

Über die Bestimmung der Entfernungen im Weltraume.

Von

Prof. Dr. Adalbert Prey.

Vortrag, gehalten am 11. November 1931.

Schon die Alten kannten den Unterschied zwischen den sogenannten Fixsternen und den Planeten oder Wandelsternen. Während die Fixsterne immer den gleichen, durch die bekannten Figuren der Sternbilder charakterisierten Anblick boten, zeigten die Planeten viel kompliziertere Bewegungserscheinungen, zu deren Erklärung man einen verwickelten Bewegungsmechanismus annehmen mußte, während man bei den Fixsternen mit einem einzigen Gesetz auskam. Es war aber für die Alten unmöglich, den wesentlichen Unterschied zwischen diesen beiden Gruppen von Gestirnen zu entdecken, da sie von den Entfernungen keine richtigen Vorstellungen hatten und daher nicht ahnen konnten, welche ungeheuren Entfernungen uns von den Fixsternen trennen, während die Planeten im Vergleich damit unsere allernächsten Nachbarn sind. In der Tat können wir nicht zu einem vollständigen Verständnis des Aufbaues der Sternenwelt gelangen, wenn wir uns nicht Kenntnisse über die räumliche Anordnung verschaffen. Es ist also die Bestimmung der Entfernungen eine der wichtigsten Aufgaben der Astronomie, und es sollen hier die einzelnen Methoden, die uns zur Verfügung stehen, besprochen werden.

I. Trigonometrische Parallaxen. Wir gehen von der Methode aus, die man gewöhnlich anwendet, wenn man die

Entfernung eines Punktes bestimmen soll, zu dem man nicht hingelangen kann. Man mißt dann auf der Erde eine gewisse Strecke mit dem Maßstabe als Basis und mißt dann ferner mit einem Winkelmeßinstrument die Winkel, welche diese Basis mit den Linien einschließt, die ihre Endpunkte mit dem gesuchten Punkte verbinden. In dem Dreiecke, das so entsteht, sind nun zwei Winkel und eine Seite bekannt, und es kann nach gewöhnlichen trigonometrischen Regeln aufgelöst werden, wodurch die anderen beiden Seiten und der dritte Winkel bekannt werden. Es ist klar, daß das Resultat um so unsicherer ausfallen wird, je kürzer die Basis im Verhältnis zu den anderen Seiten ist, oder, was auf dasselbe hinauskommt, je kleiner oder spitzer der dritte Winkel ist. Gerade das ist aber der gewöhnliche Fall in der Astronomie. Nur wenn es sich um die Bestimmung der Höhe handelt, in der die Sternschnuppen aufleuchten, kommen günstig geformte Dreiecke vor. Da diese Höhe nicht mehr als 200—300 km beträgt, so genügt es, diese Himmelskörper aus zwei Standpunkten zu beobachten, die etwa 100—200 km voneinander entfernt sind. Das ist aber auch der einzige Fall, und er gehört eigentlich gar nicht in die Astronomie, weil solche Bestimmungen nur vorgenommen werden, um festzustellen, in welcher Höhe über dem Boden die Atmosphäre noch einen Einfluß hat. Astronomisch handelt es sich um einen Zusammenstoß, und die beiden Körper: Erde und Sternschnuppe sind in diesem Sinne in der gegenseitigen Entfernung Null.

Schon beim Mond müssen wir die Basis so groß wählen, als es auf der Erde überhaupt möglich ist. Man wird also den Mond z. B. in einer nördlich gelegenen Sternwarte, etwa in Stockholm, beobachten und gleichzeitig in der Kapstadt. Die Entfernung der beiden Orte, die hier als Basis auftritt, ergibt sich aus den Gradmessungen. Wenn diese Basis die Länge eines Erdhalbmessers hat, so wird der Winkel beim Mond etwa 1° , was einer Entfernung von 380.000 km entspricht. Vom Monde betrachtet würde also die scheinbare Größe des Erdhalbmessers den Betrag von 1° erreichen, die Erdscheibe also 2° Durchmesser haben. Wir bezeichnen den Winkel, unter dem der Erdhalbmesser von dem Gestirn aus gesehen wird, als Parallaxe, und er wird in der Astronomie direkt als ein Maß der Entfernung verwendet.

Die Parallaxe der Sonne beträgt nur $9''$, ihre Bestimmung ist also schon außerordentlich schwierig, zumal die Sonne wegen ihrer scheinbaren Größe und ihres außerordentlichen Glanzes besonders ungünstig zu beobachten ist. Die Gesetze der Planetenbewegung gestatten aber eine Erleichterung; sie erlauben uns nämlich, die Verhältnisse der gegenseitigen Entfernungen aller Mitglieder des Systems zu bestimmen, ohne daß es vorerst notwendig wäre, diese Distanzen selbst in einem bekannten Längenmaß zu kennen. Wenn aber irgendeine Entfernung im Planetensystem in linearem Maße bekannt wird, so sind dann mit einem Schlag alle bekannt. Man kann sich also zur Messung

die günstigste Entfernung aussuchen, und die wird dem Gestirne angehören, das uns am nächsten kommt. Das ist bis vor kurzem, da Venus wegen ihrer ungünstigen Position ausscheidet, der Planet Mars gewesen. Heute haben wir in dem kleinen Planeten Eros ein Objekt, das uns noch viel näher kommt.¹⁾ Der Winter 1929/30 war in dieser Hinsicht sehr günstig und es steht zu hoffen, daß die zahlreichen, von vielen Sternwarten angestellten Beobachtungen einen verbesserten Wert der Sonnenparallaxe bringen werden.²⁾ Den 9" entspricht eine Entfernung der Sonne von der Erde von 150,000.000 km. Um die Sonne kreisen, nach ihren Entfernungen geordnet, die folgenden Planeten:

Merkur	58 Mill. km	Jupiter	780 Mill. km
Venus	108 " "	Saturn	1430 " "
Erde	150 " "	Uranus	2880 " "
Mars	229 " "	Neptun	4500 " "
kl. Planeten ca.	500 " "	Pluto	5900 " "

Der Planet Pluto, das äußerste und erst jüngst entdeckte Mitglied unseres Sonnensystems, ist also ca. 40 mal weiter von der Sonne entfernt als die Erde.

¹⁾ Vor kurzem wurde ein Objekt entdeckt, das noch günstigere Bedingungen zu bieten scheint.

²⁾ Leider haben starke Lichtschwankungen und gewisse Störungen der Bewegung, die auf eine sehr unregelmäßige Form des Körpers schließen lassen, diese Hoffnung stark herabgedrückt.

Die Anwendung der gleichen Methode auf die Fixsterne führte zu keinem Erfolge. Man erkannte sofort den Grund dafür, welcher in der außerordentlich großen Entfernung dieser Objekte zu suchen ist. Um diesem Umstande zu begegnen, wählte man als Endpunkte der Basis zwei Punkte, in denen sich die Erde zu zwei um ein halbes Jahr verschiedenen Zeitpunkten befindet. Die Basislänge wird damit 300,000.000 km. Trotz dieser ungeheuren Basis ließ sich lange Zeit keine Spur einer Fixsternparallaxe finden. Dieser Umstand brachte die Anhänger der Kopernikanischen Lehre in eine schwierige Situation. Wenn sich nämlich die Erde tatsächlich um die Sonne bewegt und im Laufe des Jahres einen so weiten Umkreis macht, so müßte sich die veränderte Stellung der Erde in einer scheinbaren Änderung in der Stellung der Fixsterne zeigen. Das Gegenargument von der allzu großen Entfernung der Fixsterne war zwar richtig, doch staunten auch die Kopernikaner sehr, als es notwendig wurde, die Fixsterne immer weiter hinauszurücken, weil die stets verfeinerten Methoden noch immer keine Parallaxe zeigen wollten. In der Tat wurde die erste Fixsternparallaxe erst gefunden, als man aus anderen Gründen längst nicht mehr an der Richtigkeit der Kopernikanischen Lehre zweifelte. Die ersten Parallaxen wurden im Jahre 1837 ziemlich gleichzeitig von Bessel bei ϵ Lyrae, von Struve bei α Lyrae und von Henderson bei α Centauri gefunden, und sie ergaben sich alle kleiner als 1 Bogensekunde. Man nennt solche Paral-

laxen, da sie auf der jährlichen Bewegung der Erde fußen: jährliche Parallaxen. Einer jährlichen Parallaxe von 1'' entspricht eine Distanz, die 206.000mal größer ist als die Entfernung der Erde von der Sonne, das gibt etwa 30,000.000,000.000 km. Man nennt diese Entfernung eine Sternweite oder ein parsec und führt sie oder auch das Zehnfache als Einheit der Distanzen im Fixsternsystem ein. Eine gebräuchliche Einheit ist auch das Lichtjahr, das ist der Weg, den das Licht in einem Jahre zurücklegt. Eine Sternweite enthält 3·26 Lichtjahre.

Bei der Kleinheit der Fixsternparallaxen ist es klar, daß uns diese Methode bald im Stiche lassen muß. Nur bei den allernächsten Sternen wird sie zum Ziele führen. Wir besitzen etwa 500 trigonometrische Parallaxen, von denen vielleicht 100 wirklich als sicher zu bezeichnen sind. Für die übrigen Hunderttausende müssen wir uns nach anderen Methoden umsehen.

II. Säkulare Parallaxen. Schon Halley (ca. 1680) hat entdeckt, daß den größeren Sternen eigene Bewegungen zukommen, und die modernen Hilfsmittel ließen schon fast bei allen Fixsternen Eigenbewegungen feststellen. Unsere Sternbilder werden also keineswegs durch unbegrenzte Zeiten ihr heutiges Aussehen beibehalten. Da die Sonne auch ein Fixstern ist, so besitzt sie auch ihre eigene Bewegung, mit der sie sich samt dem ganzen Planetensystem durch den Weltraum bewegt. Diese Bewegung spiegelt sich in einer schein-

baren Bewegung aller Fixsterne wider, und es ist klar, daß dadurch viel größere Verschiebungen entstehen müssen als durch die jährliche Bewegung der Erde um die Sonne, weil die Sonne nicht immer wieder umkehrt. Die Schwierigkeit liegt darin, daß sich diese scheinbare Verschiebung der Sterne mit ihrer wirklichen kombiniert. Die zwei Bestandteile lassen sich aber trennen. Nämlich das, was von der Sonne herrührt, hat systematischen Charakter. Dort, wo der Punkt liegt, gegen welchen sich die Sonne bewegt, müssen die Sterne scheinbar auseinander treten, auf der entgegengesetzten Seite sich zusammenschließen, während wir zunächst annehmen müssen, daß die Eigenbewegungen der Sterne ordnungslos durcheinanderlaufen. Durch geeignete Mittelbildung kann man erreichen, daß das Ungeordnete sich austilgt, während das Systematische deutlicher hervortritt. Beide Teile der Bewegung aber haben das gemeinsame, daß sie für Sterne in größerer Entfernung kleiner erscheinen. So sieht der Wanderer die Bäume, die an der Straße stehen, rasch vorüberziehen, während ein ferner Kirchturm stundenlang seine Stellung nicht zu ändern scheint. Andererseits erscheint, aus großer Entfernung betrachtet, auch ein Schnellzug fast unbewegt. Man kann daher die Größe der Verschiebung zu einem Maßstabe der Entfernung machen, wobei man allerdings voraussetzen muß, daß sich die Objekte im allgemeinen mit gleicher Geschwindigkeit bewegen. Dies ist nun im einzelnen bestimmt nicht richtig. Es kann vorkommen, daß sich

ein Stern scheinbar sehr langsam bewegt, nicht weil er sehr weit weg ist, sondern weil er sich tatsächlich wenig bewegt. Umgekehrt kann ein Stern zu laufen scheinen, ohne daß er besonders nahe ist; er ist eben vielleicht wirklich ein Schnellläufer. Im Durchschnitte aber werden solche Ausnahmen keine Rolle spielen. Man kann also die Sterne nach der Größe ihrer Eigenbewegungen in Gruppen einteilen und nun für jede dieser Gruppen eine mittlere Entfernung bestimmen. So erhalten wir zum erstenmal eine Schätzung der Distanz von Sternen, die einer trigonometrischen Bestimmung längst nicht mehr zugänglich sind. Gleichzeitig folgt aus diesen Untersuchungen die Größe und die Richtung der Bewegung der Sonne. Eine wesentliche Ergänzung des Beobachtungsmaterials bildet die Bestimmung der Geschwindigkeiten der Sterne im Visionsradius auf Grund der Verschiebung der Spektrallinien (Dopplersches Prinzip). Diese Methode hat den großen Vorteil, daß sie die Geschwindigkeiten unabhängig von der Entfernung direkt in Kilometern pro Stunde gibt.

Vergleicht man die Mittelwerte der Eigenbewegungen mit den Werten für die einzelnen Sterne, so ist es möglich, gewisse Gesetzmäßigkeiten aufzudecken, die in den Sternbewegungen herrschen. So fand Kapteyn, daß sich in unserem Sternsystem zwei Sternströme nachweisen lassen. Der eine, dem auch die Sonne angehört, strebt gegen einen Punkt des Himmels, der der Apex genannt wird. Alle Sterne dieses Stromes bewegen sich im wesentlichen auf parallelen Bahnen

und überholen zum Teil die Sonne, zum anderen Teil werden sie von der Sonne überholt. Der Punkt, gegen welchen sich der zweite Strom bewegt, wird als Vertex bezeichnet. Beide Punkte liegen ziemlich nahe an der Milchstraße, so daß schon aus diesem Umstand die große Bedeutung derselben für den Aufbau unseres Sternsystems erhellt.

Einen besonderen Fall bildet das System der Hyaden, dessen Sterne Bahnen wandern, die alle nach einem Punkte zu konvergieren scheinen. Das ist ein perspektivischer Effekt, und aus der Lage des Konvergenzpunktes erhält man die Entfernung der ganzen Gruppe. Ein ähnliches System bilden einige Sterne des großen Bären.

Die Größenordnung der Entfernungen, die wir aus den Eigenbewegungen bestimmen können, liegt bei etwa 200—300 Lichtjahren. Man muß sich aber klar sein, daß die Gesetzmäßigkeiten, welche entdeckt wurden, im Widerspruch stehen mit der ursprünglich eingeführten Annahme der Regellosigkeit der Sternbewegungen, und daß aus diesem Grunde den Bestimmungen eine Unsicherheit anhaftet. Wenn z. B. in größerer Entfernung die kleinen Geschwindigkeiten verhältnismäßig häufiger sind, so werden offenbar alle Distanzen zu groß geschätzt und umgekehrt.

III. Dynamische Parallaxen. Bei Doppelsternen kann zur Bestimmung der Entfernung eine Methode angewendet werden, welche auch auf dem Studium der Bewegungserscheinungen beruht. Ein Doppelstern

ist ein System von zwei Sternen, die sich in elliptischen Bahnen um ihren gemeinsamen Schwerpunkt bewegen. Aus der Umlaufzeit, die bei den meisten dieser Objekte einige Jahrzehnte beträgt, läßt sich nach denselben Gesetzen, die auch in unserem Planetensystem herrschen, die gegenseitige Entfernung in linearem Maße berechnen. Allerdings ist dazu die Kenntnis der Massen der beiden Sterne nötig. Wir machen aber die Erfahrung, daß die durchschnittliche Masse der Sterne etwa der Sonnenmasse gleich ist, so daß man diese Annahme zugrunde legen kann. Die scheinbare Entfernung bestimmt man aus den Beobachtungen und erhält sie ausgedrückt in Bogensekunden. Die Entfernung eines solchen Objekts muß dann so groß angenommen werden, daß die lineare Distanz, die aus der Bewegung gewonnen wurde, unter einem so kleinen Winkel erscheint, wie ihn die Beobachtungen ergeben.

IV. Photometrische Parallaxen. Wir können der Bestimmung der Entfernungen auch die naheliegende Annahme zugrunde legen, daß die scheinbar schwächeren Sterne weiter von uns entfernt sind als die helleren. Auch hier können wir bei einzelnen Sternen sehr irren. Es kann ein Stern sehr hell aussehen und doch weit weg sein, weil er eben besonders stark leuchtet, und es kann andererseits ein Stern sehr geringer Leuchtkraft auch in großer Nähe sehr schwach erscheinen. Was aber im einzelnen falsch ist, kann im Durchschnitt sehr brauchbar sein. Wenn wir uns alle Sterne, deren Entfernungen wir kennen, das ist also das System jener nahen Sterne,

deren Entfernung sich trigonometrisch bestimmen ließ, in die gleiche Distanz gerückt denken, so werden weit entfernte Sterne dadurch heller werden, während die nahen, die weiter hinausgeschoben werden müssen, schwächer werden. Die Helligkeiten, die wir so erhalten, nennen wir absolute, und sie erlauben uns nun, die Leuchtkräfte der Sterne unabhängig von der Entfernung miteinander zu vergleichen. Wir machen dabei die Erfahrung, daß besonders helle Sterne ebenso selten sind wie besonders schwache, und daß eine mittlere Helligkeit am stärksten vertreten ist. Wenn wir also aus der ganzen Zahl der Sterne gewisse Gesetze ableiten, so werden sie eben für die große Mehrzahl von Sternen mittlerer Leuchtkraft gelten.

Schon Hipparch (180—125 v. Chr.) teilte die Sterne nach ihrer Helligkeit in Sterne 1., 2., 3. Größe usw. ein. Diese Einteilung hat sich als sehr brauchbar erwiesen, und durch die modernen photometrischen Messungen ist es gelungen, sie auf eine gesicherte physikalische Basis zu stellen. Danach sendet uns ein Stern 1. Größe 2·5mal mehr Licht als ein Stern 2. Größe, dieser 2·5mal mehr Licht als ein solcher 3. Größe usw. Selbstverständlich gestatten die Messungen nun auch die Feststellung von Zwischenstufen. Nun breitet sich bekanntlich das Licht in Kugelwellen aus, so daß es in doppelter Entfernung eine 4mal kleinere Intensität hat. Dem Helligkeitsverhältnisse von 2·5, wie es zwischen zwei Größenklassen besteht, entspricht somit ein Entfernungsverhältnis von $\sqrt[3]{2\cdot5} = 1\cdot6$. Jede

weitere Größenklasse ist also 1.6mal weiter entfernt als die vorangehende. Wenn man nun die so gewonnenen Entfernungen zur Grundlage für das Studium des Aufbaues unseres Weltsystems machen will, so muß man mit Untersuchungen über die Verteilung der Sterne der verschiedenen Größenklassen über den Himmel beginnen.

Schon der erste Anblick zeigt uns, daß die Sterne aller Größenklassen keineswegs gleichmäßig über den Himmel verteilt sind. Wir finden, daß in dem silbrig schimmernden Band, das wir als Milchstraße bezeichnen, die Sterne aller Größenklassen viel zahlreicher vertreten sind als außerhalb der Milchstraße. Das trifft besonders für die kleinen und kleinsten Sterne zu, aber selbst die größten, deren es nur sehr wenige gibt, liegen beiläufig in einem Kreise, der zwar nicht mit der Milchstraße zusammenfällt, ihr aber doch sehr nahe liegt, der sogenannte Gouldsche Kreis, der die großen Sterne von Schwan, Cepheus, Cassiopeja, Fuhrmann, Zwillinge, Stier, Orion, großer Hund und Schiff Argo verbindet. Es sieht also so aus, als ob sich in der Milchstraße die Sterne besonders stark zusammendrängten, und doch ist es anders. Wenn man die Annahme macht, daß die Sterne im Weltraum überall gleich dicht stehen, so kann man aus dem Umstande, daß jede weitere Größenklasse 1.6mal weiter entfernt ist als die vorangehende, berechnen, wie viele Sterne der einzelnen Größenklassen vorhanden sein müßten, um den Raum mit gleichmäßiger Dichte auszufüllen. Man findet, daß bis zu jeder weiteren Klasse 4mal mehr Sterne

sein müßten, als bis zu der vorhergehenden. Die Sternzählung ergibt aber hiefür nur die Zahl 3·2. Es folgt also, daß die Dichte der Sternverteilung nach außen abnimmt; das System ist somit aufgebaut wie ein Sternhaufen, in welchem in der Mitte die Sterne enger stehen als am Rande. In der Milchstraße ist die Abnahme etwas geringer, im allgemeinen aber gilt das gleiche Gesetz für den ganzen Himmel etwa bis zur Größenklasse 11·5. Dann aber zeigt sich für die Gegenden außerhalb der Milchstraße ein rascher Abfall, d. h. hier fehlen die kleinen und kleinsten Sterne. Es scheint, daß wir hier an der Grenze des Systems sind. Das System nimmt also offenbar einen linsenförmigen Raum ein. Die Sonne steht ziemlich in der Mitte, nicht als ob man ihr deshalb eine besondere Stellung zuweisen müßte, sondern rein zufällig. Die Ausdehnung des Systems beträgt nach Seeliger in der Richtung der Milchstraße etwa 16.000 Lichtjahre, senkrecht dazu etwa 5mal weniger. Charlier findet 22.000 Lichtjahre.

Wir haben diese Untersuchungen über die Sternverteilung auf zwei Hypothesen gegründet. Wenn diese nicht richtig sind, so sind die Resultate natürlich zu verbessern. Wir haben zunächst angenommen, daß die mittlere Helligkeit der Sterne überall die gleiche ist. Ist das nicht der Fall, sind z. B. nach außen zu die absolut helleren Sterne häufiger, so haben wir das System offenbar zu klein berechnet, denn die helleren Sterne müssen weiter draußen stehen, um gleich hell zu erscheinen wie schwächere. Das Vorherrschen schwächerer

Sterne in den Randpartien führt zu einer Überschätzung. Ferner haben wir stillschweigend angenommen, daß das Licht auf dem Wege durch den Raum keine Schwächung erfährt. Findet eine solche statt, so gibt unsere Rechnung zu große Werte, denn wir müssen die Sterne näher schieben, damit sie durch das absorbierende Mittel hindurch so hell erscheinen wie ohne ein solches. Dadurch würde die Verteilung der Sterne gleichmäßiger werden. Man könnte sich jenen Betrag der Absorption herausrechnen, bei welchem wir eine gleichmäßige Verteilung oder gar eine Dichtezunahme nach außen erhalten würden, so daß das System ringförmig wäre. Man würde aber dabei so hohe Beträge für die Absorption erhalten, daß die Unmöglichkeit sofort einleuchtet. Im Gegenteil, es deutet alles darauf hin, daß eine merkliche Schwächung des Lichtes im Weltraum nicht eintritt. Wir haben Objekte in so ungeheuren Distanzen, daß sie bei der geringsten Absorption sofort unsichtbar werden müßten, wenn man nicht wieder unwahrscheinlich große Helligkeiten annimmt.

Eine allgemeine Absorption ist also gewiß nicht vorhanden. Zweifellos aber existiert eine gegendweise Absorption durch dunkle Nebelmassen, welche in unregelmäßiger Verteilung sich über große Teile des Himmels erstrecken. Sie werden dadurch sichtbar, daß sie einen anderen Farbenton zeigen als der übrige Himmelshintergrund, und die scheinbare Helligkeit der dahinterstehenden Sterne herabsetzen, aber auch dadurch, daß sie das Licht naher größerer Sterne reflek-

tieren. Einige dieser dunklen Wolken kann man schon mit freiem Auge erkennen, so ein Gebiet im Sternbilde des Schwanes auf der nördlichen Himmelshälfte und die sogenannten Kohlsäcke auf der südlichen.

Die Werte der Entfernungen, die aus den scheinbaren Helligkeiten abgeleitet sind, sollten natürlich mit denen stimmen, die aus den Eigenbewegungen gefunden werden. Man kann nun wohl versuchen, eine Form zu finden, die beiden Erscheinungen gleichzeitig möglichst gerecht wird, man kann aber auch aus dem Unterschied zwischen den beiden Bestimmungen auf den Fehler der Grundvoraussetzung gleicher Verteilung der Helligkeiten und Eigenbewegungen schließen und darauf die Untersuchungen der Gesetzmäßigkeiten in dem System gründen, von denen wir dann neue Aufschlüsse über den Bau des Ganzen erwarten dürfen.

V. Spektroskopische Parallaxen. Schon kurze Zeit nach der Entdeckung der Spektralanalyse hat man die Untersuchungen auch auf die Gestirne ausgedehnt und erkannt, daß den einzelnen Sternen verschiedene Spektren zukommen. Danach hat man die Sterne zuerst in drei Klassen eingeteilt, die wir auch nach den zugehörigen Farben benennen können: weiße Sterne, gelbe Sterne und rote. Zu den gelben Sternen gehört auch die Sonne, deren Spektrum mit dem gewisser Sterne vollständig identisch ist. Man hat ferner Methoden gefunden, aus dem Spektrum die Oberflächentemperatur der Sterne zu bestimmen. Da fand man nun, daß die weißen Sterne die heißesten sind mit etwa 10.000—20.000⁰ an der Ober-

fläche. Die gelben haben etwa 6000—8000^o, die roten 3000—4000^o. Dementsprechend hat man die Sterne in eine Entwicklungsreihe gebracht, derart, daß der Stern, vom weißen Zustand ausgehend, infolge der Abkühlung zuerst gelb und endlich rot wird. Damit hat man sich lange Zeit begnügt, obwohl schon Lockyer darauf aufmerksam machte, daß doch irgendwie auch der heißeste Zustand entstanden sein muß. Wenn sich die Sterne aus den Nebelmassen ballen und diese Nebelmassen, wie wir voraussetzen müssen, anfänglich kalt sind, so muß der Stern mit dem roten Zustand anfangen, wobei sich die Wärme allmählich durch die Konzentration der Masse steigert. Die Entwicklungsreihe muß also aus einem steigenden und einem fallenden Aste bestehen, und es muß rote Sterne geben, die am Anfange der Entwicklung stehen, und solche, die am Ende stehen. Die einen werden eine sehr geringe Dichte, aber ein ungeheures Volumen haben, die anderen bei großer Dichte ein geringes Volumen; man unterscheidet also bei den roten Sternen: Riesen und Zwerge. Je weiter wir zu den gelben und weißen Sternen kommen, um so mehr verwischt sich dieser Unterschied. Es handelt sich dabei nicht um Riesen der Masse nach, sondern nach dem Volumen. Es läßt sich im Gegenteil zeigen, daß Sterne von besonders großer Masse überhaupt nicht möglich sind, da in einem solchen Falle die inneren Bedingungen des Sternes zu einem Zerfall oder zu einer Explosion führen müßten. Es ist nun erst in allerneuester Zeit gelungen, aus dem Spektrum zu er-

kennen, ob ein Stern zu der einen oder der anderen Art gehört. Es wurde nämlich im Laboratorium festgestellt, daß unter gewissen Bedingungen, unter denen außer der Temperatur auch Druck und Dichte eine besondere Rolle spielen, gewisse Spektrallinien stärker auftreten, andere schwächer. Die moderne Atomphysik erklärt dies damit, daß die Atome bei geringer Dichte mehr geneigt sind, einen Bestandteil, ein sogenanntes Elektron, aus ihrem Verbande abzugeben und in den „ionisierten“ Zustand überzugehen. Andererseits aber ist durch die Oberflächendichte und die Oberflächentemperatur auf Grund komplizierter theoretischer Erwägungen der Aufbau des Sternes so weit bekannt, daß man seine Gesamthelligkeit berechnen kann. Es gelingt, aus den uns bekannten Sternen eine ganze Skala festzustellen, an welcher man die zu einem gegebenen Spektrum gehörige Leuchtkraft ablesen und damit die sogenannte absolute Helligkeit feststellen kann. Wendet man dies nun auf andere Sterne an, so liefert der Vergleich der scheinbaren Helligkeit mit der aus dem Spektrum gewonnenen absoluten Helligkeit die Entfernung. Diese Methode bedeutet einen großen Fortschritt in der Bestimmung der Entfernungen, weil wir nun wieder einzelne Sterne untersuchen können und nicht auf Mittelwerte angewiesen sind.

VI. Die „Cepheiden“. Es gibt viele Sterne, welche nicht stets in gleicher Helligkeit strahlen, sondern veränderlich sind. Unter diesen Veränderlichen gibt es eine Gattung, deren Lichtwechsel von besonderer

Regelmäßigkeit ist und deren Spektrum gleichzeitigen Veränderungen unterworfen ist, so daß man meint, der Lichtwechsel rühre davon her, daß sich der Stern periodisch aufbläht und wieder zusammensinkt, wobei auch die Temperatur wechseln muß, eine Erklärung, die aber auch vielfach angefochten wird. Der typische Vertreter dieser Gruppe ist der Stern δ Cephei. Die Veränderlichen dieser Art sind besonders häufig in den sogenannten Sternhaufen, wie wir sie am Himmel in großer Zahl finden und zu denen auch die sogenannten magellanischen Wolken des südlichen Himmels gehören. Da nun alle Sterne einer solchen Wolke ziemlich gleich weit von uns entfernt sind, so spielt diese Entfernung bei dem Vergleich der Helligkeiten untereinander keine Rolle. Ein Stern, der heller erscheint als ein anderer, wird auch tatsächlich heller sein. Ordnet man nun die in Rede stehenden Veränderlichen der magellanischen Wolke nach ihrer Helligkeit, so findet man die merkwürdige Tatsache, daß man damit auch eine Ordnung nach der Periode des Lichtwechsels erhält. Diese Perioden liegen zwischen 1 und etwa 130 Tagen. Man könnte also sofort aus der Periode die absolute Helligkeit eines solchen Sternes ableiten, wenn man sie wenigstens von einem derselben kennt. Nun kommen aber solche Sterne auch außerhalb der Sternhaufen unter jenen Sternen vor, deren Entfernung und absolute Helligkeit bekannt ist. Wenn wir also annehmen dürfen, daß hier dasselbe Gesetz gilt, so ist damit auch die absolute Helligkeit

der Sternhaufensterne bestimmt. Der Vergleich mit der scheinbaren Helligkeit führt auf die Entfernung. Nach Shapley ergibt sich für die große magellanische Wolke eine Entfernung bis zu 105.000 Lichtjahren. Sie liegt also offenbar schon außerhalb des Milchstraßensystems, aber nicht sehr weit, so daß wir sie etwa als ein nahestehendes Anhängsel betrachten können.

Es gibt auch Veränderliche der gleichen Art mit kürzeren Perioden, die besonders in den sogenannten „Kugelhaufen“ häufig sind. Das sind Gebilde, bei welchen sich in einem kleinen kugelförmig gestalteten Raum eine Unzahl von Sternen zusammendrängen. Wenn man annehmen darf, daß für diese Veränderlichen das gleiche Gesetz gilt, so erhält man auch die Entfernungen dieser Gebilde. Sie ergeben sich derart, daß auch diese Kugelhaufen, deren Zahl ziemlich klein ist, als äußere Begleiter des Milchstraßensystems erscheinen, welches dadurch aber nicht unbedeutet vergrößert wird.

Wir haben endlich noch eine Art von Objekten, deren Entfernung ebenfalls mit Hilfe der in ihnen zahlreich auftretenden „Cepheiden“ bestimmt werden kann. Das sind die Spiralnebel, Sternhaufen mit deutlich spiraliger Anordnung. Ihre Zahl ist sehr groß und ihre Verteilung zeigt gar keine Beziehung zu der Milchstraße, so daß wir sie als selbständige, der Milchstraße gleichgeordnete Systeme ansehen können. Ihre spindelförmige Gestalt, wenn sie von der Seite gesehen werden, zeigt auch sonst ihre Ähnlichkeit mit der Milchstraße, so daß wir nicht fehlgehen werden,

wenn wir auch dieser eine ähnliche spiralförmige Struktur zuschreiben. Der Ursprung der Spiralarms wäre dann wohl in der sternreichen Gegend des Schwanes zu suchen, und die Sternströme, von denen wir oben gesprochen, dürften vielleicht den Spiralarms folgen.

Diese Annahme von der Gleichordnung der Spiralnebel mit der Milchstraße wird auch durch den großen Wert gestützt, den wir für die Entfernung erhalten. Für den großen Andromedanebel, der das nächste Objekt dieser Gattung ist und auch schon mit freiem Auge gesehen werden kann, ergeben sich etwa 800.000 Lichtjahre, und die kleineren Objekte sind dann noch um ein Vielfaches weiter entfernt.

Wir haben die Methoden der Entfernungsbestimmung der Reihe nach durchbesprochen und gesehen, wie jede neue Methode die Möglichkeit geboten hat, wieder größere Entfernungen zu bestimmen. Erst die Kenntnis dieser Entfernungen hat uns gestattet, das ganze System in die Tiefe zu gliedern und so zu einem Verständnis des Aufbaues zu gelangen. Wir sehen nun, daß wir im wesentlichen mit drei Größenordnungen der Entfernungen zu rechnen haben: 1. Die Entfernungen im Planetensystem. Das Licht durchläuft sie in einigen Stunden. 2. Die Entfernungen im Milchstraßensystem. Sie betragen einige tausend Lichtjahre. 3. Die Entfernungen der Spiralnebel, die nach Millionen von Lichtjahren gemessen werden. Damit sind wir aber vorläufig an der Grenze unserer Erkenntnis angelangt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1932

Band/Volume: [72](#)

Autor(en)/Author(s): Prey Adalbert

Artikel/Article: [Über die Bestimmung der Entfernungen im Weltraume. 1-22](#)