

HELMUT BERNHARD

ASTRONOMIE

und Weltanschauung



Helmut Bernhard
ASTRONOMIE UND WELTANSCHAUUNG
Standpunkte der marxistischen Philosophie zu philosophischen Problemen der
Astronomie

Urania-Verlag Leipzig – Jena – Berlin 1974

[5:]

Zum Verhältnis von Astronomie und Philosophie

Weltanschauliche Fragen zum Gegenstand

und zu den Methoden der astronomischen Forschung

In seiner philosophischen Arbeit „Materialismus und Empirio-kritizismus“ analysierte Lenin um die Jahrhundertwende die beginnende Revolution in den Naturwissenschaften, insbesondere in der Physik, und wies nach, daß die Erscheinungsformen der materiellen Welt viel mannigfaltiger sind, als die menschliche Vorstellung es wahrhaben will. Damit widersprach er den damals verbreiteten naturwissenschaftlichen Ansichten, die der Materie eine stoffliche Struktur zuschrieben. In diese Vorstellungen ließen sich die Entdeckungen des elektromagnetischen Feldes, die komplizierte Struktur der Atome und andere Erscheinungen nicht einordnen. Lenin bemerkte zu den neuen Erkenntnissen der Naturwissenschaften: „Es verschwindet jene Grenze, bis zu welcher wir die Materie bisher kennen, unser Wissen dringt tiefer; es verschwinden solche Eigenschaften der Materie, die früher als absolut, unveränderlich, ursprünglich gegolten haben (Undurchdringlichkeit, Trägheit, Masse usw.) und die sich nunmehr als relativ, nur einigen Zuständen der Materie eigen, erweisen.“¹ Die weitere Entwicklung der Naturwissenschaften bestätigte und erhärtete den materialistischen Standpunkt. So wurde z. B. durch die Untersuchung der aus dem Kosmos zu uns gelangenden Strahlung sowie durch die Entdeckung vieler, bisher unbekannter Elementarteilchen überzeugend der Wahrheitsgehalt der dialektisch-materialistischen Materieauffassung nachgewiesen. Auch in Zukunft sind weitere Einsichten in die Materiestruktur zu erwarten; damit verbunden werden sicher neue und komplizierte erkenntnistheoretische Fragen aufgeworfen, die nur auf der Grundlage des dialektischen Materialismus wissenschaftlich zu beantworten sind.

Ähnliche Probleme, wie sie um die Jahrhundertwende in der Physik auftraten, zeigen sich heute in der Astronomie, besonders in ihrem astrophysikalischen Bereich. Der Nachweis kosmischer Erscheinungsformen der Materie, deren Struktur und Eigenschaften mit bereits erforschten physikalischen Gesetzen nicht [6:] gänzlich erklärbar sind, zwingt zu der Annahme, daß in diesen Objekten auch uns noch nicht bekannte Gesetzmäßigkeiten wirken. Ihre Erforschung entwickelt astronomische Theorien weiter bzw. negiert sie. Zukünftige Entdeckungen auf diesem Gebiet bringen möglicherweise weitreichende Konsequenzen für unsere Vorstellungen vom Aufbau des Weltalls.

Diese Feststellung läßt sich mit bedeutenden Resultaten der gegenwärtigen Wissenschaftsentwicklung begründen. Die Interpretation der vor einigen Jahren entdeckten 3-K-Strahlung führte zu der Erkenntnis, daß es sich um eine Rest- oder Reliktstrahlung aus dem Urzustand des gegenwärtigen Kosmos handelt. Daraus lassen sich Schlüsse über die Geschichte des beobachtbaren Teils des Weltalls ziehen. Das Vorhandensein von Galaxiekernen und das Vorkommen von zentripetalen und zentrifugalen Strömungen, das Verifizieren explosiver Prozesse in kosmischen Dimensionen zählen u. a. zu den kaum zur Kenntnis genommenen Fakten.

Quasare und Pulsare gehören in das die bisherigen Vorstellungen beträchtlich verändernde Bild neuerer astronomischer Forschung. In der Astronomie hat der Einsatz von Methoden und Instrumenten, z. B. der Radio- und Raumfahrt-astronomie, die Nutzung der Datenverarbeitung für Forschungszwecke sowie die weitere Steigerung der Leistungsfähigkeit herkömmlicher Beobachtungsinstrumente, revolutionierende Ergebnisse gezeitigt, die mit Hilfe der theoretischen und experimentellen Physik die „ruhige“ Welt der Sterne und Galaxien anders erscheinen lassen, als sie sich dem gesunden Menschenverstand überlieferter, traditioneller Vorstellungen anbietet.

Aus dem Eindringen in die inneratomare Welt und dem Erfassen kosmischer Objekte mit bisher unbekanntem physikalischen Eigenschaften ergibt sich die Notwendigkeit der Formulierung grundlegender Begriffe und Theorien, die zu einer neuen Qualität unserer Erkenntnis über das Universum führen. Die moderne Astronomie hat keinen Platz für erstarrte Ideen und Konzeptionen. Zu ihren

¹ Lenin, W. I.: Materialismus und Empirio-kritizismus. In: Werke, Bd. 14, Berlin 1973, S. 260.

charakteristischen Merkmalen gehört ein ständiges Suchen nach neuen Vorstellungen und Denkweisen mit dem Ziel, die Vielfalt der Eigenschaften der Materie im Kosmos aufzudecken. Diese Tätigkeit ist untrennbar mit der Beobachtung verbunden. Je genauer die Resultate der Beobachtung sind, mit einer um so größeren Eindeutigkeit kann die Lösung eines Problems gefunden werden. Dabei kommt die Astronomie zu wissenschaftlichen Daten, deren theoretische Synthese nicht nur auf den Erkenntnisprozeß in der Astronomie sowie in anderen Naturwissenschaften zurückwirkt, sondern auch für die Entwicklung der Philosophie Bedeutung hat.

Wie wir später erfahren, werden dieselben astronomischen Entdeckungen von den materialistischen und idealistischen Philosophen unterschiedlich interpretiert.

Die Entdeckung der Rotverschiebung im Spektrum ferner Spiralnebel führte z. B. zu harten Kontroversen zwischen Vertretern der materialistischen und der idealistischen Weltanschauung. Wenn sich in der geschichtlichen Entwicklung auch die Formen der Auseinandersetzung geändert haben, der Inhalt des Kampfes blieb der gleiche. Es geht um die Beantwortung der Grundfrage der Philosophie. Der philosophische Materialismus hat dabei den Vorteil, ausdrücklich stets auf die Innerweltlichkeit der Natur und in der marxistischen Philosophie auch auf die der Gesellschaft verwiesen zu haben.

In Engels „Dialektik der Natur“ und in Lenins „Materialismus und Empiriokritizismus“ werden die drei fundamentalen Thesen der materialistischen Naturdialektik

- die materielle Einheit der Welt
- die Unerschöpflichkeit der Materie
- die Welt als Entwicklungsprozeß

eingehend wissenschaftlich begründet. Die gesamte Forschungskonzeption der modernen Astronomie, die vor allem die Struktur des Universums und die Entwicklungsgeschichte des Kosmos studiert, beruht auf diesen erkenntnistheoretischen und methodologischen Grundlagen. Besonders die Entwicklung der Astrophysik weist überzeugend den Wahrheitsgehalt der genannten Thesen nach.²

So konnte z. B. durch spektralanalytische Untersuchungen der Himmelskörper bewiesen werden, daß diese Objekte im Prinzip aus den gleichen chemischen Elementen bestehen wie unsere Erde. Diese wissenschaftlichen Ergebnisse erhärten die These von der materiellen Einheit der Welt. Auch wenn im Kosmos ein chemisches Element entdeckt werden würde, das auf der Erde nicht vorhanden ist, widerspräche das nicht den Vorstellungen von der materiellen Einheit der Welt. Es kommt nicht darauf an, daß in allen kosmischen Objekten die gleichen chemischen Elemente vorhanden sind. Wesentlich ist, daß alle Elemente, unabhängig, wo wir sie vorfinden, Erscheinungsformen der Materie darstellen und gleichen objektiven Gesetzen gehorchen. Die jüngsten Entdeckungen der Astrophysik, wozu unter anderem die 3-K-Strahlung, die Quasare, die Pulsare und die Schwarzen Löcher zählen, tragen zur Bestätigung des Wahrheitsgehaltes der philosophischen These bei, daß die Materie aus einer unendlichen Menge verschiedener materieller Objekte und Systeme besteht, die in Raum und Zeit existieren, sich darin bewegen und über eine unerschöpfliche Vielfalt von Eigenschaften verfügen. Mit der Erforschung der komplizierten Struktur dieser Objekte erweitert die Wissenschaft unaufhörlich den Bereich der erkannten Welt. Sicher werden dabei in Zukunft auch Erscheinungsformen der Materie entdeckt, die uns gegenwärtig noch nicht bekannt sind. Hier spiegelt sich auch die methodologische Bedeutung der These von der Unerschöpflichkeit der Materie wider. Schließlich weist die Astrophysik an allen Forschungsobjekten nach, daß Planeten, Sterne und Sternsysteme sich in langen Zeiträumen verändern und entwickeln. Damit unterstützt auch dieser Bereich der Naturwissenschaften die philosophische Erkenntnis, daß sich die Materie aus einer Form in eine andere verändert, ohne jedoch ihre Grundeigenschaft zu verlieren.

Weltanschauliche Auseinandersetzungen über Vorstellungen vom Weltall werden auch deshalb gefördert, weil die Astronomie räumlich weit entfernte Objekte erforscht, die meistens einem direkten

² Vgl. Treder, H.-J.: Einige Probleme der Entwicklung des Kosmos. Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt-Universität zu Berlin, Math.-Nat. Reihe XX (1971), Heft 2.

Studium nicht zugänglich sind. Ferner studiert sie Veränderungen im Kosmos, die sich in unvorstellbaren Zeiträumen vollziehen. Außerdem untersucht sie materielle Prozesse, die unter extremen Bedingungen ablaufen. Im Gegensatz zu anderen Naturwissenschaften ist die Astronomie bei der ideellen Widerspiegelung der Erkenntnisobjekte fast nur auf die Beobachtung angewiesen. Aus dieser Tatsache resultieren Fragen zur Rolle der Beobachtung im astronomischen Erkenntnisprozeß, zu den Möglichkeiten des Experiments in der astronomischen Forschung sowie zur Bedeutung der Raumfahrt für den Erkenntnisfortschritt der Astronomie.

Unter der astronomischen Beobachtung verstehen wir eine bewußte und zielgerichtete Tätigkeit bei der Wahrnehmung kosmischer Objekte. Bis Galilei wurde mit den Sinnesorganen direkt, ohne Zwischenschaltung von Instrumenten beobachtet. Seit Galilei werden immer bessere und kompliziertere Geräte benutzt, die die Beobachtungsmöglichkeiten und damit verbundene Messungen erweitern und verfeinern. Das Messen ist bei den Beobachtungen der Astronomie eine der Grundbedingungen wissenschaftlichen Vorgehens. So entschied sich z. B. die Überzeugungsfähigkeit der copernicanischen Lehre mit der Steigerung der Meßgenauigkeit [9:] durch Tycho Brahe, der die Auffassungen des Copernicus nicht teilte. Wenn oben die Beobachtung als bewußte und zielgerichtete Tätigkeit beschrieben wird, so beziehen sich diese Feststellungen auf die Auswahl des Objekts, das Studium der Erscheinungen sowie auf die Auswertung der Beobachtungsergebnisse. Jedoch bleibt der Mensch in bezug auf den Ablauf des untersuchten Prozesses passiv. Es ist also nicht möglich, durch Einwirkung einen bestimmten kosmischen Vorgang zu verändern bzw. zu wiederholen. Hier unterscheidet sich die Beobachtung vom Experiment, das eine wichtige Forschungsmethode in anderen Naturwissenschaften ist. Beim Experiment kann der Experimentator aktiv auf die Prozesse der objektiven Realität einwirken, er kann sie verändern, wiederholen und dadurch Eigenschaften und Zusammenhänge aufdecken, die unter natürlichen Bedingungen nur schwer oder überhaupt nicht erkennbar sind.

Natürlich ist die astronomische Beobachtung kein passives Anschauen kosmischer Objekte, sondern eine zielgerichtete Wahrnehmung, ein systematisch-theoretisches Vorgehen zum Zwecke des Studiums der Erscheinungen im Weltall. Durch die Beobachtung werden nicht nur Tatsachen über den Kosmos gesammelt, sondern auch Ausgangshypothesen überprüft sowie neue Hypothesen aufgestellt. Ein solches Vorgehen ist nur bei theoretischer Verarbeitung des Beobachtungsmaterials, die zum intensiven und logischen Denken zwingt, möglich. Beobachtung, Hypothese und theoretisch-fundierte Überlegungen lassen sich seit dem Altertum bei der Erforschung des Kosmos feststellen. Sie kann man als weltanschauliche und methodologische Sachverhalte klassifizieren, zwei Gebiete, die auch bestimmend für die Philosophie sind.

Die Beobachtung als Arbeitsmethode der Astronomie bleibt also nicht bei der Einwirkung der kosmischen Wirklichkeit auf die Sinnesorgane stehen, sondern verarbeitet die Beobachtungstatsachen theoretisch, d. h. erschließt sie rational. Die sinnliche Wahrnehmung geht mit der rationalen Tätigkeit einher. Es taucht sofort das Problem der Interpretation von Beobachtungsergebnissen auf. Die Interpretation, d. h. die Deutung von Beobachtungstatsachen, hängt vom zur Verfügung stehenden Wissen über diese Tatsachen und von der weltanschaulichen Position des Betrachters ab. Dabei ergeben sich auf Grund der Kompliziertheit des Erkenntnisprozesses in bestimmten Situationen Widersprüche, die aus dem durch die Beobachtung gewonnenen Sinneseindruck, damit verbundenen sinnlichen Vorstellungen und den oft davon extrem abweichenden [10:] theoretischen Überlegungen resultieren. Diese Widersprüche führten in der Geschichte der Astronomie zu zeitweiligen erkenntnistheoretischen Schwierigkeiten bei der Erforschung des Weltalls.

Hier ergaben sich Ansatzpunkte für den Einfluß spekulativ-religiöser Anschauungen vor allem des agnostizistischen Denkens. Deutungsversuche kosmischer Erscheinungen und Vorgänge mittels mystischen Denkens beruhen vor allem auf dem Augenschein, ohne in ihr Wesen einzudringen. Das vorhandene Wissen, das stets historisch bedingt ist, bildet die theoretische Grundlage für die Interpretation. Mit seiner Zunahme verändern sich gesetzmäßig Inhalt und Form der Interpretation. In der Astronomie gibt es dafür klassische Beispiele, unter anderem die jahrtausendlang beobachtete scheinbare Bewegung der Gestirne, die man im Altertum als wirkliche Bewegung postulierte, und die spätere Erkenntnis, daß den sinnlich erfaßten Vorgängen die Erdrotation zugrunde liegt.

Natürlich beruhte das Weltbild der Antike auch auf Beobachtungstatsachen. Ihre Interpretation implizierte auf Grund des damaligen Wissens einige wahre Vorstellungen. Sie waren für ihre Zeit wissenschaftlich, weil sie es ermöglichten, bestimmte kosmische Erscheinungen zu erklären und vorauszusagen. Gerade die Zunahme des Wissens war eine der Ursachen, warum es Copernicus im Mittelalter möglich wurde, die scheinbaren Bewegungsvorgänge von den wahren Bewegungen der Himmelskörper zu unterscheiden und die Bewegungen der Erde zu erkennen. Er korrigierte damit die unrichtige Interpretation realer Tatsachen, die auf einer Sinnestäuschung beruhte. So gesehen erweist sich die Interpretation beobachteter kosmischer Erscheinungen als eine Methode zur Erkenntnis des Wesens der Erscheinungen. Eine mit der Wirklichkeit übereinstimmende Interpretation ist nur dann möglich, wenn der Beobachter über die notwendigen theoretischen Grundlagen und praktischen Erfahrungen verfügt. Daraus folgt, daß jede astronomische Beobachtung nicht nur der Ausdruck eines praktischen, sondern auch eines theoretischen Verhältnisses zur Umwelt ist. Der Wahrheitsgehalt jeder aus der Beobachtung gewonnenen Erkenntnis kann nur am Beobachtungsobjekt überprüft werden. So spiegeln sich in der astronomischen Beobachtung die drei Stufen der wissenschaftlichen Erkenntnis wider: die Praxis, die lebendige Anschauung und das Denken. Da die astronomische Beobachtung von einer zielgerichteten Aufgabenstellung ausgeht, planmäßigen und systematischen Charakter trägt, zählt auch sie zu den Methoden der wissenschaftlichen Erkenntnis.

[11:] Vielfach wird die Frage aufgeworfen, ob die Astronomie mit dem Beginn der praktischen Raumfahrt in das Stadium einer experimentellen Wissenschaft eingetreten ist. Natürlich ermöglicht die Raumfahrt experimentelle Überprüfungen von Beobachtungsergebnissen über den erdnahen Raum und die benachbarten Himmelskörper. Erstmals in der Menschheitsgeschichte wurde es z. B. möglich, den Erdmond direkt zu studieren bzw. Bodenproben von ihm zu analysieren, terrestrische physikalische Experimente unter extraterrestrischen Bedingungen durchzuführen. Die experimentellen Untersuchungen im erdnahen Raum und auf benachbarten kosmischen Objekten bestätigen, erweitern bzw. negieren unsere Erkenntnisse über diese Erscheinungsformen. Indem die Raumfahrt astronomische Beobachtungen und Messungen außerhalb der Atmosphäre ermöglicht, werden Informationsträger des Universums erschlossen, die dem erdgebundenen Beobachter nicht zugänglich sind. Die Astronomie erhält mit der Raumfahrt bisher nicht bekannte technische und methodische Möglichkeiten bei der Erforschung der Materie im Kosmos. Beobachtungen und Messungen, die durch die erdgebundene Astronomie und Raumfahrtstronomie gewonnen werden, ergänzen sich wechselseitig. Die Erkenntnis der Welt erweist sich demonstrativ an den kosmischen Objekten.

Bereits vor der Raumfahrt gab es in der astronomischen Forschung Elemente des Experiments. So wurden z. B. bei der Untersuchung von Sternspektren, bei der Messung der Intensität des Sternlichts, bei der Abbildung von Himmelsausschnitten nach theoretischen Vorüberlegungen zielgerichtet Geräte eingesetzt, auf deren Bedingungen die Wirklichkeit einwirkt. Im Resultat des Einwirkens werden Eigenschaften und Zusammenhänge sowie andere bisher nicht bekannte Erscheinungen der objektiven Realität sichtbar, die der direkten Beobachtung überhaupt nicht bzw. nur ungenügend zugänglich sind. In diesem Sinne enthält die Anwendung der Spektralanalyse, der Lichtmessung und der Fotografie in der Astronomie bereits Elemente der experimentellen Forschung.³

In der Geschichte der Astronomie entwickelten sich Fragen, die nicht nur den Astronomen, sondern auch den Philosophen interessieren. Dazu gehören unter anderem folgende:

- Existieren im Weltall die gleichen Gesetze wie auf der Erde?
- Hat das Weltall eine Geschichte?
- Hat der Kosmos eine begrenzte Ausdehnung, oder ist er räumlich unbegrenzt?
- Ist die Herausbildung des organischen Lebens ein Prozeß, der [12:] im Weltall überall dort abläuft, wo die natürlichen Bedingungen gegeben sind, oder ist das Leben an den Planeten Erde gebunden?
- Ist es der Astronomie möglich, die räumlich entfernten Erscheinungsformen im Universum und darin wirkende Gesetzmäßigkeiten zu erkennen?

³ Vgl. Klaus, G.; Buhr, M.: Philosophisches Wörterbuch, Leipzig 1969, S. 355.

Diese Fragen weisen einen hohen Verallgemeinerungsgrad auf; ihr Inhalt steht in dialektischen Beziehungen zu nachfolgenden philosophischen Überlegungen:

- Ist die Welt einheitlich, oder unterscheiden wir zwischen einer materiellen und einer immateriellen Welt?
- Ist die Welt das Produkt eines Schöpfungsaktes oder das Ergebnis einer unaufhörlichen Entwicklung?
- Ist die Welt der menschlichen Erkenntnis zugänglich, oder gibt es absolute Schranken für die Erkennbarkeit der Welt?

In einem historischen Prozeß der Erkenntnisgewinnung und härtester politischer und weltanschaulicher Kontroversen hat die Wissenschaft vom Universum auf eine Reihe dieser Fragen fundierte Antworten gegeben. Sie sind im obengenannten Sinne von großer weltanschaulicher Bedeutung, weil sie weit über die Grenzen der Astronomie hinaus reichen, das gesamte Wissen beeinflussen und zu weitreichenden philosophischen Schlüssen führen. Obwohl die astronomische Forschung mit wissenschaftlichen Argumenten mystisch-aber gläubische Vorstellungen vom Weltall immer besser widerlegte, versuchen Vertreter des Existentialismus, Positivismus, Irrationalismus, Neothomismus sowie anderer Strömungen der bürgerlichen Philosophie nach wie vor, astronomische Forschungsergebnisse vom Standpunkt spekulativer philosophischer Überlegungen zu interpretieren. Dies geschieht insbesondere in den sogenannten Grenzbereichen des astronomischen Wissens, d. h. anhand solcher Fragen, wofür eine eindeutige wissenschaftliche Erklärung noch aussteht bzw. wo theoretische Überlegungen zwar zu Hypothesen und Modellvorstellungen führten, die aber durch die Beobachtung als Mittel zur Überprüfung des Wahrheitsgehaltes der Vorstellungen am kosmischen Objekt bisher nicht bestätigt wurden. Dazu gehören besonders kosmogonische und kosmologische Sachverhalte, Fragen zur Entstehung und Entwicklung der Himmelskörper und ihrer Systeme, zur Struktur und räumlichen Ausdehnung des Weltalls und zur Geschichte des Universums.

[13:] Methodisch haben wir es heute in der Astronomie vor allem mit einer Kombination von Beobachtung und Modelldenken zu tun. Für die Wissenschaft sind dabei häufig gerade jene Elemente der Modellvorstellung interessant, die sich nicht in bewährte Anschauungen einfügen. Sie können wichtige Ansatzpunkte für die Weiterentwicklung der Erkenntnis sein. Die wissenschaftliche Widerlegung von Denkmodellen, die im Widerspruch zur objektiven Realität stehen, fördert die Erkenntnis genauso wie die Bestätigung bzw. teilweise Bestätigung anderer Modelle.

Das fortschreitende Wissen über das Universum, insbesondere die weltanschaulich-relevanten Erkenntnisse der Kosmologie und Kosmogonie und ihre philosophische Deutung, tragen zur Bereicherung und Entwicklung der Theorie des dialektischen Materialismus bei. Idealistisch-agnostizistisches Gedankengut über das Weltall kann dadurch immer besser widerlegt werden. In diesem Sinne fördert die astronomische Erkenntnis eine dialektisch-materialistische Naturbetrachtung.

Zur Bedeutung des dialektischen Materialismus für die moderne Astronomie

„Die Naturforscher mögen sich stellen, wie sie wollen, sie werden von der Philosophie beherrscht. Es fragt sich nur, ob sie von einer schlechten Modephilosophie beherrscht werden wollen oder von einer Form des theoretischen Denkens, die auf der Bekanntschaft mit der Geschichte des Denkens und mit deren Errungenschaften beruht.“⁴ Mit diesen Worten charakterisiert Engels das Verhältnis von Naturwissenschaft und Philosophie und weist nach, daß nur der dialektische Materialismus in der Lage ist, weltanschauliche Fragen der Einzelwissenschaften, also auch der Astronomie, wissenschaftlich exakt zu beantworten.

Mit seinen Fragestellungen an die Astronomie wirkt der dialektische Materialismus erkenntnisfördernd auf noch nicht gelöste Probleme der astronomischen Wissenschaft. Sie gehen davon aus, daß die Erscheinungen und Vorgänge im Weltall der menschlichen Erkenntnis zugänglich sind und die Erkenntniskraft keine absoluten Schranken besitzt. Die astronomische Erkenntnis dringt in einem

⁴ Engels, F.: Dialektik der Natur. In: MEW, Bd. 20, Berlin 1972, S. 480.

fortschreitenden Prozeß immer tiefer in das Wesen kosmischer Erscheinungsformen der Materie ein. Die Astronomie kann trotz gewisser erkenntnistheoretischer Probleme zu wahren Aus-[14:]sagen über das Universum kommen. Ihr niemals abgeschlossener Erkenntnisprozeß wird auf jeder Stufe durch die gesellschaftliche Entwicklung determiniert. Sein Fortschritt hängt von den Möglichkeiten und Bedürfnissen der Gesellschaft ab.

Der dialektische Materialismus nimmt auch Einfluß auf die Methoden der astronomischen Forschung, die sich historisch herausgebildet haben. Beim Studium des Zusammenhangs zwischen allgemein-philosophischen und konkret-wissenschaftlichen Methoden untersucht er Aspekte des Verhältnisses von Beobachtung und Experiment, die Rolle der Hypothese, des Gedankenexperiments und der Modellvorstellung beim Studium der Natur sowie allgemeine Arbeitsmethoden der Naturwissenschaften, das sind Mittel, Kategorien und Formen des theoretischen Denkens. Die Ergebnisse tragen dazu bei, den Weg der Erkenntnisgewinnung wissenschaftlich zu begründen. Gleichzeitig fordert die materialistische Dialektik vom Astronomen, die Erscheinungen in ihren konkreten Zusammenhängen zu erforschen, die Entwicklung zu erkunden, die Quelle der Bewegung und Entwicklung in den gegebenen Widersprüchen aufzudecken, die komplizierten Formen der Bewegung und Entwicklung zu begreifen, von der Erscheinung zum Wesen der Dinge vorzustoßen.

Ein Astronom kann nur dann eine progressive Arbeit leisten, wenn er davon ausgeht, daß das zu untersuchende kosmische Objekt und die damit verbundenen Gesetzmäßigkeiten der menschlichen Erkenntnis zugänglich sind, also bewußt oder spontan von materialistischen Grundpositionen an die zu erforschenden Erscheinungen herangeht. Dieses Prinzip steht im Gegensatz zu den desorientierenden Einflüssen idealistischer Richtungen. So behaupten die Vertreter des kritischen Realismus, daß zwar eine Welt außer uns existiert und wir die Fähigkeit haben, diese zu erkennen, jedoch das innere Wesen der Naturgegenstände bleibe uns aus prinzipiellen Gründen verschlossen.⁵ Diese Auffassung wird von der Praxis der gesamten naturwissenschaftlichen Forschung widerlegt, die im Herangehen an die Erklärung einer Erscheinung nicht von der These ausgehen kann, sie sei unerklärbar.

Für das heutige Entwicklungstempo der astronomischen Forschung reicht eine spontane materialistische Einstellung nicht mehr aus, sie muß bewußt in eine wissenschaftlich-philosophische Grundhaltung einmünden. Darauf hat Engels in seiner „Dialektik der Natur“ mit Nachdruck hingewiesen. Diese Forderung bedeutet nicht, daß ein Astronom ohne die dialektisch-materialistische Welt-[15:]anschauung unfähig wäre, bedeutende Leistungen zu vollbringen; das beweist der historische Werdegang der Astronomie. Die Entwicklung und die Ergebnisse der astronomischen Wissenschaft in der Sowjetunion zeigen jedoch überzeugend, wozu Wissenschaftler befähigt werden, die in ihrer Arbeit bewußt auf der dialektisch-materialistischen Weltanschauung fußen.

Obwohl sich das Bündnis zwischen marxistisch-leninistischen Philosophen und Astronomen in der Sowjetunion und den sozialistischen Ländern einschließlich der DDR entwickelt, ist es angesichts des raschen Tempos der Erkenntnisfortschritte in der astronomischen Wissenschaft erforderlich, diese Beziehungen noch weiter zu festigen und zu vertiefen, um echte Forschungsarbeit zur Lösung philosophischer Probleme der Astronomie zu leisten. Von seiten der marxistischen Philosophen hat sich seit Beginn der praktischen Raumfahrt das Interesse an philosophischen Fragen, die damit zusammenhängen, insbesondere zur Erkenntnisgewinnung über das Weltall, verstärkt. Die Stellung des Menschen im Kosmos mit all ihren Konsequenzen, wozu unter anderem auch die Ausdehnung der irdischen Produktionssphäre in den erdnahen Raum gehört, ist eine primäre Frage, die sich für alle Wissenschaften aus der Kosmosforschung ergibt. Sie interessiert nicht nur die Fachwissenschaftler, sondern auch die Philosophen.⁶

Der dialektische Materialismus fördert die humanistische Verantwortung des Wissenschaftlers nicht nur für die Ergebnisse seiner Arbeit, sondern auch für die Findung des richtigen Standpunkts gegenüber seiner Forschungsarbeit, die nur dann sinnvoll ist, wenn sie dem menschlichen Fortschritt dient.

⁵ Vgl. Fischer, A.: Die philosophischen Grundlagen der wissenschaftlichen Erkenntnis. Wien 1967, S. 140.

⁶ Vgl. Hörz, H.: Philosophische Grundlagen der Arbeit des Naturwissenschaftlers. Mitteilungsblatt der Chemischen Gesellschaft der DDR, Heft 1/1972.

So setzt sich die Sowjetunion seit Beginn der praktischen Raumfahrt konsequent für die ausschließlich friedliche Nutzung des Weltraums ein. Ihr zielstrebiges Ringen um friedliche Koexistenz führte zum Abschluß eines Vertrages mit den USA über die Zusammenarbeit der beiden Staaten im Welt- raum. Trotz der sich anbahnenden Kosmos-Kooperation haben wir keine Illusionen über das unver- änderte Wesen des Imperialismus. Nach wie vor hängen die Ziele der Raumfahrt in den USA von den Interessen der herrschenden kapitalistischen Klasse ab, an deren aggressiven Absichten sich nichts geändert hat. Dies verlangt eine konsequente Stellungnahme, die die Haltung und Verantwortung des Wissenschaftlers zur Gesellschaft zum Ausdruck bringt.

Die Untersuchung der bestehenden Zusammenhänge zwischen den Teilgebieten der Astronomie und das Verhältnis der Astro-[16:]nomie zu anderen Einzelwissenschaften gehören ebenfalls zum Gegen- stand des dialektischen Materialismus. Wesentliche Beziehungen, die zwischen den Wissenschaften existieren, sind weltanschaulich relevant. Solche Beziehungen resultieren unter anderem aus dem einheitlichen Forschungsgegenstand der materiellen Welt, deren verschiedene Bereiche durch die Einzelwissenschaften untersucht werden, sowie aus der gemeinsamen Funktion der Wissenschaften, welche das Ziel haben, die Gesetze zu erkunden, die den Erscheinungen und Vorgängen der objekti- ven Welt innewohnen. Eine Erforschung dieser Zusammenhänge fördert die Entwicklung des wis- senschaftlichen Weltbildes, wie es der dialektische Materialismus begründet.

Das quantitative und qualitative Wachstum des Wissens über das Weltall führte zur Aufteilung der Astronomie in Spezialgebiete, ein fortlaufender Prozeß, der anhält. Die Spezialgebiete zeichnen sich durch eine ständig wachsende Rolle der Mathematik und ihrer Methoden, durch das Eindringen der theoretischen Physik und durch die Anwendung umfangreicher technischer Hilfsmittel bei der Ge- winnung neuer Erkenntnisse aus. In der Gegenwart konzentriert sich die Forschung besonders auf die Astrophysik, deren Resultate Grundlagen für die Kosmogonie und Kosmologie sind, sowie auf ast- ronomische Ergebnisse der Astronautik. Es entwickeln sich aber auch die Astrochemie, die sich mit der chemischen Zusammensetzung des Kosmos beschäftigt, und die Astrobiologie, die nach Mög- lichkeiten der Existenz von Leben im Weltall forscht. Bei den genannten Wissenszweigen haben wir es mit sogenannten Grenzwissenschaften – mit einander gegenseitig berührenden Wissensgebieten – zu tun, deren Ziel es ist, die Erscheinungsformen im Kosmos exakter und umfassender widerzuspie- geln. Diese Forschungsbereiche untersuchen das spezifische Wirken der Bewegungsformen der Ma- terie in bestimmten kosmischen Objekten und ihren Systemen. Dabei werden die qualitativen Unter- schiede und die gleichen Funktionen struktureller Besonderheiten im beobachtbaren Teil des Welt- alls, die quantitativen Seiten qualitativ andersartiger Prozesse im Universum und die gleichen Rela- tionen bei unterschiedlichen kosmischen Objekten erforscht.

Das Weltall ist der einheitliche Untersuchungsgegenstand aller Spezialzweige der Astronomie. Hier spiegelt sich die Einheit der Wissenschaft wider, deren Aufgabe es ist, als Synthese der Forschungs- ergebnisse in den Teilgebieten umfassende Theorien für [17:] den Gesamtbereich der Astronomie und darüber hinaus der Naturwissenschaften zu entwickeln. Diese Tätigkeit fördert zunehmend die Erkenntnis des gesetzmäßigen Zusammenhangs von Mikro- und Makrokosmos durch das Eindringen in Existenzformen der Materie kleinster Raum-Zeit-Bereiche sowie durch das Studium der mannig- faltigen kosmischen Objekte und riesiger Räume als Ausdruck der materiellen Einheit der Welt.

[18:]

Das copernicanische Weltbild, seine wissenschaftlichen und weltanschaulichen Konsequenzen

Die Wechselbeziehungen zwischen Astronomie und materialistischer Weltanschauung lassen sich nur dann überzeugend begründen, wenn die Frage beantwortet wird, wie unsere gegenwärtigen Vorstellungen vom Weltall sich entwickelten, wenn also auf der Grundlage der Entwicklungsgesetze die Gegenwart aus der Vergangenheit erklärt wird. Daraus können auch bestimmte Voraussagen für die zukünftige Entwicklung abgeleitet werden. Eine quantitative Anhäufung von Vorstellungen über das Weltall führte in bestimmten Perioden zu tiefgreifenden Veränderungen, zu revolutionären Umwälzungen unserer Erkenntnisse über das Universum. Die Interpretation der Erkenntnisse durch Vertreter der beiden Grundrichtungen der Philosophie führte stets zu scharfen weltanschaulichen Auseinandersetzungen. Wir wollen die Wechselbeziehungen zwischen Astronomie und Weltanschauung am Beispiel der copernicanischen Ideen und ihrer Weiterentwicklung, vor allem anhand der durch Kant begründeten wissenschaftlichen Kosmogonie, charakterisieren.

Von der ptolemäischen zur copernicanischen Weltvorstellung

Die Astronomie gehört bekanntlich zu den ältesten Naturwissenschaften. Engels charakterisierte diesen Sachverhalt wie folgt: „Zuerst Astronomie – schon der Jahreszeiten halber für Hirten- wie Ackerbauvölker absolut nötig.“¹ Es waren hauptsächlich praktische Bedürfnisse, die zur Entstehung und Entwicklung der Astronomie, also zu den Anfängen einer wissenschaftlichen Betrachtung des Weltalls führten. „Die Notwendigkeit, die Perioden der Nilüberschwemmung zu berechnen“, schreibt Marx, „schuf die ägyptische Astronomie und mit ihr die Herrschaft der Priesterkaste als Leiterin der Agrikultur.“² Der Ackerbau, damit verbundene notwendige Festlegungen für die Aussaattermine, die Vorausberechnung der periodischen Überschwemmungen förderten das Bedürfnis der Gesellschaft nach einer genaueren Zeiteinteilung, zwangen zur systematischen Beobachtung auffälliger Vorgänge, wie die Bewegungserscheinungen von Sonne, Mond, Planeten und Sternen. Die sich von den Küsten lösende Seefahrt benötigte eine genaue Orientierung an Hand der Stellung der Gestirne.

Jedoch waren mit der Beobachtung des Sternhimmels nicht nur praktische Erwägungen, sondern auch religiöse Vorstellungen verbunden. Auf dieser Stufe der gesellschaftlichen Entwicklung fehlten den Menschen Einsichten in die Zusammenhänge der Natur. Sie verknüpften die Beobachtung besonderer Erscheinungen, z. B. Sonnen- und Mondfinsternisse, den wechselnden Standort der sichtbaren Planeten, das Auftauchen von Kometen und Sternschnuppen, mit mystisch-abergläubischen Deutungen. Sie bewunderten die ihnen unerreichbaren und unerklärbaren Objekte am Sternhimmel und glaubten an ihre Göttlichkeit, die das Schicksal der Erde und ihrer Bewohner entscheidend beeinflusste. So kam es zur Verwischung von Beobachtungstatsachen und zu mystischen Betrachtungen über die Beziehungen zwischen dem Sternhimmel und den Menschen. Hier sind auch die Quellen der Astrologie zu suchen, die mit der babylonischen Astronomie entstand.

Die Astrologie, eine Lehre vom angeblichen Einfluß der Gestirne auf das Schicksal des Menschen und der Gesellschaft und seine Voraussagbarkeit mittels Horoskope auf Grund der Stellung und Bewegung der Gestirne, will auf den Willen von Gottheiten schließen. Das relativ geringe astronomische Wissen in der damaligen Zeit und die im Interesse der herrschenden Klasse bewußte Förderung der Astrologie rückte sie in das Zentrum der Naturbetrachtung. Der Ausbau dieser Lehre wurde zu einem eingebildeten gesellschaftlichen Bedürfnis. Die intensive Beschäftigung mit der Astrologie war für Jahrhunderte wesentliche Triebkraft für exakte Himmelsbeobachtungen, die den Erkenntnisfortschritt in der Astronomie förderten. Das Eindringen in das Wesen der Erscheinungen am Sternhimmel, die Herausbildung der heliozentrischen Weltvorstellung, die Entdeckung der äußeren Planeten, das Erkennen des wahren Charakters der Fixsterne widerlegten immer überzeugender astrologische Gedankengänge. Trotzdem hat die Astrologie in der antagonistischen Klassengesellschaft bis

¹ Engels, F.: Dialektik der Natur. In: MEW, Bd. 20, Berlin 1972, S. 456.

² Marx, K.: Das Kapital. In: MEW, Bd. 23, Berlin 1972, S. 537.

zur Gegenwart ideologische Funktionen. Selbst in den wissenschaftlich-technisch hochentwickelten kapitalistischen Ländern USA und BRD wird noch heute astrologisches Gedankengut von den Massenkommunikationsmitteln verbreitet. Es dient zur Beeinflussung leichtgläubiger Menschen, zu ihrer Flucht aus der Wirklichkeit. In den sozialistischen Ländern gibt es auf Grund der gesellschaftlichen Bedingungen keinen Platz für die Verbreitung des pseudowissenschaftlichen Gedankenguts der Astrologie.

Auf der Grundlage der astronomischen Erkenntnisse der Babylonier beschäftigten sich die griechischen Naturphilosophen mehr mit den Ursachen der Erscheinungen am Sternhimmel als mit ihrer Beobachtung. Die astronomischen Kenntnisse waren eng mit philosophischen Betrachtungen verbunden.

Die Pythagoräer betrachteten die Erde als einen Stern, der sich kreisförmig um ein Zentralfeuer bewegt, das nicht mit der Sonne identisch ist. Für sie bewegten sich Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn, Sonne, Mond, die Milchstraße und die erdachte Gegenerde (Antipode) auf Kreisbahnen um dieses Feuer. Sie sahen in der Bewegung der Gestirne eine bestimmte Harmonie, die mathematisch begründet werden kann und leiteten daraus eine Gesetzmäßigkeit der Naturerscheinungen ab.³

Philolaos von Kroton (um 500 v. u. Z.) war der Auffassung, daß sich Sonne, Erde und Planeten auf konzentrischen Kreisen um ein Zentralfeuer bewegen, wobei er eine kugelförmige Gestalt der Himmelskörper annahm. Aristarch von Samos (um 300 v. u. Z.) vertrat spekulativ heliozentrische Vorstellungen, die Jahrhunderte später von Copernicus exakt formuliert wurden. Das Fehlen einer parallaktischen Verschiebung der Fixsterne als Folge der jährlichen Bewegung der Erde um die Sonne begründete Aristarch mit der Dimension der Fixsternsphäre, gegenüber der die Erdbahn als sehr klein angesehen wurde. Ferner leitete er die tägliche Bewegung des Sternhimmels aus der Rotation der Erde ab. Trotz des Wahrheitsgehaltes dieser Vorstellungen konnten sie sich in der damaligen Zeit nicht durchsetzen, weil dazu wissenschaftliche Beweise fehlten und die vorhandenen Erkenntnisse über die Planetenbewegungen die praktischen Bedürfnisse befriedigten.

Der bedeutendste Denker des Altertums, Aristoteles (384-322 v. u. Z.), systematisierte und verallgemeinerte die damaligen Naturerkenntnisse. Er erwarb sich hohe Verdienste bei der Entwicklung der Philosophie und der Naturwissenschaften. In seiner Schrift „Über den Himmel“ (De caelo) schildert er das Weltall als eine seit Ewigkeit bestehende unvergängliche Ordnung. Er verband den Raum mit den Körpern und die Zeit mit der Bewegung, konnte jedoch noch nicht den Zusammenhang von Materie und [21:] Bewegung begreifen. Deshalb bejahte Aristoteles die Bewegung in der Natur, kam aber zu dem Schluß, daß die Bewegung den ersten Anstoß durch außerweltliche Kräfte erhielt. Nach seinen Vorstellungen besteht der irdische Körper aus den Elementen Feuer, Wasser, Luft und Erde, während die himmlischen Körper aus göttlichem Äther zusammengesetzt sind.

Infolge der Schattenwirkungen der Erde bei Mondfinsternissen gelangte Aristoteles zu der Erkenntnis, daß die im Mittelpunkt des Weltalls ruhende Erde Kugelgestalt besitzt. Die geozentrische Auffassung von der kugelförmigen Welt, die endlich im Raum und unendlich in der Zeit ist, einer Welt, in der sich die Planeten, der Mond und die Sonne auf Sphären kreisförmig um die Erde bewegen und an der Himmelskugel die Fixsterne befestigt sind, bildete das Fundament für die Ausarbeitung des geozentrischen Systems des Ptolemäus.⁴

Hipparch (190-125 v. u. Z.) und später Ptolemäus (90-168) stellten eine Theorie über die sichtbaren Bewegungsvorgänge von Sonne, Mond und Planeten auf. Danach bewegen sich diese Himmelskörper auf Kreisbahnen um die im Mittelpunkt der Welt ruhende Erde. Während bisher die Vorstellungen über die Geometrie des Planetensystems vorwiegend auf spekulativen Betrachtungen beruhten, bemühte sich Hipparch unter dem Einfluß der materialistischen Strömungen jener Zeit, die Bewegungsvorgänge mathematisch, mit Hilfe von Epizykeln, zu beschreiben.

³ Vgl. Lenin, W. I.: Aus dem philosophischen Nachlaß. In: Werke, Bd. 38, Berlin 1964, S. 236.

⁴ Vgl. Jürß, F.: Die Entwicklung des Weltbildes in der Antike. In: J. Herrmann (Hrsg.): Nicolaus Copernicus. Berlin 1973, S. 40.

Die Planetentheorie des Ptolemäus, welche in dem Werk „Almagest“ „, einen breiten Raum einnimmt und wohl zu den größten Leistungen der antiken Astronomie zählt, ist frei von spekulativen Ideen. Ptolemäus versuchte, eine auf Beobachtungen gestützte Analyse der Bewegungen der Planeten zu geben und ihren Lauf durch die Tierkreiszone darzustellen. Diese Aufgabe war nicht einfach, weil die geozentrische Beschreibung der komplizierten Bewegungsvorgänge große Schwierigkeiten bereitete. Obwohl Ptolemäus die Kugelgestalt der Erde bejahte, billigte er nicht die pythagoreischen Ideen von einer Rotation der Erde. Ausgehend von den naturphilosophischen Gedankengängen des Aristoteles, hält er an beobachteten Erscheinungen fest, ohne in ihr Wesen einzudringen. Für ihn ruht die Erde im Mittelpunkt der Himmelskugel. Um sie bewegen sich auf Kreisbahnen die Planeten, einschließlich Sonne und Mond. Der Kreis wird wegen seiner einfachen Geometrie bis zu Kepler als ideale Figur für die Bewegung der Himmelskörper angesehen. Die verwickelten Bewegungsvorgänge, z. B. die Perio- [22:]den der Recht- und Rückläufigkeit, versuchte Ptolemäus mit Annahmen von Epizykeln und anderen Konstruktionen zu erklären. Er erkannte selbst, daß sein Schema über die Bewegungen der Himmelskörper künstlich konstruiert war. Obwohl er sich mit den heliozentrischen Überlegungen des Altertums auseinandersetzte und eine Rotation sowie den Umlauf der Erde um die Sonne für möglich hielt, lehnte er diese Bewegungen aus physikalischen Erwägungen ab. Ptolemäus ging von der Beobachtungserscheinung aus, die er mit den wirklichen Bewegungen für identisch hielt. Der Kosmos wird bei ihm durch die Fixsternsphäre begrenzt. Die tägliche Bewegung der Himmelskugel führte er auf das *primum mobile* zurück.

Trotz ihrer Unzulänglichkeiten gab die geozentrische Vorstellung ein annähernd genaues Bild über die damaligen Kenntnisse vom Bau des Weltalls. Obwohl die ptolemäischen Auffassungen später durch die copernicanischen Erkenntnisse widerlegt wurden, bildeten sie eine geschlossene Theorie, die die im Altertum bekannten Tatsachen über die Bewegungen der Himmelskörper im wesentlichen widerspruchsfrei erklären konnte. Mit Hilfe der in dieser Zeit bekannten mathematischen Methoden wurde eine Berechnungsgrundlage für die Ortsbestimmung der beweglichen Gestirne geschaffen, die über 1400 Jahre mit ausreichender Genauigkeit zur Kalenderrechnung und zur Orientierung der Seefahrt diente. Als Weltbild in die Ideologie der herrschenden Klassen integriert, wurde das ptolemäische System zur grundlegenden astronomischen Theorie.

Wie alle Wissenschaften, so war auch die Astronomie des Mittelalters von der Scholastik, der durch christliche Dogmen begrenzten philosophisch-theologischen Denkweise, geprägt. Das Gedankengebäude, das auf den Lehren des Thomas von Aquino (1224 bis 1274) beruhte, stellte den Versuch dar, die religiösen Dogmen zu begründen, das Wissen mit dem Glauben zu vereinen. Neben unzulässigen Auslegungen der Lehre des Aristoteles führte Aquino die Erkenntnisse des Ptolemäus als Autoritätsbeweis für seine Überlegungen an. Für die mittelalterlichen Scholastiker war das geozentrische System unfehlbare Wahrheit, die nicht angezweifelt werden durfte. Die von Gott geschaffene Erde befand sich nach ihren Vorstellungen unbeweglich im Mittelpunkt des Kosmos. Sie galt als der unvollkommene sündhafte Bereich, der Himmel mit seinen Sphären dagegen als der vollkommene und absolute, ewige Bereich. Hinter der Fixsternsphäre thronte Gott, der die [23:] Drehung bewirkte. Da der Thomismus von der mittelalterlichen Kirche sanktioniert wurde, war für die Astronomie die ptolemäische Lehre die unantastbare theoretische Grundlage, auf der die gesamte Forschungsarbeit beruhte. Jede Kritik am geozentrischen Weltbild wurde unterdrückt. Im Gegenteil – aus religiösen Gründen lehnte man sogar Erkenntnisse der antiken Naturphilosophie, wie z. B. die Lehre von der Kugelgestalt der Erde, ab und versuchte, sie zu verhöhnen. Alle kosmischen Erscheinungen wurden aus der theologischen Vorstellungswelt erklärt, die Ordnung und Schönheit des Kosmos auf die Existenz eines immateriellen Geistes zurückgeführt. Die theologische Naturerklärung, die als die einzig zutreffende und ausreichende angesehen wurde, engte die wissenschaftliche Fragestellung für lange Zeit einseitig auf das Problem ein, die Absichten dieses Geistes zu erforschen.

Die rasche Entwicklung der Produktivkräfte und allmähliche Herausbildung frühkapitalistischer Produktionsverhältnisse im 15. und 16. Jahrhundert führten zu einem bedeutenden Aufschwung des Handels, des Verkehrs und der Wissenschaften. Das Zeitalter der großen geographischen Entdeckungen benötigte zur Orientierung der nach allen Himmelsrichtungen in See stechenden Schiffe exakte

astronomische Kenntnisse. Der durch die Entwicklung der Meßtechnik sich ständig vergrößernde Widerspruch zwischen Beobachtungstatsachen und ptolemäischer Theorie war nur durch die Ausarbeitung einer qualitativ neuen Grundkonzeption zu lösen. Die Situation in der damaligen Astronomie stimmte mit den Absichten des aufsteigenden Bürgertums überein, das die Naturwissenschaft als theoretische Basis für die Entwicklung der Technik und als ideologische Waffe im Kampf gegen das religiöse Dogma brauchte.⁵

Im 16. Jahrhundert entwickelte Nicolaus Copernicus (1473 bis 1543) eine neue Weltvorstellung. Obwohl er sich ausdrücklich auf die Vorgänger der heliozentrischen Weltauffassung im Altertum berief, war er im Gegensatz zu diesen bemüht, keine bloße Beschreibung der räumlichen Bewegung von Sonne, Mond und Planeten zu geben, sondern entwickelte eine geometrisch-kinematische Theorie zur Berechnung dieser Vorgänge. Copernicus wandte die auf die Erde bezogenen geometrischen Kenntnisse erstmalig auf Vorgänge im Weltall an, entdeckte die Einheit der Geometrie von Erde und Kosmos und gab somit eine wissenschaftliche Begründung für euklidische Maßbestimmungen im Universum. Trotzdem Copernicus auf Grund des Studiums klassischer Werke des Alter-[24:]tums an der aristotelisch-ptolemäischen Auffassung von der Kreisbewegung der Himmelskörper festhielt, vertrat er die Kreisform nicht aus religiösen Motiven, sondern aus geometrischen Überlegungen; seine Planetentheorie mit weitreichenden weltanschaulichen Konsequenzen leitete eine revolutionäre Wende in der Entwicklung der Wissenschaft ein. Es vollzog sich der Umbruch vom antiken-mittelalterlichen Weltbild zum Weltbild der neuen Zeit. Das progressive Element der neuen Weltauffassung besteht in der Relativierung der Stellung der Erde. Im heliozentrischen System ist die Erde ein Planet unter Planeten. Sie hat keine Ausnahmestellung im Weltall. Die copernicanische Theorie beschreibt nicht nur formal die sichtbaren Planetenbewegungen, sondern ihre Erkenntnisse sind eine objektive Widerspiegelung der wirklichen Bewegungsvorgänge.

Mit dieser Erkenntnis geleitete Copernicus die astronomische Wissenschaft von der geometrischen zur physikalischen Betrachtung des Weltalls. Die copernicanische Theorie überwand die erkenntnistheoretischen Schranken des antiken Weltbildes. Sie schuf mit ihrer qualitativ neuen Betrachtungsweise über die Stellung und Bewegungen des Himmelskörpers Erde und mit ihrer begründeten Erklärung der Planetenbewegungen im Bezugssystem Erde eine moderne wissenschaftliche Denkweise, die sich von nun an mit den Naturwissenschaften und der Auseinandersetzung zwischen materialistischer und idealistischer Weltanschauung entwickelte. Wir finden damit schon bei Copernicus das Grundprinzip der wissenschaftlichen Erkenntnistätigkeit, die Einheit von Beschreibung und Erklärung, in seinen Ansätzen verwirklicht.⁶ Die Wissenschaft orientierte nicht mehr auf die Betrachtung der Erscheinungen, sondern auf die Aufdeckung ihres Wesens.

Die heliozentrische Weltauffassung zerstörte die idealistisch-religiöse Annahme, daß das Weltbild, in dessen Zentrum sich die ruhende Erde und ihre Bewohner als Produkt der Schöpfung befinden, von einer außerweltlichen Kraft gelenkt wird. Da die Erde im Kosmos keine Sonderstellung hat, ist der Mensch keine göttliche Ausnahme, sondern ein Naturprodukt und, wie später erkannt, das Ergebnis einer Entwicklung. Es gibt keinen prinzipiellen Unterschied zwischen Himmel und Erde. Die Welt ist einheitlich. Auf der Erde gelten im Prinzip die gleichen Gesetze wie im Kosmos. Die copernicanischen Ideen gewannen so maßgeblichen Anteil an der geistig-ideologischen Vorbereitung des revolutionären Umgestaltungsprozesses der Feudalgesellschaft. Sie wurden [25:] vom aufsteigenden Bürgertum bewußt als Waffe im Kampf gegen theologische Vorurteile und die Fesseln des kirchlichen Weltbildes genutzt. In diesem Sinne leistete das heliozentrische Weltbild einen hervorragenden Beitrag zur Entwicklung der materialistischen Naturauffassung.

Nicht nur die mittelalterliche Kirche bekämpfte mit allen Mitteln die Ideen des Copernicus, die im scharfen Widerspruch zur idealistisch-religiösen Weltanschauung der feudalistischen Gesellschaft standen, sondern auch Wissenschaftler begegneten den neuen Gedankengängen zunächst mit Zurück-

⁵ Vgl. Engels, F.: Die Entwicklung des Sozialismus von der Utopie zur Wissenschaft. In: MEW, Bd. 19, Berlin 1972, S. 202 ff.

⁶ Vgl. Laitko, H.; Bellmann, R. (Hrsg.): Wege der Erkenntnis. Berlin 1969, S. 178.

haltung und Skepsis. Ein gewichtiges Argument gegen die heliozentrische Auffassung war die Feststellung, daß ein Umlauf der Erde um die Sonne entsprechende Ortsveränderungen von Vordergrundsternen gegenüber der Himmelskugel zur Folge haben müßte. Die damalige Beobachtungstechnik konnte diesen Nachweis noch nicht erbringen. Jedoch wirkten sich die entstandenen Widersprüche progressiv auf die weitere Entwicklung der Astronomie und auf die weltanschauliche Auseinandersetzung zwischen Materialismus und Idealismus aus. Das Ringen der Anhänger des Copernicus mit den wissenschaftlichen und ideologischen Gegnern des heliozentrischen Systems wies immer überzeugender seinen Wahrheitsgehalt nach und entwickelte es weiter.

Die Weiterentwicklung der copernicanischen Ideen und ihre Stellung in der weltanschaulichen Auseinandersetzung

Während Copernicus noch an vielen traditionellen Auffassungen aus dem Altertum, unter anderem an dem Gedanken von der Sonne als dem Zentrum des Weltalls und an der Idee von der Begrenzung des Weltalls durch die Fixsternsphäre, festhielt, zog der Philosoph Giordano Bruno (1548-1600) aus der copernicanischen Lehre kühne Konsequenzen, die sowohl für den Werdegang der Astronomie als auch für den der Philosophie von Bedeutung waren.

Bruno vertrat die Auffassung, daß die Bewegung der Planeten um die Sonne zu dem Schluß zwingt, daß eine ruhende Fixsternsphäre nicht notwendig ist. Wenn es eine solche Sphäre nicht gibt, dann hat das Weltall keine Grenzen; es existiert eine Vielzahl von Sternen, die eine unterschiedliche Entfernung besitzen. Bruno hob auch die Vorstellung von einem angeblichen Unterschied [26:] zwischen Sonne und Sternen auf. Für ihn ist die Sonne ein Stern unter Sternen. Um zahlreiche Sonnen bewegen sich Planeten, auf denen auch Lebensmöglichkeiten bestehen. Durch die philosophische Annahme einer Erkennbarkeit des Kosmos waren die spekulativen Ideen Brunos prinzipiell einer wissenschaftlichen Zugänglichkeit unterworfen, unabhängig davon, daß damals eine entsprechende Überprüfung noch nicht stattfinden konnte, sondern erst durch die gegenwärtige kosmogonische und kosmologische Forschung möglich wird.

Brunos Ansichten vom unendlichen Weltall, in dem der Mittelpunkt überall sein kann, und seine Vorstellung von der Vielzahl der Sonnen trugen materialistisch-atheistischen Charakter und übten scharfe Kritik an der mittelalterlichen Scholastik. Engels bemerkt dazu: „Auch die Naturforschung bewegte sich damals mitten in der allgemeinen Revolution und war selbst durch und durch revolutionär; hatte sie sich doch das Recht der Existenz zu erkämpfen. Hand in Hand mit den großen Italienern, von denen die neuere Philosophie datiert, lieferte sie ihre Märtyrer auf den Scheiterhaufen und in die Gefängnisse der Inquisition. Und bezeichnend ist, daß Protestanten den Katholiken vorseilten in der Verfolgung der freien Naturforschung, Calvin verbrannte Servet, als dieser auf dem Sprunge stand, den Lauf der Blutzirkulation zu entdecken, und zwar ließ er ihn zwei Stunden lebendig braten; die Inquisition begnügte sich wenigstens damit, Giordano Bruno einfach zu verbrennen.“⁷

Johannes Kepler (1571-1630) leistete mit seinen Erkenntnissen einen wesentlichen Beitrag zur Weiterentwicklung der copernicanischen Lehre. Er kam bei der mathematischen Auswertung umfangreicher Beobachtungsdaten von Tycho Brahe (1546-1601) zu dem Schluß, daß sich die Planeten nicht auf Kreisbahnen, sondern in Ellipsenform um die Sonne bewegen. Ihre Bahnbewegung hat unterschiedliche Geschwindigkeit. Zwischen der Entfernung der Planeten von der Sonne und ihrer Umlaufzeit besteht ein Zusammenhang. Kepler beschrieb nicht nur die Planetenbewegungen, sondern er fand auf der Grundlage des damaligen Erkenntnisstandes dafür eine mathematische Erklärung. Mit der Formulierung der Planetengesetze wurde die von Copernicus aus der Antike übernommene Vorstellung von der Kreisbewegung der Himmelskörper und die damit verbundene komplizierte Epizykeltheorie negiert.

Kepler drang mit seinen wissenschaftlichen Erkenntnissen bis [27:] zur objektiven Naturgesetzlichkeit vor und trug damit zur Entwicklung der materialistischen Weltanschauung bei. Da Kepler weder das Fallgesetz noch das Trägheitsgesetz kannte, war es ihm nicht möglich, die Ursache der Planeten-

⁷ Engels, F.: Dialektik der Natur. In: MEW, Bd. 20, Berlin 1972, S. 313.

bewegungen zu erklären. Jedoch wurden die von ihm entdeckten Gesetze der Planetenbewegungen zum wesentlichen Ausgangspunkt für die Entwicklung der Himmelsmechanik. Deshalb bezeichnen wir Kepler zu Recht als den Begründer der theoretischen Astronomie.

Der italienische Physiker und Astronom Galileo Galilei (1564 bis 1642) bediente sich bei seinen Himmelsbeobachtungen erstmals eines zu dieser Zeit erfundenen Teleskops. Er erblickte darin Sonnenflecken, Mondkrater und Mondgebirge, sah die vier hellen Jupitermonde, die Venusphasen und die Milchstraße als eine große Sternansammlung. Diese Entdeckungen trugen zur Entwicklung und zum physikalischen Verständnis des copernicanischen Weltbildes bei. Während Kepler die kinematische Ähnlichkeit zwischen der Erde und den übrigen Himmelskörpern mathematisch begründete, wies Galilei mit seinen Fernrohrbeobachtungen nach, daß die Himmelskörper strukturierte Gebilde wie die Erde sind. Die Entdeckung der physikalischen Identität der Himmelskörper war nicht nur ein physikalischer Beweis für den Wahrheitsgehalt des copernicanischen Weltsystems, sondern negierte auch die Behauptung vom angeblichen Unterschied zwischen Himmel und Erde. Die Verbreitung der copernicanischen Vorstellung in der einfachen Sprache des Volkes veranlaßten Jesuiten und Vertreter des Vatikans, Galilei dahin zu drängen, sich über das copernicanische System nur hypothetisch zu äußern. Für Galilei jedoch war das heliozentrische Weltsystem objektive Wirklichkeit, und er verteidigte es offen. Er strebte zunächst die Unabhängigkeit der Wissenschaft von der Theologie in der Naturforschung an. Dieses Vorhaben stieß aber auf den heftigen Widerstand kirchlicher Autoritäten. Deshalb versuchte er den Glauben mit dem Wissen zu versöhnen. Die Vertreter der herrschenden Klasse erkannten jedoch, daß die Verbreitung der copernicanischen Ideen früher oder später den Glauben gefährden und damit ihre Macht in Frage stellen würde. Deshalb setzte 1616 die römische Curie die Werke des Copernicus auf den Index und verbot unter Androhung von Strafe die Verbreitung der heliozentrischen Gedankengänge. Alle Versuche Galileis, diese Entscheidung zu verhindern, scheiterten. Im Gegenteil, er selbst mußte vor dem Inquisitionsgericht erscheinen.

Da Galilei von der Richtigkeit seiner Auffassungen zutiefst [28:] überzeugt war, wies er in seinem Werk „Discorsi“ nochmals in Form eines Dialoges die Objektivität des heliozentrischen Weltsystems und die Realität der Erdbewegungen nach. Die Bedeutung dieses Dialogs für den wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Fortschritt wird in dem Prozeß sichtbar, der 1633 von der Inquisition gegen Galilei angestrengt wurde. Das Urteil verbot Galilei, sich mit der Astronomie zu beschäftigen.

Alle späteren Versuche des Klerus, das Urteil zu rechtfertigen, schlugen angesichts der überzeugenden Tatsachen der sich entwickelnden Wissenschaft fehl. Jedoch erst im 20. Jahrhundert widerrief der Vatikan die Verurteilung Galileis! Angesichts der eindrucksvollen Entwicklung der wissenschaftlichen Erkenntnis ist die Aufhebung des Urteils als ein Versuch zu werten, die Wissenschaft mit dem Glauben zu vereinen. Dieses Streben entspricht der Konzeption des modernen Katholizismus.

Galileis Entdeckungen waren für die Entwicklung der Naturwissenschaften von grundsätzlicher Bedeutung. Sein experimenteller Nachweis der Bewegung irdischer Massen führte zur Formulierung wichtiger Gesetze der Mechanik. Dazu gehören die Gesetze des freien Falls und das Trägheitsgesetz. Galileis Erkenntnis, daß die physikalischen Gesetze, die die Bewegung irdischer Massen bestimmen, auch für außerirdische Körper anwendbar sind, zertrümmerten das mittelalterliche Weltbild von der unvollkommenen Erde und der Vollkommenheit des Himmels und setzten an seine Stelle die naturgesetzliche Einheit von Erde und Kosmos. Daraus lassen sich zwei Schlußfolgerungen ableiten: Gesetze, die in irdischen Laboratorien erforscht und mathematisch formuliert werden, sind auf den Kosmos übertragbar. Erkannte Gesetze über Erscheinungen und Vorgänge im Weltall erweitern und vertiefen das Wissen über die irdische Physik. Die Anerkennung der Existenz von objektiven Gesetzen unter allen Bedingungen war eine der Grundlagen für die Entstehung und Entwicklung der modernen Naturwissenschaft.⁸

⁸ Vgl. Griese, A.: Der Entwicklungsgedanke in den Wissenschaften und seine Bedeutung für die Begründung und weitere Ausarbeitung der dialektisch-materialistischen Gesetzeskonzeption. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt-Universität zu Berlin, Math.-Nat. Reihe XXI (1973), Heft 1, S. 52.

Die Neubegründung der Mechanik durch die Synthese der theoretischen Astronomie Keplers mit der experimentellen Erforschung irdischer Massen durch Galilei bildete das wichtigste Fundament für die Entwicklung der Himmelsmechanik.

Isaak Newton (1643-1727) gab mit der Auffindung des Gravitationsgesetzes eine exakte wissenschaftliche Begründung für die Himmelsmechanik. In seinem Werk „Mathematische Prinzipien der Naturphilosophie“ weist er unter anderem die Universalität [29:] der Gravitation und ihre Proportionalität zu den Massen der Körper nach. Danach befinden sich alle Objekte im Weltall in gegenseitiger anziehender mechanischer Wechselwirkung. Die Bewegung der Körper vollzieht sich streng deterministisch im absoluten Raum.

Für Newton war das Gravitationsgesetz nicht nur eine rein theoretische Überlegung, sondern er wies durch Beobachtungen und Messungen nach, daß die Gravitationswirkung im gesamten Planetensystem existiert. Aus dem Gravitationsgesetz leitete er die Keplerschen Gesetze, die Abplattung der Planeten, die Abnahme der Anziehung mit wachsender Entfernung der Planeten von der Sonne und die physikalischen Ursachen für Ebbe und Flut ab. Er überprüfte theoretische Erkenntnisse stets mit Beobachtungs- und Meßwerten. Für ihn sind Beobachtung und Experiment Mittel der Erkenntnis. Die Beobachtung ist für Newton Ausgangspunkt zur Beschreibung von Naturvorgängen. Sie wird ergänzt durch die mathematische Erklärung, die verschiedenen Ableitungen unterworfen ist. Die Folgerungen werden wieder durch die Beobachtung geprüft. Durch diese Methoden, die die weitere Entwicklung der Naturwissenschaften wesentlich beeinflussten, werden nicht nur physikalische Sachverhalte unter Verwendung mathematischer Hilfsmittel erklärt, sondern das „Mathematische“ wird zu einem wesentlichen Strukturmerkmal des Begriffsapparates der Physik.⁹ Daraus ergeben sich Konsequenzen für die angrenzenden Wissenschaften.

Newton formulierte mathematisch exakt die Einheit der irdischen und kosmischen Physik. Er äußerte Gedanken vom gesetzmäßigen Zusammenhang im Kosmos. Mit seinen Überlegungen und Erkenntnissen über die Einheit der Welt, ihre Materialität und Erkennbarkeit leistete er einen bedeutenden Beitrag zur Entwicklung der materialistischen Weltanschauung.¹⁰

Newton, der mit der Auffindung des Gravitationsgesetzes die Bewegungskräfte im Weltall entdeckt hatte, konnte zu seiner Zeit das Wesen der Gravitation noch nicht ergründen. Nach seiner Auffassung hat die Ursache der Gravitation keinen mechanischen, sondern immateriellen Charakter. Folglich kam der erste Anstoß für die Bewegung, die seit dieser Zeit unveränderlich ist, von einer außerweltlichen Kraft.

In dieser Vorstellung zeigt sich der grundlegende Widerspruch in der Naturwissenschaft während der damaligen Entwicklungsepoche. Engels charakterisierte diesen Sachverhalt mit folgenden Worten: „Newtonsche Gravitation. Das beste, was man von ihr sagen kann, ist, daß sie den gegenwärtigen Zustand der Planetenbewe-[30:]gung nicht erklärt, sondern veranschaulicht. Die Bewegung ist gegeben. Dito die Anziehungskraft der Sonne. Wie ist die Bewegung unter diesen Daten zu erklären? Durch das Parallelogramm der Kräfte, durch eine Tangentialkraft, die jetzt notwendiges Postulat wird, die wir annehmen müssen. Das heißt, die Ewigkeit des bestehenden Zustandes vorausgesetzt, brauchen wir einen ersten Anstoß, Gott.“¹¹ Zwar zeigte die fortschreitende Naturwissenschaft Ansätze, sich von den scholastischen Fesseln der Feudalzeit zu befreien, jedoch setzte ihr Bekenntnis zu der theologischen Anschauung von der Entstehung der Welt diesem Fortschritt Grenzen. Engels erklärt den Widerspruch wie folgt: „Copernicus, im Anfang der Periode, schreibt der Theologie den Absagebrief; Newton schließt sie mit dem Postulat des göttlichen ersten Anstoßes.“¹² Erst als sich später der Entwicklungsgedanke in den Naturwissenschaften durchsetzt, wird diese erkenntnistheoretische Schranke überwunden.

⁹ Vgl. Laitko, H.; Bellmann, R.: a. a. O., S. 182.

¹⁰ Vgl. Jackisch, G.: Einige wissenschaftliche und erkenntnistheoretische Aspekte der Zeit Isaak Newtons und ihre Auswirkungen bis in die Gegenwart. In: Herrmann, J. (Hrsg.): Nicolaus Copernicus. Berlin 1973, S. 176

¹¹ Engels, F.: a. a. O., S. 535.

¹² Engels, F.: a. a. O., S. 315.

Während Copernicus das neue Weltsystem postulierte und Kepler beschrieb, wie sich die Himmelskörper bewegen, erklärte Newton, warum sich die Himmelskörper bewegen. Galilei erkannte die Ursachen für die Bewegung irdischer Massen, Newton deckte mit dem Gravitationsgesetz die Bewegungskräfte kosmischer Massen auf. Er begründete damit mathematisch die naturgesetzliche Einheit von Erde und Kosmos.

Mit der physikalischen Begründung der copernicanischen Weltvorstellung erhielt die Astronomie eine wissenschaftlich fundierte Himmelsmechanik, mit der die Bewegungsvorgänge im Weltall exakt erklärt werden konnten.

Schon Copernicus wußte, daß sich die Bewegung der Erde im Raum durch eine Veränderung der Sternörter gegenüber dem Himmelshintergrund widerspiegeln muß. Jedoch konnte zu seiner Zeit meßtechnisch der Nachweis für eine solche Verschiebung (jährliche Parallaxe) nicht erbracht werden. Auf Grund dieser Tatsache lehnten Tycho Brahe u. a. das copernicanische Weltsystem ab. Erst als sich die Meßgenauigkeit in der Astronomie erhöhte, konnte die Erdrevolution experimentell nachgewiesen werden. 1838/39 führte Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) die erste Messung einer Fixsternparallaxe durch, bewies damit experimentell die Bewegung der Erde um die Sonne und gewann erste Erkenntnisse über die wahre Entfernung der Fixsterne.

Mit der Auffindung des Gravitationsgesetzes war die Sonne nicht nur geometrischer Mittelpunkt unseres Planetensystems, sondern infolge ihrer Anziehungskraft auch physikalischer Schwerpunkt dieses Systems. Das Gravitationsgesetz erklärt nicht nur die Ursachen der Planetenbewegungen, sondern auch den qualitativen Unterschied zwischen den wahrgenommenen Bewegungen und den durch physikalische Kräfte verursachten Bewegungen, die nur theoretisch erfaßbar sind. In der Mitte des 19. Jahrhunderts berechneten U. J. Leverrier (1811-1873) und I. C. Adams (1819-1892) unabhängig voneinander auf der Basis des Gravitationsgesetzes den Standort eines unbekanntes Himmelskörpers, von dem man nur die auf die Bahn des Planeten Uranus ausgeübte Störung kannte. Das vorausgesagte Objekt, ein Planet, der den Namen Neptun erhielt, wurde tatsächlich in der Nähe des berechneten Ortes gefunden. Dieser Erfolg war nicht nur eine praktische Bestätigung für die Newtonsche Himmelsmechanik, sondern ein überzeugender Beweis für den Wahrheitsgehalt der copernicanischen Ideen. Engels meinte dazu: „Das copernicanische System war dreihundert Jahre lang eine Hypothese, auf die hundert, tausend, zehntausend gegen eins zu wetten war, aber doch immer eine Hypothese; aber als Leverrier aus den durch dieses System gegebenen Daten nicht nur die Notwendigkeit der Existenz eines unbekanntes Planeten, sondern auch den Ort berechnete, wo dieser Planet am Himmel stehen müsse und als J. G. Galle (1812-1910) dann diesen Planeten (gemeint ist Neptun – Anm. des Verfassers) wirklich fand, war das copernicanische System bewiesen.“¹³ Die Entdeckungsgeschichte des Planeten Neptun hatte wesentliche Bedeutung für die Auseinandersetzung mit dem Agnostizismus und widerlegte jene Argumente, die eine universelle Gültigkeit des Gravitationsgesetzes bezweifelten.

Die Entdeckung der Gravitationswirkung war aber nicht nur ein qualitativer Fortschritt in der Erforschung des Weltalls, sondern sie warf gleichzeitig eine Reihe von Fragen auf, deren Beantwortung für den weiteren Erkenntnisfortschritt auf diesem Gebiet bedeutungsvoll war. Zu diesen Problemen gehören „die Nichtübereinstimmung der Merkurbewegung mit den auf dem Gravitationsgesetz basierenden Berechnungen, der zufällige Charakter des Zusammenfallens von schwerer und träger Masse, die Unfähigkeit, mittels der Gravitation die Genesis des Sonnensystems zu erklären, und die Übertragung der Gravitation durch das Vakuum“.¹⁴

Die Mechanik Newtons, welche unter anderem das Gravitationsgesetz und die kosmologische Vorstellung vom absoluten Raum [32:] einschloß, bildete im 17. und 18. Jahrhundert eine wichtige theoretische Grundlage für die Entwicklung der Naturwissenschaft und des philosophischen Materialismus. Dieser erklärte die gesamte Vielfalt der Erscheinungen der materiellen Welt aus der mechani-

¹³ Engels, F.: Ludwig Feuerbach und der Ausgang der klassischen deutschen Philosophie. In: MEW, Bd. 21, Berlin 1972, S. 276.

¹⁴ Kuznecov, B. G.: Von Galilei bis Einstein. Berlin 1970, S. 144.

schen Bewegung. In einer solchen Verabsolutierung der mechanischen Bewegungsform zeigten sich zugleich die Grenzen des mechanischen Materialismus.

Die Durchsetzung des Entwicklungsgedankens in der astronomischen Wissenschaft

Der mechanische Materialismus lehrte, die Welt sei unwandelbar, d. h. absolut unveränderlich. Die Wende in dieser überholten Naturauffassung vollzog kein Naturforscher, sondern der Philosoph I. Kant (1724-1804). Kant, der sich eingehend mit den Naturwissenschaften beschäftigte, faßte die materielle Einheit der Welt nicht statisch auf, sondern kam zu dem Schluß, daß in der Welt dynamische Prozesse vor sich gehen. Das begründete er wissenschaftlich am Beispiel der Entwicklung im Kosmos. In seiner vorkritischen Periode wertete Kant umfangreiches Material der damaligen Astronomie auf der Grundlage der mechanischen Prinzipien der Naturwissenschaft aus. Im Gegensatz zu Newton beschäftigte sich Kant in seiner Frühschrift „Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels“ (1755) mit dem Ursprung, der Entwicklung und Entwicklungsrichtung der Himmelskörper und unternahm den Versuch, die Entstehung des Sonnensystems als Element eines übergeordneten Systems aus natürlichen Ursachen zu erklären. Er nutzte die Erkenntnisse von Copernicus, Kepler, Galilei und Newton und wies nach, daß der Entstehungsprozeß des Sonnensystems physikalisch möglich ist. Kants Gedanken von der genetischen Einheit des Sonnensystems waren eine Bereicherung der copernicanischen Ideen, weil sie mit den mechanischen Naturgesetzen nicht nur die Struktur dieses materiellen Systems, sondern auch seine Entstehung erklären.

Die Gedankengänge Kants beeinflussten nicht nur die weitere Entwicklung der Astronomie, sondern die aller Naturwissenschaften und hatten auch für die Philosophie große Bedeutung. Engels schrieb dazu: „Kant eröffnete seine Laufbahn damit, daß er das stabile Newtonsche Sonnensystem und seine – nachdem der famose erste Anstoß einmal gegeben – ewige Dauer auflöste in einen ge-[33:]schichtlichen Vorgang: in die Entstehung der Sonne und aller Planeten aus einer rotierenden Nebelmasse. Dabei zog er bereits die Folgerung, daß mit dieser Entstehung der Sonne und aller Planeten der künftige Untergang des Sonnensystems notwendig gegeben sei.“¹⁵ Kant versuchte, die philosophischen Auffassungen von der materiellen Einheit der Welt am Beispiel einer durchgängigen Entwicklung in der Natur zu beweisen. Er rüttelte damit erstmals an der Vorstellung, daß die Natur keine Geschichte in der Zeit habe.¹⁶ Die Erkenntnisse Kants wurden zum Springpunkt allen ferneren Fortschritts, weil sie zur Negation der mechanischen Naturbetrachtung führten und dem Entwicklungsgedanken in der Naturwissenschaft zum Durchbruch verhelfen.¹⁷ Damit leistete Kant einen bedeutenden Beitrag zur vormarxistischen Dialektik.

Indem Kant nach dem natürlichen Ursprung des Sonnensystems forschte, überwand er damalige agnostizistische Vorbehalte. Er widerlegte auch die zu seiner Zeit vorherrschende Auffassung vom Weltall, das von Gott geschaffen und daher unveränderlich sei. Er erklärte, gestützt auf die physikalischen Eigenschaften der Materie, auf welche Art und Weise sich die Struktur unseres Sonnensystems, wie wir es heute beobachten, gebildet hat. Damit postulierte er, daß die gegenwärtigen Erscheinungsformen der Materie im Kosmos aus sich selbst, ohne immateriellen Eingriff entstanden sind.

Die positive materialistische Position Kants hatte Schranken. Nach seiner Auffassung erreicht die Geschichte des Weltalls auch Grenzen, jenseits derer keine physikalischen Erklärungen möglich sind. Kant schreibt: „... daß Gott in die Kräfte der Natur eine geheime Kraft gelegt hat, sich aus dem Chaos von selber zu einer vollkommenen Weltverfassung herauszubilden ...“¹⁸ Folglich ist nach ihm die Ursache der Welt nicht die Materie, sondern Gott. Er unterscheidet zwischen einem Schöpfungsakt und dem Entwicklungsprozeß. Zwar ist für Kant eine Erklärung der Geschichte des Kosmos möglich, er verneint aber, daß die Entwicklungsgeschichte des Lebens einen natürlichen Ursprung hat.¹⁹ Trotz.

¹⁵ Engels, F.: Anti-Dühring. In: MEW, Bd. 20, Berlin 1972, S. 22.

¹⁶ Vgl. Engels, F.: a. a. O., S. 52.

¹⁷ Vgl. Engels, F.: Dialektik der Natur. In: MEW, Bd. 20, Berlin 1972, S. 316.

¹⁸ Kant, I.: Werke. Bd. 1, Berlin 1912, S. 310.

¹⁹ Vgl. Asmus, W. F.: Die Philosophie Kants. Berlin 1961, S. 20.

historisch bedingter erkenntnistheoretischer Schranken in den Auffassungen Kants gaben seine Ideen von der Entwicklung im Kosmos wertvolle Impulse für die weitere Erforschung der Natur.

Allmählich wurden die religiösen Vorbehalte über eine angebliche Welterschöpfung abgebaut und die durch die copernicanischen Ideen begonnene Emanzipation der Naturwissenschaften von der Theologie beendet. Die Anerkennung einer durchgängigen Ent-[34:]wicklung in allen Bereichen der Natur setzte sich allerdings sehr langsam und unter heftigem Widerstand der Anhänger einer geschaffenen und unveränderlichen Welt durch. Engels setzt sich mit dieser veralteten Naturauffassung auseinander, die bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts weit verbreitet war, indem er schrieb: „Wie unerbittlich noch bis 1861 ein Mann (gemeint ist der Astronom Mädler – Anm. des Verfassers) an diese Ansicht glauben kann, dessen wissenschaftliche Leistungen höchst bedeutendes Material zu ihrer Beseitigung geliefert haben, zeigen folgende klassischen Worte: ‚Alle Einrichtungen im System unserer Sonne zielen, soweit wir sie zu durchschauen im Stande sind, auf die Erhaltung des Bestehenden und unabänderlicher Dauer ... so wird auch selbst die größte Mannigfaltigkeit der coexistierenden Weltkörper uns nicht berechtigen, in diesen Formen bloß verschiedene Entwicklungsstufen anzunehmen, vielmehr ist alles Erschaffene gleich vollkommen in sich.‘ (Mädler: Populäre Astronomie. Berlin 1861, 5. Auflage, S. 316)²⁰ Die Idee von einer Naturentwicklung, der Kant mit seinen Erkenntnissen zum Durchbruch verhalf, wurde im 19. Jahrhundert immer mehr zum zentralen Prinzip bei der Erforschung der materiellen Welt.

Gleichfalls im 18. Jahrhundert widmete sich der Astronom F. W. Herschel (1738-1822) dem Studium der räumlichen Verteilung der Sterne. Er entwickelte erstmals auf der Grundlage von Messungen ein wissenschaftliches Bild vom Bau des Universums. Dabei wurde die von Copernicus und Kepler angenommene zentrale Stellung des Sonnensystems im Weltall relativiert. Herschel erkannte den prinzipiellen Aufbau des Milchstraßensystems, in dem das Sonnensystem ein System unter vielen ähnlichen Systemen ist. Er nahm jedoch an, daß sich der Ort des Sonnensystems im Zentrum der Galaxis befindet. Der Stand der Instrumententechnik ermöglichte ihm die Untersuchung einer großen Anzahl nebliger Objekte, in denen Herschel Entwicklungsformen extra-galaktischer Objekte vermutete. Er klassifizierte diese Objekte und leitete daraus eine zeitliche Entwicklungsfolge ab. Im Ansatz benutzte er dazu die gleichen methodologischen Grundlagen, deren man sich heute in der astronomischen Forschung bedient. Seine Ansichten über Entwicklungsprozesse im Kosmos eilten seiner Zeit voraus und fanden in Fachkreisen auch aus den oben genannten philosophischen Erwägungen kaum Widerhall. Sie waren jedoch zukunftsweisend für die astronomische Forschung des kommenden Jahrhunderts.

[35:] Herschel, der mit seinen Erkenntnissen über die Struktur der Galaxis sowie über die Existenz extragalaktischer Systeme die copernicanischen Ideen ausbaute, ebnete der Astronomie den Weg für das Vordringen in größere Raumbereiche. Stand bis zu diesem Zeitpunkt unser Planetensystem im Blickpunkt der astronomischen Forschung, so wendete sie sich jetzt – instrumentell unterstützt durch die rasche Entfaltung der Produktivkräfte – mit steigender Tendenz der Erforschung des Milchstraßensystems und extragalaktischer Systeme zu. Während Kant mit seinen Erkenntnissen die Erforschung der Entwicklung des beobachtbaren Weltalls einleitete, gaben Herschels Entdeckungen den Anstoß zum Studium der Struktur des Universums.

Zur Bedeutung der copernicanischen Ideen für das astronomische Weltbild der Gegenwart

Ein qualitativer Sprung in der Entwicklung der astronomischen Erkenntnis trat mit der Aufdeckung des Prinzips der Spektralanalyse durch G. R. Kirchhoff (1824-1887) und R. Bunsen (1811-1899) ein. 1859 veröffentlichten beide Wissenschaftler das Resultat ihrer Untersuchungen und wiesen auf die Anwendung der Spektralanalyse zur Erforschung kosmischer und irdischer Körper hin. Während bis zu diesem Zeitpunkt die Astronomie nur die Positionen und die Bewegungen von Objekten im Weltall studieren konnte, untersuchte sie nunmehr auch die physikalische Struktur und die chemische Zusammensetzung dieser Erscheinungsformen. Damit widerlegte sie agnostizistische Auffassungen, die

²⁰ Engels, F.: a. a. O., S. 316.

auf der Grundlage einer metaphysischen Betrachtung von Naturvorgängen davon ausgingen, daß alles das, was nicht direkt untersucht werden kann, auch nicht erkennbar ist.

Das Studium der physikalischen Struktur und der chemischen Zusammensetzung kosmischer Erscheinungsformen der Materie durch die Astrophysik wurde zum wichtigen Arbeitszweig der Astronomie. Auf Beobachtungstatsachen fußend, entstanden auf der Grundlage bekannter physikalischer Gesetze Hypothesen und Theorien, die uns einen tieferen Einblick in die Struktur der vielfältigen kosmischen Erscheinungsformen und ihre Veränderungen gestatten. Damit trug auch die Astronomie zielstrebig zur wissenschaftlichen Beweisführung des von der materialistischen Philosophie ausgesprochenen Entwicklungsgedankens bei.

[36:] Der aus der Untersuchung von Meteoriten gezogene Schluß, daß kosmische Körper im Prinzip die gleichen chemischen Elemente haben wie irdische Körper, wurde durch die Spektralanalyse experimentell bestätigt. Es wurden aber im Kosmos auch Elemente gefunden, von denen man auf der Erde noch keine Kenntnis hatte. Solche Beobachtungstatsachen gaben Impulse für das intensive Studium der Stoffe auf unserem Planeten. So wies man z. B. 1868 mit Hilfe des Absorptionsspektrums Helium in der Sonnenatmosphäre nach. Jedoch erst 1895 entdeckten Cleve und Ramsay dieses chemische Element auf der Erde.

Mit der Spektralanalyse konnten Eigenschaften und Zustände der Sterne erklärt werden, von denen die Wissenschaft vorher nur spekulative Vorstellungen besaß. Quantitative und qualitative Analysen des Sternlichts informieren nicht nur über die chemische Zusammensetzung der Objekte, sondern sie geben auch Auskunft über physikalische Eigenschaften, unter anderem über ihre Oberflächentemperatur, ihren Druck, ihre Dichte und die Schwerebeschleunigung. Zwischen diesen Größen wurden gesetzmäßige Zusammenhänge ermittelt. Die in den Spektren beobachtete Linienverschiebung und Linienaufspaltung wurde zum Mittel für die Bestimmung der Bewegungsrichtung, der Geschwindigkeit und der Entfernung kosmischer Objekte; sie dient auch zum Nachweis ihrer Pulsationen und Magnetfelder. Kenntnisse über diese Größen waren wichtige Voraussetzungen zur Ausarbeitung einer Theorie über den Aufbau und die Entwicklung der Sterne. Das Prinzip der Spektralanalyse deckte ferner die Einheit zwischen den physikalischen Eigenschaften eines Stoffes und seiner chemischen Zusammensetzung auf. Mit Hilfe der Spektralanalyse läßt sich die chemische Zusammensetzung jedes Stoffes aus der Messung seiner physikalischen Eigenschaften bestimmen.²¹

Der Nachweis einer einheitlichen bzw. ähnlichen chemischen Zusammensetzung der Himmelskörper läßt den Schluß zu, daß diesen Objekten gleiche Entstehungsursachen zugrunde liegen. Aus dem Studium der optischen Eigenschaften der Atome lassen sich Gemeinsamkeiten mit makrokosmischen Erscheinungsformen ableiten. Folglich bestehen zwischen der atomaren und kosmischen Welt gesetzmäßige Beziehungen, existieren Stoff und Licht nicht isoliert voneinander, sondern stehen im dialektischen Verhältnis.

Die Entdeckung des Prinzips der Spektralanalyse im 19. Jahrhundert schuf auch die Voraussetzung für das Eindringen in die Atomstruktur des Sterninnern im 20. Jahrhundert. Somit wies die [37:] astrophysikalische Forschung die Universalität physikalischer Grundgesetze im Kosmos nach und implizierte weitere Konsequenzen der copernicanischen Ideen. Diese Entwicklung spiegelt die Einheit und Wechselwirkung zwischen Astronomie, Physik und Chemie wider. In diesem Sinne war das beginnende Studium der Physik und Chemie kosmischer Objekte ein qualitativer Erkenntnissprung, nicht nur in der Astronomie, sondern auch in anderen wichtigen Bereichen der Naturwissenschaften.

Vor etwa 40 Jahren wurde der Grundstein für die Radioastronomie gelegt, die sich mit der Beobachtung der elektromagnetischen Strahlung im Wellenlängenbereich von einigen Millimetern bis zu mehreren Metern befaßt. Dadurch wurde eine Vielzahl von Daten über bereits bekannte kosmische Objekte gewonnen. Gleichzeitig erkannte die Wissenschaft Objektklassen, die wegen ihrer schwachen optischen Strahlung in diesem Bereich dem Beobachter schwer zugänglich sind. Eindrucksvolle Leistungen der Radioastronomie sind die Entdeckung der 21-cm-Linie des interstellaren Wasserstoffs

²¹ Vgl. Kredow, B. M.: Spektralanalyse. Berlin 1961, S. 59.

(1951), die Erkundung der 3-K-Strahlung (1965), das Auffinden der Quasare (1963) und der Pulsare (1967). Die sensationellen Beobachtungsergebnisse gaben der wissenschaftlichen Fragestellung auf den Gebieten der Kosmogonie und Kosmologie neue Impulse. Gegenwärtig hat das Studium der Radiostrahlung die gleiche Bedeutung wie die Beobachtung der Lichtstrahlung.

In den letzten Jahrzehnten befindet sich die astronomische Wissenschaft an der Seite anderer Wissenschaften im Bunde mit der Technik in einer stürmischen Periode ihrer Entwicklung. Ginzburg schreibt dazu: „... in den letzten 10 Jahren wurden 5 astronomische Entdeckungen von erstrangiger Bedeutung gemacht: Quasare, Wärmestrahlung, Röntgensterne, Pulsare, kosmische Maser. In der Physik kann man für diesen Zeitraum nur auf zwei Ereignisse von vergleichbarer Bedeutung hinweisen, auf die Entdeckung des Unterschieds zwischen Elektronen und Myonenneutrinos sowie die Verletzung der CP-Invarianz. Zählt man zur Astronomie auch einen Teil der kosmonautischen Forschungen (Untersuchung des Mondes und der Planeten), so kann die Entwicklung der Astronomie als noch beeindruckender bezeichnet werden.“²²

Trotz der Fortschritte in den Forschungsmethoden und in der Beobachtungstechnik sind der erdgebundenen Astronomie bei der Beobachtung kosmischer Objekte Grenzen gesetzt. Den Hauptteil der Information aus dem Weltall erhalten wir über die elektro-[38:]magnetische Strahlung jener Bereiche, die zur Erde gelangen. Ein wesentlich geringerer Anteil wird der Korpuskularstrahlung entnommen. Nur in ganz seltenen Fällen, z. B. beim Eintauchen eines Meteoriten in die Erdatmosphäre, findet ein u. U. direkter Informationstransport vom erdnahen Raum auf die Erdoberfläche statt. Außerdem tritt durch die physikalische Wirkung der Erdatmosphäre ein erheblicher Informationsverlust der Strahlung ein, wobei die einzelnen Energiebereiche unterschiedlich betroffen werden. So bleibt der erdgebundenen Beobachtung das Studium der kurzwelligen Gamma- und Röntgenstrahlung verschlossen.

Erst mit dem Beginn der praktischen Raumfahrt erweitern sich für die Astronomie die Möglichkeiten der Informationsgewinnung. So begannen extraterrestrische Beobachtungen im gesamten Bereich der elektromagnetischen Strahlung und der Korpuskularstrahlung. Klassische Methoden der Astronomie wurden unter den Bedingungen der Raumfahrt angewandt. Ferner setzte die direkte Erkundung des erdnahen Raumes und der benachbarten Himmelskörper ein. Bemannte und unbemannte Raumflugkörper untersuchen die Beschaffenheit der Oberfläche und die physikalischen Bedingungen auf dem Erdmond und auf den benachbarten Planeten. Extraterrestrische Beobachtungen geben Einblick in kosmische Erscheinungsformen, die dem erdgebundenen Beobachter nicht zugänglich sind. Dazu gehört das Studium des interplanetaren Magnetfeldes, dessen Existenz zwar theoretisch vorausgesagt, jedoch erst mit Hilfe von Raumflugkörpern nachgewiesen werden konnte. Die Resultate, die die Astronomie bei der Erforschung des Planetensystems mittels der Raumfahrt erhält, bestätigen aufs neue das copernicanische Weltbild als objektive Realität.

Die Raumfahrt, in der fast alle modernen naturwissenschaftlichen und technischen Arbeitsgebiete in Erscheinung treten, trägt komplexen Charakter. Sie gehört zu jenen Disziplinen, an denen die Erkenntnis der Menschheit an Umfang und Tiefe besonders wächst. Deshalb beeinflusst sie nicht nur den Werdegang zahlreicher Wissenschaften, sondern fördert wesentlich den Fortschritt im technischen und volkswirtschaftlichen Bereich. Jedoch hängen ihre Entwicklung und ihre Anwendung natürlich von den jeweiligen sozialökonomischen Verhältnissen ab. Die Sowjetunion und die sozialistische Staatengemeinschaft betrachten die zielstrebige Entwicklung der Raumfahrt als wesentliche Voraussetzung für die Bewältigung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts, der eine der Hauptformen des bedeutsamen Wettstreits zwischen den beiden [39:] Gesellschaftssystemen ist. Eine wichtige Voraussetzung für die Verwirklichung dieser Aufgabe ist die ökonomische und wissenschaftlich-technische Integration der RGW-Länder. Das Forschungsvorhaben „Interkosmos“ dient der friedlichen Erforschung und Nutzung des Weltraums, der Festigung der materiellen Basis des Sozialismus und Kommunismus. Es spiegelt sich hierin zugleich die Kooperation der UdSSR mit den sozialistischen Bruderländern einschließlich der DDR wider.

²² Ginzburg, V. J.: Aktuelle Probleme der Physik. In: Wissenschaft und Fortschritt, Berlin 22 (1972), Heft 2.

Die sich entwickelnde Raumfahrt zeichnet auch Tendenzen für den weiteren Erkenntnisgang der Astronomie vor. Spätestens zu Beginn des 21. Jahrhunderts werden eine Vielzahl von Raumstationen mit astronomischen Laboratorien die von kosmischen Objekten empfangene Strahlung aller Wellenbereiche ohne störende Einflüsse der Erdatmosphäre untersuchen. Gleichzeitig vergrößern sich der Raumbereich und das Auflösungsvermögen bei astronomischen Beobachtungen. Bestimmt wird sich eine Anzahl astronomischer Stationen auf dem Erdmond befinden. Die astronomischen Institute auf der Erde werden dann die außerirdisch gewonnenen Daten verarbeiten und analysieren. Sicher werden die terrestrische und extraterrestrische Astronomie nebeneinander bestehen und sich gegenseitig ergänzen.

Im Sonnensystem werden direkte physikalische Experimente, z. B. zur Erforschung der Wechselwirkung der Elementarteilchen mit den Neutrinos, möglich. Davon profitiert nicht nur die Theorie der Elementarteilchen, sondern die Wissenschaft erhält auch direkte Angaben über im Sterninnern ablaufende Prozesse. Das eingehende Studium energetischer Prozesse, welche in kosmischen Objekten ablaufen, ist eine Voraussetzung, um auf der Erde mächtigere Energiequellen zu erschließen, zu beherrschen und damit den Energiebedarf der Menschheit in ferner Zukunft zu decken.

Die Physik wird Großexperimente zur Gravitations- und Relativitätstheorie ausführen. Diese Tatsachen haben einen bestimmenden Einfluß auf die physikalische Grundlagenforschung, die sich rasch entwickelt. Der aufgezeigte Werdegang führt wahrscheinlich zu einer weiteren Integration zwischen Astronomie und Physik. Für diese integrativen Tendenzen lassen sich noch mehr Beispiele anführen. So wurden die oben angeführten astrophysikalischen Erkenntnisse nur dadurch möglich, weil sie auf den Forschungsergebnissen der Atomphysik, Kernphysik, Elementarteilchenphysik, Relativitätstheorie unter Einbeziehung experimenteller Methoden der Physik basieren. Gleichzeitig setzt sich in den astronomischen [40:] Arbeitsmethoden die Ausnutzung aller technischen Möglichkeiten durch. Diese Feststellung bezieht sich sowohl auf die Beobachtungsverfahren und Meßvorgänge als auch auf die Auswertung und Reduktion der gewonnenen Informationen sowie auf ihre Speicherung. Das quantitative und qualitative Anwachsen der Informationen über den Kosmos, hervorgerufen durch die imposante Entwicklung der Astrophysik und die astronomischen Ergebnisse der Raumfahrt, wird wesentliche Fragen der Naturwissenschaften beantworten, insbesondere solche, die sich mit Eigenschaften der unter extremen Bedingungen existierenden Erscheinungsformen der Materie befassen.

Treder schlußfolgert aus dieser Entwicklung: „Die astronomische Forschung des Universums und die extraterrestrische Raumforschung im Sonnensystem bilden nicht nur wissenschaftlich, sondern auch weltanschaulich eine Einheit, indem Astronomie und Raumforschung letztlich die Realisierung von Konsequenzen der copernicanischen Revolution des Weltbildes sind.“²³

²³ Treder, H.-J.: Die Bedeutung des Copernicanismus für das physikalische und astronomische Weltbild der Gegenwart. In: Herrmann, J. (Hrsg.): Nicolaus Copernicus. Berlin 1973, S. 196.

[41:]

Entwicklungsprozesse im Kosmos

Die Kosmogonie als Wissenschaft von der Entstehung und Entwicklung kosmischer Erscheinungsformen der Materie

Der Gedanke einer natürlichen Entwicklung, eines Werdens und Vergehens kosmischer Objekte war bereits in der antiken Vorstellungswelt fest verankert. Jedoch fehlte dafür viele Jahrhunderte der Nachweis durch die wissenschaftliche Forschung. Veränderungen im Kosmos vollziehen sich im Vergleich zur menschlichen Zeitskala sehr langsam. Da kein gesellschaftliches Bedürfnis bestand, Ideen über die Entwicklung kosmischer Objekte ernsthaft zu prüfen, fanden kosmogonische Gedankengänge, wie sie R. Descartes (1596-1650) in der Mitte des 17. Jahrhunderts äußerte, kaum Beachtung. Ein so bekannter Astronom wie F. W. Bessel (1784-1846) vertrat noch im vergangenen Jahrhundert die Auffassung, daß die physikalischen Eigenschaften der Himmelskörper zwar nicht uninteressant sind, jedoch nicht Gegenstand der astronomischen Forschung sein können. Obwohl aus weltanschaulichen Motiven der Gedanke von einem geschaffenen und unveränderlichen Weltall fest verwurzelt war, besaß die beobachtende Astronomie zur damaligen Zeit bereits Fakten, die auf Veränderungen im Kosmos hindeuteten. Zu solchen Beobachtungstatsachen zählten das plötzliche Auftauchen von Kometen, das Sichtbarwerden von Supernovae und die Beobachtung einiger Veränderlicher. Jedoch reichte das vorliegende Material für eine Verallgemeinerung nicht aus. Um so höher sind deshalb Überlegungen Kants u. a. zu werten, die die Veränderung und Entwicklung kosmischer Objekte postulierten. Diese Gedankengänge zeigten der Astronomie die zukünftige Forschungsrichtung. Es ging um das Studium des Wesens der Naturerscheinungen, der universellen Zusammenhänge und Veränderungen.

Bei der Untersuchung kosmischer Entwicklungsprozesse waren nicht nur schwierige erkenntnistheoretische Probleme zu lösen, sondern man benötigte zur Erklärung dieser Vorgänge auch Erkenntnisse der Physik und Chemie, die sich zu jener Zeit erst allmählich entwickelten.

[42:] Zum Studium der Entwicklungsvorgänge im Weltall bildete sich ein besonderer Wissenschaftszweig der Astronomie heraus, den wir als Kosmogonie bezeichnen. Die wissenschaftliche Kosmogonie – von Kant begründet – entwickelt sich besonders seit der Mitte des 19. Jahrhunderts und gehört zu den Spezialgebieten der Astrophysik. Mittels spezifischer Methoden studiert sie den physikalischen Zustand von kosmischen Objekten, die verschiedenen Altersklassen angehören, und leitet daraus Gesetzmäßigkeiten über ihre Entwicklung ab. Der Bau von immer leistungsfähigeren Fernrohren und technischen Hilfsmitteln sowie der zunehmende Erkenntnisfortschritt in der Physik und Chemie bestimmen auch das Entwicklungstempo der Kosmogonie, deren Ergebnisse immer mehr Bedeutung für unsere wissenschaftlichen Vorstellungen vom Aufbau des Universums und von der Entwicklung im Weltall gewinnen.

Die Kosmogonie geht von der Annahme aus, daß die Objekte im Weltall nicht durch einen einmaligen Vorgang entstanden sind. Deshalb müssen die beobachtbaren Erscheinungsformen unterschiedliches Alter besitzen. Sie sucht nach den physikalischen Gesetzmäßigkeiten, die zum Prozeß der Entstehung und der Entwicklung der Objekte führen. Da sich diese Vorgänge in sehr langen Zeiträumen vollziehen, werden Methoden benötigt, mit deren Hilfe es möglich ist, zu Aussagen über diese Sachverhalte zu kommen.

Wir wollen im folgenden auf einige Fragen der gegenwärtigen kosmogonischen Forschung eingehen, die weltanschaulich relevant sind.

Zu den wissenschaftlichen Grundlagen der modernen Kosmogonie gehören das ständig zunehmende Beobachtungsmaterial, vor allem über die Sonne, die Sterne, die Sternhaufen und das interstellare Medium. Für theoretische Überlegungen werden bekannte Naturgesetze, z. B. das Gravitationsgesetz, die Gasgesetze, die Erhaltungsgesetze, der II. Hauptsatz der Thermodynamik sowie Erkenntnisse der Quantentheorie und der Kernphysik benötigt, die uns Vorstellungen über den Sternaufbau und die Energiefreisetzung der Sterne ermöglichen.

Außerdem ist der Einsatz elektronischer Rechenmaschinen zur Berechnung einer großen Summe von Sternmodellen notwendig, d. h., die Entwicklung von Sternen, die sich in der Natur in Zeiträumen von 12 bis 15 Milliarden Jahren vollzieht, wird rechnerisch in einem kurzen Zeitraum nachvollzogen.

[43:] Da die Zeitdauer der Entwicklungsprozesse im Weltall mit der Zeitdauer des historischen Werdgangs der Gesellschaft auf der Erde nicht vergleichbar ist, reichen viertausend Jahre Himmelsbeobachtungen nicht aus, um signifikante Beobachtungsergebnisse über nachweisbare Effekte der Sternentwicklung zu erhalten. Dennoch besitzen wir über diesen Prozeß Kenntnisse, weil Analogieschlüsse aus Beobachtungen von Objekten mit unterschiedlicher Entwicklungsphase Aussagen über die Sternentwicklung erlauben. Trotzdem ist zu kosmogonischen Fragen eine begründete Zurückhaltung notwendig, weil unser Wissen über bestimmte Entwicklungsetappen noch lückenhaft ist und einige grundlegende Vorstellungen der Kosmogonie auf wissenschaftlichen Annahmen beruhen, für die die Bestätigung durch die Praxis, in unserem Fall durch die Beobachtung, noch aussteht. Bei der Deutung der Beobachtungstatsachen geht die Wissenschaft von der begründeten Annahme aus, daß auch bei der Entstehung kosmischer Objekte physikalische Gesetze wirken. Die Kosmogonie gewinnt ihre Erkenntnisse sowohl aus der Beobachtung kosmischer Objekte in unterschiedlichen Entwicklungsphasen als auch mit Hilfe von Hypothesen, Modellen, Analogie und theoretischen Analysen aus bekannten Naturgesetzen. Sie setzt voraus, daß es im Weltall keine isolierten Erscheinungen gibt, daß vielmehr jede von ihnen durch irgendwelche anderen bedingt ist. Dieser Zusammenhang trägt unterschiedlichen Charakter. Die einen Erscheinungen sind direkt, andere indirekt miteinander verbunden. Immer aber bestehen Wechselwirkung und gegenseitige Abhängigkeit. Quantitative Veränderungen führen zu neuen qualitativen Eigenschaften der Erscheinungsformen. Die Entwicklung wird als Folge von stabilen und instabilen Zuständen der mannigfaltigen kosmischen Objekte betrachtet. Der objektive Charakter der Naturgesetze, wofür die Determiniertheit der Erscheinungsformen ein wichtiges Argument ist, bildet die Grundlage für die Aufstellung von Hypothesen und Theorien über die Entwicklung im Kosmos. Alle bisherigen kosmogonischen Erkenntnisse berechtigen zu der gesicherten Annahme. Im Kosmos herrscht kein absoluter Ruhezustand; es existieren höchstens labile Gleichgewichtszustände. Sämtliche Untersuchungsergebnisse deuten darauf hin, daß der Entstehung und Entwicklung kosmischer Erscheinungsformen energetische Prozesse zugrunde liegen, die an bestimmte Gesetzmäßigkeiten gebunden sind. Mit diesen Erkenntnissen über das Wesen der Naturprozesse werden bedeutende philosophische Fragen angesprochen. Es wird [44:] der Nachweis erbracht, daß alle Erscheinungsformen im Universum eine Entwicklung haben. Jede physikalische Bewegung, die zur Entstehung und Entwicklung kosmischer Objekte führt, ist mit Energie verbunden. Die von der Kosmogonie aufgedeckten Energievorgänge bestätigen die materialistische These, daß die Energie eine Eigenschaft der Materie ist. Besondere Bedeutung für die Kosmogonie hat das weltanschaulich-relevante physikalische Gesetz von der Erhaltung und Umwandlung der Energie. Die Resultate der kosmogonischen Forschung ermöglichen es, die Einsicht in den Wahrheitsgehalt dieses Satzes weiter zu vertiefen. So wurde z. B. an kosmischen Erscheinungsformen nachgewiesen, daß die Umwandlung von Teilchen und Antiteilchen in Photonen keine Vernichtung der Materie, sondern nur der Übergang von einer Erscheinungsform der Materie in eine andere ist. Die Auffassungen der materialistischen Weltanschauung sind an keine Erhaltung bestimmter physikalischer Eigenschaften der Materie gebunden. Es geht lediglich um den fundamentalen Grundsatz: Wechselwirkungen ergeben Veränderungen. Außerdem bestätigt das Gesetz von der Erhaltung und Umwandlung der Energie die philosophische These von der Unerschaffbarkeit und Unzerstörbarkeit der Materie und ihrer Bewegung.

Zur Gewinnung von Kenntnissen über die Kosmogonie der Sterne steht umfangreiches Beobachtungsmaterial einer Vielzahl von Objekten unterschiedlichen Alters zur Verfügung. Deshalb liegen zu bestimmten Phasen der Sternentwicklung weitgehendst gesicherte Erkenntnisse vor.

Für die Erforschung der Entstehung der Planetensysteme ist der Beobachtung nur unser Planetensystem zugänglich. Andere Planetensysteme sind bisher nicht beobachtbar. Es besteht also keine Vergleichsmöglichkeit. Deshalb tragen die Vorstellungen über die Planetenkosmogonie noch stark hypothetischen Charakter.

Resultate über die Struktur und Eigenschaften der Galaxis und extragalaktischer Systeme wurden erst in den letzten Jahrzehnten mit Hilfe moderner Beobachtungsmethoden, z. B. der Radioastronomie, gewonnen. Die vorliegenden Beobachtungstatsachen gestatten noch keine wissenschaftliche Verallgemeinerung, d. h., wichtige Probleme können nicht widerspruchsfrei erklärt werden. Unser gegenwärtiges Wissen über die Vorgänge bei der Entstehung und Entwicklung der Galaxien ist im Verhältnis zur Sternkosmogonie noch sehr gering. Alle Überlegungen über die Entstehung von Galaxien tragen den Charakter von Arbeitshypothesen.¹

[45:]

Zu einigen Konzeptionen über die Sternentstehung

Die Theorie über die Sternentstehung ist gegenwärtig noch relativ wenig entwickelt. Unsere Kenntnisse über diesen Prozeß sind lückenhaft und problematisch; sie tragen noch stark hypothetischen Charakter. Deshalb läßt sich über Einzelheiten damit verbundener physikalischer Vorgänge nichts aussagen. Es ist nicht sicher, ob die Sterne einzeln oder in Gruppen als sogenannte Sternassoziationen oder Sternhaufen entstehen. Obwohl man junge und alte Sterne unterscheidet, gibt es keine zuverlässigen Kriterien über das Alter der Sterne. Hätten wir keine Kenntnisse vom Alter der Erde, wäre uns das Alter der Sonne nicht bekannt. Jedoch gelang es der Wissenschaft nachzuweisen, daß Sterne auch in der Gegenwart entstehen.

Die Mehrzahl der Astronomen nimmt an, daß sich Sterne aus der Kondensation diffuser Materie bilden. Diese Gedankengänge fußen auf Arbeiten von I. Kant, J. H. Lambert und P. S. Laplace über die Entstehung der Welten und auf denen von J. Jeans über die Gravitationsinstabilität. Obwohl wir die Konzeption der Entstehung von Sternen aus Gas und Staub als klassisch bezeichnen, ist sie relativ jung.

Sie beruht auf der Theorie der Sternentwicklung, die sich mit der Aufdeckung der wirklichen Energiequellen der Sterne vor etwa 30 Jahren herausbildete. Mit diesen Erkenntnissen kann man fast alle Beobachtungsdaten über die Entwicklung der Sterne erklären. Einige beobachtete Besonderheiten, wie die Rotation und die Magnetfelder der Sterne sowie die Wechselwirkung von engen Doppelsternen, werden jedoch erst gegenwärtig in die Betrachtungen der Sternentwicklung einbezogen.

Von den verbreiteten klassischen Konzeptionen sind drei Varianten über die Sternentstehung philosophisch interessant. Sie müssen die Frage beantworten, welche Mechanismen den Prozeß der Sternbildung in lokalen interstellaren Wolken vorantreiben. Da nach den Erkenntnissen der kosmogonischen Forschung die Sterne unterschiedlich alt sind, ist dabei zu bedenken, ob für alte Sterne gleiche Entwicklungsbedingungen gelten wie für junge Objekte. F. Hoyle, C. F. von Weizsäcker u. a. versuchen auf verschiedene Art und Weise das Entstehen der ältesten Sterne aus der Kontraktion von Wasserstoffwolken unter Einbeziehung von Gravitationswirkungen und energetischen Prozessen zu erklären. Andere Untersuchungen führten zu der Auffassung, daß sich extrem junge [46:] Sterne aus lokalen Verdichtungen bilden, die einen relativ hohen interstellaren Staubgehalt besitzen. Ferner wird auch die Sternbildung aus interstellarem Wasserstoff unter dem Einfluß der Strahlung heißer Sterne der Spektralklassen O und B erwogen. Obwohl viele Einzelfragen gelöst sind, gibt es gegenwärtig noch kein durchgehendes Bild vom Werdegang der interstellaren Wolke zum heutigen Stern.

Nach anderen Vorstellungen, die von dem sowjetischen Astronomen V. A. Ambarzumjan u. a. stammen, entstehen Sterne aus der Teilung überdichteter protostellarer Körper. Diese Konzeption stützt sich unter anderem auf Erkenntnisse über Erscheinungen in den Kernen der Galaxien sowie auf angenommene Instabilitäten von Galaxiengruppen. Ausgehend von der Annahme, daß aus der Verdichtung interstellarer Materie nur stabile Objekte entstehen können, vertritt Ambarzumjan die Auffassung, die Sternassoziationen seien das Produkt des Zerfalls kompakter, massereicher, also überdichteter Körper. Während er diese Vorstellung zunächst als Alternative zur klassischen Konzeption betrachtete, äußerte er später die Ansicht, „daß wir uns von der veralteten Vorstellung, wonach Sterne aus diffuser

¹ Vgl. Friedemann, Ch.: Das Weltall. Leipzig/Jena/Berlin 1969, S. 191.

Materie entstehen, trennen und annehmen müssen, daß sowohl die diffuse Materie als auch die Sterne gleichzeitig im Ergebnis des Zerfalls von Protoobjekten gebildet wurden“.²

Als gewichtiges Argument für den Wahrheitsgehalt der Hypothese zur Entstehung der Sterne aus überdichten protostellaren Körpern führen Ambarzumjan u. a. die Vorgänge in den Kernen der Galaxien an.

K. Seyfert entdeckte in den Kernen einiger Galaxien Gasausbrüche, die sich mit relativistischen Geschwindigkeiten bewegen. In der Zwischenzeit wurden weitere Objekte beobachtet, deren Kerne gewaltige Mengen Energie freisetzen, also Aktivitätszentren sind.

Diese und andere Beobachtungstatsachen von extragalaktischen Objekten führten Ambarzumjan zu der Auffassung, daß die Kerne der Galaxien nicht aus Sternen bestehen, sondern überaus massereiche Erscheinungsformen aufweisen, die einen gewaltigen Energievorrat besitzen. Beim Zerfall der Kerne wird die in ihnen enthaltene protostellare Materie herausgeschleudert. Als Folge entstehen neue Sternhaufen und Galaxien. Die durch Kernteilung entstandenen Sternsysteme sind wahrscheinlich durch Substanz miteinander verbunden. Obwohl dieser angenommene Prozeß in [47:] den Galaxienkernen einen hohen Wahrscheinlichkeitsgrad besitzt, sind jedoch auch andere Prozesse denkbar.

Die Vertreter der oben angeführten Konzeption zur Sternentstehung haben noch zahlreiche offene Probleme zu lösen und weitere wissenschaftliche Argumente zu sammeln, die die Überzeugungskraft der von ihnen angenommenen Hypothese festigen und vertiefen. Eine Negierung der klassischen Konzeption hätte weitreichende erkenntnistheoretische Konsequenzen. Mit den Vorstellungen über die Entstehung der Sterne aus überdichten massereichen Körpern können zahlreiche Beobachtungstatsachen mit den bekannten physikalischen Gesetzen nicht erklärt werden. Das Gesetz von der Erhaltung des Drehimpulses läßt sich nicht auf die Rotation überdichteter Objekte anwenden. Auch die Gesetze der Magnetogasdynamik haben für diese Gebilde keine Gültigkeit. Außerdem stehen die Gesetze von der Erhaltung der Energie und der Erhaltung schwerer Teilchen ebenfalls im Widerspruch zur genannten kosmogonischen Hypothese. Ihre Vertreter schließen jedoch eine Änderung bzw. Verallgemeinerung von bekannten physikalischen Grundgesetzen nicht aus. Sie meinen, daß jede Ebene der materiellen Welt besondere Struktur- und Entwicklungsgesetzmäßigkeiten hat. Jetzt erst entdeckte, bisher unbekannte Erscheinungsformen der Materie können Qualitäten besitzen, die mit den bekannten Gesetzen der Physik nicht erklärbar sind, weil diese nur unter bestimmten Bedingungen gelten, also nur in einem begrenzten Bereich anwendbar sind. Die Natur ist mannigfaltiger, als wir es annehmen. Sie läßt sich nicht vollständig mit den bereits entdeckten Gesetzmäßigkeiten erklären. Hier werden die bekannten physikalischen Gesetze eben nur als annähernde Widerspiegelung der Gesetze der objektiven Realität betrachtet. Das Hauptaugenmerk wird auf die Suche nach prinzipiell neuem Tatsachenmaterial gerichtet. Diese als produktiv erwiesene Methode hat das Ziel, bisher unbekannte Qualitäten kosmischer Erscheinungsformen aufzudecken.

Ein solches Vorgehen kann im Ergebnis zur Revision einiger Grundvorstellungen in der Astronomie und in der Physik führen. Dadurch werden unsere wissenschaftlichen Vorstellungen vom Weltall der objektiven Realität adäquater sein. Schließlich können fundamentalere Theorien und Gesetze über die Struktur und die Eigenschaften der Erscheinungsformen der Materie im Mikro- und Makrokosmos formuliert werden. Diese Entwicklung wäre eine weitere Bestätigung dafür, daß die Erkenntnis unerschöpflich ist [48:] und deshalb auch die Suche nach immer allgemeineren physikalischen Prinzipien, die letztlich die physikalischen Gesetze selbst begründen, unerschöpflich sein muß.

Es ist verständlich, daß viele Astrophysiker, u. a. auch die Vertreter der Leningrader Schule, auf Grund gegenwärtiger Beobachtungsbefunde die Hypothese der Sternentstehung von Ambarzumjan u. a. zumindest sehr skeptisch betrachten. Der Standpunkt zugunsten einer Entwicklung vom Dichten zum Zerstreuten setzt sich in der letzten Zeit vorwiegend in der extragalaktischen Astronomie durch.³

² Ambarzumjan, V. A.: Wissenschaftliche Werke. Bd. 2, Jerewan 1960, S. 77.

³ Vgl. Ambarzumjan, V. A.: Hypothesen zur Erforschung des Weltalls. In: Westnik Akademii nauk SSSR, Nr. 5, Mai 1972.

Die Mehrzahl der Wissenschaftler strebt danach, beobachtete Erscheinungen und Vorgänge unter Hinzuziehung möglichst wenig neuer Annahmen zu erklären, physikalische Theorien und Gesetze bis zum letzten für die Erklärung neu entdeckter Tatsachen auszunutzen. Man versucht, empirische Daten in ihrem Zusammenhang theoretisch zu verstehen, ohne ein neues Naturgesetz zu formulieren. „Natürlich ist es möglich“, meint J. B. Seldowitsch, „für jede Erscheinung ein neues Naturgesetz zu finden ..., aber eine solche Entdeckung hat nur dann Existenzberechtigung, wenn alle anderen Erklärungsmöglichkeiten erschöpft sind.“⁴ Diese Auffassung schließt nicht aus, daß es möglich ist, bisher unbekannte Gesetze, die im Kosmos wirken, in Zukunft aufzudecken. Da objektive Gesetze von den jeweiligen Bedingungen abhängen, kann man bekannte Gesetze nicht auf alle denkbaren Erscheinungsformen verabsolutieren. Eine solche Betrachtungsweise würde zwangsläufig zu falschen Schlüssen führen.

Beim Meinungsstreit zwischen den Vertretern der beiden dargestellten kosmogonischen Konzeptionen geht es letztlich darum, ob man bereits heute eine entwicklungsgeschichtliche Interpretation aus den vorliegenden empirischen Daten und bekannten physikalischen Prozessen über die Entstehung der Sterne geben kann oder ob man nach bisher unbekanntem Vorgängen und Gesetzmäßigkeiten suchen muß, um tiefer in das Wesen der Vorgänge einzudringen.

Erkenntnisse über die Sternentwicklung

Im Gegensatz zur Sternentstehung existiert zur Entwicklung der Sterne eine einheitliche, fundamentierte Theorie. Unter Entwicklung eines Sterns verstehen wir die zwangsläufige Veränderung [49:] seiner Eigenschaften und Struktur in der Zeit. Stabile und instabile Zustände lösen auf Grund der wirkenden inneren Gesetze einander ab. Die Theorie der Sternentwicklung beruht auf Kenntnissen über die Struktur und Eigenschaften der Sternatmosphäre, aus der alle beobachtbare Sternstrahlung stammt, und auf der intensiven Erforschung der Sonne als nächsten Stern. Zu den weiteren Grundlagen zählen Erkenntnisse über den physikalischen Aufbau der Sterne und über die Mechanismen der Energiefreisetzung.

Außerdem wurden zur Ausarbeitung der Theorie die Kenntnisse über bestimmte Zustandsgrößen der Sterne und damit verbundener Zusammenhänge herangezogen. Die Zustandsgrößen charakterisieren den Stern als Ganzes. Unserer Beobachtung sind jedoch nur seine äußeren Schichten zugänglich, während sich Vorgänge, welche die Entwicklung ausmachen, im Sterninnern vollziehen. Weder die Beobachtungen im optischen Spektralbereich noch im Radiofrequenzbereich können in das Innere der Sterne eindringen. Die einzige Möglichkeit, die mittelpunktnahen Gebiete der Sterne zu beobachten, ergibt sich aus dem Studium des von dort ausgehenden Neutrinstroms. Diese Elementarteilchen, die 1931 von W. Pauli (1900-1958) vorausgesagt und 25 Jahre später bei Kernreaktionen nachgewiesen wurden, besitzen bekanntlich geringe Wechselwirkung mit ihrer Umgebung und durchdringen ungehindert den Stern. Obwohl Neutrinos der Untersuchung schwer zugänglich sind, ist die heutige Technik so weit fortgeschritten, daß man mit Hilfe eines komplizierten Experiments den von der Sonne ausgehenden Neutrinstrom registrieren kann. Die seit Jahren durchgeführten experimentellen Untersuchungen erbrachten bisher jedoch keine positiven Resultate. Deshalb werden solche Experimente bei gesteigerter Empfindlichkeit der Geräte wiederholt. Fortschritte in der Neutrinoastronomie haben sicher große Bedeutung für die weitere Präzisierung unserer Vorstellungen über die Sternentwicklung. Diese Feststellung stützt sich auf die Vermutung, daß die Neutrinos auf die Entwicklung von kosmischen Objekten großen Einfluß haben.

Die Entwicklung komplizierter technischer Verfahren für Neutrinountersuchungen eröffnet sicher neue Perspektiven zur Vertiefung und Erweiterung der Kenntnisse über den Sternaufbau. Sollten zukünftige Experimente zur Erforschung des vermuteten, aus dem Sonneninnern ausgehenden Neutrinstroms wieder die oben genannten negativen Resultate zeigen, muß man sich die [50:] Frage stellen, ob der Existenz des Sterns tatsächlich thermonukleare Reaktionen zugrunde liegen. Wenn jedoch Sonnenneutrinos entdeckt werden, dann erhalten wir direkte Informationen über den physikalischen Zustand des Sonneninnern.

⁴ Seldowitsch, J. B.: Entstehung und Entwicklung der Sterne. Sammelschrift, Moskau 1964, S. 17.

Die Synthese von Kenntnissen über beobachtbare Zustandsgrößen mit den Erkenntnissen über die im Sterninnern ablaufenden gesetzmäßigen physikalischen Vorgänge erlaubt uns Schlüsse, die für die Ausarbeitung einer einheitlichen Theorie über die Entwicklung der Sterne bedeutungsvoll sind. Aus der Erkenntnis von der Einheit der Welt in ihrer Materialität, die die materialistisch-dialektische Philosophie begründet, leiten wir die einheitliche Theorie für bestimmte Bereiche der objektiven Realität, im speziellen Fall für die Sternentwicklung, ab.

Wir betonen, daß zunächst nur ausgewählte Zustandsgrößen, wie die Masse, der Radius, die Dichte, der Druck, die Leuchtkraft, die Temperatur und die Spektralklasse der Sterne, für die Theorienbildung herangezogen werden. Andere Zustandsgrößen, z. B. die Schwerebeschleunigung an der Oberfläche und das Magnetfeld, bleiben vorläufig noch weitgehend unberücksichtigt. Außerdem sind die Zustandsgrößen der Sterne nur teilweise erforscht, wobei die Werte der Sonne am besten bekannt sind.

Eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Ausarbeitung einer Theorie über die Entwicklung der Sterne waren zuverlässige Kenntnisse über die Mechanismen der Energiefreisetzung. Historisch betrachtet, drang hier die Forschung in einer vielfach verschlungenen Kurve mittels hypothetischer Vorstellungen und ihrer Korrektur zum Wesen der Sache vor.

J. R. Mayer (1814-1876) vertrat in der Mitte des vergangenen Jahrhunderts die Auffassung, kinematische Energie der Meteoriten wandle sich beim Aufprall auf der Sonne in Wärmeenergie und damit in Strahlung um. Jedoch kann die angenommene geringe Anzahl der Meteoriten den hohen Energiebedarf der Sonne nicht decken.

H. v. Helmholtz (1821-1894) und L. O. Kelvin (1824-1907) nahmen an, daß Sterne kontrahieren, sich dabei aufheizen und Gravitationsenergie freisetzen. Eine solche Energiequelle würde z. B. bei der Sonne nur für eine Zeit von $t_{HK} = E_G/L \approx 2 \cdot 10^7$ Jahre ausreichen (t_{HK} = Helmholtz-Kelvin-Zeit, E_G = Gravitationsenergie, L = Leuchtkraft). Jedoch hat sich die Leuchtkraft der Sonne seit $2 \cdot 10^8$ Jahren, etwa seit der Kreidezeit, nicht wesentlich geändert.

[51:] 1938 entdeckten H. Bethe und C. F. von Weizsäcker den C-N-O-Bizyklus der Kernverschmelzung, wobei thermonukleare Reaktionen Kernenergie freisetzen, die z. B. die Energieabstrahlung der Sonne für 10^{11} Jahre deckt. Mit dieser bedeutsamen Entdeckung war der wichtigste Grundstein einer Theorie über den Sternaufbau gelegt. Im weiteren Werdegang war es notwendig, die Unterschiede in der Struktur von Sternen verschiedener Typen zu erforschen und eine Theorie über die Sternentwicklung zu schaffen.

H. Vogt und H. N. Russell gelangten am Anfang unseres Jahrhunderts durch theoretische Überlegungen mit Hilfe mathematischer Gleichungen über die Mechanismen für den Energietransport zu der Erkenntnis, daß der Aufbau eines Sterns im Gleichgewichtszustand (dazu gehören unter anderem das mechanische und thermische Gleichgewicht) eindeutig durch die Masse und seine chemische Zusammensetzung bestimmt wird. Beide Größen sind Parameter für die Struktur eines stabilen Sterns. Sind diese Werte für einen Stern bekannt, lassen sich seine Struktur und auch die der Beobachtung zugänglichen Zustandsgrößen bestimmen. Durch Energieabstrahlung und durch intensive Partikelstrahlung verliert der Stern an Masse. Jedoch ist der Masseverlust im Verhältnis zur Gesamtmasse so gering, daß er bis auf Ausnahmen für die Sternentwicklung wahrscheinlich wenig Bedeutung hat. Die chemische Zusammensetzung der Sterne ändert sich durch die Energiefreisetzung, wobei sich quantitative Veränderungen am Anteil der chemischen Elemente vollziehen, die zu neuen Qualitäten in der Sternentwicklung führen. Es ändert sich die innere Struktur des Sterns, d. h. sein innerer Aufbau.

Die Auflösung der Grundgleichungen vom Aufbau des Sterninnern erfolgt mit Hilfe moderner Rechenanlagen. Es ist im Prinzip möglich, physikalische Eigenschaften eines Sterns in mathematische Gleichungen umzusetzen. Dadurch können Entwicklungsprozesse, die sich in Jahrtausenden vollziehen, rechnerisch in Minuten nachvollzogen werden. Man errechnet sogenannte Sternmodelle. Diese idealisierten Objektvorstellungen enthalten die Gesamtheit der ermittelten Daten über den Sternaufbau. Folglich setzt sich unser Wissen über das Sterninnere aus Kenntnissen über physikalische Gesetzmäßigkeiten und aus Berechnungen zusammen. Eine Überprüfung der Theorie ist nur durch die Beobachtung bestimmter Parameter in den äußeren Schichten des Sterns möglich. So kann z. B. der

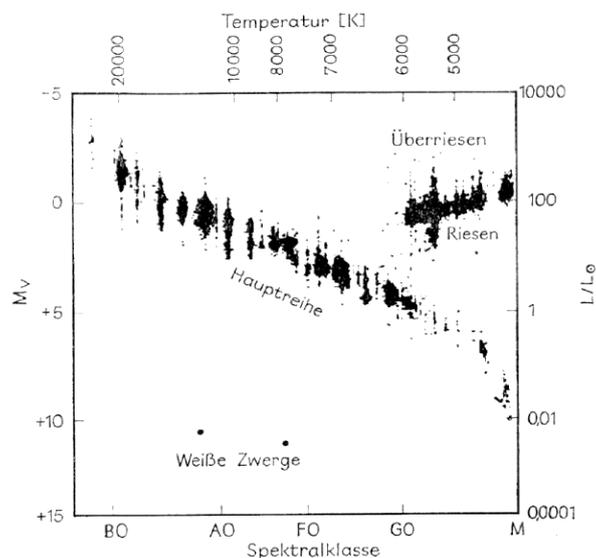
Wahrheitsgehalt der mit Rechenmaschinen ermittelten Werte zur Leuchtkraft, zum Radius und zur [52:] Oberflächentemperatur eines Sterns nur durch die Beobachtung am Objekt überprüft werden.

Die astrophysikalische Forschung bestätigt auch auf dem Gebiet des Sternaufbaus, daß die Erkenntnis in einem Prozeß zum Wesen der Dinge vordringt und daß es möglich ist, zu wahren Aussagen über Sachverhalte zu gelangen, die der direkten Untersuchung nicht zugänglich sind. Damit werden auch von dieser Seite agnostizistische Behauptungen von angeblichen absoluten Grenzen unserer Erkenntnis widerlegt.

Den modernen Auffassungen über die Sternentwicklung gingen nicht nur die Vermutungen von Kant und Laplace über eine Evolution im Kosmos voraus, sondern auch die Aufstellung eines Diagramms über bestimmte Zustandsgrößen der Sterne. E. Hertzsprung (1873-1967) und H. N. Russell (1877-1957) fertigten unabhängig voneinander mit Hilfe einer Statistik von Sternen unserer Galaxis ein Diagramm an, das die gesetzmäßigen Beziehungen von Leuchtkraft und absoluter Helligkeit, von effektiver Temperatur und Spektralklasse zeigt. Das Diagramm, als HRD bezeichnet, erhielt in der Astronomie wichtige erkenntnistheoretische Funktionen, weil man daraus grundlegende Schlüsse zur Lösung verschiedener Forschungsprobleme ziehen konnte (s. Abb. S. 53).

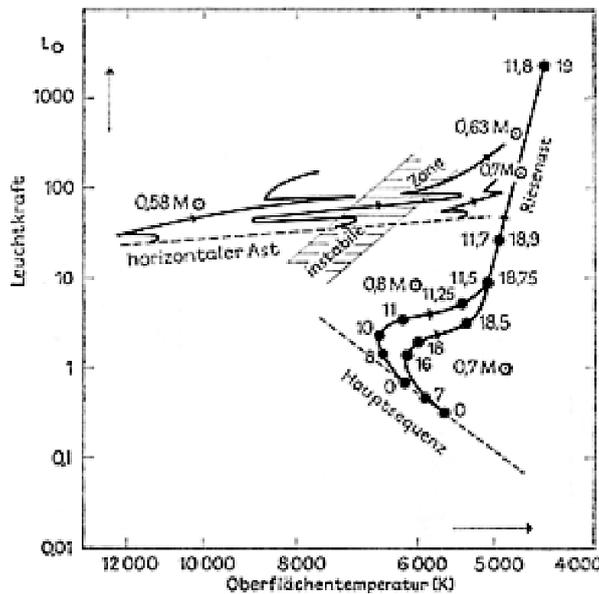
Das Diagramm ist nicht gleichmäßig mit Sternen besetzt, sondern diese ordnen sich in bestimmten Gebieten, andere Felder werden von Sternen gemieden. Die in bestimmten Feldern des HRD auftretenden Häufungen von Sternen sind nicht zufällig entstanden. Sie weisen darauf hin, daß hier bestimmte Gesetzmäßigkeiten zugrunde liegen. Lange Zeit war es unklar und umstritten, ob das Nebeneinander verschiedener Sterntypen im HRD als Evolution gedeutet werden kann. Die Erforschung der Quellen für die Energiefreisetzung der Sterne, das Durchrechnen der Elementarprozesse mit elektrischen Rechenmaschinen ermöglichten es, aus dem Nebeneinander sichtbarer Sterne Vorgänge zu verstehen, die in ihrem Zeitablauf der Beobachtung nicht zugänglich sind. So konnte die unterschiedliche Besetzungsdichte im HRD mit Hilfe der Theorie über die Sternentwicklung erklärt werden.

Die beobachteten Zustandsgrößen eines Sterns, die Leuchtkraft und die Spektralklasse ändern sich mit der Zeit als Folge seiner Evolution. Mit Hilfe des HRD erhalten wir den Nachweis, daß die Sterne unserer Galaxis ein verschiedenes Alter besitzen, sich auf verschiedenen Stufen eines gesetzmäßig ablaufenden Entwicklungsvorgangs befinden und eine unterschiedliche chemische Zu-[53:]sammensetzung haben. Das HRD zeigt Entwicklungsphasen der Sterne, die durch die Änderung der chemischen Zusammensetzung infolge der Energiefreisetzung bestimmt werden, wobei die Anfangsmasse der Sterne im wesentlichen unverändert bleibt. Folglich ist das HRD nicht nur ein Zustandsdiagramm, sondern auch ein Entwicklungsdiagramm, weil man daraus die Resultate der Sternentwicklung entnehmen kann (s. Abb. S. 54). Die Verweilzeit eines Sterns in einer bestimmten Entwicklungsphase hängt von seiner Masse ab, von der wiederum die Energiefreisetzung und Leuchtkraft abhängig sind.



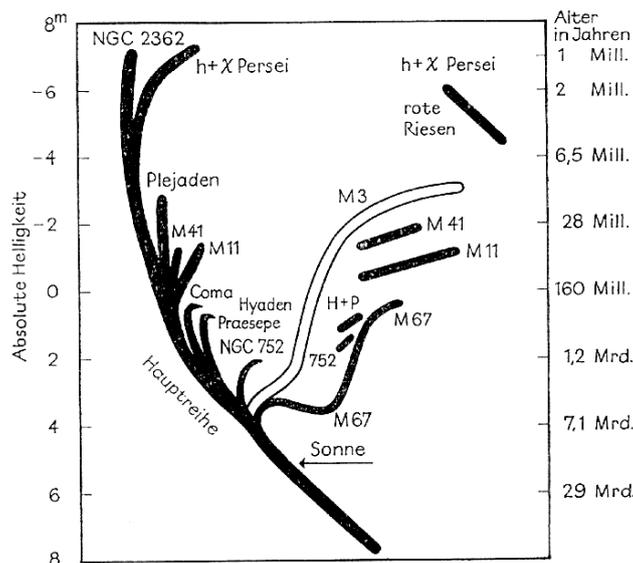
Lage eines Sterns im HRD

Da man den Entwicklungsweg eines Einzelsterns im HRD nicht verfolgen kann, weil sich im Prinzip in den uns zugänglichen Zeiträumen keine wesentlichen Veränderungen am Objekt zeigen, [54:] werden möglichst viele Sterne beobachteter offener Sternhaufen in das HRD eingetragen. Die Objekte eines Sternhaufens, die zeitlich gemeinsam entstanden, gleiches Alter und gleiche ursprüngliche chemische Zusammensetzung besitzen, haben infolge ihrer unterschiedlichen Masse verschiedene Entwicklungsstadien erreicht. Diese Tatsache bringt ihre Lage im HRD zum Ausdruck (s. Abb. S. 55). Somit hat die Astronomie im HRD ein außerordentlich wichtiges erkenntnistheoretisches Hilfsmittel, um die Entwicklung von Sternen über Jahrtausende zu verfolgen.



Schematische Darstellung des Entwicklungswegs eines Sterns

Die Annahme einer Evolution der Sterne bedeutet noch nicht ihren Nachweis im einzelnen. Die Berechnung der Elementarprozesse erstreckt sich vorläufig nur auf Teilabschnitte der Sternentwicklung, [55:] von der gravitativen Kontraktion bis in die Nähe der Pulsationserscheinungen. Unsere Kenntnisse über die Sternentstehung und das Endstadium der Sterne beruhen vor allem auf Extrapolationen. Sie stützen sich mehr auf Annahmen als auf Fakten, veranlassen uns aber gleichzeitig, mehr Fakten dieses Vorstellungsgefüges zu erfassen, um die Vermutungen zu erhärten bzw. zu widerlegen. Jede Aussage unterliegt natürlich dem Kriterium der objektiven Realität. Die Theorie der Sternentwicklung erweist sich hier als gedankliches Mittel, bekannte Daten in Beziehung zu setzen.



Kombiniertes Farben-Helligkeits-Diagramm – offene Sternhaufen, Kugelsternhaufen

Der Gedanke einer Evolution im Kosmos entstand aus der weltanschaulichen Konzeption, die in der Natur vorkommenden Ereignisse in ihrem Zusammenhang zu verstehen, zu beschreiben und zu erklären. Das Modell der Evolution im Universum ent-[56:]wickelt sich als Ergebnis bewußter Tätigkeit des Menschen, nähert sich in einigen Relationen der Wirklichkeit und verändert seine Gestalt in Abhängigkeit von der Zunahme der Faktenkenntnisse. Bei gleichbleibender Grundauffassung zu den gegebenen Tatsachen sind die auf anderen Gebieten erworbenen Kenntnisse und das bessere Verständnis für Vorgänge in unserem Sonnenkörper Voraussetzung, um das Wissen über physikalische Merkmale bestimmter Sterntypen zu vervollständigen. So erweisen sich die Vorstellungen über die Evolution im Kosmos als mit der Realität vereinbar und sind zugleich ein Charakteristikum für die gesellschaftliche Selbsterkenntnis. Als nicht haltbar erwies sich die Ablehnung der Evolution aus weltanschaulichen Erwägungen, seien sie religiös oder agnostizistisch begründet. Der Hinweis auf die Ungewißheit über den Gesamtverlauf der Sternentwicklung und die Relativität jeder Erkenntnis läßt die Sterilität dieser Auffassungen nicht verkennen.⁵

Die Idee von der Evolution erfüllt nur dann ihre Funktion in der wissenschaftlichen Erkenntnis, wenn mit ihrer Annahme keine mögliche Untersuchung ausgelassen wird, auch wenn sie mit dem Entwicklungsgedanken nicht in unmittelbarem Zusammenhang steht. Ein solches Urteil läßt sich erst nach der Analyse der Untersuchungsergebnisse fällen. Ein Beobachtungsergebnis, das zunächst nichts über die Entwicklung des Objekts aussagt, kann vielleicht zu einem späteren Zeitpunkt für die Idee der Evolution eine bestimmte Bedeutung erlangen.

Die Diskussion um das HRD als Entwicklungsdiagramm ist im wesentlichen abgeschlossen, nicht aber die um den in ihm nach stabiler Häufigkeit abgebildeten Gesamtprozeß. Außerdem sind Anfang und Ende dieser Ereignisse der Wissenschaft noch weitgehend unbekannt.

Weltanschaulich-methodische Verfahren, die die Realität in ihrem Zusammenhang beurteilen, haben den Vorzug, bei keiner auftauchenden Erkenntnisschwierigkeit Irrationalismen nachzugehen. Was das Einzelwissen anbelangt, so verhindert keine Konzeption, daß jede ausgearbeitete Hypothese um ihre Bestätigung als Theorie zu ringen hat. Sie erwirbt sich auch als Theorie kein Anrecht auf Unveränderlichkeit, sondern unterliegt mit Notwendigkeit dem weiteren Werdegang der Wissenschaft. Mit jedem gelösten Problem werden zuvor nicht gesehene Fragen sichtbar. Aus der überprüften Evolutionstheorie und der Typenfolge im HRD kann schließlich die Geschichte unserer Galaxis abgeleitet werden. [57:] Sie reproduziert in einem Teilbereich des Kosmos Vorgänge, die zugleich im größeren Maßstab der Gesamtevolution zugrunde liegen.

Wie über die Sternentstehung, so sind auch unsere Kenntnisse über die späten Entwicklungsphasen und das Endstadium der Sterne noch sehr hypothetisch. Als Endphase bezeichnen wir das Stadium, wo alle Kernenergiequellen des Sterns aufgebraucht sind. Die Entwicklung eines Sterns zur Endphase ist eine Folge von stabilen und instabilen Zuständen. Zu den bekannten Erscheinungsformen der Endphase gehören die Weißen Zwerge, die Neutronensterne und die sogenannten Schwarzen Löcher.

Im späteren Entwicklungsstadium lösen sich stabile und instabile Sternzustände relativ kurzfristig ab. Der Stern versucht vergeblich, seinen Gleichgewichtszustand zu finden; er pulsiert. Hier endet auch die gegenwärtige gesicherte Modellvorstellung. Modellvorstellungen und -rechnungen für die späten Stadien der Sternentwicklung sind noch weniger fundiert als für die frühen Entwicklungsphasen.

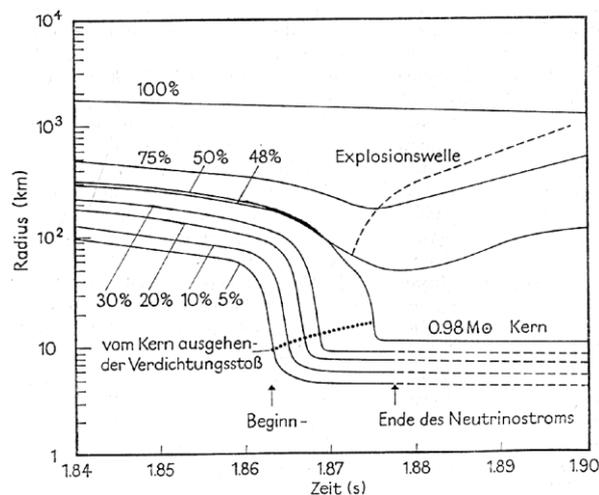
Deshalb sind die Kenntnisse über das Endstadium äußerst lückenhaft. Zunächst müssen für diesen Abschnitt der Sternentwicklung bestimmte physikalische Bedingungen erfüllt sein. Alle bekannten Erscheinungsformen der Endphase besitzen eine verhältnismäßig geringe Masse. Folglich muß bei der Mehrzahl der Sterne vor diesem Stadium ein erheblicher Masseverlust eintreten.

Die astronomische Wissenschaft untersuchte eingehend mögliche Mechanismen, die einen Masseverlust auslösen. So könnte z. B. die Aufheizung der Substanz im Sterninnern im Stadium seiner Instabilität, die durch Pulsation gekennzeichnet ist, zu einem stetigen Ausblasen von Gasatomen

⁵ Vgl. Ley, H.: Verhältnis von Philosophie und Astronomie. (Unveröffentlichtes Manuskript, 1973)

führen. Im Riesenstadium umgibt die abgestoßene Masse den Stern als neblige Hülle. Man bringt diese Überlegungen mit der Existenz planetarischer Nebel in Zusammenhang. In dieser Phase befinden sich scheinbar auch jene Sterne, die einmal oder mehrmals einen Nova-Ausbruch haben. Dazu gehören jedoch nicht die Supernovae.

Der Sonnenwind ist sicher keine Ursache für den hohen Masseverlust. Seine Meßwerte sind außerordentlich klein. Bisher wurden hohe Masseverluste nur bei Supernovaeausbrüchen registriert. Eine andere Erklärung für die Existenz der Weißen Zwerge leitet man aus der Masseabgabe in engen Doppelsternsystemen ab. Die Ansicht ist plausibel, weil angenommen wird, daß 25 Prozent aller Sterne Doppel- oder Mehrfachsterne sind. Der Masseverlust in Doppelsternsystemen ergibt sich aus unterschiedlichen Entwicklungsphasen beider Komponenten, die nicht gleiche Massen besitzen. Der massereiche Stern verläßt die Hauptreihe zuerst. Die damit verbundene Expansion seiner Hülle zwingt dazu, einen beträchtlichen Teil der Sternmasse in den Gravitationsbereich des masseärmeren Begleiters, der sich noch auf der Hauptreihe befindet, abzugeben. Bei diesem Prozeß bläst die massereiche Komponente des engen Doppelsternpaares den größten Teil ihrer Substanz ab. Diese Sterne tauschen also während ihrer Entwicklung Masse aus. Eine andere Möglichkeit der Masseabgabe besteht bei Sternen, deren Masse größer als 1,5 Sonnenmassen ist. Hier erfolgt der Ausstoß von Substanz infolge rasch ablaufender Vorgänge sehr plötzlich. Diese Objekte ziehen durch einen unerwarteten Helligkeitsausbruch die Aufmerksamkeit des Beobachters auf sich. Sie werden als Supernovae bezeichnet. Noch im vorigen Jahrhundert nahm man an, das Auftauchen einer Supernova sei die Folge des Zusammenstoßes von zwei Sternen.



Der zeitliche Ablauf einer Supernova

[59:] Beobachtungsdaten, die zur Überprüfung der Hypothese dienten, führten zu dem Ergebnis, daß Supernovae keine Ausnahmereischeinungen, sondern gesetzmäßige Phasen der kosmischen Evolution sind. Dieses Resultat entspricht der Entwicklungskonzeption des dialektischen Materialismus, nach der auch außergewöhnliche Erscheinungsformen keine Mißbildungen, keine Abweichungen vom normalen Weg sind, sondern Entwicklungsergebnisse als Folge von Qualitätssprüngen, durch die gesetzmäßige Veränderungen in der Struktur dieser Objekte herbeigeführt werden. Wir haben es mit einer instabilen Phase der Sternentwicklung zu tun. Die beobachteten raschen Helligkeitsänderungen bringt die Wissenschaft mit extremen physikalischen Prozessen im Sterninnern während seines Endstadiums in Verbindung. Da Supernovae relativ selten beobachtbar sind, nimmt man an, daß nicht alle Sterne in der Endphase dieses Stadium durchlaufen. Bisher registrierte die Wissenschaft drei Supernovaeausbrüche (1054, 1572, 1604) in unserer Galaxis. In extragalaktischen Sternsystemen wurden über 200 Supernovae beobachtet. Eruptionen von Supernovae führen zu qualitativen Veränderungen der physikalischen Zustandsgrößen dieser Objekte. Über die Ursachen der Vorgänge besitzt die Wissenschaft noch wenig Kenntnisse. Es stehen eine Reihe von Modellen zur Verfügung. Jedoch bieten sie keine widerspruchsfreie Erklärung für die dabei ablaufenden Prozesse. Wahrscheinlich finden im Spätstadium der Sternentwicklung im Sterninnern extreme physikalische Prozesse statt, die

zur Instabilität des Sterns führen. Da diese Vorgänge in relativ kurzer Zeit ablaufen, kommt es zu einer Explosion des Sterns mit einem Materieausstoß von erheblicher Masse. Dadurch ergibt sich ein schneller Masseverlust des Objekts. Von einem Stern doppelter Sonnenmasse bleibt noch knapp die Hälfte übrig. Daraus läßt sich schließen, daß in kurzer Zeit eine grundlegende Zustandsänderung des Sterns vollzogen wird (s. Abb. S. 58). Im Ergebnis der Eruption tritt wieder ein stabiler Zustand in Form der Weißen Zwerge, der Neutronensterne oder eines Schwarzen Lochs ein. Die beim Ausbruch einer Supernova ausströmenden schweren Atomkerne bilden sicherlich Ausgangsmaterial für die Entstehung neuer Sterne, ein Prozeß, der bisher nicht nachgewiesen wurde, dessen Existenz aber anzunehmen ist. Die Energie der relativistischen Teilchen, die den Stern beim Ausbruch verlassen, bleibt nach bisherigen Beobachtungen erhalten. Diese Teilchen werden Bestandteil des interstellaren Raumes. Möglicherweise haben wir hier die Quelle für die kosmische [60:] Strahlung und für die Elektronen, die die diffuse Strahlung in der Galaxis erzeugen.⁶

Supernovae beweisen, daß trotz des äußeren Gleichgewichtszustands eines Sterns sich in seinem Innern grundlegende, zunächst nicht sichtbare quantitative Vorgänge vollziehen, die zur plötzlichen qualitativen Veränderung der Erscheinungsform führen können.

Durch die beschriebenen Vorgänge können die massereichsten Objekte bis zu 85 Prozent ihrer Gesamtmasse verlieren. Neben dem erheblichen Masseverlust sind für den Endzustand auch die ungewöhnlichen physikalischen Eigenschaften der Erscheinungsformen charakteristisch.

Wir wollen nunmehr einige mögliche Endzustände diskutieren. Es muß jedoch betont werden, daß die Vorgänge sehr vereinfacht dargestellt sind und zahlreiche Überlegungen noch der wissenschaftlichen Beweisführung bedürfen.

Die Weißen Zwerge haben Radien von der Größenordnung der Planetenradien. Massebestimmungen ergaben 0,3 ... 1,4 der Sonnenmasse. Die genannten Größen lassen interessante Schlüsse über die Dichte und Stabilität dieser Objekte zu. Weiße Zwerge haben extreme Dichten. Infolge vorangegangener Kernprozesse besteht das Innere aus einem Kohlenstoffkern und aus freien Elektronen. Im Zentralgebiet des Sterns befindet sich das Gas jetzt im Zustand der Entartung. Eine solche ungewöhnliche Eigenschaft einer Strukturform der Materie führt zwangsläufig zu einem physikalischen Aufbau des Sterns, der sich von jenen Sternen unterscheidet, die den idealen Gasgesetzen gehorchen. In den Atmosphären der Weißen Zwerge wurden Wasserstoff und Helium nachgewiesen. Jedoch ist die chemische Zusammensetzung dieser Objekte nicht einheitlich. Infolge der kleinen Masse fehlen die notwendigen Temperaturen der Zündung neuer Kernprozesse. Folglich kontrahiert der gesamte Stern so lange, bis ein bestimmter Gleichgewichtszustand erreicht wird. Diese Bindung tritt ein, wenn er einen vollständig entarteten physikalischen Zustand hat. Trotzdem keine Kernprozesse stattfinden, hat der Stern eine beträchtliche Energiefreisetzung, deren Quelle die aufgespeicherte Wärmeenergie im Sterninnern ist.

Bei den Weißen Zwergen bestehen gesetzmäßige Beziehungen zwischen Radius und Masse und Dichte. Der Radius nimmt mit wachsender Masse ab und die Dichte zu. Oberhalb einer bestimmten Grenzmasse kann ein Stern aus entartetem Gas nicht mehr [61:] existieren. Deshalb müssen Sterne mit größerer Masse als die Grenzmasse (etwa 1,4 Sonnenmassen) innerhalb ihrer Entwicklung eine bestimmte Masse abgeben.

Eine andere mögliche Erscheinungsform des Endstadiums der Sterne sind die Neutronensterne, die man allgemein mit den erstmalig 1967 auf radioastronomischem Wege ermittelten Pulsaren identifiziert. Diese Objekte senden regelmäßig Impulsstöße mit einer Periode in der Größenordnung von weniger als einer Sekunde aus. Diese periodische Strahlung ergibt sich wahrscheinlich aus der Rotation der Neutronensterne. Anfänglich hielt man diese Erscheinung für Pulsationen Weißer Zwerge. Jedoch besitzen diese Objekte für einen solchen Vorgang bei den beobachteten Perioden eine zu große Masse. Ebenso ist eine Rotation der Weißen Zwerge als Erklärung auszuschließen, da Körper dieser Größe bei den beobachteten Periodenlängen durch die entstehende Fliehkraft zerrissen würden.

⁶ Vgl. Richter, G. M.: Supernovae. In: Wissenschaft und Fortschritt, Berlin 21 (1971), Heft 2.

Deshalb haben wir es im speziellen Fall mit einer anderen Erscheinungsform der Materie im Kosmos zu tun. Man nimmt an, daß die periodischen Impulse, der Pulsare die Rotation der Neutronensterne widerspiegeln. Folglich wären die Neutronensterne rotierende Pulsare. Eine Rotationsperiode von $1/30$ s wäre für ein solches Objekt durchaus möglich. Jedoch sind Neutronensterne nicht in jedem Fall mit den Pulsaren identisch, weil nicht jeder Neutronenstern unbedingt eine pulsierende Strahlung aussenden muß.

Schon vor 35 Jahren wiesen L. D. Landau u. a. auf die Existenz der Neutronensterne hin, jedoch nur unter theoretischem Aspekt. Eine Beobachtung solcher Objekte wurde zunächst für aussichtslos gehalten. Die Entdeckung der Neutronensterne war ein schwieriger erkenntnistheoretischer Prozeß. Neutronensterne weisen extrem hohe Dichten von $10^{11} \dots 10^{15} \text{ g/cm}^3$ auf, was der Dichte von Atomkernen entspricht. Zustandsgleichungen und Eigenschaften der Materie unter solchen Bedingungen sind der Wissenschaft noch wenig bekannt. Infolge extremer Dichtewerte vereinigen sich Elektronen und Protonen zu Neutronen. Bei diesem Vorgang nimmt der von den Elektronen vorher ausgeübte Druck rasch ab, Neutronen weisen keine elektrostatischen Abstoßungskräfte auf. Das starke Gravitationsfeld zwingt den Stern durch einen Kollaps zur raschen Kontraktion. Dabei verringert sich sein Radius von etwa 1 Mill. km auf ungefähr 10 bis 15 km. Ein Neutronenstern, dessen Masse eine Sonnenmasse beträgt, hat einen Durchmesser von 5 bis 10 km. Das Objekt besteht vorwiegend aus Neutronen, [62:] die von einer Gashülle umgeben sind, welche nur wenige Meter dick ist. Die Entstehung von Neutronensternen stellt Bedingungen für eine starke Neutronenproduktion her. Neutronensterne können im Röntgenspektralbereich beobachtet werden.⁷

Vorhandene Theorien lassen die Möglichkeit einer Kontraktion bis zum Neutronenstern als Spezialfall der Sternentwicklung zu. Von den über 50 bekannten Pulsaren konnte bisher nur einer im optischen Spektralbereich beobachtet werden. Er befindet sich im Krebsnebel. Von diesem Objekt wissen wir sicher, daß es sich um Resterscheinungsformen eines Supernovaeausbruchs vom Jahre 1054 handelt. Deshalb neigt man zu der Annahme, daß Pulsare das Ergebnis der Eruption einer Supernova sind. Jedoch wurde dieser Tatbestand bisher nur an einem Beobachtungsobjekt festgestellt. Deshalb können wir auch andere Mechanismen, die zur Bildung eines Neutronensterns führen, nicht ausschließen. Sicher ist die Auffassung berechtigt, daß Neutronensterne eine typische Endphase der Sternentwicklung darstellen. Zahlreiche komplizierte Sachverhalte, wie die Elektrodynamik der Pulsare und den Mechanismus ihrer Strahlung, gilt es noch zu erforschen.

Das Problem des Kollapses massereicher Sterne wird bereits seit Jahrzehnten im Zusammenhang mit der Relativitätstheorie lebhaft diskutiert. J. R. Oppenheimer u. a. führten dazu zahlreiche interessante Untersuchungen durch. Wenn der Gravitationskollaps eines Sterns nicht zum Neutronenstern führt, sondern zu einem Objekt mit relativ großer Masse, aber sehr kleinem Radius, „Schwarzschild-Radius“ genannt, und einer beträchtlichen Energiedichte, dann wirkt an seiner Oberfläche eine erhebliche Gravitationsbeschleunigung. In diesem Fall kann die Wellen- und Teilchenstrahlung den Stern nicht verlassen, weil die Energie nicht ausreicht, um die Gravitationskraft des Objekts zu überwinden. Ein Erdbeobachter erhält von diesem Objekt keine Information durch Strahlung. Wir haben eine unsichtbare Erscheinungsform vor uns. Sie trägt die Bezeichnung „Schwarzes Loch“. Seine Existenz kann nur durch indirekte Nachweismethoden festgestellt werden. „Schwarze Löcher“ sind theoretisch vorausgesagte, bisher nicht nachgewiesene kosmische Objekte. In jüngster Zeit nimmt man an, daß es sich bei den „Schwarzen Löchern“ möglicherweise um das Endstadium der Neutronen- und Baryonensterne handelt.⁸

Aus den Beobachtungsergebnissen und theoretischen Überlegungen zum Endstadium der Sterne ergaben sich für die Astrophysik [63:] einige komplizierte erkenntnistheoretische Probleme. Es handelt sich vor allem um das Studium physikalischer Eigenschaften von Erscheinungsformen der Materie im überdichten Zustand, um die Aufdeckung der Ursachen für die Beschleunigung der Elektronen

⁷ Vgl. Schmidt, K.-H.: Pulsare. In: Die Sterne, Leipzig 48 (1972), Hefte 1, 2, 3.

⁸ Vgl. Treder, H.-J.: Karl Schwarzschild und die Wechselbeziehungen zwischen Astronomie und Physik. In: Die Sterne, Leipzig 50 (1974), Heft 1.

auf relativistische Geschwindigkeit und um die Erkundung der Mechanismen, die zur Auslösung der Stoßwellen im Sterninnern führen.

Alle wissenschaftlichen Vorstellungen über die physikalischen Merkmale verschiedener Sterntypen im Endstadium bedürfen einer strengen Überprüfung. Die Erforschung des Wesens der Supernovae, der Neutronensterne und der „Schwarzen Löcher“ zeigt, daß die Existenz von gegenwärtig nicht wahrnehmbaren Dingen keinesfalls zugunsten des Agnostizismus spricht. Gerade das Studium dieser Objekte bestätigt, daß bisher unbekannte Mechanismen, die natürlich materiellen Charakter tragen, auf die Wirklichkeit einwirken und zu Veränderungen führen. Beobachtungsdaten sprechen für das Vorhandensein einer Vielzahl kosmischer Erscheinungsformen mit instabilen Zuständen und irreversiblen Zustandsänderungen in relativ kurzen Zeiträumen. Die Natur erweist sich immer wieder als unendlich viel reicher als die Vorstellungen, die wir uns zu einem bestimmten Zeitpunkt von ihr machen. Lenin bemerkt dazu: „Doch der dialektische Materialismus betont nachdrücklich, daß jede wissenschaftliche These über die Struktur der Materie und ihre Eigenschaften nur annähernde, relative Geltung hat, daß es in der Natur keine absoluten Schranken gibt, daß die sich bewegende Materie Verwandlungen durchmacht aus einem Zustand in einen anderen, der von unserem Standpunkt aus scheinbar mit dem vorangegangenen unvereinbar ist ...“⁹

Will man weitere Kenntnisse über den Untersuchungsgegenstand gewinnen, kann man nicht von Apriorischem ausgehen, sondern von der Analyse der Eigenschaften dieser Erscheinungsformen, die sich aus der theoretischen Verallgemeinerung der Beobachtungsdaten ergibt. Auf der Grundlage des Prinzips der Unerschöpflichkeit der Materie, das unterschiedliche Struktur- und Entwicklungsgesetze der vielfältigen Erscheinungsformen einschließt, steht vor der Astrophysik die Aufgabe, weiter in das Wesen der in diesen Objekten ablaufenden Prozesse einzudringen, innere Beziehungen und Mechanismen aufzudecken und zu erklären. Ziel dieser Bemühungen muß sein, die Typen der Endphase der Sternentwicklung exakt in die Theorie über den Entwicklungsprozeß [64:] der Sterne einzuordnen. Dieses Vorhaben fordert eine strenge Prüfung des Wahrscheinlichkeitsgehalts aller zu diesem Sachverhalt bestehenden Hypothesen, die Suche nach neuen Möglichkeiten und Methoden zur Erforschung der genannten Erscheinungsformen sowie die Aufstellung weiterer Hypothesen, deren wissenschaftlicher Gehalt ebenfalls wieder am Forschungsgegenstand zu prüfen ist.

Fragen zur Entstehung von Planetensystemen

Obwohl die Wissenschaft sich mit dem Problem der Entstehung unseres Planetensystems bereits seit Jahrhunderten beschäftigt und dazu eine Vielzahl bis in Details gehende Vorstellungen entwickelt hat, kann keine einzige davon den Ruf einer abgeschlossenen wissenschaftlichen Theorie beanspruchen. Das Problem bleibt vorläufig noch ungelöst. Im Gegensatz zur Kosmogonie der Sterne gibt es bei der Ausarbeitung der Planetenkosmogonie eine Reihe Schwierigkeiten. Zur Untersuchung der Sternentwicklung steht den Astronomen eine Vielzahl von Objekten zur Verfügung, die sich auf unterschiedlichen Entwicklungsstufen befinden. Vorgänge, die zur Bildung von Planetensystemen führen, kann die Wissenschaft gegenwärtig nur an unserem Planetensystem studieren. Auf Grund der großen räumlichen Entfernungen benachbarter Sterne und der Tatsache, daß Planeten kalte Himmelskörper sind, die aus fester, im Innern auch flüssiger Substanz bestehen, ist die optische Beobachtung dieser Objekte trotz ständig verbesserter Technik fast aussichtslos. Sicher werden der Beobachtung nur solche Planeten zugänglich, deren Massen die Jupitermasse wesentlich übertreffen. Bisher wies die Wissenschaft erst bei ganz wenigen Sternen die Existenz dunkler Begleiter nach. Massebestimmungen ergaben, daß diese Objekte Massen besitzen, die in der Größenordnung von 2 ... 20 Jupitermassen liegen. 1963 konnte bei dem sogenannten Barnardschen Pfeilstern, einem Stern der Sonnenumgebung, ein dunkler Begleiter festgestellt werden. Seine Masse wird auf 1,7 Jupitermassen geschätzt. Nach neueren Interpretationen existieren dort wahrscheinlich fünf Begleiter. Sollte sich die letztere Annahme als wahr erweisen, hätten wir ein anderes Planetensystem vor uns. Es gibt aber auch Argumente, die der Auffassung, in der großen Masse dunkle Begleiter von Sternen, Planeten, zu sehen, widersprechen. Bei Objekten mit größerer Masse als die des Jupiters [65:] kann es sich auch um

⁹ Lenin, W. I.: Materialismus und Empiriokritizismus. In: Werke, Bd. 14, Berlin 1973, S. 261.

Sterne handeln, die wir als Schwarze Zwerge bezeichnen. Diese Sterne mit sehr kleiner Masse befinden sich im Anfangsstadium ihrer Entwicklung. Die geringe Masse erlaubt keine Energiefreisetzung durch Kernprozesse. Der Energiebedarf wird ausschließlich durch Kontraktion gedeckt. Schwarze Zwerge kühlen rasch aus und gehen sofort in das Endstadium über.

Trotz der schwierigen Probleme, die mit dem Auffinden anderer Planetensysteme verbunden sind, liegt die Vermutung nahe, daß unser Planetensystem keine Ausnahme im Weltall darstellt. Vorliegende Schätzungen über die Anzahl solcher Systeme beruhen nicht so sehr auf Beobachtungstatsachen, als vielmehr auf spekulativen Überlegungen. Nach diesen Vorstellungen besitzt im Milchstraßensystem etwa jeder 1000. Stern ein Planetensystem. Bei einer Gesamtzahl von 10^{11} Sternen haben wir die Existenz von etwa 10^8 Planetensystemen anzunehmen.¹⁰ Wenn auch der Suche nach anderen Planetensystemen ständig steigende Bedeutung zukommt, stützen sich gegenwärtige Überlegungen zur Planetenkosmogonie nur auf Kenntnisse über unser eigenes Planetensystem. An diese Tatsache werden bestimmte spekulative Betrachtungen geknüpft. So vertritt H. Dörrie die Ansicht, unser Planetensystem sei ein einmaliges Ereignis und deshalb als Wunder zu betrachten.¹¹ C. F. von Weizsäcker erklärte, unser Planet sei wahrscheinlich nicht älter als fünf Milliarden Jahre. Was vorher war, sei schwer zu sagen; vielleicht gab es keine Ereignisse in der Zeit.¹²

Eine Theorie über die Planetenentstehung muß unter anderem folgende Fragen widerspruchsfrei beantworten:

- Worauf beruhen die Gesetzmäßigkeiten für die Bewegungen im Planetensystem?
- Wie kann man die Abstände der Planeten von der Sonne begründen?
- Woraus resultieren die physikalische Struktur und die chemische Zusammensetzung der Körper des Planetensystems?
- Wie entstand das System der Satelliten mit seinen rechtläufigen und rückläufigen Bewegungen?
- Welche Vorgänge führten zur Entstehung des Saturnringes?
- Wie kam die Verteilung des Drehimpulses im Planetensystem zustande?
- Welche Prozesse führten zur Entstehung der Kleinkörper im Planetensystem?

Die gegenwärtigen kosmogonischen Vorstellungen über das Pla-[66:]netensystem fußen auf den Gedankengängen Kants, wonach kosmische Staubmassen infolge der Gravitation kondensierten und sich differenzierten, und auf einer Reihe von Beobachtungstatsachen, die für die allgemeine Struktur des Systems gültig sind. Die Bahnen der Planeten liegen, bis auf die des Pluto, fast auf einer Ebene, die nicht genau mit der Äquatorebene der Sonne übereinstimmt. Obwohl sich die Planeten auf elliptischen Bahnen um die Sonne bewegen, ist bei der Mehrzahl die Konfiguration fast kreisähnlich. Alle Planeten zeigen einen einheitlichen Umlaufsinn, der der Sonnenrotation entspricht. Die meisten Monde umlaufen die Planeten auf der Äquatorebene und folgen dem Umlaufsinn. Nur wenige Satelliten haben eine umgekehrte Umlaufrichtung. Bei den großen Planeten unterscheiden wir nach Masse, Dichte und Radius zwei Gruppen, erdähnliche und jupiterähnliche Planeten. Obgleich sich die Körper des Planetensystems aus gleichen chemischen Elementen zusammensetzen, ist das Mischungsverhältnis von Objekt zu Objekt unterschiedlich. Die Planeten besitzen nur $\frac{1}{7}$ der Gesamtmasse des Systems, aber 98 Prozent des Drehimpulses.¹³ Auf diesen physikalischen Grundlagen entstanden wissenschaftliche Vorstellungen über die Entstehung von Planetensystemen. Nach Ch. Friedemann unterscheiden wir bei den vorliegenden Hypothesen zur Planetenentstehung je nach Ausgangsposition verschiedene Gruppen. Ein Teil der Vorstellungen geht von der Annahme aus, unser Planetensystem sei das Ergebnis des Wirkens innerer Kräfte. Andere Vorstellungen lassen sich von der Auffassung leiten, äußere Kräfte seien die Ursache für die Bildung des Planetensystems. Nach einer physikali-

¹⁰ Vgl. Engster, I.: Die Forschung nach außerirdischen Leben. Zürich 1969, S. 229.

¹¹ Vgl. Dörrie, H.: Genesis. Die Entstehungsgeschichte des Universums ... München 1956, S. 13.

¹² Vgl. Weizsäcker, C. F. von: Christlicher Glaube und Naturwissenschaft. Berlin (West) 1959, S. 20.

¹³ Vgl. Günther, O.: Vorstellungen über die Entstehung des Planetensystems. In: Die Sterne, Leipzig 44 (1968), Hefte 3/4, 5/6.

schen Einteilung gibt es Hypothesen, die die Entstehung des Planetensystems auf „kaltem“ oder „heißem“ Weg erklären wollen.¹⁴

In den ersten beiden Jahrzehnten unseres Jahrhunderts wurden auf der Grundlage der Überlegungen von I. C. Chamberlin (1901), F. R. Moulton (1903), J. Jeans (1915), H. Jeffrey (1917) u. a. Hypothesen erarbeitet, die als Ursache für die Entstehung des Planetensystems das Wirken äußerer Kräfte annehmen. Sie führen die Planetenentstehung auf den nahen Vorübergang von zwei Sonnen zurück. Dabei entstandene Gezeitenkräfte rissen einen Teil der Sonnenhülle heraus. Die freigewordene Substanz war das Baumaterial für die Bildung planetarischer Körper. Diese Hypothesen, als Katastrophen- oder Gezeitenhypothesen bezeichnet, besitzen heute kaum noch Bedeutung, weil gewichtige wissenschaftliche Argumente dagegen sprechen. Genaue Berechnungen [67:] wiesen die Unhaltbarkeit dieser Annahmen nach. Unser Sternsystem hat eine relativ geringe Sterndichte. Da zwischen den Sternen große räumliche Entfernungen existieren, wären der Zusammenstoß oder der nahe Vorübergang von zwei Sternen und die damit verbundene Planetenentstehung ein äußerst seltenes Ereignis im Kosmos, die Folge einer Katastrophe. Kosmische Systeme sind aber keinesfalls Produkte von Katastrophen, sondern Resultat gesetzmäßiger Vorgänge. Außerdem spricht die Tatsache, daß heiße Gasmassen sich bei Ausdehnung zerstreuen und nicht kondensieren, ebenfalls gegen die Entstehung der Planeten auf diesem Wege.

Moderne Ideen zur Planetenentstehung beziehen neben himmelsmechanischen Vorgängen auch hydrodynamische und magnetische Prozesse in ihre Betrachtungen ein. C. F. von Weizsäcker (1944) arbeitete die sogenannte Turbulenzhypothese aus, die von G. P. Kuiper (1947) weiterentwickelt wurde. Beide Wissenschaftler gehen von der Annahme aus, daß die Entstehung des Planetensystems eng mit dem Entwicklungsprozeß der Sonne zusammenhängt. Sie begründen ihre Überlegungen physikalisch mit der Entstehung des Planetensystems aus einem heißen Gasnebel, der als Produkt eines Wirbels großer galaktischer Gasmassen entstand. Diese Hypothesen finden auch plausible Erklärungen für die Entstehung der übrigen Objekte des Planetensystems.

Gegenwärtig neigt man dazu, jene Hypothesen zu bevorzugen, die die Entstehung des Planetensystems aus kaltem Material erklären wollen. O. J. Schmidt, L. E. Gurewitsch, A. J. Lebedinski und H. Alfven vertreten die Meinung, unser Planetensystem habe sich aus kalten Staubteilchen gebildet. Auf der Grundlage von Erkenntnissen aus der Astronomie, der Physik, besonders aus den Bereichen der Hydrodynamik und des Magnetismus, werden jene Mechanismen beschrieben, die aus dem Plasma Staubteilchen, Planetesimale, Planeten, Satelliten und Asteroiden entstehen ließen.¹⁵

Als gesichert nimmt man an, daß die Entstehung des Planetensystems mit dem Kontraktionsstadium der Sonne zusammenhängt, wobei energetische Prozesse und Magnetfelder offensichtlich eine bedeutende Rolle spielten. Neuere Beobachtungsdaten erhärten diese Vorstellungen. Es gibt Sterne, die 90 Prozent ihrer Strahlung im Infraroten emittieren. Wahrscheinlich befindet sich ein Teil dieser Objekte noch im Kontraktionsstadium. Sie könnten von einer Staubhülle umgeben sein, die das Licht des Sterns stark [68:] schwächt. Offen bleibt die Frage, ob es sich dabei um eingefangene interstellare Substanz handelt oder ob die Staubwolke ein Resultat ausgestoßener Partikel aus der Hülle des Infrarotobjekts ist. Nach H.-J. Treder, der die neueren Vorstellungen über die Planetenentstehung schematisch skizzierte, dauerte die Bildung einer Ursonne, die gleichzeitig mit 10^3 anderen in einer Assoziation entstand, nur einige 10^6 Jahre.¹⁶ In der Kontraktionsphase der Sonne vergrößerte sich die Rotationsgeschwindigkeit, welche das Ergebnis großer Turbulenzelemente des Urnebels ist. Neben der Gravitationsdynamik entsteht durch turbulente Plasmen im Zusammenhang mit der Rotationsgeschwindigkeit die magnetohydrodynamische Wechselwirkung. Dadurch wird das Drehmoment der Sonne auf ihre äußeren Schichten verlagert. Diese werden von der ständig kontrahierenden Sonne mit wachsendem Bahndrehmoment nach außen abgedrängt. Aus dieser Substanz entstehen auf kaltem

¹⁴ Vgl. Friedemann, Ch.: a. a. O., S. 160.

¹⁵ Vgl. Friedemann, Ch.: a. a. O., S. 173.

¹⁶ Vgl. Treder, H.-J.: Thesen zur Kosmogonie und Entstehung der Erde. In: Berichte der Deutschen Gesellschaft für geologische Wissenschaften (1971), Reihe A, Bd. 16, S. 201.

Wege die Planeten. Der Gesamtprozeß dauert einige 10^8 Jahre. Da nach etwa 10^7 Jahren im Zentrum der Sonne die Kernfusion beginnt, sind die Planeten nicht viel jünger als die Sonne.

Trotz zahlreicher Hypothesen zur Entstehung des Planetensystems gibt es gegenwärtig noch keine befriedigende Erklärung für dabei ablaufende Prozesse. Jedoch haben die Vorstellungen zur Planetenkosmogonie das Stadium der Spekulationen längst verlassen. Der objektive Fortschritt zeigt sich in dem Bestreben, immer mehr Tatsachen in den Hypothesen zu erfassen. Es handelt sich dabei um relative Wahrheiten unterschiedlicher Ordnung. Die Entwicklung der kosmogonischen Erkenntnisse, die Präzisierung und Negierung von Hypothesen, die ungenau oder falsch sind, hat nichts mit etwaiger Unsicherheit unseres Wissens über die objektive Realität zu tun. Der Erkenntnisprozeß ist bekanntlich dialektisch widerspruchsvoll. Es gibt Perioden scheinbar unüberwindlicher Schwierigkeiten, die abgelöst werden in einem qualitativen Sprung in der Erkenntnis.

Die Aufdeckung von Naturprozessen ist kein einmaliger Akt, sondern vollzieht sich über relative Wahrheiten, die ständig tiefer das Wesen der Sache erfassen und sich in einem unaufhörlichen Prozeß der absoluten Wahrheit nähern. Hemmnisse im Erkenntnisfortschritt werden gern zu agnostizistischen Schlüssen genutzt. Auch in der Vielzahl der Hypothesen über die Planetenentstehung sehen die Vertreter des Agnostizismus den angeblichen spekulativen Charakter dieser Ideen und meinen, unser Wissen darüber [69:] wird immer unsicher bleiben. Engels bemerkt dazu: „Die Anzahl und der Wechsel der sich verdrängenden Hypothesen – bei mangelnder logischer und dialektischer Vorbildung der Naturforscher – bringe dann leicht die Vorstellung hervor, daß wir das Wesen der Dinge nicht erkennen können.“¹⁷ Auch Lenin geht bei der Aufdeckung der Wurzel des physikalischen Idealismus auf dieses Problem ein, indem er äußert: „... daß das Prinzip des Relativismus, der Relativität unseres Wissens, ein Prinzip, das sich den Physikern in der Periode des jähen Zusammenbruchs der alten Theorien mit besonderer Kraft aufdrängt ... bei Unkenntnis der Dialektik – unvermeidlich zum Idealismus führt.“¹⁸

Die weltanschaulich-philosophische These von der Unerschöpflichkeit der Materie und ihrer Erkennbarkeit zeigt der Planetenkosmogonie den Weg zur Klärung noch ungelöster Probleme. Ausgehend von dem Gedanken der Mannigfaltigkeit der Erscheinungsformen, müssen wir annehmen, daß Entstehung und Strukturierung von Planetensystemen nicht an ein einziges Schema gebunden sind. Bedingt durch die räumliche Entfernung der Körper unseres Planetensystems und damit verbundene Schwierigkeiten beim Einsatz technischer Vorrichtungen, stützten sich empirische Untersuchungen zur Planetenkosmogonie hauptsächlich auf Beobachtungen kosmischer Objekte im optischen und im Spektral-Radiofrequenzbereich. Der Start des ersten künstlichen Erdsatelliten durch die Sowjetunion (1957) führte zu einer qualitativen Änderung der kosmogonischen Arbeitsmethoden. Seit dieser Zeit findet die experimentelle Untersuchung des Sonnensystems statt. Die Experimente beziehen sich vor allem auf das Studium der Strahlung der Sonne, auf die direkte Erforschung benachbarter Himmelskörper bzw. auf die physikalische und chemische Analyse von Bodenproben dieser Objekte in irdischen Laboratorien und auf die Erkundung der dem erdgebundenen Beobachter nicht zugänglichen Erscheinungsformen der Materie im benachbarten kosmischen Raum durch technische Apparate. Raumflugkörper mit Meßinstrumenten gestatten auch eine Kontrolle der von der Erde aus ermittelten Meßdaten. Damit wird der Wahrheitsgehalt solcher Aussagen erhöht.

Vorliegende Resultate der Experimente sowie neue Erkenntnisse der Nachbarwissenschaften, vor allem der theoretischen Physik, der Geophysik und der Geologie, nehmen bedeutenden Einfluß auf den weiteren Werdegang der kosmogonischen Forschung. Bisherige Vorstellungen über den Ursprung des Planetensystems [70:] werden vertieft und erweitert. Gleichzeitig widerlegt die Realität bestimmte Aspekte hypothetischer Annahmen. Die damit verbundene, sich entwickelnde Planetenkosmogonie spiegelt die Wirklichkeit umfassender und exakter wider.

¹⁷ Engels, F.: Dialektik der Natur. In: MEW, Bd. 20, Berlin 1972, S. 507.

¹⁸ Lenin, W. I.: a. a. O., S. 311.

Die direkte Erkundung des Erdmondes und der Planeten Venus und Mars sowie anderer planetarischer Objekte bereichern unsere Kenntnisse über die Oberflächengestalt, die physikalischen Bedingungen in der Atmosphäre sowie über andere Vorgänge und Prozesse auf diesen Himmelskörpern. Aus der näheren Erforschung der Einzelobjekte lassen sich vorsichtige Schlüsse auf das Gesamte ableiten. In diesem Sinne gehört das eingehende Studium der benachbarten Himmelskörper zu einem festen Bestandteil der kosmogonischen Forschung.

Der Erdmond wurde zum intensiven Gegenstand der extraterrestrischen Forschung. Mit der Entsendung automatischer Stationen und der Landung von Astronauten auf der Mondoberfläche wurde in einzelnen Gebieten des Erdtrabanten die Morphologie bis in kleinste Details intensiv erforscht. Mondbodenproben werden chemisch analysiert, Spannungsstörungen in der Mondkruste, die von Meteoriteneinschlägen und tektonischen Prozessen ausgehen, registriert. Die Anwendung moderner Forschungsmethoden gab auch Antwort auf einen alten wissenschaftlichen Meinungsstreit über die Entstehungsursachen der jetzigen Struktur der Mondoberfläche. Die Mondoberfläche wurde wahrscheinlich durch Meteoriteneinschläge und dadurch bedingte vulkanische Aktivitäten geformt. Den Vulkanismus bestätigen jene Mondgesteine, welche den magmatischen Gesteinen der Erde ähneln, aber in der chemischen Zusammensetzung Abweichungen aufweisen.

Als besonders bedeutungsvoll erwies sich die Altersbestimmung des Mondgesteins. Die gefundenen Werte sind zehnmal größer, als man sie vorher geschätzt hatte. Sie ergaben für einen Teil des analysierten Mondgesteins ein Alter von 4,66 Milliarden Jahren. Dieses Resultat entspricht dem Alter der ältesten irdischen Gesteine. Daraus müssen wir schließen, daß Erde und Mond etwa gleichzeitig entstanden sind. Auch für Meteoriten erhalten wir dasselbe Entstehungsalter, so daß vielleicht das gesamte Planetensystem zu diesem Zeitpunkt gebildet wurde.

Die Altersbestimmung des Mondgesteins läßt auch andere wichtige kosmogonische Schlüsse zu. Über die Entstehung des Erdmondes existieren unterschiedliche Vorstellungen. So kann der Mond später entstanden sein als die Erde. Er trennte sich von [71:] ihr ab. Es kann sich aber auch ein Protoplanet in Erde und Mond gespalten haben. Außerdem wäre es möglich, daß beide Körper gleichzeitig parallel entstanden sind. Schließlich könnte der Mond ursprünglich ein eigener Planet gewesen sein, den die Erde wegen ihrer größeren Masse zu einem späteren Zeitpunkt in ihr Gravitationsfeld brachte.

Die Altersbestimmung der Mondgesteine schließt zumindest die erste Vorstellung aus. Damit wird durch eine in der Praxis bestätigte wissenschaftliche Erkenntnis die Abtrennungshypothese widerlegt.

Es muß bemerkt werden, daß sich bisherige Erkenntnisse, die mit Hilfe von Raumsonden auf den benachbarten Himmelskörpern gewonnen wurden, auf begrenzte Gebiete beziehen und nur einige Details erfassen. Vorzeitige Verallgemeinerungen können deshalb leicht zu Schlüssen führen, die entweder falsch sind oder kurzzeitig revidiert werden müssen. Jedoch zeigen alle Überlegungen Wege für die zukünftige Forschung auf. Die Kosmogonie benötigt zur Bestätigung und Erweiterung ihrer wissenschaftlichen Argumente umfangreiches und ins einzelne gehendes Beweismaterial. Weitere Untersuchungen unter sich ständig verändernden qualitativen Bedingungen und die Entwicklung der Fähigkeit zu immer exakterer theoretischer Analyse der Wirklichkeit in ihrer Kompliziertheit und Widersprüchlichkeit werden uns neue Einsichten in den Ursprung des Planetensystems ermöglichen.

In diesem Zusammenhang wird die seit der Antike weltanschaulich relevante Frage diskutiert, ob wir allein im Kosmos sind oder ob außer auf der Erde im Weltall die Existenz von Leben anzutreffen ist.

Nach der dialektisch-materialistischen Entwicklungstheorie entsteht das Leben in einem gesetzmäßigen Prozeß als Bewegungsform der Materie. Die Entstehung des Lebens ist eine qualitative Veränderung in der Entwicklung der Materie, eine Veränderung, der langwierige Transformationen zugrunde liegen. Wir kennen diese Erscheinungsform bisher nur auf dem Planeten Erde. Aus dem universellen materiellen Zusammenhang ergibt sich der unbegrenzte räumliche und zeitliche Entwicklungszusammenhang von den Elementarteilchen über Atome, Moleküle, Koazervate über die verschiedenen Organisationsstufen des Lebens bis hin zur menschlichen Gesellschaft. Nach Engels

entsteht das Leben in einer kontinuierlichen Evolution als spezifische Bewegungsform der Materie im Kosmos überall dort, wo die notwendigen Bedin-[72:]gungen vorhanden sind.¹⁹ Deshalb ist es nicht undenkbar, daß auch auf anderen Himmelskörpern im Weltall Leben existiert. Das Leben auf unserer Erde ist also nicht einmalig und das Resultat eines Zufalls, wie Monod u. a. annehmen, sondern eine evolutionsgesetzliche Folgerichtigkeit.²⁰

Zunächst interessiert die Existenz von irgendwelchen Lebensformen in unserem Planetensystem. Gegebene Arbeitsmethoden und der technische Fortschritt ermöglichen es, diese Aufgabenstellung auf einer qualitativ hohen Stufe zu bewältigen. Uns sind die chemische Zusammensetzung der Planetenatmosphären und die dort herrschenden Temperaturen bekannt. Nach den gegenwärtigen Erkenntnissen sind wahrscheinlich nur auf dem Mars unter Umständen Bedingungen für die Entwicklung primitiver Lebensformen gegeben. Sicher wird die weitere Erforschung dieses Planeten mit automatischen Stationen uns diese Vermutung in relativ kurzer Zeit bestätigen oder widerlegen. Schlüsse für physikalische Bedingungen auf anderen Planeten – außer der Venus – lassen vorliegende Meßdaten noch nicht zu. Wahrscheinlich existiert hochentwickeltes Leben in unserem Planetensystem nur auf der Erde.

Nach vorsichtigen statistischen Schätzungen H. Shapleys (1958) sind auf etwa 100 Millionen Himmelskörpern unserer Galaxis objektive Bedingungen für die Entstehung und Entwicklung des Lebens bis zu den höchsten Formen vorhanden. Im Gegensatz zu früher nehmen zahlreiche Wissenschaftler heute an, daß, vernunftbegabtes Leben eine äußerst seltene Erscheinung im Kosmos darstellt.²¹ Der Planet Erde existiert seit etwa 5 Milliarden Jahren. Primitive Formen des Lebens auf der Erde entstanden nach vorangegangenen energetischen Prozessen in der Atmosphäre vor etwa 3,5 Milliarden Jahren. Der Evolutionsprozeß, der unter den gegebenen materiellen Voraussetzungen immer kompliziertere Formen des Lebens hervorbrachte, beanspruchte einen sehr langen Zeitraum, währenddessen sich die Strahlungsenergie der Sonne nur unwesentlich änderte. Auf der Suche nach außerirdischem Leben wurden unter anderem Meteorite mit organischen Verbindungen gefunden. Diese Funde kann man nicht unbedingt mit Lebensspuren von anderen Planeten identifizieren. Solche Verbindungen können sich aus Elementen der Meteorite unter dem Einfluß der kosmischen Strahlung gebildet haben. Die organischen Moleküle können aber auch Bestandteile im Urnebel unserer Sonne gewesen sein. Grundsätzlich fragwürdig jedoch bleibt die Annahme, daß Meteo-[73:]riten Lebenskeime aus dem Kosmos zur Erde transportieren. Diese Skepsis wird mit der Auffassung begründet, daß solche Meteoriten mehrere Milliarden Jahre älter als die Erde und Reste eines zertrümmerten Planeten aus einem anderen Sonnensystem sein müßten. Die Beobachtungsbefunde erbringen jedoch den Beweis, daß diese Objekte meistens aus dem Planetoidengürtel unseres Planetensystems stammen. Außerdem fehlt bisher ein eindeutiger Nachweis, daß die organische Struktur in Meteoriten mit Spuren extraterrestrischen Lebens identisch ist.

Die Kometen sind wahrscheinlich ebenfalls in der Frühphase des Planetensystems aus gefrorenen Überresten des Sonnennebels gebildet worden. Sie wären somit Zeugen der Entwicklungsgeschichte des Sonnensystems. Sicherlich kollidierten solche Objekte auch mit der Erde. Wenn Kometen Molekülanteile enthalten, dann könnten sie bei der Entstehung des Lebens auf der Erde eine bedeutende Rolle gespielt haben.

In den letzten Jahren führten radioastronomische Untersuchungen zur Erkenntnis, daß interstellare Wolken physikalisch und chemisch komplexe Systeme sind. Diese Objekte setzen sich nicht nur aus Wasserstoffatomen und einigen wenigen zweiatomigen Molekülen zusammen, sondern aus einer Vielzahl von Molekülen, worunter sich auch organische Moleküle befinden. Für die Kosmogonie ist die Tatsache bedeutungsvoll, daß sich solche komplexen Moleküle in dichten kleinen Wolken befinden, in denen intensive energetische Prozesse ablaufen, die als günstige Gebiete für die Sternentste-

¹⁹ Vgl. Engels, F.: a. a. O., S. 327.

²⁰ Vgl. Monod, I.: Zufall und Notwendigkeit. München 1971, S. 48.

²¹ Vgl. Schklowski, I. S.: Das Problem der außerirdischen Zivilisationen und seine philosophischen Aspekte. In: Sowjetwissenschaft – Gesellschaftswissenschaftliche Beiträge, Berlin 1973, Heft 7.

hung angesehen werden.²² Daraus läßt sich folgern, daß Lebenskeime sicher bereits bei der Entstehung der Planetensysteme vorhanden sind. Jedoch ist der Nachweis von Formaldehyd in interstellaren Wolken noch keine exakte Bestätigung für schon vorhandenes Leben in diesen Erscheinungsformen. Auf Grund bisheriger Forschungsergebnisse müssen wir annehmen, daß die interstellaren Moleküle wahrscheinlich bedeutenden Einfluß auf die Entwicklung des Lebens nehmen. Weitere Untersuchungen auf diesem Gebiet, die in Zusammenarbeit von Astronomen und Chemikern zu leisten sind, haben auch philosophische Bedeutung, weil damit vielleicht die Frage nach dem Ursprunge des Lebens exakter beantwortet werden kann.²³

Ein ganz anderes Problem ergibt sich aus der Frage, ob außerirdisches Leben unbedingt dem Leben auf der Erde gleichen muß. Sicher kann sich Leben nicht nur auf der uns bekannten Kohlenstoffbasis entwickeln. Es wäre denkbar, daß andere materielle Grundlagen, z. B. das Silizium, dessen chemische Eigenschaften dem Kohlenstoff ähneln, Ausgangsprodukt für die Entstehung des Lebens sein können. Natürlich werden hochentwickelte Lebensformen bei vielfältigen Unterschieden ihrer objektiven Umweltbedingungen bestimmte Gemeinsamkeiten hinsichtlich der allgemeinen molekularen Strukturen und Prozesse aufweisen. Es ist nicht ausgeschlossen, daß höher entwickelte Lebensformen auf anderen Himmelskörpern älter sind als auf der Erde. Jedoch sind alle Vorstellungen, die damit zusammenhängen, zunächst Vermutungen und Extrapolationen auf Grund der Entwicklung des Lebens auf unserem eigenen Planeten. Aus diesen hypothetischen Gedankengängen leiten bürgerliche Publizisten wie E. v. Däniken u. a. den spekulativen Schluß ab, daß wahrscheinlich vernunftbegabte Lebewesen anderer Planeten in den ablaufenden Evolutionsprozeß auf der Erde eingegriffen haben. Mit dieser Behauptung wird der Boden jeglicher Realität und wissenschaftlicher Erkenntnis verlassen – mit der Wirkung, die Widerstandskraft der Volksmassen gegen die bürgerliche Propaganda, die die gesetzmäßige Entwicklung der Gesellschaft leugnet, zu lähmen. Die Entstehung der Menschheit und die Entwicklung der Gesellschaft auf unserem Planeten sind seit den Arbeiten von Marx und Engels in ihren Grundzügen geklärt. An keiner Stelle des menschlichen Evolutionsprozesses, auf keiner Stufe des qualitativen Umschlagens unserer geschichtlichen Entwicklung läßt sich außerirdisches Eingreifen erkennen. Diese Feststellung besagt nicht, daß es kein hochentwickeltes Leben auf anderen Himmelskörpern gibt. Über den Wahrheitsgehalt dieser Auffassung entscheidet jedoch die wissenschaftliche Erkenntnis und nicht die ungerechtfertigte Spekulation. Es wäre z. B. theoretisch möglich, mit solchen hochentwickelten außerirdischen Zivilisationen Informationen auszutauschen. Daraus ergeben sich Perspektiven für die Entdeckung bisher unbekannter Planetensysteme, für das Studium der Bedingungen ihrer Entstehung sowie für die Untersuchung allgemeiner Entwicklungsgesetze der Zivilisation. Eine internationale Konferenz in Bjurakan (UdSSR) befaßte sich 1971 mit der Möglichkeit, Verbindung zu außerirdischen Zivilisationen aufzunehmen. Im Ergebnis wurde ein Programm für die Suche nach Kontakten mit vernunftbegabten Wesen im Weltall ausgearbeitet.²⁴ Ein Projekt, über das man bisher nur spekulativ diskutierte, wurde zum Gegenstand eines wissenschaftlichen Programms. Die in Bjurakan ausgearbeitete Methode hat das Ziel, in bisher unbekannte Bereiche der objektiven Realität vorzudringen. Eine solche optimistische Einstellung zum Erkenntnisfortschritt entspricht der dialektisch-materialistischen Weltanschauung und widerlegt agnostizistische Auffassungen.

Jedoch muß betont werden, daß bisher keine außerirdischen Zivilisationen zu entdecken waren. Die gesetzliche Möglichkeit der Existenz solcher Zivilisationen bedeutet nicht unbedingt Wirklichkeit. Schklowski untersuchte verschiedene Typen möglicher Zivilisationen und kommt zu dem Schluß, bis auf weiteres soll man jedes aus dem Kosmos auf der Erde ankommende Signal als natürlich entstandene Information auffassen. Erst wenn alle Versuche erschöpft sind, eine Erscheinung als natürlich zu interpretieren, sollte man mit Zurückhaltung ihren künstlichen Charakter in Erwägung ziehen.²⁵

²² Vgl. Buhl, D.; Ponnamperna, G.: Interstellare Moleküle und Ursprung des Lebens. In: Die Sterne, Leipzig 48 (1972), Heft 1.

²³ Vgl. Lambrecht, H.: Zur Kosmogonie der interstellaren Materie. In: Zur Geschichte der Erde und des Kosmos, hrsg. von H.-J. Treder, Berlin 1973, S. 57.

²⁴ Vgl. Petrowitsch, N. T.: Signale aus dem Weltall. Berlin 1972, Vorwort.

²⁵ Vgl. Schklowski, I. S.: a. a. O., S. 777.

Bei allen bisher als künstlich angenommenen Radiosignalen aus dem Weltall stellte sich bei eingehender Untersuchung heraus, daß es sich um natürliche Informationen handelt. Diese Tatsache schließt keineswegs die Möglichkeit aus, eines Tages Signale von außerirdischen Zivilisationen zu empfangen.

In diesem Zusammenhang erwähnen wir ein letztes Problem – die Ansiedlung irdischen Lebens auf anderen Himmelskörpern. Diese Idee erscheint heute noch phantastisch, aber sie liegt im Bereich der Möglichkeiten. Nach Hypothesen von Fricker, Reynold und Sagan könnte man in einem längeren Zeitraum in der Venusatmosphäre solche physikalischen und chemischen Bedingungen schaffen, die eine Besiedlung des Planeten durch Erdbewohner zulassen. Trotz steigender Bevölkerungszahl werden zwar auf der Erde bei Nutzung gegenwärtiger und zukünftiger Erkenntnisse sowie durch die Ablösung des Kapitalismus durch den Sozialismus und Kommunismus alle Voraussetzungen geschaffen, um genügend Raum und Nahrung für die wachsende Bevölkerung zu haben. Aber solche Denksperimente sind geeignet, der Entwicklung des irdischen Lebens auch den extraterrestrischen Raum zu erschließen.²⁶

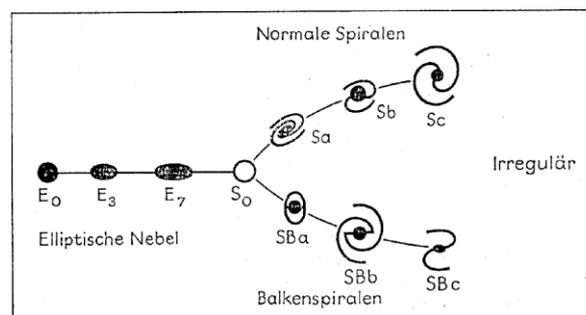
Die vorliegenden Hypothesen zur Entstehung von Planetensystemen und über die Existenz von Leben im Universum sind als Verfahren zu werten, Grenzen des gegenwärtig gesicherten Wissens über diesen Bereich zu überschreiten, den Übergang vom Bekannten zum Unbekannten zu vollziehen mit dem Ziel einer weiteren Annäherung an die absolute Wahrheit.

In diesem Sinne haben kosmogonische Hypothesen eine dop-[76:]pelte Funktion. Sie müssen einen hohen Grad der Übereinstimmung mit der Wirklichkeit aufweisen und Methode zur Überprüfung der Erkenntnis mit der objektiven Realität sein. Dabei ist zu beachten, daß die konkurrierenden Hypothesen zwar über die Wahrscheinlichkeit, nicht aber über die Gültigkeit der Aussagen entscheiden.

Über den Wahrheitsgehalt kann nur durch Beobachtungen, Experimente und Messungen in der objektiven Wirklichkeit entschieden werden. Nicht gelöste Probleme der kosmogonischen Erkenntnis zeigen uns die jeweiligen historischen Schranken der Auseinandersetzung mit der Realität und deuten Wege zum weiteren Vordringen der Forschung an.

Zur Kosmogonie der Sternsysteme

Die Beantwortung der Frage nach der Entstehung und Entwicklung der Galaxien gehört zum jüngsten Forschungsgebiet der Kosmogonie. Das Studium der Entstehungsgeschichte der Galaxien ist weit komplizierter als das eines einzelnen Sterns. Zwar sind hier wie dort die gleichen Naturgesetze beteiligt, jedoch haben wir es mit erheblichen Masseunterschieden zu tun.



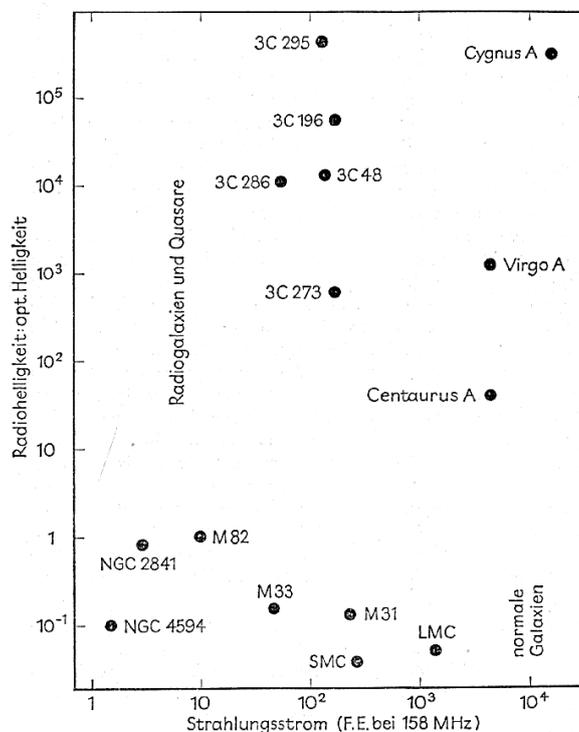
Die Hubble-Sequenz

Die moderne Kosmogonie strebt nach der Schaffung einer widerspruchsfreien Theorie über die Bildung und Entwicklung [77:] der Galaxien. Bei der Bewältigung dieses Vorhabens stehen wir erst am Anfang. Zunächst müssen die Ursachen des Formenreichtums, der Verteilung der Systeme im Raum sowie des Drehimpulses in den Sternsystemen geklärt werden. Über den zeitlichen Ablauf der Galaxienentstehung gehen die Ansichten weit auseinander. Verbreitete Auffassungen bringen die

²⁶ Vgl. Ley, H.: Philosophische Probleme der Weltraumforschung. In: *Astronomie in der Schule*, Berlin 7 (1970), Heft 1.

Entstehung der Sternsysteme mit dem frühen Entwicklungsstadium des gegenwärtig beobachtbaren Weltalls in Zusammenhang. Andere Wissenschaftler vertreten die Meinung, daß der Entstehungsprozeß von Galaxien bis zur Gegenwart anhält. Folglich hätten wir räumlich benachbarte Systeme unterschiedlichen Alters vor uns. Aus dem vorliegenden umfangreichen Beobachtungsmaterial zur angeführten Problematik zog B. W. Kukartkin (1943) den Schluß, daß die verschiedenen Strukturen, das unterschiedliche Alter und die unterschiedlichen Typen der Galaxien aus den unterschiedlichen Erscheinungsformen dieser Gebilde resultieren. Diese Tatsache ist ein Beweis für die Mannigfaltigkeit objektiver Erscheinungsformen. Unabhängig von dieser Voraussage wies W. Baade (1944) nach, daß in Sternsystemen mindestens zwei Grundtypen von Sternpopulationen existieren. Diese Erkenntnis wurde in den folgenden Jahren durch weitere Untersuchungen präzisiert. Große Bedeutung für das Studium der Entstehungsgeschichte der Galaxien hatte zweifellos die Entdeckung aktiver Sternsysteme. Es sind Objekte, in denen sich in relativ kurzer Zeit qualitative Veränderungen vollziehen. Dabei wird eine gewaltige Menge Ruhemasseeenergie in Strahlung umgesetzt. Diesen Zeitraum gewaltiger Energieabstrahlung durchlaufen bestimmte Objekte als Entwicklungsphase. Die meisten dieser Erscheinungsformen wurden erst mit Hilfe der Radioastronomie aufgefunden. Jedoch gibt es auch aktive Sternsysteme im optischen Beobachtungsbereich. Dazu gehören die von Markarjan aufgefundenen Galaxien mit einer intensiven Strahlung im blauen Spektralbereich. Sie werden als blaue Galaxien bezeichnet.

1952 entdeckte man Objekte, die im Radiofrequenzbereich stärker strahlen als im optischen Bereich. Man nennt sie Radiogalaxien. Ihrem Auffinden ging der spektroskopische Nachweis von Gasströmen in den Kernen verschiedener Galaxien durch Seyfert (1943) voraus. Berechnungen ergaben, daß diese Gasströme die galaktischen Kerne mit einer Geschwindigkeit von 2000 ... 3000 km/s verlassen. Sandage und Lind stellten bei ihren Untersuchungen der Galaxis M 82 im Jahre 1963 fest, daß sich aus ihrem [78:] Zentrum eine faserförmige Gaswolke mit einer Geschwindigkeit von 10^3 km/s entfernt. Diese und andere empirische Untersuchungen lassen das Vorhandensein von Körpern im Kern solcher Galaxien vermuten, die bedeutende, für uns qualitativ neue Formen von Aktivitäten aufweisen.



Verhältnis der optischen Helligkeit zur Radiohelligkeit einiger außergalaktischer Radioquellen

[79:] Die entdeckten Radiogalaxien emittieren den größten Teil ihrer ausgestrahlten Energie im Radiofrequenzbereich. Diese Radiostrahlung geht von verdichteten Erscheinungsformen aus, die sich entweder im Sternsystem oder in ihrer unmittelbaren Nähe befinden. In diesen Verdichtungen

bewegen sich hochenergetische Elektronen und andere Teilchen relativistisch in Magnetfeldern. Sie verbrauchen allmählich die in ihnen vorhandene Energie durch Aussendung von Synchrotron-Strahlung. Ihr Energievorrat erschöpft sich spätestens nach 10^8 bis 10^9 Jahren. Dagegen existiert eine Galaxis einige Milliarden Jahre. Folglich kann die Radiogalaxis als kosmische Erscheinungsform nur eine kurze Phase im Entwicklungsprozeß vieler großer Sternsysteme sein. Ihr Entwicklungstempo hängt wahrscheinlich von der Größe der Radioleuchtkraft ab.

Theoretische Untersuchungen verfolgen das Ziel, die Ursachen für die Entstehung der intensiven Radiostrahlung zu erklären.

Gegenwärtig dominiert die Ansicht, daß im Kern einer Radiogalaxis ähnliche Vorgänge ablaufen wie bei der Explosion einer Supernova; nur die Größenordnung ist unterschiedlich. Die damit verbundenen energetischen Prozesse mit Werten von 10^{60} erg führen zu Kettenreaktionen ungeheuren Ausmaßes. Der Kern eines solchen Sternsystems setzt in relativ kurzer Zeit aus den dort vorhandenen Elektronen hoher Energie die erforderliche Energiemenge für die Radiostrahlung der Galaxis frei. Aus dem Kern werden entweder direkt relativistische Elektronen herausgeschleudert, oder aus dem Kern werden Erscheinungsformen ausgestoßen, die zu Quellen relativistischer Elektronen werden. Es sind gewaltige energetische Prozesse, die bisher bei keiner anderen Erscheinungsform der Natur angetroffen werden. Aus diesen Erkenntnissen folgert die Wissenschaft die Aktivität der Kerne in bestimmten Galaxien. Dieser Vorgang hat für die Entwicklungsgeschichte der Sternsysteme große Bedeutung.

Resultate extragalaktischer Beobachtungen erhärten diese Auffassungen. Sandage u. a. beobachteten bei der Radiogalaxis M 82 Gaswolken, die sich vom Kern der Galaxis mit einer Geschwindigkeit von 1000 km/s entfernen. Berechnungen ergaben, daß die Materieform durch eine große Explosion vor etwa 1,5 Mill. Jahren aus dem Kern herausgeschleudert wurde. Diese Tatsache ist eine Bestätigung der Voraussage über die kosmogonische Aktivität der Kerne. Gasausbrüche verschiedener Sternsysteme weisen an ihrem äußeren Ende Verdichtungen mit einer intensiven Ausstrahlung [80:] im ultravioletten Bereich des Emissionsspektrums auf. Das Spektrum der Strahlung des Gasstroms ist mit dem des Kerns der Galaxis identisch. Daraus läßt sich der Substanzausstoß aus galaktischen Kernen folgern. Bisher war nicht zu erklären, ob an solchen Ausbrüchen nur Gase oder auch kompakte Körper beteiligt sind. Das ausgestoßene Material kann zur Stätte der Sternentstehung bzw. der Galaxienbildung werden. Deshalb bezeichnet Ambarzumjan diesen Vorgang als kosmogonische Aktivität des Kerns einer Galaxis.²⁷ Es ist verständlich, wenn nach den Ursachen der Aktivität der Kerne gesucht wird. Dazu gehören zweifellos jene Quellen, die eine solche gewaltige Energiefreisetzung bewirken. Ambarzumjan nimmt an, im Kern der Galaxien befinden sich massereiche und überdichte Körper, die ein kleines räumliches Ausmaß besitzen und unter uns nicht bekannten Bedingungen einen riesigen Vorrat potentieller Energie enthalten. Es sind Existenzformen der Materie, die der gegenwärtigen Physik noch unbekannt sind. Quantitative Veränderungen im Kern führen wahrscheinlich zur Zerstreuung dieser Erscheinungsformen. Diese Teile entfernen sich mit großer Geschwindigkeit voneinander. Aus dem Kern ausgestoßene Materieformen gehen dabei von überdichten zu weniger dichten Zuständen über. Der Mechanismus dieser Prozesse wurde bisher nicht erkannt. Explosionsartige Vorgänge im Kern mancher Galaxien bewirken also den Ausbruch von Substanz, die zur Bildung von Radiogalaxien und anderer Erscheinungsformen der Materie führt.

Die für unsere Vorstellungen noch eigenartigen physikalischen Verhältnisse in den Kernen veranlaßten Ambarzumjan u. a., den Energieerhaltungssatz in seiner jetzigen Form in Frage zu stellen und die Notwendigkeit einer Präzisierung anzunehmen. Auch E. Schmutzer vertritt eine ähnliche Auffassung, wenn er schreibt: „... der auf das ganze Universum angewandte Energieerhaltungssatz ist mehr als problematisch ... So schockierend diese Vorstellungen auf unseren an irdischen Erfahrungen geschulerten Geist auch wirken mögen, wir glauben nicht, daß diese Tatsache einer dialektisch-materialistischen Auffassung des Wesens der Materie entgegensteht.“²⁸

²⁷ Vgl. Autorenkollektiv, Struktur und Formen der Materie. Berlin 1969, S. 332.

²⁸ Vgl. Schmutzer, E.: Der Energieerhaltungssatz und die relativistische Physik. In: Deutsche Zeitschrift für Philosophie, Berlin 14 (1966), Heft 9.

Der philosophische Materiebegriff wird keinesfalls durch eine mögliche nicht universelle Gültigkeit des bekannten Energieerhaltungsgesetzes in Frage gestellt. Energie, ihre Erhaltung und Umwandlung sind physikalische Eigenschaften der Erscheinungsformen der Materie. Vom Standpunkt des dialektischen Materialismus existiert Energie nicht losgelöst von der Materie, sondern tritt immer gemeinsam mit anderen Eigenschaften von ihr in Erscheinung. Die Wissenschaft kennt bisher nur einen Teil der energetischen Vorgänge, deren Aufdeckung unsere Erkenntnisse über den Energieerhaltungssatz erweitern und vertiefen. Damit werden auch unsere Kenntnisse über den philosophischen Materiebegriff bereichert.

Dem Gedanken der Entstehung von Galaxien aus überdichten Körpern stehen viele Wissenschaftler noch skeptisch gegenüber. Sie vertreten die These, daß kosmische Objekte durch Verdichtungsprozesse der Materieform entstehen, und lehnen den Einfluß galaktischer Kerne auf den Entwicklungsprozeß der Sternsysteme ab. Die beobachteten galaktischen Substanzausbrüche werden mit der Kollaps-Hypothese erklärt. Darunter verstehen wir katastrophenartige Kontraktion der Gebilde.

Eine andere Hypothese behauptet, im Frühstadium der Galaxienbildung wären im Kern eine Vielzahl massereicher Sterne entstanden, und der explosive Substanzausbruch wird als Folge des Zusammenstoßes der Sterne im Kern betrachtet. Bisher konnten Zusammenstöße von Sternen außerhalb von Kernen nicht beobachtet werden. Bei der räumlichen Dichte der Sterne im Zentrum der Galaxien sind jedoch solche Kollisionen nicht ausgeschlossen.

Der wissenschaftliche Meinungsstreit über diese Problematik erhielt durch die von Sandage erstmals beobachteten quasistellaren Radioquellen neue Impulse. Diese Erscheinungsformen, als Quasare bezeichnet, unterscheiden sich im optischen Spektralbereich nicht von den Sternen. Sie senden aber eine intensive Radiostrahlung aus, die der Größenordnung einer Galaxis entspricht. Die Natur der Quasare ist noch weitgehend unbekannt. Jedoch läßt die starke Rotverschiebung in ihrem Spektrum verschiedene Deutungsversuche zu. Die beobachtete Rotverschiebung kann ein kosmologischer Effekt sein, der auf ferne expandierende Galaxien schließen läßt. Auf Grund der Werte wären die Quasare die entferntesten Objekte, die gegenwärtig unserer Beobachtung zugänglich sind. Quasare können auch Erscheinungsformen sein, die aus unserer Galaxis oder benachbarten Systemen ausgeschleudert wurden. Es könnte sich um einen massereichen Substanzausstoß aus dem Kern einer Galaxis handeln. Für solche explosiven Vorgänge ist ein sehr hoher Energiebedarf charakteristisch. Es müßten etwa 10^6 Sonnenmassen in Energie umgewandelt werden. Würde diese Vermutung zutreffen, dann wären Quasare Frühstadien der Galaxienbildung. Quasarerscheinungen können auch Prozesse sein, die in Kernregionen einer fernen Galaxis ablaufen. Schließlich kann man die Rotverschiebung auch als relativistischen Effekt deuten. In diesem Fall wären Quasare Objekte mit einer sehr großen Masseansammlung von etwa 10^{14} Sonnenmassen und einem sehr starken Gravitationsfeld. Strahlungsquanten verlieren beim Verlassen des Objekts folglich einen großen Teil ihrer Energie. Die Strahlung wird langwelliger und führt zur Rotverschiebung im Spektrum. Es sind auch andere Erklärungsversuche möglich. Die Deutung, daß es sich bei den Rotverschiebungen in den Spektren der Quasare um relativistische Effekte verhältnismäßig nahestehender kompakter Objekte oder um Substanzausstöße aus unserer Galaxis handelt, findet keine große Anerkennung. Zahlreiche Wissenschaftler vertreten die Ansicht, daß die kosmologische Deutung dieser Erscheinungsformen die wahrscheinlichste ist. Trotzdem ist das Quasar-Phänomen noch mit vielen offenen Problemen verbunden.

Der gegenwärtige Stand der Erforschung dieser Objekte läßt noch keinen Schluß über ihre physikalische Natur zu. Die Wissenschaft kann augenblicklich noch keine zuverlässige Antwort geben, ob wir es bei den Quasaren mit einer gesetzmäßigen Phase der Entwicklung von Sternsystemen zu tun haben.

An der Lösung dieses Problems sind die Astrophysiker stark interessiert. Es geht um die Suche nach unbekanntem Existenzformen der Materie im Weltall und um die Eigenschaften dieser Erscheinungen, besonders um Gesetzmäßigkeiten ihrer energetischen Prozesse, die mit einer hohen Energiefreisetzung verbunden sind. Die Eruptionsvorgänge im Spätstadium der Sternentwicklung, die Entdeckung

der Radiogalaxien, der aktiven galaktischen Kerne und der Quasare führen uns die Mannigfaltigkeit und Kompliziertheit kosmischer Prozesse vor Augen. Mit den Resultaten aus dem Studium dieser Erscheinungsformen wird die Astrophysik gezwungen, sich mit gegenwärtigen Vorstellungen auseinanderzusetzen, diese zu präzisieren oder sogar zu negieren und neue Erkenntnisse zu erarbeiten, die die objektive Realität exakter widerspiegeln. Im dialektischen Prozeß von theoretischen Überlegungen und praktischen Beobachtungen mittels immer besserer Geräte wird es möglich sein, noch tiefer in das Wesen der Entwicklungsprozesse von Galaxien einzudringen.

Mit dem dialektischen Materialismus besitzt die Kosmogonie [83:] eine wissenschaftliche, weltanschauliche, erkenntnistheoretische und methodologische Grundlage zur weiteren Erforschung ihrer Probleme. Dabei ist die dialektisch-materialistische Weltanschauung in keiner Weise an diese oder jene Auffassung über Mechanismen, die zur Entstehung und Entwicklung kosmischer Objekte führen, gebunden, ebenso nicht an eine bestimmte kosmogonische Hypothese. Die einzige Forderung, die der dialektische Materialismus an eine wissenschaftliche Hypothese stellt, ist die adäquate Widerspiegelung objektiver Prozesse. Andererseits zeigt die Philosophie der Kosmogonie Probleme auf, die der weiteren Untersuchung bedürfen, wie z. B. das Studium komplizierter Eigenschaften kosmischer Erscheinungsformen, das zu tieferen Einsichten in die Strukturiertheit der Materie führt, die Untersuchung energetischer Prozesse und die damit verbundene Überprüfung des Satzes von der Erhaltung der Energie sowie seine etwaige Präzisierung, die Erkundung der Wechselwirkung zwischen dem elementaren und kosmischen Bereich zum besseren Verständnis der philosophischen Erkenntnis über die Daseinsweise und grundlegenden Existenzformen der Materie. Mit der Lösung solcher von der Philosophie aufgeworfener Untersuchungsprobleme wird die Kosmogonie ihrerseits wiederum einen bedeutenden Beitrag in der Auseinandersetzung mit dem Agnostizismus, mit simplifizierten mechanisch-materialistischen Auffassungen von der Struktur der Materie leisten; und sie wird mit ihren Ergebnissen gleichzeitig zur Präzisierung und damit zur Entwicklung der Aussagen des dialektischen Materialismus beitragen.

Struktur und Entwicklung des Universums

Einige Grundlagen der Kosmologie

Alles Streben nach dem Verständnis der zahlreichen astronomischen Probleme führt unweigerlich zu der Frage nach der Struktur und Entwicklung des Universums als Ganzes. Mit der räumlichen Struktur und der zeitlichen Entwicklung des gesamten Weltalls befaßt sich die Kosmologie, ein Spezialzweig der Astrophysik. Im Blickpunkt ihrer Forschung steht die Beantwortung der Frage nach dem Urzustand, dem Alter und der Dynamik des Kosmos.

Erkenntnisse der Kosmologie bauen auf empirischen und logischen Grundlagen auf, z. B. Beobachtungen über Verteilung und Bewegung kosmischer Erscheinungsformen durch die extragalaktische Forschung, die große Bereiche des gegenwärtig zugänglichen Universums erfaßt. Als Informationsquelle benutzt sie die elektromagnetische und Teilchenstrahlung kosmischer Objekte. Ausgehend von der Annahme, daß in allen Raumbereichen des beobachtbaren Teils der Welt die Lichtgeschwindigkeit als absolute Maximalgeschwindigkeit gilt, können wir folgern, daß uns der Lichtstrahl von entfernten Galaxien auch Kunde über den Zustand dieser Erscheinungsformen in der Vergangenheit vermittelt. Die Erfassung großer Raum-Zeit-Bereiche durch die uns zugängliche Informationsquelle führt zu einer Reihe von erkenntnistheoretischen Problemen. Objekte der kosmologischen Forschung befinden sich stets an der Beobachtungsgrenze, die – historisch bedingt – fließend ist und vor allem von den technischen Möglichkeiten abhängt. Obwohl sich die Beobachtungsergebnisse laufend quantitativ und qualitativ verändern, ist das Studium von Objekten an der Beobachtungsgrenze trotzdem äußerst kompliziert. Deshalb sind Aussagen darüber oft noch nicht mit genügend Beweisen belegt. Außerdem überschauen wir nur einen Teil des Kosmos. Folglich muß die Kosmologie die Ergebnisse ihrer Beobachtungen im gegenwärtig zugänglichen Weltall auf das Universum als Ganzes übertragen. Es erhebt sich die Frage, ob man prinzipiell aus einer beschränkten Zahl von Sachverhalten über das ganze Weltall gültige und überprüfbare Aussagen treffen kann. Die ständige Erweiterung des Beobachtungsbereiches mit technischen Hilfsmitteln verwies auf die Möglichkeit des weiteren Vordringens zu bisher nicht zugänglichen kosmischen Objekten. Da sich dieser Prozeß als nicht abgeschlossen zeigt, bleibt das Problem unverändert bestehen, auf einer relativ schmalen Erfahrungsgrundlage weitreichende Schlüsse ziehen zu wollen. Ferner geht die Kosmologie von der Universalität erkannter Naturgesetze aus und wendet sie auf große räumliche und zeitliche Dimensionen an. Wenn man dieses Prinzip nicht voraussetzt, ist es nicht möglich, etwas über den Kosmos als Ganzes zu sagen. Offen bleibt jedoch das Problem, wie weit wir erkannte physikalische Gesetze auf große Raum-Zeit-Bereiche des Weltalls extrapolieren können, die der direkten Beobachtung nicht oder noch nicht zugänglich sind. Schließlich werden auf der Grundlage extragalaktischer Beobachtungen und bekannter physikalischer Gesetze mit Hilfe der Mathematik Modellvorstellungen abgeleitet, um eine globale Deutung über die Struktur der Welt als Ganzes zu geben. Wir wissen, daß solche Modelle, in diesem Fall als *Weltmodelle* bezeichnet, stets nur bestimmte Seiten der objektiven Realität beschreiben. Es sind die uns aus der Beobachtung sowie aus der Formulierung physikalischer Gesetze bekannten Parameter. Jedes Modell ist aber eine idealisierte Vorstellung über die Wirklichkeit. Unsere Erfahrungen und die wissenschaftlichen Erkenntnisse lehren, daß die Natur stets mannigfaltiger ist, als unsere Vorstellungen es beschreiben können. Diese Erkenntnis trifft mit Sicherheit auf alle Weltmodelle zu, wo wir infolge praktischer und logischer Schwierigkeiten aus sehr begrenzten Erfahrungen auf das Weltall als Ganzes schließen wollen.

Die einzige Grundlage für die Überprüfung, des Wahrheitsgehaltes solcher Modelle sind Beobachtungen an extragalaktischen Objekten vom z. Z. überschaubaren Bereich des Universums. Wir können folgern, die Kosmologie beruht vor allem auf Hypothesen, über deren Wahrheitsgehalt die Praxis größtenteils noch nicht entschieden hat. In diesem Sinne zählen Resultate der Kosmologie zu den Grenzgebieten des menschlichen Wissens. Hieraus ergeben sich Ansatzpunkte zur Auseinandersetzung gegensätzlicher Auffassungen von Raum und Zeit, wie sie vom Materialismus und Idealismus vertreten werden. Die materialistische Philosophie geht davon aus, daß Raum und Zeit objektive

Existenzformen der sich bewegenden unerschaffbaren und unzerstörbaren Materie sind. Die idealistische Philosophie leugnet die objektive Existenz von Raum [86:] und Zeit sowie die Ewigkeit der Materie. Während die materialistische Philosophie der Kosmologie den wissenschaftlichen Weg zur Untersuchung der Struktur des Weltalls weist und in jedem Weltmodell, das von der objektiven Realität ausgeht, ein Mittel zum tieferen Verständnis materieller Prozesse sieht, versucht die idealistische Philosophie mit Hilfe der Kosmologie einen immateriellen Eingriff in das Weltgeschehen nachzuweisen und unter Benutzung verschiedener Modelle die materialistische Auffassung von der Unendlichkeit der Welt zu widerlegen.

Der Idealismus lehnt alle Vorstellungen ab, die eine Entwicklung des Kosmos aus sich selbst und die materialistische These von der Ewigkeit der Materie als weltanschauliche und naturwissenschaftliche Grundlage benutzen. Nach seiner Auffassung ist die kosmologische Entwicklung durch einen Anfang und ein Ende begrenzt. Zwischen diesen beiden Grenzen wird heute Veränderung und Entwicklung zugestanden. Springpunkt der Auseinandersetzung zwischen Materialismus und Idealismus ist auch im kosmologischen Bereich die Frage, ob die Natur ewig oder geschaffen sei. Die idealistische Konzeption setzt einen Zustand voraus, wo es weder das Weltall noch Naturgesetze gab. Dagegen bestätigen und erhärten Forschungsergebnisse der Kosmologie die Positionen der materialistischen Philosophie über den Zusammenhang von Raum, Zeit und Materie.

Klassische kosmologische Vorstellungen

Die Geschichte der Kosmologie verdeutlicht die Entwicklung der materialistischen Raum-Zeit-Auffassung. Gleichzeitig wird daran die Funktion der Kosmologie in der Auseinandersetzung zwischen den beiden Grundrichtungen der Philosophie erkennbar. Der historische Werdegang und der damit verbundene philosophische Meinungsstreit lassen sich bis in die Antike zurück verfolgen. Obwohl noch keine Einsichten in Naturgesetze vorlagen, war man z. B. schon im alten Griechenland bemüht, allen beobachteten Erscheinungen einen logischen Aufbau zugrunde zu legen.

Der antike Materialist Demokrit (etwa 460-370 v. u. Z.), der sich eingehend mit Raum-Zeit-Problemen befaßte, gab der Naturforschung und der Philosophie durch seine Erkenntnisse wertvolle Impulse. Nach ihm bilden die Atome die materielle Grundlage aller Erscheinungen und Vorgänge. Die Atome sind nach den [87:] damaligen Vorstellungen die kleinsten unteilbaren Erscheinungsformen, die qualitätslos sind und sich in unendlicher Anzahl seit Ewigkeit im leeren Raum bewegen. Durch ihre Wechselwirkung entstehen die verschiedenen materiellen Erscheinungsformen. Die Atome bewegen sich selbst, ohne übernatürliche Kräfte, sie sind unerschaffbar und unzerstörbar. Aus diesen Erkenntnissen leitete Demokrit seine Raumvorstellung ab, die materialistische Züge trägt. Für ihn stehen Raum und Atom in dialektischer Beziehung. Der Raum wird als das Leere, als das Nichts betrachtet. Das Leere ist nach Demokrit ein Behälter, in dem sich die Atome in alle Ewigkeit bewegen, miteinander verflechten und trennen. Die unendlich vielen Atome haben den unendlichen Raum zur Voraussetzung, genau wie der Raum die Atome zur Voraussetzung hat. Demokrit betrachtete also das Weltall als unendlich und ewig, in dem sich zahllose Weltkörper entwickeln. Er lehnte jedes Wunder und einen Weltlenker ab. Obwohl Demokrit den Raum von der Materie trennte, war er bestrebt, die Natur aus sich selbst zu erklären. Der besondere Wert seiner Vorstellungen bestand darin, daß die Bewegung der Atome ewig existiert und keinen Anfang und kein Ende in der Zeit hat. Folglich sind Materie und Bewegung nicht zu trennen. Damit haben sich Demokrit und seine Anhänger historische Verdienste bei der Entwicklung der materialistischen Naturauffassung erworben, gegen die heute noch idealistische Philosophen ankämpfen, „... als wäre der Feind Demokrit noch am Leben, womit er ausgezeichnet die Parteilichkeit der Philosophie demonstriert ...“¹ Für die Astronomie hat die Annahme einer Unendlichkeit des Kosmos und der Vielzahl der Welten von jeher eine den Forschungsprozeß fördernde Funktion besessen.

Aristoteles (384-322 v. u. Z.) begreift das Weltall als eine seit Ewigkeit bestehende und unvergängliche Ordnung. Mathematische, physikalische und astronomische Überlegungen verbinden sich bei ihm zu ethischen, ästhetischen und philosophischen Gedankengängen, die zwischen materialistischen

¹ Lenin, W. I.: Materialismus und Empiriokritizismus. In: Werke, Bd. 14, Berlin 1973, S. 359.

und idealistischen Auffassungen schwanken.² Aristoteles erkannte die objektive Existenz der realen Welt an. Nach ihm ist „die Natur die Gesamtheit aller Dinge, die eine materielle Substanz besitzen, sich ewig bewegen und verändern, ohne Anfang und Ende“.³ Engels bezeichnete diese Haltung des Aristoteles als den naturwüchsigen Materialismus, der die Einheit der Welt in der Mannigfaltigkeit der Naturerscheinungen sieht.⁴

Im Gegensatz zu den Gedankengängen Demokrits von einem [88:] absoluten Raum sah Aristoteles im Raum die Summe aller kosmischen Objekte. Er wird durch den Himmel, die Fixsternsphäre, umschlossen, ist also begrenzt. Jenseits des Raumes existiert nur das Göttliche, alterslos, ewig und unveränderlich. Das göttliche Wesen hält alle Sphären der Gestirne in ewiger und vollkommener Bewegung, ohne selbst bewegt zu sein. Selbst unbewegt, bringt der „erste Beweger“ die Welt in Bewegung, und zwar in eine zweckmäßige Bewegung.

Aristoteles unterzog die Bewegung einer gründlichen Analyse und kam zu dem Schluß, daß sich die himmlischen Körper in ewig gleich bleibender Kreisbewegung – die als vollkommenste der Bewegungen betrachtet wurde – um die Erde bewegen, während die Bewegungen auf der Erde, die nach seiner Ansicht in der Mitte des Kosmos ruht, unvollkommen sind und deshalb hier notwendigerweise eine vergängliche Welt vorhanden ist. Während für Aristoteles der Kosmos ewig besteht, keinen zeitlichen Anfang und kein zeitliches Ende hat, ist für ihn die räumliche Ausdehnung des Weltalls endlich, also begrenzt. Nach den aristotelischen Auffassungen ist das Weltall sowohl inhomogen als auch anisotrop. Die Punkte des Universums sind qualitativ verschieden. Es gibt auch ausgezeichnete Richtungen. Aristoteles beeinflusste mit seinen Erkenntnissen wesentlich die Entwicklung der Raum-Zeit-Vorstellungen. Er verband den Raum mit der Materie und die Zeit mit der Bewegung. Im Erkennen dieses Zusammenhangs zeigt sich Aristoteles als Materialist.

Mit der Begründung des heliozentrischen Weltbildes durch Copernicus wurde der Standort der Erde im Weltall relativiert. Trotzdem Copernicus den geozentrischen Standpunkt überwand und der Erde keine bevorzugte Stellung im Kosmos zuerkannte, hielt er an den aristotelischen Anschauungen von der Kreisbewegung der Himmelskörper fest und vertrat die Auffassung, das Weltall werde von der Fixsternsphäre begrenzt. Da es ihm nicht möglich war, die spekulative Annahme eines räumlich unendlichen Universums zu beweisen, wollte er den Streit, ob das Weltall räumlich endlich oder unendlich ist, den Naturphilosophen überlassen.⁵

Bruno zog aus der copernicanischen Lehre, welche die räumliche Weite des Kosmos auf das Sonnensystem beschränkte, den weitgehenden kosmologisch bedeutungsvollen Schluß: Wenn die Erde nicht Mittelpunkt des Weltalls ist, dann gibt es überhaupt keinen ausgezeichneten Punkt im Kosmos. Auch jeder andere Himmelskörper kann als Mittelpunkt des Universums angesehen werden. [89:] Die Fixsternsphäre schließt unser Weltall nicht ab, sondern der Kosmos hat eine unendliche Ausdehnung. Es existieren unendlich viele Sonnen und Planeten, die aus gleichen Stoffen bestehen und universalen Naturgesetzen unterliegen. Bruno, der mit seinen Gedankengängen die heliozentrische Weltvorstellung materialistisch interpretierte, kam zu der Auffassung, daß das Universum einheitlich, materiell und ewig ist. Im Gegensatz zu Copernicus gibt es jedoch für Bruno kein begrenztes Weltall. „Ich nenne das Weltall als Ganzes unendlich, weil es ohne Rand ist, keine Schranke und keine Oberfläche hat; ich sage aber, das All ist nicht absolut und vollständig unendlich, weil jeder Teil, den wir von ihm erfassen können, begrenzt und jede einzelne der unendlichen Welten, die es an sich gibt, begrenzt ist.“⁶ In diesem Ausspruch Brunos wird bereits der Gedanke des Zusammenhangs zwischen Endlichkeit und Unendlichkeit bewußt, der in der weiteren Entwicklung von Philosophie und Naturwissenschaft zum Gegenstand heftiger Auseinandersetzung wurde.

² Vgl. Lenin, W. I.: Aus dem philosophischen Nachlaß. In: Werke, Bd. 38, Berlin 1964, S. 270 ff.

³ Aristoteles: Physik 209 b. S. 3 ff.

⁴ Vgl. Engels, F.: Dialektik der Natur. In: MEW, Bd. 20, Berlin 1972, S. 458.

⁵ Vgl. Copernicus, N.: Über die Kreisbewegungen der Weltkörper. Erstes Buch, hrsg. und eingeleitet von G. Klaus, Berlin 1959, S. 53.

⁶ Bruno, G.: Über das Unendliche Universum und die Welten. Leipzig 1891, S. 24.

Etwa 140 Jahre später trat Newton die physikalische Beweisführung für die kosmologisch philosophischen Thesen Brunos an. Seine Grundregeln der Physik, der Satz von der Erhaltung der Masse, der Satz von der Erhaltung des Impulses und die Annahme der exakten Erfüllung des Gravitationsgesetzes in allen Bereichen des Weltalls, die von der beobachtenden Astronomie nicht nur für das Sonnensystem, sondern für die ganze überschaubare Sternwelt bestätigt wurden, bildeten den Ausgangspunkt seiner Überlegungen. Newton unternahm den Versuch, die räumliche Ausdehnung und zeitliche Dauer des Weltalls zu erklären. Danach hat das Universum überall die gleiche Materiedichte und besitzt in jedem Fall die gleichen Bewegungskräfte, die ihre Quelle in der Gravitation haben, die vom gegenseitigen Einfluß der mit konstanten Massen behafteten Körper abhängt. Im Kosmos ist kein Raumteil vor dem anderen ausgezeichnet, auch kein Punkt vor dem anderen. Es gibt keinen ausgezeichneten Beobachter, keinen Mittelpunkt des Universums. Das Weltall ist homogen. Nach allen Richtungen des Universums ergeben sich gleiche physikalische Eigenschaften. Der Kosmos ist isotrop. Diese Auffassungen entsprachen den kosmologischen Ideen des Copernicus, die davon ausgingen, daß unsere Gegend des Kosmos keinesfalls vor anderen Orten und Richtungen des Weltalls irgendwie ausgezeichnet ist. Daraus folgt, daß bekannte Naturgesetze in räumlicher und zeitlicher Sicht universelle Gültigkeit besitzen.

[90:] Auf Grund der mechanischen Naturbetrachtung kam Newton zu dem Schluß, das Weltall als Ganzes unterliege keiner Entwicklung. Es trägt statischen Charakter, d. h., die Welt ist zeitlich unveränderlich, ohne jede Entwicklung. Der Weltraum existiert unabhängig von den kosmischen Erscheinungsformen als eine Art Behälter, mit geometrischen, aber ohne physikalische Eigenschaften, und hat eine unendliche Ausdehnung. Er ist unbegrenzt, also grenzenlos. Newton begründet diese Auffassung mit dem Argument, daß in einem begrenzten Weltall die gravitative Wechselwirkung der Teilchen so groß wäre, daß es zu einer allgemeinen Verdichtung, zu einem riesigen Körper kommen muß. Auch die Zeit, die im Gegensatz zum dreidimensionalen Raum eindimensional ist, fließt unabhängig von den Erscheinungen im Universum absolut und ewig dahin. Newton leitete aus diesen Überlegungen den Schluß eines räumlich und zeitlich unendlichen Universums ab. Diese Erkenntnisse waren eine notwendige Konsequenz aus den von der irdischen Physik und Himmelsmechanik entdeckten Gesetzen. Newtons tiefgründige physikalische Überlegungen zur Unendlichkeit der Materie waren wichtige Bausteine für die Entwicklung der materialistischen Philosophie. Mit den Erkenntnissen Newtons galt die naturwissenschaftliche Frage nach der räumlichen Ausdehnung des Weltalls als gelöst. Das Universum ist unbegrenzt, d. h. grenzenlos.

Allgemeine Relativitätstheorie und Kosmologie

Verbunden mit spekulativen Erörterungen entbrannte zu Beginn unseres Jahrhunderts abermals der Meinungsstreit über die räumliche Ausdehnung des Weltalls. Im Zentrum der neuerlichen kosmologischen Auseinandersetzung stand die Frage, ob das unbegrenzte Weltall auch unendlich ist oder ob das Weltall zwar unbegrenzt, aber doch endlich sei. Die Beantwortung dieser Frage, die sowohl den Naturwissenschaftler als auch den Philosophen interessiert, ist wesentlich komplizierter als die Antwort auf die Frage nach dem begrenzten oder unbegrenzten Weltall. Während Newton das unendliche Weltall zugleich als unbegrenzt ansieht, setzt die neuere Kosmologie ein räumlich unendliches Weltall nicht mit der Unbegrenztheit des Weltalls gleich, genauso, wie man unter einem endlichen Kosmos nicht ein räumlich begrenztes Universum versteht. Unendlichkeit bzw. Endlichkeit des Weltalls sind [91:] hier nur als eine bestimmte Geometrie des Raumes im Großen zu verstehen. Das Problem der Unendlichkeit oder Endlichkeit des Raumes im physikalischen Sinne wurde erst mit der Entwicklung der Relativitätstheorie bedeutsam.

Ursache für den bis in die Gegenwart andauernden erneuten Streit um prinzipielle kosmologische Fragen sind die mit der Einführung verbesserter Methoden ständig wachsenden Beobachtungstatsachen über den Kosmos, die erweiterten mathematisch-physikalischen Erkenntnisse sowie damit verbundene fortschreitende philosophische Überlegungen. Die Entwicklung der Astrophysik ermöglichte einen tieferen Einblick in die physikalische Struktur und chemische Beschaffenheit des Kosmos. Mit der verbesserten Optik eröffneten sich neue Möglichkeiten, das Weltall quantitativ und qualitativ zu erfassen. Mit modernen optischen Teleskopen, der Fotografie sowie der Radioastronomie

wurden neue Raumbereiche und bisher unbekannte Erscheinungsformen der kosmischen Materie der Beobachtung zugänglich. Philosophisch bedeutsam ist die Erkenntnis, daß wir im Kosmos Erscheinungen in Form von relativ kompakten Körpern, in diffuser Gestalt und als Felder vorfinden und damit einen Nachweis für den mannigfaltigen Formenreichtum der Materie erbringen.

Am Anfang des 20. Jahrhunderts erkannte die Wissenschaft durch verschiedene Entdeckungen, daß im Bereich der Atome und Elementarteilchen nicht die gleichen Gesetze gelten wie in der klassischen Physik. A. Einstein (1879-1955) deckte diese Sachverhalte für bestimmte Eigenschaften des Weltalls auf. Damit verbundene Zusammenhänge fanden ihren Niederschlag in der „Allgemeinen Relativitätstheorie“. Diese Theorie war die fundamentale Grundlage zur Entwicklung einer modernen Kosmologie. Dieser neuen Etappe gingen eine Reihe wichtiger Erkenntnisse des 19. Jahrhunderts voraus.

So waren z. B. die sogenannten kosmologischen Paradoxa Gegenstand von Erörterungen. W. Olbers (um 1820) formulierte das photometrische Paradoxon. Danach muß es bei einer unendlichen Ausdehnung des Weltalls zahlenmäßig unendliche Lichtquellen geben, also müßte der Nachthimmel nicht dunkel, sondern hell sein. Der Nachthimmel ist aber bekanntlich nicht hell, sondern dunkel. H. v. Seeliger (1894) entdeckte das Gravitationsparadoxon. Es geht davon aus, daß ein räumlich unendliches Weltall auch eine unendliche Masse mit einer Anziehungskraft besitzt. Die Gravitationskraft zeigt aber nur endliche Werte. Die auftretenden [92:] Widersprüche lösen sich nur, wenn man ein endliches Weltall annimmt.

A. Einstein zeigt mit seiner allgemeinen Relativitätstheorie die Grenzen der klassischen Mechanik und negiert vor allem ihre Vorstellungen von einem absoluten Raum und einer absoluten Zeit. Damit werden Maßstäbe für den Gültigkeitsbereich der Newtonschen Himmelsmechanik gesetzt. Einstein sieht in dem Raum keinen Behälter, sondern eine von der Materie abhängige Erscheinungsform. Der Raum ist an bestimmte Bedingungen, in diesem Fall an die Massen der Objekte geknüpft. Massen und Raumstruktur bedingen sich gegenseitig. Folglich ist die Geometrie des Weltalls von der Masseverteilung bzw. Massedichte und der damit verbundenen Gravitationswirkung kosmischer Erscheinungsformen, also einem objektiv existierenden physikalischen Sachverhalt, abhängig. Einstein geht bei diesen Überlegungen davon aus, daß grundsätzlich an jedem Ort des Weltalls und zu jeder Zeit unter allen Umständen die gleichen fundamentalen Naturgesetze gelten, wozu das Gravitationsgesetz gehört, welches nach seiner Auffassung universal ist und weitreichenden Charakter trägt.

Aus diesen Überlegungen folgert Einstein, daß zwischen der Gravitation und der Dynamik des Kosmos dialektische Beziehungen bestehen. Die dynamischen Verhältnisse aller kosmischen Systeme werden durch die gravitative Wechselwirkung der Gebilde des Systems bestimmt. Infolge der Gravitation sind die Erscheinungsformen in ständiger Bewegung und Veränderung. Das Maß für die Veränderung ist die Zeit, d. h., die Zeit existiert nicht unabhängig von der Materie, es gibt keine absolute Zeit. Die Zeit ist mit den kosmischen Erscheinungsformen untrennbar verbunden. Je größer die materiellen Massen sind, je stärker das Gravitationsfeld ist, um so langsamer verläuft die Zeit. Raum und Zeit stehen in einem engen Zusammenhang und verändern sich gesetzmäßig. Ob zwei Ereignisse gleichzeitig ablaufen oder nicht, hängt von dem Bewegungszustand, der Geschwindigkeit des Beobachters ab. Alle objektiven Vorgänge im Weltall haben eine bestimmte Dauer, sie existieren in der Zeit. Einstein zieht damit in die Raumbetrachtung eine vierte Dimension, die Zeit, ein, weil jedes Ereignis eine räumliche Bestimmung und eine zeitliche Angabe erfordert. Die Verknüpfung von Raum und Zeit zu einer gewissen Gesamtheit nennt Minkowski die vierdimensionale Welt. Voraussetzung für diese Auffassung ist die begründete Annahme, daß die Lichtgeschwindigkeit als absolute Maximalgeschwindigkeit in allen Teil-[93:]len des Universums konstant ist. Sie geht neben den gravitativen Kräften, die die existierenden Massen bedingen, als universale Konstante in die Verbindung Raum – Zeit ein. Danach hat nicht nur jedes kosmische Objekt eine räumliche Ausdehnung und zeitliche Dauer, sondern wir können nicht große kosmische Räume betrachten, ohne in die Vergangenheit, in die Geschichte des Universums zu blicken. Je weiter die Objekte von uns entfernt sind, in einem um so früheren Stadium ihrer Entwicklung beobachten wir sie.

Die kosmologische Leistung Einsteins besteht in der Verknüpfung der Raumkrümmung mit der Gravitationstheorie. Infolge seines Massen- und Energieinhaltes muß das Weltall im Großen gekrümmt sein.

Einstein erbrachte theoretisch den Nachweis, daß Raum und Zeit untrennbar verbunden sind mit den im Raum verteilten Massen. Die gravitative Wirkung der Massen bestimmt die Raum-Zeit-Struktur.

Die Gravitationstheorie hat für die Astronomie methodische und erkenntnistheoretische Bedeutung. Mit ihr ist es auf der Grundlage des allgemeinen Relativitätsprinzips möglich, Meßdaten von weit entfernten kosmischen Objekten physikalisch zu interpretieren, d. h., es kann auf physikalische Eigenschaften des betreffenden Objekts geschlossen werden. Damit wird die Tragweite dieser Erkenntnisse für die Kosmosforschung angedeutet. Die neuen naturwissenschaftlichen Erkenntnisse zur Raum-Zeit-Problematik haben große philosophische Bedeutung. Einstein deckte bisher unbekannte allgemeinere Formen des Zusammenhangs von Raum und Zeit und sich bewegender Materie auf und erfaßte sie mathematisch in dazugehörigen Gesetzen. Die objektive Realität von Zeit und Raum wurde von der Relativitätstheorie in dem organischen Zusammenhang von Raum, Zeit und Materie neu gefaßt. Dieser erkannte Zusammenhang ist ein Grundprinzip der modernen naturwissenschaftlichen Forschung. Jedoch sind die physikalischen Diskussionen zu den Raum-Zeit-Vorstellungen noch nicht abgeschlossen.⁷

Die allgemeine Relativitätstheorie bildet die theoretische Grundlage für die Annahme mathematischer Weltmodelle unter Beachtung relativistischer Effekte. Es sind idealisierte Vorstellungen über die geometrische Struktur der Welt als Ganzes. Ausgangspunkt bilden bekannte physikalische Grundgesetze und gültige Erfahrungswerte astronomischer Beobachtungen, besonders auf ,extragalaktischem Gebiet. Weltmodelle sind eine gedankliche An-[94:]näherung an die objektive Realität, d. h., es sind Denkmodelle, die nicht unbedingt ein naturgetreues Abbild der Wirklichkeit enthalten. Deshalb ist ein Vergleich der erarbeiteten Modelle mit der Wirklichkeit unbedingt erforderlich. Hier ergeben sich in der Kosmologie komplizierte erkenntnistheoretische Probleme. Sie hat es mit großen räumlichen und zeitlichen Dimensionen zu tun. Je entfernter ein Objekt ist, um so schwieriger ist die Beobachtung, desto unsicherer sind auch die Resultate. Diese Grenzen der Erkenntnis sind jedoch relativ, historisch bedingt, vor allem von den technischen Möglichkeiten abhängig. Unbedingt ist das ständige Fortschreiten des Wahrheitsgehaltes unserer Erkenntnis. Deshalb ist die moderne Kosmologie kein Spekulationsobjekt, sondern eine Disziplin mit theoretisch-sachlichen Überlegungen sowie empirischen Untersuchungen mit einer streng wissenschaftlichen Fragestellung.

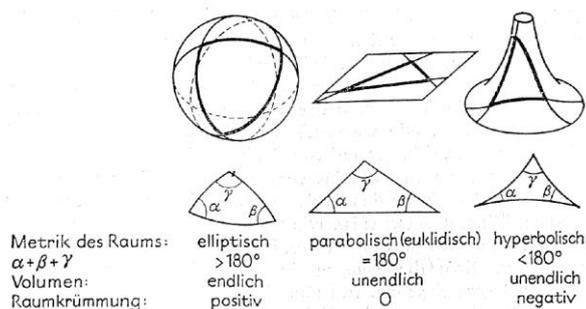
Die von Einstein vorausgesagten Effekte seiner Theorie hat die Astronomie in der Zwischenzeit experimentell nachgewiesen. So konnte die Radarastronomie beim Planetoiden Ikarus die Perihelbewegung mit der gleichen Genauigkeit feststellen, wie sie beim Planeten Merkur erkannt wurde, und damit die Einsteinsche Formel verifizieren. Die Messung von Phasenverschiebungen der Signale, welche Raumsonden aussandten, bestätigte exakt die von Einstein angenommene Lichtablenkung durch das Gravitationsfeld der Sonne. Eine Messung der Laufzeiten der von den Planeten Merkur und Venus reflektierten Radarsignale erbrachte Beweise für den Wahrheitsgehalt der Einsteinschen Aussage über die Verlangsamung der Lichtgeschwindigkeit durch das Gravitationsfeld der Sonne. Die Einsteinsche Formel für die Rotverschiebung im Gravitationsfeld der Erde wurde durch den Mößbauer-Versuch bestätigt. Aus den genannten Sachverhalten ergibt sich, daß die Einsteinsche Relativitätstheorie das wissenschaftliche Fundament für die gesamte weitere kosmologische Forschung ist.⁸

Die allgemeine Relativitätstheorie bildet mit Einbeziehung anderer naturwissenschaftlicher Erkenntnisse die theoretische Grundlage für den Entwurf mathematischer Modelle über die geometrische Struktur des Universums als Ganzes. Sie gibt aber keine Aussage über die Endlichkeit bzw. Unendlichkeit des Weltalls. Von ihrem Standpunkt sind unter Einbeziehung der Gravitationsgleichungen sowohl Modellvorstellungen eines endlichen als auch eines unendlichen Raumes möglich. Folglich kann in Abhängigkeit von der Modellvorstellung die Frage nach der Geometrie des [95:] Universums auf verschiedene Art und Weise beantwortet werden. Die Begründung der nichteuklidischen Geometrie durch C. F. Gauß, N. J. Lobatschewskij, B. Riemann u. a. läßt verschiedene Dimensionen des gekrümmten Raumes zu. Es ist möglich, daß der Raum positiv gekrümmt, das heißt endlich, aber

⁷ Vgl. Hörz, H.: Physik und Weltanschauung. Leipzig/Jena/Berlin 1968, S. 21.

⁸ Vgl. Treder, H.-J.: Probleme der Gravitations- und Relativitätstheorie in der modernen Kosmologie. In: Wissenschaftliche Zeitschrift – Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt 14 (1972), Heft 3.

unbegrenzt ist. Er kann aber auch die mittlere Krümmung Null bzw. eine negative Krümmung besitzen. Dann wäre er unendlich und unbegrenzt.



Zweidimensionale Veranschaulichung ebener und gekrümmter Räume

Einstein, der sich selbst mit kosmologischen Problemen beschäftigt hat, gelangte zu der Erkenntnis, daß die Annahme der Physik, die Geometrie des Raumes sei euklidisch, nur für kleine Bereiche, aber nicht für das Weltall als Ganzes gilt. Als Analogon führte er die Krümmung der Erdkugel an, die erst in größeren Bereichen wahrnehmbar ist. Unter der Voraussetzung des kosmologischen Postulats (auch „Weltpostulat“ genannt), nach dem das Weltall homogen und isotrop ist, und unter der Annahme, daß sich die Massen im vorhandenen Ruhezustand befinden und die Dichten etwa konstant bleiben, kam Einstein zu dem Schluß, daß das Weltall ein sphärischer, d. h. gekrümmter nichteuklidischer Raum sein muß. Ein solcher Raum besitzt ein endliches Volumen, die gesamte Masse der in ihm verteilten Erscheinungsformen ist endlich. Trotz seiner Endlichkeit ist der Raum jedoch unbegrenzt. Die Struktur eines solchen Raumes ist für uns kaum vorstellbar, weil sie nicht mehr anschaulich ist. Diese Tatsache ist jedoch kein Argument gegen das Vorhandensein realer sphärischer Räume. Es gibt [96:] viele Dinge, die anschaulich nicht vorstellbar sind, die aber exakt und logisch erklärt werden können. Auch die Physik der Elementarteilchen ist unanschaulich. Jedoch wird der Wahrheitsgehalt der Elementarphysik nicht in Frage gestellt. Lenin äußerte sich dazu wie folgt: „Die Abstraktion der Materie, des Naturgesetzes ..., mit einem Wort, alle wissenschaftlichen Abstraktionen spiegeln die Natur tiefer, richtiger und vollständiger wider!“⁹

Die Vorstellungen Einsteins vom endlichen Universum bedeuten keine Rückkehr zu den Ansichten des Aristoteles, dessen Kosmos endlich und begrenzt ist. Die Kosmologie Einsteins verzichtet auf die Unendlichkeit des Raumes, indem sie ihm eine Krümmung zuschreibt. Diese Überlegungen Einsteins schließen nicht das Postulat der Begrenztheit ein. Ein räumlich begrenzter Kosmos würde sofort die Frage nach der Existenz von immateriellen Kräften außerhalb dieser Grenzen aufwerfen.

Aus der physikalischen Annahme von der räumlichen Endlichkeit des Weltalls ergeben sich interessante theoretische Schlüsse, die gegenwärtig durch die Beobachtung geprüft werden. Ein endliches Weltall besitzt einen bestimmten Radius. Folglich hätte im Kosmos jede Position ihren Antipoden. Wäre der Radius des Universums so beschaffen, daß wir über den Antipol hinausblicken können, so müßte man extrem entfernte kosmische Objekte im Prinzip zweimal sehen können, und zwar in genau entgegengesetzter Richtung. H. Solheim will in einigen Quasaren und Radioquellen solche Objekte identifiziert haben.¹⁰ Die Forschungsarbeit auf diesem Gebiet steht in den Anfängen. Sie ist ein Beitrag zur Überprüfung von Weltmodellen in der Praxis.

Gegen das von Einstein ursprünglich angenommene statische, also zeitlich unveränderliche Weltmodell erhoben theoretische Physiker und auch Astronomen begründete Einwände. Nach ihrer Auffassung läßt die allgemeine Relativitätstheorie kein statisches, sondern nur ein sich zeitlich entwickelndes Weltall zu. Infolge großräumiger dynamischer Bewegung des Kosmos ändert sich sein Radius in der Zeit. Diese Erkenntnisse gehen auf den sowjetischen Mathematiker A. A. Friedmann (1922), auf A. S. Eddington u. a. zurück. Nach diesen Vorstellungen steht ein statisch gekrümmtes Weltall im Widerspruch zu den Grundsätzen der Physik. Es gäbe keine Entwicklung, das Weltall wäre geschichtslos.

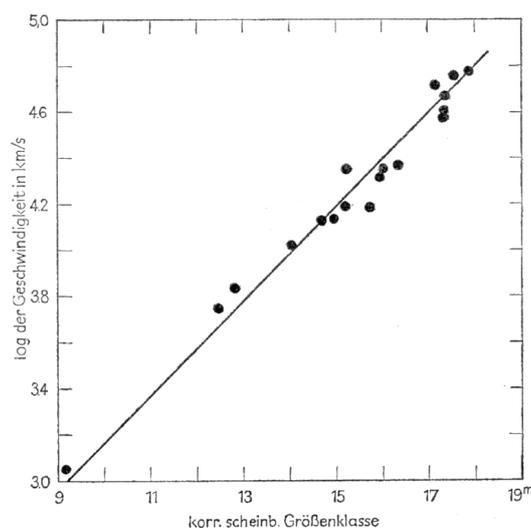
⁹ Lenin, W. I.: a. a. O., S. 160.

¹⁰ Vgl. Solheim, H.: „Nature“, Vol. 217, S. 41.

Große Räume können jedoch nicht im Zustand der Ruhe, sondern höchstens im labilen Gleichgewichtszustand verharren. Mit anderen Worten, die Größe, d. h. der Radius des Weltalls, ist zeitabhängig. Der dyna-[97:]mische Charakter des Universums läßt die Möglichkeit einer großräumigen Expansion und Kontraktion zu. Friedmann sieht für ein dynamisches Weltall folgende Bewegungsmöglichkeiten: Eine anfängliche Expansion kehrt nach endlicher Zeit eine Kontraktion um. Die anfängliche Expansion könnte auch allmählich langsamer werden, wobei nach unendlicher Zeit ein stabiler Zustand erreicht wird. Jedoch könnte das Weltall auch aus unendlicher Vergangenheit bis auf einen Minimalwert kontrahieren, um dann wieder zu expandieren. Es sind also kontinuierlich expandierende und auch periodisch oszillierende Welten möglich (s. Abb. S. 104). Aus diesen theoretischen Überlegungen ergaben sich Konsequenzen für die beobachtende Kosmologie. Es galt den Nachweis zu erbringen, ob der Kosmos eine großräumige Bewegung zeigt oder ob er sich in einem stationären Zustand befindet.

Zur Geschichte des Kosmos

Die optisch sichtbare Strahlung, das Licht, das von den kosmischen Objekten zu uns gelangt, ist eine Erscheinungsform der Materie, die unter gleichen Bedingungen überall gleich ist. Jedoch entdeckte C. Wirtz (1923) in den Spektren ferner Galaxien eine Verschiebung zum roten Ende der Frequenzkala. Diese Rotverschiebung, die von Hubble (1929) bestätigt wurde, tritt dann ein, wenn sich die Objekte vom Beobachtungsort fortbewegen. Der Betrag der Rotverschiebung ist von der Entfernung der Galaxien abhängig. Die Rotverschiebung ist eindeutig aus der Radialgeschwindigkeit dieser Objekte erklärbar.¹¹ Auf Grund dieser Tatsache ist die Annahme begründet, daß sich sämtliche Galaxien gleichmäßig voneinander entfernen. Der gesamte überschaubare Raum, die Metagalaxis, expandiert. Mit zunehmender Entfernung wächst die Geschwindigkeit der Objekte, die als Flucht- oder Radialgeschwindigkeit bezeichnet wird (s. Abb. S. 98). Die entferntesten optisch noch meßbaren Objekte weisen Radialgeschwindigkeiten von 140.000 km/s auf. Wenn im expandierenden Weltall die Lichtgeschwindigkeit die maximale Geschwindigkeit ist, dann kann das Universum höchstens dreimal so groß sein wie die Entfernung der gegenwärtig noch meßbaren optischen Objekte. Seine Ausdehnung wäre 15 Milliarden Lichtjahre. Wenn jedoch die Lichtgeschwindigkeit keine absolute Grenzgeschwindigkeit ist, so muß bei einem Expansionskosmos, wo sich mit zunehmender Entfernung der [98:] Objekte ihre Radialgeschwindigkeit erhöht, in einer bestimmten Distanz jener Punkt erreicht werden, wo die relative Geschwindigkeit der Galaxien größer ist als die Lichtgeschwindigkeit. Folglich könnte das Licht dieser Objekte einen irdischen Beobachter niemals erreichen, weil sich diese Galaxien schneller von der Erde entfernen, als sich das Licht der Erde nähern kann. Jene Objekte liegen also immer unter dem sogenannten „Welthorizont“, ihre Lichtquelle ist für einen Erdbeobachter im Prinzip unsichtbar.¹²



Zusammenhang zwischen Entfernung und Radialgeschwindigkeit bei Spiralnebeln

¹¹ Vgl. Treder, H.-J.: Relativität im Kosmos. Berlin/Oxford/Braunschweig 1968, S. 64.

¹² Vgl. Treder, H.-J.: Kosmologie und kosmologische Paradoxa. Archenhold-Sternwarte Berlin-Treptow, Vorträge und Schriften Nr. 43 (1972), S. 22.

Die entdeckten Quasare weisen in ihren Spektren enorme Rotverschiebungen auf. Wenn diese Rotverschiebung mit der Radialgeschwindigkeit zusammenhängt, dann hätten diese Objekte eine [99:] Fluchtgeschwindigkeit, die etwa 90 Prozent der Lichtgeschwindigkeit entspricht. So wurde 1971 im Sternbild Fuhrmann eine starke Radioquelle, der Quasar OH 471, entdeckt. Aus der Analyse der Rotverschiebung errechnete man seine Fluchtgeschwindigkeit mit 270.000 km/s. Demzufolge müßte das Objekt 16,7 Milliarden Lichtjahre von der Erde entfernt sein. Jedoch ist es fraglich, ob das Weltall in seiner Gesamtheit expandiert; ob Naturgesetze räumlich und zeitlich uneingeschränkt extrapoliert werden können und ob die Expansion konstant ist, sie beschleunigt oder gebremst wird. Bei konstanter Expansion wäre das Universum morgen größer als heute und war gestern kleiner als heute.

Das Evolutionsmodell des Universums, das eine Expansion voraussetzt, steht heute im Vordergrund der kosmologischen Diskussion. Es wirft gleichzeitig die Frage nach dem Urzustand des Kosmos auf.

Die Größe, die die Rotverschiebung mit der Entfernung einer Galaxis verbindet, heißt Hubble-Konstante. Sie wurde mehrfach korrigiert. Nimmt man die Hubble-Konstante als echte Konstante, also unveränderlich seit dem zeitlichen Anfang des Kosmos, so läßt sich die Zeit errechnen, die seit dem Beginn der beobachtbaren Expansion verflossen ist. Man nennt diese Zeitspanne das „Weltalter“. Darunter verstehen wir keinesfalls, daß die Materie des Kosmos zu einem bestimmten Zeitpunkt aus dem Nichts geschaffen wurde, sondern es ist die Zeit, die seit dem Beginn der Expansion verflossen ist, als das Weltall begann, seinem gegenwärtigen Zustand ähnlich zu sein.

Nach dem bis 1972 gültigen Wert der Hubble-Konstante errechnete man das Weltalter mit 10 bis 13 Milliarden Jahren. Neuere Berechnungen ergaben ein Weltalter von 18 Milliarden Jahren. Jedoch vertreten zahlreiche Astrophysiker die Auffassung, daß sich die Expansion seit ihrem Beginn verlangsamt hat. Sicherlich ist das wahre Weltalter geringer.

Gamow vertritt die Ansicht, daß die Expansion des Weltalls explosionsartig begann. Er vergleicht den Zeitpunkt des Beginns mit einem Urknall, auch „big bang“ genannt. Der Beginn der Expansion wird auch als die Zeit der kosmischen Singularität bezeichnet. Dieser Terminus ist jedoch problematisch, weil damit zahlreiche ungelöste Fragen verbunden sind, die zu Fehldeutungen führen. Aus der seit langer Zeit anhaltenden Expansion ergibt sich der Schluß, daß die physikalischen Bedingungen im Kosmos vor etwa 10 Milliarden Jahren andere waren als heute. Nach Berechnungen war damals die Dichte der kosmischen Substanz 100 Millionen mal größer, die Temperatur war höher als 10.000 K. Unter diesen Bedingungen existierte die Materie in Form ionisierten Gases als Wasserstoff und Strahlung. Dieser extreme Zustand, der sich mit bekannten Naturgesetzen nicht beschreiben läßt, hielt wahrscheinlich nur kurze Zeit an. Der Beginn der Expansion führte zum raschen Absinken der Dichte und Temperaturen auf die heutigen Werte. Nachdem die Temperatur unter 3000 K absank, entstanden günstige Bedingungen für die Kondensation der gegenwärtigen Erscheinungsformen des Weltalls. Wenn dieser Prozeß so ablief, dann muß sich die anfänglich intensive Strahlung mit sehr hoher Temperatur verdünnt und abgekühlt haben und das gesamte Weltall mit gleicher Intensität erfüllen. Diese Annahme wurde 1965 mit der Entdeckung der Drei-Grad-Kelvin-Strahlung, einer bisher nicht bekannten Erscheinungsform der Materie, experimentell bestätigt. Die Strahlung, die aus allen Himmelsrichtungen mit gleicher Intensität kommt, also isotrop ist, wird als kosmische Hintergrundstrahlung bezeichnet. Berechnungen ergaben, daß beim angenommenen Weltalter diese aus der Anfangszeit der gegenwärtigen Phase des Kosmos stammende Strahlung sich bis heute zur isotropen Strahlung von 3-K verdünnt hat. Sie bildet eine Reliktstrahlung aus der frühen Entwicklungsphase des Weltalls. Diese Entdeckung ist gleichzeitig ein weiterer Beweis für das von Friedmann angenommene dynamische Weltmodell. Jedoch sind im Zusammenhang mit der Deutung des Ursprungs der Drei-Grad-Kelvin-Strahlung noch eine Reihe ungelöster Probleme zu klären. Nach neueren Messungen hat es wahrscheinlich im Urzustand des gegenwärtigen Weltalls mehrere qualitative Sprünge gegeben, in der Frequenzen der kosmischen Hintergrundstrahlung freigesetzt wurden. Sollten sich diese Vermutungen bestätigen, müßten die Auffassungen vom Urzustand unseres Universums modifiziert werden.

Aus der angenommenen Singularität des Weltalls können Fragen abgeleitet werden, die sowohl den Naturwissenschaftler als auch den Philosophen interessieren.

Die idealistische Philosophie deutet den Anfang der gegenwärtigen Expansion des Weltalls, den Zeitpunkt der Singularität bzw. des Urknalls, als Beginn der kosmologischen Entwicklung in der Zeit, die durch einen Anfang und folglich auch durch ein Ende begrenzt ist. Für die Singularität, den sogenannten Weltanfang, macht die idealistische Philosophie einen außerweltlichen Eingriff [101:] zuständig. Der weitere Verlauf der Entwicklung unterliegt dem Wirken von Naturgesetzen, die durch die Schöpfung mitgegeben wurden. Nach dieser Auffassung zeichnet für den Anfang der Welt ein Schöpfer verantwortlich, nach der Schöpfung ist die Wissenschaft zuständig. Unter dem Urknall versteht man die Entstehung der Materie aus dem Nichts als Produkt der Schöpfung. Nach dieser Auffassung bleibt es der Offenbarung und dem Glauben überlassen, zu begründen, wo die Wissenschaft keinen zwingenden Schluß zuläßt. Der philosophische Meinungsstreit zu diesem Problem gipfelt in der Frage: Ist die Natur erschaffen oder ewig in der Zeit?

Die materialistische Konzeption geht davon aus, daß die Materie ewig ist, ihre Erscheinungsformen sich ändern und Naturgesetze immer existieren; ihre Wirkung hängt jedoch von den objektiven Bedingungen ab. Nach der idealistischen Konzeption gab es eine Zeit, wo weder die Materie noch Naturgesetze vorhanden waren. So kommt H. Sautter zu dem Schluß, daß uns der Einblick in den Schöpfungsakt der Weltentstehung verwehrt ist.¹³

Es entspricht der Logik, daß Fragen nach dem frühesten Stadium des Weltalls nicht durch Glaubenssätze und Dogmen entschieden werden, sondern nur durch die naturwissenschaftliche Forschung. Eine Möglichkeit zur Lösung dieses Problems sehen wir in der Entwicklung von Weltmodellen, die mit den tatsächlichen Fakten übereinstimmen. Modellvorstellungen über vermutliche Abbilder objektiver Prozesse bedürfen der empirischen Überprüfung, um daraus Elemente für die Theorie zu gewinnen, aus der dann wiederum umfassendere Theorien entstehen. Ständige Fortschritte in den Methoden und der Beobachtungstechnik lassen uns bisher nicht erfaßbare Raumbereiche und unbekannte strukturelle Besonderheiten der Materie zugänglich werden. Natürlich ist es nicht möglich, den Zustand der Materie und ihre Erscheinungsformen während der Zeit der Singularität und vorher mit den uns bekannten Naturgesetzen zu erklären, da für uns nicht wiederholbare extreme Bedingungen herrschten. Gedankenmodelle über die Zeit der Singularität und darüber hinaus sind deshalb physikalisch und mathematisch sinnlos. Als daher E. T. Whittaker den sogenannten Urknall als Schöpfungsakt interpretierte und Pius XI. in einer Ansprache an die Mitglieder der päpstlichen Akademie eine Interpretation im Sinne der Genesis nahelegte, stießen diese Auffassungen auf den energischen Widerstand der Wissenschaft. O. Heckmann erklärte dazu: „Das einzig erlaubte Mittel der Kosmologie [102:] wie jeder Wissenschaft ist es, beobachtete Tatsachen zu deuten und Naturgesetze zu interpretieren.“¹⁴ Die Wissenschaft baut ihre Erkenntnisse auf objektiven Tatsachen auf und schließt Wunder aus. „Man kann den Gläubigen nicht verbieten“, meint Heckmann, „den Urknall mit dem Augenblick der Welterschöpfung aus dem Nichts gleichzusetzen, aber sie können für die Identifizierung von der Astronomie keine Hilfe erhalten.“¹⁵

Die materialistische Konzeption gibt der kosmologischen Forschungsarbeit die einzige und richtige wissenschaftliche Orientierung. Quantitative Veränderungen in den Erscheinungsformen der Materie führten zum Zeitpunkt der Singularität zu einer neuen Qualität, zu den gegenwärtigen Erscheinungen des überschaubaren Kosmos. Die Singularität kann mit einem Qualitätssprung in der Geschichte des Weltalls verglichen werden, mit dem Ende einer Entwicklungsphase, die diesem Zeitpunkt vorausging, und mit dem Beginn einer neuen Phase in der Evolution des Kosmos. Aufgabe der Wissenschaft besteht darin, in das Wesen der Mechanismen einzudringen, die diesen Prozeß auslösten. Obwohl das Vorhaben kompliziert und langwierig ist, wird die Wissenschaft diese Fragen beantworten, denn es gibt keine natürliche Grenze für die Kraft des menschlichen Verstandes.

Zur Lösung des kosmologischen Problems beschäftigt sich der dafür zuständige Zweig der Wissenschaft nicht nur mit der Untersuchung großräumiger Bewegungsverhältnisse, sondern er studiert auch

¹³ Vgl. Sautter, H.: Astrophysik. Stuttgart 1972, S. 126.

¹⁴ Zit. nach Klohr, O. (Hrsg.): Moderne Naturwissenschaft und Atheismus. Berlin 1964, S. 100.

¹⁵ Zit. nach Klohr, O. (Hrsg.): a. a. O., S. 107.

die Materieverteilung im Weltall. Die Beobachtung der Verteilung kosmischer Erscheinungsformen wird durch die interstellare Absorption stark beeinträchtigt. Bleibt die Absorption unberücksichtigt, dann ergibt sich eine gleichmäßige Verteilung extragalaktischer Systeme nach allen Beobachtungsrichtungen. Bei Beobachtung kleinerer Raumbereiche sind die Erscheinungsformen ungleichmäßig verteilt, die Galaxien bilden Gruppen und Haufen. In größeren Raumbereichen fallen die kleinen Unregelmäßigkeiten weg. Die Größe der mittleren Materiedichte im Weltall beträgt etwa 10^{-28} bis 10^{-30} g/cm³. Jedoch ist der Wert noch nicht mit genügender Sicherheit bekannt.

Aus bisherigen Resultaten läßt sich folgern, daß die Materieverteilung wie die Bewegungsverhältnisse im beobachtbaren Teil des Kosmos im allgemeinen homogen sind. Wahrscheinlich verkörpert aber der Kosmos eine dialektische Einheit der Gegensätze von Homogenität und Inhomogenität in der Verteilung und Bewegung der Massen.¹⁶

[103:] Die wissenschaftliche Erfahrung setzt die Erhaltung der Materiedichte voraus. Wenn das Weltall jedoch nicht statischen, sondern dynamischen Charakter trägt, dann war bei einem expandierenden Universum die Materiedichte gestern größer als heute und ist morgen kleiner als heute. Um der Forderung der Wissenschaft nach der Erhaltung der Materiedichte gerecht zu werden, konstruierten H. Bondi, T. Gold und F. Hoyle Modellvorstellungen (Steady-State-Theorie), nach denen trotz Expansion die gleiche Materiedichte im Kosmos erhalten bleibt. Diese Überlegungen verlangen, daß die durch die Expansion hervorgegangene Verdünnung der Materie durch kontinuierliche Neuschöpfung ergänzt wird. Die Vertreter der „Steady-State-Theorie“ begründen ihre Annahme aus dem zwingenden Schluß, „daß das Universum weder ‚Anfang noch Ende‘ habe, aber die Materie werde ununterbrochen ‚erschaffen‘! und weil der Wasserstoff das Ausgangsmaterial für die Entstehung der Himmelskörper sei, so müsse eine ‚Schöpfung‘ von Materie in Gestalt von Wasserstoff erfolgen“.¹⁷

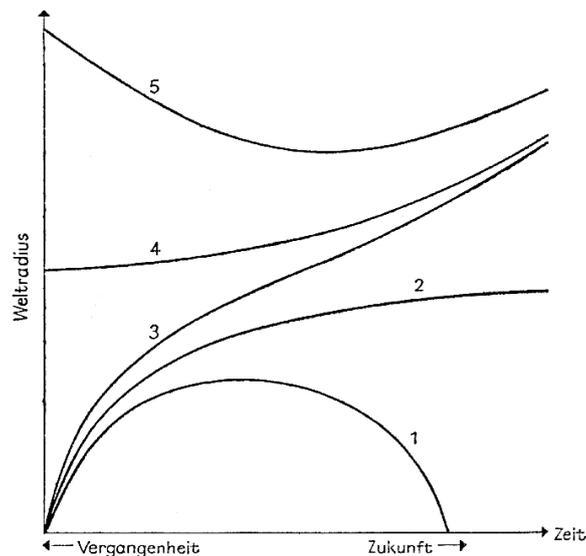
Unter der Neuschöpfung von Wasserstoff versteht man keinen außerweltlichen Eingriff, sondern einen materiellen Vorgang auf der Grundlage von Naturgesetzen. Nach hypothetischen Annahmen werden durch materielle Prozesse unter bestimmten Bedingungen spontan Neutronen und Protonen erzeugt. Infolge der geringen Neubildungsrate ist ein experimenteller Nachweis wahrscheinlich kaum möglich. Als lokale Quellen für neu entstehende Materieformen werden die Kerne der Galaxien, die Quasare und Supernovae angeführt. Die „Steady-State-Theorie“, die nach der Entdeckung der Drei-Grad-Kelvin-Strahlung sehr an Wahrscheinlichkeit verlor, ist ein Versuch, die statische Materieverteilung des Universums mit der Evolutionstheorie zu verbinden. Indem ihre Verfechter ausdrücklich die ewige Dauer der materiellen Welt erklären und die Neuentstehung von Materieformen auf natürliche Ursachen zurückführen, weisen sie spekulative Annahmen über eine Schaffung der Materie aus dem Nichts, wie sie z. B. P. von der Osten-Sacken u. a. vertreten, zurück.¹⁸ Die Schöpfung der Materie aus dem Nichts wäre ein göttliches Wunder und widerspricht jeglicher wissenschaftlichen Erkenntnis.

Die Kosmologie besitzt heute Kenntnisse über Entfernungen und Radialgeschwindigkeit kosmischer Objekte. Sie hat Angaben über die Masseverteilung im überschaubaren Teil des Weltalls. Aus vorliegenden Beobachtungstatsachen und bekannten physikalischen Gesetzen müssen wir ein Universum mit konstanter Krümmung [104:] annehmen, das homogen und isotrop ist. Jedoch ändert sich die Krümmung gesetzmäßig mit der Zeit. Demzufolge hat das Universum nicht statischen, sondern dynamischen Charakter. Die gegenwärtigen Modellvorstellungen zur Struktur des Kosmos lassen im Prinzip zwei Möglichkeiten zu. Entweder das Weltall hat eine positive Krümmung, dann ist der Raum geschlossen und endlich. Die Krümmung verändert sich mit der Zeit in einem periodischen Prozeß in Form einer Expansion und Kontraktion. Aus der Vorstellung eines pulsierenden Weltalls ließe sich der Schluß ziehen, daß in jeder Kontraktionsphase aus den Erscheinungsformen der vorhergehenden Expansionsperiode als Resultat qualitativer Veränderungen neue Erscheinungsformen der Materie entstehen.

¹⁶ Vgl. Kröber, G. (Hrsg.) : Philosophische Probleme der modernen Kosmologie. Berlin 1965, S. 111.

¹⁷ Hoyle, F.: The Universe. New York 1958, S. 82.

¹⁸ Vgl. Osten-Sacken, P. v. d.: Probleme der Neuentstehung von Materie. Physikalische Blätter, Mosbach 24 (1968).



Verschiedene theoretische Möglichkeiten für die Veränderung des Weltradius in der Zeit

[105:] Das Weltall kann auch eine negative Krümmung besitzen, oder seine mittlere Krümmung kann gleich Null sein. Ein solches Universum hätte einen offenen und unendlichen Raum. Sein Radius vergrößert sich mit der Zeit, d. h., infolge der Expansion vergrößern sich in einem zeitlich unbegrenzten Vorgang alle Entfernungen zwischen den kosmischen Objekten. Eine Entscheidung darüber, welche der beiden Lösungen richtig ist, kann gegenwärtig noch nicht getroffen werden, da die winzigen Differenzen zwischen den verschiedenen Krümmungsmöglichkeiten nur mit Hilfe der entferntesten Galaxien bestimmbar sind. Diese Objekte liegen jedoch hart an der Beobachtungsgrenze, die ermittelten Daten sind deshalb mit erheblichen Fehlern belastet, und die Deutung der Resultate ist nicht hypothesenfrei. Deshalb kann die Kosmologie die Frage nach einer endlichen oder unendlichen räumlichen Ausdehnung des Weltalls gegenwärtig nicht eindeutig beantworten. Es gibt noch keine Entscheidung für ein bestimmtes Weltmodell. Alle Annahmen, die von Extrapolationen ausgehen, wozu im gegenwärtigen Stadium der Kosmologie auch Weltmodelle gehören, tragen mehr oder weniger spekulative Züge.

Es muß aber betont werden, daß eine wissenschaftliche Beantwortung der Frage, ob das Weltall räumlich endlich oder unendlich ist, auf der Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie möglich ist. Die Einsteinschen Gleichungen, welche nichts über die Endlichkeit oder Unendlichkeit des Kosmos aussagen, fordern eine experimentelle Prüfung der aus der Theorie abgeleiteten hypothetischen Fakten sowie die Suche nach bisher unbekanntem Gesetzmäßigkeiten im Universum.¹⁹

Endlichkeit des Weltalls und philosophischer Unendlichkeitsbegriff

Die Diskussion über die Endlichkeit des Weltalls ist zwar eine Angelegenheit der Naturwissenschaften, hat aber auch philosophische Bedeutung, weil damit die Frage verbunden ist, ob die Vorstellung eines räumlich endlichen Weltalls nicht der materialistischen Auffassung von der Unendlichkeit der Materie widerspricht. Dabei wird nicht zwischen den Vorstellungen über die Struktur des Universums und den allgemeinen Problemen der Erkenntnistheorie, die sich mit den Beziehungen zwischen Mensch und Natur befaßt, unterschieden.

[106:] Zur Klärung dieses Problems wollen wir zunächst exakt zwischen dem naturwissenschaftlichen und philosophischen Begriffssystem unterscheiden. Naturwissenschaften und Philosophie verwenden teilweise gleiche Begriffe, die jedoch, bezogen auf die Inhalte, unterschiedliche Bedeutung haben. So versteht die Physik unter dem Begriff „Materie“ Ruhmasse, z. B. Elektronen und Protonen, Teilchen einschließlich ihrer Wellen. Unter „Antimaterie“ wird eine nach physikalischen Gesetzen mögliche Erscheinungsform der Materie verstanden, die ausschließlich aus Antiteilchen aufgebaut

¹⁹ Vgl. Treder, H.-J.: Relativität im Kosmos. Berlin/Oxford/Braunschweig 1968, S. 64.

ist. Der in der Astronomie gebräuchliche Begriff „interstellare Materie“ bezieht sich auf das Gas, den Staub und die Felder zwischen kosmischen Objekten. Die Philosophie versteht unter dem Begriff „Materie“ die objektive Realität, die unabhängig vom Bewußtsein des Menschen existiert und von ihm abgebildet wird.

Auch zum Begriff „Unendlichkeit“ der Materie gibt der dialektische Materialismus eine wissenschaftlich begründete Darstellung. Er meint darunter keinesfalls die Erfüllung der Forderung nach einem räumlich unendlichen Weltall. Bereits Engels entwarf zum philosophischen Problem der Unendlichkeit bedeutungsvolle Gedankengänge. Er gibt dem Unendlichkeitsbegriff umfassenden Charakter und deckt die Beziehungen zwischen Endlichkeit und Unendlichkeit auf. Danach ist in der objektiven Welt der materielle Zusammenhang nirgends durchbrochen. Es gibt nichts, was außerhalb der Materie existiert. Überall und unter jeder Bedingung wirken objektive Gesetze, nach denen sich die Materie in einem niemals abgeschlossenen Prozeß entwickelt und mannigfaltige Erscheinungsformen hervorbringt, die in Raum und Zeit existieren. Der erkenntnistheoretische Aspekt des Unendlichkeitsbegriffs zwingt zu dem Schluß, daß die Erkenntnis des Unendlichen äquivalent ist mit der Erforschung der Eigenschaften der gesamten materiellen Welt, die in ewiger Veränderung und im Übergang immer neuer Zustände beobachtet wird.²⁰ Die Wissenschaft kann deshalb in jeder Entwicklungsetappe auch die Welt nicht insgesamt erkennen, sondern sie erfaßt in einem niemals abgeschlossenen Prozeß jeweils nur die in unzählbarer Menge existierenden endlichen Erscheinungen, die entstehen und vergehen.

Die Bejahung der materialistischen These von der Unendlichkeit der Materie bedeutet für die Kosmologie in weitestem Sinne die Anerkennung der unerschöpflichen Mannigfaltigkeit kosmischer Erscheinungen und Vorgänge und damit verbundener Gesetzmäßigkeiten. Sie schließt die zeitliche Unendlichkeit des Weltalls, [107:] eine unendliche Aufeinanderfolge kosmischer Prozesse ein, die in ihrer Gesamtheit eine unendliche Dauer haben. Das Universum befindet sich in einer unendlichen Selbstentwicklung, die zu einer ständigen Veränderung seiner qualitativen Zustände führt, wozu auch die Existenz einer nicht überschaubaren Menge räumlicher Strukturen zählt. Die Unendlichkeit des Raumes besteht also in der unzähligen Gesamtheit der kosmischen Objekte.²¹

Aus dem philosophischen Unendlichkeitsbegriff läßt sich keine Aussage über eine bestimmte Struktur des Weltalls ableiten, weil die Geometrie des Universums ein kosmologisches Problem, das Problem einer Einzelwissenschaft ist und die Frage nach der Unendlichkeit der Materie zum Bereich der Philosophie gehört. Der Philosophie kommt es dabei nicht zu, wie das ihre Geschichte und auch die der Naturwissenschaften bestätigt, eine Entscheidung zu treffen, ob diese oder jene Modellvorstellung richtig ist. Sie vermag sich zwar dieser oder jener hypothetischen Auffassung anzuschließen und sich damit auf die Seite dieser oder jener Wissenschaftler zu stellen. Ein solches Vorgehen der Philosophie ersetzt jedoch nicht die Beobachtung und das Experiment sowie die damit zu erzielenden Daten. In naturwissenschaftlichen Angelegenheiten versagen dann philosophische Systeme, wenn sie die von den einzelnen Naturwissenschaften erbrachten Resultate nicht beachten und unabhängig davon durch eigene Hypothesen und durch das Festhalten an überholten Vorstellungen zur Entwicklung der Erkenntnis beitragen wollen.

Falls das Weltall infolge einer positiven Krümmung einen endlichen und geschlossenen Raum hat, ist sein materieller Charakter nirgends durchbrochen. Es gibt dann nichts, was außerhalb des Welt-raums existiert. In diesem Sinne widersprechen kosmologische Weltmodelle, die von einer endlichen Ausdehnung des Universums ausgehen, keinesfalls der philosophischen These von der Unendlichkeit der Welt.

Engels versteht unter dem räumlichen Aspekt des Unendlichkeitsbegriffs ein unendliches Fortschreiten im Raum, wobei wir nirgends eine Grenze finden. In diesem Sinne lassen sich endliche und unendliche Weltmodelle konstruieren. Folglich gibt es auch keinen Widerspruch zwischen Modellen

²⁰ Vgl. Wahsner, R.: Philosophische Betrachtungen über die räumliche Ausdehnung des Weltalls. In: *Astronomie in der Schule*, Berlin 4 (1967), Heft 2.

²¹ Vgl. Autorenkollektiv: *Unendlichkeit und Weltall*. Moskau 1965, S. 51.

des endlichen Weltalls und der materialistischen These von der Unendlichkeit der Materie. Im Gegenteil, der erkenntnistheoretische Aspekt dieser These zwingt dazu, bestimmte Modellvorstellungen nicht zu verabsolutieren, sondern, dem asymptotischen Erkenntnisprozeß folgend, [108:] nach Modellen zu suchen, die der Wirklichkeit adäquater sind.²² Lenin bemerkt dazu: „Vom Standpunkt des modernen Materialismus, d. h. vom Marxismus, sind die Grenzen der Annäherung an die objektive, absolute Wahrheit geschichtlich bedingt, unbedingt aber ist die Existenz dieser Wahrheit selbst, unbedingt ist, daß wir uns ihr nähern.“²³

Mit Hilfe von Weltmodellen gelangt die Wissenschaft zu immer genaueren Erkenntnissen über die Struktur des Universums. Die theoretische Diskussion zu diesem Problem ist nicht abgeschlossen, und die empirische Forschung steht erst am Anfang. Von ihr sind in den nächsten Jahren sicher beachtliche Fortschritte zu erwarten. Hauptanliegen der Kosmologie bleibt, ein der Wirklichkeit angemessenes Modell über den Entwicklungskosmos zu finden. Dazu sind weitere Untersuchungen zur Erklärung der kosmischen Expansion, die physikalische Begründung des Kollapses superdichter Sterne sowie die Einbeziehung der Resultate des Quanteneffekts in die Theorie des Gravitationsfeldes notwendig. Außerdem muß die gravitative Wirkung der Massen bei Massekonzentrationen eingehender studiert werden. Die Resultate sind sicher für die relativistische Gravitationstheorie bedeutungsvoll.²⁴

Die Kosmologie bestätigt in vielfältiger Weise den Gedanken der marxistisch-leninistischen Philosophie, daß Raum und Zeit Existenzformen der Materie sind. Sie stellen reale Bedingungen für das Vorhandensein von Naturgesetzen dar. Das Wirken elementarer physikalischer Gesetze auf verschiedenen Ebenen weist die Entwicklung im Kosmos als Ganzes als einen dialektischen Prozeß aus. Für die marxistisch-leninistische Philosophie ergibt sich die Aufgabe, eine entsprechende Entwicklungstheorie als spezifischen Ausdruck der materiellen Einheit der Welt und der Dialektik auszuarbeiten.²⁵ Gleichzeitig bildet der dialektische Materialismus besonders mit seinen Kategorien von der materiellen Einheit der Welt, der Unerschöpflichkeit der Materie und der Welt als Entwicklungsprozeß für die kosmologische Forschung eine unerläßliche weltanschauliche, erkenntnistheoretische und methodologische Grundlage, um ständig tiefer in das Wesen der Erscheinungen einzudringen.

²² Vgl. Ley, H.: Verhältnis von Philosophie und Astronomie. (Unveröffentlichtes Manuskript, 1973)

²³ Lenin, W. I.: Materialismus und Empiriekritizismus. In: Werke, Bd. 14, Berlin 1973, S. 130.

²⁴ Vgl. Treder, H.-J.: a. a. O., S. 59 ff.

²⁵ Kasjutinskij, W. W.: Die moderne Astronomie und die Dialektik. In: Erde und Weltall, Moskau 1970, Heft 3.

[109:]

Namen- und Sachregister

Namenverzeichnis

Adams, I. C. 31
Alfven, H. 67
Ambarzumjan, V. A. 46, 48, 80
Aristarch von Samos 20

Baade, W. 77
Bessel, F. W. 30, 41
Bondi, H. 103
Brahe, T. 9, 26, 30
Bruno, G. 25, 88, 89
Bunsen, R. 35

Chamberlin, I. C. 66
Cleve 36
Copernicus, N. 9, 10, 23, 24, 32, 34, 88, 89

Däniken, E. v. 74
Demokrit 86, 87
Descartes, R. 41
Dörrie, H. 65

Eddington, A. S. 96
Einstein, A. 91, 92, 93, 94, 95, 96
Engels, F. 7, 14, 18, 26, 29, 30, 31, 32, 34, 69, 71, 74,
87, 106, 107

Fricker 75
Friedemann, Ch. 66
Friedmann, A. 96, 97, 100

Galilei, G. 8, 27, 28, 30, 32
Galle, J. G. 31
Gamow, G. 99
Gauß, G. F. 95
Ginzburg, V. J. 37
Gold, T. 103
Gurewitsch, L. E. 67

Heckmann, O. 101, 102
Helmholtz, H. v. 50
Herschel, F. W. 34, 35,
Hertzprung, E. 52
Hipparch, 21
Hoyle, F. 45, 103
Hubble, E. P. 97

Jeans, J. 45, 66
Jeffrey, H. 66

Kant, I. 32, 33, 35, 45, 66
Kelvin, L. O. 50
Kepler, J. 21, 26, 27, 28, 30, 32
Kirchhoff, G. R. 35
Kroton, Ph. v. 20

Kuiper, G. P. 67
Kukartkin, B. W. 77

Lambert, J. H. 45
Landau, L. P. 61
Laplace, P. 45
Lebedinski, A. J. 67
Lenin, W. I. 6, 63, 96, 108
Leverrier, U. I. 31
Lind 77
Lobatschewskij, N. I. 95

Mädler, 34
Markajan 77
Marx, K. 18, 74
Mayer, J. R. 50
Minkowski 92
Monod, J. 72
Moulton, F. R. 66

Newton, I. 28, 29, 30, 31, 32, 89, 90, 92

Olbers, W. 91
Oppenheimer, J. R. 62
Osten-Sacken, P. v. d. 103

Pauli, W. 49
Ptolemäus, C. 21, 22

Ramsey 36
Reynold 75
Riemann, B. 95
Russell, H. N. 51, 52

Sandage, A. 77
Sagan, 75
Sautter, H. 101
Schkloowski, I. S. 75
Schmidt, O. J. 67
Schmutzer, E. 80
Seeliger, H. v. 91
Seyfert, K. 46, 77
Seldowitsch, J. B. 48
Shapley, H. 72
Solheim, H. 96

Thomas von Aquino 22
Treder, H.-J. 40, 68

Vogt, H. 51

Weizsäcker, C. F. v. 45, 51, 65
Whittaker, E. T. 101
Wirtz, C. 97

Sachwörterverzeichnis

- Astrologie 19
- Astronomie, Methoden 13
- Außerirdische Zivilisationen 74, 75

- Beobachtung, astronomische 8, 9, 10, 38, 39

- Doppelsterne 57, 58
- Drei-Grad-Kelvin-Strahlung 100, 103

- Einheit der Wissenschaft 16
- Energieerhaltungssatz 43, 44
- Erdmond
 - Erforschung 70
 - Entstehung 70, 71
 - Gestein 70
- Expansionskosmos 96, 97
- Experiment 9, 11

- Gravitation
 - Gesetz 28
 - Paradoxon 91
 - Wirkung 92
- Galaxien, Aktivität der Kerne 79, 80
- Geozentrismus 21
- Gesetze im Kosmos 47
- Gezeitenhypothese 66

- Heliozentrismus
 - spekulative Vorstellungen 20
 - Weltauffassung 23, 24
- Hertzprung-Russell-Diagramm 52, 53, 54, 56
- Hubble-Konstante 99

- Katastrophenhypothese 66
- Kosmogonie
 - Gegenstand 42
 - Methoden 42, 43
- Kosmologie
 - Gegenstand 84
 - Paradoxa 91

- Leben im Weltall 71, 72, 73

- Materiedichte im Weltall 102
- Moleküle, organische 73
- Naturgesetzlichkeit 28, 30
- Neptun, Entdeckung 31
- Neutrinos 49
- Neutronensterne 59, 61, 62
- Novae 57

- Quasare 81, 82

- Planeten
 - Entstehung 64, 65, 66, 67, 68
 - Forschungsmethoden 69
 - Kosmogonie 42
- Pulsare 61, 62

- Radialgeschwindigkeit 97
- Radioastronomie 37, 77
- Radiogalaxien 77, 78, 79
- Raumfahrt 11, 38, 39
- Raumstruktur 95
- Raum-Zeit-Beziehung 104, 105
- Relativitätstheorie, experimentelle Bestätigung 94
- Rotverschiebung 97

- Spektralanalyse 35, 36
- Steady-State-Theorie 103
- Sternentstehung 45, 46
- Sternentwicklung 48, 49
- Singularität des Kosmos 99, 100, 102
- Supernovae 58, 59, 60
- Schwarze Löcher 59, 62

- Turbulenzhypothese 68

- Unendlichkeit der Materie 106, 107
- Urknall 101

- Weltalter 99
- Weltmodelle 85, 86, 93, 94
- Weißer Zwerge 59, 60