

Sitzungsberichte der
Akademie der Wissenschaften
der DDR

15 N

Mathematik – Naturwissenschaften – Technik

1975

V. A. Ambarzumjan/Gustav Hertz

Festvorträge
der wissenschaftlichen
Konferenz
der Akademie anlässlich
des 275. Akademie-
jubiläums

AKADEMIE-VERLAG · BERLIN



Sitzungsberichte
der Akademie der Wissenschaften der DDR
Mathematik — Naturwissenschaften — Technik

Jahrgang 1975 — Nr. 15 N

V. A. Ambarzumjan/Gustav Hertz

**Festvorträge
der wissenschaftlichen Konferenz der Akademie
anlässlich des 275. Akademiejubiläums**

AKADEMIE-VERLAG · BERLIN
1976



Vorträge der Träger der Helmholtz-Medaille
der Akademie der Wissenschaften der DDR,
des Auswärtigen Akademiemitgliedes
V. A. Ambarzumjan und des Ordentlichen
Akademiemitgliedes Gustav Hertz † auf der
wissenschaftlichen Konferenz der Akademie
anlässlich des 275. Gründungstages
der Akademie der Wissenschaften der DDR
am 10. Juli 1975

Herausgegeben im Auftrage
des Präsidenten der Akademie
der Wissenschaften der DDR
von Vizepräsident Prof. Dr. Heinrich Scheel

Erschienen im Akademie-Verlag, 108 Berlin, Leipziger Str. 3–4
© Akademie-Verlag, Berlin 1976
Lizenznummer: 202 · 100/163/76
Gesamtherstellung: VEB Druckhaus Köthen
Bestellnummer: 7 530 017 (2010/75/15/X) · LSV 1105
Printed in GDR
EVP: 4,- M

Inhalt

V. A. Ambarzumjan	
Über Entwicklungsprozesse im Universum	5
Gustav Hertz	
Aus den Anfangsjahren der Quantenphysik	17

V. A. Ambarzumjan

Über Entwicklungsprozesse im Universum

Es ist für mich eine außerordentliche Ehre, zum zweiten Mal einen Vortrag anlässlich eines Jubiläums der Akademie der Wissenschaften der DDR zu halten. Vor 25 Jahren, zum 250jährigen Jubiläum, gab ich einen Bericht über die Entstehung der Sterne und über die Sternassoziationen.

Als ich es auf mich nahm, diesen Vortrag über die allgemeinen Entwicklungsprozesse im Weltall zu halten, geschah es nicht, um zu verallgemeinern — wie man das in fortgeschrittenem Alter zu tun pflegt —, sondern in erster Linie, weil uns die vergangenen 25 Jahre eine Fülle von Informationen über die physikalischen Prozesse in Himmelskörpern auf allen Ebenen der kosmischen Hierarchie gebracht haben. Die Bearbeitung dieser Informationen hat viele interessante Schlußfolgerungen über die Entwicklungsprozesse im Weltall ziehen lassen. Die Astrophysik ist durchaus eine evolutionäre Wissenschaft geworden. Obwohl viele fundamentale Probleme, die mit der Entwicklung der kosmischen Objekte verknüpft sind, bisher ungelöst blieben, hat das vergangene Vierteljahrhundert deutliche Fortschritte beim Studium dieser Probleme gebracht. Man darf nicht vergessen, daß die *Natur* und die in ihr ablaufenden Erscheinungen viel komplizierter sind, als uns auf den ersten Blick erscheint. Daher bringt die Lösung jeder einzelnen Frage Dutzend neue, früher nie diskutierte Probleme hervor. Deshalb blickt die moderne Astrophysik mit unverhohlener Skepsis auf alle Versuche, mit einem Schlag, mit einer einzigen Hypothese, mit den Konstruktionen eines Schemas oder Modells die gesamte Mannigfaltigkeit des Entwicklungsprozesses des Weltalls erkennen zu wollen. Die Astrophysik erwartet viel eher von der unermüdlichen Tätigkeit der heutigen Astronomengeneration die Erklärung der neuen Details der Entwicklungsprozesse und auch umfassende Verallgemeinerungen, die sich auf Beobachtungen stützen.

Die bekannte Hierarchie der Himmelskörper und ihrer Systeme läßt sich (schematisch vereinfacht) als eine Folge vorstellen, die sich aus sechs Stufen zusammensetzt:

1. Kleinkörper: Meteore, Kometen, Planeten und Trabanten.
2. Sonne und Sterne.
3. Sterngruppen, Sternhaufen und Sternassoziationen.
Galaktische Nebel.
4. Galaxien.
5. Galaxienhaufen.
6. Metagalaxis, welche alle Galaxien enthält, die mit unseren Teleskopen erreichbar sind.

Gegenwärtig haben wir Angaben über alle Stufen dieser Stufenleiter, aber die Erkenntnistiefe über die Entwicklungsprozesse auf den verschiedenen Stufen ist unterschiedlich.

Es mag etwas paradox erscheinen, daß wir über die Richtung der Entwicklungsprozesse sehr bestimmte Aussagen für die erste und die letzte Stufe machen können.

Bereits in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts kam BREDICHX aus der Analyse der Daten über Meteore und Kometen zu dem Schluß, daß Meteorströme als Ergebnis des Kometenzerfalls entstehen. Jetzt, da wir mehr über die physikalischen Prozesse in Kometen wissen, können wir sagen, daß das Auftreten eines Kometenschweifes und einer Koma Zerfall des Kometenkerns bedeutet. So wird es völlig offenkundig, daß sowohl langperiodische als auch kurzperiodische Kometen mit der Zeit zerfallen, sich zerstreuen und zu interplanetarer meteoritischer Materie und interplanetarem Gas werden.

Von besonderem Interesse sind Erscheinungen im Asteroidengürtel. Hier muß es von Zeit zu Zeit zu Zusammenstößen der Asteroiden untereinander kommen. Abhängig von Geschwindigkeit und anderen Bedingungen im Augenblick des Zusammenstoßes führt dies entweder erstens zu einer Fragmentation der zusammengestoßenen Körper oder zweitens zu ihrer Verschmelzung. Die Berechnungen zeigen, daß Fragmentationsprozesse vorherrschen müssen. So erkennen wir hier die Tendenz der Zerstreuung von massiven Körpern.

Was die großen Planeten und ihre Satelliten betrifft, so müßten sie infolge der Begegnungen mit Meteorkörpern mit der Zeit ihre Masse erhöhen. Auf dieser Vorstellung beruhen viele Theorien über die Entstehung der Planeten aus meteoritischer Materie. Diese Theorien sind fähig, einige, aber nur einige, Gesetzmäßigkeiten unseres Planetensystems zu erklären. Trotzdem haben wir keine direkten empirischen Beweise für die Hypothese, daß die Planeten aus diffuser Materie kondensierten. Mehr noch: es ist offenkundig, daß sich zumindest in den letzten zwei bis drei Milliarden Jahren die Masse von Erde und Mond nicht nennenswert vergrößert hat. Diese Tatsache widerlegt zwar nicht die Kondensationshypothese, bestätigt aber wenigstens, daß es keine direkten Beweise zugunsten der Kondensationstheorie gibt.

Aber im gleichen Zeitraum hat sich die Struktur dieser Körper infolge gewaltiger endogener Kräfte außerordentlich stark verändert. Darüber hinaus haben sich Anzeichen für eine Vergrößerung der Erddimensionen im Laufe von Jahrhunderten angehäuft, die mehr zugunsten der entgegengesetzten Richtung in der Entwicklung der Planeten sprechen: von dichteren Zuständen zu weniger dichten.

So begegnet uns auf der ersten Stufe der kosmischen Treppe — bei den Kometen und Asteroiden — Fragmentation und Teilung, während bei den großen Planeten die Frage der Entwicklungsrichtung noch offen ist. Aber für den Astronomen hat die unverkennbare Tendenz der Kleinkörper, sich zu zerstreuen, große prinzipielle Bedeutung. Da nämlich Kleinkörper von selbst fragmentieren, lassen sich schwer Bedingungen vorstellen, die sich von den gegenwärtigen so unterscheiden, daß der Prozeß in Gegenrichtung ablaufen könnte. Obwohl die Frage der Entstehung großer Planeten noch nicht gelöst ist, scheint uns die Situation im Gegensatz zu der Meinung der meisten Experten der Kosmogonie nicht gerade günstig für die Kondensationshypothese zu sein.

Im sechsten, das heißt im höchsten Niveau der kosmischen Hierarchie ist der Zustand viel bestimmter. Beobachtungen und ihre Analyse lassen sicher die Tatsache erkennen, daß sich die Galaxien bis zu den entferntesten systematisch von uns wegbewegen. Hier haben wir das HUBBLEsche Gesetz und dessen Aussage, daß die Geschwindigkeit, mit der sich eine Galaxie von uns wegbewegt, etwa der Entfernung proportional ist. Es läßt sich im Rahmen der Theorie des sich ausdehnenden Weltalls oder der expandierenden Metagalaxis verstehen. Auf diese Weise geht die Metagalaxis ständig von einem dichteren Zustand in einen weniger dichten über, so daß sie sich relativ schnell zerstreut.

Ich komme nun zu der Frage der Sternentstehung. Wir können feststellen, daß sich die Hypothese, die die Sternentstehung durch Kondensation diffuser Materie erklärt, viel beharrlicher hielt als ähnliche Vorstellungen in Verbindung mit anderen Himmelskörpern. Darüber hinaus waren die ursprünglichen Fassungen dieser Hypothese von der Kondensation der Sterne aus diffuser Materie, insbesondere die Hypothesen von KANT und LAPLACE, in bedeutendem Maße durch die Form der planetarischen Nebel beeinflusst, d. h. durch Objekte, die aus einem Zentralstern und einem ihn umgebenden nebelhaften Ring oder einer entsprechenden Scheibe zusammengesetzt sind.

Aber bereits im zweiten Quartal unseres Jahrhunderts ließen Fortschritte bei den Untersuchungen der planetarischen Nebel deutlich erkennen, daß jeder planetarische Nebel das Ergebnis eines Auswurfs diffuser Materie aus seinem Zentralstern ist. So entsteht zumindest in diesem Fall *nicht der Stern aus dem Nebel, sondern der Nebel aus dem Stern*. Die Astrophysik von heute fügt aber noch andere Beispiele hinzu: es steht fest, daß bei einem Noxausbruch auch

Gasmassen ausgeworfen werden. Es entsteht auf diese Weise ein expandierender Gasnebel, in dessen Zentrum sich die Nova befindet. Dasselbe gilt für eine Supernova. Es gibt jedoch einen Unterschied. Im letzten Fall besitzt der expandierende Nebel größere Masse und sendet intensivere Radiostrahlung aus. Ein klassisches Beispiel für einen Nebel, der während eines Supernovaausbruchs entstand, ist der sehr gut untersuchte Crabnebel.

Wie uns scheint, sollten diese Beispiele die Experten auf dem Gebiet der Kosmogonie lehren, daß man der Frage nach der *Entstehung der Nebel* den ersten Platz einräumen muß, weil die Nebel eine kürzere Lebensdauer als Sterne haben. In den eben genannten Beispielen ist die Lebensdauer von der Größenordnung einiger zehn Jahre bis zu einigen tausend Jahren, während die überwiegende Mehrheit der Sterne einige Milliarden Jahre existiert, und nur einige wenige Sterne ein Alter von Millionen oder zehn Millionen Jahren haben.

Wenn aber die planetarischen Nebel, also Nebel mit regelmäßigen Formen, instationäre Objekte sind, um so eher müssen wir uns die diffusen Nebel mit unregelmäßigen Formen instationär vorstellen. Solche Formen sind unvereinbar mit Vorstellungen eines Gleichgewichtszustandes. Anstatt sich für die Ursache der Entstehung dieser Objekte mit unregelmäßigen Formen zu interessieren, richteten die Astronomen, die sich mit der Kosmogonie beschäftigten, in den letzten Jahrzehnten ihre Aufmerksamkeit hauptsächlich auf die Entstehung der mit den Nebeln verbundenen Sterne.

Diese merkwürdige Vernachlässigung der Frage nach der Entwicklung von Objekten, die offensichtlich vor nicht allzu langer Zeit entstanden sind, läßt sich nicht anders als durch Voreingenommenheit erklären. In der Kosmogonie herrschte die vorgefaßte Meinung vor, daß Sterne nur durch Kondensation aus diffuser Materie entstehen können. Daher betrachtete man die diffusen Nebel nur als ursprüngliches Material, mit dem die Sternentstehung zu erklären sei.

Soweit sich Untersuchungen über die Bewegungsverhältnisse in diffusen Nebeln auf Radialgeschwindigkeitsmessungen von Teilen des Nebels stützen und es sehr schwer zu entscheiden ist, welcher Teil der Spektrallinie in welchem Gebiet in radialer Richtung des Nebels entsteht, lassen sich die beobachteten Radialgeschwindigkeiten nicht immer eindeutig interpretieren.

Die Beobachtungen bestätigen aber keineswegs die häufig geäußerte Vermutung, daß Gasmassen auf einige Zentren, wo Sterne entstehen, kollabieren müssen. Im Gegenteil! In vielen Fällen sprechen die Beobachtungen für eine Expansion des Nebels, wobei sich die Gasmassen von den Sternen entfernen, mit denen sie in Beziehung standen.

Es wurden trotzdem während der letzten Dekaden einige Versuche unter-

nommen, einzelne, in diffusen Nebeln beobachtete Erscheinungen als Anzeichen für eine Bildung der Sterne aus diffuser Materie zu interpretieren.

Ich will hier die Aufmerksamkeit auf zwei derartige Versuche lenken, die zu ihrer Zeit große Verbreitung unter den Astrophysikern erlangt hatten und sogar in populäre Zeitschriften ausstrahlten.

1. Auf Aufnahmen vieler heller diffuser Nebel hatte man dunkle Flecken mit manchmal mehr oder weniger regelmäßiger Form und nicht allzu großer Dimension entdeckt. Professor BARTOL BOK nannte diese Flecken Globulen. Einige Autoren erklärten sie als dichte Wolken diffuser Materie, die zu Sternen kollabieren. Also interpretierten sie diese Globulen als Protosterne. Kürzlich wies Doktor HERBIG in einer Arbeit eindeutig nach, daß es sich tatsächlich um vorübergehende Verdichtungen in der diffusen Materie handelt, die durch Instabilitäten der im diffusen Nebel ablaufenden Gasbewegung erzeugt werden. Es ist klar, daß die Globulen nichts mit der Sternentstehung zu tun haben.

2. Vor kurzem entdeckte man einige Sterne, von denen wir keine sichtbare Strahlung erhalten, die aber im infraroten Wellenlängengebiet zu beobachten sind. Diese ziemlich starken Infrarotquellen liegen in großen diffusen Nebeln. Eine quantitative Analyse der Zusammensetzung der Strahlung einiger dieser Sterne ergab, daß sie nicht einfach „Infrarotsterne“ sind, also Sterne mit niedriger Temperatur der Oberflächenschicht. Im Gegenteil! In einigen analysierten Fällen ergab sich, daß es sich um heiße Sterne vom Typ 0 mit Temperaturen von mehr als $20\,000^\circ$ handelt, deren sichtbare (optische) Strahlung von der diffusen Materie (Staub und Gas) auf dem Weg zu uns millionenfach abgeschwächt wird. Diese diffuse Materie strahlt die absorbierte Energie im infraroten Bereich des Spektrums aus.

So entstand die Vorstellung von den Kokonsternen, die jung sein müßten (für das Alter der 0-Sterne gibt man einen Wert von rund einer Million Jahre an), weil sie sich noch im Stadium der Bildung aus der umgebenden diffusen Materie befinden.

In zwei kürzlich von ZUCKERMANX und GRASSDALEN publizierte Arbeiten wurde nachgewiesen, daß in solchen Fällen eine Dunkelwolke, die sich nur auf einer Seite des Sterns befindet, die starke Absorption hervorruft, während man auf der anderen Seite ein verdünnteres und daher transparentes diffuses Medium beobachtet, das sich vom Stern entfernt. Also wir beobachten hier eine gewöhnliche Wechselwirkung zwischen einem Nebel und einem heißen Stern, und wir haben keinen Grund, von der Umwandlung des Nebels in eine Sternmasse zu sprechen.

Andererseits scheinen sich die dichtesten und massereichsten diffusen Nebel in Sternassoziationen zu befinden, das heißt in Gruppen von jungen Sternen, worüber Ihnen zu berichten ich bereits vor 25 Jahren die Ehre hatte. Dabei

gibt es diese Koexistenz in einigen Fällen mit O-Assoziationen, die nicht nur heiße junge O- und B-Sterne, sondern auch kühle junge Zwerge vom Typ G, K und M enthalten, in anderen Fällen mit T-Assoziationen, die meistens die erwähnten Zwerge und einige A-Sterne enthalten.

Diese Tatsache gab schon damals Anlaß zu der Vorstellung, daß diffuse Nebel und Gruppen junger Sterne gemeinsam entstanden sind.

Untersuchungen der Spektren der ganz jungen Sterne, die sich sowohl in O-Assoziationen als auch in T-Assoziationen befinden, haben ergeben, daß von den meisten dieser Sterne ununterbrochen, oder nahezu ununterbrochen, Materie abströmt.

Diese Tatsache ist bereits ein schlagender Beweis gegen die Hypothese, daß Sterne aus diffuser Materie kondensieren, und insbesondere gegen die Aggregations-Hypothese*, wonach die ursprünglichen embryonalen Sterne Materie aus der Umgebung aufsammeln. Es ist richtig, daß es möglich ist, ein logisches Schema zu konstruieren, demzufolge der ursprüngliche Keim einen Aggregationsprozeß durchmacht, bis der Stern eine bestimmte Masse erreicht, wonach dann der umgekehrte Prozeß — das Abströmen der Masse — abläuft. Man kann sich vorstellen, daß der Stern in der ersten Phase eine so geringe Helligkeit hat, daß es unmöglich ist, ihn zu beobachten, bevor er die kritische Masse erreicht hat, wo das Abströmen der Materie einsetzt. Außer der unnatürlichen Konstruktion dieses Schemas muß man noch berücksichtigen, daß man bei Sternen ganz unterschiedlicher Masse Materieausströmungen beobachten kann. Das schließt das Vorhandensein eines gewissen kritischen Wertes der Masse für den Übergang von Aggregation zu Abströmung aus.

All dies zwang uns, davon auszugehen, daß die Sterne in den Assoziationen keineswegs aus diffuser Materie, sondern aus irgendwelchen anderen unsichtbaren Körpern entstehen. Die Tatsache, daß uns die ganz jungen und massereichsten Objekte in Assoziationen begegnen, als Haufen heißer Sterne und Vielfachsterne vom Trapeztyp, zwang uns zu der Vorstellung, daß der ursprüngliche Körper, der bereits vor der Assoziation vorhanden war, keineswegs eine geringe Dichte besaß, sondern ziemlich dicht und wahrscheinlich sogar überdicht war. So entwickelte sich die Idee von der Fragmentation eines ursprünglich supermassiven Körpers. Diese Fragmentation müßte stufenweise ablaufen. Mit anderen Worten, der ursprüngliche praestellare Körper teilt sich in einige Teilmassen, die sich im Ergebnis einer weiteren Teilung in die Gruppe der Protosterne umwandeln, aus denen einzelne Sterne entstehen. Was die diffusen Nebel in Assoziationen betrifft, so bestehen sie nicht nur aus der Masse, die aus den einzelnen Sternen herausgeworfen wurde, sondern auch aus Ma-

* Accretion

terie, die sich während der Fragmentation des praestellaren Körpers abgesonderte.

So wurde es immer wahrscheinlicher, daß Sterne und diffuse Nebel aus praestellaren Körpern gemeinsam entstehen.

Es ist nötig, darauf hinzuweisen, daß uns die physikalische Natur des praestellaren Körpers, dessen Existenz wir gezwungen waren vorauszusetzen, noch unbekannt ist. Unbekannt ist auch der Mechanismus der Fragmentation. Auf der jetzigen Erkenntnisstufe läßt sich schwer ein Modell für diese Erscheinungen konstruieren. Es ist wahrscheinlich, daß wir es hier mit bisher noch nicht untersuchten physikalischen Prozessen zu tun haben. Daher ist es am besten, als Ausweg einstweilen die empirischen Gesetzmäßigkeiten zu untersuchen, die zu den physikalischen Eigenschaften der Fragmente und ihren Bewegungen gehören. In dieser Beziehung sind wir vorläufig wenig vorangekommen. Wir weisen hier nur auf zwei Umstände hin:

1. Diese Fragmente, d. h. die Sterne der Assoziationen, befinden sich eine gewisse Zeit nach ihrer Entstehung in einem instationären Zustand. Ihre Helligkeit ist (bei Sternen von etwa Sonnenmasse und darunter) starken unregelmäßigen Schwankungen unterworfen. Ihre Spektren geben Auskunft über oftmals heftige Prozesse, die in ihrer Atmosphäre ablaufen. Man beobachtet einen Energiefluß von außerordentlicher Größe unter Bedingungen, die sich von denen in normalen Sternen unterscheiden. Wenn die Sterne dann älter als 10^7 Jahre sind, werden die unregelmäßigen Helligkeitsschwankungen weniger auffällig: der Stern verweilt während der meisten Zeit in einem stationären Zustand. Aber manchmal (einmal während einiger Wochen) unterbrechen heftige Ausbrüche diesen ruhigen Zustand. Dabei wird der Stern einige zehnmal heller. Die Dauer eines solchen Ausbruchs liegt in der Größenordnung von zehn Minuten und darüber. Wir sagen, der junge Stern tritt in die Ausbruchsphase. Die Ausbruchsaktivität (oder Flareaktivität) der Sterne schwankt. Man findet, daß sogar alle Sterne von einigen Milliarden Jahren (darunter befindet sich auch unsere Sonne) noch kleine Ausbrüche aufweisen. Aber in der Energiebilanz eines Sterns in diesem Stadium der langsamen Entwicklung sind die Ausbrüche bereits zu vernachlässigen. In dieser Periode umfaßt die Aktivität der Sterne hauptsächlich die Emission von elektromagnetischer Strahlung und den „Sternwind“.

2. Einige Sterngruppen, die in Sternassoziationen entstanden sind, laufen mit so großen Geschwindigkeiten in verschiedene Richtungen auseinander, daß sie die Assoziation verlassen. Das beste und überzeugendste Beispiel hierfür ist die reine Expansion der Assoziation Persei II, die der holländische Astronom BLAAUW entdeckte. Hier haben wir es mit einem Zerfall des Sternsystems zu tun, dessen Mitglieder vor $1\frac{1}{2}$ Millionen Jahren entstanden.

Solche Expansionserscheinungen sind auch bei einzelnen Gruppen junger Sterne in der Orionassoziation festgestellt worden. Sie sind ein Hinweis darauf, daß die Sterne zur Zeit der Entstehung in sehr starker Wechselwirkung standen, d. h. eine sehr enge Gruppe bildeten. Das ist ein weiterer Hinweis für die Entstehung aus einem sehr dichten Körper.

Wir müssen erwähnen, daß die meisten Sternhaufen in unserer Galaxis offene Sternhaufen sind. Alle Daten weisen darauf hin, daß sie durchweg aus Sternassoziationen entstanden. Manchmal bildeten sich in einer O-Assoziation zwei oder mehrere Haufen, die nicht sofort (d. h. in einigen Millionen Jahren) zerfielen, weil die Geschwindigkeiten dieser Sterne innerhalb jeder Gruppe so klein sind, daß sie nicht ausreichen, die gegenseitige Anziehungskraft zu überwinden. Aber in diesem Zusammenhang scheint sich in der weiteren Entwicklung ein langsamer Zerfallsprozeß herauszubilden als Ergebnis von aufeinanderfolgenden, zufälligen Begegnungen zwischen den Sternen, ähnlich dem Verdampfungsprozeß in Flüssigkeiten durch das ständige Heraustreten von Molekülen aus der Flüssigkeitsoberfläche.

Wir erkennen demnach, daß die Entstehung der diffusen Nebel und Sterngruppen von einer Expansion der neugebildeten Formation begleitet ist. Deshalb dominieren auch auf diesem Niveau der kosmischen Hierarchie die Übergangsprozesse von dichteren zu weniger dichten Zuständen.

Beim Übergang zur 4. Stufe der kosmischen Hierarchie betreten wir ein Gebiet der Astronomie, in dem man vor 25 Jahren noch nicht über Ausbruch- und Expansionserscheinungen, wie wir sie innerhalb unserer Galaxis beobachten, sprechen konnte. Man hatte vorausgesetzt, daß die Entwicklung der Galaxien in einem stetigen Übergang von einer geometrischen Form in eine andere besteht, zum Beispiel von Spiralförmigen zu den sehr verbreiteten elliptischen Formen oder umgekehrt. Aber gerade zu Beginn der fünfziger Jahre wurden die Radiogalaxien entdeckt. Es wurde offenbar, daß sich zumindest einige von ihnen in einem Stadium einer seltsamen und relativ schnellen Umwandlung befinden. Wir erkennen dies daran, daß neben der optischen Überriesengalaxie zwei mächtige Wolken entstanden sind, die aus relativistischen Elektronen bestehen und Radiostrahlung aussenden. Anfangs nahm man an, daß die Radiogalaxien das Resultat eines Zusammenstoßes zweier getrennter Galaxien sind, die zufällig aufeinanderstoßen. Aber die Zusammenstoßhypothese wurde vor kurzem aufgegeben. Man erkannte, daß die Entstehung der Radiostrahlung aussendenden Wolken und folglich die Umwandlung der Galaxie in eine Radiogalaxie ein Hinweis für einen Ausbruch dieser Wolken oder dichter Körper aus dem Kern dieser Galaxie ist. Die Wolken sind das Ergebnis des Zerfalls dieser Körper. Wir müssen hinzufügen, daß jede dieser Wolken eine sogar für galaktische Maßstäbe riesige Energiemenge von der Größen-

ordnung von 10^{61} erg beherbergt. Wir erwähnen, daß zum Beispiel die gesamte kinetische Energie aller Sterne unserer Galaxis etwa 10^{59} erg beträgt. Wir sehen also, daß bei den betrachteten Prozessen des Energieflusses aus den Kernen der Galaxien die ausströmenden Energiemengen nicht kleiner als jener Energiebetrag sind, der für eine völlige Umgestaltung der dynamischen Prozesse einer gesamten Galaxie ausreicht. Diese Energie reicht sogar aus, um alle Sterne zu zwingen, die Galaxie zu verlassen und sich bis ins Unendliche zu entfernen.

Aber der Auswurf Radiostrahlung aussendender Wolken scheint nur eine Form der Aktivität der Galaxienkerne zu sein. Eine andere Form dieser Aktivität ist das Ausströmen großer Gasmassen. Wir sprechen in diesem Fall nicht von einem relativistischen Gas, sondern von einem klassischen Gas. Beispiele sind die Gasströme aus den Kernen der Galaxien vom Typ M 82 und aus den Kernen der SEYFERT-Galaxien. Die letzteren besitzen im Zentrum einen Kern mit erhöhter Helligkeit. Man nimmt an, daß die Quasare ebenfalls Galaxien sind, bei denen die letztgenannte Form der Aktivität, die Erhöhung der Kernhelligkeit, die höchste Entwicklungsstufe erreicht hat. Es gibt Fälle, bei denen die Kernhelligkeit ungefähr hundertmal die Gesamthelligkeit aller Sterne, sogar der hellsten Überriesengalaxie, übersteigt.

So ist die Erscheinung der Quasare nur eine besondere Form der Kernaktivität.

In manchen Fällen beobachten wir in Galaxien Erscheinungen, die man nicht anders interpretieren kann, als daß Masse ungefähr von der Ordnung einer ganzen Galaxienmasse aus dem Kern strömt. Wir gelangen so zu der Idee von der Fragmentation der Kerne. Aus den Fragmenten können einzelne Galaxien entstehen, deren Masse kleiner ist als die der Ursprungsgalaxie.

Die riesigen Möglichkeiten, die in der Kernaktivität enthalten sind, weisen uns darauf hin, daß die Galaxienkerne eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung und sogar bei der Entstehung der Galaxien spielen.

Aber die Hypothese der Galaxienentstehung als Resultat der aktiven Wirkung ihrer Kerne begegnet einer großen Schwierigkeit. Der Drehimpuls der Spiralgalaxien und der meisten elliptischen Galaxien ist nämlich sehr groß im Vergleich zum Drehimpuls, den man nach den üblichen Vorstellungen von der Mechanik im Kern unterbringen kann. Dies veranlaßte viele theoretische Astrophysiker, sich sehr skeptisch zu verhalten zu der Hypothese der Galaxienentstehung aus ursprünglich sehr dichten Körpern, obwohl die Beobachtungen ernsthafte Argumente zugunsten dieser Hypothese liefern. Deshalb setzte man die Versuche fort, Schemata zu konstruieren, nach denen die Galaxien aus einer praegalaktischen diffusen Wolke entstanden und schenkte den überzeugenden Daten über die Kernaktivität keine Aufmerksamkeit.

Es gibt aber tatsächlich schon Versuche, diese Probleme auf der Grundlage der etwas ungewöhnlichen Vorstellung über den Ursprungszustand der Kerne, die embryonalen Galaxien, zu lösen.

Entsprechend den gegenwärtigen Vorstellungen über Elementarteilchen kann ihr Eigendrehimpuls (Spin) große Werte erreichen. Diese Spinwerte können stark anwachsen, wenn die Masse der Teilchen steigt. Man kann sich ferner vorstellen, daß überschwere Elementarteilchen existieren, die relativ stabil sein können, weil innerhalb der Teilchen die Gravitationskräfte einen wesentlichen Einfluß auszuüben beginnen. Um richtig verstanden zu werden: eine ganz ähnliche Situation gibt es im Falle der Atomkerne. Bekanntlich werden die Atomkerne instabil, wenn man das Atomgewicht über das des Urans erhöht. Das instabile Gebiet zieht sich von Atomgewicht $A \approx 240$ bis zu $A \approx 10^{57}$ hin. Wir wissen, daß stabile Kerne mit $A > 10^{57}$ existieren. Das sind die sehr kompakten Neutronensterne. Sie sind wegen der großen Masse dieser „Kerne“ dank der großen Gravitationskräfte stabil.

Man muß die Möglichkeit zulassen, daß aus demselben Grund Elementarteilchen mit Massen von der Größenordnung der Galaxienmasse stabil sein können. Die Vorstellung über ähnliche überschwere Elementarteilchen — überschwere Hadronen — ist in Einzelheiten von Doktor SISTERO in Argentinien ausgearbeitet worden. Nach dem sowjetischen Physiker MURADJAN können solche überschweren Hadronen genügend große Spinwerte erreichen, um mit Erfolg den großen Drehimpuls der Galaxien zu erklären. Mit anderen Worten, was uns vom Standpunkt der klassischen Mechanik unerklärbar erscheint, wird möglich bei Teilchen mit solch ungewöhnlichen quantenmechanischen Eigenschaften. Aber noch ist der konkrete Mechanismus nicht entdeckt, der es schafft, daß sich aus den mit der Zeit zerfallenden überschweren Hadronen die beobachteten Galaxien entwickeln, deren Verhalten sich in die Gesetze der klassischen Mechanik einfügt.

Insbesondere geht es darum, wie sich von diesen überdichten und übermassiven Praegalaxien, den Hadronen, die weniger massiven, aber trotzdem noch sehr dichten praestellaren Körper ablösen, aus denen Assoziationen und Sternhaufen entstehen. Natürlich muß man diese Überlegungen über supermassive Hadronen als ganz vorläufige Spekulationen betrachten. Sie sind noch nicht bestätigt.

Wenn wir zum nächsten Niveau der Hierarchie übergehen, müssen wir die Eigenschaften der Galaxienhaufen erklären. Hier ist die ungewöhnlich große Geschwindigkeitsdispersion der Galaxien innerhalb vieler Haufen eine interessante Erscheinung. In diesen Fällen reicht die beobachtete Masse der Galaxien nicht aus, mittels des gesamten Gravitationspotentials solche Haufen vor dem Zerfall zu bewahren. Deshalb sind zwei gegensätzliche Interpretationen

entstanden: Nach der einen enthalten die Galaxienhaufen außer der in Galaxien zu beobachtenden Masse noch eine unsichtbare Masse, die weit die Gesamtmasse der beobachteten Galaxien übersteigt. Nach der anderen Meinung, die wir etwa vor zwanzig Jahren äußerten, zerfallen tatsächlich viele Galaxienhaufen.

Ich will hier nicht die zahlreichen Versuche beschreiben, die unternommen wurden, um diese unsichtbare oder „fehlende“ Masse mit verschiedenen Komponenten des diffusen Mediums in Galaxienhaufen zu identifizieren. Ich erwähne nur, daß alle diese Versuche fehlschlagen.

Offensichtlich haben wir es in diesem Fall tatsächlich mit einer Reihe von aufeinanderfolgenden Fragmentationen zu tun. Dabei erhalten die einzelnen Fragmente, die Galaxien, manchmal Geschwindigkeiten, die ausreichen, um den Haufen zu verlassen. Abschließend können wir sagen, daß wir auf allen beobachteten Stufen der kosmischen Hierarchie Erscheinungen des Zerstreuens und des Zerfalls antreffen.

Es gibt wahrscheinlich keinen Astronomen mehr, der die große Bedeutung dieser Tatsache verneinen würde. Wir sehen aber in diesen Fakten die Grundrichtung der Entwicklung im Weltall, wobei wir nicht abstreiten, daß auch Prozesse der Kondensation und Verdichtung in irgendeinem Medium zu anderen Zeiten und in anderen, von uns sehr entfernten Gebieten des Raumes möglich sind.

Wie ich mehrmals erwähnte, ist ein Komplex von Meinungen sehr verbreitet, wonach die beschriebenen Erscheinungen von Expansion, Ausströmen und Ausbrüchen, die wir auf allen Stufen der kosmischen Hierarchie unmittelbar beobachten, nur sekundäre Ergebnisse entgegengesetzter Prozesse sind, nämlich von Kondensation, Einströmen und Kollaps.

Die Anhänger dieser Meinung behaupten, daß diese Prozesse der Verdichtung von diffuser Materie und des Kollaps vorherrschen.

Es wurde fälschlich behauptet, daß dieser andere Standpunkt die beobachteten Erscheinungen nicht erfolgreich erklären könne. Insoweit er nicht irgendwelche ungewöhnlichen Anfangszustände der Materie voraussetzt, kann er Modelle von einigen Erscheinungen erstellen, erreicht aber nur in einigen Gebieten große Übereinstimmung mit Beobachtungen durch Auswahl der Modellparameter.

Aber wenn wir an Voraussagen neuer Erscheinungen denken, dann scheint uns der in diesem Vortrag dargelegte Standpunkt um einiges fruchtbarer zu sein. Aber nur die künftige Entwicklung der Wissenschaft wird es erlauben, endgültig die Frage zu klären, welche der beiden Tendenzen auf den einzelnen Stufen der Kosmischen Treppe dominiert.

Sie sahen, daß man notwendigerweise die Existenz von übermassiven und überdichten Körpern in der Anfangsphase der Entwicklung annehmen muß, wenn man den hier entwickelten Standpunkt teilt.

Weit üblicher aber ist die Meinung, daß nach der heutigen theoretischen Physik überdichte Körper eine maximale Masse von der Größenordnung einer Sonnenmasse haben müssen. Andernfalls müßten sie sich zu sogenannten „Schwarzen Löchern“ umwandeln.

Wir glauben aber nicht, daß dem so ist. Unser hervorragender Kollege in der DDR, Professor Treder, hat nachgewiesen, daß es auch im Rahmen einer relativistischen Gravitationstheorie eine „Absorption der Schwerkraft“ geben kann. In den bisher entwickelten theoretischen Modellen ist diese Erscheinung nicht berücksichtigt worden. Bei sehr großen Dichten kann sie aber eine entscheidende Rolle spielen. Wahrscheinlich sind auch andere Varianten für den Aufbau von übermassiven kompakten Körpern möglich.

Selbstverständlich darf man nicht vergessen, daß wir hier ein Gebiet betreten, in dem die Auswahl der richtigen Variante einer Theorie der starken Gravitationsfelder eine hohe Bedeutung gewinnt, weil wir zu berücksichtigen haben, daß ungewöhnliche Elementarteilchen existieren können, bei denen diese Felder und verschiedene Quanteneffekte eine große Rolle spielen.

Es ist sehr kompliziert, die Theorie in dieser Richtung zu entwickeln. Es wird aber kaum gelingen, wenn man nicht eng mit der Beobachtung verbunden bleibt.

Die Astronomie ist und bleibt eine beobachtende Wissenschaft. Die Untersuchung der Fakten ist ihre einzige Grundlage. Wenn wir uns auf sorgfältige Untersuchungen des unübersehbaren und mannigfaltigen Faktenmaterials stützen, das in den letzten Jahrzehnten entdeckt wurde, dann kann man hoffen, daß die Astronomie neue Erfolge erzielen und zu neuen Verallgemeinerungen gelangen wird.