

auch noch vergessen, daß nach den Worten der Heiligen Schrift dieser Schafstall Christus und nicht Menschen gehört.

Das beste Saat- und Erntefeld für den das wirtschaftlich schwer ringende Abendland bedrohenden Bolschewismus ist das geistige Massendasein der Menschen. Mag man in andern Lebensbereichen dieses Massendasein, befangen in falschen Gesellschaftsideologien, noch fördern. Die Kirche soll durch das Schicksal des orthodoxen Schismas gewarnt sein und ihr Volk im echten Pluralismus eines lebendigen Verbändewesens zur Mitverantwortung wecken.

Die Physik der Sterne

Von D. Wattenberg.

Die Erforschung der physischen Eigenschaften der Sterne ist eine Errungenschaft der modernen Physik und knüpft sich unmittelbar an den Siegeszug der Spektralanalyse und der Atomtheorie. Das Prinzip der Spektralanalyse ist bekanntlich das, Strahlungen beliebiger Lichtquellen im Spektroskop mittels eines Prismas in das Spektrum zu zerlegen und daran die physische Struktur der leuchtenden Substanz zu studieren. Bestimmend für das Aussehen des Spektrums ist in erster Linie der Aggregatzustand der Lichtquelle. Stellt man z. B. den Spektralapparat vor glühendes Eisen, so erhält man ein kontinuierliches Spektrum, in dem die Farben des Regenbogens kontrastlos ineinander übergehen. Sobald sich aber das glühende Eisen bei 2000 Grad in Eisendampf verwandelt, gibt dieses glühende Gas ein Emissionsspektrum, d. h. dem Kontinuum überlagern sich etwa 5000 helle Spektrallinien, während von der Klaviatur des eigentlichen kontinuierlichen Farbbandes nur einige Akkorde oder Farbstufen sichtbar bleiben. Ähnlich so verhält sich jedes Element. Nun gehört das Eisen zu den linienreichsten Stoffen, ohne dadurch aber der Analyse große Schwierigkeiten zu bereiten; mit Hilfe der verfeinerten spektroskopischen Methoden gelingt es selbst bei den verwickeltsten Gemischen von Substanzen, die Linien der einzelnen Elemente zu entwirren.

Verfolgen wir das Beispiel des Eisendampfes weiter und stellen hinter der glühenden Dampfwolke des Eisens eine kontinuierliche Lichtquelle, etwa einen Wolframdraht von 2500 Grad, auf, so tritt wiederum eine spektrale Veränderung ein. Über das helle Linienspektrum legt sich wieder ein kontinuierlicher, d. h. farbiger Untergrund, während sich die hellen Linien plötzlich in dunkle Linien oder Absorptionen umkehren und ein Absorptionsspektrum erzeugen. Diese Erscheinung beruht auf Resonanzvorgängen. Der Eisendampf absorbiert oder verschluckt aus dem Lichte der Wolframlampe alle die Strahlen, die von ihm selbst ausgesandt werden. Solche Bedingungen sind immer dann gegeben, wenn sich der kontinuierlichen Lichtquelle eine kühlere Gaswolke vorlagert. Auf diese Weise gelingt es dem Physiker, aus den Erscheinungen des Spektrums auf den Aggregatzustand der Lichtquelle und die Substanz zu schließen. Außerdem bieten aber die modernen Methoden noch zu viel komplizierteren und geistvolleren Untersuchungen die Möglichkeit.

Es leuchtet ein, daß nur durch den Ausbau der Spektralanalyse ein großer Aufschwung der Astrophysik gelingen konnte, denn die Zerlegung des oft äußerst schwachen Sternlichtes erfordert wesentlich feinere Apparatur als sie im Laboratorium verwandt wird. Die Sterne bleiben selbst in den mächtigsten Instrumenten unserer Observatorien punktförmig. Während die gewaltigen Prismen am Turmteleskop des Instituts für Sonnenphysik an der Potsdamer Sternwarte ein Sonnenspektrum von 13 Meter Länge erzeugen, in dem etwa 20000 Spektral- (oder Fraunhofersche) Linien auftreten, bleiben photographische Aufnahmen von Sternspektren oft von der Winzigkeit, daß sie nur wenige Millimeter lang sind.

Sterne und Sonne zeigen Absorptionsspektren. Man ist sich heute darüber klar, daß die Sterne durchweg gasige Glutbälle darstellen. Ein Lichtstrahl, der aus sehr tiefen Schichten der Gaskugel in zentraler Richtung austritt, müßte demnach in unsern Spektroskopen ein Emissionsspektrum abgeben. Das ist aber nicht der Fall, sondern wir erhalten fast ausnahmslos ein Absorptionsspektrum. Diese Erscheinung beruht ohne Zweifel darauf, daß sich die äußern Schichten der Sterne oder gar der Sonne in unregelmäßigen Zuständen befinden, daß sich mit andern Worten der Glutball nach außen hin verflüchtigt und von einer kühleren Atmosphäre umgeben wird. Diese kühleren Schichten absorbieren die Tiefenstrahlung fast vollzählig, schwächen sie mindestens so stark, daß der spektrale Charakter gänzlich entstellt wird. Daß diese Deutung richtig ist, kann man bei einer totalen Sonnenfinsternis ohne Schwierigkeit beobachten.

Richtet man im Totalitätsmoment einer Sonnenfinsternis, wo der Mond die kontinuierliche Strahlungsquelle oder die eigentliche Oberfläche (Photosphäre) der Sonne bedeckt, ein Spektroskop auf den Sonnenrand, so erscheint für 1 bis 2 Sekunden ein helles Linienspektrum, das sich aber kurz hernach fast blitzschnell in ein Absorptionsspektrum umkehrt. An Stelle der hellen Spektrallinien treten ganz plötzlich wieder die dunklen Linien des Sonnenspektrums auf. Hier haben wir ein praktisches Beispiel zum Vorgang im Eisendampfspektrum. Erst erscheint ein helles Emissionsband, und sobald Strahlung einer kontinuierlichen Lichtquelle hindurchfällt, tritt eine Umkehr des Phänomens ein. Aus diesem Grunde hat man auch die bei der Sonne das sogenannte Flashspektrum hervorrufende Schicht als „umkehrende Schicht“ bezeichnet, die zweifellos als die untere Grenze der Sonnenatmosphäre (Chromosphäre) zu gelten hat.

Obwohl uns die Sonne das beste Fixsternspektrum liefert, so ist ein Rückschluß aus dem Sonnenspektrum auf ein anderes Sternspektrum nur bedingt möglich. Daß die Sternspektren großen Unterschieden unterworfen sind, erhellt ohne weiteres aus der Mannigfaltigkeit der Sternfarben. Andererseits besteht aber zwischen der Farbe und der Temperatur der Sterne ein ganz enger Zusammenhang. Demzufolge ist zu erwarten, daß ebenfalls zwischen dem Spektrum und der Farbe eines Sterns Beziehungen bestehen, denn beide Faktoren werden durch den thermischen Aufbau der Sternatmosphäre bestimmt. Es hat sich in den letzten Jahrzehnten immer eindringlicher gezeigt, daß zwar die Sternspektren untereinander sehr ver-

schieden sind, aber Spektra von Sternen derselben Farbgebung sich gleichen oder wenigstens ähneln. Auf statistischem Wege ist es dann gelungen, die Spektra in den Rahmen eines Klassifizierungsschemas einzuspannen, wo in der Regel ein bestimmtes Linienkriterium die Klassenzugehörigkeit anzeigt. Man bezeichnet die verschiedenen Sternspektra nach der von der amerikanischen Astronomin Miß Anni M. Cannon geprägten sogenannten Draper-Klassifikationsskala, die zuerst in dem großen, etwa 225 000 Fixsternspektra enthaltenden Spektralkatalog des Harvard-Observatoriums praktisch dargelegt wurde, mit den lateinischen Buchstaben B, A, F, G, K und M. Vor die Klasse B setzt man in der Regel noch die Typen P und O und fügt zu M noch N und R hinzu. Die Typen B und A umschließen die weißen, F und G die gelben und K und M die roten Sterne.

Beim Spektraltypus O handelt es sich um eine verhältnismäßig seltene Sternsgattung, die im Gegensatz zu allen andern Sternen ein Emissionsspektrum zeigt. Diese Sterne pflegen nur als lichtenregende Zentralsterne bei sogenannten planetarischen Nebeln aufzutreten und sich strenge an die Nähe der Milchstraße zu halten. Ebenso zeigen die B-Sterne eine straffe Bindung an die Milchstraße und konzentrieren sich besonders im südlichen Sternbild Carina. Man bezeichnet sie als Heliumsterne, weil in ihrem Spektrum die Helium- und Wasserstofflinien die auffälligsten Merkmale liefern. Im A-Sternspektrum fehlen die Heliumlinien fast gänzlich, und es überwiegen die Wasserstoff- und Kalziumlinien. Daher heißen sie Wasserstoffsterne oder auch Sirius-Sterne; denn Sirius und Wega sind ihre bekanntesten Vertreter. Bei den folgenden Spektralklassen treten die Gaslinien noch weiter zurück. Die gelben F-Sterne bezeichnet der Astronom als frühe Sonnensterne, deren Spektra die Kalziumlinien intensiv zeigen. Dasselbe gilt für die eigentlichen gelben Sonnen- oder G-Sterne, wo weitere Metalllinien auffällig werden. Zu ihnen gehört der helle Fixstern Capella im Fuhrmann. Das Spektrum der tiefgelben K- oder späten Sonnensterne ähnelt dem Sonnenspektrum, jedoch erscheinen die Wasserstofflinien sehr schwach. Hierzu zählen die Sterne Arktur und Pollux. In der M-Klasse sind die Kennzeichen der K-Sterne auch noch intensiv ausgeprägt. Besonders auffällig sind die Absorptionsbänder des Titanoxyds. Als Beispiel eines Titanoxydsterns sei Beteigeuze im Orion genannt.

So einfach wie hier das Wesen der Klassifikation der Spektralklassen erscheint, ist es im Grunde freilich nicht. Man wird schwerlich erwarten können, daß sich die unendliche Anzahl der Sterne in eine so enge und prägnante Skala einspannen ließe. Tatsächlich sind innerhalb der Haupttypen erhebliche Abweichungen bekannt. Die Astrophysiker haben deshalb zur Kennzeichnung solcher Störungen die einzelnen Klassen nochmals in Dezimalstellen aufgespalten, so daß man schreibt B8 oder A4. Solche Sondierungen gestatten es alsdann, auf statistischem Wege über die räumliche Verteilung der Spektraltypen Aufschluß zu geben, was von großer Wichtigkeit ist, wenn die Erkenntnisse über den Entwicklungszustand des Sternsystems Klarheit verschaffen sollen; denn in der Reihe der Spektra von O bis M prägt sich ebenfalls eine Temperaturskala aus.

Der aufmerksame Leser wird vielleicht daran gedacht haben, daß die große Verschiedenheit der Sternspektren ein Ausdruck für erhebliche Abweichungen im Aufbau der Sternatmosphären sei; denn das Hervortreten einer gewissen Liniengattung im Spektrum ist doch unter normalen Bedingungen ein Zeichen für das quantitative Überwiegen des Stoffes. Diese Voraussetzung ist aber nach geltenden physikalischen Gesetzen, insbesondere über die Natur strahlender Gase, unberechtigt. Erst der Ausbau der Atomtheorie hat die Astrophysiker zu der Überzeugung gebracht, daß die Sterne sehr wohl einen einheitlichen physischen Aufbau haben könnten, ohne dabei dieselben spektralen Eigenschaften zu zeigen. Der Ausdruck des Spektrums wird vielmehr bestimmt durch den Umstand, unter dem die Strahlung zustande kommt. Es können Bedingungen bestehen, die es einem Element unmöglich machen, im Spektrum selbständige Linien zu erzeugen, oder es kann sein, daß die Erdatmosphäre ein Durchdringen bestimmter Strahlungen verhindert. Wie dem aber auch sein mag, ausschlaggebend für den Spektralcharakter ist stets die Temperatur und der Druck. Beide Faktoren wirken natürlich auf die Elemente verschieden ein und können unter gewissen Umständen in den Atomverbänden das Gleichgewicht stören.

Bekanntlich sind die Eigenschaften der Atome charakterisiert durch die Ladung und zwar in der Weise, daß die Atomkerne positiv und die herumkreisenden Elektronen negativ geladen sind. Allerdings gilt hierbei als Bedingung, daß die Ladung des Kerns gleich ist der Ladung aller Elektronen zusammen. Da die Atome erst das Spektrum hervorrufen, so muß sich jegliche Änderung innerhalb des Atomverbandes im Spektrum widerspiegeln. Wir wissen nun, daß eine ständig steigende Temperatur den Atomen gefährlich wird, denn die hohe Temperatur führt zu einer Ionisation, d. h. aus dem Atomverband werden einzelne Elektronen herausgeschleudert, wodurch sich das Bild des Spektrums natürlich sofort verschiebt. Ebenso kann es vorkommen, daß sich die Spektren zweier Sterne von derselben Temperatur und Dichte doch nicht völlig gleichen, weil ihre Dimensionen oder Volumina nicht übereinstimmen. Immerhin ist es in diesem Falle möglich, aus dem Liniencharakter auf die relative Dimension zu schließen. Die Deutung dieser spektralen Abweichungen ist zuerst dem indischen Physiker Megh Nad Saha gelungen. Bei niedriger Temperatur besteht die geringste Aussicht auf Ionisation. Die kühleren M-Sterne beherbergen wenigstens in der Atmosphäre in erster Linie neutrale Atome, während die Ionisation in Richtung der sogenannten frühen Spektraltypen rasch fortschreitet, bis endlich in den heißen B-Sternen die ionisierten Atome vollständig das Feld beherrschen.

Da zu erwarten ist, daß die Temperatur der Sterne in Richtung zum Sternmittelpunkt ganz gewaltig zunimmt, auf der andern Seite aber die Sternoberfläche auf die Strahlungen aus tieferen Schichten, insbesondere auf die kurzwelligen bzw. violetten Strahlen, absorbierend wirkt, so liefert auch das Sternspektrum den Ausdruck für eine kombinierte Strahlung, eben für die langwelligen Strahlungen aus dem Sterninnern und die gesamte photosphärische Strahlung. Je mehr aber die austretende Strahlung

von der radialen Richtung, d. h. von der Gesichtslinie, abweicht und deshalb in den Randzonen ihren Ursprung hat, rührt sie aus viel kühleren Schichten her. Zusammenfassend ist deshalb zu sagen, daß das eigentliche Sternspektrum durch Überlagerung der den verschieden heißen Schichten der Sternmaterie zuzuordnenden Einzelspektren entsteht.

Wollte man aus der Strahlung der Fixsterne die Temperatur berechnen, so würde es sich um die Temperatur der Photosphäre handeln. Eine absolute Sterntemperatur kann aus der Strahlung an sich nicht abgeleitet werden, weil hierfür die Kenntnis der absorbierenden Wirkung der Photosphäre und der sie aufbauenden Gase vorausgesetzt werden muß. Solange der Astrophysiker aber die Art des strahlenden Gases nicht eindeutig kennt, läßt sich die wahre Temperatur nicht bestimmen, sondern ein Versuch, aus der allgemeinen Sternstrahlung die Temperatur zu berechnen, führt zur effektiven Temperatur.

Verhielten sich aber alle Sterne wie schwarze Körper, die einzigen, deren Strahlungsgesetze wir genau kennen, so wäre es nicht schwer, aus dem Ausdruck des Sternspektrums die Temperatur abzuleiten; denn mit der Temperatur hängt die Helligkeitsverteilung im kontinuierlichen Untergrund des Spektrums zusammen. Da man nach dem Planckschen Strahlungsgesetz für einen schwarzen Körper ohne weiteres angeben kann, wo bei bestimmter Temperatur im Spektrum das Intensitätsmaximum zu erwarten ist, brauchte man umgekehrt im Sternspektrum nur das Helligkeitsmaximum zu bestimmen und auf Grund des gleichen Gesetzes die Temperatur zu berechnen. Man hat aber bald erkennen müssen, daß die Fixsterne keine schwarze Strahlung aussenden. Die zu uns dringende Strahlung wird ja durch Quellen gespeist, die in verschiedenen Tiefen der Sternmaterie und unter wechselnden Temperaturen anzutreffen sind. Im Hinblick darauf stellt die Plancksche Strahlungsgleichung die Intensitätsverteilung im Sternspektrum nur annähernd dar, weil sich aus jedem Spektralbereich eine andere Temperatur ergibt. Etwas anderes wäre freilich die Ableitung der Temperatur aus der Strahlungsintensität. Allerdings gelingt dieses Experiment nach dem Stefan-Boltzmannschen Strahlungsgesetz exakt nur bei bekanntem Sterndurchmesser, so daß alsdann die Größe der Oberfläche und die pro Quadratcentimeter austretende Strahlungsenergie berechnet werden könnten; denn zwischen der Strahlungsenergie und der Temperatur besteht eine Funktion. Wir kennen aber den Durchmesser und damit die Oberflächendimension nur von der Sonne und etwa einem halben Dutzend Riesensternen, die am Mount-Wilson-Observatorium mit dem Interferometer ermittelt wurden. Der Sonnendurchmesser beträgt etwa 1 400 000 Kilometer, während Beteigeuze 346 000 000 und Antares 624 000 000 Kilometer im Durchmesser aufweisen. Praktisch hat also die Lösung, die pro Flächeneinheit austretende Energie zu berechnen, noch wenig Gewicht. Aber immerhin ist es doch möglich, aus der Strahlungsintensität bzw. aus dem allgemeinen Ausdruck des Spektrums, der sich besonders in der Schärfe der Spektrallinien ausprägt, die sogenannte Strahlungstemperatur zu bestimmen.

Es soll nicht verschwiegen werden, daß es noch eine andere Methode

zur Ableitung der Temperatur gibt, und zwar handelt es sich hierbei um den sogenannten Farbenindex. Zwei Sterne können visuell gleich hell erscheinen; aber auf der photographischen Platte ist der Eindruck verschieden. Ein roter Stern wird die Platte nicht in dem Maße schwärzen wie ein weißer Stern. Es hat sich aber gezeigt, daß der Farbenindex, mit dem man den Lichtverlust zwischen visueller und photographischer Helligkeit bezeichnet, einen deutlichen Gang mit dem Spektraltypus zeigt. Diese Erscheinung prägt sich darin aus, daß mit fortschreitendem Spektraltypus, also in Richtung der roten K- und M-Sterne, photographisch eine Helligkeitsverminderung um 0,4 Größenklassen eintritt. Ob aus dieser Entdeckung einmal ein unzweideutiges Verfahren, die Sterntemperatur zu ermitteln, hervorgehen wird, wie man es heute annehmen oder anzweifeln möchte, bleibt abzuwarten.

Um etwas über die Sterntemperaturen zu sagen, sei erwähnt, daß die mittlere Oberflächentemperatur der Sonne etwa 6500 Grad beträgt. Für die Fixsterne gelten in den einzelnen Spektralklassen folgende Temperaturen, wie sie aus der Helligkeitskurve im Spektrum abgeleitet sind:

Bo	B ₅	A ₀	A ₅	F ₀	F ₅	G ₀	G ₅	K ₀	K ₅	M ₀
20800°	16900°	13000°	10200°	8300°	7200°	6050°	4880°	4310°	3380°	3200°

Sämtliche Werte stellen natürlich Effektivtemperaturen dar und beziehen sich auf die mittlere photosphärische Strahlung der Sterne.

Der natürliche Schluß, der aus diesem für tiefere astrophysikalische Erkenntnis so äußerst wichtigen Temperaturproblem folgt, ist die Frage nach dem Entwicklungszustand und Entwicklungsgang der Sterne. Es liegt nahe, anzunehmen, daß die roten Sterne vielleicht aus dem Nebelstadium geboren werden, sich im Fortschritt der Entwicklung immer weiter verdichten, eine höhere Temperaturstufe erreichen und in ihrer Farbe weißer werden. Dann folgt der Gang wiederum dem Prozeß eines sich abkühlenden glühenden Eisenblocks, die Temperatur sinkt und die Farbe wird roter und ist schließlich für unser Auge nicht mehr wahrnehmbar. Hiernach stellen also die Spektralklassen das Entwicklungsschema dar.

In der vorgenannten Auffassung trat nun eine entscheidende Wendung ein, als man erkannte, daß jeder bestimmte Spektraltypus in zwei verschiedene Arten aufspaltbar ist, nämlich in Riesen- und Zwergsterne. Es hatte sich herausgestellt, daß die Energieausstrahlung bei den Riesen bedeutend höher ist als bei den Zwergen und daß diese Eigenschaft von der sogenannten absoluten Leuchtkraft abhängig ist. Die klassische Stellarastronomie hatte angenommen, daß die abnehmende Helligkeit der Sterne ein Symbol für die wachsende Entfernung bedeute. Diese Meinung erwies sich als falsch; denn die Strahlungsintensität und Leuchtkraft eines Sterns ist eine Funktion der Temperatur. Aus diesem Grunde wurde die Einführung der absoluten Helligkeit als notwendig erkannt. Diese Größe gibt uns an, wie hell ein Fixstern erschiene, wenn er in einer bestimmten Entfernung von der Sonne stünde. Die Astronomen haben sich auf einen Abstand von 10 Parsek (= 32,5 Lichtjahre) geeinigt, worauf nun alle Stern-

helligkeiten bezogen werden. In der genannten Entfernung steht im Fuhrmann der Stern Capella, der demnach die absolute Größenklasse 0 hat. Die Sonne würde in derselben Einheit nur 5. Größe sein. Capella ist also 100 mal heller als die Sonne. Im Gegensatz hierzu besitzt der Stern Proxima Centauri nur eine Leuchtkraft von einem Zehntausendstel der Sonnenhelligkeit, während Antares 1600 mal, Rigel 10 000 mal, R Doradus 100 000 mal und S Doradus 300 000 mal heller sind als unser Tagesgestirn. Wenn die Sonne plötzlich die zuletzt genannte Leuchtkraft erreichte, so müßte auf Erden die Temperatur auf 7000 Grad steigen. Aus dieser Erkenntnis heraus bezeichnet man Sterne, deren absolute Helligkeiten derjenigen der Sonne gleichen oder noch schwächer sind als Zwergsterne; Sterne aber, die ständig große Energiemengen in den Weltraum hinausstrahlen und eine absolute Helligkeit bis zur 60fachen Sonnenleuchtkraft erreichen, gelten als Riesen, und die noch helleren Sterne als Übergiganten, die aber verhältnismäßig selten sind.

Aus diesem Fragenkomplex entstand die Forderung, die Verteilung der absoluten Leuchtkräfte auf die einzelnen Spektralklassen näher zu studieren. Diese Lösung hat zuerst der englische Astrophysiker Russell versucht, indem er in einem rechtwinkligen Koordinatensystem die absoluten Sternhelligkeiten als Funktion des Spektraltyps auftrug. Die Abzisse zeigt die Spektralklasse und die Ordinate die absolute Helligkeit an. Eine solche Figur führt den Namen Russell-Diagramm. Auf dem horizontalen Ast gruppieren sich von rechts nach links die Riesensterne aller Spektralklassen von M bis B-O, die nahezu restlos dieselbe Leuchtkraft zeigen. Dagegen bewegt sich der Zwergast vom Typus B (oben links) schräg nach unten (rechts) und ist bei der Klasse M am weitesten vom Riesenast entfernt. Aus dieser Anordnung geht hervor, daß die Zwergsterne, im rückläufigen Stadium begriffen, in Richtung zum M-Typ immer geringere absolute Größen aufweisen. Ein solches Diagramm ist deshalb nicht ausschließlich eine Häufigkeitsstatistik der Spektralklassen und absoluten Helligkeiten, sondern legt, allerdings unter einem noch zu behandelnden Vorbehalt, die Vermutung nahe, daß es gleichzeitig auch den Entwicklungsgang der Sterne veranschaulicht. Aus dem räumlichen Nebeneinander würde sich demnach auf ein chronologisches Nacheinander der Sterne schließen lassen.

Wie bereits angedeutet, beginnt ein Stern wahrscheinlich sein Dasein als roter Riese, verdichtet sich immer weiter längs des Riesenastes von M nach B und setzt schließlich die Verdichtung über B hinaus auf dem Zwergast bis M fort, wo anscheinend die Sterne als kompakte Zwerge ihr Leben beschließen. In einem M-Riesen ist die Dichte der Materie gleich einem Milliontel der Wasserdichte, was noch 1000 mal geringer ist als die atmosphärische Dichte an der Erdoberfläche. Außerdem ist hier das Volumen 1 billionmal so groß wie das der Erde.

Gegen die im Russell-Diagramm zum Ausdruck gekommene Hypothese der Sternentwicklung war zunächst weder physikalisch noch astronomisch etwas Wesentliches einzuwenden, lag doch der hier aufgezeigte Weg der kosmischen Entwicklung durchaus im Bereiche der Möglichkeit, nament-

lich deshalb, weil aus der Lösung des Temperaturproblems keine Schwierigkeiten erwachsen. Ungeklärt blieb aber die Frage nach dem Anfangsstadium der roten Riesen mit ihrer unvorstellbar kleinen Dichte; denn selbst dann, wenn die Voraussetzung ihre Berechtigung hat, daß die Riesen aus kosmischen Nebeln hervorgehen, bestehen zwischen beiden Individuen noch große Klüfte. Manche Astronomen gehen sogar so weit, zu behaupten, daß für den Fall, daß die Nebularhypothese die Sternentwicklung nicht darstellen könne, angenommen werden müsse, die Bildung aller in unsern Fernrohren zugänglichen Sterne habe sich bereits vor Jahrmillionen vollzogen, und der eigentliche kosmische Schöpfungsprozeß sei deshalb vollendet. Trifft diese Auffassung zu, so wird uns natürlich jeder Aufschluß über den wirklichen Gang der Entwicklung für alle Zeiten verwehrt bleiben; jedenfalls wird es uns nie gelingen, unsere Theorien darüber irgendwie zu stützen.

Das Russell-Diagramm ist darum in den letzten Jahren oft Gegenstand eingehender Diskussionen gewesen. In erster Linie hat A. Eddington hier bahnbrechende Untersuchungen angestellt. Dabei ging er jedoch nicht von dem gegebenen Ausdruck des Sternspektrums aus, sondern versuchte, durch eine Lösung der Frage des innern Aufbaus der Sterne seinem Ziele näher zu kommen. Vor längerer Zeit hatte bereits R. Emden in seinem Werk über Gaskugeln Formeln aufgezeigt, die es gestatten, sowohl die Temperatur als auch den Druck und die Dichte eines beliebigen Mittelpunktabstandes in einer idealen Gaskugel zu berechnen. Da sich die Sterne wie Gaskugeln verhalten, mußte deshalb angenommen werden, daß im Sterninnern Millionen von Grad herrschen, wobei es nach der Atomtheorie keine molekularen Verbindungen der Materie mehr gibt. Vielmehr ist hier die Materie in lose Ionen, Elektronen, Atomkerne und andere Trümmer zerlegt oder dissoziiert. Von der Temperatur ist aber auch der Bewegungszustand der Atome und Moleküle abhängig; denn beispielsweise erreichen Helium-Atome bei Zimmertemperatur eine Geschwindigkeit von 1 bis 2 km/sec., während sich bei 4 000 000 Grad 150 000 km/sec. ergeben. Da Eddington für das Innere der Sonne und Sterne eine Temperatur von 40 Millionen Grad annimmt, ist es verständlich, wie ungeheuer groß die Bewegungsvorgänge hinter der Photosphäre der Sterne sein müssen. Wenn anderseits die Temperatur eines Gases oder der Sternmaterie als die Bewegungsenergie der Teilchen aufzufassen ist, die nach allen Richtungen auseinanderstreben, so ist es ebenfalls klar, daß aus dem Innern der Sterne eine gewaltige Druckentwicklung des sich ausdehnenden Gases gegen die Photosphärenschicht merkbar wird, während sich in entgegengesetztem Sinne die äußern Schichten mit einem auf Gravitation begründeten Gegendruck diesen innern Kräften entgegenstemmen. Beide Kräfte halten sich das Gleichgewicht. Außerdem dringen aber gegen die Photosphäre von innen heraus noch große Mengen von sogenannten Ätherwellen (Radiowellen, infrarote Wärmewellen, Röntgenstrahlen, durchdringende Strahlen usw.) ein, die von der Sternphotosphäre reflektiert, absorbiert oder zerstreut werden. Hierdurch entsteht abermals ein Druck auf die Sternmaterie.

Ältere Astrophysiker hatten früher die Frage nach dem Ursprung der im Stern nach außen hin wirksamen Energiestrahlung zu beantworten versucht und waren dabei zu dem Ergebnis gekommen, daß solche Vorgänge in erster Linie auf Konvektionsströmungen, d. h. Austausch zwischen heißen und kühleren Schichten, beruhten. Andere Forscher (z. B. Russell und Helmholtz) waren der Ansicht, daß die Strahlung durch Kontraktion der Sternmaterie gespeist werde, bzw. daß in diesem Prozeß überhaupt die Quelle der Sternstrahlung liege. Diese Auffassung hat Eddington verworfen und darauf hingewiesen, daß nicht durch eine Verdichtung der Sternsubstanz an sich ein Mittel zum Energieaustausch im Sterninnern gegeben sei, sondern daß der Energietransport im Stern und zur Oberfläche lediglich durch Strahlung erfolgt.

Diese Erkenntnis hat manche ältere Vorstellung in das Gegenteil umgekehrt, und mit Recht drängt sich die Frage auf, wodurch der Stern daran gehindert wird, seine gewaltigen inneren Energiemengen schnell in das Weltall hinauszustrahlen. Dieses Problem beleuchtet wieder die große photosphärische Absorptionsfähigkeit; schon eine wenige Meter dicke Schicht würde genügen, selbst den stärksten auftreffenden Energiestrom zurückzudrängen. Wäre es uns z. B. möglich, in das Innere der Capella hinabzutauchen, wo die mittlere Dichte fast dieselbe ist wie die der irdischen Luft, so reichte ein Schirm von fünf Zentimeter Stärke aus, zwei Drittel aller auftreffenden Strahlung zu verschlucken. Die Sterne sind also äußerst „undurchsichtig“. Die Ursache liegt in der Ionisation im Sterninnern. Der Vorgang ist folgender: Sobald eine Ätherwelle auf ein Atom trifft, kann ihre Energie von einem Elektron dieses Atoms absorbiert werden. Mit rasender Geschwindigkeit fliegt das Elektron nun davon, und das Atom ist zerstört. Es läßt sich aber reparieren; denn im nächsten Moment fängt das Atom ein anderes umherirrendes Elektron wieder auf. Geht dieses Spiel von „Katze und Maus“ langsam vor sich, steigt die Undurchlässigkeit. Nimmt aber die Strahlung zu, kommt es auch zu einer rascheren und größeren Beanspruchung der Absorptionsmechanismen, eben der Atome, so daß die Sterne durchlässiger werden.

Kennt man nun die eben behandelten Bedingungen, so kann aus der austretenden Sternstrahlung zunächst der Absorptionskoeffizient und in weiterem Sinne auch die Dichte und Masse berechnet werden. Umgekehrt ging Eddington von der Voraussetzung aus, daß es genau so sicher möglich sein müsse, aus bekannter Masse auch die Leuchtkraft, also die austretende Licht- und Wärmeenergie eines Sterns, abzuleiten. Ein brauchbares Objekt lieferte hier das Capella-System. Die Capella wird von einem zweiten Stern umkreist. Beide Sterne umwandern sich in 104 Tagen und sind 131 000 000 km voneinander entfernt, während ihre Masse das 4,6- bzw. 3,6-fache der Sonnenmasse erreichen. Schließt man an dieses System die physischen Eigenschaften eines Sterns, wie Masse, Dichte und Effektivtemperatur an, so ergibt sich eine ganz überraschende Funktion zwischen Masse und Strahlung. Die Leuchtkraft eines Sterns ist demnach in erster Linie von seiner Masse abhängig!

Diese Entdeckung, die mit der Meinung, die Strahlung werde aus-

schließlich durch Temperatur, Druck oder Dichte bestimmt, im Widerspruch steht, hat Bedeutung für unsere bisherigen Darlegungen; denn die im Russell-Diagramm zum Ausdruck gelangte Beziehung zwischen Riesen- und Zwergsternen einerseits und dem Volumen andererseits erweist sich hiernach als Fiktion. Russell lehrte, daß sein Diagramm die Entwicklung der Sterne vom Typus M über B nach M als eine Dichteverminderung unter abnehmender Temperatur, aber konstanter Masse darstelle. Das leugnet Eddington ganz entschieden; denn es zeigte sich, daß von den untersuchten Sternen mit bekannter Masse und Leuchtkraft die massigsten Sterne Riesen und die weniger massigen Zwerge waren. Mit diesem Ergebnis wäre der kosmogonische Sinn des Russell-Diagramms nur dann vereinbar, wenn man die Massenkonstanz während der Entwicklung fallen ließe und dafür einen merklichen Massenverlust im Entwicklungsgang als statthaft hinnähme. Wäre diese Annahme unberechtigt, so ergäbe nach den neuen Erkenntnissen das Russell-Diagramm nur ein äußerliches Schema für Spektra und absolute Helligkeiten, bei denen Sterne ungleicher Anfangsmasse einen Gleichgewichtszustand erlangen.

Mit dem Verlust der Masse erhebt sich von neuem die Frage, wodurch der enorme Energieverlust wieder wettgemacht werde. Eine Kontraktion der Sterne kann diesen Verlust nicht decken; denn die Sonne verliert z. B. in einer Sekunde $9,4 \times 10^{25}$ Grammkalorien Energie und 4 000 000 Tonnen Masse. Das entspricht einem Tagesverlust von 350 000 Millionen Tonnen und einem Jahresverlust von 130 Billionen Tonnen. Diese Werte liegen bei andern Sternen bedeutend höher, denn S Doradus verliert 300 000 mal mehr Masse als die Sonne. Ist aber die Eddingtonsche Lösung richtig und das Russell-Diagramm kann trotzdem im neuen Gewand als Entwicklungsschema benutzt werden, so müssen seit der Entstehung der Sonne aus einem diffusen Nebelball 10^{12} bis 10^{13} Jahre, also mehr als 1 Billion Jahre, verflossen sein. Ein ähnliches Alter wäre für alle Zwergsterne wahrscheinlich. Wäre es aber umgekehrt möglich, zuzugeben, daß ein Stern die durch Ausstrahlung freiwerdende Masse und Energie durch Kontraktion wieder ausgleicht, so müßte sich für die Sonne ein Alter ergeben, das weit hinter dem aus geologischen, biologischen wie auch astronomischen Erwägungen gefolgerten Alter zurückbleibt. Die Sonne, die nach obigen Angaben in 10 Jahren 1 Billionstel ihrer Gesamtmasse verloren hätte, könnte demnach höchstens 20 Millionen Jahre alt sein. Für Sterne mit viel höherer Leuchtkraft würde dann nur ein Alter von etwa 100 000 Jahren anzusetzen sein, was aber nach unsern heutigen kosmogonischen Kenntnissen unwahrscheinlich ist. Ebenso muß die Annahme, die Sterne könnten sich durch äußere Energiezufuhr, also auf Grund meteorischer Einstürze, neue Lebenskräfte erwerben, als irrig bezeichnet werden, wenngleich es nicht zu leugnen ist, daß durch Aufstürze die Oberflächentemperatur vorübergehend emporschnellt. Aber für die Sternstrahlung sind im wesentlichen Zentralregionen verantwortlich, deren Entwicklung von äußern Einflüssen nicht berührt wird. Es bleibt demnach kein anderer Weg übrig, als zu folgern, daß die Sternmaterie an sich selbst für die Deckung des Energieverlustes aufkommt. Welche Vorgänge solchen Prozessen zu-

grunde liegen, darüber lassen sich noch keine positiven Angaben machen. Wohl berechtigt uns die Atomtheorie zu dem Schluß, daß im Sterninnern bei der von Eddington wahrscheinlich gemachten Temperatur von 40 Millionen Grad die materiellen Zustände völlig andere sind, als wir sie aus unsern Laboratorien kennen. Wir wissen aber auch, daß sich im tiefsten Innern Vorgänge abspielen, die darauf hindeuten, daß sich die Materie in Strahlung umsetzt. Ob wir dabei so weit gehen dürfen wie Jeans, der das Sterninnere in flüssigem Zustand annimmt und dann folgert, daß die Sternmaterie sich mit der Zeit völlig in Strahlung auflöst und so ihrem Tod entgegenstrebt, ist schwerlich zu entscheiden; denn die Meinung über den Aggregatzustand der Stoffe in den Sternen ist nicht einmal einmütig. Eddington hält trotz der großen Dichten im Sterninnern an dem Gaszustand fest, so daß hier ein Fortschritt nur zu erwarten ist, wenn die Atomphysik positive Grundlagen dazu schafft. Zwar kann der Tag, wo sich diese Fragen lösen werden, nicht sehr fern sein; aber im Moment sehen sich manche Forscher dennoch vor Entscheidungen gestellt, die ihnen eine peinliche Verlegenheit abnötigen, weil sie in einigen Punkten vielleicht etwas zu konservativ an Zwischenlösungen festhielten.

Gegenwärtig bemüht sich der englische Astrophysiker Milne, die etwas festgefahrene Diskussion wieder in Fluß zu bringen; allerdings unter der Voraussetzung, daß dem Sternaufbau ein völlig anderer Zug zugrunde gelegt, die Materie als entartet und die Mittelpunktstemperatur der Sterne bis zu 10 Milliarden Grad angenommen wird. Eddington sah ja 40 Millionen Grad als ausreichend an. Milne geht sogar so weit, zu behaupten, die Sternphysik sei völlig irregeleitet, und alles bisher Gewonnene müsse vorbehaltlos neuen Erkenntnissen geopfert werden. Dieser Meinung können wir uns nicht bedingungslos anschließen. Wohl gibt es im bisherigen astrophysikalischen Weltbild Punkte, wo eine Kritik ansetzen könnte; daß aber unser bisheriges Streben nach Erkenntnis und Verstehen der kosmischen Größen ein verhängnisvoller Irrtum gewesen wäre, erscheint uns unannehmbar. Das eine ist klar: Die Physik kommender Tage wird andere Wege gehen müssen, um manchem Dilemma zu entrinnen; sie wird sie aber nicht beschreiten können, ohne das von uns Erreichte anzuerkennen.

Umschau

Die Bibel im Volk

Seit unserem Bericht über die „Bibel in Deutschland“ (in dieser Zeitschrift, Bd. 125 [1933] S. 269—271) hat die Sache der Heiligen Schrift und der Schriftlesung bedeutsame Fortschritte zu verzeichnen.

Der eine betrifft das Organisatorische. Ende 1933 gründete sich der Verein „Katholische Bibelbewegung“ mit dem Sitz in Stuttgart, der sich die Verbreitung der Heiligen Schrift unter dem ka-

tholischen Volk und die Erschließung ihrer Werte „in jeder erdenklichen Weise“ als oberstes Ziel gesetzt hat. Er will diese Absicht verwirklichen durch eine Reihe von Einzelaktionen, die in ihrer Gesamtheit ein weitausgreifendes und erfolgverheißendes Programm darstellen, ein Programm freilich, das in seinen einzelnen Punkten wohl noch viel Kleinarbeit notwendig machen wird: Hinweise auf Schrift und Schriftlesung in Presse und Schrifttum; planmäßige