

Ueber Aberration.

Von

PROF. D^R. THEODOR v. OPPOLZER.

Vortrag, gehalten am 13. December 1882.

Nach dem Vortrage bearbeitet von Ferdinand Anton, Observator
der k. k. Gradmessung.

Mit elf Holzschnitten.

Das Licht hat eine endliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Diese Eigenschaft des Lichtes ruft Erscheinungen hervor, welche man unter dem Namen der Aberrationserscheinungen zusammenfasst, und welche den Gegenstand der folgenden Betrachtungen bilden sollen.

In der Astronomie waren diese Erscheinungen schon lange bekannt, und die Astronomen hatten dieselben auf ihre wahre Ursache zurückgeführt, bevor es gelungen war, durch das physikalische Experiment direct nachzuweisen, dass die Lichtgeschwindigkeit nicht unmessbar gross sei; es liegt auch in der Natur der Sache, dass die Astronomie zuerst auf den hier angeführten Umstand aufmerksam werden musste, da alle irdischen Entfernungen, welche dem Physiker für seine Experimente zur Verfügung stehen, doch verschwindend klein sind gegen die Räume, über welche sich die astronomische Forschung zu erstrecken hat.

Ich will in dem heutigen Vortrage in deductiver Weise vorgehen, also zunächst jene entscheidenden Experimente der Physiker vorführen, welche die endliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes nicht nur schlagend nachweisen, sondern auch messen, und dann

die aus diesem Umstande folgenden Phänomene theoretisch erschliessen; es soll hiebei von dem Wesen des Lichtes, welches man auf Schwingungen des Aethers zurückführen kann, ganz abgesehen werden.

Fizeau war der erste Physiker, welcher die Geschwindigkeit des Lichtes durch das Experiment mit Erfolg bestimmt hat; ich will hier die Grundzüge dieses Experimentes vorführen, ohne auf unwesentliche Einzelheiten einzugehen, und ohne die Anordnung, welche Fizeau gewählt hat, im Detail vollständig einzuhalten.

Man denke sich eine kreisrunde Scheibe von etwa 1 Meter Durchmesser; die Scheibe sei nahe der Peripherie in regelmässigen Intervallen durchlöchert, die Löcher seien gleich gross und so angeordnet, dass ihre Mittelpunkte concentrisch mit der Peripherie der Scheibe gelegen sind; ausserdem sollen die Löcher gleichweit von einander entfernt und je zwei derselben einander diametral gegenüberliegen, worauf es wesentlich ankommt. Die Scheibe sei ferner um eine durch ihren Mittelpunkt gehende, zur Scheibenfläche senkrechte Achse drehbar, und durch geeignete Uebersetzungen und sonstige mechanische Vorkehrungen soll es möglich sein, nicht nur die Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe in sehr bedeutendem Masse zu steigern, sondern auch die Zahl der Scheibenumdrehungen in einer bestimmten Zeit genau anzugeben.

Die nachstehende Figur 1 gibt eine Vorderansicht der durchlöcherten Scheibe; es sind *A* und *B* zwei correspondirende, d. h. einander diametral gegenüberstehende Löcher, und bei *X* hat man sich senkrecht zur Zeichnungs-

Fig. 1.

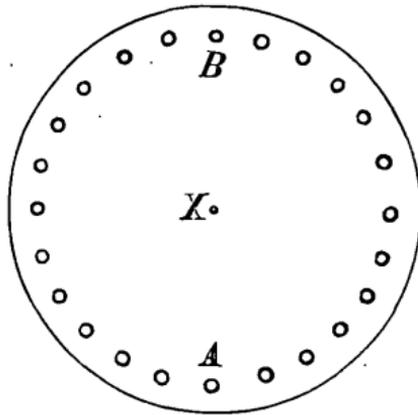
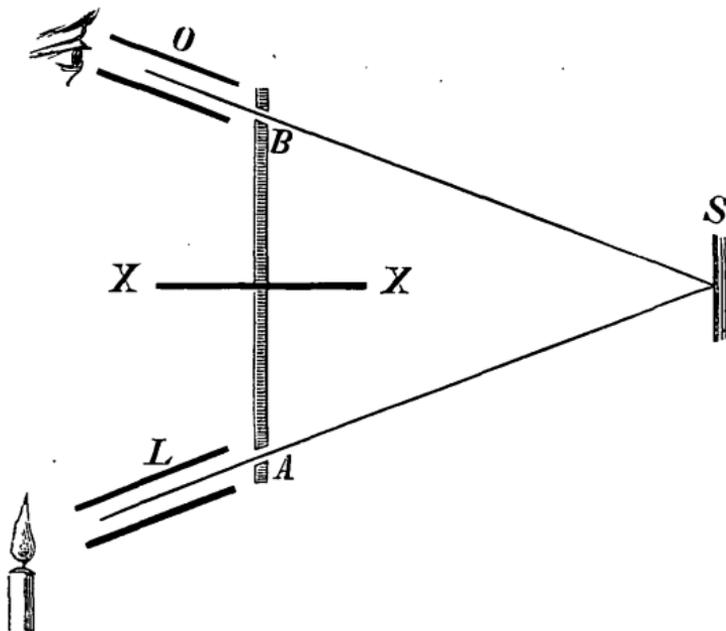


Fig. 2.



ebene die Umdrehungsachse der Scheibe zu denken. Fig. 2 gibt eine schematische Darstellung des mit der Scheibe auszuführenden Experimentes, wie dasselbe gleich nachher näher beschrieben werden soll; dabei ist die Scheibe jetzt in der Seitenansicht, und zwar in einem durch die Drehungsachse XX und zwei correspondirende Löcher A und B gehenden Querschnitte gedacht. Vor der Scheibe befindet sich einerseits eine Lichtquelle, welche durch ein Rohr L hindurch einen Strahl gegen den hinter der Scheibe gelegenen Spiegel S wirft, sobald sich, wie in der Zeichnung, dem Rohre gegenüber gerade eines der Scheibenlöcher vorfindet; auf der anderen Seite der Scheibe, und zwar ebenfalls vor derselben, möge an correspondirender Stelle ein Beobachtungsrohr angebracht sein, nach welchem der Spiegel S den aufgefangenen Strahl bei entsprechender Stellung hinwirft, so dass der Strahl auf dem Wege ASB in das vor dem Rohre O befindliche Auge des Beobachters gelangt.

Befindet sich zunächst die Scheibe in Ruhe, so sieht der Beobachter bei der durch die Fig. 2 gegebenen Anordnung die Lichtquelle ununterbrochen in Folge der Reflexion bei S , und dasselbe wird auch bei rotirender Scheibe stets geschehen, so oft sich vor dem Rohre bei L ein Loch befindet, weil dann stets das correspondirende Loch dem beobachtenden Auge bei O gegenüber steht. So oft dagegen den Röhren L und O die nicht durchlöchernten Zwischenpartien der Scheibe gegenüberstehen, erhält der Beobachter kein Licht von der Lichtquelle; dasselbe kann in diesem Falle weder von L aus zu dem Spiegel

gelangen, noch auch könnte es von *S* aus nach *O* reflectirt werden, da jetzt an den Stellen *A* und *B* der Scheibenkörper den Durchgang des Lichtes verhindert.

Denkt man sich nun zunächst die Scheibe sehr langsam gedreht, so wird der Beobachter abwechselnd bald das von *L* ausgehende Licht sehen, bald wird es verschwinden, je nachdem an den Röhren *L* und *O* gerade eine durchbrochene oder eine undurchbrochene Stelle der Scheibe vorübergeht.

Wird die Rotation so weit beschleunigt, dass in der Secunde mindestens zehn Löcher an dem Auge des Beobachters vorübergeführt werden, so wird derselbe die Lichtquelle continuirlich wahrnehmen. Diese Thatsache erklärt sich aus dem Umstande, dass Lichteindrücke in unserem Auge nicht momentan mit der sie erregenden Ursache verschwinden. Von der Richtigkeit dieser Behauptung kann man sich durch ein sehr leicht anzustellendes Experiment, welches übrigens wohl Jedermann mehrfach in seiner Jugend angestellt haben wird, überzeugen. Bewegt man im Dunkeln ein noch glimmendes Zündholz rasch im Kreise herum, so wird man nicht mehr den glimmenden Punkt als solchen wahrnehmen, sondern eine leuchtende Curve, die um so länger wird, je rascher man das glimmende Zündholz bewegt; wir sehen also den Lichtpunkt nicht nur an jener Stelle, an welcher er sich momentan thatsächlich befindet, sondern der Reihe nach an allen Punkten, die er in dem letzten, allerdings nur Bruchtheile einer Secunde betragenden Zeitabschnitte eingenommen hat, weil der durch das

Licht im Auge hervorgerufene Reiz die hervorrufende Ursache um einige Augenblicke überdauert.

Noch zutreffender für unsere vorliegende Erklärung erweist sich das folgende Experiment: Fährt man rasch an einer Bretterplanke vorbei und schliessen die einzelnen Bretter nicht vollkommen an einander an, so dass ein schmaler Zwischenraum zwischen je zwei Brettern vorhanden ist, so sieht man, besonders wenn die Gegend hinter der Planke hell erleuchtet ist, dieselbe fast so, als ob die Planke gar nicht vorhanden wäre; man muss hierbei nur bestrebt sein, das Auge auf einen fernen, hinter der Planke befindlichen Gegenstand zu fixiren; ehe der Eindruck, welchen das Auge durch die erste Spalte erhalten hat, sammt der Nachwirkung verschwunden ist, erneuert die zweite Spalte den Eindruck, und da sich dieser Vorgang bei jeder folgenden Spalte wiederholt, erhalten wir ein continuirliches Bild der hinter der Planke befindlichen Gegenstände; die bekannten stroboskopischen Scheiben gehören in dasselbe Erscheinungsgebiet.

Rotirt also in unserem oben begonnenen Experimente die Scheibe so schnell, dass bereits das nächste Loch vor dem Auge des Beobachters vorbeigeführt wird, ehe der Reiz des ersten Bildes im Auge verschwunden ist, so wird man die Lichtquelle nicht mehr intermittirend, sondern continuirlich wahrnehmen; allerdings werden die Zeitintervalle zwischen den einzelnen Eindrücken kürzer als etwa ein Zehnthel einer Secunde sein müssen, um diese Continuität hervorzurufen, die Scheibe wird also verhältnissmässig ziemlich rasch ro-

tiren müssen; dennoch ist die hier geforderte Bewegung langsam zu nennen im Vergleich zu jenen Geschwindigkeiten, die wir im weiteren Verlaufe des Experimentes von der Scheibe fordern werden.

Lassen wir jetzt die Scheibe immer rascher und rascher rotiren, so wird sich zunächst an der bisher beobachteten Erscheinung nichts ändern, und es könnte sich auch bei beliebig gesteigerter Geschwindigkeit der Scheibenrotation nichts mehr ändern, wenn sich das Licht unendlich rasch fortpflanzen würde.

Anders gestaltet sich aber der Fortgang des Experimentes in dem Falle, wenn die Lichtgeschwindigkeit nicht unendlich gross ist. Denn dann wird das Licht eine gewisse, wenn auch sehr kleine Zeit brauchen, um den Weg ASB zurückzulegen, und wenn wir in der Lage sind, die Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe beliebig zu steigern, so wird diese Geschwindigkeit zunächst einmal derart zugenommen haben müssen, dass ein Lichtstrahl, der in einem bestimmten Momente bei A durch ein Loch der rotirenden Scheibe hindurchgegangen ist, das correspondirende Loch bei B zum Austritte gegen O nicht mehr vorfindet, da dasselbe von seiner Stelle vor dem Beobachtungsrohre bei B wegrotiren konnte, während das Licht den Weg ASB zurücklegte. Wird demnach diese bestimmte Geschwindigkeit der Scheibe beibehalten, so wird der Beobachter keinen Lichteindruck mehr erhalten können, weil in der eben beschriebenen Weise jeder der Lichtstrahlen, der von L aus durch eines der Scheibenlöcher seinen Weg nach S nehmen konnte,

nach Zurücklegung des Weges ASB bereits zu spät an der Stelle bei B ankommt und in Folge dieser Verspätung an jener Stelle von der Scheibe aufgefangen wird, da sich unter den gegebenen Verhältnissen bei Ankunft des Lichteindruckes nie mehr ein Loch an jener Stelle befinden kann.

Es ist nun dem Physiker Fizeau thatsächlich gelungen, die hier unter Voraussetzung einer endlichen Lichtgeschwindigkeit durch blosse Schlussfolgerungen abgeleiteten Erscheinungen durch das Experiment nachzuweisen, indem er es durch entsprechende Steigerung der Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe dahin brachte, dass das Gesichtsfeld seines Beobachtungsrohres vollständig verdunkelt wurde. Damit ist nun zur Evidenz bewiesen, dass das Licht sich nicht unendlich rasch fortpflanzt, aber es genügt das Experiment bisher noch nicht, um die Geschwindigkeit des Lichtes wirklich zu messen.

Lassen wir jedoch die Geschwindigkeit der Scheibenrotation nochmals weiter und weiter zunehmen, so werden wir endlich eine Geschwindigkeit erreichen, vermöge welcher die Scheibe in derselben Zeit, in welcher das Licht den Weg ASB zurücklegt, gerade um die Distanz zweier Löcher fortrotirt; nun trifft der in irgend einem Momente durch ein Loch bei A eingetretene Lichtstrahl nach Zurücklegung des Weges ASB bei B zwar nicht dasjenige Loch, welches demjenigen, durch das er eintrat, diametral gegenüberliegt, wohl aber das in der Reihe darauf folgende; und wenn diese bestimmte Schei-

bengeschwindigkeit wieder continuirlich beibehalten wird, so wird jeder durch ein Loch bei A eintretende Lichtstrahl nach Zurücklegung des Weges ASB bei B in gleicher Weise ein Loch zum Austritte nach O hin vorfinden, das Gesichtsfeld des Beobachtungsrohres muss dem Beobachter also wieder hell erscheinen.

Auch diese Erscheinung hat Fizeau durch das Experiment bestätigt gefunden; er gelangte sogar dahin, durch weitere Steigerung der Rotationsgeschwindigkeit das Licht wieder verschwinden und später wieder aufleuchten zu machen, sobald die Geschwindigkeit der Rotation so gross geworden war, dass die Scheibe während der Zeit, die das Licht zur Zurücklegung des Weges ASB braucht, um die doppelte Distanz zweier Löcher fortrotiren konnte.

Mit dem Stadium des Versuches nun, in welchem der Beobachter das Gesichtsfeld seines Beobachtungsrohres, welches sich bei einer bestimmten Geschwindigkeit der Scheibe verdunkelt hatte, wieder hell sieht, ist man auf dem Punkte angelangt, die Lichtgeschwindigkeit thatsächlich zu messen. Denn in diesem Stadium des Experimentes hat, wie schon früher gesagt wurde, die Scheibe eine solche Geschwindigkeit erlangt, dass dieselbe um die Distanz zweier Löcher in derselben Zeit weiterrotirt, während welcher das Licht den Weg ASB zurücklegt. Ist die Scheibe mit einem Zählwerke verbunden, welches die Umdrehungen derselben während einer bestimmten Zeit zählt, so kann man leicht die Zeit angeben, während welcher sich die Scheibe um die Di-

stanz zweier Löcher gedreht hat, da diese Distanz und die Scheibendimensionen bekannt sind. Dieses ist aber zugleich die Zeit, welche das Licht braucht, um den Weg ASB , dessen Länge man messen kann, zurückzulegen, und damit ist die Lichtgeschwindigkeit gegeben.

Die von Fizeau angegebenen Methoden sind wohl wesentlich noch durch Foucault, Cornu und Michelson verbessert worden, doch haben alle Methoden in naher Uebereinstimmung für den Weg, den das Licht in einer Secunde zurücklegt, den Werth von 300.000 Kilometern ergeben. Da der Erdumfang etwa 40.000 Kilometer beträgt, so kann das Licht denselben in einer Secunde etwa sieben und einhalbmal zurücklegen. Man kann aus diesem Umstande ermessen, mit welcher enormen Schnelligkeit die Scheibe bewegt werden musste, um das obige Resultat zu erlangen, und welche hohe Anforderungen an die Festigkeit und Leichtbeweglichkeit der Achsen gestellt werden mussten, da eine sehr gleichmässige Rotation ein unumgängliches Erforderniss der Methode ist. Nehmen wir den Abstand der Scheibe vom Spiegel mit 15 Kilometern an, so dass der ganze Weg ASB eine Länge von 30 Kilometern hat, so braucht das Licht, um diesen Weg zu durchheilen, nur den zehntausendsten Theil einer Secunde; in diesem unseren Sinnen unmessbar kleinen Zeitraume muss die Scheibe um die Distanz zweier Löcher weiter bewegt worden sein; beträgt diese Distanz also etwa 10 Millimeter, so muss die Scheibe an der betreffenden Stelle eine solche Rotationsgeschwindigkeit haben, dass sich ein Scheibenpunkt, wenn auch im Kreise,

in einer Secunde um 100 Meter (nämlich 10.000mal 10 Mm.) fortbewegt; da der Durchmesser der Scheibe einem Meter gleich angenommen wurde, so muss sich die Scheibe unter diesen Verhältnissen in einer Secunde 32mal um ihre Achse gedreht haben. Man sieht, dass es nicht leicht ist, den Forderungen der Fizeauschen Methode zu genügen, und nur den Fortschritten der modernen Mechanik ist es zu danken, dass die Experimente gelungen sind.

Indem es also keinem Zweifel unterliegt, dass dem Lichte eine endliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit zugeschrieben werden muss, ergibt sich als erste Folgerung aus diesem Umstande, dass wir die Körper an jener Stelle sehen, an welcher sie waren, als das Licht von ihnen ausgegangen ist. Würde ein Körper zu leuchten anfangen oder aufhören, so erhalten wir von dem Aufleuchten sowohl, als auch von dem Erlöschen verspätet Kunde, und die Verspätung entspricht der Zeit, welche das Licht braucht, um zu uns zu gelangen. Es ist bekannt, dass es Fixsterne mit veränderlicher Leuchtkraft gibt, sowie auch, dass sich die Fixsterne in Entfernungen von unserer Erde befinden, dass selbst das Licht ungeachtet seiner Geschwindigkeit von 300.000 Kilometern in der Secunde Jahre braucht, um aus jenen Entfernungen zu uns zu gelangen. Die Ursache der Lichtschwankungen bei den veränderlichen Sternen sind bisher nicht genügend ergründet, doch scheinen diese Ursachen, besonders bei den sogenannten neu aufleuchtenden Sternen in Katastrophen zu suchen zu sein, die mit mächtigen Licht-

entwicklungen einhergehen; wenn wir das Resultat dieser Katastrophen beobachten, so sind wir sehr verspätet zu ihrer Kenntniss gelangt, da dieselben sich mindestens vor Jahren vollzogen haben.

Die Fixsternentfernungen führen, wenn wir dieselben in unseren gebräuchlichen irdischen Maassen ausdrücken, auf Zahlen, die uns kaum fassbar sind; man hat deshalb für solche Entfernungen eine Maasseinheit gewählt, welche mit dem hier behandelten Gegenstande zusammenhängt, und nennt ein Lichtjahr jene Entfernung, welche der Lichtstrahl im Laufe eines Jahres zu durchheilen vermag. Es ist dieses eine der Maasseinheiten für die Entfernungen im Weltraume, eine der Einheiten, zu denen man greifen muss, wenn man das Gebiet unseres Sonnensystems verlässt. ¹⁾

Gegen die Entfernungen nun, von denen eben die Rede gewesen, sind die Entfernungen innerhalb unseres Sonnensystems verhältnissmässig klein zu nennen, und es werden deshalb auch die Lichtverzögerungen, die im Sonnensysteme auftreten, nur mässige sein können; in der That beschränkt sich selbst für Neptun, den entferntesten der uns bekannten Planeten, die Lichtverspätung auf einige wenige Stunden.

¹⁾ Einige der verlässlichsten Entfernungsbestimmungen haben zu folgenden Resultaten geführt:

Entfernung von α Canis maj. (Sirius)	gleich	16·9	Lichtjahren
„ „ α Lyrae (Wega)	„	18·1	„
„ „ α Bootis (Arcturus)	„	25·7	„
„ „ α Ursae min. (Polarstern)	„	60·3	„

Bei den Körpern unseres Sonnensystems kommt nun der Umstand in Betracht, dass alle Planeten oder vielmehr alle dem Sonnensysteme angehörigen Körper in mehr oder minder rascher relativer Bewegung begriffen sind. Wenn wir also den Ort eines Planeten, d. h. seine scheinbare Stellung gegen die benachbarten Fixsterne angeben, so muss auch die Zeit angegeben werden, zu welcher sich der Planet in dieser Stellung befunden hat, es muss die Ortsangabe durch eine Zeitangabe vervollständigt werden: Vermöge der endlichen Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes sehen wir die Körper aber nicht an dem Orte, an welchem sie sich zur Zeit der Beobachtung wirklich befinden, sondern an dem Orte, an welchem sie waren, als das Licht von ihnen ausgegangen ist; ist uns die Entfernung des beobachteten Himmelskörpers bekannt, so können wir mit der bekannten Lichtgeschwindigkeit leicht die Zeit berechnen, die das Licht gebraucht haben muss, um von dem Körper zum Beobachter zu gelangen; zieht man diesen Zeitbetrag von der Beobachtungszeit ab, so erhält man offenbar den Zeitmoment, in welchem das Licht von dem Körper ausging, also die zu dem beobachteten Orte wirklich gehörige Zeitangabe.

Man hat die hier besprochene Correction der Beobachtungszeiten unzweckmässiger Weise die Planetenaberration genannt, unzweckmässig deshalb, weil diese Correction alle Himmelskörper trifft, also beispielsweise die Kometen und Satelliten in gleicher Weise wie die Planeten.

Die Entfernungen im Sonnensysteme werden in der Regel in Einheiten der mittleren Entfernung der Erde

von der Sonne angesetzt; wollen wir also die Zeit kennen lernen, in welcher das Licht diese Entfernung durchheilt, so muss das Verhältniss dieser Entfernung zum Kilometer bekannt sein, da der früheren Zahlenangabe für die Lichtgeschwindigkeit der Kilometer zu Grunde liegt. In einem früheren Vortrage ist durch Herrn Ingenieur Klein auseinandergesetzt worden, dass die Ermittlung dieser Relation ein Hauptzweck der Beobachtung von Vorübergehungen der Venus vor der Sonnenscheibe ist. Der gegenwärtigen Generation war die Gelegenheit geboten, das seltene Phänomen eines Venusdurchganges innerhalb weniger Jahre zweimal zu beobachten, und es haben in richtiger Würdigung der Wichtigkeit des Phänomens für die Wissenschaft fast alle Culturstaaten zahlreiche und kostspielige Expeditionen ausgerüstet, um die Gelegenheit zur Beantwortung einer der wichtigsten Fragen der Astronomie wohl auszunutzen, umsomehr, als ein Venusdurchgang im ganzen folgenden Jahrhunderte nicht wieder eintritt; leider ist es nicht gelungen, eine Betheiligung Oesterreichs an diesem Unternehmen zu erwirken, obwohl es an rechtzeitiger Anregung von Seiten der Astronomen nicht gefehlt hat. Nach den bisher eingelaufenen Nachrichten sind viele der auswärtigen Expeditionen vom Glücke begünstigt gewesen und haben das Phänomen des 6. December mit Erfolg beobachtet; für Wien wäre der Durchgang in seinen ersten Phasen vor dem Sonnenuntergange sichtbar gewesen, die Ungunst der Witterung hat uns jedoch den seltenen Anblick entzogen.

Die bisher zur Bestimmung der Entfernung der Erde von der Sonne verwertheten Beobachtungen haben ergeben, dass die Erde in ihrem mittleren Abstände von der Sonne etwa 150 Millionen Kilometer von derselben entfernt ist; dividirt man diese Zahl durch den in Kilometern ausgedrückten Lichtweg einer Secunde, also durch 300.000, so erhält man diejenige Zahl von Secunden, die das Licht braucht, um die von den Astronomen für das Planetensystem benützte Maasseinheit zu durchheilen; man erhält so für die Zeit, die das Licht braucht, um von der Sonne zur Erde zu gelangen, die Zahl von 500 Secunden oder 8 Minuten 20 Secunden, und hat demgemäss die Entfernungen der Körper unseres Sonnensystems, wenn dieselben in Einheiten der Erdbahnhalbachse ausgedrückt sind, mit 500 zu multiplizieren, um die entsprechenden Aberrationszeiten in Zeitsecunden ausgedrückt zu erhalten.

Diejenigen Planeten, deren Bahnen die Erdbahn einschliessen, können, abgesehen von den geringen Neigungen dieser Bahnen, in ihrem Laufe um die Sonne auf zweierlei Art mit der Sonne und der Erde in eine und dieselbe Richtung zu liegen kommen, und zwar einmal in der Reihenfolge: Planet, Erde, Sonne, und einmal in der Reihenfolge: Planet, Sonne, Erde; die erstere Stellung, in welcher der betrachtete Planet der Erde am nächsten steht, ist die sogenannte Opposition des Planeten, in der zweiten Stellung dagegen, welche man die Conjunction nennt, ist die Erde um den ganzen Durchmesser der Erdbahn weiter von dem Planeten entfernt als in der Oppositionsstellung.

Neptun befindet sich zur Zeit der Opposition etwa in einer Entfernung von 29 der oben definirten Einheiten von der Erde, das Licht braucht unter diesen Verhältnissen also 4 Stunden, 1 Minute und 40 Secunden, um von Neptun zur Erde zu gelangen, und diese Zeit wird sich auf 4 Stunden 18 Minuten 20 Secunden erhöhen, wenn sich der Planet in Conjunction befindet, eben weil die Erde von dem Planeten dann um den Erdbahndurchmesser, den das Licht in zweimal 8 Minuten 20 Secunden zurücklegt, weiter entfernt ist. Da die Planetenbahnen alle nahezu kreisförmig sind, so wird der hier auftretende Unterschied von 16 Minuten 40 Secunden in den der Opposition und der Conjunction zugehörigen Aberrationszeiten für alle Planeten nahezu constant sein, wenn auch die Aberrationszeiten selbst für die übrigen Planeten viel kleiner ausfallen. Ich lege auf die eben gemachten Auseinandersetzungen besonders Gewicht, da dieselben für das Verständniss des Folgenden von wesentlicher Bedeutung sind; denn wir wollen nunmehr zu dem ganz speciellen Phänomen übergehen, welches zuerst auf die Vermuthung geführt hat, dass die Geschwindigkeit des Lichtes nicht unendlich gross sein könne.

Jupiter, der grösste Planet unseres Sonnensystems, ist von vier Satelliten umgeben, welche demselben relativ sehr nahe stehen und ihn in rascher Bewegung umkreisen, und zwar in Bahnebenen, die nicht sehr wesentlich von jener des Jupiter selbst verschieden sind.

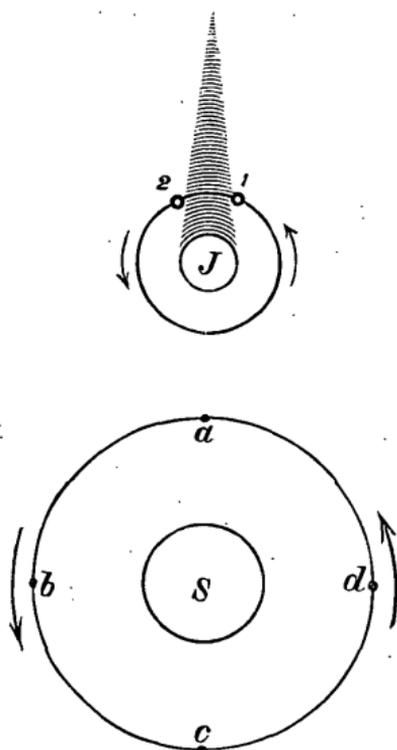
Jupiter sowohl, als auch seine Satelliten sehen wir der Hauptsache nach, sowie alle übrigen Planeten nur

durch das von ihrer Oberfläche reflectirte Sonnenlicht; tritt also ein Satellit zwischen die Sonne und den Jupiter, so wird ersterer eine kreisförmige Schattenscheibe auf den Jupiter werfen; tritt der Satellit aber hinter den Jupiter in dessen Schattenkegel, so wird er uns zu verlöschen scheinen und erst wieder aufleuchten, wenn er in Folge seiner Bahnbewegung den Schattenkegel wieder verlässt; von diesem Verlöschen und Aufleuchten erhalten wir, entsprechend der Aberrationszeit, verspätet Kunde; dabei gibt uns die Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden Eintrittten oder Austritten eines der Satelliten näherungsweise seine Umlaufszeit an. In der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts; also zu einer Zeit, in welcher über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes nichts bekannt war, erschien nun die genaue Bestimmung der Umlaufzeiten der Jupitersmonde nicht bloß theoretisch interessant, sondern auch praktisch wichtig, weil man die Zeitmomente der Verfinsterungen dieser Monde zur Bestimmung der geographischen Länge zur See verwenden wollte. Man hatte demnach die Satellitenverfinsterungen durch lange Zeit hindurch fleißig beobachtet und im Mittel aus vielen Beobachtungen sehr genaue Werthe für die Umlaufzeiten der Satelliten erhalten; dadurch war man in die Lage versetzt, auf längere Zeit hinaus die Eintritts- und Austrittszeiten durch Vorausberechnung zu bestimmen.

Die hier beigegebene Fig. 3 möge dazu dienen, die zu besprechenden Verhältnisse etwas klarer zu machen.

Es stelle S die Sonne, der grössere Kreis $abcd$ die Erdbahn, J den Jupiter und der diesen Körper einschliessende Kreis die Bahn eines der Jupitersatelliten vor; die Pfeile mögen die Bewegungsrichtungen der Erde und des betrachteten Satelliten in ihren Bahnen bezeichnen.

Fig. 3.



Man sieht, dass, wenn der Satellit die Stellung 1 hat, sein Eintritt in den Schattenkegel des Jupiter zu erwarten steht, in der Stellung 2 ist soeben sein Austritt erfolgt; bewegt sich die Erde in der Hälfte cda ihrer Bahn, so wird man hauptsächlich die Eintritte, und in der Bahnhälfte abc hauptsächlich die Austritte der Jupitersatelliten beobachten können; in d ist gleichsam der günstigste Punkt für die Eintrittsbeobachtungen, in b der günstigste Punkt für die Austrittsbeobachtungen, und es

liegt in der Natur der Sache, dass die meisten Verfinsterungsbeobachtungen in der Nähe dieser beiden Punkte zu Stande gekommen waren. Als man nun die Beobachtungsergebnisse mit der früher erwähnten Vorausberechnung verglich, stellte sich die auffallende Thatsache heraus, dass jene Verfinsterungen, die in der Nähe der Opposition

des Jupiter (zur Zeit, wenn sich die Erde in a befindet) eintreten, eine Verfrühung, die in der Nähe der Conjunction eintretenden Verfinsterungen (die Erde befindet sich dann relativ gegen Sonne und Jupiter in c) eine Verspätung gegen die Rechnung aufwiesen.

Nach den früher gemachten Auseinandersetzungen wird uns die Erklärung dieser Erscheinung nicht schwer werden. Nehmen wir an, dass wir aus einer Verfinsterung, welche zu der Zeit stattfindet, wenn sich die Erde in a befindet (Jupiter in Opposition mit der Erde), die Zeiten der darauf folgenden Verfinsterungen ableiten, ohne Rücksicht auf die Lichtgeschwindigkeit zu nehmen, so wird jede folgende Verfinsterung eine kleine Verzögerung gegen die vorangegangene zeigen, indem während jedes Satellitenumlaufes die Erde in der Hälfte abc ihrer Bahn sich um eine Strecke von dem Satelliten entfernt, das vom Satelliten ausgehende Licht daher den Beobachter dieser Strecke entsprechend verspätet trifft; und wenn man so fortfährt, die Beobachtungen mit der Rechnung zu vergleichen, etwa bis zur Zeit, wo sich die Erde bereits in c befindet, so werden sich diese successiven Verspätungen zu einem Betrage summirt haben müssen, welcher der Zeit gleich ist, die das Licht braucht, um den Durchmesser der Erdbahn zu durchlaufen, weil die Erde jetzt um den Erdbahndurchmesser weiter von Jupiter entfernt ist; in dem Theile cda der Bahn der Erde dagegen werden sich diese Verzögerungen ebenso successive wieder ausgleichen müssen.

Olaf Römer (geb. 25. September 1644 in Aarhus, gest. 19. September 1710 zu Kopenhagen) war der Erste, welcher die in den Beobachtungen der Jupitertrabanten-Verfinsterungen auftretenden Anomalien discutirte und in einer der Pariser Akademie am 22. November 1675 vorgelegten Mittheilung auf eine endliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes zurückführte.

Für uns haben sich die eben besprochenen Erscheinungen als eine nothwendige Folge der früher gemachten Auseinandersetzungen ergeben; für Olaf Römer aber lagen die Dinge bei Weitem nicht so einfach, da man zu seiner Zeit über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes nicht einmal Vermuthungen hatte; in der That müssen wir den Scharfsinn des Mannes bewundern, dem es gelungen ist, aus den vorliegenden Erscheinungen, die damals vielleicht noch mehrfacher Erklärungen fähig gewesen wären, die richtige Ursache herauszufinden.

Die endliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes hat aber auch noch eine andere Erscheinungsgruppe zur Folge, welche den Astronomen viel später bekannt geworden ist und zuerst von Bradley (geb. 1692 zu Shereborne, Gloucestershire, gest. 13. Juli 1762 zu Chalford, Gloucester) aufgedeckt wurde. Um dieses Erscheinungsgebiet in einfacher Weise vorzuführen, muss ich einige allgemeine Betrachtungen über Ruhe und Bewegung vorausschicken.

Denken wir uns im Raume einen Punkt und setzen wir für den Augenblick voraus, dass ein weiterer Punkt im Raume nicht vorhanden sei, so wird die Entschei-

ding, ob der Punkt in Ruhe ist oder eine Fortbewegung besitzt, unmöglich, da uns ein fixer Anhaltspunkt für unser Urtheil fehlt; man sieht daraus sofort, dass Ruhe und Bewegung relative Begriffe sind, dass man nur sagen könne, ein Punkt sei im Verhältnisse zu anderen Punkten in Ruhe oder Bewegung. Denken wir uns also weiter nur zwei Punkte im Raume gegeben, so werden dieselben in einem gegebenen Momente eine bestimmte Entfernung haben; ändert sich diese Entfernung mit der Zeit, so wird man sagen, die Punkte befinden sich in Bewegung gegen einander, man wird aber nicht entscheiden können, ob sich nur der eine oder nur der andere Punkt bewegt, oder ob beide in verschiedener Bewegung begriffen sind; ändert sich dagegen die Entfernung der Punkte nicht, so wird man sehr leicht zu dem Urtheile verführt werden, dass beide Punkte in Ruhe sind. Dieses Urtheil kann aber unter mehrfachen Verhältnissen falsch sein. Denn die gegenseitige Entfernung zweier Punkte ändert sich nicht, wenn beide Punkte sich mit derselben Geschwindigkeit nach einer und derselben Richtung bewegen, sie ändert sich ferner nicht, wenn der eine der Punkte um den andern einen Kreis beschreibt, endlich auch dann nicht, wenn beide Punkte gleichzeitig Kreise um einen beliebigen, auf ihrer Verbindungslinie liegenden dritten Punkt beschreiben, wenn im letzten Falle nur jeder der Punkte seine Kreisbahn in gleichförmiger Bewegung, in gleichem Sinne und in derselben Zeit vollendet. Das Urtheil, dass solche Punkte in Ruhe sind, weil sie ihre Entfernungen nicht

ändern, ist daher unrichtig. Solche Betrachtungen, die übrigens, um eine unzweideutige Bestimmung für die Grösse und Richtung der relativen Bewegung zu erhalten, noch weiter fortgesetzt werden müssten, zeigen, wie schwer es ist, ein Urtheil über Ruhe und Bewegung abzugeben, und ferner, dass wir überhaupt nicht in der Lage sind, diesfalls eine absolute Entscheidung zu fällen; wir können nur von relativer Ruhe und Bewegung sprechen und müssen alle in Betracht zu ziehenden Bewegungen auf gewisse Punkte beziehen, die wir mit mehr oder weniger Willkürlichkeit als ruhende annehmen.

Betrachten wir z. B. den Mond in seiner Bahn um die Erde, so wird diese Bahn, wenn wir die Erde als ruhend betrachten, abgesehen von den Störungen, eine geschlossene Ellipse sein, die nach Massgabe der Kepler'schen Gesetze beschrieben wird.

Nehmen wir weiter den Sonnenmittelpunkt als ruhend an, so wird die auf diesen Punkt bezogene Mondbahn sich in ihrer Gestalt nicht wesentlich von der Bahn der Erde unterscheiden, nur wird die der Sonne zugekehrte concave Seite der Bahn bald etwas mehr, bald etwas weniger concav als die Erdbahn sein, je nachdem der Mond in Opposition oder in Conjunction ist. Hieraus ist zu ersehen, dass die Annahme über den ruhenden Punkt die Bahn als solche völlig umgestaltet hat. Die Astronomen nehmen an, dass die Sonne selbst im Welt- raume eine fortschreitende Bewegung habe, und glauben aus Gründen, welche übrigens nicht über jeden Zweifel erhaben sind, die Quantität und Richtung dieser Bewe-

gung gegen die Fixsterne angeben zu können; würden wir also die Mondbahn auf einen gegen die Gesammtheit des Fixsternensystems als fix zu betrachtenden Punkt beziehen, so müsste die Gestalt dieser Bahn wieder eine andere sein.

Der Umstand, dass Ruhe und Bewegung relative Begriffe sind, hat vielfach zu Missverständnissen Veranlassung gegeben; doch wird man sich von solchen Missverständnissen stets freihalten können, wenn man sich vergegenwärtigt, dass man Bewegung und Ruhe nur in Beziehung auf andere Punkte, die man je nach dem Zwecke willkürlich wählt, constatiren kann.

Wir sind in allen unseren Urtheilen über Ruhe und Bewegung sehr geneigt, den eigenen Standpunkt als ruhend aufzufassen und jede Bewegung desselben auf die Gegenstände der Umgebung zu übertragen. Wie schwer vermeidlich dieser Irrthum ist, lehrt am schlagendsten der Umstand, dass es so langer Zeit bedurfte, ehe sich die Menschheit von dem Wahne, die Erde ruhe im Weltall, und alle Sterne, Sonne und Planeten bewegen sich um dieselbe, befreit hat. Die tägliche Rotation der Erde um ihre Achse übertragen wir unwillkürlich auf die Himmelskörper; wir sagen, dieselben gehen auf und unter, je nachdem sie sich über unsern Horizont zu erheben oder unter denselben zu sinken scheinen, wiewohl gerade der Horizont das Bewegliche ist, und die Sonne scheint sich im Laufe eines Jahres um die Erde zu bewegen, während gerade das Umgekehrte der Fall ist. Dabei ist unser Urtheil um so gefährdeter, je ruhiger

und gleichmässiger die Bewegung, in der wir uns befinden, ist. Fahren wir in einem Wagen auf sehr steiniger Strasse, so werden wir nicht leicht geneigt sein, die Bewegung auf die Umgebung zu übertragen; segeln wir aber auf einem glatten See und werfen von der Cajüte aus, in der alle Gegenstände gegen uns in relativer Ruhe sind, einen Blick auf das ferne Ufer, so werden wir uns trotz aller Ueberzeugung nicht des Eindrucks erwehren können, dass dasselbe in einer unserer Bewegung entgegengesetzten Richtung dahinziehe. Werfen wir aus der Gondel eines rasch aufsteigenden Luftballons Federn aus, die vermöge ihrer grossen Oberfläche in der Luft schweben, so werden wir meinen, dass dieselben rasch zur Erde fallen, indem wir die aufsteigende, ohne Erschütterung stattfindende eigene Bewegung übersehen und im umgekehrten Sinne auf die schwebende Feder übertragen. Fassen wir, auf einem hohen Gerüste stehend, das nicht genügend fest construiert ist, den Knauf des eben vollendeten Thurmes an und rütteln an demselben, so wird es uns ein Leichtes sein, den steinernen Thurm scheinbar wie ein Rohr hin und her zu bewegen; wir übersehen dabei ganz, dass eigentlich wir und unser Stand durch Reaction in Bewegung sind. Dieses Experiment ist so täuschend, dass ich selbst sehr vernünftige Leute gefunden habe, die sich nicht überzeugen liessen, man habe sich selbst bewegt, sondern bei dem Scheine blieben und die Bewegung des Thurmes constatirt zu haben glaubten.

Alle diese Betrachtungen bestätigen uns die Wahrheit des Sprichwortes: „der Schein trügt“ und mahnen uns zur Vorsicht im Urtheile über ähnliche Fälle.

Wenn wir ein Fernrohr nach einem leuchtenden Punkte richten, so dass ein von dem Punkte ausgehender Lichtstrahl, durch die Mittelpunkte des Objectivs und Oculars des Fernrohres gehend, in unser Auge gelangt, so sagen wir, der Lichtstrahl gehe durch die Achse des Fernrohres, oder auch, die Richtung nach dem betreffenden Punkte falle in die Achsenrichtung des Fernrohres, und hiebei geben die beiden Punkte: Mittelpunkt des Objectivs und Mittelpunkt des Oculars, die Definition für die Richtung. Nur unter den hier angedeuteten Verhältnissen, d. h. nur wenn die von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Lichtstrahlen in der Richtung der Fernrohrachse in unser Auge gelangen, sehen wir den leuchtenden Punkt durch das Fernrohr.

Wir können unter diesen Voraussetzungen von den sonstigen Bestandtheilen des Fernrohres ganz absehen und uns dasselbe schematisch durch seine Achse, d. h. durch die Verbindungslinie der Mittelpunkte L des Objectivs und O des Oculars (Fig. 4) dargestellt denken.

Wenn wir das Fernrohr nunmehr gegen einen Stern richten, so wollen wir, eingedenk der vielfachen Täuschungen, die uns in den früheren Beispielen vor Augen getreten sind, bei der Betrachtung der hier auftretenden Erscheinungen besonders scharfe Rücksicht auf die Bewegungsverhältnisse nehmen. Von dem betrachteten Sterne aus bewegt sich das Licht mit einer gewissen

uns bereits bekannten Geschwindigkeit gegen den Beobachter, der Beobachter nimmt sammt seinem Fernrohre an der Bewegung der Erde um die Sonne, sowie an der Rotation der Erde um ihre Achse Theil und die Geschwindigkeit jeder dieser

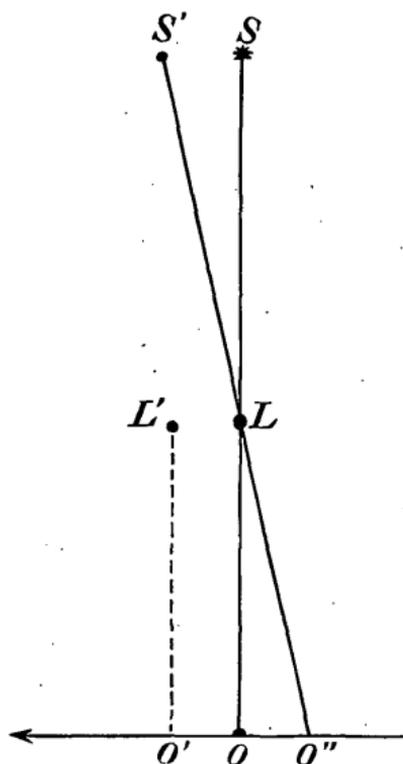
beiden Bewegungen ist uns ebenfalls bekannt.

Nehmen wir an, ein von dem Sterne kommender Lichtstrahl treffe in einem bestimmten Momente die Mitte L des Objectivs unseres Fernrohres (Fig. 4), und die Fernrohrachse LO falle in diesem Augenblicke mit der Richtung des Lichtstrahles zusammen oder bilde gleichsam dessen geradlinige Verlängerung.

Dann wird in dem Falle, wenn sich die Erde als Standpunkt des Beobachters gerade in dieser

durch die Fernrohrachse und den Lichtstrahl gegebenen Richtung bewegt, der Lichtstrahl einen Moment später im Mittelpunkte des Oculars unseres Fernrohres ankommen müssen, gleichgiltig, ob sich die Erde in der definirten Richtung (OL) gegen den Stern hin oder von dem Sterne weg bewegt; wir sehen den Stern also in der Richtung

Fig. 4.



des Fernrohres, und die durch die Fernrohrachse angedeutete Richtung ist die wahre Richtung zu dem betrachteten Sterne. Anders verhält sich die Sache, wenn die Bewegung der Erde, also auch die des Fernrohres von der Richtung des ankommenden Strahles seitlich abweicht. Behalten wir also die obige Annahme bei, dass im Momente, in welchem der vom Sterne ankommende Lichtstrahl den Mittelpunkt des Fernrohrobjectivs trifft, die Richtung der Fernrohrachse in die Richtung des Lichtstrahles fällt; es sei aber jetzt für einen zweiten extremen Fall die Richtung der Erdbewegung senkrecht zu der durch die Linie OL angedeuteten Richtung des Lichtstrahles, und zwar möge das Fernrohr, repräsentirt durch seine Achse OL , in derjenigen Zeit, die das Licht braucht, um die Fernrohrachse ihrer Länge OL nach zu durchlaufen, in die Lage $O'L'$ gekommen sein. Es wird dann bei den durch die Figur angedeuteten Verhältnissen der Lichtstrahl das Ocularende des Fernrohres nicht treffen, da sich das Ocular bereits in O' befindet, wenn der Lichtstrahl in O anlangt. Unter diesen Verhältnissen sieht der Beobachter also den Stern nicht, da der Strahl jetzt nicht die Richtung der Fernrohrachse einhält; und da der Beobachter an der Richtung des Lichtstrahles nichts ändern kann, so bleibt nichts übrig, als die Richtung des Fernrohres zu ändern, um den Strahl in die Achsenrichtung zu bringen.

Wenn dagegen dem Fernrohre die Lage LO'' gegeben wird, wobei $OO'' = OO'$ angenommen ist, so trifft der Strahl den Mittelpunkt des Objectivs in L , den Mittel-

punkt des Oculars aber, sobald sich das Fernrohr in Folge der Erdbewegung parallel zu seiner Richtung $O'L$ in die Lage OL' verschoben hat, in O , passirt also die Achse des Fernrohres; demnach sieht der Beobachter jetzt den Stern, aber in der Richtung $O'L$ oder $O'S$, also gegen die Bewegungsrichtung um einen bestimmten Winkel $SLS' = OLO''$ verschoben.

Das Resultat der Combination der endlichen Lichtgeschwindigkeit mit der Erdbewegung ist daher für den Beobachter das, dass derselbe, wenn er seinem Fernrohre die wahre Richtung nach einem Sterne giebt, den Stern nicht sehen kann, dass er das Fernrohr vielmehr um einen gewissen Winkel fehlerhaft stellen muss, um den Stern in das Gesichtsfeld des Fernrohres oder, richtiger ausgedrückt, in die Richtung der optischen Achse des Fernrohres zu bringen, welche Achse für alle mit Fernrohren auszuführenden Messungen massgebend ist. Diesen durch die Natur der Umstände bedingten Einstellungsfehler nennen die Astronomen, ebenfalls unzweckmässig genug, die Aberration der Fixsterne; der Ausdruck ist unzweckmässig, weil alle Himmelskörper, ja auch alle terrestrischen Gegenstände, diesem Einflusse unterworfen sind.

Man könnte vermuthen, dass bei der grossen Geschwindigkeit des Lichtes innerhalb der kurzen Zeit zwischen dem Durchgange eines Lichtstrahles durch das Objectiv und durch das Ocular eine merkliche Verschiebung des Fernrohres in Folge der Erdbewegung nicht eintreten könne. Am einfachsten wird sich hierüber durch Einführung der Zahlenverhältnisse, die hier

in Betracht kommen, entscheiden lassen. Nach einem einfachen geometrischen Grundsatz ist die trigonometrische Tangente des Winkels OLO'' , des sogenannten Aberrationswinkels, durch die Form:

$$\text{tang } OLO'' = \frac{OO''}{OL}$$

bestimmt, und in diesem Verhältnisse bedeuten OO'' und OL gleichzeitige Wege der Erde und des Lichtes. Es ist klar, dass dieses Verhältniss von der Länge des Fernrohres nicht abhängig ist; denn wenn beispielsweise die Länge des Fernrohres verdoppelt wird, so braucht das Licht doppelt so lang, um die Fernrohrachse zu durchlaufen; dann rückt das Fernrohr in Folge der Erdbewegung aber auch doppelt so weit weg und das Verhältniss: $\frac{\text{Erdweg}}{\text{Lichtweg}}$ bleibt ungeändert. Nach dieser Ueberlegung ist es offenbar gestattet, der Bestimmung des Aberrationswinkels ein Fernrohr von beliebiger Länge zu Grunde zu legen. Denkt man sich ein solches von 300.000 Kilometern Länge, so braucht das Licht eine Secunde, um dessen Achse zu durchlaufen, während einer Zeitsecunde aber legt die Erde in ihrer Bahn um die Sonne einen Weg von 30 Kilometern zurück, demnach ist

$$\text{tang } OLO'' = \frac{30}{300.000} = 0.0001$$

und dieser trigonometrischen Tangente entspricht ein Winkel, welcher zwischen 20 und 21 Bogensekunden liegt. Um diesen Winkelbetrag, welcher bei der Genauigkeit der heutigen Beobachtungen, für welche man noch Bruchtheile einer Secunde fordert, bedeutend zu nennen

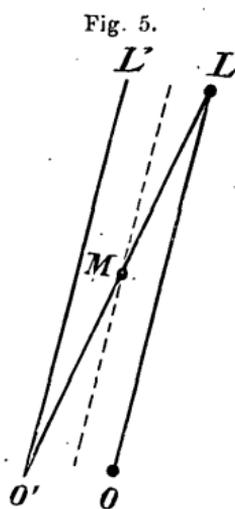
ist, hat man das Fernrohr in Folge der Fixsternaberration falsch zu stellen.

Man pflegt den Theil der Fixsternaberration, welcher von der Bewegung der Erde um die Sonne herrührt, die jährliche Aberration, und den von der Achsendrehung der Erde herrührenden Theil die tägliche Aberration zu nennen. Es ist ausserdem noch diejenige Bewegung der Erde in Betracht zu ziehen, welche allen Körpern des Sonnensystems gemeinsam ist, nämlich die Fortbewegung des Sonnensystems im Weltraume; auch aus dieser Bewegung wird sich eine Aberration ergeben, die man als kosmische Aberration bezeichnen könnte; die thatsächliche Fixsternaberration wird die Summe aller dieser Aberrationen bilden. Wenn man nun beachtet, dass die endliche Lichtgeschwindigkeit auch die Planetenaberration erzeugt, so wird man zu der Ansicht geführt werden, dass die Astronomen ziemlich weitläufige Rechnungsoperationen auszuführen haben, um eine Beobachtung vom Einflusse der Aberration zu befreien. Denn kurz zusammengefasst ist das Ergebniss der bisherigen Untersuchungen etwa das folgende: Um einen Stern zu beobachten, muss das Beobachtungsfernrohr um einen gewissen Betrag falsch gestellt werden, weil der Beobachter den Stern sonst gar nicht sieht; ist das beobachtete Gestirn beweglich, so sieht der Beobachter dasselbe dann zufolge der Planetenaberration an einem Orte, an welchem es zur Zeit der Beobachtung thatsächlich nicht steht.

Es lässt sich aber leicht zeigen, dass, so lange die Aberrationszeit so klein ist, um die Bewegung der Erde

während dieser Zeit als gleichförmig und geradlinig betrachten zu können, der Uebergang auf den für die Beobachtungszeit geltenden wahren Ort durch eine sehr einfache Rechnung vollzogen werden könne.

Wir wissen, dass die Fixsternaberration von der Länge des Fernrohres unabhängig ist. Denken wir uns also ein Fernrohr von der Länge des Abstandes des Beobachters vom beobachteten Objecte; der Mittelpunkt L des Objectivs befinde sich (Fig. 5) an der Stelle des Himmelskörpers im Momente, in welchem das Licht von letzterem ausgeht, das Ocular O an der Stelle, an welcher sich zu derselben Zeit der Beobachter befindet. Bevor das Licht das Ocular erreicht, und diese Zeit ist genau gleich der Aberrationszeit, sei das Objectiv nach L' , das Ocular nach O' gerückt; der Lichtstrahl wird in der Zwischenzeit stets in der Achse des Fernrohres bleiben; denn denken wir uns beispielsweise die Lage des Fernrohres in der Mitte dieser Zeit, so wird dasselbe zwischen OL und $O'L'$ in der Mitte, und zwar parallel diesen Richtungen stehen, der Lichtstrahl, der den halben Weg zurückgelegt hat, wird genau in der Mitte zwischen den beiden Punkten L und L' angekommen sein, d. h. der Punkt M liegt sowohl in der Mitte der Fernrohrachse, als auch in der Mitte des Lichtweges zu einer Zeit, wo das Fernrohr seinen halben Weg zurückgelegt hat, und eine ähnliche



Schlussfolge könnte für jede beliebige Zwischenlage des Fernrohres angestellt werden. Die Lage $O'L'$, welche parallel OL ist, ist die Richtung, in welche das Fernrohr zur Zeit der Beobachtung gestellt wurde, OL ist die wahre Richtung nach dem Himmelskörper zu der Zeit, als das Licht von demselben ausging; daraus resultirt der einfache Schluss: Die scheinbare Richtung zur Zeit der Beobachtung ist gleich der wahren Richtung für die Zeit, zu welcher das Licht von dem Himmelskörper ausgegangen ist.

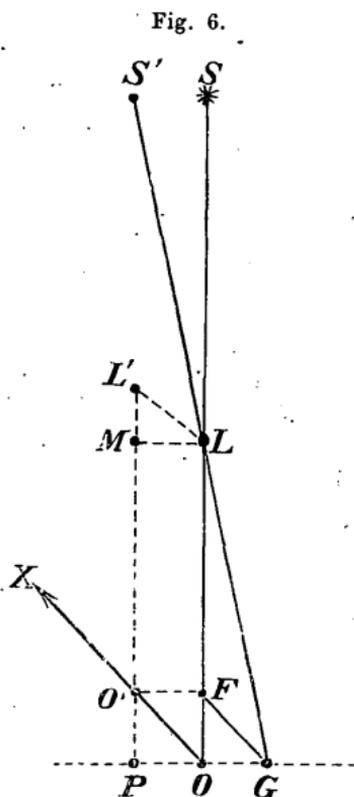
Hat man daher zu einer bestimmten Zeit eine Beobachtung angestellt, so werden die Beobachtungsdaten gleichzeitig vom Einflusse der Fixstern- und Planetenaberration frei, wenn man annimmt, die Beobachtung sei zu einer um den Betrag der Aberrationszeit früheren Zeit angestellt worden, d. h. man hat statt der wirklichen Beobachtungszeit T die corrigirte Zeit: „ T weniger der Aberrationszeit“ als Beobachtungszeit gelten zu lassen; wie die Aberrationszeit gefunden wird, ist schon früher gesagt worden.

Wenn sich die Richtung vom Beobachter zum beobachteten Objecte im Verlaufe der Zeit nicht ändert, wie dieses dann der Fall ist, wenn terrestrische Objecte mittelst eines Fernrohres pointirt werden, so übt die Correction der Beobachtungszeit auf die Richtung keinen Einfluss; es ist dann die scheinbare Richtung mit der wahren identisch.

Es soll nun noch schliesslich gezeigt werden, in welcher Weise die jährliche Aberration die Orte der

Fixsterne beeinflusst, und zu diesem Zwecke jener Fall näher betrachtet werden, in welchem die Fortbewegung des Fernrohres nicht senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung des Lichtes stattfindet.

Ein in der Richtung SO ankommender Lichtstrahl (Fig. 6) treffe das Objectiv des Fernrohres in L in dem Augenblicke, in welchem sich das Fernrohr in der Lage OL befindet, und OX sei die Bewegungsrichtung der Erde, also auch des Fernrohres. Während der Lichtstrahl sich in der Fernrohrachse bis zum Punkte F fortgepflanzt hat, möge sich das Fernrohr zufolge der Erdbewegung in die Lage $O'L'$ verschoben haben, und dabei soll $O'F$ senkrecht zu OL sein, d. h. mit anderen Worten, wir betrachten den Moment,



in welchem der Lichtstrahl und das bewegte Ocular in einer und derselben zur Richtung des Strahles senkrechten Ebene (durch die Linie $O'F$ repräsentirt) angelangt sind. Wenn wir nun aus F eine Parallele zu $O'O$ und aus O eine Parallele zu $O'F$ ziehen, so erhalten wir einen Punkt G als Durchschnitt dieser beiden Parallelen, und es giebt jetzt LG die

Richtung an, in welche das Fernrohr mit Rücksicht auf die Fixsternaberration gebracht werden muss. Denn im Punkte L trifft, wie oben angenommen wurde, der Strahl das Objectiv des Fernrohres; das in der Richtung LG gestellte Fernrohr verschiebt sich zufolge der Erdbewegung parallel zu sich selbst längs der Richtung GF , und wenn es die Strecke GF zurückgelegt hat, wenn also das Ocular in F angekommen ist, ist der oben gemachten Voraussetzung nach der Lichtstrahl ebenfalls dort angelangt (da FG und $O'O$ parallele und gleiche Wege sind), d. h. der Strahl trifft auch das Ocular, so dass durch die Stellung GL der Stern thatsächlich in die Fernrohrachse gebracht ist. Die Richtung LG ist aber, wie der einfache Vergleich mit der Fig. 4 giebt, jene Stellung, welche ein Fernrohr LO mit Rücksicht auf die Fixsternaberration in dem Falle erhalten muss, wenn LO und PO gleichzeitige, aber auf einander senkrechte Wege des Lichtes und der Erde oder des Fernrohres sind, indem OG gleich $O'F$, somit auch gleich PO ist. Es ist hier der wirkliche Weg OO' des Fernrohres in die Wege OF (in die Richtung des Strahles fallend) und OP (senkrecht zur Richtung des Strahles) nach Art der Zerlegung einer Kraft in Componenten zerlegt und damit der Fall, dass die Richtung der Bewegung des Fernrohres gegen die Fortpflanzungsrichtung des Lichtstrahles irgendwie beliebig geneigt ist, auf zwei Grenzfälle zurückgeführt. Der in die Richtung des Lichtstrahles fallende Theil OF der Fernrohrbewegung bleibt völlig ohne Einfluss auf die Aberration; letztere wird blos durch den Theil OP hervorgerufen und erreicht

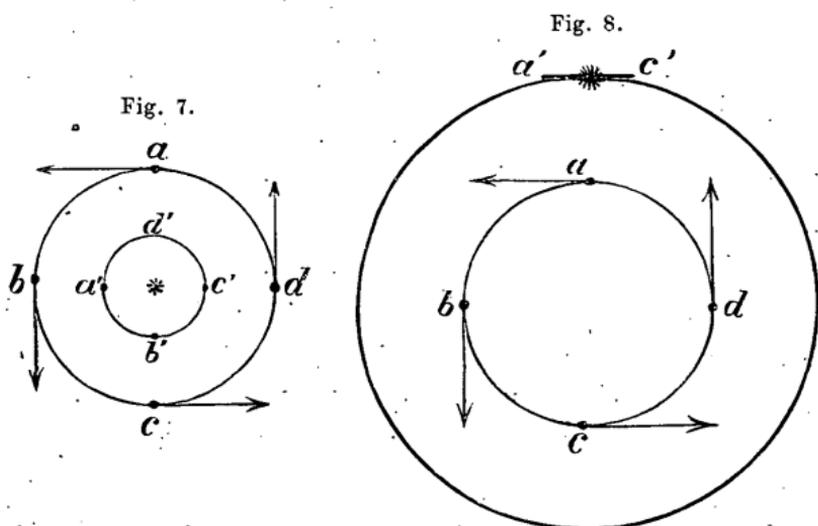
ein Maximum, wenn die Bewegung des Fernrohres, wie in Fig. 4, überhaupt senkrecht zur Richtung des Lichtstrahles vor sich geht.

Die jährliche Bewegung der Erde geht in einer Ebene vor sich, welche das scheinbare Himmelsgewölbe in einem sogenannten grössten Kreise schneidet, den wir die Ekliptik nennen.

Betrachten wir zunächst einen Stern, dessen wahrer Ort der Pol der Ekliptik ist, der also so gelegen ist, dass die Richtung von der Erde zum Stern, also auch die Richtung des von dem Sterne ankommenden Lichtstrahles senkrecht zur Ebene der Erdbahn ist, und nehmen wir, was nahezu der Fall ist, die Erdbahn selbst kreisförmig an, so ergibt die Fig. 7, in welcher *abcd* die Erdbahn vorstellt, wenn man sich den ganzen Vorgang von einem ausserhalb des Himmelsgewölbes über dem Pole der Ekliptik gelegenen Standpunkte angesehen, oder auch, wenn man die Vorgänge am Pole der Ekliptik auf die Ebene der Ekliptik selbst projicirt denkt, Folgendes: Die Erdbewegung, welche in den einzelnen Punkten der Erdbahn durch die Pfeile angedeutet ist, ist stets senkrecht zu dem ankommenden Lichtstrahle; ist die Erde also in *a*, so ist der Stern von seinem durch * bezeichneten wahren Orte nach der Richtung der Erdbewegung um den Aberrationswinkel abgelenkt, also beispielsweise nach *a'* verschoben; aus dem gleichen Grunde finden für die Erdstellungen *b, c, d* gleiche Verschiebungen des Sternes nach *b', c', d'* statt, d. h. der Stern beschreibt in Folge der Aberration um seinen wahren Ort im Laufe eines Jahres

scheinbar einen Kreis, welcher das Abbild der jährlichen Bewegung der Erde um die Sonne ist.

Für einen zweiten Fall möge Fig. 8 der innere Kreis $abcd$ wieder die Erdbahn, der äussere Kreis dagegen den Durchschnitt der Erdbahn mit der scheinbaren Himmelskugel, also die Ekliptik vorstellen, und wieder sei * der wahre Ort eines Fixsternes, welcher in der Ekliptik selbst gelegen ist. Durchläuft die Erde ihre Bahn



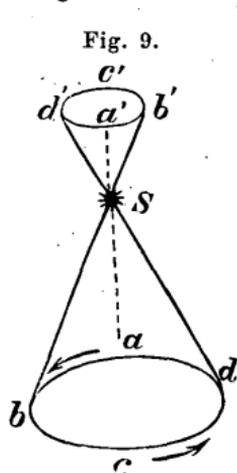
wieder in der durch die Pfeile angedeuteten Richtung, d. h. nach der Reihe der Punkte a, b, c, d , so ist ihre Bewegung in den Punkten a und c senkrecht gegen die Richtung des von dem Sterne ankommenden Strahles, in den Punkten b und d ist die Erdbewegung mit der Richtung des ankommenden Strahles parallel; die Art der Erdbewegung in a bewirkt eine Verschiebung des Sternes nach a' , jene in c eine Verschiebung nach c' ; in

b und d bewirkt die Erdbewegung keine Aberration, für diese beiden Punkte behält der Stern seinen wahren Ort. Während die Erde der Reihe nach in die Punkte a, b, c, d kommt, erscheint der Stern in den Punkten $a', *, c', *$; ein in der Ekliptik gelegener Stern vollführt also im Laufe des Jahres um seinen wahren Ort einen pendelartigen Hin- und Hergang. Alle übrigen Gestirne endlich, welche weder in der Ekliptik, noch genau im Pole der Ekliptik stehen, beschreiben im Laufe eines Jahres Ellipsen, die sich um so mehr dem Kreise nähern, je näher der Stern dem Pole der Ekliptik liegt, und um so mehr der geraden Linie, je näher der Stern der Ekliptik selbst steht.

Es dürfte von Interesse sein, wenn noch in Kürze beigefügt wird, bei welcher Gelegenheit die jährlichen scheinbaren Ortsveränderungen der Sterne in Folge der Aberration, wie sie hier aus der Natur der Sache deducirt wurden, zuerst thatsächlich beobachtet worden sind.

Zu den letzten, auf die jährliche Aberration bezüglichen Betrachtungen sind die Sterne in unendlicher Entfernung von der Erde (Fig. 9) vorausgesetzt worden. Denken wir uns aber einen Stern in einer endlichen Entfernung, etwa bei S , so wird die Bewegung der Erde eine ähnliche Erscheinung bedingen; von den Punkten a, b, c, d der Erdbahn aus betrachtet, wird der Stern in den Punkten a', b', c', d' auf das unendlich entfernte Himmelsgewölbe projicirt erscheinen; ein Stern am Pole der Ekliptik wird unter diesen Verhältnissen ebenfalls einen Kreis beschreiben, ein Stern in der Ekliptik selbst wird im Laufe eines Jahres in einer geraden Linie einmal

hin- und hergehen, und Sterne, welche weder in der Ekliptik selbst, noch auch im Pole der Ekliptik selbst stehen, werden Ellipsen beschreiben, wobei aber eine gewisse endliche Entfernung der Sterne vorausgesetzt wird. Das Wesentliche der jetzt beschriebenen Erscheinung, welche man die jährliche Parallaxe nennt, ist das, dass der Stern in seiner scheinbaren jährlichen Bahn im Vergleiche zur Stellung der Erde in ihrer wirklichen



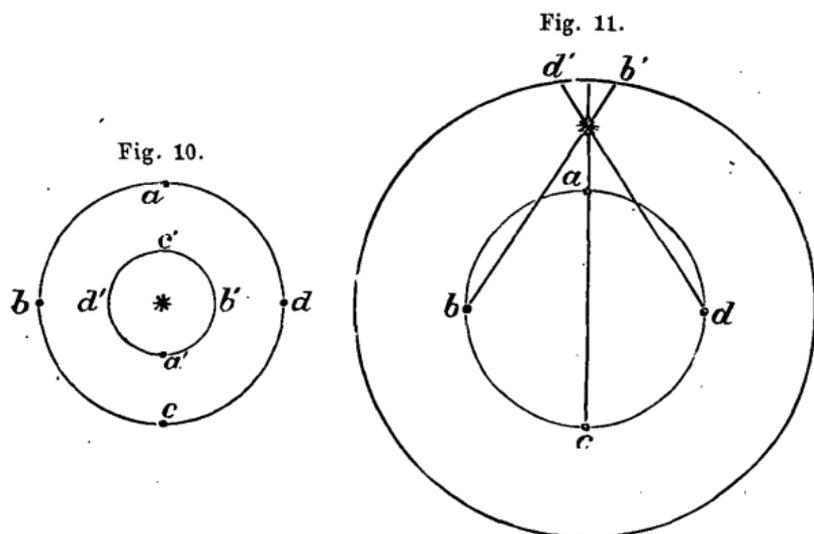
Bahn immer nach der gerade entgegengesetzten Seite verschoben erscheint.

Die Fig. 10 und 11, welche in den gleichen Projectionen ausgeführt sind wie die Fig. 7 und 8, geben die Verhältnisse der aus der jährlichen Parallaxe resultirenden Verschiebungen eines nicht unendlich weit entfernten Fixsternes, so dass der Vergleich der Fig. 7 mit 10 und 8 mit 11 sofort die wesentlichen Unterschiede zwischen den

Erscheinungen der jährlichen Aberration und der jährlichen Parallaxe erkennen lässt. Der Vergleich giebt, da die Erdstellungen in beiden Figurensystemen ganz gleich sind, dass Parallaxe und Aberration in verschiedenen Jahreszeiten (nämlich für die einzelnen Stellungen der Erde) verschieden wirken, die Wirkung der Parallaxe ist gewissermassen um ein Vierteljahr gegen die Wirkung der Aberration verschoben.

Da man nun die Entfernungen der Fixsterne überhaupt nicht als unendlich gross ansehen kann, so ist es

ein logisches Erforderniss des kopernikanischen Systems, dass alle Sterne eine Parallaxe zeigen; dieselbe kann aber so klein sein, dass sie sich unseren Messinstrumenten entzieht. Bradley war einer derjenigen Astronomen, welche eine Parallaxe der Fixsterne durch die Beobachtung nachzuweisen versuchten, und er beobachtete deshalb mittelst eines sehr fest aufgestellten sogenannten Zenith-sectors sehr lange unausgesetzt die Zenithdistanzen



eines Sternes, der dem Zenithe seines Beobachtungsortes sehr nahe kam. Thatsächlich entdeckte er sowohl an diesem, als auch später an anderen Sternen Ortsveränderungen, die eine jährliche Periode zeigten, aber den Forderungen der jährlichen Parallaxe entsprachen diese Ortsveränderungen nicht. Statt nämlich die durch die Fig. 10 und 11 gegebenen Verhältnisse zu bieten, ergaben seine Beobachtungen die Veränderungsverhältnisse, wie

sie durch die Fig. 7 und 8 dargestellt sind; Bradley hatte also die Parallaxe gesucht und die Aberration gefunden, denn sein Scharfsinn erkannte bald die richtige Ursache der Erscheinungen, die aus seinen Beobachtungen hervorgingen. Erst dem unsterblichen Bessel (geb. 22. Juli 1784 zu Minden, gestorben 14. März 1846 zu Königsberg) war es vorbehalten, durch scharfsinnige und sehr genaue Messungsmethoden zum ersten Male über jeden Zweifel erhaben die Parallaxe eines Fixsternes nachzuweisen.

Ich schliesse hiemit die heutigen Betrachtungen. Wir haben ein Erscheinungsgebiet kennen gelernt, welches durch die endliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes veranlasst, und durch welches gewissermassen unsere durch Messinstrumente unterstützten Sinne getäuscht wurden; die Forschungen der Naturwissenschaften haben hier aber Klarheit und Licht geschafft, und es ist zu erwarten, dass viele gegenwärtig noch ganz dunkle Gebiete sich unter der aufhellenden Wirkung der Naturwissenschaften erleuchten werden. An diesen dunklen Gebieten wird hoffentlich bald der Wunsch des sterbenden Dichters erfüllt werden: „Mehr Licht!“

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: 1883

Band/Volume: [23](#)

Autor(en)/Author(s): Oppolzer Theodor Egon Ritter von

Artikel/Article: [Ueber Aberration. 189-230](#)