Vorbemerkungen.

Es handelt sich in der vorliegenden Arbeit in gewissem Sinne um ein optisches Analogon zu den bekannten mechanischen Beweisen der Erdrotation. Ich hätte den Titel: „Ein optischer Beweis für die Erdrotation" wählen können; indessen schien mir diese Bezeichnung nicht erschöpfend den Inhalt der Arbeit zu kennzeichnen, zudem ist sie irreleitend. Man könnte nämlich meinen, es komme bei einem solchen Beweis auf die Feststellung einer Tatsache an, die dafür spricht, daß die tägliche Drehung des Himmels nur „scheinbar" sei. Nun aber steht dieser Begriff der scheinbaren Bewegung auf recht schwachen Füßen. Er verflüchtigt sich, sobald man die Unmöglichkeit einer absoluten Bewegung erkannt hat, zu einem Scheinbegriff. Doch spielt er heute noch eine große Rolle, wie die modernen Lehrbücher der Physik beweisen. Aber auch wenn man nur Relativbewegungen anerkennt, kann man gleichwohl dem Foucaultschen Pendelversuch und ähnlichen Tatsachen die Bedeutung eines Erdrotationsbeweises beilegen, allerdings in einem von der oben angedeuteten Auffassung verschiedenen Sinne. Es erschien mir notwendig, dies in einem eigenen Kapitel (Kap. II) auseinanderzusetzen.

Eine eigentümliche Stellung nimmt das I. Kapitel ein. In ihm werden im Anschluß an die Frage, ob die Sonne dort steht, wo wir sie sehen, widerspruchsvolle Ergebnisse entwickelt. Sollte der Leser irgendwelche Vorurteile oder ähnliche Mängel hierbei entdecken, so bitte ich zu bedenken, daß ich dieselben vielleicht nicht unabsichtlich hineingetragen habe. Daß ich das nicht nur in der Absicht, interessante Paradoxa zu erhalten, getan habe, dürfte insbesondere dem philosophisch geschulten Leser, der den modernen Auffassungen der Physik kritisch gegenübersteht, schwerlich entgehen.

Noch will ich bemerken, daß ich mich bemüht habe, meinen Ausführungen einen möglichst allgemein verständlichen Charakter zu geben.

I. Widerspruchsvolle Betrachtungen über die Lichtfortpflanzung.

a) Erste Untersuchung über den scheinbaren Stand der Gestirne.

1. Es ist allgemein anerkannt, daß das Licht Zeit braucht, um von einer Stelle des Weltalls an eine andere zu gelangen. Es legt in 1^{sec} einen Weg von etwa 300 000 km zurück. Bei Berücksichtigung der Entfernung zwischen Sonne und Erde muß daher ein Sonnenstrahl das Tagesgestirn bereits etwa 8^{min} verlassen haben, bevor er auf unserem Planeten eintrifft.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Wenn z. B. die Sonne pünktlich um 6 Uhr aufgeht, oder genauer: wenn wir in diesem Zeitpunkt den Mittelpunkt S der Sonnenscheibe gerade am Horizont auftauchen sehen, so hat der um 6 Uhr zu uns gelangende Lichtimpuls den leuchtenden Ausgangspunkt S bereits um $5^h\ 52^{min}$ verlassen. Dieser Impuls kommt doch nun offenbar von derjenigen Stelle des Himmelsraumes, an welcher sich sein Ausgangspunkt S zur Zeit seiner Aussendung, also um $5^h\ 52^{min}$, befand. Da er aber vom Horizont herkommt, so muß sich der Punkt S bereits zur Zeit $5^h\ 52^{min}$ auf dem Horizont befunden haben; d. h. der Mittelpunkt der Sonnenscheibe geht in Wirklichkeit um $5^h\ 52^{min}$ auf und befindet sich in dem Augenblick, in dem wir ihn aufgehen sehen, also um 6^h, bereits 8^{min} lang über dem Horizont.

Demnach ergibt sich folgendes Resultat: Die Sonne geht in Wirklichkeit nicht dann auf, wenn wir sie aufgehen sehen, sondern 8^{min} früher. Allgemein: Wir sehen die Sonne niemals dort, wo sie wirklich steht, sondern dort, wo sie vor 8^{min} stand. Denn der Lichtstrahl, der unser Auge in einem bestimmten Zeitmoment trifft, kommt von der Stelle, an welcher die Sonne vor 8^{min} stand[1]). Aus diesem Ergebnis wollen wir nun einige merkwürdige Folgerungen ableiten.

2. Betrachten wir, um ein einfaches fingiertes Beispiel zu wählen, ein Gestirn, welches von der Erde 8 Lichtstunden weit entfernt ist. Dann können wir ähnlich wie zuvor schließen, daß wir den Stern nicht dort sehen, wo er sich wirklich befindet, sondern dort, wo er vor 8 Stunden stand. In dem Moment also, in welchem er scheinbar kulminiert, tut er das in Wirklichkeit nicht. Die wahre Kulmination ist bereits 8 Stunden früher erfolgt.

Für jedes Gestirn gilt mithin die Unterscheidung von wahrem und scheinbarem Ort, von wahrer und scheinbarer Kulminationszeit. Es wird gut sein, einige hierauf sich beziehende Begriffe einzuführen.

3. Wird ein Gestirn, das wir als punktförmige Lichtquelle S ansehen, von einem in B befindlichen Beobachter in einem Zeitmoment t an der Stelle S' der Himmelskugel erblickt, so nennen wir eben S' den scheinbaren Ort von S für den Beobachter B zur Zeit t. Denken wir uns zu derselben Zeit das Gestirn S selbst durch eine starre Gerade mit dem Beobachter verbunden, so heißt diejenige Stelle der Himmelskugel, durch welche diese Gerade hindurchgeht, der wahre Ort von S für den Beobachter B zur Zeit t. Den konkaven Winkel, welchen die beiden starren Richtungen BS und BS' miteinander bilden, nennen wir die Ortsabweichung des Gestirns S für den Beobachter B zur Zeit t und bezeichnen mit γ seine in Winkelgraden gemessene Maßzahl. Entsprechend heiße der durch die beiden Himmelspole und den wahren Ort von S gelegte Halbkreis wahrer Stundenkreis, der durch die beiden Himmelspole und den scheinbaren Ort gelegte aber scheinbarer Stundenkreis von S. Den Winkel, um den man sich den scheinbaren Stundenkreis in der Bewegungsrichtung des Gestirns gedreht denken muß, damit er in die Lage des wahren Stundenkreises gelange, nennen wir die Stundenkreisabweichung; seine in Winkelgraden gemessene Maßzahl sei σ. Unter der wahren bzw. scheinbaren Kulminationszeit verstehen wir naturgemäß den Zeitpunkt, in welchem der wahre bzw. scheinbare Ort von S kulminiert.

---

[1]) Von der Ortsabweichung, welche in der atmosphärischen Strahlenbrechung begründet ist, soll hier wie auch stets im folgenden abgesehen werden.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Hinsichtlich der Sonne hatten wir das Ergebnis, daß zur Zeit der scheinbaren Kulmination bereits 8^{min} seit der wahren Kulmination verflossen sind. In diesen 8^{min} hat sich der wahre Stundenkreis gegen den Meridian um 2° gedreht, so daß $\sigma = 2$ ist. Für den Fall, daß die Sonne im Äquator steht, ist dann auch $\gamma = 2$.

4. Wir gehen nunmehr zur Betrachtung eines beliebigen Fixsterns über. Zu jedem Beobachtungsmoment t gibt es einen Entsendungsmoment T. Darunter verstehen wir den Zeitpunkt, in welchem der zur Zeit t am Beobachterort eintreffende Lichtimpuls das Gestirn verließ. Auf Grund unserer bisherigen Erwägungen gilt allgemein der

1. Satz: *Der wahre Ort im Entsendungsmoment ist identisch mit dem scheinbaren Ort desselben Gestirns im zugehörigen Beobachtungsmoment.*

Berücksichtigen wir ferner nicht nur einen Lichtimpuls, sondern die Reihe der Impulse, die während des „Beobachtungsintervalls" $t_0 \ldots t_1$ den Beobachterort treffen, so gehört zu diesem Beobachtungsintervall eindeutig umkehrbar ein „Entsendungsintervall" $T_0 \ldots T_1$, dessen Grenzen die zu t_0 und t_1 gehörenden „Entsendungsmomente" sind. Da Satz 1 von je zwei zugeordneten Zeitpunkten T, t der beiden Intervalle gilt, so folgt der

2. Satz: *Das vom scheinbaren Ort während eines Beobachtungsintervalls an der Himmelskugel zurückgelegte Wegstück ist der Form und Lage nach identisch mit dem Wegstück, welches der wahre Ort während des zugehörigen Entsendungsintervalls durchlief.*

Da nun der scheinbare Ort am Himmel, von geringen Abweichungen abgesehen, beständig einen Parallelkreis durchläuft, so gilt dasselbe vom wahren Ort. Wahrer und scheinbarer Ort können sich also im wesentlichen nur durch ihre Rektaszensionen unterscheiden. Wir erhalten so den

3. Satz: *Wahrer und scheinbarer Ort besitzen annähernd die gleiche, unveränderliche Poldistanz.*

5. Nun möge ein Fixstern F im Entsendungsmoment n Lichttage von der Erde entfernt gewesen sein, d. h. das Zeitintervall von T bis t betrage n Sterntage. Wir setzen, indem wir unter N die größte ganze Zahl unter n verstehen,

$$n = N + \nu, \quad o \leqq \nu < 1.$$

Seit dem Entsendungsmoment hat dann der wahre Ort N ganze Umläufe um die Himmelsachse vollendet, außerdem noch den Bruchteil ν eines Umlaufs. Befand sich z. B. der wahre Ort zur Zeit T in oberer Kulmination, so ist zur Zeit t der wahre Stundenkreis gegen den Meridian des Beobachters in westlicher Richtung um $360 \cdot \nu°$ verschoben. Der scheinbare Ort aber steht zur Zeit t in oberer Kulmination (Satz 1). Daraus folgt allgemein: $\sigma = 360\nu$. Nun ist die Entfernung aller Fixsterne so groß, daß es bisher nicht möglich war, dieselbe bis auf Lichttage genau zu berechnen. Daher ist die Größe ν praktisch völlig unbestimmbar. Da nicht anzunehmen ist, daß die Entfernungen der Fixsterne immer ganze Lichttage betragen, so bleiben für die Stundenkreisabweichung alle Werte zwischen 0° und 360° offen. Für einen auf dem Äquator gelegenen Stern kann mithin die Ortsabweichung sogar den größten Wert von 180° erreichen. Je näher ein Fixstern an einem Himmelspol liegt, desto geringer wird für ihn das Maximum seiner möglichen Ortsabweichung (vgl. Satz 3). Für einen in der Himmelsachse liegenden Stern fällt scheinbarer und wahrer Ort zusammen. Wir fassen das Ergebnis folgendermaßen zusammen:

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

4. Satz: *Die Stundenkreisabweichung eines Gestirns kann infolge der täglichen Drehung des Himmels alle möglichen Werte bis zu 360° erreichen.*

5. Satz: *Es ist praktisch unmöglich, den wahren Stundenkreis eines Fixsterns auch nur annähernd richtig zu bestimmen.*

6. Betrachten wir nun irgend zwei Fixsterne. Der Winkel zwischen ihren scheinbaren Stundenkreisen ist natürlich meßbar. Er ist ja nichts anderes als die Differenz ihrer Rektaszensionen. Dagegen ist uns nach Satz 5 der Winkel zwischen ihren wahren Stundenkreisen völlig unbekannt.

Wir wollen nun unter der wahren Konstellation einer Gestirnsgruppe das Sternbild verstehen, das wir erblicken würden, wenn wir jeden Stern der Gruppe an seinem wahren Ort sähen, unter der scheinbaren aber das wirklich beobachtbare Bild der scheinbaren Orte, und in analoger Weise wollen wir für die Gesamtheit der sichtbaren Fixsterne zwischen wahrem und scheinbarem Fixsternhimmel unterscheiden. Dann erhalten wir den

6. Satz: *Die wahre Konstellation einer Gestirnsgruppe stimmt i. allg. mit der scheinbaren auch nicht annähernd überein.*

Denn der wahre Fixsternhimmel geht aus dem scheinbaren dadurch hervor, daß der scheinbare Stundenkreis jedes Gestirns um den unbekannten, von der Entfernung des Gestirns abhängigen Winkel σ gedreht wird.

Die bekannten Sternbilder sind hiernach nur Trugbilder, und die spekulativen Erwägungen über den Weltbau erhalten einen argen Stoß, soweit sie sich auf die wirkliche Existenz von gewissen Sterngruppierungen stützen.

Die drei letzten Sätze (4—6) erscheinen zwar recht unwahrscheinlich, widersprechen indessen keineswegs der Erfahrung. Nunmehr aber wollen wir zu Folgerungen schreiten, die sich mit den astronomischen Beobachtungen nicht in Einklang bringen lassen.

7. Wir benutzen zu diesem Zweck die allgemein anerkannte Tatsache, daß die Entfernung der Erde von einem Fixstern nicht konstant ist, sondern infolge der Eigenbewegung der Fixsterne wie auch infolge der Erdrevolution sowie schließlich infolge einer etwaigen fortschreitenden Bewegung des Sonnensystems zeitlichen Änderungen unterliegt.

Wir nehmen an, daß während eines Entsendungsintervalls $T_0 \,..\, T_1$ der Abstand des Gestirns von der Erde vom Wert s_0 bis zum Wert s_1 sich ändert. Ist c die Lichtgeschwindigkeit, so folgt:

$$s_0 = c\,(t_0 - T_0); \quad s_1 = c\,(t_1 - T_1). \tag{1}$$

Setzen wir

$$t_1 - t_0 = \Delta t; \; T_1 - T_0 = \Delta T; \; s_1 - s_0 = \Delta s; \; \frac{\Delta s}{\Delta T} = v,$$

so daß v die mittlere auf die Zeiteinheit bezogene Abstandsänderung des Gestirns im Entsendungsintervall bedeutet, so wird nach (1)

$$\Delta s = c\,(\Delta t - \Delta T), \; \Delta t - \Delta T = \frac{v}{c}\,\Delta T, \; \frac{\Delta t}{\Delta T} = 1 + \frac{v}{c}.$$

Der Winkel, welchen der um die Himmelsachse sich drehende wahre Stundenkreis während des Entsendungsintervalls beschreibt, sei $\Delta\Phi$; der von dem scheinbaren Stunden-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

kreis während des zugehörigen Beobachtungsintervalls beschriebene Winkel sei $\Delta\varphi$. Dann ist nach Satz 2 stets $\Delta\Phi = \Delta\varphi$. Folglich

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta T} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta T} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}\left(1 + \frac{v}{c}\right).$$

Nun sind

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta T} = \Omega, \quad \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \omega \tag{2}$$

die mittleren Winkelgeschwindigkeiten, mit denen der wahre bzw. scheinbare Stundenkreis sich während des Entsendungs- bzw. Beobachtungsintervalls um die Himmelsachse dreht. Somit erhalten wir:

$$\Omega = \left(1 + \frac{v}{c}\right)\omega, \tag{3a}$$

und wenn wir die Potenzen der sehr kleinen Zahl $\frac{v}{c}$ von der zweiten an vernachlässigen:

$$\omega = \left(1 - \frac{v}{c}\right)\Omega. \tag{3b}$$

Wir wählen nun als Zeiteinheit einen Sterntag, als Winkeleinheit einen Grad und nehmen an, daß während des Entsendungsintervalls die Gestirne sich um dieselbe Achse drehen wie während des Beobachtungsintervalls, d. h. wir sehen von der Schwankung der Himmelsachse ab. Dann ist $\Omega = 360$. Ferner setzen wir $\Delta t = 1$, d. h. die Beobachtung erstrecke sich genau über einen Sterntag. Dann wird nach (2) und (3b), wenn wir unter $\delta\omega$ die Größe $\omega - 360$ verstehen:

$$\Delta\varphi - 360 = \delta\omega = -\frac{v}{c} \cdot 360. \tag{4}$$

Diese Gleichung enthält den folgenden

7. Satz: *Je nachdem während des Entsendungsintervalls das Gestirn seinen Abstand von der Erde durchschnittlich beibehielt* ($v = o$) *oder vergrößerte* ($v > o$) *oder verkleinerte* ($v < o$), *vollendet der scheinbare Stundenkreis während des Beobachtungstages genau eine Umdrehung um die Himmelsachse* ($\Delta\varphi = 360$) *oder etwas weniger* ($\Delta\varphi < 360$) *oder etwas mehr* ($\Delta\varphi > 360$) *als eine volle Umdrehung.*

8. Es seien nun F und F' zwei Fixsterne, die an demselben Beobachtungstage betrachtet werden; die beiden zugehörigen Entsendungsintervalle werden dann im allgemeinen nicht zusammenfallen. Dann erhalten wir aus (4)

$$\Delta\varphi - \Delta\varphi' = \omega - \omega' = -360\,\frac{v - v'}{c}. \tag{5}$$

Ferner sei angenommen, daß F sich während des zugehörenden Entsendungsintervalls von der Erde mit einer Geschwindigkeit von $30\,\frac{\text{km}}{\text{sec}}$ entfernt, F' sich aber der Erde während des zugehörenden Entsendungsintervalls mit der gleichen Geschwindigkeit genähert habe. Dann ist in (5) $v = -v' = 30$ zu setzen, falls c ebenfalls auf 1^{sec} bezogen wird. Es folgt aus (5), daß $\Delta\varphi'$ sich von $\Delta\varphi$ um $4{,}32'$ unterscheidet, so daß während des Beobachtungstages der Winkel zwischen den scheinbaren Stundenkreisen von F und F' sich um den Betrag von $4{,}32'$ geändert hat.

Die angegebene Geschwindigkeit von $30\,\frac{\text{km}}{\text{sec}}$ ist keineswegs zu hoch gegriffen. Sie ist ungefähr der Revolutionsgeschwindigkeit der Erde gleich, so daß in der Tat der Abstand

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

der in der Erdbahnrichtung liegenden Gestirne von der Erde sich durchschnittlich um den angegebenen Betrag ändert. Außerdem sind Fixsterne bekannt, die ihre Entfernung von dem Sonnensystem mit noch größerer Geschwindigkeit fortgesetzt ändern. Wir stellen somit als letzte Folgerung auf den

8. Satz: *Innerhalb des scheinbaren Fixsternhimmels müssen sich tägliche Stundenkreisverschiebungen von mehreren Winkelminuten einstellen.*

Es ist leicht zu sehen, daß diese gegenseitige Verschiebung der scheinbaren Stundenkreise irgend zweier Gestirne F und F', sofern sie in der Erdrevolution begründet ist, eine jährliche Periode besitzen muß, daß sie aber, sofern sie in der Abstandsänderung dieser Gestirne und des Sonnensystems ihren Grund hat, in der Regel unperiodisch sein und in einem andauernd gleichsinnigen Auseinander- bzw. Zusammenrücken der Stundenkreise bestehen muß. Die größte zufolge der Erdrevolution mögliche tägliche Verschiebung von 4, 32′ wird eintreten, wenn F zur Zeit T_0 in Richtung der gleichzeitigen Erdbewegung lag, F' zur Zeit T_0' aber in einer zur gleichzeitigen Erdbewegung entgegengesetzten Richtung. Dabei ist es sehr wohl nach Satz 4 möglich, daß die scheinbaren Orte von F und F' zur Zeit t_0 nahe beieinander liegen.

9. Mit Satz 8 sind wir zu einem Ergebnis gelangt, das durch die Beobachtung widerlegt ist. Wir dürfen daher schließen, daß das Problem vom wahren und scheinbaren Ort nicht einwandfrei behandelt wurde.

Ja, liegt es denn nicht auf der Hand, welchen Fehler wir begangen haben? Wir stützten doch alle unsere Ergebnisse auf die Annahme, daß der wahre Ort eines Gestirns sich innerhalb eines Sterntages wirklich um die Erde drehe, setzten also stillschweigends voraus, daß die Erde ruhe. Ist denn nicht vielmehr die Rotation der Erde wirklich, die Drehung der Gestirne nur scheinbar? Sollte denn das Eintreten fehlerhafter Ergebnisse verwunderlich sein, wenn man Bewegungen als wirklich ansieht, die doch nur scheinbar sind? Sind doch auch die Alten von dem geozentrischen Standpunkte aus in unlösliche Schwierigkeiten geraten! Müssen wir denn nicht, um ein der Wahrheit entsprechendes Ergebnis zu erzielen, von vornherein berücksichtigen, daß die Erde wirklich rotiert, und daß sie außerdem eine wirkliche fortschreitende Bewegung, die Revolution, besitzt? Nun gut! Wir werden jetzt das von uns behandelte Problem von dem eben gekennzeichneten heliozentrischen Standpunkt aus in Angriff nehmen.

b) Zweite Untersuchung über den scheinbaren Stand der Gestirne.

10. Der Beobachter auf der Erde besitzt in jedem Moment eine Geschwindigkeit q. Die Richtung derselben fällt auch für den nicht auf der Erdachse befindlichen Beobachter nahezu in die Richtung der Erdrevolutionsbewegung, da die durch die Rotation bedingte Geschwindigkeit klein gegen die Revolutionsgeschwindigkeit ist. Der Weg CB (Fig. 1), welchen der Beobachter in dem unendlich kleinen Zeitintervall $t-dt$ bis t zurücklegt, liegt also nahezu in der Richtung der Erdrevolutionsbewegung.

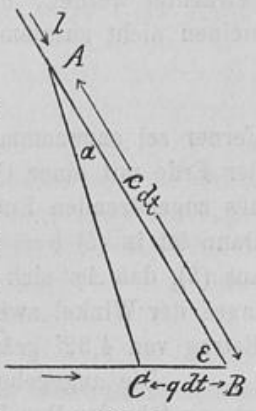

Fig. 1.

Zur Zeit t treffe ein Lichtstrahl l des Gestirnes F den Beobachter; l geht dann durch den Punkt B. Der Beobachter

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

fange den Strahl l mit einem Fernrohr oder einem einfachen Diopterrohr auf. Es sei dt so gewählt, daß im Moment $t-dt$ der Strahl in das Fernrohr eintrete. Das Objektiv desselben befindet sich also zur Zeit $t-dt$ in einem Punkte A der Lichtbahn l, das mit dem Beobachterort fest verbundene Okular folglich zu gleicher Zeit im Punkte C. Während der Zeit dt führt das Fernrohr eine Parallelverschiebung derart aus, daß sein Okular von C bis B wandert, und läßt so den Strahl ungehindert hindurch. Es ist, wenn c wieder die Lichtgeschwindigkeit bedeutet, $CB = q\,dt$ und $AB = c\,dt$.

Denken wir uns zur Zeit t das beobachtete Gestirn selbst, nicht sein Bild, mit dem Beobachterort B durch eine starre Gerade verbunden, so fällt diese in die Richtung AB, falls nicht in der Zeit zwischen Entsendungs- und Beobachtungsmoment das Gestirn seine Stellung gegen das Sonnensystem geändert hat. Doch sehen wir hiervon zunächst ab. BA gibt dann also die Richtung nach dem wahren Ort des Gestirns F an, CA aber die Richtung, in der F erblickt wird, also die Richtung nach dem scheinbaren Ort. Die Ortsabweichung ist mithin durch den Winkel CAB gegeben. Dies ist der bekannte Aberrationswinkel. Man findet für ihn aus ΔABC durch eine elementare Berechnung die bekannte Formel:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\varkappa \cdot \sin \varepsilon}{1 - \varkappa \cos \varepsilon}, \tag{6}$$

worin ε den Winkel zwischen der Richtung des Lichtstrahls l und der Erdbewegungsrichtung angibt und $\varkappa = \frac{q}{c}$ ist. Man kann leicht beweisen, daß für beliebige Werte von ε stets $\sin \alpha \leqq \varkappa$ ist.

11. Wesentlich sind für uns die Umstände, daß der Wert von α durch den Abstand des Gestirns von der Erde nicht beeinflußt wird und für alle Gestirne gleichmäßig einen sehr kleinen Wert unterhalb der angegebenen Grenze besitzt. Der Aberrationswinkel α darf aber keineswegs allgemein mit der Ortsabweichung γ (vgl. No. 3) identifiziert werden. Denn er mißt den Abstand zwischen dem scheinbaren Ort zur Beobachtungszeit und dem wahren Ort zur Entsendungszeit. Er ist mit γ i. allg. nur dann identisch, wenn in der Zwischenzeit das Gestirn keine zur Sehlinie senkrechte Bewegungskomponente gegen das Sonnensystem besaß.

c) Paradoxe Ergebnisse.

12. Wir wollen nunmehr die Ergebnisse unserer beiden Betrachtungen miteinander vergleichen.

Sehen wir zunächst von der Bewegung der Gestirne gegen das Sonnensystem ab sowie von der im Sonnensystem fortschreitenden Bewegung des Beobachters, so lehrt die erste, die geozentrische Betrachtung, daß γ von der Entfernung des Gestirns abhängt und einen Wert bis zu 180° erreichen kann (No. 5), die zweite, die heliozentrische Betrachtung zeigt für diesen idealisierten Fall, daß $\gamma = o$ sein muß, da $q = o$ ist [vgl. (6)].

Berücksichtigen wir außer der rotierenden auch die fortschreitende Bewegung des Beobachters im Sonnensystem, nicht aber die Bewegung des Gestirns gegen das Sonnensystem, so ergibt die geozentrische Auffassung, daß erhebliche tägliche gegenseitige Verschiebungen unter den scheinbaren Orten der Gestirne auftreten (No. 8), die

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

heliozentrische aber liefert nur die äußerst geringfügigen infolge der Aberration eintretenden Konstellationsverschiebungen[1]).

Nehmen wir schließlich noch Bedacht auf die in Richtung der Sehlinie liegende Bewegungskomponente der Fixsterne gegen das Sonnensystem, so ist dieselbe nach der geozentrischen Betrachtung wieder der Grund für erhebliche Verschiebungen unter den scheinbaren Stundenkreisen, nach der heliozentrischen aber ohne jeden Einfluß auf den Anblick des Himmels.

Insbesondere wird auch die Frage nach der zeitlichen Beziehung zwischen dem wahren und scheinbaren Sonnenaufgang in widersprechendem Sinne beantwortet, das erste Mal nämlich dahin, daß die im Äquator stehende Sonne in Wirklichkeit 8^{min} früher aufgeht als wir sie aufgehen sehen (No. 1), das andere Mal aber dahin, daß scheinbarer und wahrer Sonnenaufgang nur um eine durch die Aberration bedingte sehr kurze Zeit von etwa $\frac{4}{3}^{sec}$ voneinander getrennt sind.

13. Die geozentrische Auffassung führt zu Absurditäten und vor allem zu erfahrungswidrigen Resultaten, die heliozentrische aber liefert Ergebnisse, die nichts Auffälliges an sich tragen und mit der Erfahrung gut übereinstimmen. Nichts dürfte da verlockender erscheinen als der einfache Schluß, daß hiermit eben die geozentrische Weltanschauung eine neue Widerlegung erfahren habe, daß ein neuer, und zwar optischer Beweis für die Erdrotation in unseren Ausführungen enthalten sei. Wer indessen wirklich meint, daß hiermit das Paradoxe aufgeklärt sei, der ist dem wahren Grund für die Widersprüche keineswegs auf die Spur gekommen; seine „heliozentrische" Überzeugung ist ebenso einseitig und vorurteilsvoll, wie die geozentrische, die er durch die vorangehenden Untersuchungen widerlegt wähnt. Das folgende Kapitel soll uns über diesen Punkt weitere Aufklärung geben.

II. Der kinematische Relativismus und seine Stellung zu den Erdrotationsbeweisen.

a) Grundsätze des kinematischen Relativismus[2]).

14. Die Kinematik ist die Lehre von der Bewegung als solcher. Sie betrachtet lediglich Orts- und Lageveränderungen und sieht von den Kausalverknüpfungen ab, die ja bei wirklichen Bewegungen stets vorhanden sind, berücksichtigt also nicht den spezifisch physikalischen Charakter der Bewegungsvorgänge. Sie ist daher durchweg apriorischer Natur und muß mit demselben Recht wie die Geometrie zur Mathematik gerechnet werden. Ihre Sätze dürfen vom Physiker ebenso wenig angetastet werden wie die geometrischen und

---

[1]) Außerdem meist unmeßbar kleine parallaktische Verschiebungen.

[2]) Für die in diesem Abschnitt behandelten Fragen verweise ich nachdrücklich auf die Abhandlung von O. E. Westin: „Realitäten, Abstraktionen, Fingierungen und Fiktionen in der theoretischen Mechanik". Stockholm 1911. In derselben ist der Relativismus wohl zum erstenmal mit rücksichtsloser Konsequenz zur Darstellung gelangt. Die Arbeit verdient deshalb hohe Beachtung. Bis auf nebensächliche Punkte stimme ich dem Verfasser derselben völlig zu.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

arithmetischen Wahrheiten [1]). Vor einer Verwischung der Grenze zwischen Kinematik und Empirie, wie sie im Sinne des heutigen Positivismus liegt, kann nicht genug gewarnt werden [2]).

Kinematischen Relativismus nenne ich diejenige Auffassung der Kinematik, welche eine absolute Bewegung grundsätzlich nicht anerkennt. Ich möchte aber ausdrücklich bemerken, daß derselbe nicht mit dem Einsteinschen Relativitätsprinzip zu identifizieren ist. Dieses lehne ich vielmehr auf das entschiedenste ab: es durchbricht unberechtigter Weise die Grenzscheide zwischen apriorischer und empirischer Erkenntnis. Ich will nun versuchen, die wesentlichen Züge des kinematischen Relativismus in zwei Grundsätzen mit angefügten Erläuterungen zum Ausdruck zu bringen, ohne den Anspruch zu erheben, allen Anforderungen an Systematik und Vollständigkeit zu genügen.

15. I. Grundsatz (*Relationsprinzip*): *Jede Bewegung involviert als solche ein als ruhend gesetztes Bezugssystem.*

Erläuterung: Wäre nur ein einziger, starrer Körper im Raum, sonst aber nichts, so könnte von einer Bewegung desselben nicht die Rede sein, nicht von einer Translation, auch nicht von einer Rotation [3]). In der Anschauung jeglicher Bewegung ist die Existenz eines als ruhend gesetzten Bezugssystems stets, wenn auch vielleicht nur verworren, mitgedacht. Der Glaube, eine absolute Bewegung anschauen zu können, entspringt immer daraus, daß man sich des Bezugssystems nur nicht inne wird. Dieses kann im übrigen in verschiedener Weise gedacht sein, z. B. als starrer Körper oder als ein irgendwie zu starren Körpern orientiertes Achsensystem.

Die Beziehung auf ein Bezugssystem $\mathfrak{A}$ werden wir im folgenden häufig durch die kurze Bezeichnung „rel $\mathfrak{A}$" wiedergeben. Bezugssysteme, die gegeneinander ruhen, betrachten wir i. allg. als identisch.

16. Wir werden im weiteren Verlauf unserer Betrachtungen von drei verschiedenen Bezugssystemen Gebrauch machen. Das erste ist das mit der Erde fest verbundene System $\mathfrak{E}$. Das zweite [4]), das System $\mathfrak{S}$, ist mit hinreichender Genauigkeit dadurch gekennzeichnet, daß in ihm der Schwerpunkt des Sonnensystems und die wahren Orte (vgl. No. 3) hinreichend weit entfernter Fixsterne ruhen. Es ist das System, in welchem die Planeten ihre Ellipsen beschreiben. Schließlich bestimmen wir ein drittes System, das wir $\mathfrak{H}$ nennen, dadurch, daß in ihm der Erdmittelpunkt und die wahren Orte hinreichend weit entfernter Sterne ruhen. Es darf für unsere Zwecke mit dem bekannten Äquatorialsystem identifiziert werden; es nimmt an der translatierenden, nicht aber der rotierenden Bewegung von $\mathfrak{E}$ rel $\mathfrak{S}$ teil.

---

[1]) Die durch das Einsteinsche Relativitätsprinzip erfolgende Aufhebung kinematischer Sätze beruht letzten Grundes, wie ich glaube, auf Begriffsverwechselungen, ebenso wie die positivistische Auffassung der nicht-euklidischen Geometrieen.

[2]) Zu den modernen Forschern, welche die angegebene Scheidung sorglich beachten, gehört H. Hertz. Vgl. Hertz, Mechanik S. 53.

[3]) Die Schwierigkeiten, denen die Leugnung der absoluten Rotation begegnet, liegen auf physikalischem, nicht auf kinematischem Gebiet (Neumanns Paradoxon des durch Rotation sich abplattenden Körpers!) und lassen sich leichter, als man denkt, beseitigen.

[4]) In diesen Definitionen der Systeme $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{S}$ sowie überhaupt in den Untersuchungen dieses und des folgenden Kapitels lassen wir ohne weitere Prüfung den Unterschied vom wahren und scheinbaren Ort in dem Maße gelten, wie ihn die heliozentrische Betrachtung des I. Kap. feststellte und die heutige Astronomie anerkennt. Inwieweit das berechtigt ist, ergibt sich erst im IV. Kapitel.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Steht uns nun das Recht zu, irgendeine in der Natur stattfindende Bewegung nach Belieben auf eines dieser Systeme zu beziehen? Darauf gibt uns der folgende Grundsatz eine Antwort.

17. II. Grundsatz (*Wahlprinzip*): *In der Form der Kinematik ist nichts enthalten, was eine notwendige Einschränkung in der freien Wahl des Bezugssystems erfordern könnte.*

Erläuterung: Das Wahlprinzip soll besagen, daß die Wahl des Bezugssystems niemals fehlerhaft sein kann, solange allein die Forderung besteht, eine in der Natur stattfindende Bewegung überhaupt nur irgendwie darzustellen. Man ist z. B. berechtigt, die Bewegung der Planeten auf das System ♄ zu beziehen. Erst durch die neue Forderung, daß die Darstellung einer Bewegung gewisse nicht der allgemeinen Form der Bewegung überhaupt angehörende Bedingungen erfüllen soll, können gewisse Bezugssysteme als unberechtigt ausgeschaltet werden. Wenn die Planetenbewegungen nicht nur überhaupt irgendwie dargestellt, sondern so dargestellt werden sollen, daß für sie bestimmte physikalische oder auch kinematische Forderungen, z. B. die Keplerschen Gesetze, erfüllt sind, erst dann kann damit eine Beschränkung in der Wahl des Bezugssystems verbunden sein.

Nun pflegt man doch zu sagen, daß die Bewegung der Planeten rel ♄ nur scheinbar sei, und daß ihre Bewegung rel ☉ die wirkliche sei. In der Regel will man damit ausdrücken, daß die Beziehung der Planetenbewegung auf das System ♄ an sich falsch sei. „Scheinbar“ bedeutet dann so viel wie „kinematisch falsch bezogen“. Das Wahlprinzip aber lehrt, daß man, sofern nicht Bedingungen besonderer Art vorgegeben sind, eine Bewegung überhaupt nicht falsch beziehen kann, und hebt damit den Begriff der Scheinbarkeit im genannten Sinne auf.

Wie kommt man nun eigentlich überhaupt dazu, gewisse Bewegungen als scheinbar, d. h. falsch bezogen, anzusehen, z. B. die Bewegung der Erde gegen den fallenden Stein? Man meint: Es ist doch naturwidrig, physikalisch unmöglich, daß der kleine Stein die große Erde in Bewegung setze, und daher kann sich die Erde nicht gegen den Stein bewegen! In einer solchen Auffassung wird aber der Bewegungsvorgang nicht rein als solcher genommen; es mischen sich vielmehr dunkle physikalische oder metaphysische, nicht zum Bewußtsein kommende Erkenntniselemente ein, in dem behandelten Beispiel etwa Gedanken der Art, daß das Wirkende, die Erde, als ruhend, das Leidende, der Stein, aber als bewegt angesehen werden müsse. Es soll nicht geleugnet werden, daß derartige Gedanken einen Wahrheitskern besitzen; nur in die Kinematik gehören sie nicht hinein. Wir können allgemein behaupten: Der gekennzeichnete Scheinbegriff der scheinbaren, d. h. falsch bezogenen Bewegung entspringt stets daraus, daß die Bewegung nicht rein als solche genommen wird, das erkennende Subjekt aber dennoch glaubt, daß es sich im wesentlichen nur um einen Bewegungsvorgang handle.

Wir aber behaupten auf Grund des Wahlprinzips, daß die Aussage, die Erde bewege sich wirklich gegen den Stein, kinematisch berechtigt ist; ja sie ist von gleicher Berechtigung, sogar von gleicher Bedeutung wie die Behauptung, daß der Stein zur Erde falle. Denn wenn die Fallbewegung des Steines tatsächlich stattfindet, so auch die Bewegung der Erde gegen den als ruhend gesetzten und als Bezugssystem genommenen Stein. Die beiden Aussagen „der Stein fällt zur Erde“ und „die Erde bewegt sich gegen den Stein“ drücken also gar nicht verschiedene kinematische Vorgänge aus, sondern denselben, das eine Mal auf das System „Erde“, das andre Mal auf das System „Stein“

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

bezogenen Bewegungsvorgang. Sie sind daher auch nicht kontradiktorisch entgegengesetzt; ist die eine wahr, so auch die andere[1]), und es hat kinematisch keinen Sinn, nur die eine dieser Bewegungen als wirklich, die andere aber als scheinbar zu bezeichnen.

18. Obwohl wir also den Begriff „scheinbar" in dem Sinne von „kinematisch falsch bezogen" aus der Kinematik verbannen, haben wir gleichwohl im I. Kap. von scheinbaren Bewegungen gesprochen und werden es auch weiterhin tun. Unter einer scheinbaren Bewegung rel $\mathfrak{A}$ verstehen wir eine Bewegung, welche in Wirklichkeit rel $\mathfrak{A}$ nicht so stattfindet, wie es der Augenschein lehrt. Die Aberrationsellipsen rel $\mathfrak{H}$ sind Scheinbewegungen der Gestirne rel $\mathfrak{H}$; nur der scheinbare Ort führt sie ja rel $\mathfrak{H}$ aus[2]).

19. Der Wahrheit der von uns in diesem Abschnitt angestellten kinematischen Erwägungen wird sich jeder unmittelbar bewußt, der sich mit hinreichender Intensität in die Reflexion über Bewegungsvorgänge vertieft. Dieselben geben also keine Erfahrungstatsachen, sie sind apriorischer Natur, sie gehören aber nicht zur eigentlichen Kinematik, sondern zur Form der Kinematik.

b) Die mechanischen Beweise für die Erdrotation.

20. Man spricht von mechanischen Beweisen für die Erdrotation. Dazu rechnet man den Foucaultschen Pendelversuch, die Lotabweichung des frei fallenden Körpers, die Abplattung der Erde usw. Fragt man, was denn nun eigentlich solcherlei Tatsachen „beweisen", so wird man in den meisten Fällen die Antwort erhalten: Sie beweisen, daß die tägliche Bewegung des Fixsternhimmels nur scheinbar ist, daß in Wahrheit nicht die Erde ruhe und das Sternsystem rotiere, sondern eben die Erde rotiere und das Sternsystem ruhe.

Wir aber müssen auf Grund unserer kinematischen Erwägungen entgegnen: Die Behauptung, daß die Erde gegen den ruhenden Himmel rotiere, sagt genau dasselbe wie die Behauptung, daß der Himmel gegen die ruhende Erde rotiere, und ist ihr nicht entgegengesetzt[3]). Es ist daher ein widerspruchsvolles Beginnen, mit der Wahrheit der einen gleichzeitig die Unwahrheit der anderen beweisen zu wollen (vgl. No. 17). Als „scheinbar" würden wir, um mit diesem Wort einen Sinn zu verbinden (No. 18), die beobachtete Rotation des Himmels zu bezeichnen haben, wenn nur die scheinbaren Orte der Gestirne rel $\mathfrak{E}$ rotieren würden, die wahren aber überhaupt nicht oder doch nicht in gleicher Weise. Daß nun in diesem Sinne die tägliche Rotation des Himmels gegen die Erde durch die sogenannten mechanischen Rotationsbeweise als bloß scheinbar erwiesen werde, kann man wohl nicht behaupten. Dann wäre damit ja zugleich erwiesen, daß auch die Erde gegen die wahren Gestirnsorte nicht in derselben Weise rotiere wie gegen die scheinbaren, daß also auch die beobachtete Rotation der Erde gegen das Fixsternsystem scheinbar sei.

Worin aber besteht denn nun die Bedeutung derjenigen Tatsachen, die als Beweise für die Erdrotation angesprochen werden? Beweisen sie denn überhaupt in irgendeinem Sinne eine Rotation der Erde?

---

[1]) Westin a. a. O. S. 11: Bewegungspaare.

[2]) Westin hat denselben Begriff der scheinbaren Bewegung. Er gibt noch andre, treffende Beispiele für dieselbe; a. a. O. S. 18, 19.

[3]) Vgl. Westin a. a. O. S. 21.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

21. Um diese Fragen zu beantworten, betrachten wir etwa den Foucaultschen Pendelversuch. Will man ihn theoretisch begründen, so geht man von dem mechanischen Gesetz „Kraft = Masse × Beschleunigung“ aus, das wir als das mechanische Grundgesetz bezeichnen wollen, weil es die Grundlage für die Ableitung aller mechanischen Bewegungsvorgänge bildet. Die „Kraft“ ist hier ein Vektor, der in bestimmter Weise nur von den Massen und Entfernungen der aufeinander wirkenden Körper abhängt und daher beim Übergang von einem Bezugssystem auf ein anderes sich nicht ändert. Die „Beschleunigung“ aber ist ein Vektor, der vom Bewegungszustand des angezogenen Körpers und daher von der Wahl des Bezugssystems abhängt. Das Grundgesetz kann daher nicht allgemein für jedes Bezugssystem gelten[1]). Dies berechtigt uns zu der

Definition: *Ein mechanisches Grundsystem ist ein Bezugssystem, für welches das mechanische Grundgesetz gilt.*

Bemerkenswert ist, daß dasselbe nicht durch sein kinematisches Verhältnis zur Erde oder anderen Körpern, sondern durch eine mechanische, also physikalische Bestimmung definitorisch festgelegt ist. Es ist aber nicht eindeutig bestimmt. Gilt das Grundgesetz nämlich für ein Bezugssystem, so auch für alle diejenigen und nur diejenigen, welche gegen dasselbe geradlinig gleichförmig translatieren.

Der Foucaultsche Pendelversuch lehrt nun, daß $\mathfrak{E}$ nicht mechanisches Grundsystem ist. Denn leitet man aus dem auf $\mathfrak{E}$ bezogenen Grundgesetz die Bewegung eines ebenen Fadenpendels ab, so ergibt sich Invarianz der Schwingungsebene rel $\mathfrak{E}$. Daß eine solche aber rel $\mathfrak{E}$ nicht vorhanden ist, darin besteht gerade der Kern des Foucaultschen Versuches. Nun aber findet derselbe seine Erklärung dadurch, daß man $\mathfrak{H}$ als Grundsystem betrachtet. Das lehrt die theoretische Ableitung des Versuches. Man verfährt hierbei so, daß man zunächst die Gültigkeit der im Grundgesetz enthaltenen Bewegungsgleichungen für $\mathfrak{H}$ annimmt, diese Gleichungen von $\mathfrak{H}$ auf das rel $\mathfrak{E}$ ruhende Beobachtersystem transformiert und die Zusammenhangsbedingung der Pendelvorrichtung durch Einführung einer entsprechenden Zwangskraft berücksichtigt. Dann ergibt sich in der Tat die rel $\mathfrak{E}$ beobachtete Drehung der Schwingungsebene.

22. Diese Erwägungen führen uns zu der folgenden

Definition: *Unter einem mechanischen Beweis für die Erdrotation verstehen wir eine mechanische Erscheinung, welche beweist, daß $\mathfrak{E}$ nicht mechanisches Grundsystem sein kann, welche aber ihre Erklärung unter der Annahme findet, daß es ein mechanisches Grundsystem gibt und $\mathfrak{H}$ gegen dasselbe höchstens translatorisch sich bewegt.*

In diesem Sinne sind nun allerdings alle die Erscheinungen, die man als Erdrotationsbeweise zu bezeichnen pflegt, Hinweise auf eine wirkliche Rotation der Erde, nämlich auf ihre tägliche Rotation gegen ein mechanisches Grundsystem. Ihre Bedeutung freilich scheint mir hiermit auch nicht annähernd erschöpft, was ich hier aber nicht weiter ausführen kann. Soviel aber sehen wir, daß dieselbe nicht einfach, wie der Name „Rotationsbeweis“ glauben macht, darin besteht, in rein kinematischem Sinne das Bewegungsverhältnis zwischen Erde und Fixsternhimmel als rotatorisch zu kennzeichnen; sie liegt nicht auf dem Gebiet der Kinematik, sondern wegen des mechanischen Charakters des Grundsystems

---

[1]) Diese Erkenntnis ist nicht neu. Vgl. z. B. Westin a. a. O., S. 38 ff; Laue, das Relativitätsprinzip (Braunschweig 1911) S. 1 ff.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

auf dem der Mechanik. Gäbe es ein denkendes Subjekt, das zwar vollendete kinematische Anschauung, aber keinerlei mechanische Begriffe besitzt, so könnte dasselbe nimmermehr das wahre Wesen dieser Rotationsbeweise erfassen.

23. Daß übrigens ♄ selbst nicht Grundsystem sein kann, lehrt die Planetenbewegung. Dieselbe wird aus dem Grundgesetz abgeleitet, indem das gegen ♄ translatierende System ☉ (No. 16) als Grundsystem genommen wird.

III. Die Lösung des Paradoxons der Ortsabweichung.

a) Der wahre Charakter des Paradoxons.

24. Wir kehren zu den optischen Untersuchungen des I. Kapitels zurück und wollen unser Augenmerk zunächst lediglich auf die paradoxe Tatsache richten, daß wir in beiden Betrachtungen (Ia, Ib) für die eindeutig definierte Ortsabweichung γ (No. 3) eines Gestirns, welche für einen Beobachter auf der Erde zu einer Zeit t besteht, verschiedene Werte erhielten (No. 12). Die Behauptung, daß die Beziehung der Gestirnsbewegungen auf die ruhende Erde kinematisch falsch (No. 9, 13) und aus diesem Grunde die erste Untersuchung von vornherein zu verwerfen sei, kann nach den Ergebnissen des II. Kapitels als Versuch einer Lösung des genannten Paradoxons nicht mehr in Frage kommen. Da also der geozentrische Standpunkt kinematisch nicht falsch ist, doch aber zu ungereimten Resultaten führt, so kann der Grund für das Eintreten des Paradoxons nur in gewissen Annahmen zu suchen sein, die der geozentrischen Betrachtung des Problems zu Grunde gelegt wurden, ohne doch für dieselbe in Wirklichkeit zutreffend zu sein. Die einzigen Annahmen aber, die hier in Betracht kommen könnten, sind diejenigen, welche sich auf das Verhalten des Lichts beziehen.

25. Nun haben wir von optischen Tatsachen nichts weiter vorausgesetzt als höchstens die geradlinige, mit einer gewissen endlichen Geschwindigkeit nach allen Richtungen vor sich gehende Ausbreitung des Lichts. Der Charakter dieser Voraussetzung, mag sie nun so ohne weiteren Zusatz berechtigt sein oder nicht, zeigt uns jedenfalls, daß das Paradoxon der Ortsabweichung eigentlich gar nicht optischer, sondern kinematischer Natur ist. Denn überall, wo man von dem Licht nur die angegebene Art seiner Fortpflanzung berücksichtigt, ist man berechtigt, die optischen Vorgänge durch ein kinematisches Bild, das Bild einer Emission, zu ersetzen. Unmittelbar in der Tatsache nämlich, daß das Licht sich nach allen Richtungen vom Entsendungspunkt aus geradlinig ausbreitet, d. h. durch eine hinreichend enge, gekrümmte Röhre nicht hindurchgehen kann, und daß es zum Durchlaufen einer geraden Röhre einer gewissen Zeit benötigt, liegt die Bestimmung enthalten, daß die Lichtaussendung so vor sich geht, als würden von dem leuchtenden Körper in jedem unendlich kleinen Zeitintervall nach allen Richtungen materielle Punkte, die Lichtimpulse, ausgestoßen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit geradlinig vom Ausgangspunkt entfernen. Eine Reihe aufeinanderfolgender, dieselbe Bahn beschreibender Punkte bilden einen Lichtstrahl.

Diese Auffassung ist nichts weiter als ein Gleichnis oder ein Bild, dessen Verwendung innerhalb des gekennzeichneten engen Teilbereichs der Optik durchaus einwandfrei und gerade so berechtigt ist wie das Verfahren, für die Kraft das Bild einer gerichteten Strecke zu benutzen. Bedenken entstehen erst, wenn das Gleichnis, wie das

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

die eigentliche Emissionstheorie tut, für Wirklichkeit genommen und seine Verwendung über das ihm angemessene Gebiet hinaus ausgedehnt wird.

26. Die Berechtigung des Emissionsbildes für unsere Untersuchung lehrt zweierlei.

Erstens: Der eigentliche Grund für das Paradoxon der Ortsabweichung kann gar nicht optischer, sondern muß kinematischer Natur sein.

Zweitens: Die Darstellung dieses Paradoxons muß sich des optischen Gewandes gänzlich entkleiden und in rein kinematischer Form geben lassen.

Eine solche kinematische Darstellung lassen wir jetzt folgen. Wir wählen die Verhältnisse möglichst einfach, doch so, daß das Paradoxon eine deutliche Ausprägung erhält.

27. Von dem Anfangspunkt G eines ebenen Cartesischen Bezugssystems $\mathfrak{G}$, dessen laufende Koordinaten ξ, η seien (Fig. 2), mögen Impulse nach allen Richtungen in ununterbrochener Folge so ausgeschleudert werden, daß sie sich rel $\mathfrak{G}$ geradlinig mit der gleichen, konstanten Geschwindigkeit c fortbewegen. Der Anfangspunkt B eines zweiten, in derselben Ebene wie $\mathfrak{G}$ befindlichen Bezugssystems $\mathfrak{B}$ mit den laufenden Koordinaten x, y sei rel $\mathfrak{G}$ dauernd in Ruhe und liege in einem Punkte der negativen ξ-Achse. Das System $\mathfrak{B}$ aber drehe sich rel $\mathfrak{G}$ um B im umgekehrten Uhrzeigersinn mit konstanter Winkelgeschwindigkeit ω. Der Beobachter der Impulse befinde sich auf dem System $\mathfrak{B}$ im Punkte B. Annähernd sind diese Verhältnisse in optischem Sinne realisiert, wenn ein am Nordpol befindlicher Beobachter ein am Horizont befindliches Gestirn G betrachtet.

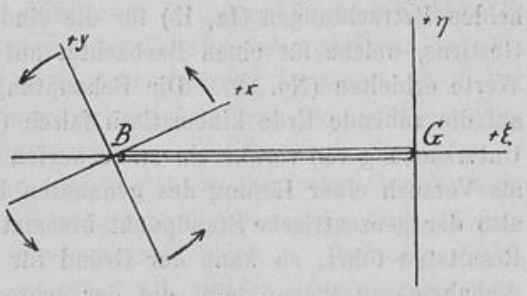

Fig. 2.

28. Wie steht es nun hier mit dem Paradoxon?

α) Betrachten wir $\mathfrak{G}$ als ruhend („heliozentrischer" Standpunkt), so ist klar, daß alle in der Richtung GB entsandten Impulse und nur diese den Beobachter in B treffen. Wenn derselbe sie durch eine gerade dünne Röhre auffängt, indem er dieselbe beständig nach G richtet, also gegen seinen eigenen Standpunkt dreht, so fällt in jedem Beobachtungsmoment die Röhrenrichtung, oder was dasselbe ist, die Richtung, aus der die Impulse eintreffen, mit der Richtung zusammen, in welcher der Impulssender zur Beobachtungszeit wirklich steht. Eine „Ortsabweichung" findet nicht statt, wie auch die Formel (6) für den hier vorliegenden Fall $q = o$ lehrt.

Dasselbe Resultat ergibt sich aus der einfachen Bemerkung, daß der Beobachter sich ja eigentlich gar nicht im System $\mathfrak{B}$ befindet, sondern in dem ruhenden System $\mathfrak{G}$, da Auge und Röhre beständig gegen G gerichtet sind und somit durch ihre Drehbewegung rel $\mathfrak{B}$ die Bewegung von $\mathfrak{B}$ rel $\mathfrak{G}$ aufheben.

β) Doch nun der „geozentrische" Standpunkt!

Ein mich treffender von G entsandter Impuls L — so reflektiert der Beobachter, indem er $\mathfrak{B}$ als ruhend betrachtet — kommt aus derjenigen Richtung rel $\mathfrak{B}$, in welcher $\mathfrak{G}$ zur Zeit der Entsendung von L stand. Da aber $\mathfrak{G}$ inzwischen am „Horizont" rel $\mathfrak{B}$ weiter gewandert ist, so ergibt sich eine Abweichung zwischen der Richtung, aus der L eintrifft, und der Richtung, in der G zur Zeit des Eintreffens von L wirklich steht.

Das Paradoxon der Ortsabweichung steht jetzt in seiner wahren Gestalt, von jedem überflüssigen Beiwerk befreit, vor uns und ist dadurch der Lösung sehr nahe gebracht.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

b) Lösung des Paradoxons.

29. In der letzten, „geozentrischen“ Reflexion muß ein Fehlschluß stecken. In der Tat wird die Behauptung, daß der Impuls L aus derjenigen Richtung rel $\mathfrak{B}$ kommt, in welcher G zur Zeit der Entsendung von L stand, bedenklich erscheinen. Daß sie jedenfalls nicht uneingeschränkte Gültigkeit besitzt, darauf deutet ein Beispiel aus der Optik, nämlich die Fixsternaberration hin. Denn der Lichtstrahl weist stets nach einem Randpunkt der Aberrationsellipse, während der wahre Ort des Gestirns, sofern dieses keine Eigenbewegung besitzt, dauernd, also auch zur Entsendungszeit, im Innern der Ellipse angenommen wird. Doch „Aberration“ ist ja für den vorliegenden einfachen Fall nicht vorhanden, da B rel $\mathfrak{G}$ ruht.

Ein einfaches kinematisches Beispiel aber belehrt uns, daß die erwähnte Behauptung auch dann nicht allgemeine Gültigkeit besitzt, wenn der den Impuls empfangende Ort gegen den aussendenden ruht. Die Richtung nämlich, aus der ein Geschoß eintrifft, würde doch nur dann mit der Richtung übereinstimmen, in der sein Ausgangspunkt liegt, wenn es in gerader Flugbahn zu uns käme.

Aber haben wir denn nicht die Geradlinigkeit der Impulsbahn vorausgesetzt? Darauf müssen wir erwidern: Angenommen haben wir, daß der Impuls sich rel $\mathfrak{G}$ geradlinig bewegt; aber gerade deshalb muß er rel $\mathfrak{B}$ eine krumme Bahn beschreiben! Der Beweis hierfür ist sehr einfach: Wir denken uns eine von G nach B gelegte gerade, starre Röhre von unendlich kleinem Querschnitt, die „Lichtröhre“ (Fig. 2). Jeder den Beobachter in B treffende Impuls durchläuft dieselbe nach unserer Annahme mit einer konstanten Geschwindigkeit c rel $\mathfrak{G}$. Gegen das System $\mathfrak{B}$ dreht sich die Röhre mit der Winkelgeschwindigkeit ω um B im Uhrzeigersinn. Der sie durchlaufende Impuls beschreibt also rel $\mathfrak{B}$ dieselbe Bahn wie ein Punkt, der sich auf einer gleichmäßig rotierenden Geraden mit einer auf sie bezogenen konstanten Geschwindigkeit bewegt, d. i. eine archimedische Spirale. Der Impuls kommt also gar nicht aus derjenigen Richtung rel $\mathfrak{B}$, in welcher der Ausgangspunkt G zur Entsendungszeit stand, weil er rel $\mathfrak{B}$ sich krummlinig bewegt.

Daß mit der Einsicht in die Krummlinigkeit der Impulsbahn rel $\mathfrak{B}$ der für die Entstehung des Paradoxons entscheidende Punkt getroffen ist, soll die folgende Überlegung bestätigen, indem sie nachweist, daß bei Berücksichtigung dieser Erkenntnis der Widerspruch sich löst.

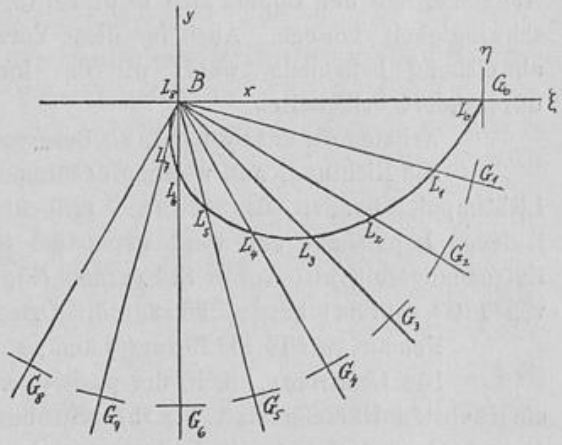

Fig. 3.

30. Der Impuls L durchläuft, wie gesagt, rel $\mathfrak{B}$ ein Stück einer archimedischen Spirale. Eine solche Bahn ist in Fig. 3 dargestellt für den Fall, daß G 8 „Lichtstunden“ von B entfernt ist und sich in 24 Std. rel $\mathfrak{B}$ um B im Kreise bewegt. Hierbei bedeutet G_0 die Lage des Impulssenders G rel $\mathfrak{B}$ im Entsendungsmoment T; $G_1, G_2, \ldots, G_8$ sind die Lagen von G rel $\mathfrak{B}$ nach 1, 2, . . ., 8 Std. L_0 ist die Lage des Impulses L rel $\mathfrak{B}$ zur Entsendungszeit, $L_1, L_2, \ldots, L_8$ die Lagen von L nach 1, 2, . . ., 8 Std.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Zu irgendeinem Zeitpunkte $T+\tau$ zwischen dem Entsendungs- und Beobachtungsmoment trifft die „Lichtröhre“ BL_τ den Punkt G_τ. Im Beobachtungsmoment aber geht die Spiralensekante BL_τ in die Tangente über, welche an die Spirale in B gezogen wird. Folglich liegt G im Beobachtungsmoment auf dieser Tangente. Die Richtung also, aus welcher der Impuls L in B rel $\mathfrak{B}$ eintrifft, weist nach demjenigen Ort rel $\mathfrak{B}$, welchen der Impulssender zu gleicher Zeit einnimmt. Wir sehen, daß bei der Betrachtung des kinematischen Vorgangs vom System $\mathfrak{B}$ aus sich ebenso wenig eine Ortsabweichung ergibt wie bei der Betrachtung desselben Vorgangs vom System $\mathfrak{G}$ aus (vgl. 28 *a* und Fig. 2). Das Paradoxon der Ortsabweichung ist völlig verschwunden.

31. Nun haben wir in dem behandelten Falle angenommen, daß der Impuls sich rel $\mathfrak{G}$ mit gleichmäßiger Geschwindigkeit geradlinig bewege. Sofern es sich nur um gedachte kinematische Verhältnisse handelt, haben wir natürlich ebenso das Recht zu der

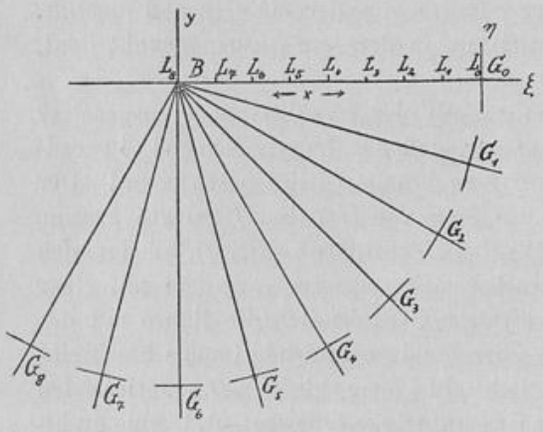

Fig. 4.

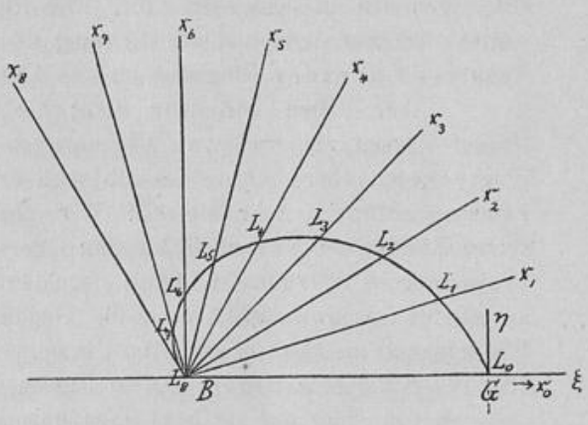

Fig. 5.

Annahme, daß der Impuls sich nicht rel $\mathfrak{G}$, sondern rel $\mathfrak{B}$ geradlinig mit konstanter Geschwindigkeit bewege. Auch für diese Voraussetzung wollen wir das Problem der Ortsabweichung behandeln, wobei wir das kinematische Verhältnis der Systeme $\mathfrak{B}$ und $\mathfrak{G}$ unverändert beibehalten.

Nehmen wir das System $\mathfrak{B}$ als Bezugssystem, so müssen wir folgendermaßen schließen:

Die Richtung, aus welcher der Impuls eintrifft, oder in welcher, falls es sich um Lichtimpulse handelt, das Gestirn G erblickt wird, ist Tangente in B an der rel $\mathfrak{B}$ durchlaufenen Impulsbahn und weist wegen der Geradlinigkeit dieser Bahn dorthin, wo G zur Entsendungszeit, also vor 8 Std., stand (Fig. 4). Da BG aber inzwischen eine Drehung von 120° vollführt hat, so beträgt die Ortsabweichung 120°.

Nehmen wir $\mathfrak{G}$ als Bezugssystem, so finden wir für denselben Vorgang folgendes:

Die Lichtröhre, d. h. die positive x-Achse des Systems $\mathfrak{B}$, dreht sich um B im umgekehrten Uhrzeigersinn (Fig. 5). Sie besitzt zur Entsendungszeit T die Richtung von B nach G, nach 1 Std. die Richtung x_1 usw. Der Impuls durchläuft sie mit einer rel $\mathfrak{B}$ konstanten Geschwindigkeit; er befindet sich zur Zeit T in dem mit G zusammenfallenden Punkte L_0, nach 1 Std. in L_1 usw. Nach 8 Std. ist er in B angelangt, so daß $L_8 = B$ ist. Er beschreibt rel $\mathfrak{G}$ eine archimedische Spirale. Die an diese Kurve in B gezogene

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Tangente x_8 bildet mit BG einen Winkel von 120°. Im Falle eines Lichtimpulses erblickt der Beobachter das Gestirn in der Richtung x_8, während dasselbe gleichzeitig in G steht. Die Ortsabweichung beträgt wieder 120°.

32. Es ist nun ein Leichtes, mit Hilfe der gewonnenen Einsicht das Paradoxon der Ortsabweichung, das in den Untersuchungen des I. Kapitels zutage trat, völlig aufzuklären. In der ersten Betrachtung über den scheinbaren Stand der Gestirne (I, a) bezogen wir die Bewegung der Gestirne und der Lichtimpulse auf das System $\mathfrak{E}$. In der Annahme, daß der Impuls aus derjenigen Richtung rel $\mathfrak{E}$ kommt, in welcher das Gestirn im Entsendungsmoment stand (No. 4, Satz 1), lag versteckt die Voraussetzung, daß der Impuls sich rel $\mathfrak{E}$ geradlinig fortbewege, daß also die gerade „Lichtröhre" an der Rotation des Gestirns um die Erde nicht teilnehme. Das entspricht dem zweiten kinematischen Fall (No. 31). In der zweiten Betrachtung aber (I, b) bezogen wir die Bewegung der Gestirne und der Lichtimpulse auf das System $\mathfrak{S}$ und nahmen an, daß die Richtung, aus welcher der auf $\mathfrak{S}$ bezogene Strahl l (Fig. 1) eintrifft, auf den wahren Ort des rel $\mathfrak{S}$ ruhenden Gestirns führe, was aber nur zulässig ist, wenn das Licht sich rel $\mathfrak{S}$ geradlinig fortpflanzt. Die Lichtröhre dreht sich dann mit dem Gestirn um die Erde. Das entspricht etwa dem ersten kinematischen Fall (No. 30). Es ist aber kinematisch, also apriori klar, daß derselbe Impuls sich i. allg. nicht gleichzeitig rel $\mathfrak{E}$ und rel $\mathfrak{S}$ geradlinig bewegen kann. Indem wir dies gleichwohl stillschweigends voraussetzten, mußte sich ein widersprechendes Resultat für die Ortsabweichung ergeben.

33. Nun ist, rein kinematisch betrachtet, die Annahme einer geradlinigen, durchweg gleichförmigen Lichtfortpflanzung rel $\mathfrak{E}$ nicht minder berechtigt als die Annahme einer solchen Fortpflanzung rel $\mathfrak{S}$. Somit stehen wir vor den physikalischen Fragen: Bewegt sich das Licht in Wirklichkeit rel $\mathfrak{E}$ oder rel $\mathfrak{S}$ oder vielleicht in Bezug auf ein von $\mathfrak{E}$ und $\mathfrak{S}$ verschiedenes System geradlinig und gleichförmig? Es wäre auch denkbar, daß es überhaupt kein Bezugssystem gibt, in welchem eine derartige Lichtausbreitung stattfindet! Diesen Fragen wollen wir jetzt näher treten.

IV. Ein optisches Analogon zu den mechanischen Erdrotationsbeweisen.

a) Der Begriff eines optischen Beweises für die Erdrotation.

34. In welchem Sinne von einem optischen Beweis für die Erdrotation gesprochen werden kann, geht klar aus den Erörterungen des II. Kapitels hervor. Es muß zunächst ein „optisches Grundsystem" definiert werden (No. 22). Dasselbe muß durch physikalische, und zwar optische Bestimmungen, definitorisch festgelegt werden (vgl. No. 21), nämlich durch die Forderung, daß in ihm gewisse Grundgesetze der Lichtfortpflanzung Geltung besitzen, solche Grundgesetze, die nicht allgemein für jedes Bezugssystem erfüllt sein können. Von selbst bietet sich die folgende

1. Definition: *Optisches Grundsystem ist das Bezugssystem, gegen welches das Licht sich an jeder Stelle des leeren Raumes geradlinig und mit einer für jeden Lichtimpuls gleichen, konstanten Geschwindigkeit fortpflanzt.*

Wenn es überhaupt ein Grundsystem gibt, so kann es doch auf Grund dieser Definition nur ein einziges geben[1]).

[1]) Die Annahme der Relativitätstheorie, daß es unendlich viele gebe, wird von mir aus erkenntnistheoretischen Gründen abgelehnt. Vgl. Anm. 1 S. 11.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

2. Definition: *Ein beliebiges Bezugssystem $\mathfrak{A}$ besitzt innerhalb eines Raumteiles $\mathfrak{R}$ den „Charakter des Grundsystems", wenn innerhalb $\mathfrak{R}$ die Bedingungen der Geradlinigkeit und der für jeden Impuls gleichen, konstanten Geschwindigkeit der Lichtfortpflanzung rel $\mathfrak{A}$ erfüllt sind.*

Das Grundsystem ist identisch mit dem System des „ruhenden Äthers" der modernen Physik. Da indessen die Gefahr vorliegt, daß sich mit dem Wort „Äther" die Vorstellung eines irgendwie materiell gedachten Fluidums verbindet, dessen Annahme keineswegs in dem Begriff des optischen Grundsystems liegt, so vermeide ich i. allg. die Bezeichnung „Äther".

Wir können jetzt im Hinblick auf die mechanische Analogie (No. 22) ohne weiteres den Begriff des optischen Erdrotationsbeweises angeben.

3. Definition: *Unter einem optischen Beweis für die Erdrotation verstehen wir eine optische Erscheinung, welche beweist, daß $\mathfrak{E}$ nicht optisches Grundsystem sein kann, welche aber ihre Erklärung unter der Annahme findet, daß es ein optisches Grundsystem gibt und $\mathfrak{H}$ gegen dasselbe höchstens translatorisch sich bewegt.*

$\mathfrak{H}$ ist hier durchaus nur das System der scheinbaren Himmelskugel[1]).

Daß also das „Äthersystem" in seiner ganzen Ausdehnung, falls es existiert, an der Erdrotation nicht teilnimmt, diese triviale Wahrheit soll erst noch bewiesen werden? So wird man vielleicht zweifelnd fragen. In der Tat setzt die heutige Physik das, was wir einer Prüfung unterziehen wollen, ohne eine solche als selbstverständlich voraus. Gerade deshalb wollen wir, unbekümmert um den Vorwurf der Trivialität, einen optischen Rotationsbeweis zu geben versuchen.

b) Versuch eines solchen Beweises.

35. Die optische Erscheinung, welche den Rotationsbeweis liefern soll, besteht einfach darin, daß der scheinbare Fixsternhimmel eine tägliche Rotation um die Erde ausführt und während einer kurzen Zeit, etwa einer Rotationsdauer, sein Aussehen nicht merkbar ändert. Wir bezeichnen die letztere Tatsache als Konstellationsinvarianz. Es ist erstens nachzuweisen, daß dieser empirische Charakter des scheinbaren Fixsternhimmels mit der Annahme, $\mathfrak{E}$ sei optisches Grundsystem, nicht vereinbar ist, zweitens aber, daß er erklärt werden kann, wenn die Existenz eines optischen Grundsystems vorausgesetzt wird, welches gegen $\mathfrak{H}$ nur translatiert. (No. 34, 3. Def.)

36. 1. Teilbeweis (indirekt geführt).

α) Voraussetzung: Das System $\mathfrak{H}$ des scheinbaren Fixsternhimmels rotiert beständig rel $\mathfrak{E}$ mit gleichmäßiger Winkelgeschwindigkeit ω einmal in der als Sterntag bezeichneten Zeit um eine rel $\mathfrak{E}$ ruhende Achse und besitzt beständige[2]) Konstellationsinvarianz.

β) Behauptung: $\mathfrak{E}$ ist nicht optisches Grundsystem.

γ) Annahme: $\mathfrak{E}$ sei optisches Grundsystem.

δ) Bemerkungen.

δ_1) Die Voraussetzung α) ist idealisiert, indem Parallaxe, Achsenschwankung und alle anderen durch die Realität geforderten Einschränkungen der in ihr enthaltenen Aussagen vernachlässigt werden. Die Berücksichtigung aller dieser Abweichungen würde ohne Bedeutung für das Wesen des Beweises sein und nur störend wirken. Deshalb soll von ihnen gänzlich für alle in Betracht zu ziehenden Zeiträume abgesehen werden. Der Beobachter wird auf der Drehachse der Systeme $\mathfrak{E}$, $\mathfrak{H}$ angenommen.

[1]) Vgl. Anm. 4 S. 11.

[2]) Vgl. die sogleich folgende Bem. δ_1.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

δ_2) Die Annahme γ) involviert die weitere Annahme, daß die Lichtgeschwindigkeit c an jeder Stelle des Weltraumes gerade den Wert von etwa $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$ rel $\mathfrak{E}$ besitzt, der in der Nähe der Erde für den leeren Raum experimentell festgestellt ist[1]).

δ_3) Die von den scheinbaren Orten der Fixsterne als Beobachtungstatsache vorausgesetzte Konstellationsinvarianz darf nicht auf den wahren Fixsternhimmel übertragen werden. Dieser ist der unmittelbaren Erfahrung unerreichbar. Über ihn dürfen keine unbegründeten Voraussetzungen gemacht werden. Indessen soll sein Charakter allein aus α) unter der Annahme γ), soweit das möglich ist, erschlossen werden.

ε) Beweis.

ε_1) Aus der Geradlinigkeit der Lichtfortpflanzung rel $\mathfrak{E}$ folgt, daß der scheinbare Ort eines Gestirns im Beobachtungsmoment in derselben Richtung rel $\mathfrak{E}$ steht, in welcher der wahre Ort im Entsendungsmoment stand. Genau das gleiche Gesetz bildete die Grundlage für die geozentrische Betrachtung des I. Kapitels (No. 4, Satz 1). Dort war nämlich gleichfalls $\mathfrak{E}$ als optisches Grundsystem angenommen. Aber während diese Voraussetzung dort dogmatisch war, d. h. dem erkennenden Subjekt nicht zum Bewußtsein kam, hat sie hier die Form einer bewußten Annahme.

Ferner ergibt sich aus γ) wie im I. Kapitel die Identität des vom wahren Ort im Entsendungsintervall rel $\mathfrak{E}$ an der Himmelskugel zurückgelegten Wegstückes mit dem vom scheinbaren Ort im Beobachtungsintervall zurückgelegten (No. 4, Satz 2). Nimmt man die Voraussetzung α) hinzu, so folgt weiter, daß der wahre Ort dieselbe zeitlich konstante Poldistanz besitzt wie der scheinbare Ort (No. 4, Satz 3). Die etwaigen Konstellationsänderungen in der wahren Fixsternkugel können also höchstens in gegenseitigen Verschiebungen der wahren Stundenkreise bestehen.

ε_2) Die Sätze 4—6 des I. Kapitels (No. 5, 6) lassen sich nicht ohne nochmaligen Beweis auf unsere jetzige Betrachtung übertragen. Denn zu ihrer Ableitung wurde außer der Annahme α) noch stillschweigends die Voraussetzung benutzt, daß der wahre Stundenkreis jedes Fixsterns sich mit der konstanten Winkelgeschwindigkeit $360 \frac{\text{Grad}}{\text{Sterntag}}$ um die Himmelsachse dreht, daß also der wahre Fixsternhimmel Konstellationsinvarianz besitzt. Diese Voraussetzung war wieder dogmatisch, ging aber auch in der Unmittelbarkeit, in der sie auftrat, über die Erfahrung hinaus. Denn unmittelbare Erfahrung, d. h. Beobachtung, kann uns nur über die scheinbare Himmelskugel Aufschluß geben. Jetzt aber setzen wir an die Stelle dieser dogmatischen, die unmittelbare Erfahrung überschreitenden Annahme die bewußte, der Beobachtung entsprechende Voraussetzung α), welche den Charakter des scheinbaren Fixsternhimmels genau in derselben Weise festlegt wie jene Annahme den des wahren Himmels. Auf eine neue Ableitung der Sätze 4—6 des I. Kapitels wollen wir zunächst verzichten.

ε_3) Wir gehen sofort zu den Formeln (3a, 3b)

$$\Omega = \left(1 + \frac{v}{c}\right) \omega \quad (3\text{a}); \quad \omega = \left(1 - \frac{v}{c}\right) \Omega \quad (3\text{b})$$

über. Aus ihrer Ableitung (No. 7) geht hervor, daß sie auch für unsere jetzige Betrachtung gelten. Wir benutzten sie im I. Kapitel dazu, aus der vorausgesetzten Konstellations-

[1]) Der Beweis läßt sich auch führen, wenn man sich nicht von vornherein auf einen bestimmten Wert der Geschwindigkeit festlegt. Nur würden sich dann Komplikationen ergeben, deren Erledigung über den Rahmen dieser Arbeit hinausginge.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

invarianz und konstanten Drehung ($\Omega = 360$) des wahren Fixsternhimmels erfahrungswidrige Konstellationsverschiebungen des scheinbaren Himmels zu folgern. Jetzt wollen wir umgekehrt mit ihrer Hilfe merkwürdige Resultate über den wahren Himmel gewinnen.

Wir wählen als Zeiteinheit wieder einen Sterntag, d. h. die Umdrehungszeit des scheinbaren Himmels, als Winkeleinheit einen Grad. Dann aber dürfen wir nicht wie im I. Kapitel $\Omega = 360$ nehmen, sondern $\omega = 360$ nach Voraussetzung α). Setzen wir $\Delta T = 1$ und verstehen unter $\delta\Omega$ die Größe $\Omega - 360$, so erhalten wir aus (2) und (3a):

$$\Delta\Phi - 360 = \delta\Omega = \frac{v}{c} \cdot 360, \tag{7}$$

worin folgende Aussage enthalten ist:

Je nachdem während des Entsendungstages das Gestirn seinen Abstand von der Erde durchschnittlich beibehielt ($v = 0$) oder vergrößerte ($v > 0$) oder verkleinerte ($v < 0$), vollendete der wahre Stundenkreis während dieses Entsendungstages genau eine Umdrehung um die Himmelsachse ($\Delta\Phi = 360$) oder etwas mehr ($\Delta\Phi > 360$) oder etwas weniger ($\Delta\Phi < 360$) als eine volle Umdrehung (vgl. No. 7, Satz 7).

ε_4) Es möge nun für irgend zwei Fixsterne F und F' das gleiche Entsendungsintervall genommen werden, auf welches die Werte Ω, Φ, v bzw. Ω', Φ', v' sich beziehen[1]). Dann werden i. allg. die zugehörigen Beobachtungsintervalle nicht zusammenfallen, so daß sich ω und ω' nicht auf dieselbe Zeit beziehen. Gleichwohl ist nach α) (vgl. Bem. δ_1 in No. 36) $\omega = \omega' = 360$. Wir erhalten demnach aus (7)

$$\Delta\Phi - \Delta\Phi' = \Omega - \Omega' = 360 \cdot \frac{v - v'}{c}. \tag{8}$$

ε_5) Diese Formel führt zu den seltsamsten Folgerungen[2]). Wir wollen sie zunächst zu dem Nachweis benutzen, daß eine unserem Planetensystem vergleichbare, dem Newtonschen Attraktionsgesetz unterliegende physische Einheit im Fixsternsystem, soweit unsere Beobachtungen reichen, wohl kaum existieren dürfte. F und F' mögen z. B. einen von den Astronomen als „physisch" bezeichneten Doppelstern bilden, dessen Bahnebene in der Äquatorebene liege. Während des Entsendungstages seien F und F' von der Erde gleich weit entfernt und besitze F eine von der Erde fortgerichtete Geschwindigkeit von $30\frac{\text{km}}{\text{sec}}$, F' eine gleich große auf die Erde zugerichtete. Es sind das Geschwindigkeitswerte, wie man sie auf Grund der nach dem Dopplerschen Prinzip vorgenommenen Messungen durchaus annehmen darf. Dann ist in (8) $v = -v' = 30$ zu setzen, falls c ebenfalls auf 1^{sec} bezogen wird. Es folgt aus (8), daß $\Delta\Phi'$ sich von $\Delta\Phi$ um $4{,}32'$ unterscheidet, so daß während des Entsendungstages auch der Abstand der wahren Orte sich um einen Winkel ε von $4{,}32'$ ändert. Dieser Distanzänderung der wahren Orte entspricht aber eine wirkliche lineare Abstandsänderung a der Körper F und F' in der zur Verbindungslinie Erde—Doppelstern senkrechten Richtung der Äquatorebene (Fig. 6). Ist e die Entfernung des Doppelsterns von der Erde, so ist $a = \frac{\pi e \varepsilon}{180}$

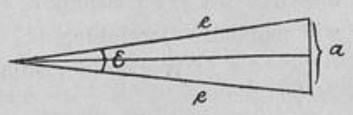

Fig. 6.

[1]) Vgl. zu den folgenden Untersuchungen die entsprechenden Ausführungen in No. 8.

[2]) Es muß im folgenden stets beachtet werden, daß $\delta\Omega$ lediglich diejenige Abweichung der wahren Winkelgeschwindigkeit von 360 bedeutet, welche durch die Abstandsänderung des Gestirns von der Erde bedingt ist. Nicht aber dürfen in $\delta\Omega$ diejenigen Abweichungen von 360 einbezogen werden, welche den reellen Grund für irgendwelche Abweichungen der Größe ω von 360 (Parallaxe und die anderen durch α) ausgeschlossenen Erscheinungen) bilden. Entsprechendes gilt hinsichtlich der Abweichung des Wertes $\Omega - \Omega'$ von Null.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

zu setzen. Nimmt man z. B. für e den Wert von 3 Lichtjahren, so ergibt sich, daß die lineare Entfernung von F und F' sich während einer Sekunde um mehr als 300 000 km ändern muß, daß also die beiden Gestirne, indem sie ihren Abstand von der Erde in entgegengesetztem Sinne ändern, gleichzeitig eine gegenseitige Geschwindigkeit besitzen, die größer als die Lichtgeschwindigkeit ist. Diese Relativgeschwindigkeit liegt senkrecht zur „wahren Sehlinie" und muß unter sonst gleichen Bedingungen um so größer sein, je weiter der Doppelstern von der Erde entfernt ist; denn sie ist proportional zu a, also auch zu e, da ε von der Entfernung Erde—Doppelstern unabhängig ist.

Das durchgeführte Beispiel überzeugt uns von dem folgenden allgemeinen Ergebnis:

Die spektroskopisch oder durch direkte Beobachtung festgestellte physische Zusammengehörigkeit zweier Sterne F und F' kann i. allg. keine solche sein, welche dem Newtonschen Attraktionsgesetz entspricht. Denn in jedem Moment, in welchem F und F' ihren Abstand von der Erde in ungleicher Weise ($v \neq v'$) ändern, erleiden sie i. allg. eine wirkliche Abstandsänderung von so hohem Werte, daß dieselbe mit dem Attraktionsgesetz unvereinbar ist. Solche Doppelsterne, die wirklich diesem Gesetz unterliegen, müßten i. allg. ganz erhebliche tägliche Verschiebungen der scheinbaren Stundenkreise zeigen (vgl. No. 8).

Wir betrachten jetzt eine größere Anzahl optisch naher und nicht weit vom Äquator entfernter Fixsterne $F, F', \ldots$, ohne deren etwaigen mechanischen Zusammenhang zu berücksichtigen. Sie mögen ihren Abstand von der Erde während des gemeinsamen Entsendungsintervalls mit Geschwindigkeiten $v, v' \ldots$ ändern, deren Größe und Richtung den Messungen nach dem Dopplerschen Prinzip entspreche. Dann folgt aus (8), daß gleichzeitige wahre Stundenkreisverschiebungen der Fixsterne in demselben Maße vorhanden sein müssen, wie sie im I. Kapitel (No. 8) für die scheinbaren Stundenkreise abgeleitet wurden. Zu diesen wahren Verschiebungen gehören entsprechende Veränderungen in der gegenseitigen Stellung der Himmelskörper selbst.

Diese wirklichen Lageveränderungen stehen also in einem notwendigen Zusammenhang mit $v, v' \ldots$, d. h. mit der Erde, und werden i. allg. um so erheblicher ausfallen, je größer der Abstand der betrachteten Gestirne von der Erde ist.

Denken wir uns nun einen Beobachter, welcher die gegenseitigen wirklichen Lageveränderungen irgend solcher, innerhalb eines gewissen Raumstücks befindlicher Sterne $F, F', \ldots$ festzustellen vermag. Derselbe wird dann in die merkwürdigen Bewegungen dieser Himmelskörper eine einheitliche Gesetzmäßigkeit nur dadurch bringen können, daß er die Erde in den Kreis seiner Betrachtungen hineinzieht. Umsomehr muß er das tun, je weiter die Gestirne von der Erde entfernt sind. Nichts dürfte daher näher liegen, als in diesem Umstande eine Wirkung der Erde zu sehen, die sich mit zunehmender Entfernung nicht verringert, sondern ins Unermeßliche steigert.

ε_6) Wer dieses Ergebnis unannehmbar findet, muß fordern, daß in jedem Zeitpunkt für irgend zwei Gestirne genau[1]) $\Omega = \Omega'$ ist, daß also der wahre Himmel Konstellationsinvarianz besitzt. Würde nun dieser allen Fixsternen in einem Zeitpunkt T gemeinsame Wert der Winkelgeschwindigkeit von 360 auch nur im geringsten verschieden sein, dann würde, da $\delta\Omega = \delta\Omega'$ ist, aus (7) folgen, daß alle Fixsterne gleichzeitig entweder die gleiche auf die Erde zugerichtete oder die gleiche von der Erde fortgerichtete Geschwindigkeit v besitzen. Eine solche Annahme ist wieder schon an sich seltsam genug, zudem aber darf

[1]) Vgl. Anm. 2. S 22.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

man sie als experimentell widerlegt ansehen, sofern man der Anwendung des Dopplerschen Prinzips zur Messung von Entfernungsänderungen Beweiskraft zuspricht.

ε_7) Schließen wir sie aus und nehmen an, daß für jeden Fixstern beständig $\Omega = 360$ ist, dann stehen wir wieder genau auf dem Boden der geozentrischen Betrachtung des I. Kapitels. Wir dürfen jetzt also auch die Sätze 4—6 (No. 5, 6) ohne weiteres übertragen. Weiter aber hatten wir dort erfahrungswidrige Stundenkreisverschiebungen des scheinbaren Himmels erschlossen (No. 8, Satz 8). Jetzt aber müssen wir, da nach α) genau $\delta\omega = 0$ ist, aus (4) folgern, daß für jedes Gestirn beständig $v = 0$ ist. Daß aber kein Gestirn der Erde sich nähert oder sich von ihr entfernt, insbesondere auch nicht infolge der Revolutionsbewegung der Erde, wird recht merkwürdig anmuten und widerspricht außerdem den nach dem Dopplerschen Prinzip gewonnenen Resultaten.

ε_8) Es bleibt uns, wenn wir auch diese Folgerung vermeiden wollen, nur noch der Ausweg übrig, nicht durchweg $\delta\omega = 0$ zu setzen und somit die Voraussetzung α) in dem Sinne zu modifizieren, daß als Folge der Abstandsänderungen zwischen Erde und Gestirnen scheinbare Rektaszensionsverschiebungen zugelassen werden. Dieselben müssen aber so gering sein, daß sie der Beobachtung mit unseren heutigen Mitteln entgehen können. Wir dürfen also wohl verlangen, daß die zufolge der Abstandsänderung sich täglich einstellende Differenz $\delta\omega$ kleiner als $1''$ ist. Dann aber folgt aus (4): $|v| < 0{,}25 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$. Die Existenz eines so kleinen oberen Grenzwertes ist ebenso zu beurteilen wie die Annahme $v = 0$ (in ε_7).

37. Ich muß es dem Leser überlassen, die in No. 36 ausgeführten Untersuchungen in entsprechender Weise auf unser Planetensystem auszudehnen. Überblicken wir nun die Folgerungen, die wir aus γ) in Verbindung mit α) gezogen haben, so müssen wir gestehen, daß das Resultat in einer Beziehung recht unbefriedigend ist. Es ist uns nämlich nur gelungen, solche Ergebnisse zu erzielen, die man zwar als unwahrscheinlich ansehen wird, zumal sie die heutige Himmelsmechanik zu einer Mechanik der scheinbaren Orte, also zu einer Scheinmechanik herabsetzen. Dagegen sind wir nicht ausschließlich zu apriorischen Unmöglichkeiten oder experimentell widerlegten Resultaten geführt worden, konnten auch nicht dazu geführt werden, weil die Untersuchung zum Schluß immer bei dem wahren Fixsternhimmel anlangt, welcher den exakten Forschungsmethoden nicht genügend erschlossen ist. Indem wir hiermit den 1. Teilbeweis abschließen, müssen wir zugeben, daß die Bezeichnung „Beweis“ im strengen Sinne nicht gerechtfertigt ist; es handelt sich nur um einen „Wahrscheinlichkeitsbeweis“. Einen ähnlichen Mangel an Beweiskraft besitzen übrigens, wie ich bemerken will, auch die außerterrestrischen mechanischen Rotationsbeweise, die man gleichwohl als „Beweise“ bezeichnet.

38. Wenn an Stelle von $\mathfrak{E}$ irgendein anderes mit dem Erdmittelpunkt fest verbundenes und rel $\mathfrak{H}$ rotierendes System $\mathfrak{E}'$ als Grundsystem genommen wird, so ergeben sich, nebenbei bemerkt, ähnliche Verschiebungen der wahren Fixsternorte. Nur wenn die Drehgeschwindigkeit von $\mathfrak{E}'$ rel $\mathfrak{H}$ beständig sehr klein ist, lassen sich die Verschiebungen, ohne mit der Beobachtung in Widerspruch zu geraten, in den scheinbaren Himmel verlegen. Es kommt somit von allen mit dem Erdmittelpunkt fest verbundenen Systemen, wenn überhaupt eines, so eigentlich nur $\mathfrak{H}$ als Grundsystem in Betracht. Damit gelangen wir zum zweiten Teil des Beweises.

39. 2. Teilbeweis.

α) Voraussetzung wie α) in No. 36.

β) Behauptung: Die in α) ausgesprochene Erscheinung findet ihre Erklärung unter der Annahme, daß es ein optisches Grundsystem gibt und $\mathfrak{H}$ gegen dasselbe höchstens translatiert.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

γ) Beweis: Es genügt der Nachweis, daß die in α) ausgesprochene Erscheinung unter der Annahme, ♄ selbst sei Grundsystem, erklärbar wird. ♄ sei also Grundsystem. Der scheinbare Ort eines Fixsterns ist rel ♄ dauernd in Ruhe, wegen der Geradlinigkeit der Lichtfortpflanzung rel ♄ fällt der wahre Ort rel ♄ mit ihm zusammen und ist gleichfalls dauernd in Ruhe. Der wahre Himmel besitzt also Konstellationsinvarianz und nicht jene merkwürdigen Stundenkreisverschiebungen. Er erhält denjenigen „selbstverständlichen" Charakter, der ihm stets von der Astronomie stillschweigends zuerkannt wird, sofern man diejenigen Abweichungen von der Konstellationsinvarianz des scheinbaren Himmels unberücksichtigt läßt, die wir von vornherein von unserer Betrachtung (No. 36 δ_1) ausschlossen. Umgekehrt: es sei die natürliche, wohl niemals ernsthaft bezweifelte und Widersprüche bisher nicht aufweisende Hypothese anerkannt, daß die Erde in einem Sterntage nicht nur gegen den scheinbaren, sondern auch gegen den wahren Himmel einmal rotiert, und daß letzterer Konstellationsinvarianz besitzt. Aus ihr ergibt sich in Verbindung mit der Annahme, daß ♄ optisches Grundsystem sei, der in α) ausgesprochene Charakter des scheinbaren Himmels. Derselbe läßt sich also in einfacher Weise unter der Annahme, daß ♄ Grundsystem sei, erklären.

40. Hiermit können wir unseren Beweis abschließen. Aus ihm geht natürlich keineswegs etwa hervor, daß nun ♄ wirklich optisches Grundsystem ist. Es ist an sich vielmehr recht unwahrscheinlich, daß überhaupt ein mit dem Erdmittelpunkt fest verbundenes System Grundsystem sei. Außerdem spricht die Aberration dagegen. Diese läßt sich ungezwungen erklären, wenn ♋ als Grundsystem geommen wird. Wir haben sie im I. Kapitel (No. 10) unter dieser Voraussetzung in der üblichen Weise abgeleitet. Aber wir dürfen nicht umgekehrt schließen, daß durch die Erscheinung der Aberration ♋ als Grundsystem erwiesen sei. Man überzeugt sich leicht, daß die Aberration für den Erdbewohner genau in derselben Weise eintreten muß, wenn ♋ nur innerhalb eines Raumes, der die Erdbahn umschließt, den Charakter des Grundsystems (vgl. No. 34, Def. 2) besitzt. Nur weist dann die Richtung BA (Fig. 1), aus welcher rel ♋ der Strahl am Beobachterort eintrifft, i. allg. nicht nach dem wahren Ort, den das Gestirn rel ♋ zur Entsendungszeit einnahm; denn der Strahl wird i. allg. die gerade Richtung rel ♋ außerhalb des Raumes, in welchem ♋ Grundsystemscharakter besitzt, nicht beibehalten. Es ist also keineswegs sicher, das eine Abweichung zwischen dem scheinbaren Ort rel ♄ im Beobachtungsmoment und dem wahren Ort im Entsendungsmoment durch die Aberration allein (vgl. No. 11), wie man gewöhnlich meint, herbeigeführt werden kann. Dazu kommt nämlich möglicherweise eine in der Krümmung des Lichtstrahls rel ♋ begründete Abweichung.

Wir ersehen aus dieser Überlegung, daß wir unserer heliozentrischen Untersuchung (I, b) über den scheinbaren Stand der Gestirne nicht minder als der geozentrischen (I, a) den Vorwurf der dogmatisch-befangenen Denkweise ersparen zu können.

Nun ist es an sich schon unwahrscheinlich, daß ♋ den Grundsystemscharakter für den ganzen Raum beibehält. Dasselbe Recht kann ja jedes andere Planetensystem beanspruchen. Wenn aber ♋ den Grundsystemscharakter nur in einem beschränkten Raume besitzt, so ist es nicht ausgeschlossen, daß der experimentell gefundene Lichtgeschwindigkeitswert c keine universelle, sondern nur eine Konstante unseres Sonnensystems ist. Jedenfalls steht fest, daß wir über die Lichtfortpflanzung außerhalb des Sonnensystems zurzeit so gut wie garnichts wissen. Insbesondere gibt es keine einzige Tatsache, welche die Annahme eines universellen Grundsystems, also auch einer universellen Konstanten c erfordert.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

V Das Verhalten des Lichtstrahls an der Erdoberfläche.

a) Das Mitführungsproblem.

41. Es erscheint nach den Betrachtungen des vorhergehenden Kapitels auf den ersten Blick naheliegend, daß $\mathfrak{S}$ innerhalb des Planetensystems P mit Ausschluß der von Materie erfüllten Stellen ohne Einschränkung den Charakter des optischen Grundsystems besitzt. Trifft dies tatsächlich zu, so muß sich i. allg. jeder Lichtstrahl an jeder Stelle von P, insbesondere auch an der Erdoberfläche[1]), rel $\mathfrak{E}$ krummlinig mit variabler Geschwindigkeit bewegen, wie das für einen einfachen idealisierten Fall in Fig. 3 dargestellt ist.

Es scheint aber nicht unmöglich, daß $\mathfrak{S}$ den Charakter des Grundsystems in der Nähe eines Planeten aufgibt, daß jeder Planet, etwa zufolge eines unbekannten elektromagnetischen Einflusses, gleichsam die Tendenz besitzt, in seiner Umgebung den Grundsystemscharakter an sich zu reißen. Es wäre denkbar, daß diese Tendenz einem Lichtstrahl gegenüber nur teilweise zur Verwirklichung gelangt, ebenso aber auch, daß sie innerhalb der nächsten Umgebung des Planeten so gut wie völlig sich durchsetzt. Man pflegt sie, sofern sie ganz oder teilweise verwirklicht ist, bildlich als „Mitführung des Äthers" zu bezeichnen.

Es ist möglich, daß die Mitführungstendenz der Erde sich nur solchem Licht gegenüber äußert, das aus irdischen Lichtquellen stammt, aus Quellen also, die an der Erdbewegung teilnehmen, daß dagegen Licht von außerirdischen Quellen in seiner Bewegung rel $\mathfrak{S}$ von der Erdbewegung nicht beeinflußt wird. Allgemein gesprochen: Man muß zunächst mit der Annahme rechnen, daß das Maß der Mitführung für das Licht irdischer und außerirdischer Lichtquellen nicht das gleiche ist. Dies ist ein Punkt, der, soweit mir bekannt, bisher nicht beachtet wurde. Ferner pflegt man zwischen translatorischer und rotatorischer Mitführung zu unterscheiden, je nachdem dieselbe sich auf die Revolution oder auf die Rotation der Erde erstreckt. Man sieht: Die Mitführungsfrage läßt eine große Anzahl von möglichen Fällen hinsichtlich des Verhaltens eines Lichtstrahls an der Erdoberfläche unterscheiden.

42. Ich kann zum Mitführungsproblem, dem Schmerzenskind der modernen Ätherphysik, hier nur ganz kurz Stellung nehmen.

α) Irdische Lichtquellen. Der Michelsonsche Spiegelversuch beweist, falls an der Anordnung desselben nichts auszusetzen ist, daß vollkommene translatorische Mitführung für irdisches Licht stattfindet. Es liegt die Vermutung nahe, daß für dasselbe auch vollkommene rotatorische Mitführung[2]) vorhanden ist. Für irdisches Licht scheint also das System $\mathfrak{E}$ an der Erdoberfläche den Charakter des optischen Grundsystems zu besitzen.

β) Außerirdische Lichtquellen. Die Aberration weist darauf hin, daß translatorische Mitführung höchstens in geringem Maße stattfindet. Der Michelsonsche Versuch steht hiermit nicht in Widerspruch, da man sich zu seiner Ausführung, soweit mir bekannt, irdischer Lichtquellen bediente. Es erscheint mir wahrscheinlich, daß er bei Benutzung von außerirdischen Lichtquellen positive Resultate aufweist, sofern nicht durch die Reflexionen

---

[1]) Von dem Einfluß der Lufthülle auf Strahlengang und Lichtgeschwindigkeit ist natürlich wie bisher abzusehen.

[2]) Ein diesbezüglicher Versuch ist gleichfalls von Michelson vorgeschlagen. Ob derselbe bisher zu einem positiven Resultat geführt hat, vermag ich nicht zu sagen. Wahrscheinlich verläuft er ebenso negativ wie der allbekannte Spiegelversuch, was allerdings insbesondere den Anhängern des Relativitätsprinzips nicht erwünscht wäre. Vgl. Laue: Über e. Versuch zur Optik d. bew. Körp. Münch. Berichte 1911.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

an den Spiegeln das außerirdische Licht den Charakter von irdischem Licht annimmt. Rotatorische Mitführung[1]) scheint bei außerirdischem Licht völlig zu fehlen. Es hat hiernach den Anschein, daß für außerirdisches Licht an der Erdoberfläche das System $\mathfrak{S}$ den Charakter des optischen Grundsystems beibehält.

Dies sei einmal angenommen. Dann ergibt sich die interessante Folgerung, daß jeder außerirdische Lichtstrahl an der Erdoberfläche eine Krümmung rel $\mathfrak{E}$ zufolge der rel $\mathfrak{S}$ stattfindenden Erdbewegung besitzen muß. (Vgl. No. 30.) Wir fragen: Wie groß ist diese Krümmung? Läßt sie sich experimentell nachweisen?

b) Die Krümmung des außerirdischen Lichtstrahls rel $\mathfrak{E}$ an der Erdoberfläche.

43. Die Krümmung, welche der außerirdische Lichtstrahl rel $\mathfrak{E}$ an der Erdoberfläche besitzt, kommt zustande einerseits infolge der krummlinigen Erdtranslation rel $\mathfrak{S}$, andererseits infolge der Erdrotation rel $\mathfrak{S}$. Der Einfluß der Erdtranslation tritt aber in so erheblichem Maße gegen den der Rotation zurück, daß wir von der fortschreitenden Erdbewegung absehen, uns also auf die Betrachtung der „rotatorischen Krümmung" beschränken wollen. Diese Vereinfachung kommt darauf hinaus, daß wir an Stelle des Systems $\mathfrak{S}$ dem System $\mathfrak{H}$ in der Umgebung des Beobachters den Charakter des optischen Grundsystems beilegen. Außerdem wollen wir wieder annehmen, daß der Beobachter sich auf der Erdachse befinde.

Wir können uns dann leicht ein Bild von der rel $\mathfrak{E}$ durchlaufenen Bahn eines den Beobachter auf der Erde treffenden Lichtimpulses machen, soweit sie innerhalb des Gebietes liegt, in welchem dem System $\mathfrak{H}$ der Charakter des optischen Grundsystems zugesprochen wird. Wir denken uns zu diesem Zweck die rel $\mathfrak{H}$ gerade Bahn des Impulses in eine gerade, starre und rel $\mathfrak{H}$ ruhende Lichtröhre (vgl. No. 29) eingeschlossen. Da nun $\mathfrak{H}$ rel $\mathfrak{E}$ um die rel $\mathfrak{E}$ ruhende Himmelsachse in der bekannten Weise rotiert, so gilt dasselbe von der rel $\mathfrak{H}$ ruhenden Lichtröhre. Soll der Impuls den Beobachter treffen, so muß dieselbe rel $\mathfrak{E}$ den Mantel eines Kreiskegels beschreiben, dessen Achse die Himmelsachse und dessen Spitze der Beobachterort ist. Der Lichtimpuls durchläuft folglich dieselbe Bahn wie ein Punkt, welcher sich auf dem einen Schenkel eines starren Winkels mit gleichförmiger Geschwindigkeit auf den Scheitelpunkt zubewegt, während dieser Schenkel um den anderen als ruhend angesehenen Schenkel gleichmäßig rotiert. Die Bahnkurve des Impulses ist eine Raumspirale, ihre Projektion auf die Äquatorebene eine archimedische Spirale (vgl. No. 30).

44. Ich kann hier nur kurz die Resultate meiner Untersuchungen[2]) anfügen, die sich auf die rotatorische Krümmung des außerirdischen Lichtstrahls an der Erdoberfläche beziehen.

Der zum Beobachterort gehörende Krümmungsradius der rel $\mathfrak{E}$ genommenen Lichtbahn steht in jedem Beobachtungsmoment auf dem Stundenkreis des lichtentsendenden Gestirns senkrecht. Hält man die Handfläche in denjenigen Meridian, durch welchen das Gestirn gerade hindurchtritt, und zwar die Innenfläche nach derjenigen Seite, von welcher das Gestirn in den Meridian eintritt, so weist der auf der Handfläche senkrecht stehende Daumen nach dem Krümmungsmittelpunkt (vgl. Fig. 3). Am größten ist die Krümmung für

[1]) Der Gedanke der rotatorischen Mitführung stammt von Doppler. Vgl. Ostwalds Klass. No. 161, S. 35 ff. v. Oppolzer: Erdbewegung u. Äther, Ann. d. Phys. 8 (1902) S. 898; H. A. Lorentz, Abhandlungen über theoret. Physik S. 413 (Teubner, 1907).

[2]) Ich gedenke dieselben in nächster Zeit zu veröffentlichen.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

ein Gestirn im Äquator. Der Krümmungsradius hat hier die Länge von $2{,}067 \cdot 10^9$ km, ist also größer als der Durchmesser der Jupiterbahn, kleiner als derjenige der Saturnsbahn. Die Krümmung ist selbst in diesem Falle für irdische Verhältnisse noch außerordentlich gering. Trägt man auf der Tangente, welche an die Lichtkurve im Beobachterort gelegt wird, nach der auf das Gestirn hinweisenden Richtung vom Beobachterort aus eine Strecke von 1 km ab, so steht der Endpunkt derselben erst $\frac{1}{4000}$ mm von der Kurve ab; dieser Abstand vergrößert sich auf $\frac{1}{10}$ mm, wenn die abgetragene Strecke 20 km lang ist. Trotzdem dürfte es vielleicht durch besondere Maßregeln gelingen, diese Abweichung der Lichtkurve von einer Geraden zu messen. Sollte das glücken, so wäre damit nicht nur ein positiver Nachweis erbracht, daß für außerirdisches Licht rotatorische Mitführung nicht stattfindet, sondern auch ein terrestrischer optischer Beweis für die Erdrotation, vergleichbar dem Foucaultschen Pendelversuch, geliefert.

Schlußbetrachtungen.

45. Wir kehren zum Ausgangspunkt unserer Untersuchungen, dem Problem der Ortsabweichung, zurück. Die Umstände, welche für die Ortsabweichung irgendeines Himmelskörpers berücksichtigt werden müssen, lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

a) die fortschreitende Bewegung des Beobachters rel ☉ als Grund für die jährliche Aberration (No. 10),

b) die senkrecht zur Sehlinie gerichtete Komponente der fortschreitenden Bewegung des Gestirns rel ♄ als Grund für den Umstand, daß wahrer Ort im Entsendungs- und Beobachtungsmoment rel ♄ verschieden sind (Lichtgleichung und Parallaxe) (vgl. No. 11),

c) die Krümmung des Lichtstrahls rel ☉; sie ist begründet in einer etwaigen Mitführung des Lichts an der Oberfläche des Lichtsenders (Sonne, Planeten) oder in der räumlichen Begrenztheit des Grundsystemscharakters von ☉ (Fixsterne) (vgl. No. 40).

Wenn wir bedenken, daß die Lichtgleichung nur bei Kenntnis des Abstands zwischen Erde und Gestirn in Rechnung gezogen werden kann, und daß zurzeit über den Punkt c) keinerlei sichere Resultate vorliegen, so kommen wir zu dem Ergebnis, daß man die Ortsabweichung i. allg. nicht mit Sicherheit anzugeben vermag.

46. Zum Schluß noch ein Wort zur geozentrischen Auffassung der Lichtfortpflanzung! Wir wollen uns auf den kinematisch richtigen geozentrischen Standpunkt stellen, indem wir die Erde als ruhend betrachten, wie wir das ja bei der Beobachtung irdischer Vorgänge fast stets tun, aber auch recht oft und vielfach unbewußt bei Himmelsbeobachtungen. Dann geben wir uns wohl meist der Täuschung hin, daß das Licht eines Sternes geradeswegs von der Stelle kommt, an der wir ihn sehen. Dasselbe dachte sicherlich erst recht jeder Beobachter alter Zeit, der den geozentrischen Standpunkt innehatte. Derselbe würde wohl nicht wenig staunen, wenn wir ihm gegenüber behaupteten, daß das Licht, von der ruhenden Erde aus beurteilt, in spiraligen Kurven zu uns gelangt, daß z. B. das Licht des in der Nähe des Äquators befindlichen Sirius bei einer Entfernung von 8,6 Lichtjahren sich über 3000 mal in immer engeren Windungen um die Erde wickelt, ehe es unser Auge erreicht.

Druck von W. Pormetter in Berlin S. 14.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

ein Gestirn im Äquator. Der Krümmungsradius hat hier die Länge von 2,067 · 10⁹ km, ist also größer als der Dur s derjenige der Saturnsbahn. Die Krümmung ist selbs tnisse noch außerordentlich gering. Trägt man auf rve im Beobachterort gelegt wird, nach der auf das obachterort aus eine Strecke von 1 km ab, so steht n von der Kurve ab; dieser Abstand vergrößert sich ecke 20 km lang ist. Trotzdem dürfte es vielleicht diese Abweichung der Lichtkurve von einer Gerade o wäre damit nicht nur ein positiver Nachweis erbra tatorische Mitführung nicht stattfindet, sondern auch eis für die Erdrotation, vergleichbar dem Foucaults

45. Wir kehren chungen, dem Problem der Ortsabweichung, zurück Ortsabweichung irgendeines Himmelskörpers berücksi endermaßen zusammenfassen:

a) die fortschreitende als Grund für die jährliche Aberration (No. 10
b) die senkrecht zur S rtschreitenden Bewegung des Gestirns rel ☿ als r Ort im Entsendungs- und Beobachtungsmome g und Parallaxe) (vgl. No. 11),
c) die Krümmung des det in einer etwaigen Mitführung des Lichts Sonne, Planeten) oder in der räumlichen Begren n ☾ (Fixsterne) (vgl. No. 40).

Wenn wir bed bei Kenntnis des Abstands zwischen Erde und Ges ann, und daß zurzeit über den Punkt c) keinerlei s en wir zu dem Ergebnis, daß man die Ortsabweichung en vermag.

46. Zum Schlu Auffassung der Lichtfortpflanzung! Wir wollen geozentrischen Standpunkt stellen, indem wir die das ja bei der Beobachtung irdischer Vorgänge fast s lfach unbewußt bei Himmelsbeobachtungen. Dann g ng hin, daß das Licht eines Sternes geradeswegs von en. Dasselbe dachte sicherlich erst recht jeder Be schen Standpunkt innehatte. Derselbe würde wohl ni enüber behaupteten, daß das Licht, von der ruhender urven zu uns gelangt, daß z. B. das Licht des in Sirius bei einer Entfernung von 8,6 Lichtjahren sich dungen um die Erde wickelt, ehe es unser Auge errei

Grauskala #13 B.I.G.
C Y M
A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf