

nung der Lichtverteilung im Beugungsschatten der kreisrunden Öffnung und der Scheibe angegeben hat. Aus seiner Theorie kann man eine Folgerung ziehen, daß wir geometrisch ähnliche Beugungsfiguren erhalten werden, wenn die Funktion

$$y = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{a+b}{ab} r^2 \quad (2)$$

die gleichen Werte haben wird. Mit Rücksicht auf (1) kann man aus dieser Formel ersehen, daß die Bedingung für die Konstanz von y mit derjenigen für die Konstanz von n , d. h. der Anzahl der abgeteilten Zonen zusammenfällt.

Der angegebene Ausdruck (2) ermöglicht u. a. zu berechnen, in welchem Abstände ein großer Kreis Beugungsschatten von demselben Aussehen geben wird, wie ein kleiner Kreis. Das Gesetz der Ähnlichkeit von Beugungsfiguren wird:

$$\frac{a+b}{ab\lambda} r^2 = \frac{a_1+b_1}{a_1b_1\lambda_1} r_1^2; \quad (3)$$

bei $a = ka_1$, $b = kb_1$ und $\lambda = \lambda_1$

$$\frac{a}{a_1} = \frac{b}{b_1} = \frac{a+b}{a_1+b_1} = \frac{r^2}{r_1^2}, \quad (4)$$

d. h. bei diesen Bedingungen stehen die entsprechenden Abstände in demselben Verhältnis wie die Quadrate der Kreisdurchmesser.

In den Aufnahmen 18 sehen wir den Schatten eines kreisrunden Schirms bei $n = 0,5$ und von drei kreisrunden Öffnungen $n = 3, 3,5$ und 4 Zonen. Zu den in die Hälfte zerschnittenen Photographien sind die Kurven der Lichtverteilung beigelegt, welche ich nach der Lommel'schen Theorie berechnet habe. Die gestrichelte Linie stellt die Beleuchtungshelligkeit der Platte bei Abwesenheit eines Schirms dar; die schwarzen Punkte auf der Abszissenachse stellen die Grenze des geometrischen Schattens dar. Bei Vergleichung der Kurven mit der photographischen Figur finden wir in allen vier Fällen eine volle Übereinstimmung der Rechnung mit dem Versuche¹⁾.

Die Aufnahmen 19 stellen den Schatten im weißen Licht eines gewöhnlichen Tellers dar, welcher zwischen der Lichtquelle und dem lichtempfindlichen Schirm so gestellt war, daß das Verhältnis $a:b$ in allen Fällen gleich $2,36$ war. Der Abstand $a+b$ war gleich: 3 m, $2,7$, 29 und 235 km und die Zahlen n für $\lambda = 0,46 \mu$ waren entsprechend gleich: $—$, 64 , 16 , 4 und $0,5$.

Nun ist es nicht schwer die Anfertigungsmethode dieser Aufnahmen anzugeben. Aus dünnem Blech schneidet man eine kleine Scheibe aus, in diesem Falle mit der Figur der Hand.

1) Nur in der Aufnahme $n = 0,5$ scheint der Abszissenmaßstab etwas zu groß zu sein.

Die Dimensionen dieses Modells sind 13 bis 76mal kleiner als in Wirklichkeit. In gewöhnlicher Weise erhält man einen Beugungsschatten, welchen man dann bis zur natürlichen Größe (13—76mal) photographisch vergrößert. Man erhält nun auf Bromsilberpapier das gleiche Bild, welches in Wirklichkeit erhalten wird, wenn die Abstände a und b gleich zehn und hundert Kilometer wären, was nach der oben angegebenen Beziehung (4) leicht zu berechnen ist.

Aus dem Dargelegten sehen wir, daß die erhaltenen Aufnahmen eine Periode vom Anfang des Studiums der Fresnelschen Beugungserscheinungen bis in die Hälfte der 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts umfassen. Die Theorie dieser Erscheinungen ist dann in eine neue Phase getreten, als die Vorstellungen von Fresnel durch die strengere Kirchhoffsche Fassung des Huygensschen Prinzips ersetzt wurden.

Auch an dieser Stelle sei es mir gestattet Herrn Prof. Dr. P. Lasareff und Herrn Prof. Dr. Georg Wulff meinen Dank auszusprechen für die liebenswürdigst zu meiner Verfügung gestellten Mittel.

Moskau, Physikalisches Laboratorium der städtischen Schaniawski-Universität, Mai 1913.

(Eingegangen 25. Juni 1913.)

Zur Frage der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit.

Von Erwin Freundlich.

Die Frage, ob die Lichtgeschwindigkeit von der Bewegung der Lichtquelle abhängig ist, ist von solchem Interesse für die Anschauungen der modernen Physik, daß „ein astronomischer Beweis der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit“, wie Herr W. de Sitter¹⁾ einen solchen in dieser Zeitschrift veröffentlicht hat, von außerordentlicher Tragweite wäre. Da ich sofort Bedenken trug, ob das vorhandene Tatsachenmaterial einen so absoluten Schluß gestattet, habe ich dasselbe einer genaueren Diskussion unterzogen²⁾ und gelange zu dem Resultat, daß von einem „Beweis“ meines Erachtens eigentlich nicht recht gesprochen werden kann.

Herr de Sitter untersucht den Einfluß, den die auf der Emissionstheorie basierende An-

1) W. de Sitter, diese Zeitschr. 14, 429, 1913.

2) Herr Paul Guthnick, dem ich den Hinweis auf die verschiedenen Erscheinungen aus der Theorie der spektroskopischen Doppelsterne verdanke, wird gleichzeitig in den Astron. Nachr. in etwas allgemeinerer Weise die astronomisch interessierenden Gesichtspunkte dieser Frage beleuchten.

nahme, daß die Lichtgeschwindigkeit in irgendeiner Richtung gleich der Summe der Geschwindigkeit der Lichtquelle in dieser Richtung und der Lichtgeschwindigkeit bei ruhender Lichtquelle ist, auf die scheinbare Bewegung spektroskopischer Doppelsterne haben würde, und findet, daß ihre Bewegung keine Keplersche sein könnte und die Erscheinung zutage treten würde, daß das Zeitintervall zwischen den beiden Digressionen einmal den Betrag $T + \frac{2u\Delta}{c^2}$,

das andere Mal $T - \frac{2u\Delta}{c^2}$ haben würde, wenn

T die halbe Periode des Systems, Δ die Entfernung desselben, u die Geschwindigkeit der hellen Komponente in ihrer Bahn und c die Lichtgeschwindigkeit im gewöhnlichen Sinne be-

zeichnen. Da aber die Größe $\frac{2u\Delta}{c^2}$ durchaus die Größenordnung von T erreichen kann, so kann die eine Hälfte der Periode auf Null zusammenschrumpfen, wenn nämlich

$$T - \frac{2u\Delta}{c^2} = 0$$

wird oder sogar darüber hinaus negativ werden. Diese merkwürdige Erscheinung ist nie beobachtet worden, so daß Herr de Sitter den Schluß zieht, daß die Lichtgeschwindigkeit unabhängig von der Bewegung der Lichtquelle sein müßte.

Nun ist in der Tat die Folgerung von Herrn de Sitter zweifellos streng, wenn man die Anschauungen der Emissionstheorie in unveränderter Weise zugrunde legt, d. h. als einzig möglichen Effekt der Bewegung der Lichtquelle eine restlose Superposition ihrer Geschwindigkeit über die Lichtgeschwindigkeit, wie sie von einer ruhenden Lichtquelle ausgeht, voraussetzt, da für den Fall, den Herr de Sitter anführt, und bei dem die Entfernung Δ sehr klein angenommen wird,

schon der extreme Fall $T - \frac{2u\Delta}{c^2} = 0$ erreicht

wird. Es wäre darum auch müßig anzunehmen, daß die Superposition der beiden Geschwindigkeiten nach einem anderen Gesetze verläuft, so lange man keine physikalische Deutung für dasselbe hat, wenn sich nicht zweifellos bei den spektroskopischen Doppelsternen Erscheinungen bemerkbar machten, welche auf eine solche Abhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit hinweisen, während dieselben bisher unerklärlich geblieben sind.

Das Argument von Herrn de Sitter, daß sich die gemessenen Linienverschiebungen eines spektroskopischen Doppelsterns nicht durch eine Keplersche Bewegung interpretieren ließen, wenn die Lichtgeschwindigkeit variabel wäre,

trifft nicht für den gesamten Bereich der möglichen Bewegungen zu, denn die Bewegung in einer Kreisbahn bei variabler Lichtgeschwindigkeit, wie sie Herr de Sitter betrachtet, ist in erster Ordnung identisch mit einer Keplerschen Bahnbewegung in einer Ellipse, deren Absidenlinie auf uns zu gerichtet ist, während das Periastron auf der von uns abgewandten Seite liegt. Die Geschwindigkeit in Richtung der Visionslinie, wie sie bei spektroskopischen Beobachtungen gemessen wird, ist nämlich im ersten Falle

$$v = u \cos(l - k \cos l),$$

im zweiten Falle

$$v = u \cos\left(l + 2e \sin(l - \omega) + \frac{5}{4}e^2 \sin 2(l - \omega \dots)\right),$$

wobei l die Länge in der Bahn, e die Exzentrizität der Keplerschen Ellipse und ω die Knotenlänge, in unserem Falle $= 90^\circ$ zu setzen, bedeuten. Die Konstante k dagegen stellt den Einfluß der variablen Lichtgeschwindigkeit auf die scheinbare Bewegung dar, und hat im Falle des Herrn de Sitter den Wert

$$k = \frac{u}{86400} \cdot \frac{u\Delta}{c^2} \quad (u = \text{tägl. Bewegung}),$$

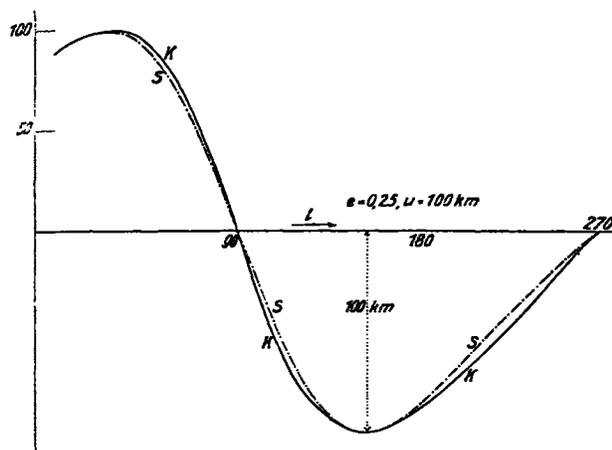
während wir dafür

$$k = \frac{\mu}{86400} \cdot \frac{x \cdot u \cdot \Delta}{c^2}$$

setzen wollen, wobei der Proportionalitätsfaktor x aussagt, daß die Geschwindigkeit der Lichtquelle nicht mit ihrem vollen Betrage in die Lichtgeschwindigkeit eingeht, x vielmehr so klein ist, daß für den Entfernungsbereich, den die uns genauer bekannten Doppelsterne überstreichen, die Größe

$$x \cdot \Delta \cdot \frac{u}{86400 \cdot c^2} = k < 2$$

bleibt. Unter diesen Beschränkungen gilt also unsere obige Behauptung, daß beide Bewegungsformen in erster Ordnung übereinstimmen, wenn man die höheren Potenzen der Exzentrizität vernachlässigt. Herr P. Guthnick hat die entsprechenden zwei Geschwindigkeitskurven für den Fall $e = 0,25$ und $k = 0,5$ gezeichnet (siehe Figur), wobei er für u den Wert 100 km annahm, ich habe das gleiche noch für $e = 0,5$ und $u = 45$ km getan, da der letztere Wert für u ungefähr der mittleren Bahngeschwindigkeit der uns bekannten Systeme entspricht, und es mir darauf ankam, für e ungefähr den Grenzwert festzulegen, für welchen beide Bewegungsvorgänge genügend stark voneinander abweichen, um dem Beobachter aufzufallen. In dem ersten



Falle, $e = 0,25$, $u = 100$ km, weichen die Werte für ρ im Höchsthalle nur um 6 km voneinander ab, so daß es bei den oft sehr unscharf definierten Linien mancher Spektren wohl schwer fiele, beide Bewegungsformen zu unterscheiden, für $e = 0,5$ und $u = 45$ km steigen die Differenzen schon bis zu 10 km. Bei einer sorgfältigen Ausgleichung könnte man sicherlich eine bessere Übereinstimmung erhalten; man muß nämlich bedenken, daß der Beobachter seine Kurven, im festen Glauben, daß es sich nur um eine Keplersche Ellipse handeln kann, so zu legen sucht, daß seine Beobachtungen möglichst gut dargestellt werden, und wenn man den Katalog spektroskopis her Doppelsterne von W. W. Campbell¹⁾ durchblättert, findet man, daß verschiedene Beobachter desselben Systems doch zu recht verschiedenen Bahnelementen gelangen.

Jedenfalls können wir sagen, daß bei allen Bahnen, deren Exzentrizitäten sich kleiner als 0,5 ergeben, es wohl nicht immer leicht sein dürfte, beide oben besprochenen Bewegungsformen zu trennen, d. h. also zu urteilen, ob die sich ergebende Exzentrizität reell oder nur eine vorgetäuschte ist, zumal die systematischen Abweichungen beider Kurven Gesetzmäßigkeiten aufweisen, auf die ich später noch einmal zurückkommen werde.

Nun mag es ja sein, daß unter den kleinen Exzentrizitäten ein bestimmter Prozentsatz solcher scheinbarer ist, da jedoch bei der Keplerschen Bewegung große Exzentrizitäten im allgemeinen seltener sind als kleine, dagegen an sich nichts dafür spricht, warum solche vorgetäuschten Exzentrizitäten häufiger, z. B. kleiner 0,5 als größer 0,5 sein sollten, falls wir nicht schon hier die Beschränkung durch die Größe κ geltend machen wollten, so müßten unter den Bahnen mit großen Exzentrizitäten ein größerer Prozentsatz mit nur vorgetäuschten Exzentrizitäten sein. Wenn nun

1) Siehe Lick Observatory Bulletin 181, 1910.

auch die Divergenz beider Bewegungsvorgänge den Beobachtern entgangen sein sollte, was nur an der Hand des Materials selbst beurteilt werden könnte, wozu ich jetzt nicht in der Lage bin, so müßte sich doch immerhin die Tatsache bemerkbar machen, daß diese nur vorgetäuschten Ellipsen in ganz bestimmter Weise relativ zu uns orientiert erscheinen: es müßten, wie zu Anfang erwähnt, die Absidenlinien auf uns zu gerichtet sein und die Periastron auf der von uns abgewandten Seite liegen, während für die reellen Keplerschen Bahnen die Lage der Absidenlinien und Periastron nach dem Zufall verteilt sein müßten. Hier erheben sich nun die stärksten Bedenken gegen die ganz allgemeine Folgerung von Herrn de Sitter, es ist nämlich seit einigen Jahren bekannt, daß sich in der Tat diese Erscheinung in ganz auffallender Weise bemerkbar macht, so daß z. B. Herr Miller Bar¹⁾ auf Grund dieser Erscheinung Bedenken dagegen erhoben hat, die gemessenen Linienverschiebungen wirklich als reelle Bewegungen in einer Keplerschen Ellipse zu deuten, da es doch mechanisch unerklärlich sei, daß fast alle diese Ellipsen (es sind 23 Systeme unter 28, die er seinen Betrachtungen zugrunde legt) relativ zum Beobachter in bestimmter Weise orientiert erscheinen. Besonders die Systeme mit großen Exzentrizitäten zeigen diese merkwürdige Gesetzmäßigkeit so auffallend, daß von acht Systemen mit einer Exzentrizität $e > 0,5$ sieben ihr Periastron auf der von uns abgewandten Seite liegen haben, während für kleinere Exzentrizitäten diese Erscheinung sich weniger auffallend offenbart, was schon deswegen verständlich ist, weil für kleine Werte von e die Lage des Periastron überhaupt weniger genau bestimmt werden kann und zugleich ein relativ größerer Teil reelle Exzentrizitäten sein müßten.

Auch noch ein weiteres Argument möchte ich hervorheben. Die systematischen Abweichungen zwischen den Geschwindigkeitskurven beider Bewegungsvorgänge zeigen regelmäßige Perioden vom Betrage $T/2$, $T/3 \dots$, worin T die Umlaufszeit bedeutet, und die Erfahrung hat gelehrt, daß in der Tat Restglieder mit solchen Perioden sich auffallend oft geltend machen; sie sind jedoch durch die Annahme eines dritten störenden Körpers in dem betreffenden System mit geeigneter Umlaufszeit zu erklären, ein Ausweg, der natürlich ziemlich nahe liegt. Am unverständlichsten war bisher die Orientierung der Absidenlinien und Periastron relativ zum Beobachter, und diese würde sich ohne weiteres durch eine Abhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit

1) Journ. of the Roy. Astr. Soc. of Canada, Bd. II, 1908 und Ludendorff, Astron. Nachr. 184, 4415—16.

keit von der Bewegung der Lichtquelle deuten lassen, desgleichen die oft auftretenden Restglieder von bestimmter Periode. Eindeutige Kriterien gegen die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit sind diese Erscheinungen natürlich keinesfalls, solange wir für die Konstante κ keine Deutung haben und nur über ihre Größenordnung etwas aussagen könnten. Da die Sonne dem Zentrum der Milchstraße nahe liegt, könnte eine solche gesetzmäßige Richtung der Bahnen nach dem Zentrum hin kosmogonischen Ursprungs sein; in dieser Hinsicht fehlt uns noch der tiefere Einblick in die Entwicklungsvorgänge der Milchstraße.

Um also eine Entscheidung über die hier aufgeworfene Frage zu treffen, müßte man besonders günstige spektroskopische Doppelsterne speziell von diesem Gesichtspunkte aus untersuchen, und ausschließlich auch solche, deren Parallaxe, d. h. Entfernung von uns, so genau als möglich bekannt ist. Bisher kennen wir bis auf wenige Ausnahmen die Parallaxen der Sterne nur der Größenordnung nach, so daß angenommene Werte noch um ± 100 Proz. und mehr von den wahren Werten abweichen können. Falls sich also Abweichungen von der Keplerschen Bewegung bei genauerer Diskussion der Beobachtungen ergeben sollten, käme es darauf an, ob man durch einen einzigen Wert des Parameters κ für möglichst verschiedene Werte der Entfernung Δ diese Abweichungen darstellen kann. Es müßte sich natürlich auch ein Anwachsen des Effekts mit zunehmenden Entfernungen des Systems bemerkbar machen. Die spektroskopischen Doppelsterne offenbaren so mannigfache Beziehungen, z. B. Abhängigkeiten zwischen Exzentrizität, Periode, Spektraltypus usw., die wahrscheinlich ganz ohne Zusammenhang mit unserer Frage sind, und ihre Theorie bedarf noch so sorgfältigen Studiums, daß wir auf Grund unserer heutigen Kenntnisse eindeutige Folgerungen zugunsten einer der beiden Hypothesen, Konstanz oder Inkonzanz der Lichtgeschwindigkeit, noch nicht ziehen können. Die spektroskopischen Doppelsterne sind außerordentlich empfindliche Prüfsteine¹⁾ für diese Frage, und es wäre nach der oben auseinandergesetzten Methode eine direkte Prüfung der Voraussetzung des Relativitätsprinzips, Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, möglich. In der Tat liegen auffallende Symptome vor, die bisher nur

1) Kurz vor Absendung des Manuskripts erfahre ich, daß von Herrn D. F. Comstock eine Arbeit im *Astroph. Journ.* 31. 1910 erschienen ist, in welcher er Kriterien ableitet, um Abweichungen spektroskopischer Doppelsterne von einer Keplerschen Bewegung festzustellen. Es wäre wohl zweckmäßig, seine Methoden bei der oben besprochenen Frage anzuwenden.

durch die Veränderlichkeit der Lichtgeschwindigkeit sich erklären lassen.

Berlin, Kgl. Sternwarte.

(Eingegangen 1. Juli 1913.)

Über einige einfache Demonstrationsversuche mit Edelgasen¹⁾.

Von Georg Gehlhoff.

Die Edelgase (Helium, Neon, Argon, Krypton, Xenon) bieten wegen ihrer exzeptionellen Eigenschaften, speziell in spektraler und elektrischer Beziehung, sowie wegen der Beziehungen einiger von ihnen zu den radioaktiven Substanzen großes Interesse. Während nun früher das Arbeiten mit Edelgasen ihres seltenen Vorkommens und ihrer schwierigen Darstellung wegen große Schwierigkeiten bot, sind in den letzten Jahren einige Methoden gefunden, die ein bequemes und schnelles Arbeiten mit Edelgasen ermöglichen, wobei wir Krypton und Xenon wegen ihres außerordentlich seltenen Vorkommens ausschalten wollen. Das Vorkommen von Edelgasen in der atmosphärischen Luft ist bekanntlich etwa wie folgt: In 100 l Luft sind enthalten: 1 l Argon, 1,5 ccm Neon, 0,15 ccm Helium, 0,005 ccm Krypton und 0,0006 ccm Xenon; außerdem ist Helium in allen Mineralien, die Thor, Uran und sonstige radioaktive Stoffe in größeren Mengen enthalten, in denen es durch dauernde Abspaltung von α -Strahlteilchen, die nichts anderes als geladene Heliumatome sind, aufgespeichert ist.

Im folgenden sollen nun einige einfache Demonstrationsversuche mit Edelgasen beschrieben werden.

Ein wichtiges Hilfsmittel bietet die bekannte Eigenschaft der Kohle, bei tiefer Temperatur große Mengen von gewöhnlichen Gasen zu absorbieren, während die Edelgase Neon und Helium nur in geringerem Maße absorbiert werden. Am besten eignet sich hierzu Kokosnußkohle, die man sich selbst in sehr einfacher Weise folgendermaßen herstellen kann: Die Schale einer Kokosnuß wird mit einem Hammer in kleine Stücke geschlagen und in einem Blechzylinder (Eisen oder Messing), dessen Form und Maße nebenstehende Figur 1 gibt, direkt in der Flamme

1) Die vorstehenden Demonstrationsversuche wurden anlässlich eines Vortrages über Edelgase im Großen Physik. Colloquium der Techn. Hochschule sowie in der Naturf.-Gesellschaft in Danzig-Langfuhr vorgeführt. Die Zuhörer waren in der Lage, die Erscheinungen auch spektral zu verfolgen, da die Firma C. Zeiß in Jena eine große Zahl von Fernspektroskopen zur Verfügung gestellt hatte, wofür ihr auch an dieser Stelle gedankt sei.