

Die
Bestimmung der Sonnenentfernung
mit
besonderer Rücksichtnahme
auf
Venusdurchgänge.

Von

FRANZ KLEIN,

diplomirter Ingenieur.

Vortrag, gehalten am 29. November 1882.

Mit zwei Karten und fünfzehn Zinkographien.

„Nur um den Halbmesser der Milchstrasse zu durchwandern, bedarf das Licht einer Zeit von 3541 Jahren.“ Solche und ähnliche bis auf die Einheit bestimmte Angaben findet man in sogenannten populären Schriften, deren Aufgabe doch zunächst darin besteht, belehrend zu wirken auf Gebieten, die in ihrer begründenden Form für gewöhnlich dem grössten Theile der Menschheit unzugänglich erscheinen.

Diejenigen, welche Solches aussprechen und nachbeten, befinden sich in offener Unkenntnis der Verhältnisse, weil sie sonst nicht Angaben in Einheiten machen würden, die in den Tausendern durchaus unsicher sind und die wohl schwerlich genauer zu ermitteln sein werden. Denn es ist etwas Anderes, sich an dem Anblicke des gestirnten Himmels zu ergötzen, und etwas ganz Verschiedenes, die Geheimnisse desselben zu ergründen! Wohl können wir mit Genugthuung zurückblicken auf die Fortschritte des menschlichen Geistes und uns der Erfolge freuen, welche derselbe mit jedem Tage zu verzeichnen hat; mit Befriedigung kann uns das ewige Streben nach Erkenntnis der Wahrheit erfüllen, und mit Stolz dürfen wir darauf hinweisen, dass sich unser Ge-

sichtskreis namentlich auf naturwissenschaftlichem Gebiete immer mehr erweitert; — aber hinter den Gefilden, die wir mit einem Male überblicken, gibt es dunkle, finstere Nacht, die nur ab und zu erhellt wird durch einen beglückenden Sonnenstrahl, welcher uns vorübergehend die Herrlichkeiten schauen lässt, welche hier die Natur in überschwenglicher Fülle und Pracht aufgehäuft. In diesem Sinne müssen wir denn auch noch heute mit Faust sprechen:

„Geheimnissvoll am lichten Tag,
Lässt sich Natur des Schleiers nicht berauben,
Und was sie deinem Geist nicht offenbaren mag,
Das zwingst du ihr nicht ab mit Hebeln noch mit
Schrauben.“

So gewaltsam wollen wir aber auch nicht vorgehen. Das einzige Mittel, dessen wir uns zur Unterstützung unserer, durch Errungenschaften früherer Jahrhunderte geschärften Einsicht bedienen wollen, ist die raumdurchdringende Kraft des Fernrohres. Dieses trägt uns denn auch in Fernen, für welche uns geradezu jede Vorstellung mangelt, und lehrt uns den weiten Himmelsraum mit Einheiten messen, die an sich schon für unsere irdischen Begriffe unermesslich sind. Nirgends so sehr als gerade hier haben wir Gelegenheit, die Grösse der noch über allen Himmeln wirkenden Naturkräfte zu bewundern, welche uns zugleich mit der Erkenntniss, dass wir selbst von ihnen beherrscht werden, auch unsere eigene Kleinheit und unsere Schwächen vor Augen führen.

Ein Beispiel möge das Gesagte illustriren.

Unsere Mutter Erde, die uns von der Natur in fürsorglicher Weise zum Wohnsitz angewiesen wurde, können wir uns als Kugel denken, welche einen Halbmesser von 6,366.740 Metern oder nahe 860 Meilen besitzt. Sie rotirt täglich einmal um ihre Achse und bewegt sich zugleich um die Sonne in einer nahezu kreisförmigen Bahn vom Halbmesser von beiläufig 149 Millionen Kilometern oder rund 20 Millionen Meilen. Wir bezeichnen diese Entfernung mit „Erdweite“. Die fortgesetzten Untersuchungen, welche über die Distanz der Fixsterne angestellt werden, haben uns zu der Erkenntniss geführt, dass der uns zunächst stehende Fixstern wenigstens 200.000 mal weiter als die Sonne entfernt ist, er sich also wenigstens 200.000 Erdweiten oder 4 Billionen Meilen weit von uns befinden muss, seine Entfernung sich demnach zu einer Meile so verhält, wie etwa 190.000 Jahre zu einer Zeitsecunde.

Die Geschwindigkeit des Lichtes beträgt nahezu 300.000 Kilometer, d. i. mehr als 40.000 geogr. Meilen, oder mit anderen Worten: in einer Secunde legt das Licht den Weg von beiläufig 40.000 Meilen zurück. Um also von dem nächsten Fixstern bis zu uns zu gelangen, bedarf es einer Zeit von $3\frac{1}{4}$ Jahren.

Wie verschwindend klein ist aber die Entfernung des nächsten Fixsternes zu der Distanz von Weltkörpern, welche Herschel auf wenigstens 2000 Millionen Erdweiten geschätzt hat, von denen uns also in der That das Licht erst nach mehr als 3000 Jahren Kunde bringen kann! Wir begreifen, dass diese Welten schon zu Beginn

unserer historischen Zeitrechnung erloschen sein können, ohne dass der geflügelte Bote Zeit gehabt hätte, uns hievon Mittheilung zu machen. — —

Ich will mit der Anführung dieser Ziffernreihen innehalten. Schon hieraus allein ist die Unermesslichkeit des Universums zu erkennen, wie nicht minder begreiflich, dass wir wohl heute schwerlich daran denken können, diese von uns so weit entfernten Sternsysteme zu ergründen, zumal uns noch nicht gelungen ist, in dem Planetensystem, dem auch unsere Erde angehört, die verhältnissmässig kleinen Entfernungen mit Sicherheit in unseren irdischen Maassen auszudrücken. Meine Aufgabe soll es sein, die Ermittlung des himmlischen Grundmaasses, die Bestimmung der Entfernung der Sonne zu erläutern.

Bekanntlich bildet dieselbe den Centralpunkt unseres Planetensystems, um sie kreisen in mehr oder weniger elliptischen Bahnen die Planeten Merkur, Venus, Erde, Mars, dann eine grössere Anzahl kleinerer Himmelskörper, die Asteroiden, ferner Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun, nach uns wohlbekanntem Gesetzen.

Unter der Voraussetzung nämlich, dass die Erdbahn ein Kreis ist, in welcher die Sonne eine excentrische Lage hat, hat man die Formen und Dimensionen der übrigen Planetenbahnen im Verhältnisse zu der mittleren Entfernung der Erde von der Sonne abgeleitet; dem grossen Johannes Kepler gelang es, durch Verwerthung dieser Daten nicht bloss auf die elliptische Bahn des Planeten Mars und im weiteren Verfolg, durch Analogie, auf die elliptische Form der Bahnen der anderen Planeten

zu schliessen, sondern auch zwischen der Umlaufszeit und der halben grossen Achse ihrer elliptischen Bahnen ein einfaches Verhältniss aufzustellen. Zufolge desselben sind wir im Stande, das Verhältniss der Dimensionen aller Planetenbahnen, sowie die Abstände der Planeten von der Sonne und von einander in Einheiten der mittleren Sonnenentfernung, das ist der halben grossen Achse der Erdbahn, und zwar mit einer Genauigkeit anzugeben, die selbst unsere, zu so grosser Vollkommenheit gelangten irdischen Messungen an Schärfe übertrifft.

Dieses Gesetz (es ist das dritte) lautet: Die Quadrate der siderischen Umlaufzeiten¹⁾ der Planeten verhalten sich wie die dritten Potenzen ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne. In der nachfolgenden Tabelle sind die sich hieraus ergebenden Zahlen eingetragen.

Planet	Siderische Umlaufszeit in Tagen	Mittlere Entfernung von der Sonne
Merkur	87·969	0·38710
Venus	224·701	0·72333
Erde	365·256	1·00000
Mars	686·980	1·52369
Jupiter	4.332·588	5·20280
Saturn	10.759·236	9·53886
Uranus	30.688·390	19·18338
Neptun	60.181·113	30·05437

¹⁾ Unter siderischer oder wahrer Umlaufszeit eines Planeten versteht man die Zeit, welche derselbe braucht, um (von der Sonne aus gesehen) wieder zu demselben Fixstern (*siderus*) zu gelangen.

Man erkennt hieraus, dass z. B. die Entfernung des Merkur von der Sonne nahezu ein Drittel der Entfernung der Erde von unserem Centrankörper ist, jene der Venus beiläufig drei Viertel u. s. f.; man erkennt aber auch, dass, wenn es gelingt, bloß eine dieser Entfernungen in irdischen Maassen auszudrücken, wir die Entfernungen aller Planeten in derselben irdischen Maasseinheit kennen.

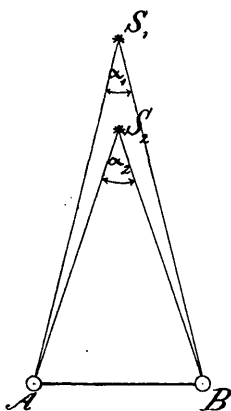
Seit jeher war demnach das Streben der Astronomen darauf gerichtet, die mittlere Sonnenentfernung zu bestimmen, oder mit anderen Worten: das Verhältniss zwischen der himmlischen oder planetarischen Maasseinheit — der mittleren Sonnenentfernung — und einer der irdischen, z. B. dem Meter, festzustellen. Denn erst dann erhalten wir einen richtigen Begriff von der Ausdehnung unseres Sonnensystems, und können unter Zuhilfenahme der bekannten Umlaufzeiten der Planeten ihre mittlere Geschwindigkeit berechnen, desgleichen auch die wirkliche Grösse ihres scheinbaren Durchmessers und hieraus endlich ihr Volumen ermitteln. Wir sind dann auch im Stande, die im ganzen Universum herrschenden Kräfte, deren Wirkung gerade mit der Distanz wechselt und die wir in ihren gegenseitigen Beziehungen für unsere irdischen Verhältnisse genau erforscht und studirt haben, in den grossen Weltraum zu übertragen und so mit einiger Sicherheit der Fragen nachzugehen, ob bloß die Schwere allein die Herrschaft im Sternenreiche übt, oder ob vielleicht nicht auch der Elektrizität, der Wärme und dem Lichte eine kosmische Wirkung zufällt, so dass auch diese Naturkräfte an den Störungen der Bahnen der

Himmelskörper participiren. Aber auch die Richtungen der von verschiedenen Punkten der Erdoberfläche aus beobachteten Planeten und Kometen sind nicht früher in hinreichend genauer Weise auf einander zu reduciren und demgemäss auch nicht ihre Bahnen eher mit hinreichender Genauigkeit zu ergründen, bevor nicht dieses Verhältniss der irdischen und planetarischen Maasseinheit bekannt ist, weil diese Richtungen um Winkelgrössen von einander differiren, die von dem Verhältnisse abhängen, in welchem die Entfernungen der Beobachtungsorte und der fraglichen Himmelskörper zu einander stehen.

1. Bestimmung der Entfernungen im Himmelsraume.

Im Allgemeinen ist das Princip der Bestimmung der Entfernungen im Himmelsraume sehr einfach. Betrachten wir nämlich zwei in verschiedener Entfernung befindliche Gegenstände von verschiedenen Standpunkten, so werden wir finden, dass diese scheinbar ihren Ort ändern. In *A* (Fig. 1) erscheint S_2 rechts von S_1 , in *B* hingegen S_1 rechts von S_2 . Im Allgemeinen kann man also aus der relativen Ortsänderung einen Schluss auf die relative Entfernung der beiden betrachteten Objecte ziehen. Diesen Unterschied in den Richtungen, also den Winkel

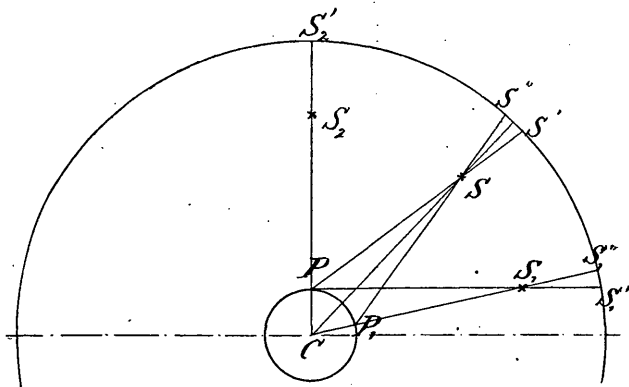
Fig. 1.



α_1 , bez. α_2 , nennt man Parallaxe. Je weiter der Gegenstand, desto kleiner die Parallaxe. Ist nun die Entfernung AB bekannt und der Winkel α_1 gemessen, so kann man die Entfernung des Punktes S_1 bestimmen.

Wenden wir diese einfache Erscheinung auf die Gestirne an. Sei in Fig. 2 S ein Gestirn, C der Erdmittelpunkt und der kleine Kreis ein Erdmeridian. Ein Beobachter in P wird den Stern S in der Richtung PS auf

Fig. 2.



dem Himmelsgewölbe projectirt finden, ihn also scheinbar in S' , hingegen ein Beobachter in P_1 denselben Stern in der Richtung P_1S oder in S'' erblicken; der Winkel PSP_1 ist dann die Parallaxe des Gestirnes. In der Astronomie fasst man aber den Begriff Parallaxe in einem etwas beschränkteren Sinne auf. Man versteht darunter nämlich den Winkel, welchen die Richtungen nach einem Gestirn von einem Punkte der Erdober-

fläche und vom Erdmittelpunkte mit einander einschliessen; für P ist also die Parallaxe der Winkel PSC und für P_1 der Winkel P_1SC . Bekanntlich bewegen sich alle Himmelskörper scheinbar um die Erde, werden also vom Erdmittelpunkte aus nach allen Richtungen gesehen werden können. Stünde ein bestimmtes Gestirn in S_2 , dann würde es sich im geocentrischen Zenith des Beobachtungsortes P befinden und die Parallaxe wäre gleich Null; befindet sich dasselbe jedoch in S_1 , erscheint es also im Horizonte des Beobachtungsortes P , so ist die Parallaxe, der Winkel PS_1C , ein Maximum; man nennt diesen Werth die Horizontalparallaxe des betreffenden Gestirns. Es ist also der Winkel, unter welchem der Erdhalbmesser von dem Sterne aus gesehen wird. Wir wissen aber, dass die Erde selbst keine vollständige Kugel ist, sondern die Gestalt eines an den Polen abgeplatteten Sphäroids besitzt, zufolge dessen also jedem Punkte des Aequators der grösste Halbmesser zukommt. Die diesem Halbmesser entsprechende Parallaxe gilt in der Astronomie als Norm und wird mit dem Ausdrucke Aequatorial-Horizontal-Parallaxe bezeichnet.

Bekanntlich liefern die Gradmessungen sowohl die Grösse dieses Halbmessers, als die Form des Erdkörpers überhaupt. Es reducirt sich demgemäss die Bestimmung der Entfernung eines Gestirns auf die Beobachtung der Richtungen von zwei beliebigen Punkten der Erdoberfläche nach dem bestimmten Sterne, also der Beobachtung einer beliebigen Parallaxe, aus welcher sich dann unter Zugrundelegung der Erddimensionen die Aequatorial-

Horizontal-Parallaxe leicht ergibt. Diese bildet den kleinen spitzen Winkel eines rechtwinkligen Dreieckes, welchem der bekannte Aequatorhalbmesser als Kathete gegenüberliegt, und welchem die gesuchte Entfernung als Hypothenuse angehört.

Je grösser die Entfernung der Beobachtungsorte, die Basis selbst gewählt wird, desto grösser wird auch für ein in bestimmter Entfernung befindliches Gestirn die beobachtete Parallaxe; sie nimmt für dieselbe Basis mit zunehmender Entfernung ab. Da wir aber bezüglich der Basis an die Dimensionen des Erdkörpers gebunden sind und mit Hilfe der uns zur Verfügung stehenden Instrumente nur eine bestimmte absolute Genauigkeit überhaupt erreichen können, so wird begreiflich, dass mit abnehmender Parallaxe das Fehlerverhältniss in derselben wachsen und daher auch die Genauigkeit in der zu ermittelnden Distanz abnehmen wird. Um gleich hier in dieser Beziehung ein Urtheil zu ermöglichen, sei erwähnt, dass uns der Erdhalbmesser von der Sonne aus unter dem Winkel von beiläufig 8.81 Bogensekunden (Sonnenparallaxe) erscheint; wird dieser Winkel nur auf 0.01 Bogensekunden ungenau, also um einen Winkel, der gleichkommt jenem Winkel, unter welchem wir einen Millimeter in der Distanz von mehr als $20\frac{1}{2}$ Kilometer oder beiläufig $2\frac{3}{4}$ geogr. Meilen sehen, so beträgt der hiedurch in der Sonnenentfernung bedingte Fehler 170.000 Kilometer. Bei der grössten Vollkommenheit unserer Winkelinstrumente ist aber durch directe Messung die Erreichung einer solchen Genauigkeit nicht möglich.

Eine Vergrößerung der Grundlinie unserer Beobachtung können wir aus der Bewegung unseres Planeten selbst gewinnen. Ausser der täglichen Rotation um die Achse ist es nämlich die während eines Jahres erfolgende Revolution unserer Erde, welche jeden einzelnen Punkt derselben längs ihrer eigenen Bahn führt, so dass er in Intervallen von einem halben Jahre sich an Orten im Weltraume befindet, die um den Durchmesser der Erdbahn (dieselbe kreisförmig vorausgesetzt) von einander verschieden sind. Was nützt uns aber die Kenntniss der Methode, wenn wir von derselben wegen Unkenntniss der absoluten Grösse der Basis für Zwecke der Parallaxenmessung keinen Gebrauch machen können? —

All' das Gesagte trifft in dieser Einfachheit für solche Gestirne zu, welche ihren Ort im Himmelsraume nicht ändern. Anders ist es jedoch bei den Planeten, welche sich in der Erdbahn ähnlichen Bahnen bewegen, die im Allgemeinen mit der ersteren einen Winkel einschliessen. Wohl würden die zufolge der täglichen Bewegung der Erde resultirenden Ungleichheiten der scheinbaren Bewegung der Planeten uns in den Stand setzen, aus der gemessenen Parallaxe dieser Planeten deren Entfernungen zu bestimmen, wenn die Grösse des Erddurchmessers selbst gegen diese Entfernungen nicht verhältnissmässig so klein wäre, dass sich mit Ausnahme der wenigen der Erde sehr nahe kommenden Planeten deren parallaktische Verschiebung thatsächlich einer sicheren Messung entzieht. In diesem günstigen Falle muss man selbst zu den feinsten Instrumenten und Vorrichtungen

seine Zuflucht nehmen und darin einen Ausweg suchen, dass man die relative Parallaxe, d. i. jene Verschiebung bestimmt, welche sich aus der Ortsänderung in Bezug auf ein fixes Gestirn ergibt. So erhält man also das Verhältniss, in welchem die Entfernungen dieser beiden Gestirne zu einander stehen, und dann auch sofort die eine, wenn die andere bekannt ist. In dieser Weise verfährt man z. B. bei Fixsternen und auch beim Mars und den kleinen Planeten, indem man ihre relative Ortsänderung gegen benachbarte Fixsterne beobachtet.

2. Die Venusdurchgänge im Allgemeinen.

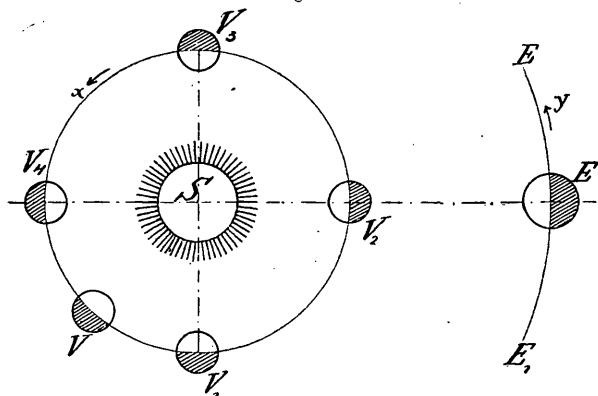
Auch die Beobachtung des Venusdurchganges, eines der vorzüglichsten Mittel zur Ermittlung der Sonnenentfernung, ist nichts Anderes als die Ermittlung der Differenz der Parallaxen der Venus und der Sonne, gerade zu der Zeit, da Venus sich in ihrer grössten Erdnähe befindet. Zur Erklärung des Phänomens wird es nothwendig erscheinen, vorerst die Bahn der Venus etwas näher zu betrachten.

Sei in Fig. 3 S die Sonne, $V V_1 V_2 V_3 V_4 V$ die Venus-, $E_1 E E_2$ die Erdbahn oder Ekliptik, die wir beide der Einfachheit wegen kreisförmig annehmen.¹⁾ — Von V z. B. ausgehend, wird sich Venus in Richtung des Pfeiles x bewegen und nach Verlauf einer gewissen Zeit

¹⁾ In dieser und den folgenden Figuren konnte der Deutlichkeit wegen das Verhältniss in Bezug auf Grösse und Entfernung der in Frage kommenden Himmelskörper nicht eingehalten werden.

in V_1 am weitesten links von der Sonne stehen; man bezeichnet diese Stellung als östliche Digression. In V_2 befindet sie sich der Erde am nächsten oder in der unteren Conjunction, in V_3 am weitesten rechts von der Sonne oder in der westlichen Digression, und in V_4 in der Verlängerung der Richtung Erde und Sonne, also von der ersteren am weitesten entfernt oder in der oberen Conjunction.

Fig. 3.



In dieser Stellung ist Venus für uns nicht sichtbar. Während sie sich aber mehr nach Osten bewegt, erscheint sie im Fernrohr als schwach beleuchtete Sichel am Abendhimmel (Abendstern) und geht erst nach der Sonne unter. In der östlichen Digression ist gerade ihre halbe Scheibe erleuchtet. Indem sie sich der unteren Conjunction nähert, wird die beleuchtete Sichel immer kleiner, dafür aber wegen der grösseren Erdnähe ihr scheinbarer Durch-

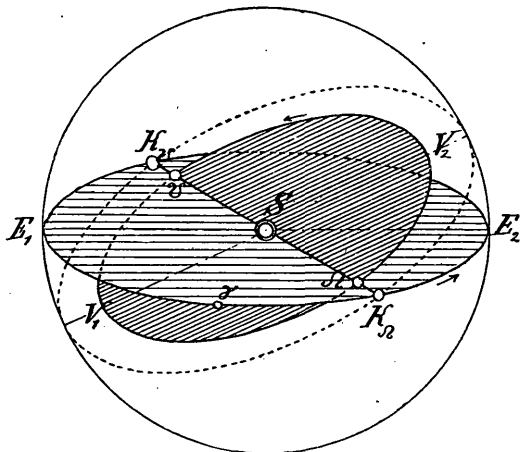
messer und auch ihre Intensität immer grösser, so dass sie 35—38 Tage vor der Conjunction selbst bei Tage mit blossen Auge neben der Sonne gesehen werden kann. — Trotz dieses günstigen Umstandes, der grossen Erdnähe, ist eine absolute Parallaxenmessung nicht mit der erforderlichen Genauigkeit durchzuführen; denn abgesehen davon, dass in der Nähe der unteren Conjunction nur ein kleiner sichelförmiger Theil erleuchtet ist, bietet gerade der Umstand, dass die Messung in der unmittelbaren Umgebung der Sonne erfolgen müsste, die grosse Schwierigkeit, weil die Atmosphäre durch Strahlung sehr gestört ist. — In ihrer weiteren Bahn zur westlichen Digression wiederholen sich die früheren Erscheinungen in umgekehrter Reihenfolge. Venus erscheint am Morgenhimmel (Morgenstern) und ist bei V_3 genau halb erleuchtet. Jetzt nähert sie sich immer mehr der Sonne, um endlich bei V_4 abermals zu verschwinden.

Lägen nun Erd- und Venusbahn in derselben Ebene, so müsste sich jedesmal in der unteren Conjunction die Venus auf der Sonnenscheibe projeciren. Durch's Fernrohr betrachtet, würde dann auf der Sonnenscheibe von $32'$ scheinbarem Durchmesser die Venus als kleiner schwarzer Kreis von $1'$ scheinbarem Durchmesser vorüberziehen, oder es würde ein Durchgang der Venus statthaben. Nun beträgt aber die Neigung der Venus- und Erdbahn circa $3^{\circ} 23'$; es kann also nicht jedesmal in der unteren Conjunction diese Erscheinung eintreten, vielmehr nur dann, wenn sich Venus nahe im Durchschnittspunkte der beiden Bahnen, den sogenannten

Knoten, befindet und ausserdem auch noch die Erde in der Richtung der Verbindungslinie der Knotenpunkte, der Knotenlinie, steht.

Betrachten wir die Fig. 4. S ist die Sonne, $E_1 E_2$ die Erdbahn oder Ekliptik, $V_1 V_2$ die Venusbahn, Ω der aufsteigende, ϑ der absteigende Knoten, $K_\vartheta K_\Omega$ die Knotenlinie. Wir sehen, dass ein Venusdurchgang nur erfolgen kann, wenn sich die Erde in K_Ω und gleich-

Fig. 4.



zeitig die Venus im Ω , oder die Erde in K_ϑ und die Venus gleichzeitig im ϑ befindet. Indem sich die erstere während eines Jahres längs der Bahn $E_1 E_2$ bewegt, gelangt sie zu derselben Zeit immer zum bestimmten Punkte derselben. Bei K_Ω steht sie am 7. December, bei K_ϑ am 5. Juni, daher Venusdurchgänge auch nur um diese

Zeit statthaben können. Nachdem aber der scheinbare Durchmesser der Sonne 32 Bogenminuten beträgt, so ist es nicht nothwendig, dass Venus gerade im Knoten stehe. Ihr Abstand von demselben kann selbst $1^{\circ} 49'$ betragen, um noch immer diese Erscheinung darzubieten. Im Allgemeinen können also Venusdurchgänge nur in der ersten Hälfte des December und Juni stattfinden, u. z. treten die ersteren im aufsteigenden, die letzteren im absteigenden Knoten ein.

Inwieweit nun auf ihre periodische Wiederkehr zu rechnen ist, ergibt sich aus folgender Betrachtung: Die synodische Umlaufszeit der Venus, d. h. jene Zeit, welche zwischen zwei aufeinanderfolgenden Conjunctionen verfließt, beträgt $583^{\text{d}} 22^{\text{h}}$. Nach Verlauf dieses Zeitraumes hat die Erde bereits einen Umlauf von $360^{\circ} + 215^{\circ} 32'$ vollbracht, ist also, wenn sie bei Beginn der Bewegung in der Nähe eines Knotens sich befand, um diesen Betrag über denselben Knoten der Venus schon weitergerückt. Nach Verlauf von fünf synodischen Umläufen, also $5 \times 583^{\text{d}} 22^{\text{h}}$ oder nahezu acht Jahren hat die Erde einen Weg von $5 \times (360^{\circ} + 215^{\circ} 32')$ zurückgelegt, befindet sich also noch $2^{\circ} 20'$ vor dem betrachteten Ausgangspunkte. Befand sich dieser z. B. 1° über K_{Ω} , weshalb noch ein Durchgang erfolgen musste, so wird die Erde jetzt $1^{\circ} 20'$ vor K_{Ω} stehen, und man wird abermals einen Venusdurchgang beobachten können. Nach den nächsten fünf synodischen Umläufen steht sie wieder um weitere $2^{\circ} 20'$, also um $3^{\circ} 40'$ zurück, demgemäss schon ausserhalb dieser Sphäre. — Wir können aber weiter so

rechnen. Für die gemachte Voraussetzung steht die Erde beim zweiten Venusdurchgange $1^{\circ} 20'$ vor dem aufsteigenden, also $178^{\circ} 40'$ über dem absteigenden Knoten. Weil aber der Ort der Conjunction nach je fünf synodischen Umläufen um $2^{\circ} 20'$ dem absteigenden Knoten näher rückt, so wird man die Zahl der synodischen Umläufe, nach deren Verlauf die Erde in der Knotenlinie und Venus im absteigenden Knoten sich befindet, erhalten durch $178^{\circ} 40' : 2^{\circ} 20' = 76.6$. Nach $583^{\text{d}} 22^{\text{h}} \times 76.6$ oder nahezu $121\frac{1}{2}$ Jahren findet also im absteigenden Knoten ein Venusdurchgang statt.

Auf diesem Wege fortfahrend erkennt man leicht, dass die Venusdurchgänge in einer grossen Periode von 243 Jahren aufeinanderfolgen, die wieder vier kleinere Perioden von 8, $121\frac{1}{2}$, 8 und $105\frac{1}{2}$ Jahren einschliesst. Die nächstfolgende Zusammenstellung erstreckt sich auf alle seit Erfindung des Fernrohres stattgehabten Venusdurchgänge und giebt den Tag des Eintrittes der folgenden inclusive jenes zu Beginn des 4. Jahrtausends stattfindenden.

1631 December	6.	1639 December	4.
1761 Juni	5.	1769 Juni	3.
1874 December	8.	1882 December	6.
2004 Juni	7.	2012 Juni	5.
2117 December	10.	2125 December	8.
2247 Juni	11.	2255 Juni	8.
2360 December	12.	2368 December	10.
2490 Juni	12.	2498 Juni	9.
2603 December	15.	2611 December	13.
2733 Juni	15.	2741 Juni	12.

2846 December 16.	2854 December 14.
2984 Juni 14.	3012 Juni 12.

Würdigt man diese Zusammenstellung eines näheren Blickes, so wird man noch zwei weitere Beobachtungen zu machen vermögen. Man wird erkennen, 1. dass sich die Durchgänge desselben Monates in den verschiedenen Jahrhunderten um beiläufig zwei Tage verspäten, und 2. dass von einem Paar von Durchgängen desselben Jahrhunderts der zweite immer um fast zwei Tage früher erfolgt.

Die Verspätung in den verschiedenen Jahrhunderten findet ihre Erklärung in einer langsamen Bewegung der Erd- und Venusbahn, wodurch auch die Knotenlinie ihre Lage im Sinne der fortschreitenden Erdbewegung ändert. — Zur Erklärung der zweiten Erscheinung brauchen wir nur auf die Berechnung der periodischen Wiederkehr zurückzugreifen. Wir haben daselbst schon gesehen, dass fünf synodische Umläufe der Venus einen geringeren Zeitraum einschliessen als acht Erdumläufe oder Jahre von $366^d 6^h$; diese Differenz beträgt thatsächlich $2^d 5^h$.

Neben Venus bietet auch der zweite der inneren Planeten, Merkur, die gleiche Erscheinung dar, wenn er zur Zeit seiner unteren Conjunction keinen grösseren Knotenabstand als $3^0 28'$ besitzt. In Folge dieser weiteren Grenze und der kürzeren synodischen Umlaufszeit (sie beträgt nahezu $115^d 21^h$) ist auch die Möglichkeit von Merkurdurchgängen eine viel grössere; dieselben finden, der Lage der Knotenlinie entsprechend, im Mai

und November statt. In diesem Jahrhundert konnten sie beobachtet werden:

1802 November	8.	1848 November	9.
1815	„ 11.	1861	„ 11.
1822	„ 4.	1868	„ 4.
1832 Mai	4.	1878 Mai	6.
1835 November	7.	1881 November	7.
1845 Mai	8.		

und finden noch statt:

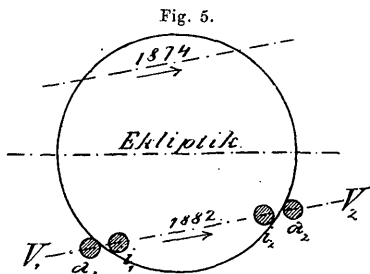
1891 Mai	9.	1894 November	10.
----------	----	---------------	-----

In welcher Weise das Phänomen des Venusdurchganges selbst sich darstellt, ergibt Fig. 5. Der grosse Kreis stellt die Sonnenscheibe dar, V_1

V_2 die Bahn der Venus. Da diese selbst eine Scheibe ist, so wird man während des Durchganges vier Momente auffassen können, nämlich die

zweimalige Berührung des Sonnenrandes von aussen, $a_1 a_2$, und ebenso die zweimalige Berührung von innen, $i_1 i_2$.

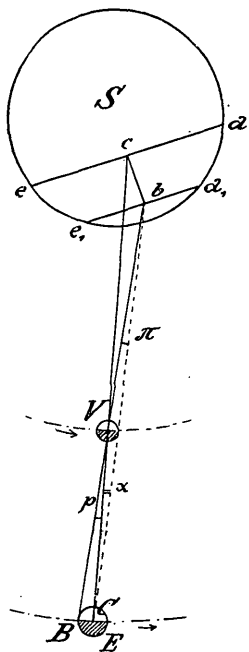
Die Fig. 5 zeigt den Verlauf des Phänomens auf der Sonnenscheibe, wie derselbe dem Durchgange von 1874 und 1882, beobachtet vom Mittelpunkte der Erde, entspricht. Sofern wir aber einen Beobachter auf der Erdoberfläche in's Auge fassen, so wird dieser die Venus nicht nach der Sehne $a_1 a_2$ die Sonnenscheibe passiren



sehen, sondern je nach dem Standpunkte ober- oder unterhalb derselben.

Sei zur näheren Erklärung des Gesagten in Fig. 6 S die Sonnenscheibe, V die Venus und E die Erde; auf

Fig. 6.



derselben ein Beobachter in B . Derselbe wird die Venus den Weg $e_1 a_1$ nehmen sehen, während dem Mittelpunkte der Erde die Sehne $e a$ entspricht. Man erkennt aus der Figur, dass der Erdhalbmesser $B C$ von der Sonne aus unter dem Winkel π , von der Venus aus unter dem Winkel p erscheint, π demgemäss die Sonnen- und p die Venusparallaxe ist. Der Winkel x , welcher dem Abstände der beiden Sehnen $e a$ und $e_1 a_1$, also $b c$ entspricht, ist als Winkel des Dreieckes $C V b$, in welchem $< p$ als Aussenwinkel vorkommt, gleich der Differenz $p - \pi$, also gleich der Differenz der Venus- und Sonnenparallaxe. Nun verhalten sich aber

gerade diese umgekehrt wie ihre Entfernungen, daher die Proportion steht:

$$p : \pi = 1 : 0.277,$$

woraus sich leicht die Sonnenparallaxe berechnet, nämlich:

$$\pi = \frac{p - \pi}{2.6} = \frac{x}{2.6}.$$

Es ist demgemäss die aus der Beobachtung folgende relative Parallaxe 2.6mal grösser als die Sonnenparallaxe und kann sohin die letztere schliesslich durch eine einfache Division erhalten werden.

Was hier in Bezug auf den Punkt *B* gesagt wurde, gilt selbstverständlich auch von jedem anderen Punkte der Erdoberfläche. Für diesen wird ähnlich der Sehne $e_1 a_1$ eine andere Sehne $e_2 a_2$ sich ergeben, die einen desto grösseren Abstand von der ersteren besitzen wird, je weiter die beiden Beobachtungsorte in Polhöhe von einander stehen. Die Länge der Sehnen erhält man aus der beobachteten Zeitdauer, indem man nämlich Ein- und Austritt an der Uhr auffasst; ihren Abstand kann man aber leicht ermitteln, weil sie einem Kreise, nämlich der Sonnenscheibe angehören, deren scheinbarer Halbmesser sehr genau bekannt ist.

Denkt man sich statt Venus den Planeten Merkur vor der Sonnenscheibe, so findet man die Sonnenparallaxe π aus der Proportion:

$$p : \pi = 1 : 0.613,$$

in welcher p die Merkurparallaxe bezeichnet; hieraus ergiebt sich:

$$\pi = 1.6 (p - \pi) = 1.6 x.$$

Während sich also beim Venusdurchgange der Einfluss eines etwaigen Fehlers in der beobachteten Paral-

laxe α im Schlussresultate nur in dem Verhältnisse von beiläufig 5 : 2 geltend macht, oder mit anderen Worten: die hiedurch bedingte Unsicherheit in der Sonnenparallaxe π um mehr als die Hälfte kleiner ist, überträgt sich dieselbe beim Mercurdurchgange in dem Verhältnisse von beiläufig 2 : 3, oder ist mehr als andert-halbmal grösser. Deshalb eignen sich auch Mercurdurchgänge für Zwecke der Bestimmung der Sonnenparallaxe nicht.

Das Verdienst, auf die Wichtigkeit der Venusdurchgänge aufmerksam gemacht zu haben, gebührt dem Engländer Edmund Halley. Er sagt diesfalls in seiner aus dem Jahre 1716 stammenden Abhandlung: ¹⁾

„Vor 40 Jahren war ich auf der Insel St. Helena, um daselbst die Sterne des südlichen Himmels zu beobachten. Zufällig ereignete sich in dieser Zeit ein Vorübergang des Merkur vor der Sonnenscheibe. Indem ich ihn mit einem guten Fernrohr beobachtete, bemerkte ich bald, dass sich diese Beobachtungen mit einer besonderen Schärfe ausführen lassen. Dabei fiel mir ein, dass sich durch dieselben die Parallaxe des Merkurs gut bestimmen lassen würde, die beträchtlich grösser sein muss als die der Sonne, da Merkur in seiner unteren Conjunction der Erde so viel näher steht. Allein ich sah auch bald, dass die Differenz der Parallaxe des Merkur und der Sonne kleiner ist als die Parallaxe der

¹⁾ Philos. Transact. 1716. Abridg'd, Vol. IV, 1749.

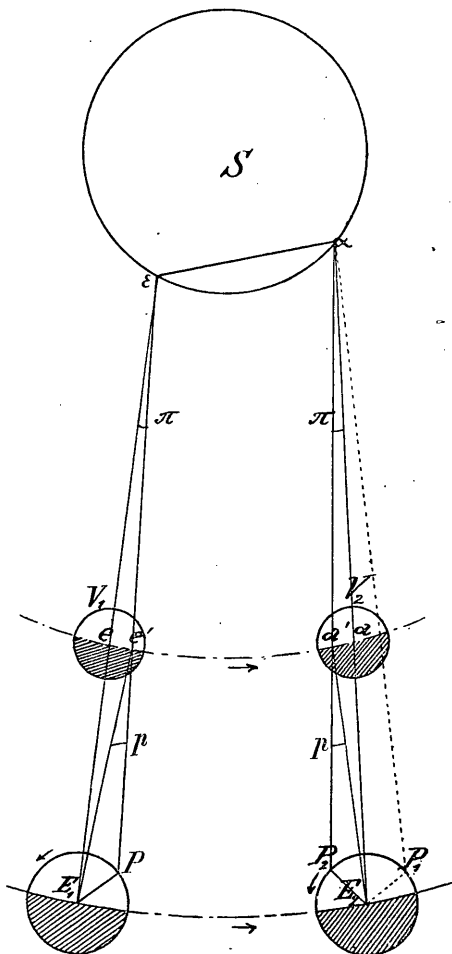
Sonne, und daher auf diesem Wege nicht viel Gutes zu erwarten sei.

„Aber bei der Venus, fiel mir ein, ist dies Verhältniss viel günstiger, da ihre Parallaxe viel grösser ist als die des Merkur, man sie also von verschiedenen Punkten der Erde an verschiedenen Stellen der Sonnenscheibe sehen muss. Sollte sich nun nicht aus dieser Verschiedenheit der Stellen die Sonnenparallaxe selbst, durch die sie doch verursacht werden, wieder umgekehrt finden lassen?

„Diese Beobachtungen bedürfen, wie man von selbst einsieht, keiner besonders kostbaren Instrumente. Ein gutes Fernrohr und eine gute Uhr, weiter bedarf es nichts. Die geographische Breite des Ortes braucht nur beiläufig bekannt sein, da sie auf die Erscheinung keinen so wesentlichen Einfluss übt, und die geographische Länge kann man beinahe ganz entbehren, da man nichts als die Dauer der Beobachtung, d. h. die Zeit zu kennen braucht, die zwischen dem Ein- und Austritte der Venus verfliesst, ohne die absoluten Momente dieser Erscheinung selbst zu kennen.“

Es ist wohl selbstverständlich, dass sich die Beobachtung und Berechnung nicht in so einfacher Weise vollzieht; denn ausserdem, dass hier die Rotation der Erde in Frage kommt, zufolge welcher also die Beobachtungsorte während des Durchganges ihre Lage im Raume ändern, schreiten auch noch beide Himmelskörper, Venus und Erde, in ihrer Bahn weiter. Die nächstfolgende Figur 7 soll dazu dienen, diese beiden Einflüsse

Fig. 7.



zu erklären; wie bisher bedeutet S , V , E die Sonne, Venus und Erde.

Vom Mittelpunkte der Erde aus gesehen, würde Venus in ihrer Bahn bei e in die Sonnenscheibe eintreten; für einen Beobachter in P muss sie jedoch noch den Weg $e e'$ zurücklegen, auf dass der Eintritt erfolgt.

Venus und Erde schreiten nun in ihrer Bahn weiter. Wenn sich die Erde bei E_2 befindet, ist Venus in V_2 , also an einem Orte angelangt, für welchen, vom Mittelpunkte der Erde aus gesehen, der Austritt aus der Sonnenscheibe erfolgt. Da aber die Erde zugleich rotirt, so kommt unterdessen der Beobachtungsort von P_1 nach P_2 , und es muss demgemäss der Austritt schon statt haben, wenn sich Venus in a' befindet.

Die soeben angestellte Betrachtung setzt uns aber in den Stand, die Beobachtung des Venusdurchganges für Zwecke der Ermittlung der Sonnenparallaxe noch in anderer Weise zu verwerthen. In dem Dreiecke $\epsilon e'E_1$ erscheint der Winkel $e'E_1\epsilon$, welcher der Verspätung des Eintrittes entspricht, als Innenwinkel, desgleichen die Sonnenparallaxe π , die Venusparallaxe p als Aussenwinkel; es ist somit:

$$\sphericalangle e'E_1\epsilon = p - \pi.$$

Analog ergibt sich aus dem Dreiecke $\alpha a'E_2$:

$$\sphericalangle a'E_2\alpha = p - \pi.$$

Man ersieht also, dass man durch die Beobachtung des Ein- oder Austrittes allein die Differenz der Venus- und Sonnenparallaxe erhalten kann. Zu diesem Ende

ist es nur nothwendig, die an einem Beobachtungsorte gesammelten Daten, das ist die Zeit des Ein- und Austrittes, auf den Mittelpunkt der Erde oder, was gleichbedeutend ist, auf den Meridian des Ausgangsortes zu reduciren.

Diese Methode, welche zuerst von De l'Isle angegeben wurde, bietet gegenüber der Halley'schen Methode den unbestrittenen Vortheil, dass es nicht nothwendig ist, die Ein- und Austrittszeit an zwei in Breite ziemlich verschiedenen Orten zu bestimmen; es genügt, wenn es blos gelungen ist, die Zeit des Ein- oder Austrittes an einem Orte zu beobachten, zu welchem Ende man aber nur während eines verhältnissmässig kurzen Momentes klaren Himmels bedarf. Ihr Nachtheil liegt aber darin, dass die geographische Länge des Beobachtungsortes bekannt sein muss, was unter Umständen mit jener Genauigkeit, welche hier verlangt wird, nicht leicht möglich ist.

Es ist ohne Weiteres klar, dass der Durchgang für alle Orte, welche in demselben Meridiane liegen, gleichzeitig erfolgen muss, hingegen wird der Ein- und Austritt für einen östlicher liegenden früher statthaben als für einen westlichen. Ueberhaupt hängt die Dauer des Durchganges wesentlich mit der geographischen Lage des Ortes zusammen.

Betrachten wir zu diesem Ende einen Beobachter im Westen und Osten, gegenüber einem Beobachter im Mittelpunkte der Erde. Da die Bewegung der Venus von Ost nach West erfolgt, so muss die in Rede stehende Zeitdauer für den ersten Beobachter bedeutend kürzer

erscheinen als für den Erdmittelpunkt, weil die scheinbare Bewegung der Venus in Folge der entgegengesetzten Richtung der Erdbewegung beschleunigt wird. Für den zweiten Beobachter (im Osten) jedoch, der bei Sonnenuntergang den Eintritt und bei Sonnenaufgang den Austritt zu sehen bekommt, für welchen also die Richtungen der Erdrotation und der scheinbaren Venusbewegung gleich sind, muss die Dauer des Phänomens in Folge der Parallaxe gegenüber der Dauer für den Erdmittelpunkt vergrössert werden.

Hieraus ist auch leicht zu entnehmen, dass jenen Stationen, die in einem Meridian liegen, für welchen gerade die Venus gegen Mittag in Conjunction sich befindet, die kürzeste Dauer, hingegen denjenigen, für welche die Conjunction um Mitternacht eintritt, die grösste Dauer des Durchganges entsprechen wird.

Sofern es sich darum handelt, die Orte längster oder kürzester Dauer zu bestimmen, muss auch darauf Rücksicht genommen werden, ob der Durchgang südlich oder nördlich vom Sonnenmittelpunkte erfolgt. Im ersteren Falle wird er für alle südlich gelegenen Orte verlängert und die nördlich gelegenen verkürzt; im letzteren Falle findet das Umgekehrte statt. Der Grund hiefür ist nicht weit zu suchen. In Folge der Parallaxe wird nämlich der Durchgang dem Mittelpunkte der Sonne näher oder weiter gerückt und so die Sehne, nach welcher sich der Vorübergang projicirt, entweder länger oder kürzer werden.

Gerade diese letzteren Erwägungen sind es, welche neben den meteorologischen und klimatischen Verhält-

nissen bei Auswahl der Stationen für Beobachtung des Venusdurchganges eine ganz bedeutende Rolle spielen, weil die Dauer des Verweilens der Venus in der Sonnenscheibe einen wesentlichen Einfluss auf die Genauigkeit des Schlussresultates zu üben vermag.

3. Der Venusdurchgang von 1761 und 1769.

Nachdem wir nun das zum Verständniss Wesentlichste über die Theorie dieses interessanten Phänomens kennen gelernt, werfen wir einen kurzen Blick auf dessen Geschichte. — Es ist noch nicht gar so lange her, dass man sich in Kenntniss desselben befunden, denn Copernicus, der geniale Begründer des nach ihm benannten Systems, macht wenigstens keine Erwähnung davon. Erst Kepler, welcher die Planetentafeln bedeutend vervollkommnete, konnte einen Venusdurchgang für den 6. December 1631 vorhersagen; derselbe war jedoch für Europa nicht sichtbar. So genau waren aber seine Tafeln noch immer nicht, als dass sich der acht Jahre später stattgefundene aus denselben ergeben hätte. Indessen beobachtete schon zu jener Zeit der Engländer Horrox fleissig die Venus und verglich seine Beobachtungen mit den Tafeln von Kepler, sowie den, übrigens viel weniger genauen von Landsberg und fand, unter Zugrundelegung der letzteren, dass am 4. December 1639 ein Venusdurchgang stattfinden sollte. Er beobachtete ihn auch thatsächlich mit seinem Freunde Crabtree, ohne dass aber die hiebei gesammelten Daten aus verschiedenen Gründen irgend welchen Werth für die Be-

stimmung der Sonnenparallaxe hätten. Erst Halley war es, welcher auf die Wichtigkeit dieses Phänomens, und zwar bereits im Jahre 1677,¹⁾ aufmerksam machte, später aber auch jene Methode angab, welche nach ihm den Namen erhielt. Er berechnete, dass sich darnach die Sonnenparallaxe wenigstens auf $\frac{1}{40}$ Bogensekunde bestimmen lassen müsse, wenn für die Beobachtungen Orte ausgewählt werden, deren Polhöhendifferenz bedeutend ist. Indem er daran ging, die künftigen Venusdurchgänge vorauszuberechnen, fand er, dass der nächste erst im Jahre 1761 stattfinden werde, weshalb er auch sofort die Resultate seiner eingehenden Studien in der berühmt gewordenen Abhandlung des Jahres 1716 niederlegte. Wenn auch Manches, was daselbst vorkommt, nicht ganz richtig ist, so kann das nicht als Vorwurf für den genialen Forscher gelten, sondern findet seine Begründung theils in dem damaligen Stande der Himmelskunde, theils in Rechnungsfehlern, die unvermeidlich sind. Gerade aus diesem letzten Grunde sind auch die Sichtbarkeitsgrenzen ungenau, ein Umstand, der übrigens die Rivalität der Franzosen gegenüber den Engländern nicht wenig offenbarte.

Im Allgemeinen war aber die Sichtbarkeitszone und auch der ganze Verlauf nicht besonders günstig; denn Ein- und Austritt war nur in Asien, dem indischen Ocean und einem Theile von Australien sichtbar, also in Gegen-

1) Es erfolgte dies in einem Briefe, den Halley von St. Helena aus an Sir Jonas Moore gerichtet hatte.

den, in welchen es nicht so leicht anging, zwei möglichst weit entfernte Punkte als Beobachtungsstationen zu wählen. Für die am günstigsten gelegenen betrug der Unterschied in der Dauer der Erscheinung blos neun Minuten.

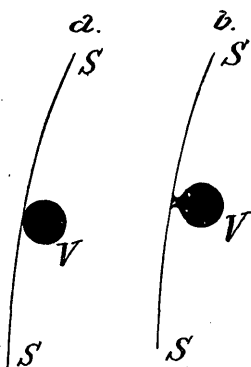
Welch' grosses Interesse die einzelnen Nationen an dem erwarteten Ereignisse nahmen, geht am deutlichsten daraus hervor, dass 112 Astronomen dasselbe beobachteten. So sendete speciell Frankreich Le Gentil nach Pondichery, Pingré nach Rodriguez, La Chappe nach Tobolsk, England Maskelyne und Mason nach St. Helena, bez. Sumatra, Russland den Astronomen Rumowski nach Selenginsk, die schwedische Akademie Planmann, Hellant und Gisler nach Cajaneburg, Tornea und Hernösand u. s. w. Die europäischen Sternwarten waren überhaupt nicht müssig, trotzdem eigentlich mit Ausnahme eines kleinen Theiles des nordöstlichen Europa daselbst nur der Austritt sichtbar war.

Die gehegten Erwartungen wurden aber nicht erfüllt. Abgesehen davon, dass Le Gentil, Pingré und Mason des zwischen England und Frankreich ausgebrochenen Krieges wegen nicht rechtzeitig am Bestimmungsorte eintrafen, war es eine eigenthümliche Erscheinung, durch welche alle thätigen Astronomen in nicht geringe Verwirrung geriethen.

Schon Halley machte in Folge der beim Merkurdurchgange gesammelten Erfahrungen darauf aufmerksam, dass die äusseren Berührungen sehr schwer beobachtet werden können, weil ausserhalb der Sonnenscheibe Venus unsichtbar ist. Er empfahl daher das Augenmerk

nur auf die inneren Berührungen zu lenken. Doch auch diese konnten nicht scharf aufgefasst werden. Es erschien nämlich die Venusscheibe *V* nicht wie in Fig. 8 a, sondern es entstand an der Berührungsstelle der sogenannte „schwarze Tropfen“, das ist eine Art Brücke, welche den Moment der Berührung unsicher machte. Denn man sah einerseits Venus innerhalb der Sonnenscheibe rund, glaubte also die innere Berührung vollzogen, während die beiden Hörner, die sich nachträglich zwischen Sonnenrand und Venusscheibe gebildet, noch immer getrennt waren (Fig. 8 b) und demgemäss den Moment des inneren Contactes erst erwarten liessen. Es war gerade so, als wenn Venus einen Theil des Sonnenrandes an sich gerissen hätte; dabei erschien sie ausserdem noch nicht scharf begrenzt, sondern zeigte mehr oder minder unregelmässige Contouren.

Fig. 8.



Nach der Angabe von Halley wäre in der Durchgangszeit eine Genauigkeit von einer Zeitsecunde zu erhoffen gewesen; in der That betrug aber die Differenzen nahezu eine Zeitminute; demgemäss waren auch die hieraus abgeleiteten Werthe für die Sonnenparallaxe weit differirend und schwankten zwischen $8.5''$ und $10.5''$, ja Short fand sogar Werthe, die sich innerhalb der Grenzen von $6.7''$ bis $14.0''$ bewegten.

Dadurch liessen sich aber die Astronomen nicht beirren und trafen, durch die Munificenz der Monarchen und Regierungen unterstützt, für den Durchgang vom 3. Juni 1769 noch grössere Vorbereitungen. Vorerst suchten sie diejenigen Orte für die Beobachtung aus, welche die günstigsten Resultate erwarten liessen. Das ganze Phänomen war sichtbar in fast ganz Asien und Australien und im nordwestlichen Nordamerika. Frankreich rüstete Expeditionen aus nach Californien, St. Domingo und Ostindien, unter Führung der Astronomen La Chappe, Pingré und Veron, England nach Nordamerika unter Leitung der Akademiker Dymond und Wales, ferner nach Madras unter der Führung von Call, sowie endlich Cook, auf seiner Weltumsegelung begriffen, in Otaheiti anlegte, um vereint mit Green zu beobachten. Ueberhaupt war dieses die südlichste der Stationen, während auf der am weitesten nördlich gelegenen, nämlich in Wardoe, der Wiener Astronom Hell beobachtete, der sich eigens für diesen Zweck auf Wunsch und Kosten des Königs von Dänemark dorthin begeben hatte. Die meisten Anstrengungen machte schon damals Russland; die Kaiserin Katharina beauftragte die Akademie, Astronomen aus Deutschland und der Schweiz zu berufen, und bewilligte für dieses Unternehmen auch die ausreichendsten Geldmittel. Es beobachteten Rumowski in Kola, Pictet in Umba, Mallet in Ponoï, Islenieff in Yakutzk, Lowitz in Gurief, Krahl in Orenburg, A. Euler, Lexell, Kotelnikoff, Stahl und Mayer in Petersburg, Ch. Euler in Omsk, von Seite Schwedens unter Anderen Planmann

in Cajaneburg, Justander in Abo, Bayley am Nordcap u. s. w. Auch Amerika trat damals in die Arena, indem es Rittenhouse, Smith und Luckens mit den nöthigen Mitteln ausrüstete, die sich nach Norriton in der Grafschaft Montgomery begaben.

Wenn auch im Allgemeinen das Wetter dem ganzen Unternehmen günstig war, so waren die Resultate wieder nicht die erhofften. Die Differenzen, welche die an ein und demselben Orte befindlichen Beobachter in Auffassung der gleichen Momente gefunden hatten, waren wohl geringer, immerhin betrug sie aber noch $\frac{1}{3}$ Minute. So notirte z. B. Green den Contact des Eintrittes auf Otaheiti um 20 Secunden eher als Cook und Borgewing in Wardoe die gleiche Phase um 22 Secunden später als Hell, dessen Beobachtungsdaten übrigens sogleich nach ihrer ziemlich spät erfolgten Publicirung in Bezug auf deren Originalität angefochten wurden.

Ein eigenes Missgeschick verfolgte Le Gentil. Wie bereits erwähnt, konnte er im Jahre 1761 Pondichery, das Ziel seiner Reise, nicht erreichen, weshalb er sich jetzt entschloss, den nächsten Durchgang daselbst abzuwarten. Doch er sollte die Frucht seines achtjährigen Harrens nicht geniessen, indem kurz vor Eintritt des Phänomens eine Wolke die Sonnenscheibe verdeckte.

Die aus den einzelnen Beobachtungen gefolgerten Werthe der Sonnenparallaxe zeigten eine bessere Uebereinstimmung; die kleinste Zahl, nämlich $7.5''$, erhielt der Amerikaner Smith, ausserdem berechneten:

Du Sejour	die Sonnenparallaxe mit	8·84''
Pingré	" "	" 8·81''
Hornsby	" "	" 8·78''
Maskelyne	" "	" 8·72''
Hell	" "	" 8·70''
Lexell	" "	" 8·63''
De Ferrer	" "	" 8·60''
Lalande	" "	" 8·50''
Planmann	" "	" 8·43''.

Eine eigentlich wissenschaftliche Bearbeitung erfuhren aber die sämmtlichen im Jahre 1761 und 1769 gewonnenen Beobachtungsdaten erst in den Jahren 1822 und 1824 durch Encke, welcher für die Sonnenparallaxe den Werth von 8·578'' erhielt; ¹⁾ er verbesserte denselben, nachdem durch den 1877 verstorbenen C. von Littrow die Fälschung des Jesuiten Hell in dessen Beobachtungsprotokoll wirklich nachgewiesen wurde, im Jahre 1835 auf 8·571''; die Rechnung ergab einen wahrscheinlichen Fehler von $\pm 0·037''$.²⁾

Durch nahezu dreissig Jahre galt diese Zahl und die aus ihr abgeleitete Sonnenentfernung von 20,682.300 g. Meilen = 153,465.770 km. als richtig. Wie Encke selbst hierüber dachte, ergibt sich am besten aus den Worten, mit welchen er seine Arbeit begleitete. Er

¹⁾ Encke J. F. Die Entfernung der Sonne von der Erde, aus dem Venusdurchgange von 1761 hergeleitet. Gotha 1822. — Der Venusdurchgang von 1769. Gotha 1824.

²⁾ Abhandlungen der kön. Akad. der Wissensch. zu Berlin. Aus dem Jahre 1835.

sagt: „Bei der Grösse des wahrscheinlichen Fehlers von etwa sieben Secunden wird die Hoffnung, in den nächsten zwei Jahrhunderten auf diesem Wege zu einer genauen Kenntniss der Parallaxe zu gelangen, dass die Ungewissheit nur noch 0·01'' betrüge, sehr geschwächt. Die nächsten beiden Durchgänge sind im Vergleich mit dem von 1769 so ungünstig, dass nur die höchste Vollkommenheit der Instrumente und Beobachtungskunst diesen Nachtheil auszugleichen vermag. Nähme man aber auch diesen vortheilhafteren zum Maassstabe und dabei auch nur solche Punkte, die am beträchtlichsten einwirken, wie Wardoe und Otaheiti, so würde doch die Genauigkeit eines Hunderttheils nur dann erreicht werden, wenn an beiden Orten die Zeit der Verweilung bis auf eine Secunde oder jede Berührung bis auf 0·7 Secunden in Zeit beobachtet wäre. Dieses würde an jedem Orte hundert Beobachter erfordern. Man darf deshalb wohl nie hoffen, mit einem Male das gewünschte Ziel zu erreichen.“

Die nächsten fünfzig Jahre haben Encke's Ansicht in dieser Richtung vollauf bestätigt; hingegen erwies sich seine Annahme, „diesen Gegenstand so bearbeitet zu haben, dass die Wiederaufnahme der Untersuchung für eine Reihe von Jahren unnöthig wird“, als irrig. Denn bereits 1854 zeigte der berühmte Director der Sternwarte in Gotha, P. A. Hansen, dass eine Uebereinstimmung zwischen der Theorie der Mondbewegung und der Beobachtung nur möglich erscheint, wenn der Encke'sche Werth der Sonnenparallaxe um $\frac{1}{30}$ vermehrt, also die Sonnenentfernung um ebensoviel vermindert

werde.¹⁾ Theils auf dem gleichen, theils auf ähnlichen und auch anderen Wegen haben andere Forscher ähnliche Resultate gefunden, und auch die Neubearbeitung der Venusdurchgänge von 1761 und 1769, wie sie unter Anderen von Powalky²⁾ und Stone³⁾ vorgenommen wurde, zeigte, dass namentlich in Folge Einführung sicher bestimmter Werthe für die Längendifferenz mancher Beobachtungsorte sich die Encke'sche Parallaxe bedeutend erhöhe. Indem besonders Newcomb, der berühmte Astronom in Washington, im Jahre 1865 die sämtlichen auf die Bestimmung der Sonnenentfernung Bezug habenden Resultate berücksichtigte, fand er 8·848'' als wahrscheinlichsten Werth der Sonnenparallaxe.⁴⁾

4. Der Venusdurchgang von 1874.

Dass man unter solchen Verhältnissen in der wissenschaftlichen Welt den für den 8. December 1874 angekündigten Venusdurchgang mit Spannung erwartete, wird erklärlich. Denn in dem Jahrhunderte, welches seit dem letzten, im Jahre 1769 stattgefundenen Vorübergange verstrichen ist, hat die Astronomie besonders im Bau der

¹⁾ Monthly Notices. Volume XV, 1854. Volumes XXIII. XXIV, 1863.

²⁾ Powalky C. Neue Untersuchung des Venusdurchganges von 1769, Kiel 1864, und Astronomische Nachrichten, Bd. 76, 1870.

³⁾ Monthly Notices. Volume XXVIII, 1864.

⁴⁾ Newcomb S. Investigation of the distance of the Sun. Washington 1867.

Instrumente riesige Fortschritte gemacht, und man durfte daher erwarten, dass diesmal der schon zweimal erhoffte Erfolg nicht ausbleiben werde. Ein- und Austritt waren sichtbar im westlichen Theile des grossen Oceans, im östlichen Theile von Asien, im indischen Ocean bis zum Südpol und in ganz Australien, der Eintritt im mittleren Theile des grossen Oceans und der Austritt endlich im westlichen Asien, östlichen Europa, östlichen und südlichen Afrika. Für Nord- und Südamerika blieb das ganze Phänomen unsichtbar.

Die verschiedenen Staaten wetteiferten auch jetzt wieder in Förderung des wissenschaftlichen Strebens und rüsteten eine stattliche Anzahl Expeditionen aus. Wie sich dieselben auf die einzelnen Länder vertheilen, ergibt die folgende Zusammenstellung.¹⁾

Land.	Ziel der Expedition.
Deutschland	Auckland-Inseln, westliches China, Kerguelen, Persien, Ober-Egypten.
England	Sandwich-Inseln, Neuseeland, Australien (8), Ostindien (4), Kerguelen, Seychellen (4), Ober-Egypten (2), Unter-Egypten (2), Cap der guten Hoffnung.
Frankreich	Neucaledonien, Japan, östliches China, St. Paul.
Holland	Seychellen.

¹⁾ Nähere Daten mit Angabe der Stationen und der einzelnen Beobachter findet man unter Anderen in „Jahrbuch der Erfindungen von Gretschel und Wunder, 11. Jahrgang, 1875.“

Land.	Ziel der Expedition.
Italien	Ostindien.
Mexico	Japan.
Russland	Japan, östliches Sibirien (8), Persien, Ober-Egypten, südöstliches Europa.
Vereinigte Staaten von Nordamerika	Chatan-Inseln, Neuseeland, Tasma- nien (2), Japan, östliches Sibirien, östliches China, Kerguelen.

Leider sind die von Seite unserer gemeinsamen Regierung für den gleichen Zweck in's Jahresbudget eingestellten Geldmittel seitens der Delegationen nicht bewilligt worden, so dass Oesterreich sich an dem Wettstreite gar nicht betheiligt hätte, wenn nicht noch im letzten Momente die k. Akademie der Wissenschaften die Astronomen Oppolzer und Weiss nach Jassy zur Beobachtung des Austrittes gesandt hätte; zu dem gleichen Zwecke begaben sich von Seite Ungarns Konkoly und Schenzl nach Klausenburg.

Wie die auf Taf. I angeschlossene Kartenskizze zeigt, war man in der Wahl der zweckmässigsten Beobachtungs-orte sehr beschränkt. Als südlichste Punkte zur Beobachtung von Ein- und Austritt konnten nur die Inseln Auckland und die Kerguelen gewählt werden, der correspondirend nördlichste Punkt war Peking. Am ungünstigsten war wohl die Zone des Eintrittes gelegen, denn diese bedeckt fast ausschliesslich den insellosen stillen Ocean.

In gleicher Weise, als man unausgesetzt bemüht war, die theoretischen Grundlagen des in Rede stehenden

Phänomens sicherzustellen, ¹⁾ war man darauf bedacht, mit Benützung des von den beiden früheren Expeditionen herstammenden Materiales die in Aussicht genommenen Beobachter auf die richtige Beobachtung der Erscheinung einzuüben. Es war namentlich die Erscheinung des „schwarzen Tropfens“, welche man an Modellen nachzählen suchte, um die Ursache derselben zu ergründen, um in weiterer Folge den Moment des Contactes mit Sicherheit zu bestimmen. ²⁾

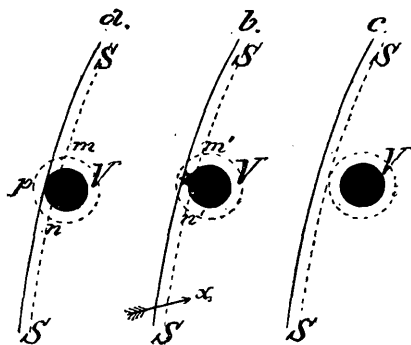
Lalande fasste die Tropfenbildung einzig und allein als Folge der Irradiation, d. i. einer optischen Täuschung auf, zufolge welcher uns helle Gegenstände auf dunklem Grunde grösser und dunkle Gegenstände auf hellem Grunde kleiner erscheinen, als sie wirklich sind, eine Erscheinung, die wir bei ab- und zunehmendem Monde rücksichtlich des beleuchteten und nicht beleuchteten Theiles der Mondscheibe wahrzunehmen vermögen. Zur näheren Erklärung diene die Fig. 9, welche in *a*, *b*, *c* drei aufeinanderfolgende Phasen des Durchganges zur Anschauung bringt. Dasselbst bedeutet *S* den Sonnenrand, *V* die Venuscheibe, und zwar entsprechen die gestrichelten Linien der wahren Begrenzung dieser Himmelskörper, während die vollen

¹⁾ In dieser Beziehung gehört wohl Hansens Publication in den „Abhandlungen der math.-phil. Classe der k. sächs. Gesellsch. der Wissensch., Bd. IX. 1870“ zu den werthvollsten.

²⁾ Hierüber vergleiche man: Origine du ligament noir par André et Angot in: „Annales scientifiques l'école normale supérieure, II. Série, Tome X., 1881“.

Linien jener Begrenzung angehören, wie sich dieselbe unserem Auge darstellt. In *a* scheint es, dass die innere Berührung erfolgt ist, trotzdem Venus factisch noch mit einem beträchtlichen Theile, nämlich *m p n*, ausserhalb der Sonnenscheibe steht. Indem sie im Sinne des Pfeiles *x* weiterschreitet, kommt sie in die Lage *b*, in welcher sich bereits die verkleinerte Venusscheibe innerhalb der vergrösserten Sonnenscheibe befindet. Da aber noch thatsächlich Venus den wahren Sonnenrand in den Punkten

Fig. 9.



m' und *n'* überschneidet, so kann zwischen dem scheinbaren Sonnenrand und der scheinbaren Venusscheibe kein Sonnenlicht durchdringen, weshalb sich das als „schwarzer Tropfen“ bezeichnete Band bildet; auf diese Weise wird auch dessen plötzliches Verschwinden erklärlich, sobald, wie in *c*, die wahre Ränderberührung erfolgt ist, wie nicht minder begreiflich, dass in dem, dem Zerreißen des „schwarzen Tropfens“ folgenden Momente

der Abstand zwischen Venus und Sonnenrand bereits ein sehr beträchtlicher sein kann. Denn nach übereinstimmenden Berichten ist der Verlauf des Phänomens der folgende: Scheinbar ist die Berührung zwischen Venus und Sonnenrand zu beobachten (*a*), darnach folgt aber für mehrere Secunden der dunklen Venusscheibe ein schwarzes Band (*b*), welches dann plötzlich reißt, um sofort einem Lichtstreifen Platz zu machen (*c*). Demgemäss wäre auch dieser Moment als die Zeit der wahren Berührung an der Uhr aufzufassen und zu notiren. In umgekehrter Reihenfolge wiederholt sich diese Erscheinung beim Austritt.

Neben dieser rein subjectiven, im Bau und der Beschaffenheit des menschlichen Auges gelegenen Ursache spielen aber auch noch objective, durch die Unvollkommenheit der Fernrohre und die Vibrationen der Atmosphäre bedingte Ursachen eine nicht unwesentliche Rolle. Es ist bekannt, dass wir die Fixsterne im Fernrohr nicht als Lichtpunkte, sondern in Folge der Beugung als kleine Lichtscheibchen erblicken. Denselben Erklärungsgrund glaubte Stone und nach ihm andere Forscher, die vielfache Experimente angestellt hatten, auch für die Erscheinung des „schwarzen Tropfens“ gefunden zu haben, während Wolf und André (1869) sie als ein zufälliges Phänomen betrachten, das hauptsächlich durch die Aberration des Objectivs und nicht vollkommen richtige Oculareinstellung hervorgerufen wird. Backhuyzen in Leyden hat diesem Gegenstande auch seine besondere Aufmerksamkeit zugewendet und kam 1874

zu dem Schlusse, dass die Tropfenbildung wirklich eine nothwendige Folge der Erscheinung ist, welche durch die Beugung des Lichtes entsteht; denn aus der Untersuchung des Einflusses der Dimensionen des Fernrohres ergab sich, dass mit der Verminderung der Objectivöffnung der Tropfen nicht kleiner, sondern im Gegentheile grösser werde, was nicht statthaben könnte, wenn die Aberration des Objectivs die Ursache wäre. Das Schlussresultat seiner Untersuchungen fasste er dahin zusammen, dass er für die Beobachtung des Venusdurchganges von 1874 nahe gleiche Fernrohre von nicht zu kleiner Oeffnung und Vergrösserung empfohlen hatte.

Ohne von diesen Experimenten irgend welche Kenntniss zu haben, kam André bei seinen neuerlichen Studien, die er nach Rückkunft von der 1874er Expedition im Jahre 1876 an künstlichen Modellen unternommen hatte, zu denselben Ergebnissen; er fand sogar, dass durch Schwächung der Intensität das Phänomen ganz verschwindet. Ueberhaupt erkannte er, dass der „schwarze Tropfen“ kein wesentliches Hinderniss für die Gewinnung guter Resultate bieten könne; denn er bestimmte die Unsicherheit, welche in der Auffassung der richtigen Momente der Berührung für die ganze Dauer des Durchganges resultirt, mit 2.5° ; um aber die Parallaxe noch auf $0.01''$ sicher zu erhalten, darf der Fehler in der Durchgangszeit mehr als 5° betragen. Bezüglich der Phase, welche der geometrischen Ränderberührung entspricht, ergab sich, dass dieselbe für den Eintritt mit jenem Momente zusammenfällt, da die centrale

Färbung des Bandes abzunehmen beginnt und dessen Ränder geradlinig werden, der Austritt hingegen dann statthat, wenn der centrale Theil des Bandes am dunkelsten erscheint und die Ecken des Sonnenrandes sich zu krümmen anfangen.

Es darf nicht verschwiegen werden, dass sowohl André, als Backhuyzen auch die Theorie zu Rathe gezogen haben, und diese die volle Uebereinstimmung mit den gefundenen Resultaten lieferte; insbesondere zeigte sich, dass zufolge der Beugung des Lichtes in Fernrohren im Momente des geometrischen Contactes ein schwarzes Band auftreten muss, welches in der Nähe der wahren Ränderberührung am dunkelsten gefärbt erscheint und mit der Abnahme der Objectivöffnung sowohl an Grösse, als an Intensität zunimmt.

In Bezug auf den Einfluss, welchen die Vibration der Luft zu nehmen vermag, haben die Beobachtungen an den künstlichen Modellen auch hinreichenden Aufschluss gegeben. Man konnte die Beobachtung machen, dass bei bewegter Luft sowohl der Sonnenrand, als die sich ihm nähernde Venus ihre Gestalt sehr rasch ändern, so dass die Möglichkeit thatsächlich vorliegt, dass verschiedene Beobachter auch verschiedene Erscheinungen wahrnehmen können. Nur so ist es zu erklären, warum wir nahezu in jedem Berichte aus dem Jahre 1769 eine andere Schilderung des Verlaufes des Phänomens finden.

Anlässlich des Venusdurchganges vom Jahre 1874 wollte man sich nicht allein von den Contactbeobachtungen abhängig machen, sondern war bemüht, nach Methoden

zu sinnen, welche auch gestatten würden, die Zwischenzeit für Zwecke der Parallaxenbestimmung zu verwerthen und so unter Einem sich auch von der Tücke des Wetters etwas unabhängiger zu machen; denn die Möglichkeit ist nicht ausgeschlossen, dass gerade zur Zeit des Ein- und Austrittes Wolken vor der Sonnenscheibe lagern, während sie in der übrigen Zeit nicht bedeckt ist. Gelingt es dann, bei gleichzeitiger Auffassung des Momentes an der Uhr, die Abstände der aufeinanderfolgenden Lagen der Venus vom Sonnenrande zu bestimmen, so sind alle Factoren bekannt, welche eine Reduction dieser Beobachtungen auf den Moment des Aus- und Eintrittes ermöglichen.

Hiezu ist das Fadenmikrometer, besonders aber das Heliumeter ganz vorzüglich geeignet. Dasselbe besitzt nämlich ein Fernrohr, dessen Objectiv aus zwei getrennten Hälften besteht, deren gegenseitige Verschiebung mit Hilfe einer Mikrometerschraube erfolgen und gemessen werden kann. So lange sich die beiden Objectivhälften in normaler Lage befinden, wirken sie als Ganzes, und man wird auch nur ein einziges Bild beobachten; sind sie jedoch gegen einander verschoben, so entstehen zwei getrennte Bilder, deren Entfernung der Grösse der Verschiebung entspricht. Denkt man sich nun hiebei die Schnittlinie in Richtung der Verbindungslinie der Mittelpunkte beider Gestirne und die Verschiebung so weit gediehen, dass die Berührung zwischen dem Venusbilde in der einen Hälfte und jenem des Sonnenrandes in der anderen Hälfte erfolgt ist, so wird begreiflich, dass man

auf solche Weise den Abstand der Venus vom oberen und unteren Sonnenrande mit bedeutender Schärfe messen und damit auch deren Stellung in der Sonnenscheibe fixiren kann. Selbstverständlich steht der Vervielfältigung der Beobachtungen nichts im Wege, wodurch man aber wieder die Genauigkeit des Schlussresultates nicht wenig zu erhöhen vermag. — Dem gleichen Zwecke dient das Airy'sche Doppelbildmikrometer; bei dieser Einrichtung ist nicht das Objectiv, sondern das Ocular getheilt, und sind die beiden Hälften des letzteren gegen einander zu verschieben.

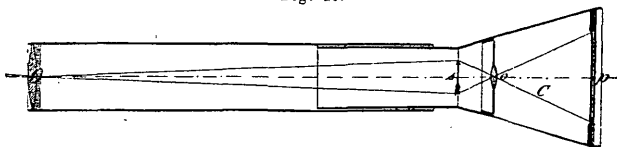
Ausserdem, dass man in den einzelnen Phasen des Durchganges den Abstand von den Sonnenrändern bestimmt, kann man nach dem Vorschlage von Oppolzer ¹⁾ den Positionswinkel der Venus messen; denn auch dieser ist eine Function des Beobachtungsortes. Wohl liegt ein besonderer Nachtheil dieser Methode darin, dass zuweilen die Genauigkeit des Resultates in Folge der Refractionerscheinungen wesentlich alterirt werden kann; indessen darf nicht übersehen werden, dass man dadurch, wie durch die mikrometrischen Methoden überhaupt, einen weiten Spielraum, sowohl bezüglich der Beobachtungszeit als auch rücksichtlich der Beobachtungsorte, gewinnt.

Neben den Heliometermessungen sollte aber diesmal auch noch die Photographie in ganz hervorragenden

¹⁾ Sitzungsber. der math.-nat. Classe der k. Akademie der Wissensch. zu Wien. LXI. Bd., II. Abth. 1870.

der Weise der Astronomie dienstbar gemacht werden; denn durch dieselbe ist es möglich, nicht bloß einen einzigen Moment, sondern in aufeinanderfolgenden Bildern den ganzen Verlauf des Phänomens zu verfolgen und auf diese Weise nachträglich mit Hilfe des Mikroskops Ein- und Austritt, die Länge der Sehne etc. zu ermitteln. Einen ganz besonderen Vortheil musste man aber gegenüber den anderen mikrometrischen Methoden darin erkennen, dass durch Deponirung der Platten jederzeit die Möglichkeit einer Controle in Ausmessung derselben vorlag, und man noch nachträglich unter den einzelnen Sta-

Fig. 10.



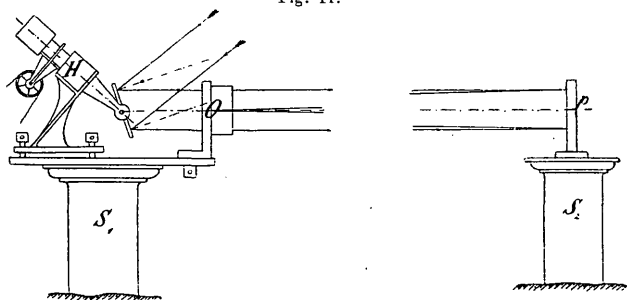
tionen die zweckmässigsten auswählen konnte, um die auf denselben gewonnenen Bilder unmittelbar zu vergleichen.

Das Wesen der photographischen Methode besteht in der Fixirung des durch das Objectiv des Fernrohres entstandenen Bildes auf einer lichtempfindlichen Platte, welche eben an der Stelle, wo das Bild entsteht, anzubringen ist. Die hiefür in Anwendung gebrachten Apparate, die sogenannten Photoheliographen, lassen sich im Allgemeinen in zwei Gruppen theilen, deren Princip die nachfolgenden zwei Figuren versinnlichen.

In Fig. 10 ist das Schema der Fernrohre der deutschen Expedition dargestellt, das im Wesen mit jener

Construction übereinstimmt, wie selbe von Warren de la Rue angegeben wurde. Dasselbst bedeutet *O* die Objectivlinse von circa 2·2 m. Brennweite, *s* das von derselben erzeugte Sonnenbild in der beiläufigen Grösse von 20 mm. Durchmesser, welches aber durch die Linse *o* vergrössert und auf der photographischen Platte *p* fixirt wird. Wie man sieht, ist bei dieser Einrichtung der Ocularapparat durch die Camera *C* ersetzt. Das Fernrohr selbst ist als Aequatoreale montirt, folgt also der

Fig. 11.



Bewegung der Sonne. Da deren Licht äusserst intensiv ist, so genügt eine sehr kurze Expositionszeit. Um diese zu erreichen, ist die Einrichtung in der Weise getroffen, dass ein beweglicher Schieber, welcher einerseits von einem Faden gehalten wird und andererseits mit einer Feder in Verbindung steht, das Sonnenlicht von der lichtempfindlichen Platte abhält. Wird der Faden durchgeschnitten, so zieht die Feder den Schieber rasch nach unten und gestattet während eines ganz kurzen Momen-

tes dem Sonnenlichte durch einen kaum 0·7 mm. breiten Spalt Zutritt.

Das Objectiv des amerikanischen Apparates, der nach Rutherford's Angabe construirt wurde, hat eine Brennweite von ungefähr 13 m., erzeugt also ein Sonnenbild von mehr als 120 mm. und ein Venusbild von nahezu 4 mm. Durchmesser. In der Fig. 11 bedeutet O das Objectiv, welches auf einer Säule S_1 gelagert ist und die Strahlen von einem auf derselben Säule aufgestellten Heliostaten H empfängt. Dieselben wirken auf die im Brennpunkte des Objectivs aufgestellte photographische Platte p , die auf der Säule S_2 ihr sicheres Auflager erhält. Sie befindet sich in der Hütte des Photographen, welcher also während der Aufnahme seine Kammer gar nicht zu verlassen braucht.

Photoheliographen der ersten Art kamen zur Verwendung bei den Expeditionen von Deutschland, England, Frankreich, Holland und Russland; insbesondere besaßen die deutschen Apparate Objective von 2·5 m. Brennweite und 160 mm. Oeffnung, bez. 2 m. Brennweite und 110 m. Oeffnung. Aehnlich dem Apparate der nordamerikanischen Expeditionen war auch jener construirt, dessen sich die von Lord Lindsay nach Mauritius ausgerüstete Expedition bediente.

Jede dieser beiden Einrichtungen hat ihre besonderen Vor- und Nachtheile, die im Wesen der Construction ihre Begründung finden. So ist die letztere z. B. frei von einer etwaigen Unvollkommenheit des Oculars, dafür aber viel empfindlicher gegen Erschütterungen, die

selbst durch die feste Lagerung des Objectivs nicht ganz umgangen werden können; denn der zur Ablenkung der Sonnenstrahlen benützte Heliostat geräth bei dem feinsten Luftzug in Vibrationen, welche die Deutlichkeit des Sonnenbildes stören, die auch noch weiter durch eine etwaige Unvollkommenheit des Spiegels nicht wenig beeinträchtigt werden kann.

Ich übergehe die eingehende Würdigung der beiden Constructionen und setze auch die Kenntniss der Unterschiede zwischen dem gewöhnlichen und dem für photographische Zwecke bestimmten Objective voraus, um sogleich auf diejenigen Fehlerquellen hinzuweisen, welche in der lichtempfindlichen Schichte der photographischen Platte selbst liegen.¹⁾ — Es ist eine bekannte Thatsache, dass sich die Collodiumhaut beim Trocknen zusammenzieht, welchem Uebelstande sowohl die nassen, als auch die Trockenplatten unterliegen, auf welchen dann schliesslich doch mittelst Flüssigkeit das Bild hervorgerufen werden muss. Diese Verziehung kann in zweifacher Weise auftreten, und zwar 1. proportional, d. h. in solcher

1) Näheres hierüber findet man in: Vogel H. und O. Lohse. Untersuchungen über die Verwendbarkeit der Collodionphotographie zur Beobachtung des Venusvorüberganges 1874 (Vierteljahresschrift der Astronomischen Gesellschaft, VIII. Jahrg. 1873). — Hasselberg B. Bearbeitung der photographischen Aufnahmen im Hafen Passiet. St. Petersburg. 1877. — Weinek L. Die Photographie in der messenden Astronomie, insbesondere bei Venusdurchgängen. Halle 1879.

Weise, dass sie sich regelmässig auf das ganze Bild vertheilt, wodurch sich die verschiedenen Dimensionen im Verhältnisse ihrer Grösse ändern, oder 2. nicht proportional oder local, wodurch nur einzelne Partien des Bildes tangirt werden. Die erste dieser Verzerrungen kann man dadurch unschädlich machen, dass man gleichzeitig mit dem Sonnenbilde ein im Brennpunkte des Objectivs befindliches Glasmikrometer photographirt und so die Reduction des vergrösserten photographischen Bildes mit der factischen Vergrösserungszahl vornimmt. Nicht so einfach ist es aber mit der local und unregelmässig auftretenden Verzerrung.

Die vielfachen Versuche, welche bezüglich der Grösse der Veränderungen der photographischen Schichte angestellt wurden, gingen darauf hinaus, ein Mittel zu finden, die unvermeidlichen Verzerrungen auf ein Minimum zu reduciren. Wenn auch Rutherford, Paschen, die beiden Vogel, Lohse, Weinek etc. zu verschiedenen Resultaten gelangten, so scheint doch eines sicher, dass den unregelmässigen Verziehungen dadurch begegnet wird, wenn die Glasflächen der Platte vorerst mit einem Albuminüberzug versehen werden, nach dessen Eintrocknen erst das Uebergiessen mit Collodium erfolgt. In der Wahl zwischen nassen und Trockenplatten fiel die Entscheidung zu Gunsten der letzteren; denn ihre geringere Empfindlichkeit kommt wegen der grossen Intensität des Sonnenlichtes nicht in Frage und die Verzerrungen treten bei Bildern mit nassen Platten viel unregelmässiger auf. Nicht zu unterschätzen ist aber der

Vortheil, welcher gerade darin zu suchen ist, dass man die Trockenplatten in Bereitschaft halten kann und im entscheidenden Momente, bei Einstellung des Fernrohres, sich nicht zu überhasten braucht. Trotz alledem gaben aber die Franzosen dem alten Daguerre'schen Verfahren den Vorzug.

Neben den Apparaten, welche den Zweck haben, den Verlauf des Phänomens während seiner ganzen Dauer zu verfolgen, kam bei den französischen Expeditionen auch noch der von Janssen construirte photographische Revolver in Anwendung, dessen Einrichtung die Aufnahme von 180 Photographien in Zeitintervallen von einer Secunde gestattet.¹⁾ Wird derselbe also kurze Zeit, etwa 1 1/2 Minute, vor dem vermeintlichen Contacte in Function gesetzt, so darf man erwarten, dass in dieser Reihe auch das Bild des Contactes sich vorfindet.

Bei der unter Tacchini's Leitung stehenden italienischen Expedition nach Muddapur in Bengalen und der Expedition von Lord Lindsay kam das Spectroskop zur Verwendung. Schon Zöllner machte darauf aufmerksam, dass sich dasselbe ganz besonders bei Contactbeobachtungen dafür eigne, die beiden äusseren Berührungen sichtbar zu machen; indessen gab erst Secchi dem Instrumente jene Einrichtung, welche auch deren Verwerthung für Zwecke der Parallaxenmessung gestattet. — Bekanntlich wird die Sonne von einer glühenden Wasserstoffhülle, der sogenannten Chromosphäre, um-

¹⁾ Comptes rendus. Tome LXXVI, 1873.

geben, welche aber ebensowenig mit freiem Auge als mit dem Fernrohre sichtbar ist, weil sie durch den hohen Glanz des Sonnenlichtes überstrahlt wird; erst durch das Spectroskop verräth sie ihr Dasein in Form eines die Sonnenscheibe umgebenden rothen Saumes, in welchem die hellen Spectrallinien erscheinen. Bei dem Eintritte in diese glühende Sonnenhülle wird Venus die hellen Spectrallinien verdecken; dieselben werden also kürzer, bis sie im Momente der ersten äusseren Berührung gänzlich verschwinden.

Schon ein Vergleich der früher gegebenen Uebersicht, betreffend die von den einzelnen Ländern veranstalteten Expeditionen mit der Sichtbarkeitszone des Venusdurchganges von 1874, lässt erkennen, dass ein grosser Theil der Beobachter nach Gegenden dirigirt wurde, woselbst nur Ein- oder Austritt beobachtet werden konnte. Für diese Stationen war demnach die genaue Bestimmung der geographischen Länge von Wesenheit, weshalb auch die dorthin gerichteten Expeditionen mit den für Ortsbestimmung geeigneten Instrumenten ausgerüstet sein mussten. Besonders war die Auswahl der englischen Stationen mit Rücksicht auf die Resultate der Untersuchungen Airy's über die Durchgänge von 1874 und 1882 getroffen,¹⁾ welche ergaben, dass für den ersteren die De l'Isle'sche Methode der absoluten Längen viel zweckmässiger sei als die ältere der Zwischenzeiten von Halley. Thatsächlich sind aber auch zur Zeit die

¹⁾ Monthly Notices. Vol. XXIX, 1869.

Bedingungen für die Bestimmung der geographischen Länge ungleich günstiger als ehemals; denn ein weitverzweigtes telegraphisches Netz macht die directe Uebertragung der Uhrzeit möglich, und wo dies nicht angeht, dort bieten, neben der Methode der Zeitübertragung durch Chronometer, die vervollkommneten Methoden der Mondsternbeobachtungen, Sternbedeckungen, Mondazimuthe und Mondhöhen ausreichenden Ersatz.

Trotz der vielen Vorarbeiten und aller bei den einzelnen Beobachtungen aufgewendeten Sorgfalt will es aber scheinen, dass die gehegten Erwartungen abermals nicht erfüllt wurden. Wohl war das Wetter im Allgemeinen ziemlich günstig, da nur die nördlichsten Stationen in Sibirien während des ganzen Phänomens bewölkten Himmel hatten; aber andere unerwartete Störungen und Ueberraschungen traten ein; der Contact erfolgte nämlich wesentlich anders, als man ihn an den künstlichen Modellen zu beobachten Gelegenheit hatte. Schon bei dem Durchgange von 1769 machte Rittenhouse in Philadelphia die Wahrnehmung, dass in dem Momente, als Venus nach der ersten äusseren Berührung etwa zur Hälfte in die Sonnenscheibe eintauchte, auch der ausserhalb befindliche Rand beleuchtet erscheine. Später haben noch zahlreiche Beobachter Venus in der Nähe ihrer unteren Conjunction beobachtet und gefunden, dass neben der erleuchteten Sichel auch der von der Sonne abgewendete Rand durch einen feinen Lichtring umsäumt ist und so der ganze Umkreis gesehen wird. — Diese Erscheinung lässt sich nur durch die Existenz

einer Venusatmosphäre und die hiedurch bedingten Refractionerscheinungen erklären. Den Astronomen Maedler, Lyman und Neison verdanken wir sogar die aus ihren Beobachtungen gefolgerte Grösse der Horizontalrefraction der Venus.

Nur dadurch, dass man diesem Gegenstande noch in letzter Stunde nicht die gehörige Aufmerksamkeit schenkte, war es möglich, dass der Lichtring des unbeleuchteten Randes die Beobachter des Jahres 1874 gänzlich unvorbereitet fand und manche sogar verleitete, denselben für den Sonnenrand zu halten. Eben deshalb wurde in vielen Fällen die Zeit des Contactes irrthümlich aufgefasst und mitunter ging der zweite, innere Contact gänzlich verloren.

Von den Resultaten der 1874er Expeditionen sind bisher nur sehr wenige bearbeitet und publicirt, so dass es nicht möglich ist, auch nur eine annähernd vollständige Uebersicht der Resultate zu geben. Am vollständigsten sind die Mittheilungen der Engländer, aus welchen zu entnehmen ist, dass die Momente der Berührung auf 8^s-10^s , in einem Falle sogar auf 15.6 unsicher aufgefasst worden sind. Es wurden überhaupt mehr Ein- als Austritte beobachtet und beträgt das Mittel der Sonnenparallaxe, berechnet aus den ersteren, $8.739''$ und jenes aus den letzteren $8.847''$, während der aus sämtlichen Contactbeobachtungen abgeleitete Mittelwerth sich nach Airy mit $8.760''$, bez. $8.754''$ ergibt.¹⁾

¹⁾ Monthly Notices. Vol. XXXVIII, 1878.

Aus den französischen Berichten ist Folgendes zu entnehmen: Die Combination von Orten von möglichst verschiedener geographischer Breite ergibt 12 Werthe, welche zwischen $8^{\circ}78''$ und $9^{\circ}17''$ liegen, das arithmetische Mittel beträgt $8^{\circ}98''$; werden hingegen Ein- und Austritt für sich zur Ableitung des Schlussresultates verwendet, so erhält man aus dem ersteren 14 Werthe zwischen $8^{\circ}86''$ und $9^{\circ}20''$, mit dem arithmetischen Mittel $9^{\circ}01''$, und aus dem letzteren 10 Werthe, welche zwischen $8^{\circ}63''$ und $8^{\circ}97''$ liegen und sich zu dem Mittelwerthe von $8^{\circ}92''$ vereinigen.¹⁾ — Dies gilt von den Contactbeobachtungen. Hingegen liefern die mikrometrischen Messungen, die freilich unter äusserst ungünstigen Verhältnissen erfolgten (so auf St. Paul in einem heftigen Wirbelsturme), den Mittelwerth von $9^{\circ}05''$.²⁾

Am allergrössten ist aber die Enttäuschung bezüglich der photographischen Aufnahmen, zumal die neue Kunst auf verwandten Gebieten der Astronomie nicht nur einen durchschlagenden Erfolg erzielte, sondern geradezu neue Bahnen der Forschung eröffnete; so ist z. B. die Astrophotographie ein wichtiger Zweig der Astrophysik geworden, trotzdem die Einführung der Photographie in die astronomische Praxis erst der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts angehört.

Die weitgehendste Auskunft geben uns wieder die englischen Publicationen. — Mit der Sichtung des

¹⁾ Comptes rendus. Tome XCII, 1881, pag. 481.

²⁾ Ibid. pag. 808.

betreffenden Materiales war der Capitän G. L. Tupman betraut. Er unterzog sich selbst der Mühe, die photographischen Platten auszumessen, und betraute zur Gewinnung einer Controle auch Mr. Burton mit dieser Aufgabe. Es ist eine merkwürdige Erscheinung, dass die Resultate dieser beiden Beobachter um den constanten Betrag von beiläufig einer Bogensecunde differiren. Geradezu unerwartet ist aber das Schlussresultat. Nach Burton's Ausmessungen der photographischen Platten ergibt sich die Sonnenparallaxe mit $8\cdot25''$, nach jenen von Tupman sogar nur mit $8\cdot08''$, — beides also Werthe, die von der Wahrheit so weit entfernt liegen, dass Tupman geradezu die Forderung ausspricht, bei den nächsten Expeditionen die Anwendung der Photographie zu verbieten.¹⁾ Nicht weniger trostlos lauten die Nachrichten der Deutschen und jene der Russen, während die Franzosen noch immer Hoffnungen auf das Durchgreifen der photographischen Methode setzen, trotzdem auch ihre Erfolge nicht im Entferntesten hiezu berechtigen.²⁾ Etwas günstigere Resultate haben die amerikanischen Expeditionen geliefert. Der hieraus berechnete Werth der Sonnenparallaxe ergibt sich mit $8\cdot883'' \pm 0\cdot034''$.³⁾

Es dürfte vielleicht angezeigt erscheinen, bei diesem Gegenstande noch etwas zu verweilen. Schon vorhin ist auf zwei Fehlerquellen hingewiesen worden, welchen

1) Monthly Notices. Vol. XXXVIII, 1878.

2) Comptes rendus. Tome XCII, 1881, pag. 377.

3) American Journal of science. III. Serie, Vol. XXI, 1881.

die Aufnahme photographischer Bilder für Zwecke der astronomischen Messung unterliegt, und es wurde auch nicht verabsäumt, der Mittel zu gedenken, welche denselben entgegenzuwirken bestimmt sind. Wenn trotzdem so ungünstige Resultate gewonnen wurden, so muss der Grund nothwendigerweise noch tiefer liegen. Und in der That ist dies der Fall. Dieselbe Ursache, zufolge welcher die Contactbeobachtungen mit jener Unsicherheit behaftet erscheinen, tritt auch hier störend auf; es ist die Beugung im optischen Apparate. Das Auge vermag das hiedurch entstandene, vergrösserte und gut begrenzte Bild mit einiger Sicherheit zu betrachten, eventuell auch zu messen; keineswegs aber die Photographie. Denn jeder einzelnen Platte kommt ein gewisser Grad von Empfindlichkeit zu, welchem entsprechend sich die Grösse des Sonnen- und Venusdurchmessers abbildet; daraus allein geht schon hervor, wie schwierig es wird, von solchen differenten Bildern genaue Resultate zu erhalten. Bedenkt man aber, dass eine ungenaue Einstellung des Bildes die Grösse desselben nicht wenig tangirt, und zieht schliesslich auch noch in Betracht, dass die Luftwallungen während der Aufnahme nichts weniger als einen günstigen Einfluss zu nehmen vermögen, so wird man begreifen, dass, wenn auch die Aufnahme selbst als gelungen bezeichnet werden kann, sie noch keineswegs die Prüfung und Ausmessung unter dem Mikroskope auszuhalten braucht. Und thatsächlich lehrt die Erfahrung, dass die gelungensten Photographien unter dem Mikroskope verschwommene Ränder zeigen.

5. Andere Methoden zur Bestimmung der Sonnenparallaxe.

Ueberblicken wir das bezüglich der Venusdurchgänge Gesagte, so können wir das Bild, welches sich uns in Ansehung der hieraus gewonnenen Kenntniss der Sonnenparallaxe offenbart, keineswegs ein erfreuliches nennen. Schon dies allein erklärt den Wunsch für berechtigt, auf anderen Wegen den Versuch nach Bestimmung der Sonnenentfernung zu wagen. Bevor wir unser specielles Augenmerk dem nächsten Venusdurchgange vom 6. December 1882 zuwenden, sei es uns deshalb gestattet, in möglichst übersichtlicher Weise die anderen Methoden zu besprechen, welche uns dem gleichen Ziele zuführen sollen, ohne jedoch der vor dem 18. Jahrhunderte gemachten Versuche zu gedenken.

a. Die übrigen geometrischen Methoden.

Wir begegnen da vor Allem dem Vorschlage, aus Beobachtungen von Marsoppositionen, d. h. von Beobachtungen des Planeten Mars zu jener Zeit, wenn sich derselbe in Richtung Sonne, Mars und Erde, also der letzteren am nächsten befindet, die Sonnenparallaxe abzuleiten. Schon 1761 ging Richer zu diesem Ende nach Cayenne, um im nächstfolgenden Jahre den Planeten Mars zu beobachten, während correspondirende Beobachtungen auf der Pariser Sternwarte angestellt wurden. D. Cassini leitete hieraus für die Sonnenparallaxe den Werth von $9.5''$ ab. Ganz besondere Aufmerksamkeit hat man dieser Methode erst in der neueren Zeit geschenkt. Nicht jede

Opposition des Mars ist nämlich der Beobachtung der Parallaxe günstig, weil wegen der sehr excentrischen Bahn dieses Planeten die Differenz in der Entfernung von der Erde sehr bedeutend ist, je nachdem die Opposition im Perihel (der kleinsten Entfernung von der Sonne) oder im Aphel (der grössten Entfernung von der Sonne) erfolgt. Im ersten Falle, der sich in einem Zeitabschnitte von 15—16 Jahren wiederholt, beträgt seine Distanz von der Erde nur etwas mehr als den dritten Theil des Erdbahnhalmessers, so dass ein Fehler von $0.1''$ in dessen Parallaxe, die beiläufig zu dieser günstigen Zeit die Grösse von $32''$ erreicht, nur einen Fehler von ungefähr $0.03''$ in der Sonnenparallaxe bedingt.

Der aus den im Jahre 1832 in Greenwich, Cambridge in Nordamerika, Altona und am Cap der guten Hoffnung gemachten Beobachtungen abgeleitete Werth betrug $9.03''$; ¹⁾ er ist insofern von historischem Interesse, als er mit dem von Encke aus Venusdurchgängen abgeleiteten nicht übereinstimmte. Von eigentlicher Bedeutung sind aber erst jene Resultate, welche die Beobachtungen der Marsopposition des Jahres 1862 lieferten und die über Winnecke's Anregung in Pulkowa, Greenwich, Williamstown in Australien, am Cap der guten Hoffnung und in Santiago de Chile gesammelt wurden. Aus einem Theile derselben fand Winnecke $8.96''$ ²⁾ und

¹⁾ Monthly Notices. Vol. III, 1836.

²⁾ Mémoires de l'académie de St. Pétersbourg. VII. Série. Tome VI, 1863.

Stone $8.94''$,¹⁾ Newcomb hingegen bei Berücksichtigung sämtlicher Daten $8.85''$ als Werth der Sonnenparallaxe.²⁾ Eine gleich günstige Opposition des Mars fand 1877 statt. Aus diesen Beobachtungen berechnete Downing eine Parallaxe von $8.96''$,³⁾ Hall eine solche von $8.80''$,⁴⁾ während Gill aus seinen Messungen auf der Insel Ascension den Werth von $8.78''$ abgeleitet hatte.⁵⁾

Galle machte den Vorschlag, die Asteroiden zur Zeit günstiger Oppositionen an nördlichen und südlichen Sternwarten zu beobachten und hieraus die Parallaxe zu berechnen. Trotzdem die Entfernung dieser Planeten selbst in diesem günstigsten Falle nicht viel kleiner als die Sonnenentfernung ist, so gestatten sie die Messung mit einer weitaus grösseren Genauigkeit aus dem Grunde, weil sie uns nicht als Scheiben, sondern ähnlich den Fixsternen als Punkte erscheinen und deshalb auch leicht mit diesen verglichen werden können. So fand Galle aus den Beobachtungen der Flora während der Opposition des Jahres 1873 für die Sonnenparallaxe den Werth $8.87''$,⁶⁾ Lindsay und Gill aber aus Beobachtungen der täglichen Parallaxe der Juno im Jahre 1874 auf Mauritius den Werth von $8.76''$ und

1) Monthly Notices. Vol. XXIII, 1863.

2) Investigation of the distance of the Sun. Washington 1867.

3) Astronomische Nachrichten. Bd. 96, Nr. 2288, 1879.

4) Monthly Notices: Vol. XXXVIII, 1878.

5) Ibid. Vol. XXXIX, 1879.

6) Galle J. G. Sonnenparallaxe aus correspondirenden Beobachtungen der Flora. Breslau, 1875.

8.77''; wenn jedoch der aus den Beobachtungen vom 15. November sich ergebende und stark abweichende Werth ausgeschlossen wird, dann resultirt die Sonnenparallaxe mit 8.81'' und 8.82''.¹⁾)

In der jüngsten Zeit hat Winnecke die Beobachtung der Bedeckung von Fixsternen durch die Venusscheibe zur Ermittlung der Sonnenparallaxe vorgeschlagen.²⁾) Ihm selbst gelang die Auffassung des Eintrittes eines Sternes neunter Grösse am dunklen Venusrande auf die Secunde sicher; Venus bewegte sich um jene Zeit in einer Zeitsecunde 0.032''. Damit ist also die grosse Sicherheit derartiger Beobachtungen ausser Zweifel gestellt.

b. Die mechanischen Methoden.

Neben den geometrischen Methoden giebt es aber noch eine Reihe anderer Wege, welche wir unter dem Begriffe der mechanischen und physikalischen Methoden zusammenzufassen vermögen.

Zu den ersteren gehört die bereits erwähnte Bestimmung der Parallaxe, deren Grösse Hansen aus der Theorie der Mondbewegung abgeleitet hatte. — Bekanntlich wird der Trabant unserer Erde in seiner Bahn um dieselbe ganz bedeutend durch jene Kraft influencirt, welche aus der Differenz der Anziehung der Sonne auf denselben und die Erde resultirt. Da nun

¹⁾) Nature. Vol. XVII, 1878.

²⁾) Astronomische Nachrichten. Bd. 100, Nr. 2377, 1881.

ein Theil dieser Kraft von dem jedesmaligen Verhältnisse abhängt, in welchem die Distanz der Sonne und des Mondes zu einander stehen, so vermag man für den Fall, als diese Kraft bekannt ist, die Sonnenentfernung aus der mit grosser Schärfe bestimmten Entfernung des Mondes zu finden. Die Wirkung dieser Kraft äussert sich darin, dass der Mond in der Nähe des ersten Viertels beiläufig um zwei Minuten hinter seinem mittleren Orte zurückbleibt, in der Nähe des letzten Viertels hingegen demselben um ebensoviel voreilt. Aus dieser sogenannten parallaktischen Ungleichheit, welche Hansen, zufolge seiner im Jahre 1854 angestellten Untersuchungen, um circa vier Secunden grösser gefunden hatte, als sie sich mit Benützung der von Encke berechneten Sonnenparallaxe ergab, zog ersterer den Schluss, dass ihr Werth um $\frac{1}{30}$ vergrössert werden müsse.¹⁾ Aus fortgesetzten Beobachtungen hat man diese Ungleichheit mit $125 \cdot 2''$ gefunden und hieraus für die Sonnenparallaxe den Werth von $8 \cdot 81''$ abgeleitet.²⁾

Leverrier, der berühmte Pariser Astronom, bestimmte dieselbe aus der monatlichen Gleichung der Erde. In Folge der Anziehung des Mondes beschreibt nämlich die Erde im Verlaufe eines Monats um den gemeinschaftlichen Schwerpunkt beider Himmels-

¹⁾ Monthly Notices. Vol. XV, 1854.

²⁾ Hierüber vgl. man u. A.: Monthly Notices. Volumes XXIII. XXIV. XXVII. XL, 1863—1880 und Comptes rendus. Tome XCII, 1881.

körper eine Ellipse, deren halbe grosse Achse im beiläufigen Werthe von 5000 km. sich aus dem bekannten Verhältnisse der Masse des Mondes zu jener der Erde und seiner Entfernung berechnet. Gerade so, als sich die tägliche Bewegung der Erde scheinbar auf die Sonne überträgt, wird sich diese kleine monatliche Bewegung in dem Stande der Sonne widerspiegeln. Indem man dieselbe durch Beobachtungen feststellt, kann man aus ihrer Grösse auf jene der Sonnenentfernung schliessen. Auf diese Weise fand Leverrier die Sonnenparallaxe in dem Betrage von $8.95''$,¹⁾ welchen Werth aber Stone nach Auffindung zweier Irrthümer auf $8.91''$ reducirte.²⁾

Nicht minder sinnreich ist die Methode der Bestimmung der Sonnenparallaxe aus den Störungen des Mars und der Venus. Aus denselben ist nämlich die Masse der Erde, beziehungsweise das Verhältniss zur Sonnenmasse bekannt. Ist aber dies der Fall, so bestimmt sich hieraus ihre Entfernung durch Vergleichung des Weges, welchen ein freifallender Körper auf der Erdoberfläche zurücklegt, mit jenem Raume, welchen die Erde in gleicher Zeiteinheit gegen die Sonne hin fällt. Leverrier's Rechnung ergab für die Sonnenparallaxe den Werth von $8.86''$,³⁾ welche Zahl jedoch auf $8.83''$ richtig zu stellen ist.

1) Annales de l'observatoire de Paris. Tome V, 1858.

2) Monthly Notices. Vol. XXVII, 1867.

3) Comptes rendus. Tome LXXV, 1872.

E. v. Asten berechnete das Verhältniss zwischen der Masse der Erde und jener der Sonne aus den Störungen des Encke'schen Kometen. Er fand hieraus die Sonnenparallaxe zu $9.01''$.¹⁾

c. Die physikalischen Methoden.

Die dritte Gruppe jener Methoden, welche uns zur Kenntniss der Sonnenparallaxe führen, ist die physikalische. Sie basirt auf der Kenntniss der Lichtgeschwindigkeit, deren Grösse von den verschiedenen Beobachtern in äusserst sinnreicher Weise gefunden wurde. Gelingt es, daneben auch noch die Lichtgleichung, d. i. jene Zeit zu finden, welche das Licht braucht, um den Halbmesser der Erdbahn zu durchlaufen, also von der Sonne zur Erde zu gelangen, so liefert das Product beider Zahlen unmittelbar die Sonnenentfernung und daher auch die Parallaxe.

Es ist bekannt, dass Galilei gleich nach Erfindung des Fernrohres mit Hilfe desselben die Jupitertrabanten entdeckte, welche in Folge der Schnelligkeit ihrer Revolution, der geringen Neigung ihrer Bahnen, sowie endlich der Grösse des Jupiter und seines Schattens fast jede Nacht das Schauspiel einer Verfinsterung darbieten. Zufolge der Kenntniss der Bewegung dieser Himmelskörper und der Länge des Jupiterschattens vermochte man schon früher die Zeit ihres Eintrittes

¹⁾ Bulletin de l'académie de St.-Pétersbourg. Tome XXII, 1877.

in diesen Schatten zu berechnen. Die Beobachtung ergab jedoch eine Uebereinstimmung mit der Rechnung nur dann, wenn sich Jupiter mit der Sonne in Opposition, also der Erde am nächsten befand, während zur Zeit der Conjunction diese Erscheinung um volle 22 Minuten später wahrgenommen wurde. Bedenkt man, dass in diesen beiden Stellungen des Planeten der Unterschied der Distanz von unserer Erde ein beträchtlicher ist (ergleicht dem Durchmesser der Erdbahn), so wird man an der Richtigkeit der von dem dänischen Astronomen Olaus Römer im Jahre 1675 gegebenen Erklärung nicht zweifeln. — Das Licht, so schloss er, ist es eben, welches unserem Auge von allen Vorgängen des Sternenreiches Kunde bringt; im Wesen desselben muss also auch die Ursache der Verzögerung oder Beschleunigung der Finsternisse liegen; nicht momentan kann sich dasselbe fortpflanzen, wie man bisher angenommen hatte, sondern es braucht eine gewisse Zeit, um einen bestimmten Raum zu durchlaufen. Indem er die einzelnen Beobachtungen sichtet, fand er für den Erdbahndurchmesser den bereits angegebenen Betrag von 22 Minuten, woraus er also die Lichtgleichung mit 11 Minuten abgeleitet hatte. Dieser Werth wurde indessen durch Delambre's Untersuchungen, welche sich auf alle Finsternisse von 1662 bis 1802 erstreckten, auf den Betrag von $8^m 13.2^s$ reducirt.¹⁾

¹⁾ Delambre J. B. J. Tables éclipiques des satellites de Jupiter. Paris, 1817.

Zur Kenntniss dieses Werthes kann man aber noch auf einem andern Wege gelangen. In Folge der fortschreitenden Bewegung der Erde im Vereine mit der Geschwindigkeit des Lichtes muss nothwendigerweise der von irgend einem Himmelskörper ausgehende Lichtstrahl eine Ablenkung erfahren, welche zur Folge hat, dass wir eigentlich die Himmelskörper nicht an demjenigen Orte sehen, an dem sie sich thatsächlich befinden. Die Ursache dieser scheinbaren Ortsveränderung, welche Bradley in den Jahren 1725—1727 zuerst richtig erkannte, ist die Abirrung oder Aberration des Lichtes. Die Grösse dieser Ablenkung variirt mit der Veränderung der Richtung und der Geschwindigkeit der Erde; nach Verlauf eines Jahres werden sich die scheinbaren Orte zu einer Ellipse schliessen, deren Achsen von der Richtung abhängen, in welchen die einzelnen Himmelskörper sich befinden. Diese Ellipsen weichen für Sterne, welche in der Nähe des Poles der Ekliptik liegen, nur sehr wenig vom Kreise ab und werden bei gleichbleibender grosser Achse für näher der Ekliptik liegende Gestirne flacher, bis sie endlich für in der Ekliptik selbst liegende Sterne in eine Gerade übergehen. Die halbe grosse Achse der Aberrationsellipse heisst Aberrationsconstante; sie wurde von Bradley mit $20\cdot3851''$, von Peters mit $20\cdot4255''$ und endlich von W. Struve mit $20\cdot4451''$ berechnet. Mit Kenntniss dieses Werthes ist es im Wege einer einfachen Rechnung leicht möglich, zu ermitteln, dass sich das Licht 10.089 mal schneller bewegt als die Erde in ihrer Bahn, woraus sich aus der

bekanntem Umlaufszeit von $365 \frac{1}{4}$ Tagen für die Lichtgleichung die Grösse von $8^m 17.8^s$ ergibt.¹⁾

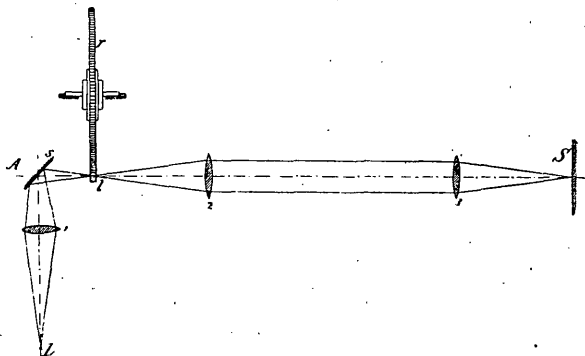
Die ersten Versuche, welche sich auf die Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit beziehen, rühren schon von Galilei her und basiren auf einem vollkommen richtigen Princip, nämlich der Beobachtung der Zeit, welche das Licht einer irdischen Lichtquelle braucht, um einen bestimmten Weg zweimal zu durchlaufen. Sie konnten aber keinerlei positives Resultat liefern, weil die Entfernungen, in welchen sie angestellt wurden, mit Rücksicht auf den grossen Werth der Lichtgeschwindigkeit viel zu gering waren.

Bei Wiederholung dieser Versuche musste deshalb das Augenmerk auf die Vergrösserung der Distanz und sohin auch der Zeitdauer gerichtet werden. Dem französischen Physiker Fizeau gebührt das Verdienst, zuerst ein solches Experiment mit Erfolg durchgeführt zu haben. Zu diesem Ende bediente er sich eines Apparates, dessen Schema in Fig. 12 dargestellt ist. *L* ist die Lichtquelle, welche ihre Strahlen nach der Linse *1* aussendet. Nach deren Durchgang treffen sie auf den Planspiegel *s*, von welchem reflectirt, sie sich in *l* vereinigen, um mit Hilfe der Linse *2* parallel der Linse *3* zugeführt und von dieser wieder zu einem Bilde vereinigt zu werden, das auf dem Spiegel *S* entsteht. Dieses Bild wird zurückstrahlen und in *l* ebenfalls ein Bild erzeugen, welches

¹⁾ Mémoires de l'académie de St.-Pétersbourg. VI. Série. Tome III, 1844.

von dem in *A* befindlichen Auge beobachtet werden kann. An der Stelle, wo das Bild des Spiegelbildes entstand, befand sich der gezahnte Umfang eines Rades *r*, welches in rasche Bewegung gesetzt werden konnte. Denkt man sich das Rad in Ruhe und so gestellt, dass gerade der von *L* kommende Lichtstrahl eine Zahnücke passieren kann, so wird das reflectirte Bild erst nach der Zeit entstehen, welche der Lichtstrahl zum Hin- und Herpassiren

Fig. 12.

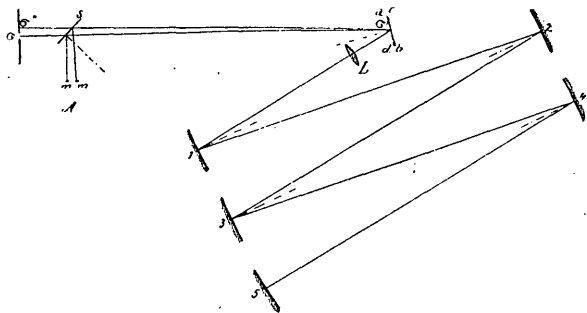


braucht. Wird nun das Rad in solche Rotation versetzt, dass nach Ablauf dieser Zeit am Bildorte ein Zahn sich befindet, so kann man einen Lichteindruck nicht erhalten. Verdoppelt man die Geschwindigkeit, dann wird nach Ablauf dieser Zeit am Bildorte eine Zahnücke stehen und das Auge einen Lichteindruck wahrzunehmen vermögen; wird die Geschwindigkeit auf das Dreifache gesteigert, so resultirt Dunkelheit, bei vierfach gesteigerter

Geschwindigkeit wieder Licht u. s. w. Aus der bekannten Umfangsgeschwindigkeit und Zähnezahl ist es nicht schwer, die Zeit selbst zu berechnen, welche das Licht zum einmaligen Passiren des Weges braucht. Indem Fizeau im Jahre 1849 in der angedeuteten Weise voring, fand er aus 28 Beobachtungen die Lichtgeschwindigkeit mit rund 315.000 km.¹⁾

Die gleiche Aufgabe stellte sich Foucault, und es gelang ihm schliesslich im Jahre 1862 durch einen viel

Fig. 13.



compendiöseren Apparat (Fig. 13), das Ziel zu erreichen. Er zwang nämlich den von einer Lichtquelle ausgehenden und durch den Spalt σ eines Fensterladens eingedrungenen Strahl, auf den Hohlspiegeln 1, 2, 3, 4, 5, im Zickzack hin- und herzugehen, bis er auf seinem Rückgange denselben ebenen Spiegel S erreichte, auf dem er zuerst auffiel, und von welchem aus die Reflexion auf ein Plan-

¹⁾ Comptes rendus. Tome XXIX, 1849.

glas s und von diesem ins Auge erfolgte. Offenbar musste, wenn sich dieser Spiegel S in Ruhe befand, die reflectirte Richtung mit der Auffallsrichtung zusammenfallen; sobald aber der Spiegel S in rasche Rotation versetzt wurde, musste die Richtung des reflectirten Strahles von der des auffallenden im Sinne der Drehung erfolgen. Ist nämlich der letztere dargestellt durch $\sigma\sigma'$, so muss, wenn S in Ruhe ist, das in A befindliche Auge das Bild des Spaltes σ in m erblicken. Wird aber der Spiegel S in rasche Rotation versetzt, so tritt folgende Erscheinung ein: Der durch den Spalt σ eintretende Strahl findet bei seinem Hingange den Spiegel S in der Lage ab , auf seinem Rückgange hingegen in der Lage cd , wird also in der Richtung $\sigma'\sigma''$ zurückgeworfen. Das Auge erblickt daher das Bild des Spaltes σ im Punkte m' , dessen Entfernung von m leicht gemessen werden kann. Hieraus, sowie ferner aus der bekannten Umdrehungsgeschwindigkeit und der bekannten Länge des Weges des Lichtstrahles ergab sich die zur Zurücklegung desselben nöthige Zeit, aus welcher sich schliesslich die Lichtgeschwindigkeit mit 298·000 km. berechnete.¹⁾

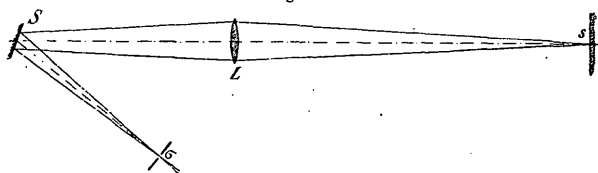
Später, nachdem man an den Apparaten selbst Verbesserungen angebracht hatte, wurden die Versuche erneuert. So fand Cornu, indem er 1872 und 1874 die Fizeau'sche Methode in Anwendung brachte, für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes in der Luft

¹⁾ Comptes rendus. Tome LV, 1862.

300.330 km., im luftleeren Raume aber 300.400 km.¹⁾ Im Jahre 1876 discutirte Helmert diese Experimente und stellte letztere Zahl auf die Grösse von 299.990 km. richtig.²⁾

In der neuesten Zeit (1879) wiederholte der Amerikaner Albert A. Michelson das Foucault'sche Experiment, an dessen Apparat er eine nicht unwesentliche Verbesserung angebracht hatte. Durch den Spalt σ (Fig. 14) fallen von einer vor demselben befindlichen Lichtquelle auf den Spiegel S Strahlen auf und werden von diesem auf die Linse L reflectirt; nach ihrem Durch-

Fig. 14.



gange vereinigen sie sich zu einem Bilde, welches auf dem in entsprechender Entfernung befindlichen Planspiegel s entsteht, um seinerseits wieder die Strahlen zurückzuwerfen, die sich bei vollkommener Ruhe in σ vereinigen. Wird der Spiegel S um eine auf der Ebene der Papierfläche senkrecht stehende Achse in Rotation versetzt, so wird, der Umdrehungsgeschwindigkeit entsprechend, das nach der Rückkunft der Strahlen

1) Comptes rendus. Tome LXXIX, 1874.

2) Astronomische Nachrichten. Bd. 87, Nr. 2072, 1876.

erzeugte Bild gegen den Spalt σ verschoben erscheinen und bei genügend grosser Tourenzahl stationär bleiben.

Foucault erreichte diesen Zweck dadurch, dass er dem Spiegel s correspondirend einen Hohlspiegel anbrachte, dessen Krümmungsmittelpunkt mit der Drehungsachse des Spiegels S zusammenfiel; um aber das Experiment in einem Zimmer vornehmen zu können und keinen zu grossen Hohlspiegel in Verwendung nehmen zu müssen, ersetzte er, wie Fig. 13 zeigt, diesen durch fünf Hohlspiegel; auch befand sich die Sammellinse L sehr nahe beim drehenden Spiegel S .

Michelson hingegen stellte die Linse L so weit vom Spiegel S auf, dass sich dieser noch innerhalb ihrer Brennweite befand, und wählte den Durchmesser des Spiegels s gleich der Oeffnung von L . Durch diese Anordnung erzielte er, dass unabhängig von der Entfernung Ss die Vereinigung der von S reflectirten Strahlen so lange auf s erfolgte, so lange noch die Achse des Lichtbüschels auf die Linse L fiel. Bei langsamer Rotation wurden getrennte Lichtblitze sichtbar; wurde aber die Geschwindigkeit vermehrt, so entstand, dieser und den gewählten Distanzen entsprechend, ein stationäres Bild, dessen Entfernung von σ sich mit der Zunahme der Tourenzahl und der Dimensionen des Apparates vergrösserte.

Ohne auf die weiteren Details eingehen zu wollen, sei nur bemerkt, dass die Entfernung der beiden Spiegel 605·2 m. und jene des rotirenden Spiegels S vom Spalt σ circa 9 m. betrug; die Linse L hatte bei 45 m. Brennweite eine Oeffnung von 20 cm.; die Tourenzahl des

Spiegels S betrug 256 pro Secunde. Damit resultirte eine Ablenkung des stationären Bildes vom Spalt σ in der Grösse von 133 mm., was ungefähr das 200 fache von jener Verschiebung ist, welche Foucault erzielte. Aus einer ersten Reihe von Versuchen leitete Michelson den Werth der Lichtgeschwindigkeit mit 300.100 km. ab, während eine zweite vollkommener 299.954 \pm 50 km. ergeben hatte.¹⁾

Erst jüngst bemächtigte sich Todd, gleichfalls ein Amerikaner, dieser Frage und fand nach eingehender Discussion sämtlicher Versuchsergebnisse den Werth von 299.920 km. als wahrscheinlichsten Werth der Lichtgeschwindigkeit.²⁾

Auf diese Weise haben wir also beide Factoren gefunden, welche uns zur Kenntniss der Sonnenparallaxe nach der physikalischen Methode zu führen vermögen. Wir erhalten, indem wir die aus der Struve'schen Bestimmung folgende Grösse der Lichtgleichung zu Grunde legen, für die Sonnenparallaxe den Werth von $8.811''$, während bei Annahme der Delambre'schen Grösse der Lichtgleichung sich die Parallaxe mit $8.830''$ ergibt.

Schon eingangs wurde darauf hingewiesen, dass die genaue Kenntniss der Sonnenentfernung die Frage nach der kosmischen Wirkung der verschiedenen Naturkräfte zu lösen bestimmt ist. Wenn wir die beiden letzten Resultate ins Auge fassen, so bieten gerade diese Anlass,

1) Nature. Vol. XXI, 1880.

2) American Journal of science. III. Series. Vol. XIX, 1880.

bei dem berührten Gegenstande etwas zu verweilen. Denn das kleinere derselben hat zur Grundlage die Constante der Aberration, eine Zahl, welche aus Erscheinungen abgeleitet wurde, die dem Fixsternreiche angehören, während die grössere sich aus den Beobachtungen der Verfinsterungen der Jupitertrabanten ergibt, also aus Phänomenen, die unserem Planetensysteme angehören.

Ist angesichts dieser Thatsache nicht vielleicht die Frage zulässig, ob sich das Licht der Fixsterne nicht mit anderer Geschwindigkeit bewegt als das der Sonne? — Der schon genannte französische Physiker Cornu hat diese Vermuthung ausgesprochen und in weiterer Folge auch der aus Delambre's Werth der Lichtgleichung gefolgerten Grösse der Parallaxe eine höhere Bedeutung beigelegt, weil sie aus Beobachtungen berechnet wurde, welche blos dem interplanetaren Raume angehören.¹⁾ Andere, und zu diesen gehört Klinkerfues, wollten aber die Differenz zwischen Delambre und Struve auf rein physikalische Gründe zurückführen, nämlich auf den Zeitverlust, welchen das Licht bei Passiren eines dichteren Mediums (Fernrohrobjectiv) zu erleiden hat.²⁾ Obwohl diese Ansicht schon an und für sich durch die Fresnel'sche Theorie unhaltbar erscheint, wurde sie zum Ueberfluss noch durch Airy's Experiment, der sich für

¹⁾ Cornu A. Détermination de la vitesse de la lumière d'après des expériences exécutées en 1874. Paris, 1876.

²⁾ Klinkerfues W. Die Aberration der Fixsterne und die Wellentheorie. Leipzig, 1867.

Bestimmung der Aberrationsconstanten eines mit Wasser gefüllten Fernrohres bediente, widerlegt.¹⁾

Als abgeschlossen dürfen wir aber diese Frage noch keineswegs betrachten, denn im Jahre 1874 benützte Glasenapp in Pulkowa die Beobachtung der Verfinsterungen des ersten Jupitertrabanten, wie solche seit 1848—1873 in Greenwich und an anderen Sternwarten angestellt worden sind, zur Berechnung der Lichtgleichung und fand hiefür $8^m 20.84^s \pm 1.02^s$, also einen Werth, welcher viel mehr von Delambre, als Struve differirt.²⁾ Daraus würde hervorgehen, dass die von Delambre benützten Beobachtungsdaten mit Fehlern behaftet erscheinen, die sich in der hieraus abgeleiteten Lichtgleichung widerspiegeln. Auf der anderen Seite hat aber wieder Villarceau erst 1876 darauf hingewiesen, dass auch die Struve'sche Bestimmung der Aberrationsconstanten nicht vollständig genügend sei, so dass wir zur Zeit die Frage, ob die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Fixstern- und des reflectirten Sonnenlichtes gleich ist, mit voller Bestimmtheit zu beantworten nicht vermögen.³⁾

6. Uebersicht der bisher gewonnenen Resultate.

Um zum Schlusse einen Ueberblick zu ermöglichen, wurden in der folgenden Tabelle die für die Grösse der Sonnenparallaxe im Laufe dieses Jahrhunderts berechneten Werthe übersichtlich zusammengestellt:

1) Proceedings of the Royal Soc. of London. Vol. XXI, 1873.

2) Nature. Vol. XXI, 1880.

3) Connaissance des temps pour l'an 1878.

Methoden	Werth der Sonnen- parallaxe	Berechnet oder publicirt von:
a. Geometrische Methoden.		
Venusdurchgänge.		
1761 und 1769	8·58''	Encke . 1824
" " "	8·57''	" . 1835
1769 allein	8·59''	" . 1835
" "	8·83''	Powalky. 1864
" "	8·92''	Stone . 1868
" "	8·79''	Powalky. 1870
1874 franz. Beobachtungen	8·88''	Puiseux . 1875
" engl. Beobachtungen	8·76''	Airy . . 1877
" " "	8·88''	Stone . . 1878
" " "	8·81''	Tupman . 1878
" aus Zwischenz. franz. Beob.	8·98''	Puiseux . 1881
" " absol. Läng. " "	8·92''	" . 1881
" " mikrom. M. " "	9·05''	" . 1881
" " Photograph. amerik. Beob.	8·88''	Todd . . 1881
Marsbeobachtungen.		
1862	8·84''	Hall . . 1863
"	8·94''	Stone . . 1863
"	8·96''	Winnecke 1863
"	8·85''	Newcomb 1867
1877	8·96''	Downing 1879
"	8·80''	Hall . . 1879
"	8·78''	Gill . . 1879
Beobachtung der Flora.		
1873	8·87''	Galle . . 1875
Beobachtung der Juno.		
1874	8·77''	Lindsay
	bis	
	8·82''	und Gill. 1877

Methode	Werth der Sonnen- parallaxe	Berechnet oder publicirt von:
b. Mechanische Methoden.		
Parallaktische Ungleichheit . . .	8·96''	Hansen . 1854
" " . . .	8·92''	" . 1863
" " . . .	8·92''	Stone . . 1867
" " . . .	8·85''	" . 1867
" " . . .	8·77''	Neison . 1880
" " . . .	8·81''	Faye . . 1881
Monatliche Gleichung der Erde . . .	8·95''	Leverrier 1858
" " " " . . .	8·91''	Stone . . 1867
Störungen des Mars und der Venus	8·86''	Leverrier 1872
" " " " " " . . .	8·83''	" . 1873
" " Encke'schen Kometen	9·01''	Asten . . 1877

c. Physikalische Methode.

Lichtgeschwindigkeit

in Verbind. mit Struve's Aberr. Const.	8·86''	Foucault	1862
" " " " " " . . .	8·79''	Cornu . .	1876
" " " " " " . . .	8·81''	Michelson	1879
" " " " " " . . .	8·81''	Todd . .	1879

Vielfach wurde schon der Versuch unternommen, durch Discussion derselben oder wenigstens der Hauptresultate einen definitiven Werth der Sonnenparallaxe abzuleiten. So fand z. B. Newcomb im Jahre 1867 einen solchen von 8·848'',¹⁾ Faye erst in jüngster Zeit (1881), indem er auch die englischen Resultate des

¹⁾ Investigation of the distance of the sun. Washington 1867.

Venusdurchganges von 1874 benützte, $8.82''$, mit einem wahrscheinlichen Fehler von $\pm 0.016''$,¹⁾ also einen Werth, der merkwürdigerweise mit dem von La Place in seiner *Mecanique céleste* angegebenen bis auf $0.007''$ übereinstimmt. — Indessen kann nicht übersehen werden, dass allen diesen Rechnungen eine gewisse Willkürlichkeit anklebt, die ihre Begründung in der verschiedenen Genauigkeit hat, welche den einzelnen Resultaten zukommt.²⁾ Es bleibt, indem man an eine solche Bearbeitung schreitet, nichts Anderes übrig, als diese Resultate nach Massgabe der bei der Beobachtung auftretenden Umstände zu classificiren und so zu einer Reihe von Bedingungsgleichungen zu combiniren, in welchen die Beziehungen zwischen den der Beobachtung zu Grunde gelegten Elementen ihren Ausdruck finden. Auf diese Weise kann man für die Sonnenparallaxe fast jeden Werth erhalten, welcher sich zwischen den Grenzen von $8.8''$ bis $8.9''$ bewegt.

7. Der Venusdurchgang vom 6. December 1882.

Dass man unter so bewandten Umständen den am 6. December 1882 stattfindenden Venusdurchgang sehnsüchtig erwartet, wird begreiflich. Die Thatsache, dass dieselben Astronomen, welche den Venusdurchgang

1) *Comptes rendus*. Vol. XCII, 1881.

2) Hierüber vergleiche man einen Vortrag, den Mr. Wm. Harkness in der Versammlung der amerikanischen Naturforscher zu Cincinnati im August 1881 gehalten (*American Journal of science*. III. Series. Vol. XXII, 1881).

von 1874 beobachten konnten, nun auch diesen verfolgen und somit mit den dort gesammelten Erfahrungen ausgerüstet sein werden, macht ihn zu einem ungleich interessanteren Phänomen und lässt die Hoffnung für begründet erscheinen, dass die aus demselben zu gewinnenden Resultate uns dem ersehnten Ziele viel näher bringen werden. Was für Anstrengungen wurden aber auch seither gemacht, um das Gelingen der Expeditionen, soweit es menschliches Zuthun vermag, zu sichern? — Mit der Discussion der früher gemachten Wahrnehmungen und ihrer vermeintlichen Ursachen ging die Einübung an Modellen zur Beobachtung der Contacte Hand in Hand und liess den Eifer um so weniger erkalten, als die localen Bedingungen sich diesmal etwas günstiger gestalten als vor acht Jahren. Wie die am Schlusse auf Taf. II beigefügte Kartenskizze zeigt, fällt nahezu ganz Amerika in die Zone der Sichtbarkeit des ganzen Phänomens, im westlichen Europa und in ganz Afrika wird nur der Eintritt, in dem nordwestlichen Nordamerika, dem östlichen Australien und auf Neu-Seeland nur der Austritt beobachtet werden können.

Man ersieht hieraus, dass vor Allem Amerika ohne viel Kosten für Ausrüstung von Expeditionen den Löwenantheil erringen kann, da sich daselbst eine grosse Anzahl auf das Beste eingerichteter Sternwarten befindet; trotzdem begiebt sich aber Newcomb nach dem Cap der guten Hoffnung.

Inwieweit sich die übrigen Länder durch Expeditionen betheiligen, entnimmt man aus folgender Zusammenstellung: ¹⁾

Land	Ziel der Expedition
Belgien	San Antonio (Texas). Daselbst werden Photographien des Phänomens aufgenommen.
Brasilien . .	Magellanstrasse, Itapera, Pernambuco, Rio de Janeiro, Antillen. Zur Verwendung gelangen Fernrohre mit 300mm., 250 mm. und 163 mm. Oeffnung.
Chili	Santiago de Chile.
Dänemark . .	St. Thomas.
Deutschland	Hartford (Connecticut), Aicken (Südamerika), Bahia Blanca (Arg. Rep.), Punta Arenas (Magellanstrasse). Die zur Verwendung gelangenden Instrumente sind für Contactbeobachtungen Fernrohre von 118 mm. Oeffnung; die Heliometer haben 76 mm. und 118 mm. Oeffnung.
England . . .	Bermudas, Jamaika, Banbuda, Cap der guten Hoffnung (3), Madagascar, Neu-Seeland, Falklands-Inseln, Sidney, Melbourne. Die zur Verwendung gelangenden Fernrohre mit Doppelbild-Mikrometer haben 152 mm. Objectivöffnung.

¹⁾ An dieser Stelle fühle ich mich angenehm verpflichtet, Herrn Dr. N. v. Konkoly in O'Gyalla meinen ganz besonderen Dank dafür auszusprechen, dass er die Freundlichkeit hatte, lange bevor, als die Fachblätter von dem Ziele der Expeditionen irgend welche Kunde hatten, mir von denselben in möglichster Vollständigkeit briefliche Mittheilung zu machen.

Land	Ziel der Expedition
Frankreich .	Port-au-Prince (Cuba), Mexico, Martinique, Florida, Santa-Cruz (Arg. Rep.), Chubut (Arg. Rep.), Rio Negro (Arg. Rep.), Chili. Die Fernrohre haben 217 mm. und 163 mm. Oeffnung; beobachtet wird mit gewöhnlichen Mikrometern und ausserdem photographirt.
Holland . . .	Couraçaou.
Portugal . . .	Lourenço Marquez.
Spanien . . .	Cuba, Portoricco.
	Zur Verwendung gelangen Fernrohre von 102 mm. und 152 mm. Oeffnung.

Für Wien, woselbst nur der Eintritt sichtbar ist, findet derselbe um $3^h 3^m 46^s$ (mittlere Wiener Zeit) Nachmittags statt; um $3^h 24^m 21^s$ wird Venus die Sonnenscheibe von innen berühren. Der Vorübergang selbst erfolgt auf der südlichen Sonnenhälfte und schwankt seine Dauer (zwischen den beiden inneren Contacten) je nach der Lage des Beobachtungsortes zwischen $5^h 21.5^m$ und $5^h 51^m$.¹⁾ Für den Eintritt fällt die stärkste parallaktische Wirkung (etwa 7.7^m gegenüber der Zeit in Bezug auf den Mittelpunkt der Erde) in die Nähe der Kerguelen-Inseln (Verfrühung) und Canada (Verspätung); für den Austritt hingegen zwischen die Azoren und die Küste von Südamerika (Verfrühung) und das Innere von Neu-Holland (Verspätung). Es werden also Beobachtungen

¹⁾ Eine ausführliche Berechnung hat Dr. Carl Friesach in den „Denkschriften der kais. Akademie der Wissenschaften, Bd. XLIV. Wien, 1882“ geliefert.

aus diesen Gegenden sich ganz besonders zur Ableitung der Sonnenparallaxe nach der De l'Isle'schen Methode eignen. Für die Halley'sche Methode der Zwischenzeiten eignet sich am besten der ganze östliche Theil der Vereinigten Staaten (kürzeste Dauer, also kleinste Sehne) und die südlichen Polargegenden (längste Dauer), wiewohl auch noch die Ostküste Südamerikas, die Falklands-Inseln und Neu-Schottland günstige Verhältnisse aufweisen.

Um über die gegenseitige Stellung der beiden Planeten, Erde und Venus, während eines Jahres ein übersichtliches Bild zu gewähren, dient die Fig. 15. Dieselbe enthält diese Stellungen für die Monatsanfänge von 1882 und ist mit Bezug auf die daselbst gewählte Bezeichnung und Beschreibung ohne weitere Erklärung verständlich. Man erkennt, dass Venus während des Januar als Morgenstern geleuchtet, Ende Februar hingegen sich in oberer Conjunction mit der Sonne befand. Sodann erschien sie uns immer als Abendstern, um am 6. December den aufsteigenden Knoten zu passiren. Sie tritt kurz vorher in untere Conjunction zur Sonne, weshalb an diesem Tage ein Venusdurchgang erfolgt.

Abgesehen davon, dass die localen Verhältnisse desselben günstiger sind als die des Jahres 1874, ist auch die Dauer desselben beträchtlicher, indem sich Venus dem Sonnenmittelpunkte näher projicirt und so an den am günstigsten gelegenen Orten um nahezu zwei Stunden länger auf der Sonnenscheibe verweilt. Vieles, was die Genauigkeit der Beobachtungen zu fördern vermag, trifft

erwartete, aus den diesfalls angestellten Beobachtungen die Sonnenparallaxe bis auf $0.01''$ zu erhalten. Den in dieser Richtung aufgetauchten Zweifeln giebt besonders der Engländer Hall deutlichen Ausdruck, als er die Resultate der Marsopposition von 1877 publicirte. Er sagt: „Es scheint, dass der wahrscheinliche Fehler einer Marsbeobachtung kaum grösser als der einer Contactbeobachtung während eines Venusdurchganges ist, während der Einfluss auf die Parallaxe beinahe derselbe bleibt. So kann also ein einziger Beobachter in einer einzigen klaren Nacht ebensoviel zur Bestimmung der Sonnenparallaxe beitragen, als neun oder zehn kostspielige Venusexpeditionen.“

Es ist überhaupt eine eigenthümliche Erscheinung, dass uns das Problem des Sonnenabstandes so viele Enttäuschungen bereitet. So grosse Erfolge auch die Astronomie in diesem Jahrhunderte aufzuweisen hat, so will es ihr doch nicht gelingen, speciell in dem einen Problem, der Ränderberührung der Planeten, eine Genauigkeit zu erzielen, welche Halley vor zweihundert Jahren als erreichbar erklärte. Es will beinahe scheinen, als ob die Natur uns gerade hier so viele Schwierigkeiten bereiten wollte, auf dass wir der Erkenntniss nicht verlustig werden, dass auch wir von ihr regiert werden. Wir erkennen nach und nach die störenden Momente; ihrer Herr zu werden, das soll uns trotz aller Anstrengungen und Bemühungen vorderhand versagt bleiben. „Uebrigens wird die Venusatmosphäre ein voraussichtlich unüberwindliches Hinderniss für eine wirklich genaue Contact-

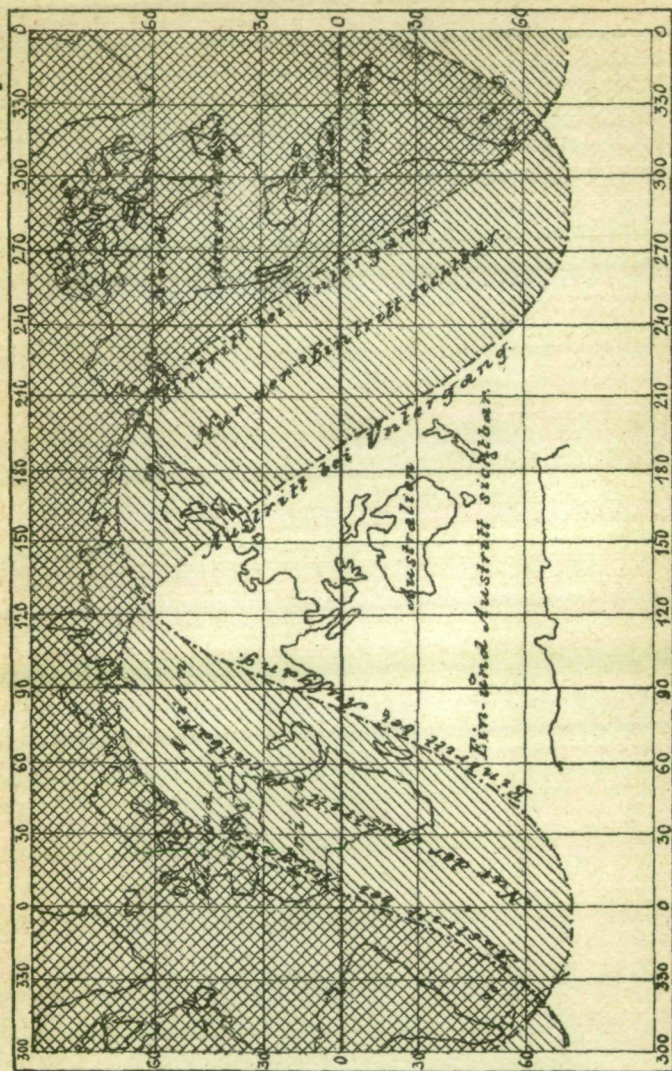
beobachtung bleiben und alles Raffinement von Instructionen, die ihr unmöglich im Detail Rechnung tragen können; im concreten Falle nur zu leicht illusorisch machen.“ — Dies die eigenen Worte von Auwers, mit welchen er die Publication der „Instructionen für die Beobachtung der Ränderberührungen“ in den *Astronomischen Nachrichten*, Nr. 2454, begleitet.

Angesichts dieser Thatsachen dürfen wir aber nicht verzagen. Leider ist es den österreichischen Astronomen auch diesmal nicht vergönnt, in einer der Bedeutung des grossen Problems würdigen Weise an der Lösung dieser wichtigen Frage mitzuwirken, so dass sie nur die Bestrebungen der anderen Nationen mit den besten Wünschen für das Gelingen ihres Vorhabens begleiten können, indem sie allen, nach den verschiedenen Richtungen der Windrose verstreuten Beobachtern mit Halley „herzlich wünschen, zuerst, dass sie nicht durch ungünstige Witterung des ersehnten Ausblickes beraubt werden, und dann, wenn sie die Grösse unserer Planetenbahnen mit mehr Genauigkeit bestimmt haben, daraus unsterblichen Ruhm und Ehre schöpfen mögen“.

Bevor die Methode der Venusdurchgänge zur Bestimmung der Sonnenparallaxe bekannt wurde, war die Unsicherheit in dieser Grösse volle zwei Secunden, die Sonnenentfernung demnach um mehr als 30 Millionen Kilometer zweifelhaft. Zur Zeit wissen wir, dass erstere zwischen den Werthen von $8.76''$ und $8.86''$ schwankt und dass ihre Grösse wahrscheinlich innerhalb der Grenzen von

8·79'' bis 8·83'' eingeschlossen ist, entsprechend den Entfernungen von 149,650.000 und 148,970.000 Kilometern, d. i. 20,167.000 bez. 20,076.000 geogr. Meilen. Wir werden diese Grenzen einengen, wenn es uns gelingt, einerseits die parallaktische Ungleichheit des Mondes, die Mondgleichung der Erde, die Massen der einzelnen Planeten, die Constante der Aberration, die Lichtgeschwindigkeit und die Lichtgleichung mit noch grösserer Genauigkeit zu bestimmen, andererseits aber auch dadurch, dass wir bestrebt sind, all' jene Schwierigkeiten zu überwinden, welche sich der Erhebung genauer Beobachtungsdaten in dem Momente entgegenstellen, wenn die unserer Erde näher stehenden Planeten sich im kleinsten Abstände von derselben befinden. Die Ueberzeugung für das Gelingen dieser unserer Bestrebungen schöpfen wir aus den Erfolgen früherer Jahrhunderte, besonders aber aus den grossen und ungeahnten Leistungen der letzten Jahre. Und sollten auch wir selbst, auf dem betretenen Wege weiterschreitend, des Sieges nicht theilhaftig werden, so wird unserer Generation wenigstens der Vorwurf erspart bleiben, dass sie es unterlassen hätte, nach Möglichkeit beizutragen zum Gelingen des grossen Werkes:

Taf. I.



1874, Dec. 8.

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): Klein Franz

Artikel/Article: [Die Bestimmung der Sonnenentfernung mit besonderer Rücksichtnahme auf Venusdurchgänge. 53-143](#)