

sunkenen Kratern und bilden daher eine Ausnahme von der Regel, daß die Krater um so älter seien, je größer sie sind. Die von ihnen ausgehenden Strahlen verlaufen ohne Unterbrechung über große und kleine Krater, Gebirge und Mare und beweisen dadurch ebenfalls, daß sie später entstanden sind als alle übrigen Gebilde der Mondoberfläche.

Um die Entstehung der Strahlenkrater zu erklären, könnte man annehmen, daß in den oberen Schichten der Erdatmosphäre mehrere große vielleicht schon richtiger als winzige Monde zu bezeichnende Mondkörper umliefen, die hier ihre Masse sammelten, als eine höhere Oberflächentemperatur des Erdkörpers auch in beträchtlichen Höhen der Atmosphäre noch größere Dichten und höhere Temperaturen zuließ, und die bei beginnender Rotationsverzögerung der Erde und ihrer Atmosphäre (vergl. Abschn. 2 am Schlusse) sich länger in jenen Höhen erhalten konnten als die dem Widerstande des Mittels mehr ausgesetzten und daher ihren Bahnradius schneller verkürzenden kleinen Mondkörperchen. Als der Mond bei der Erweiterung seiner Bahn sie mit sich zur Vereinigung brachte, vermochte die dünn gewordene Atmosphäre nicht mehr zu verhindern, daß auch kleine und kleinste, beim Aufprall emporgeschleuderte Massenteilchen der Mondoberfläche erst in großer Entfernung von der Aufsturzstelle niederfielen. Auf die angegebene Weise entstanden die Strahlensysteme. Die hier und dort vorkommenden Überschneidungen der Strahlen erklären sich dadurch, daß die fortgeschleuderten Teilchen nicht sämtlich aus dem Mittelpunkt des Kraters, sondern teilweise auch aus der Nachbarschaft der Wälle stammen.

Am Schlusse wollen wir nicht unterlassen, darauf hinzuweisen, daß bei den großen Strahlenkratern die vorgetragene Erklärung vielleicht auch etwas zu modifizieren ist. Die gewaltigen, zum Teil terrassenartig aufgebauten Wälle, die große Tiefe der

Krater, die zahlreichen in ihrer Nähe anzutreffenden Kratergruben, der Gesamteindruck gewaltsamer Zerstörung, den ihre ganze Umgebung macht, lassen den Schluß zu, daß bei ihrer Entstehung sehr bedeutende Kräfte wirksam gewesen sind. Nun beträgt die Endgeschwindigkeit, mit der die Meteore der Erdatmosphäre auf den Mond stürzten, nicht mehr als $2\frac{1}{2}$ km/sec; kosmische Meteore jedoch können Aufsturzgeschwindigkeiten von 50 km/sec und mehr erreichen. Vielleicht sind die Strahlenkrater durch Aufsturz kosmischer Meteore entstanden. Die Meteore interstellaren Ursprungs, die jetzt gelegentlich auf die Erde stürzen, sind zwar meistens klein, es sind aber auch einige von mehreren Tonnen Gewicht gefunden worden, und ein einleuchtender Grund dafür, daß ihre Masse eine gewisse obere Grenze nicht überschreite, kann nicht angegeben werden. Die im Staate Arizona in Nordamerika entdeckte Kratergrube, deren Durchmesser 1150 m, deren Tiefe 170 m und deren Wallhöhe 50 m beträgt, muß z.B. durch ein Meteor entstanden sein, das bereits über 100 m Durchmesser hatte. Wenn die Annahme, daß die Strahlenkrater durch kosmische Meteore entstanden seien,¹⁾ zutrifft, so würde sich auch das Tal in den Alpen, das wir vorhin als einen Grabenbruch erklärt haben, einfacher als die Furche betrachten lassen, die ein kosmisches Meteor hinterließ, welches, ohne seine kosmische Geschwindigkeit zu verringern, sich an der Berührungsstelle abschleifend die Mondoberfläche streifte und dessen letzter Rest stecken blieb. Daß sich auf der Erde, außer der Kratergrube in Arizona, keine Anzeichen einstmaliger niedergegangener großer kosmischer Meteore vorfinden, kann nicht überraschen, da hier ununterbrochen die Oberflächenformationen umgestaltende Kräfte wirksam sind, während der Mond getreulich alle Eindrücke aufbewahrt, auch wenn sie sich vor geologischen Zeitaltern seinem Antlitz eingruben.

Bremen, 1921 August.

Fr. Nölke.

¹⁾ Es möge darauf hingewiesen werden, daß man einem kosmischen Meteor, das selbst einen Krater von der Größe des Kopernikus (Gesamtmasse der Wälle schätzungsweise 20000 cbkm) erzeugen sollte, noch keine übermäßig große Masse beizulegen braucht (vergl. Nr. 8). Unter der Voraussetzung, daß die Dichte des Meteors gleich der der emporgetürmten Massen war, daß die Aufsturzgeschwindigkeit 50 km/sec betrug und daß der ganze Bruchteil der kinetischen Fallenergie, der nach den Gesetzen des unelastischen Stoßes als Bewegungsenergie erhalten bleibt (während der andere Teil Zertrümmerungsarbeit leistet oder sich in Wärme verwandelt), dazu verwandt wurde, die Wälle aufzuwerfen, findet man leicht, daß das Meteor einen Durchmesser von ungefähr $3\frac{1}{2}$ km haben mußte. Bei einer Endgeschwindigkeit von $2\frac{1}{2}$ km/sec, wie sie bei den Meteoriten der Erdatmosphäre vorlag, würde man ihm im angegebenen Falle einen Durchmesser von 10 km beizulegen haben.

Zur Doppelstern-Theorie der δ Cephei-Veränderlichen. Von A. Pannekoek.

In der Jubiläumsnummer der A. N. gibt A. A. Nijland eine einfache Erklärung der Asymmetrie in der Lichtkurve der δ Cephei-Veränderlichen bei Zugrundelegung der Doppelsterntheorie. Es mag daher angebracht sein, auf einige Schwierigkeiten der Doppelsterntheorie überhaupt und der von Nijland gegebenen Erklärung im besonderen hinzuweisen.

I. Die Schwankungen der Radialgeschwindigkeit führen zu der Vorstellung eines leuchtenden, in einer elliptischen Bahn um den Systemschwerpunkt herumlaufenden Sterns; die genaue Koinzidenz von Lichtkurve und Kurve der Annäherungsgeschwindigkeit brachte dann die Notwendigkeit einer an der Vorderseite größeren Helligkeit mit sich. Nun muß diese Vorstellung auf Grund der modernen Bestimmungen absoluter Helligkeit eine Modifikation erfahren. Die projizierte halbe große Achse der Bahn des sichtbaren Hauptsterns beträgt (im Durchschnitt bei diesen Veränderlichen) $1.5 \cdot 10^{11}$ cm

($R_{\odot} = 7.10^{10}$), also den doppelten Sonnenradius. Nach der absoluten Helligkeit $-2^m 3$, also der Leuchtkraft $650 \odot$ findet sich der Radius des Hauptsterns $25 \odot$; dies mag sich, bei genauer Berücksichtigung der Spektraldifferenz, noch etwas abändern lassen, aber der Größenordnung nach ist diese riesige Körperdimension wohl feststehend. Daraus ergibt sich, daß der Systemschwerpunkt tief im Innern des Hauptsterns liegt, nur um $\frac{1}{12}$ seines Halbmessers vom Mittelpunkt entfernt. Man kann daher schwerlich mehr von einem Umlauf des Sterns in einer Bahn reden, sondern drückt die Sache entsprechender durch Rotation um eine, um durchschnittlich $\frac{1}{12}$ des Radius außerhalb des Zentrums liegende Achse aus. Von einer »Vorderseite« des Sternkörpers bleibt nicht viel mehr übrig; wenn das Zentrum die größte negative Radialgeschwindigkeit hat, hat die kleinere Hälfte der Oberfläche eine positive, die größere Hälfte eine negative Radialgeschwindigkeit. Die Intensitäts-

kurve einer Absorptionslinie muß daher so aussehen, daß die Radialverschiebung des Maximums in der Mitte nur $1/25$ der ganzen Breite der Linie ist.

In ApJ 50.83 hat *Perrine* auf eine Schwierigkeit der Pulsationstheorie hingewiesen, die darin bestehen soll, daß die Linien dabei sehr breit werden. Es ergibt sich hier, daß nach den heute bekannten Dimensionsverhältnissen diese Schwierigkeit in noch viel höherem Maße der Doppelsterntheorie entgegensteht. Bei einer rein radialen Pulsation bei gleichmäßig leuchtender Oberfläche findet man eine Intensitätskurve, bei der die Grenzen der Kurve die normale Lage und die Radialgeschwindigkeit des Zentrums darstellen; die Breite ist nicht größer als die Radialgeschwindigkeit selbst, und bei Abfall der Sternscheibenhelligkeit nach den Rändern wird sie praktisch noch geringer. *Perrine* weist auf den Mangel genauer Aussagen über die Breite der Linien hin; sollte deren Breite nur von der Größenordnung der Verschiebung selbst sein, so läge hier eine ernste Schwierigkeit gegen die Doppelsterntheorie der δ Cephei-Veränderlichen.

2. In der Erklärung *Nijlands* wird die periodische Lichtsteigerung durch den Durchgang des Begleiters in seinem Periastron durch die dichteren Teile der Atmosphäre des Hauptsterns oder durch ein sonstiges widerstehendes Mittel bewirkt. In jeder Periode muß die so gewonnene Wärme wieder durch Ausstrahlung verloren gehen. Da diese Wärme aus der Reibung, also aus der mechanischen Energie des Systems stammt, muß fortwährend mechanische Energie in Wärme verwandelt werden, die Temperatur der Außenschichten emporführen und aus dem System verschwinden. Die Frage erhebt sich, ob nicht dieser Verlust mechanischer Energie die Maßverhältnisse des Systems derart ändern würde, daß sich dies in der Periode zeigen müßte.

Wir nehmen nach *Nijland* an, daß die Strahlung von Maximum bis Minimum bis zu $1/4$ abnimmt; es muß also in jeder Periode $3/4$ der Maximalausstrahlung, also $6/5$ der durchschnittlichen Strahlung transformiert werden. Die durchschnittliche Strahlung ist 650mal Sonnenstrahlung; diese beträgt $2.48 \cdot 10^{41}$ erg pro Jahr, also ist der Verlust an mechanischer Energie $780 \cdot 2.48 \cdot 10^{41} = 19 \cdot 10^{43}$ erg pro Jahr.

Die vorhandene mechanische Energie kann nur mit Hilfe bestimmter Annahmen über die Dimensionen berechnet werden. Aus der Massenfunktion $(m_1 + m_2) [m_2 \sin i / (m_1 + m_2)]^3 = 0.0033 \odot$ und $a_1 \sin i = 1.5 \cdot 10^{11}$ lassen sich bei verschiedenen Annahmen über $m_1 + m_2$ diese Dimensionen finden: um so höher $m_1 + m_2$ angesetzt wird, um so kleiner wird m_2/m_1 , um so größer also die Bahn von m_2 . Wir werden zwei Fälle aus den von *Nijland* berechneten nehmen:

$$\begin{array}{lll} \text{I. } m_1 = 50 \odot & m_2 = 2.4 \odot & q_1 = 0.003 \odot \\ a = .39 \cdot 10^{11} & r_1 = 17.7 \cdot 10^{11} & r_2 = 6.4 \cdot 10^{11} \\ \text{II. } m_1 = 17 \odot & m_2 = 1.2 \odot & q_1 = 0.001 \odot \\ a = 27 \cdot 10^{11} & r_1 = 17.7 \cdot 10^{11} & r_2 = 7.3 \cdot 10^{11}. \end{array}$$

In der Formel $E = 1/2 [\mathcal{F}_1 + \mathcal{F}_2 - m_1 m_2 / (m_1 + m_2) \cdot a^2] \omega^2$, wo \mathcal{F}_1 und \mathcal{F}_2 die Trägheitsmomente der Sterne sind, bildet $1/2 (\mathcal{F}_1 + \mathcal{F}_2) \omega^2$ die Energie der Rotationsbewegung, die wir

in einem solchen System gleichperiodisch mit der Umlaufbewegung annehmen müssen¹⁾, und $1/2 m_1 m_2 / (m_1 + m_2) \cdot \omega^2$ die Energie der Bahnbewegung, die durch den doppelt so großen Wert der Anziehungsenergie aufgehoben wird und das entgegengesetzte Vorzeichen bekommt. Mit den Daten $m_\odot = 1.94 \cdot 10^{33}$ gr und $T = 2\mu/\omega = 500000$ sec (also 5.8 Tage) findet man für

$$\text{I. } E = (9.75 - 5.33) 10^{48} \text{ erg}$$

$$\text{II. } E = (3.32 - 2.56) 10^{48} \text{ erg.}$$

Die durch eine Verringerung der mechanischen Energie bewirkten Änderungen in den mechanischen Verhältnissen des Systems werden (bei der Annahme, daß die Rotationszeiten immer der Umlaufzeit gleich bleiben müssen) dadurch bedingt, daß die Bewegungsgröße

$$H = [\mathcal{F}_1 + \mathcal{F}_2 + m_1 m_2 / (m_1 + m_2) \cdot a^2] \omega$$

konstant bleiben muß. Durch Elimination von da^2 findet man

$$dE = \{3/2 (\mathcal{F}_1 + \mathcal{F}_2) - 1/2 m_1 m_2 / (m_1 + m_2) \cdot a^2\} \omega d\omega.$$

Setzt man die oben gefundenen Zahlen ein, so wird

$$\text{I. } -19 \cdot 10^{43} = (29.2 - 5.3) 10^{48} \cdot d\omega/\omega$$

$$d\omega/\omega = -0.8 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{II. } -19 \cdot 10^{43} = (9.9 - 2.6) 10^{48} \cdot d\omega/\omega$$

$$d\omega/\omega = -2.6 \cdot 10^{-5}.$$

Durch das Überwiegen der Rotationsenergie über die Bahnbewegungsenergie nimmt ω ab, die Periode vergrößert sich, und zwar im Fall I um 4 sec, im Fall II um 13 sec pro Jahr. Die Beobachtungen von δ Cephei, des bestbekanntesten dieser Sterne, ergeben nach der letzten Diskussion von *Hertzsprung*²⁾ eine geringe säkulare Verkürzung der Periode, die mit einem m. F. ± 0.008 behaftet ist. Eine so große Verlängerung, wie hier sogar im günstigsten Fall gefunden wurde, ist durch die Beobachtungen völlig ausgeschlossen.

Dieser Widerspruch der Konsequenzen der Theorie mit den Beobachtungen trifft nicht nur den *Nijlandschen* Erklärungsversuch, sondern auch andere Formen der Doppelsterntheorie. Wenn man mit *Loud* oder *Luzet* annimmt, daß die Vorderseite dauernd leuchtender und heißer wäre als die Rückseite, sodaß sie eine viermal stärkere Strahlung dauernd aufrecht erhält, die natürlich nicht aus dem Inneren kommen kann, sondern von außen, aus der mechanischen Energie des Reibungswiderstandes erhalten werden muß, dann ergibt sich das gleiche Resultat: der Verlust an mechanischer Energie ist gleich der Differenz der maximalen und minimalen Strahlung. Jede Theorie, die die zusätzliche für die Maximalhelligkeit notwendige Wärme jedesmal verschwinden und aus mechanischer Quelle neu erzeugen läßt, wird damit unhaltbar. Hier liegt der Vorzug der Pulsationstheorie, bei der der periodische Temperaturwechsel ein adiabatischer Prozeß ist und nur das »Sickern« der Wärme³⁾ durch Wärmeleitung als sekundäre Störung eine säkulare Änderung hervorbringen kann.

3. Wir nannten oben den Fall I den günstigsten Fall für die Doppelsterntheorie; irgendwelche absolute Sicherheit einer noch größeren Masse als $50 \odot$, wobei also die Änderung der Periode doch noch geringer als 4 sec. jährlich werden könnte, haben wir jedoch nicht. Zur Abschätzung der Masse

¹⁾ Die relative Bewegung des Begleiters in bezug auf den Hauptstern und seine Atmosphäre ist dann eine Art Libration, in einer Ellipse, deren vertikale Höhe $2ae$, deren horizontale Dimension $4ae$ ist. ²⁾ AN 210.22.

³⁾ Vgl. *Eddington*. The Pulsations of a Gaseous Star II. Monthly Notices 79.177.

eines leuchtenden Sterns unabhängig von Anziehungswirkungen in Bahnbewegungen haben wir zur Zeit keinen anderen Anhalt als die *Eddingtons*che Theorie über das Strahlungsgleichgewicht in den Sternen; nach seinen Formeln berechnet *Eddington* selbst die Masse von δ Cephei zu $4\odot$, also noch kleiner als im Fall II. Damit wären die Widersprüche der Doppelsterntheorie noch schroffer.

Es ließe sich vielleicht in folgender Weise aus dem Spektrum etwas über die Masse ableiten. Bekanntlich unterscheiden sich die Spektren der Riesensterne von denen der Zwergsterne des gleichen Spektraltypus durch die größere Stärke bestimmter Linien, die alle »enhanced lines«, Funkenlinien, sind und von den ionisierten Atomen ausgestrahlt werden; diese Differenzen, nach dem Vorschlag *Kohlschütters* quantitativ verwendet, sind auf dem Mt. Wilson-Observatorium von *Adams* und seinen Mitarbeitern zu einer ausgiebigen Bestimmung absoluter Helligkeiten benutzt worden. Eine theoretische Grundlage für das Auftreten solcher Linien wurde geschaffen, als nach dem Beispiel *Eggers*¹⁾ der bengalische Physiker *Megh Nad Saha* eine Formel aufstellte für das Reaktionsgleichgewicht in teilweise ionisierten Gasen²⁾. Diese Formel

$$\log p x^2 / (1-x^2) = -U/4.57 T + 2.5 \log T - 6.5$$

wo x der Prozentsatz ionisierter Atome, U die Ionisierungsarbeit in Kalorien, p der (Partial) Druck und T die Temperatur darstellt, gestattet die Ionisierung als Funktion von Druck und Temperatur zu berechnen. Aus seinen Rechnungen geht klar hervor, daß neben der hohen Temperatur vor allem auch ein geringer Druck ein starkes Auftreten von Funkenlinien bewirkt. *Saha* hat seine Formel auf die Sonnenatmosphäre und die Sterne angewandt, zur Prüfung des Auftretens der Funken-

Bussum, 1921 Oktober.

¹⁾ *J. Eggers*. Über den Dissoziationszustand der Fixsterngase (Physik. Zeitschrift 20.570).

²⁾ Ionisation in the Solar Chromosphere (Philosophical Magazine 1920.472). On the problem of temperature radiation of gases (Phil. Mag. 1921.267). On a physical theory of stellar spectra (Proc. Roy. Soc. A. 99.135).

³⁾ Eine Zusammenfassung dieser Arbeiten ist neulich in der Zeitschrift für Physik erschienen.

Über die Tätigkeit der Sternwarte in Moskau (Presnia).

Nach einem an den Herausgeber gelangten Briefe von *S. Blažko* kann von der Moskauer Sternwarte folgendes berichtet werden.

Professor *W. Ceraski*, der seit 1877 an der Sternwarte tätig war und ihre Arbeiten seit Jahrzehnten leitete, sah sich im Jahre 1916 aus Gesundheitsrücksichten auf den Rat der Ärzte genötigt, die Direktion der Sternwarte niederzulegen und Moskau zu verlassen. Er lebt jetzt mit seiner Gattin, die auch an seinen wissenschaftlichen Arbeiten tätigen Anteil genommen hat, in Theodosia in der Krim. Sein Nachfolger als Direktor der Sternwarte wurde der Observator derselben und Professor an der Universität *P. Sternberg*. Ihm war es aber nur $3\frac{1}{2}$ Jahr lang vergönnt, die Stelle zu bekleiden, da er schon am 30. Januar 1920 im Alter von 55 Jahren seiner Familie und der Wissenschaft durch den Tod entrissen ward. Als sein Nachfolger in der Direktion wurde von der physiko-mathematischen Fakultät der Universität *S. Blažko*, der

linien in der Chromosphäre und den frühesten Sterntypen. Er hat dabei seine Theorie zunächst zur Aufstellung und Kontrolle der Temperaturskala der Sternspektren benutzt; es leuchtet aber ein, und ist von *Saha* in der Tat auch schon bemerkt worden³⁾, daß sich aus ihr auch sofort eine Erklärung der Spektraldifferenzen zwischen Riesensternen und Zwergsternen ergibt. Die relative Stärke der Funkenlinien in den Riesensternen ist keine direkte Funktion der absoluten Helligkeit, sondern des Druckes; nur weil ein geringer Druck zumeist ein großes Volumen, also eine große ausstrahlende Oberfläche bedingt, findet man empirisch eine Abhängigkeit von der absoluten Helligkeit.

Damit ist die Möglichkeit geöffnet, aus dem Verhalten der Funkenlinien den Druck zu bestimmen, und damit über Dichte und Masse eine gewisse Entscheidung zu treffen: für $M = 4$ oder $5\odot$ wechselt für den mittleren δ Cephei-Veränderlichen die Dichte von 0.0002 bis 0.003. Die auf Mt. Wilson hauptsächlich verwendeten Sr^+ Linien 4078 und 4216 können an sich wenig entscheiden, da bei den Verhältnissen der Riesensterne das Strontium fast völlig dissoziiert ist. Ein schärferes Kriterium könnten jedoch Elemente mit etwas höherem Ionisierungspotential liefern, wie *Zn*, *Cd*, *Hg*, die sich dabei gerade in dem Übergangszustand befinden; für Cadmium z. B. findet sich bei 6000° und $p = 10^{-3}$ resp. 10^{-4} Atm. 17% und 47% dissoziiert, während diese Zahlen für *Sr* 97% und 99% sind. Eine eingehende Erforschung der Intensitätsverhältnisse der Linien verschiedenen Ursprunges wird daher, unter Zuhilfenahme der Ergebnisse der theoretischen Physik, wertvolle Aufschlüsse über die physikalischen Verhältnisse solcher Sterne, und damit auch ihrer Massen, liefern können.

A. Pannekoek.

Schreiber des Briefes an den Herausgeber, bestimmt.

Die Arbeiten der Sternwarte haben trotz der schwierigen Verhältnisse der letzten Jahre keine wesentliche Unterbrechung erlitten, wenn sie auch nach Umfang und Wirksamkeit durch den Mangel an wissenschaftlicher Literatur und das Fehlen photographischer Platten und anderer Hilfsmittel beeinträchtigt wurden. Erst gegen Ende des vorigen Jahres trat hierin eine Besserung ein, indem zur großen Freude der Moskauer Astronomen an die Sternwarte mehrere Publikationen ausländischer Sternwarten gelangten. Umgekehrt konnte die Moskauer Sternwarte im Herbst 1921 den Band VI der Annales de l'Observatoire de Moscou versenden. Die Moskauer Astronomen hoffen, daß nunmehr die Zeit der Isolierung der Sternwarte überstanden ist und der Austausch der wissenschaftlichen Literatur ihnen die Möglichkeit wiedergeben wird, durch gemeinsame Arbeit den Fortschritt der Wissenschaft mit fördern zu helfen.

K.

Inhalt zu Nr. 5145. *Fr. Nölke*. Über die Entstehung der Oberflächenformationen des Mondes. 217. — *A. Pannekoek*. Zur Doppelstern-Theorie der δ Cephei-Veränderlichen. 227. — Über die Tätigkeit der Sternwarte in Moskau (Presnia). 231.

Geschlossen 1922 Febr. 23. Herausgeber: H. Koblold. Druck von C. Schaidt. Expedition: Kiel, Moltkestr. 80. Postscheck-Konto Nr. 9238 Hamburg 11.