seinen Mitarbeitern die ersten eindeutigen Entfernungsmessungen zu einigen anderen Milchstrassen (Galaxien) gelungen waren. 10 Jahre später konnte man

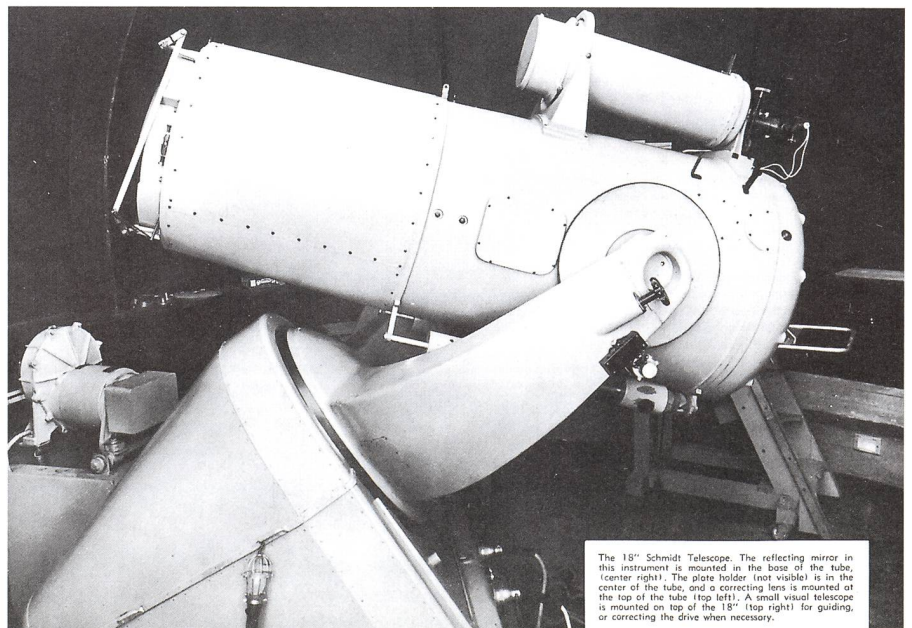
die Distanzen schon zu rund 100 Galaxien und hatte auch festgestellt (durch Frequenzmessung ihres Lichts), dass sie alle von uns wegfliegen, d.h. dass der

Weltraum sich fortzu ausdehnt. Noch relativ wenig wusste man aber von der Verteilung der Galaxien im Raum. ZWICKY mokierte sich über die «Schlüssellochguckerei» durch die grossen Teleskope mit ihren sehr engen Gesichtsfeldern und forderte den Einsatz von Weitwinkel-Himmelskameras. Von seinem Kollegen WALTER BAADE erfuhr er, dass der Optiker BERNHARD SCHMIDT in der Hamburger Sternwarte just so etwas erfunden und konstruiert hatte – und nun ruhte ZWICKY nicht, bis desgleichen in Pasadena gebaut und dann (1936) auf Palomar Mountain installiert wurde, als allererstes Instrument der dort geplanten grossen Sternwarte. Mit dieser 18-Zoll (45 cm) – Schmidtkamera (Fig. 2) entdeckte er zahlreiche *Haufen von Galaxien* – nahe und ferne, schön sphärische und solche von komplexerer Struktur. Schon sehr bald formulierte er prägnant einige fundamentale Befunde:

1. Sozusagen alle Galaxien gehören zu Haufen.
2. Die reichsten sphärischen Haufen sind alle nahezu gleich gross (gemessen z. B. in Galaxien-Durchmessern).
3. In reichen Haufen bleiben die grössten Galaxien ziemlich eng um die Mitte geschart, während die kleinen bis an den Rand hinaus laufen (Fig. 3).
4. In manchen Haufen sind die (spektroskopisch gemessenen) Umlaufgeschwindigkeiten der Galaxien so hoch, dass man auf den ersten Blick glaubt, der Haufen müsse sich auflösen (Fig. 4).

Zu 3) : Solche räumliche Trennung (sog. Segregation) der grossen und der kleinen Massen deutet auf hohe Stabili-

Fig. 2: Die 18-Zoll-Schmidt-Kamera auf Palomar Mountain, mit der Prof. Zwicky seine bedeutsamsten Entdeckungen machte. (Copyright (1948) by Frye & Smith Ltd., San Diego/Calif.)



The 18" Schmidt Telescope. The reflecting mirror in this instrument is mounted in the base of the tube, (center right). The plate holder (not visible) is in the center of the tube, and a correcting lens is mounted at the top of the tube (top left). A small visual telescope is mounted on top of the 18" (top right) for guiding, or correcting the drive when necessary.

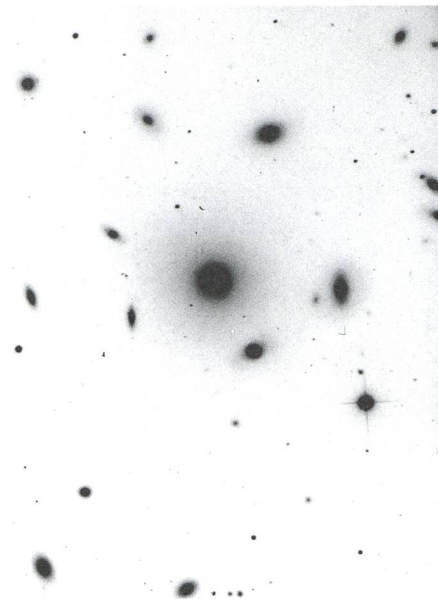


Fig. 3: Das Zentralgebiet des grossen Galaxienhaufens in Coma Berenices. (Photo ?)

tät dieser Haufen hin (und kommt fast sicher nur in *sehr* langer Entwicklungszeit zustande; ZWICKY hielt das für ein Argument *gegen* einen «Urknall» des Universums vor «bloss» 10-20 Milliarden Jahren).

Zu 4) : Das «Auseinanderfliegen» eines Galaxienhaufens stünde im Widerspruch zu seiner im Punkt 3) bewiesenen Stabilität. Einzig die Anwesenheit von sehr viel schwerer, anziehender, aber nicht leuchtender Masse kann den Haufen trotz den hohen internen Geschwindigkeiten zusammenhalten. Seit etwa 20 Jahren weiss man überdies, dass die Galaxien auch unerwartet schnell um ihre eigenen Achsen rotieren (und zwar vor allem die äusseren Gebiete). Man schätzt, dass *mindestens zehnmal* mehr «unsichtbare» Masse vorhanden sein muss als sichtbare; aber *was* sie ist, das ist auch 60 Jahre nach ZWICKY's Alarmruf immer noch *obskur*. Sterne, die zwar kein Licht, aber doch länger- oder kürzerwellige Strahlung aussenden, findet man freilich (mit den entsprechenden modernen Detektoren), aber ihrer bei weitem nicht genug. Möglicherweise sind schon 90% aller einstigen Sterne restlos ausgebrannt und völlig erloschen. Weil das Universum aber (aus seiner Expansion abgeschätzt) noch gar nicht sehr viel älter ist als die «Lebensdauer» (Strahlungszeit) der meisten Sterne, müssten die allerersten Galaxien sehr viel mehr und massivere (sich schneller entwickelnde) Sterne umfasst haben als alle späteren (heute noch leuchtenden). Eine Alternative ist, dass die *obskure Materie* aus exotischen, noch gar nicht (oder erst

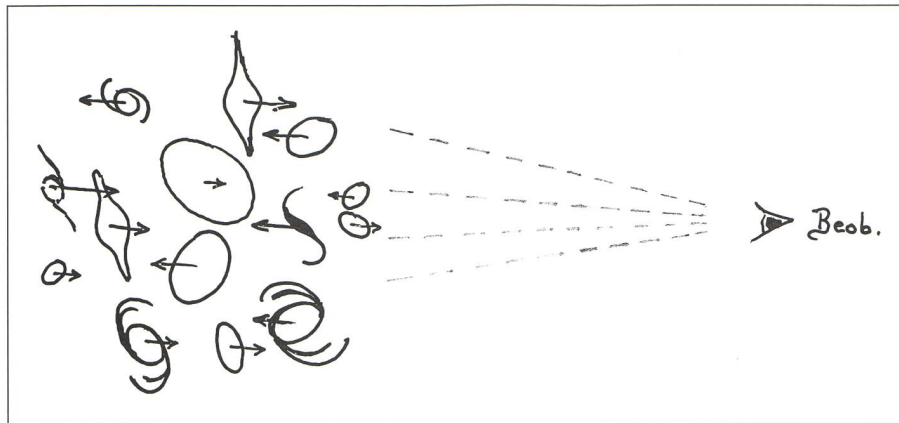


Fig. 4: Bewegung der Galaxien in einem Haufen: Die Geschwindigkeits-Komponenten auf uns zu oder von uns weg können auf Grund der Doppler-Verschiebungen in den Spektren bestimmt werden.

theoretisch) bekannten Masseteilchen besteht. Dann würde das von FRITZ ZWICKY einst aufgedeckte Rätsel weit über die Astronomie hinaus zu neuen fundamentalen Erkenntnissen in der Physik führen.

Es gibt Galaxien von sehr verschiedener Grösse und Leuchtkraft. HUBBLE war der Meinung, ihre Häufigkeiten seien ungefähr «normal» verteilt, mit dem Maximum bei *mittlerer* Leuchtkraft (Fig. 5). Als aber, vor allem mit Schmidt-Kameras, immer kleinere, immer schwächere Galaxien entdeckt wurden, behauptete ZWICKY, nach verallgemeinerten Prinzipien der statistischen Mechanik *müsse* in einem gegebenen, genügend grossen Raumvolumen die Anzahl der *Zwerggalaxien* bei weitem (expo-

Fig. 5: Relative Häufigkeiten der Galaxien verschiedener Leuchtkraft (sog. «Leuchtkraft-Funktion»), nach HUBBLE, nach HOLMBERG und nach ZWICKY. (Kopie aus F. ZWICKY, Morphological Astronomy)

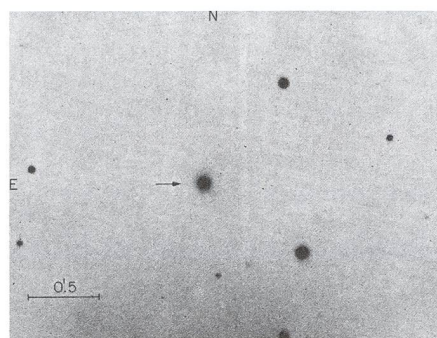
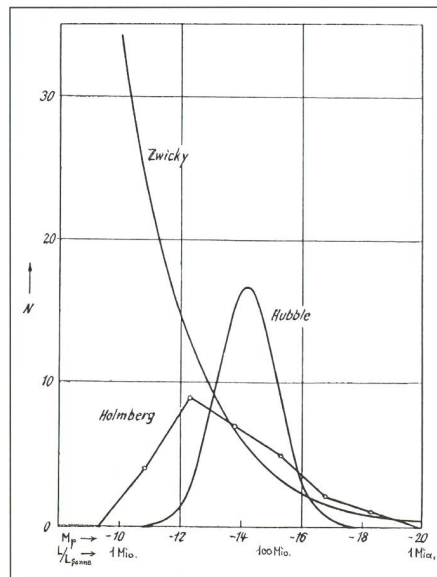


Fig. 6: Der Pfeil deutet auf eine kompakte Galaxie, die selbst in grossen Teleskopen sehr leicht für einen Vordergrundstern gehalten wird. (Photo: 200-Zöller, Palomar, F. ZWICKY)

nentiell) überwiegen. Heute findet man selbst in fernerer Haufen tatsächlich viele kleine, schwache Galaxien, und es wird klar, dass ZWICKY recht hatte, dank seinem vielbewährten Fingerspitzengefühl. Den wahren physikalischen Grund wird man aber wohl erst angeben können, wenn man dereinst die Entstehung von Galaxien und ihre Wechselwirkungen besser versteht. – In Gruppen und Haufen sind *grosse* Galaxien relativ eng benachbart, und da sie durch den Raum fliegen, sind streifende Begegnungen oder gar Durchdringungen unvermeidlich, ja gar nicht selten! Eine zentrale gegenseitige Durchdringung kann einige hundert Millionen Jahre dauern. (In der Presse las man neulich: «Im Sternbild ... sind letzten Mittwoch zwei Galaxien zusammengestossen»!). Die veränderte Anziehungskraft setzt Sterne in hellen Scharen in Bewegung, Spiralarm-Strukturen werden deformiert, sehr lange *Lichtbrücken* können entstehen. – ZWICKY's letzte grössere Publikation war ein Katalog von *kompakten Galaxien* (Fig. 6), die erst ein sehr geübtes scharfes Auge (direkt am 5m-Teleskop oder auf Schmidt-Aufnahmen) von Sternen

unserer Milchstrasse zu unterscheiden vermochte. Manche kompakte Galaxien sind eruptiv und stossen Zwerggalaxien aus. Heute besteht auch für den umgekehrten Vorgang viel Evidenz, nämlich für sogenannten «Galaxien-Kanibalismus»: unter günstigen (oder eher schlimmen?) Umständen verschlucken und «verdauen» grosse Galaxien kleinere, die mit ihnen in zu enge Berührung kamen. Geraume Zeit lang lassen sich noch «Skelettreste» (z. B. Spiralarme) der Opfer nachweisen. (Möglicherweise entstehen alle grossen Galaxien durch Zusammenschlüsse von vielen kleinen. Die allerfernsten heute beobachtbaren Galaxien sehen wir so, wie sie im zarten Alter von nur etwa 1 Milliarde Jahren waren – und sie scheinen, nach ersten Untersuchungen, noch nicht voll ausgewachsen zu sein).

In den 1950er-Jahren untersuchte ZWICKY auf den Photoplaten von der 48-Zoll (1.2m)-Palomar-Schmidt-Kamera die weiter entfernten Galaxienhaufen und versuchte, ihre räumliche Verteilung zu ermitteln. Er fand, dass die grossen Haufen ohne noch grössere, übergeordnete Strukturen den Weltraum füllen. Zur selben Zeit kam GEORGE ABELL, damals Doktorand, aus weitgehend dem gleichen Beobachtungsmaterial (aber mit einer etwas anderen statistischen Methode) zum Schluss, dass es doch Haufen von Haufen gebe. ZWICKY und ABELL debattierten an mehreren Astronomen-Tagungen leidenschaftlich, wortgewaltig, ausgiebig, und konnten sich nicht einigen. (Zum Teil stritten sie um Definitionen). Heute, da beide schon lange gestorben sind, erweist es sich, dass keiner recht hatte. Die Galaxienhaufen

Fig. 7: «Netzstruktur» der räumlichen Verteilung der Galaxien mit Deklination +20° bis +45°, bis ca. 1. Milliarden Lichtjahre Entfernung.
(Copyright by J. HUCHRA, *Astronomical Journal* 112, 1996)

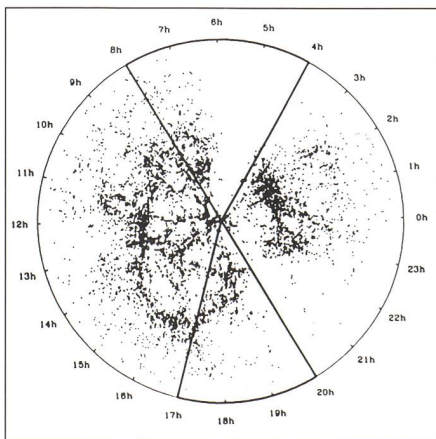


Fig. 8: Galaxienhaufen als Gravitationslinse. Die vielen schmalen Lichtbögen sind von der Schwerkraft des grossen Galaxienhaufens verzerrte Bilder ferner Hintergrund-Galaxien.
(Bild: Hubble-Weltraumteleskop)

sind weit seltsamer angeordnet (Fig. 7): in Strängen und «Vorhängen» oder Wänden rings um grosse beinahe leere Räume. Neuestens scheint es, dass diese grossen «Löcher» offenbar doch wenigstens Zwerggalaxien enthalten (als künftige «Bausteine»?). Und besonders interessant wäre es natürlich, herauszufinden, ob auch die rätselhafte obscure Materie vorhanden sei!

Ein anderes, aber verwandtes Kapitel, das ZWICKY sehr beschäftigte, ist das der sog. *Gravitationslinsen*. Materiemassen ziehen nicht nur Materie an, sondern lenken auch Strahlung (die ja masselos ist) bei nahem Vorbeiflug aus ihrer anfänglichen Bewegungsrichtung etwas ab. Seit langem ist das eindeutig nachgewiesen an Lichtstrahlen und an Funksignalen, die nahe am Sonnenrand vorbei zu uns kommen. Um 1930 berechnete EINSTEIN, wie das Bild eines fernen Sterns aussieht, der genau (oder fast genau) von einem näheren Stern bedeckt wird. Dieser wirkt als «Gravitationslinse», und ein Beobachter innerhalb eines bestimmten Abstandsberreichs sieht ein unscharf fokussiertes Bild des Hintergrundsterns in Form eines mehr oder weniger vollständigen Ringes. (Analoges beobachtet man, wenn man durch ein Weinglas senkrecht von oben einen markanten dunklen Tupfen auf einer Unterlage betrachtet und das Glas sorgfältig nach oben abhebt und/oder seitlich verschiebt). EINSTEIN bemerkte freilich selber, dass solche Gravitationsbilder von und an Sternen, ihres winzigen Winkeldurchmessers wegen ($\approx 1/100''$), kaum beobachtbar wären. In der Folge machte ZWICKY darauf aufmerksam, dass ja Bedeckungen von grossen Gebilden wie Galaxien und Galaxienhaufen unendlich viel häufiger und erkennbarer seien als gegenseitige

Bedeckungen von einzelnen Sternen (Fig. 8). Er hoffte sehr, mit der Gravitationslinsen-Wirkung von Galaxienhaufen deren unerwartet grosse Massen unabhängig bestätigen zu können. Ich vergesse nie, wie oft er sein Erstaunen und seine Enttäuschung äusserte, dass nirgends solche Zerrbilder fernster Galaxien zu entdecken waren. Wenige Jahre nach seinem Tod kamen die ersten zum Vorschein – und seither fortzu mehr und immer schönere (bloss weniger hell als einst erwartet). Und fast ironischerweise sind nun in jüngster Zeit tatsächlich auch einzelne Sterne als Gravitationslinsen doch noch aktuell geworden. Allerdings wird dabei nicht die Form und Grösse des Bildes gemessen, sondern die durch den vorüberziehenden Linsenstern bewirkte charakteristische Helligkeitsschwankung registriert. Auf ein paar ausserordentlich sternreiche Felder der Milchstrasse (und der Grossen Magellanschen Wolke) sind ständig Teleskope gerichtet, die vollautomatisch Nacht für Nacht die Helligkeiten von einigen Millionen Sternen sehr genau überwachen, und bereits sind einige Dutzend dieser sog. «Mikrolinsen-Ereignisse» offenbar geworden. Auch daraus erhofft man sich natürlich vor allem neue Fahrten für die Jagd auf die obscure Materie.

Auf den Schluss habe ich aufgespart, was ZWICKY's wissenschaftlichen Ruhm am frühesten und festesten begründet hat: die *Supernovae*. Seit jeher werden Sterne, die unerwartet an einem Himmelspunkt aufleuchten, wo vorher «nichts» zu sehen war, *stellae novae* genannt. Sie sind allerdings keineswegs neu, sondern befinden sich im Gegenteil in den Endstadien ihrer inneren Entwicklung. Von den vielen Milliarden Sternen unserer Milchstrasse leuchten

jährlich ein bis zwei Dutzend Novae auf (doch ist darunter nur alle paar Jahre eine uns nahe genug, dass wir sie von blossen Auge sehen können). Aus früheren Jahrhunderten haben wir aber Kenntnis von einigen sehr viel helleren, die wochen- oder monatelang sogar am Taghimmel zu sehen waren. Diese müssen im Lichtmaximum rund 1 Milliarde Sonnenleuchtkräfte erreicht haben. (Leuchtkraft ist absolute Strahlungsleistung; nicht zu verwechseln mit der Beleuchtungsstärke oder scheinbaren Helligkeit, die von der Entfernung abhängt). Sehr auffällige Novae werden von Zeit zu Zeit auch in Spiralnebeln fotografiert; und als man die grossen Entfernungen jener Sternsysteme (Galaxien) erkannte, konnte man abschätzen, dass jene Novae und die übermässig hellen in unserer Milchstrasse von gleicher Art sein müssen. ZWICKY und BAADE nannten sie Supernovae und wagten schon 1933 gleich drei Hypothesen:

1. Eine Supernova-Explosion zeigt das urplötzliche *Zusammenbrechen* eines zuvor normalen, aber massiven Sterns an.
2. Dabei entsteht ein sog. *Neutronenstern*, das ist ein sehr kleiner und so enorm dichter Körper, dass fast alle Protonen und Elektronen zu Neutronen zusammengepresst werden!
3. Aus Supernovae stammt der stete Fluss von Atomkernen und anderen Elementarteilchen, der in alle Richtungen durch den Weltraum strömt und *Kosmische Strahlung* genannt wird.

Zu 3) : Das ist bestimmt ein Teil der Wahrheit; wie stark aber auch andere Quellen zur Kosmischen Strahlung beitragen (zu ihrer Erzeugung *und* Beschleunigung), ist selbst heute noch keineswegs klar.

Zu 1) und 2) : Diese Hypothesen waren damals recht kühn. Man wusste ja noch nicht einmal für sicher, dass die normale Sternstrahlung aus Atomkernfusionen stammt. Klar war hingegen, dass ein stabil leuchtender Stern in perfektem Gleichgewicht ist zwischen der Schwerkraft seiner Masse (die ihn zusammenziehen möchte) und dem Druck ebenderselben Masse heissen Gases (der ihn auszudehnen strebt). Sobald nun der Brennstoffvorrat (was immer der sei) zu Ende geht, so gewinnt die Schwerkraft die Oberhand, und der Stern sinkt in sich zusammen. Unsere Sonne kann das dereinst langsam und mehr oder weniger ruhig tun; Sterne von wesentlich mehr Masse hingegen stürzen innert weniger Sekunden so weit zusammen, bis im Zentrum die Dichte des Gases ungefähr gleich Atomkerndichte wird (etwa eine Billiarde t/m^3). Die Energie, die bei dieser *Implosion* (von

rund 100'000 km Radius auf 10 km) frei wird, genügt für eine Supernova-Erscheinung. So rechneten ZWICKY und BAADE zu Recht; aber wie diese Energie verwandelt und aufgeteilt wird in Licht, in Ultraviolett-, Röntgen- und Gamma-Strahlung *und* in *Explosionswucht* der abgesprengten äusseren Sternschichten, das konnte man damals, vor 60 Jahren, höchstens ganz grob und unsicher vermuten. Erst heute sind angenähert realistische Computer-Simulationen von Sternexplosionen möglich.

1936-41 widmete sich ZWICKY ausdauernd (und oft ganz einsam) mit der kleinen Schmidt-Kamera auf Palomar der *Suche* nach Supernovae in den näheren Galaxien. Er entdeckte damals ihrer 14 (z.T. noch während ihres rapiden Lichtanstiegs). Sie zeigten alle fast genau gleichen Helligkeitsverlauf und gleiche Spektren. Es waren, was man heute Typ I – Supernovae nennt, und ironischerweise sind gerade diese nicht zuerst zusammenbrechende massive Sterne, sondern sogleich thermonuklear (wie Atombomben) explodierende «Weisse Zwerge». 1954 wurde die Suche nach langem Unterbruch wieder aufgenommen und unter ZWICKY's Leitung international organisiert. Unsere Sternwarte in Zimmerwald nahm bis vor kurzem daran teil und trug 49 Entdeckungen bei. – Typ II – Supernovae, die nach dem ZWICKY-BAADE'schen Modell zusammenkrachen und Neutronensterne bilden, wurden bald auch entdeckt und sind etwa gleich häufig wie Typ I, aber individuell sehr unterschiedlich. Zu ZWICKY's grosser Freude wurde (seit 1968) in vielen Supernova-II-Überresten der zentrale Neutronenstern (aktiv als «Pulsar») tatsächlich gefunden. Leider nicht mehr erlebt hat ZWICKY den Ausbruch (im Februar 1987) der hellen (weil nahen) Supernova II in der Grossen Magellanschen Wolke; sie wurde zum grössten und aufschlussreichsten astronomischen Ereignis des Jahrhunderts.

Für die Kosmologen sind Supernovae heute eine ganz unentbehrliche Hilfe, vor allem bei der Bestimmung der grössten Entfernungen von Galaxien. Aber für uns alle – ohne Ausnahme – haben sie eine noch viel tiefere, ganz fundamentale Bedeutung. Die Urmaterie des Universums war etwa $\frac{3}{4}$ Wasserstoff- und $\frac{1}{4}$ Helium-Gas. Alle mittelschweren und schweren chemischen Elemente konnten erst in den zentralen Atomöfen der Sterne entstehen, und dort wären sie alle auf ewig begraben, wenn nicht wenigstens ein kleiner Teil der Sterne am Ende ihrer Entwicklung als Supernovae explodierten. Die dabei ausgeschleuderte Materie kollidiert mit dem überall zwischen den Sternen vor-

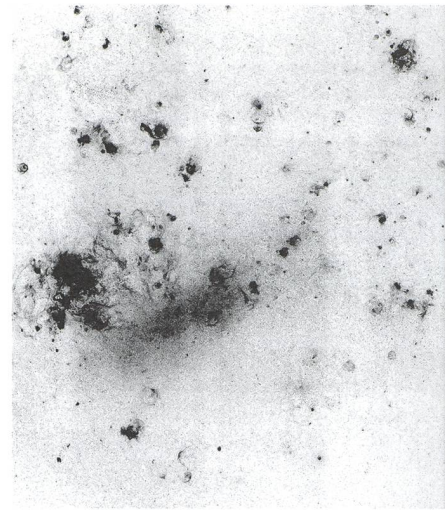


Fig. 9: $H\alpha$ -Aufnahme der Grossen Magellanschen Wolke. Diese mittelgrosse Nachbar-Galaxie enthält unzählige Emissionsnebel, ionisiert durch Stosswellen von schnell expandierenden Supernova-Hüllen oder von Gas, das aus jungen massiven Sternen ausströmt.

(Bild: Cambridge Atlas of Astronomy, S. 327)

handenen Gas, verwirbelt es und schiebt es da und dort zu Verdichtungen zusammen, aus denen später wirklich neue Sterne entstehen. Die Milchstrasse besteht seit 10-15 Milliarden Jahren; unsere Sonne (samt den Planeten und Kometen) entstand erst vor 4.5 Milliarden Jahren, also aus Gas, das schon rund 8 Milliarden Jahre lang mit Resten von Millionen von Supernovae vermischt und daher auch mit Spuren von allen schweren Elementen angereichert war. Von der Erde (klein und der warmen Sonne nahe) ist schon sehr früh ein gut Teil der leichteren Elemente entwichen; die mittelschweren und schweren hingegen blieben da – unter ihnen alle, die unentbehrlich sind für die Entstehung von Leben (besonders C, O, N) und Stoffe bilden für die Entfaltung menschlicher Tätigkeiten (Pflanzen, Steine, Metalle, usw.). Ohne Supernovae wäre das ganze Universum wohl völlig bar jeglichen Bewusstseins – gar nichts würde im eigentlichen Sinne existieren.

PAUL WILD

Muesmattstrasse 17, CH-3012 Bern

Erratum Orion 290

■ Im Artikel «Protuberanzen» (S. 21) sind die beiden Bilder der Figuren 1 und 2 zu vertauschen.

DIE REDAKTION