



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Joh. Müller's Lehrbuch der kosmischen Physik

Müller, Johann Heinrich Jacob

Braunschweig, 1894

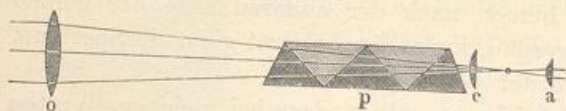
140. Einfluss der räumlichen Bewegung der Sterne auf ihr Spectrum

[urn:nbn:de:hbz:466:1-96939](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-96939)

Ann. CXX, 1863). Nach diesem Princip construiren Herrmann und Pfister in Bern Spectroskope ohne Ablenkung mit zwei zerstreuenden Flintglas- und zwei reflectirenden Crownglasprismen.

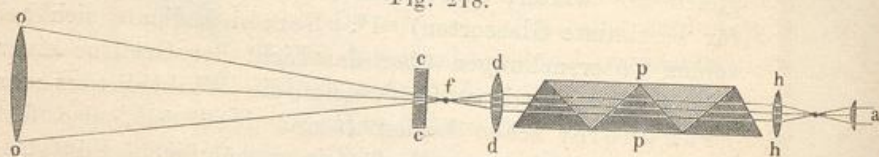
Fig. 219 stellt in $\frac{1}{3}$ der natürlichen Grösse die spectroscopische Vorrichtung dar, deren sich Zöllner zu der in §. 126 besprochenen Beobachtung der Sonnen-Protuberanzen bediente, und welche mittelst des Schraubengewindes bb an den Refractor angeschraubt wird. s ist

Fig. 217.



der Spalt, welcher durch eine in der Figur weggelassene, von aussen her in die Röhre AA hineingehende Schraube enger und weiter gestellt werden kann. Das Rohr, an dessen Ende der Spalt s angebracht ist, kann durch eine gleichfalls in der Zeichnung weggelassene Schraube in der Richtung seiner Axe vor- und rückwärts geschoben werden, um es genau in den Brennpunkt der Collimatorlinse L (12 cm Brennweite) zu bringen. Die parallel aus der Collimatorlinse austretenden Strahlen werden, nachdem sie das Prismensystem durchlaufen haben, durch die Ocularröhre F beobachtet, deren vordere Linse L' gleichfalls 12 cm Brennweite

Fig. 218.



hat. Um verschiedene Partien des Spectrums einstellen zu können, ist das Ocularrohr F um den Zapfen z drehbar, so dass die Richtung seiner Axe mittelst der Schraube h fein verstellt werden kann.

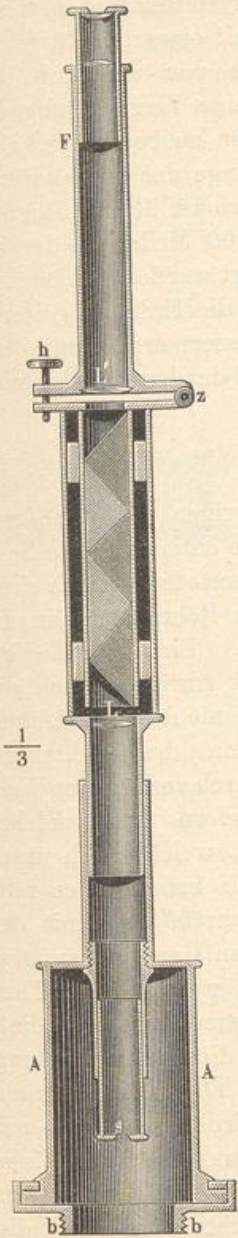
Das ganze Spectroskop lässt sich um seine Axe drehen, während die mit dem Gewinde bb verbundenen Theile in unveränderter Lage zum Refractor bleiben.

140 **Einfluss der räumlichen Bewegung der Sterne auf ihr Spectrum.** Wenn man sich irgend einer Tonquelle sehr rasch nähert, so wird das Ohr von den Schallwellen, welche der tönende Körper aussendet, in rascherer Aufeinanderfolge getroffen werden, als wenn die Entfernung zwischen Tonquelle und Beobachter unverändert bliebe, der Ton muss also durch die rasche Annäherung für unser Ohr erhöht werden. Umgekehrt muss der Ton erniedrigt werden, wenn die Entfernung zwischen Beobachter und Tonquelle rasch zunimmt.

Diese von Doppler entwickelte Consequenz ist durch Versuche auf Eisenbahnen, und zwar zuerst von Buys-Ballot auf das Vollständigste bestätigt worden.

Das eben angedeutete Princip ist aber für Lichtwellen ebenso richtig, wie für Schallwellen, der Versuch Doppler's aber, daraus die Farben mancher Sterne zu erklären, beruht auf einer irrigen Voraussetzung.

Fig. 219.



Doppler meinte nämlich, dass ein an und für sich weisser Stern bei rascher Annäherung gegen die Erde bläulich, bei rascher Entfernung dagegen röthlich erscheinen müsste.

Aber selbst wenn die gegenseitige Annäherung oder Entfernung zwischen einem Fixstern und der Erde von hinlänglicher Geschwindigkeit wäre, so liesse sich dadurch wohl eine Farbenveränderung monochromatischer, aber durchaus nicht eine Farbenveränderung weisser Lichtquellen erklären. Nehmen wir z. B. an, die Geschwindigkeit eines Sternes, welcher weisses Licht aussendet, sei gross genug, um sein Roth für uns in Orange, sein Orange in Gelb u. s. w., sein Violett in das unserem Gesichtssinne nicht wahrnehmbare Ultraviolett zu verwandeln, so würde das verschwundene Roth durch die Bewegung aus dem Ultraroth wieder hergestellt werden, das verwandelte Spectrum würde also wieder aus denselben Farben bestehen, wie das ursprüngliche, wir würden also ohne Prisma nach wie vor den Anblick eines weissen Sternes haben.

Wenn überhaupt eine relative Bewegung der Erde und der Fixsterne irgend einen Einfluss auf die Lichterscheinung der letzteren hat, so kann darüber nur die Spectralanalyse Aufschluss geben. Wenn bei hinreichend rascher Annäherung etwa das Gelb bei der Linie *D* in Grün verwandelt würde, so würde nun die Doppellinie *D* im Grün statt im Gelb zum Vorschein kommen, es müssten also alle dunklen Linien des Spectrums gegen das violette Ende hin verschoben werden. Die ursprüngliche Lage dieser Linien, wie sie der Geschwindigkeit Null entspricht, wird aber durch ein gleichzeitig beobachtetes irdisches Spectrum, z. B. durch das einer Natronflamme, gegeben.

Huggins hat nun mit einem weit stärkeren als dem oben beschriebenen Apparate eine praktische Ausführung dieser Idee versucht, und allerdings Andeutungen einer solchen Verschiebung, wenn auch noch keineswegs ein vollkommen sicheres Resultat erhalten. Es kann dies nicht auffallen, wenn man bedenkt,

dass die Geschwindigkeit der Annäherung oder Entfernung zwischen der Erde und einem Fixstern 43 geographische Meilen in der Secunde betragen muss (die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn beträgt nicht ganz fünf Meilen), um die Fraunhofer'schen Linien nur um den Abstand der beiden *D*-Linien zu verschieben. Bei der Mehrzahl der Sterne wird man aber höchstens $\frac{1}{10}$ dieser Geschwindigkeit erwarten dürfen.

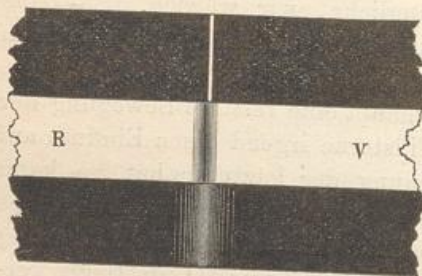
Dass wirklich die Entfernung eines Sternes von der Erde um 43 Meilen in der Secunde zunehmen müsste, um eine Verschiebung der Spectrallinien um den Abstand der beiden *D*-Linien zu bewirken, geht aus folgender Betrachtung hervor. — Die Wellenlänge der brechbareren *D*-Linie ist nach Angström 5889, die der anderen ist 5895 milliontel Millimeter. Die Geschwindigkeit des Lichtes, 42 000 Meilen in der Secunde, wie in einem der nächsten Paragraphen gezeigt werden soll, müsste nun durch die Geschwindigkeit x , mit welcher sich die Erde vom Sterne entfernt, im Verhältniss von 5889 zu 5895 vergrößert erscheinen, um eine Verschiebung der Spectrallinien um den Abstand der beiden *D*-Linien zu bewirken; wir haben also

$$5889 : 5895 = 42\,000 : 42\,000 + x,$$

woraus sich $x = 43$ ergibt.

Das von Huggins erhaltene Resultat bestand übrigens in Folgendem: Die *F*-Linie des Siriuusspectrums erscheint gegen die entsprechende helle

Fig. 220.



Linie des Wasserstoffspectrums einer Geissler'schen Röhre stark in die Breite gezogen. Eine solche Verbreiterung zeigt übrigens auch die fragliche helle Linie des Wasserstoffspectrums, wenn der elektrische Funken nicht durch verdünntes Wasserstoffgas, sondern durch solches hindurchschlägt, welches sich unter stärkerem Druck befindet; es fällt

aber die scharfe helle Linie des verdünnten Wasserstoffgases mit der Mitte des hellen Streifens im Spectrum des dichteren Gases zusammen. Nicht so bei der breiteren *F*-Linie des Siriuusspectrums, welche in der That etwas gegen das rothe Ende des Spectrums hin verschoben erscheint, wie man in Fig. 220 sieht. Huggins schätzte diese Verschiebung höchstens auf $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ des Abstandes der beiden *D*-Linien, woraus zu schliessen wäre, dass die Entfernung zwischen Erde und Sirius um ungefähr 10 geographische Meilen in der Secunde zunehme, was einer Verlängerung der Wellenlänge um 0,15 milliontel Millimeter entspricht. Da aber zur Zeit, in welcher Huggins seine Beobachtung machte, die Erde in ihrer Bahn sich um drei Meilen in der Secunde vom Sirius weg bewegte, so bleibt noch eine Geschwindigkeit von ungefähr sieben Meilen in der Secunde übrig, mit welcher sich Sirius von unserem Sonnensystem entfernt.

Ein Apparat von grösserer Vollkommenheit, als der von Huggins benutzte, ist von Zöllner vorgeschlagen worden, und mit dem Namen des Reversionsspectroskopes bezeichnet.

Bei diesem Instrumente sind zwei Amici'sche Prismensysteme so zusammengestellt, wie Fig. 221 andeutet, dass also die Farben im Spectrum des einen in entgegengesetzter Richtung auf einander folgen, wie im Spectrum des anderen. Durch eine hier nicht näher zu beschreibende Vorrichtung kann nun bewirkt werden, dass das Spectrum, welches das eine Prismensystem von einer entfernten Lichtquelle entwirft, gerade über dem durch das andere System erzeugten Spectrum derselben Lichtquelle steht. Findet nun durch die oben besprochene kosmische Bewegung eine Verschiebung der Spectrallinien statt, so müsste dieselbe in dem einen Spectrum die entgegengesetzte Richtung haben wie im anderen und deshalb leichter bemerkbar und messbar sein. Hätte man z. B. das Instrument so gestellt, dass die *F*-Linie des Sonnenspectrums in einem Spectrum genau in die Verlängerung des anderen fällt, so müssten

Fig. 221.



bei Beobachtung eines Sternspectrums in Folge der kosmischen Bewegung die beiden *F*-Linien auseinander treten (Pogg. Ann. CXXXVIII).

Benutzt man aber zur vorherigen Einstellung der *F*-Linien das Sonnenspectrum selbst, so muss man den Apparat auf die Mitte der Sonne richten, da bei den Rändern schon Verschiebungen der Linien in Folge der Rotation der Sonne um ihre Axe eintreten können.

Bei Weitem die genaueste Methode zur Bestimmung der kosmischen Bewegung der Gestirne bietet die Anwendung der Photographie dar. Wenn nämlich das Spectrum von Gestirnen mit sehr vollkommenen Apparaten photographirt wird, so treten in dem Bilde bei genügend langer Expositionszeit sehr viele feine Linien hervor, deren Lage mit grosser Schärfe ermittelt werden kann, und welche bei directer Beobachtung nicht wahrgenommen werden können. So hat Scheiner z. B. im Spectrum des Sirius allein 43 Linien ihrer Lage nach genau messen können, welche sämmtlich dem Eisenspectrum angehören, und in dem Spectrum der Capella sind zwischen 412,4 und 463,8 milliontel Millimeter Wellenlänge 255 Linien mit Linien des Sonnenspectrums identificirt. Von Vogel und Scheiner sind auf diese Weise die Spectren sehr vieler Fixsterne untersucht, und die Geschwindigkeit ihrer Bewegung im Visionsradius abgeleitet. Die Methode hat das Eigenthümliche, dass sie ganz unabhängig ist von der grösseren oder geringeren Entfernung des beobachteten Gestirnes von der Erde, und demnach bei den entferntesten Gestirnen ebenso zuverlässige Resultate erzielt, wie bei näher befindlichen. Ein besonderes Interesse aber hat die Anwendung der Methode auf physische Doppelsterne, die sich um ein gemeinsames Gravitationscentrum bewegen, ja, es haben auf diesem Wege Sterne als Doppelsterne nachgewiesen werden können, die bei directer Beobachtung nur einfach er-

scheinen. Wenn nämlich ein Stern einen dunklen Begleiter hat, so werden diese beiden Sterne um ihren gemeinsamen Schwerpunkt eine Bahn beschreiben, und, falls nicht die Bahnebene gerade senkrecht gegen unsere Gesichtslinie liegt, sich abwechselnd von uns entfernen und sich uns nähern. In dem Spectrum des sichtbaren Sternes wird daher eine Verschiebung der dunklen Linien bald nach der einen und bald nach der anderen Seite erfolgen, und eine genaue Beobachtung dieser Verschiebungen wird die Umlaufszeit des Sternes in seiner Bahn ergeben. So hat sich aus photographischen Aufnahmen des Spectrums des veränderlichen Sternes Algol, die auf dem astrophysikalischen Observatorium zu Potsdam gemacht sind, ergeben, dass die von Pickering aufgestellte, in §. 131 erwähnte Ursache des Lichtwechsels dieses Sternes in der That der Wirklichkeit entspricht; die Beobachtungen von Vogel und Scheiner haben ergeben, dass Algol sich vor seiner Verfinsterung von uns entfernt, sich dagegen nach der Verfinsterung uns wieder nähert. Für den dunklen Begleiter findet natürlich die entgegengesetzte Bewegung statt. Die grösste Geschwindigkeit Algols in der Richtung des Visionsradius beträgt 5,7 geographische Meilen in der Secunde, und dies würde also, da die Ebene der Bahn gegen die Gesichtslinie nur äusserst wenig geneigt sein kann, durchweg seine Geschwindigkeit in der Bahnbewegung sein, wenn wir annehmen könnten, dass die Bahn ein Kreis ist. Unter dieser Voraussetzung können wir aber auch die Dimensionen der Bahn des Algol berechnen. Denn seine Umlaufszeit ist gleich der Periode des Lichtwechsels oder gleich 2 Tagen 20 Stunden 48,9 Minuten oder gleich 247 734 Secunden. Da aber der Stern in einer Secunde 5,7 Meilen durchläuft, so ist der Umfang seiner Bahn gleich $5,7 \times 247\,734$ Meilen = 1 412 083,8 Meilen, woraus sich der Radius der Bahn zu 225 000 Meilen ergibt. Wir hatten ferner gefunden, dass der Radius des Begleiters = 0,764 des Radius des Algol betrüge; danach ergibt sich, beide Körper als kugelförmig vorausgesetzt, das Volumen des Begleiters ungefähr gleich der Hälfte des Volumens des Hauptsternes; und nehmen wir die Dichtigkeit beider Gestirne als gleich an, so würde dies auch das Verhältniss beider Massen sein. Dann muss aber der Begleiter doppelt so weit vom Schwerpunkte entfernt liegen als der Hauptstern, und wir bekommen die gegenseitige Entfernung beider Sterne zu 675 000 Meilen, oder ungefähr 5 Millionen Kilometern, während die Entfernung des der Sonne am nächsten befindlichen Planeten Mercur von der Sonne 58 Millionen Kilometer beträgt.

Ausserdem sind wir aber auch im Stande, die Summe der Massen der beiden Gestirne mit Hülfe der Gleichung (A), §. 105 zu berechnen.

Es sei die Masse des Algol = M , die seines Begleiters = m , die der Sonne = M' und die der Erde = m' ; ferner die Umlaufszeit des Algol = T , die der Erde = T' , die Entfernung des Algol von seinem Begleiter = R und die halbe grosse Axe der Erdbahn = R' , so haben wir in der Gleichung (A) zu setzen:

$$\begin{aligned}
 T &= 2,8673 \text{ Tagen,} \\
 T' &= 365,256 \text{ „} \\
 R &= 5 \text{ Millionen Kilometer,} \\
 R' &= 149 \text{ „} \quad \quad \quad \text{„}
 \end{aligned}$$

und erhalten

$$\frac{M + m}{M' + m'} = \frac{T'^2 R^3}{T^2 R'^3} = 0,613.$$

Da die Masse m' der Erde verschwindend klein gegen die der Sonne ist, so finden wir, dass die Summe der Massen der beiden Algol-Sterne etwa 0,6 der Sonnenmasse beträgt, und da die Masse des hellen Sternes von uns doppelt so gross angenommen wurde, wie die des dunklen Begleiters, so ergeben sich die Massen der beiden Sterne resp. zu 0,4 und 0,2 der Sonnenmasse.

Als Vogel im April 1889 zwei photographische Aufnahmen des Spectrums von α Virginis (Spica) machte, fand er eine ungewöhnlich starke Verschiebung der Wasserstofflinien in der Richtung nach dem Violet. Eine dritte Aufnahme, welche zwei Tage später gemacht wurde, zeigte dagegen eine Verschiebung derselben Linien nach Roth. Weitere Untersuchungen haben ergeben, dass auch dieser Stern einen unsichtbaren Begleiter hat, und dass beide eine Bahn um ihren gemeinsamen Schwerpunkt beschreiben. Die Periode ergab sich hier zu 4 Tagen und 0,3 Stunden, und die grösste Geschwindigkeit im Visionsradius zu 12 geographischen Meilen. Unter der Voraussetzung, dass die Bahn kreisförmig und ihre Ebene nicht stark gegen die Gesichtslinie geneigt ist, ergibt sich auf ähnliche Weise, wie wir bei Algol gefunden haben, der Abstand des sichtbaren Sternes vom gemeinsamen Schwerpunkte zu 662 000 geographischen Meilen. Macht man die weitere Voraussetzung, dass der Begleiter die gleiche Masse wie der sichtbare Stern hat, so findet sich die Masse eines jeden der beiden Körper zu etwas mehr als der Sonnenmasse. Auch bei dem Sterne β Orionis haben sich periodische Bewegungserscheinungen ergeben, der Betrag derselben hat sich aber nicht mit Sicherheit ableiten lassen.

Die Duplicität dieser letztgenannten Sterne ist also aus den periodischen Verschiebungen der Spectrallinien erkannt worden, ohne dass die Sterne mit dem Fernrohr als doppelt gesehen werden können, weil die Begleiter eine zu geringe Lichtstärke haben. Es giebt aber bekanntlich viele Doppelsterne, die deutlich als solche erkannt werden können, und bei welchen jeder der Componenten ein deutlich wahrnehmbares Spectrum zeigte. Im Allgemeinen werden diese Spectren, wenn die Componenten sehr nahe zusammenstehen, nicht von einander zu trennen sein; wenn sie sich aber um ihren gemeinsamen Schwerpunkt bewegen, so wird, falls die Bahnebene nicht gerade senkrecht zu der Gesichtslinie steht, abwechselnd der eine der Sterne sich der Erde nähern, während der andere sich von ihr entfernt. Es werden also die Spectrallinien der beiden

Spectra Verschiebungen, aber nach verschiedenen Richtungen erfahren, und dies wird sich dadurch kenntlich machen, dass die Linien des gemeinsamen Spectrums sich zu Zeiten verdoppeln. Solche Verdoppelungen der Spectrallinien werden auch eintreten, wenn beide Componenten so nahe zusammenstehen, dass sie sich im Fernrohr nicht mehr trennen lassen, wenn nur jeder derselben so hell ist, dass er ein wahrnehmbares Spectrum ergiebt. In der That haben sich manche Sterne nur durch die zeitweilige Verdoppelung ihrer Spectrallinien als Doppelsterne erwiesen, während ihre Duplicität auf anderem Wege nicht erkannt werden konnte.

Die Spectra der sogenannten planetarischen Nebel bestehen aus einzelnen hellen Linien. Diese Spectra, sowie überhaupt diejenigen der

Fig. 222.



Gasnebel sind im Verhältniss zu der grossen Lichtschwäche dieser Nebel leicht zu sehen, weil sich das gesammte Licht hier auf wenige helle Linien concentrirt. So ist denn auch von Keeler bei mehreren planetarischen Nebeln eine Bewegung in der Gesichtslinie nachgewiesen worden.

Durch die Verschiebung der Fraunhofer'schen Linien hat Lockyer nun auch die Bewegung von Gasmassen in der Sonnenatmosphäre constatirt. Wurde nämlich das Telespectroskop auf Flecken in der Mitte der Sonnenscheibe gerichtet, so zeigte die Wasserstofflinie *F* grosse Unregelmässigkeiten. An einigen Stellen erschien sie dunkel auf hellem, an anderen Stellen dagegen hell auf dunklem Grunde. In den hellen Partien sowohl wie in den dunklen zeigte sie sich theilweise nicht nur breiter, sondern auch entweder nach der rothen oder nach der violetten Seite des Spectrums hin gebogen, wie dies Fig. 222 anschaulich machen soll. — Aehnliche Biegungen zeigte auch die rothe Wasserstofflinie *C*, an welcher dagegen die Veränderungen in der Breite kaum wahrzunehmen sind.

Aus der Grösse der Ausbiegung, wie sie in verschiedenen Fällen beobachtet wurde, ergab sich eine Geschwindigkeit von 8 bis 25 Meilen für den aufsteigenden oder niederstürzenden Gasstrom, ein Resultat, welches mit dem in §. 127 besprochenen Resultate der Zöllner'schen Rechnung sehr gut harmonirt.

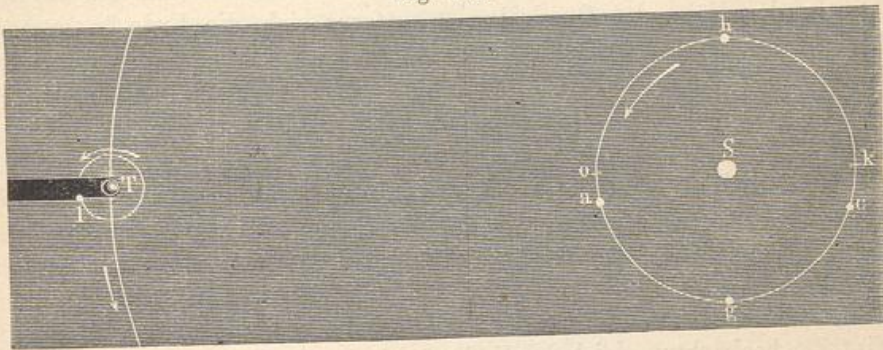
Während in der Mitte der Sonnenscheibe nur die vertical rasch aufsteigenden oder niederstürzenden Gasströme eine Verschiebung von Fraunhofer'schen Linien bewirken können, geschieht dies am Sonnenrande nur durch Strömungen, welche parallel der Sonnenoberfläche von der Erde weg oder gegen die Erde hin gerichtet sind. Solche Bewegungen in der Sonnenatmosphäre werden durch das Spectroskop dadurch merk-

lich gemacht, dass die hellen Linien der Chromosphäre nicht die geradlinigen Fortsetzungen der entsprechenden dunklen Fraunhofer'schen Linien des Sonnenrandes sind, sondern dass sie etwas nach der einen oder anderen Seite hin abgebogen erscheinen. Lockyer hat solche Verschiebungen beobachtet, welche einer Geschwindigkeit des Gasstromes von acht bis neun Meilen in der Secunde entsprechen.

Während das Spectroskop für eine bestimmte Stelle des Sonnenrandes einen sich der Erde nähernden Gasstrom anzeigte, ergab sich, dass an einer 340 Meilen davon entfernten Stelle des Sonnenrandes ein sich mit gleicher Geschwindigkeit von der Erde entfernender Gasstrom herrschte, man hatte es also hier offenbar mit einem gewaltigen Wirbelsturm (Cyklon) von 340 Meilen Durchmesser zu thun.

Geschwindigkeit des Lichtes. Vergeblich hatten die Mitglieder der florentinischen Akademie durch Versuche auf der Erde die Geschwindigkeit des Lichtes zu ermitteln versucht. Erst dem dänischen

Fig. 223.



Astronomen Römer gelang es durch seine fleissigen Beobachtungen der Jupitertrabanten, die er in den Jahren 1675 und 1676 mit Cassini dem Aelteren auf der Sternwarte zu Paris anstellte, dieselbe zu bestimmen.

In §. 84 sind bereits die Verfinsterungen der Jupitertrabanten besprochen worden. Die Geschwindigkeit, mit welcher sich das Licht im Weltraume fortpflanzt, ergibt sich in folgender Weise aus einer genauen Beobachtung der Momente des Eintritts oder des Austritts der Trabanten in oder aus dem Schatten des Jupiter.

In Fig. 223 stelle S die Sonne, der um S gezogene Kreis die Erdbahn und T den Jupiter mit der Bahn eines seiner Trabanten dar. Während sich die Erde von o bis k bewegt, also während der Zeit zwischen der Opposition des Jupiter und der nächsten Conjunction können wir von der Erde aus sehen, wie die Trabanten auf der Ostseite des Schattens aus demselben austreten; während der Zeit zwischen der Conjunction aber bis zur nächsten Opposition können wir die Eintritte des Trabanten in den Jupiterschatten beobachten; während dieser Zeit sehen wir den Trabanten westlich vom Jupiter verschwinden.