

**5. *Über die Lichtfortpflanzung im Himmelsraum;*  
von *P. Lenard.***

---

In einer unter dem Titel „Über Äther und Uräther“ erschienenen Abhandlung<sup>1)</sup> habe ich einen nach gegenwärtiger Kenntnis möglich erscheinenden Ausweg angegeben aus den Schwierigkeiten, welche durch die scheinbare Unvereinbarkeit von Aberration, Michelsonversuch, Doppelsternbeobachtungen und Welleneigenschaften des Lichtes für die Ätherphysik entstanden waren. Der Ausweg führte weg von der nur mathematisch formelmäßigen, auf physikalisches Denken verzichtenden Behandlungsart des Gegenstandes (Relativitäts„theorie“), mit welcher man mangels anderer Lösung glaubte sich begnügen zu müssen; er wollte zurückführen zu wirklicher Naturforschung, die, von einfachen Gedanken ausgehend, aus der Beobachtung zu ergründen sucht, wie die Dinge der Außenwelt — im vorliegenden Falle der Äther — beschaffen sind. Lange belehrt durch die Geschichte der Wissenschaft und stets eingedenk der unvermuteten Überraschungen, die die Natur dem Beobachter immer wieder geboten hat und die zuletzt stets Vereinfachung des Denkens bedeuteten, sollte die Naturforschung auf bloße Vermutungen oder „Theorien“ um so weniger Wert legen, je verwickelter, erfahrungsleerer — und etwa gar zugleich weitausschweifender — sie erscheinen.

Gerade bei einem des Unbekannten so offenbar vollen Untersuchungsgegenstand, wie dem Äther, darf der Naturforscher ganz besonders dessen sich bewußt sein, daß seine Arbeit nächst der Beobachtung in der Herstellung möglichst einfacher, willkürliche Hinzufügungen vermeidender Bilder vom Verhalten des zu Untersuchenden bestehen muß, die solange abzuändern und durch hierbei angeregte neue Beobachtungen zu verbessern sind, bis es endlich den Anschein

---

1) Zuerst erschienen in Starks Jahrbuch v. 1920; ausführlicher gesondert bei S. Hirzel, Leipzig 1922, 2. Aufl. Im folgenden kurz als „Ä. u. Urä.“ zitiert; Seitenzahlen nach der 2. Aufl.

gewinnt, daß weitere Beobachtungen kaum mehr Überraschungen bringen dürften. Wir sind heute beim Äther noch weit entfernt von letzterem Stande, wir befinden uns vielmehr vielleicht noch sehr am Anfang eines langen Weges dahin, auf dem es erlaubt sein kann gelegentlich Umschau zu halten.

*Längs- und Quereigenschaften der Lichtquanten.* — Es sind zwei Beobachtungsergebnisse aus der letzten Zeit, die ich jetzt in das in der vorgenannten Abhandlung entworfene Bild vom Äther einfügen möchte, wodurch es bestimmtere Form annimmt als nach dem früheren Stande der Erfahrung sein konnte, wo noch andere Möglichkeiten offen zu lassen waren. Es soll dabei hier stets nur das Verhalten der Lichtquanten in von Materie freiem Raum betrachtet werden.<sup>1)</sup> Die Lichtquanten selbst fassen wir als kohärente elektromagnetische Wellenzüge von bestimmter Wellenlänge und bestimmtem Energiegehalt auf.<sup>2)</sup> Jedem Himmelskörper schreiben wir seinen eigenen Äther zu, der ihn ähnlich einer verwaschen begrenzten Atmosphäre umgibt<sup>3)</sup>; außerdem nehmen wir einen

---

1) Zu dem in „Ä. u. Urä.“ bereits behandelten Verhalten in materiellen Medien ist bis jetzt neue Erfahrung nicht bekannt geworden; wir weisen daher im vorliegenden nur gelegentlich in Fußnoten auf einige hierzu gehörige Stellen in der genannten Abhandlung hin.

2) Siehe „Ä. u. Urä.“ S. 25ff. Daß die Lichtquanten, welche von den Quellen des Lichts, den Atomen, einzeln und mit bestimmtem Energieinhalt emittiert werden, auf ihren weiteren Wegen weder einzeln, getrennt bleiben müssen, noch auch Zerstückelungen, Spaltungen und Energieänderungen entgegen, kurz, daß sie im allgemeinen ihre Besonderheit nicht dauernd beibehalten, ist nach heutiger Erfahrung nicht zu bezweifeln. Das Wesentliche unserer Betrachtungen tritt aber am besten hervor, wenn wir sie an einzelne Lichtquanten von bestimmt vorgegebenem Energieinhalt knüpfen, wie das im vorliegenden geschehen soll. Über die Verschmelzung von Lichtquanten, bzw. den Nachweis von Wellenfronten großer Breite siehe „Ä. u. Urä.“, S. 26 u. 29; über Unterteilung von Lichtquanten siehe C. Ramsauer, Ann. d. Phys. 64. S. 750. 1921.

3) Über die Abstände, bis zu welchen beispielsweise der Äther der Erde über deren Oberfläche zu gegebenen Bruchteilen merklich sichererstreckt, ist nichts bekannt. Hr. St. John findet auf dem 1731 m hohen Wilsonberg in Kalifornien positiven Ausfall des Michelsonversuchs mit dem Betrage von  $\frac{1}{10}$  der Streifenverschiebung, die bei voller Relativbewegung der Erde mit Bahngeschwindigkeit gegen den Äther zu erwarten wäre (The Observatory 45. S. 211. 1922). Man könnte dies als ein Zeichen bereits in jener Höhe merklicher Abnahme des Äthers der Erde auffassen; doch werden in so wichtiger Frage weitere Beobachtungen abzuwarten

allgemein verbreiteten Uräther an, der — im Gegensatz zum Äther — an den Bewegungen der Himmelskörper nicht teilnimmt.<sup>1)</sup>

Die beiden Beobachtungsergebnisse sind:

1. Die nun wohl unzweifelhaft festgestellte, schon von J. Soldner berechnete Lichtstrahlablenkung am Sonnenrand, die — ihrer beobachteten Größe nach — einer Schwerewirkung auf die Lichtquanten soweit entspricht, als man etwa erwarten kann.<sup>2)</sup>

2. Der negative Ausfall des von Hrn. R. Tomaschek kürzlich durchgeführten Michelsonversuches mit Sonnen-, Mond-, Planetenlicht nicht nur, sondern auch, was besonders wichtig ist, mit Fixsternlicht.<sup>3)</sup>

Das nun entstehende Gesamtbild der augenblicklichen Kenntnis fordert wieder die schon früher eingeführte Unterscheidung zwischen Längs- und Querverhalten der Lichtquanten, welche beiden offenbar gesondert zu betrachten sind.<sup>4)</sup>

Die Längsbewegung, d. i. die Bewegung in Richtung der Wellenfront, geht mit der bekannten Lichtgeschwindigkeit  $c$  vor sich, wobei es sich nur um die Frage handelt, relativ wozu diese Geschwindigkeit zu rechnen sei. Hier hat die neue Erfahrung gezeigt, daß  $c$  stets relativ zu demjenigen Äther gelte, in welchem das Lichtquant zurzeit läuft. Es ist somit jedesmal eine Änderung der Lichtgeschwindigkeit beim Übergang von

---

sein, beispielsweise auch die Durchführung elektrischer Versuche — wie des Röntgenschen mit dem zu suchenden Magnetfeld eines geladenen Kondensators — auf möglichst hohen, möglichst allein stehenden Berggipfeln.

1) Eingehenderes s. w. unten und auch bereits in „Ä. u. Urä.“ S. 21 ff.

2) Die Mitwirkung der Lichtbrechung in der Sonnenatmosphäre erschwert das Urteil; vgl. hierüber Ann. d. Phys. 65. S. 593 u. 594. 1921 und „Ä. u. Urä.“ S. 43.

3) Siehe R. Tomaschek, Astronom. Nachr. 5251 und eine gleichzeitige Abhandlung in diesen Ann. Die Untersuchung ist mit Unterstützung durch die Notgemeinschaft der Wissenschaft ausgeführt worden, wofür auch an dieser Stelle besonderer Dank ausgesprochen sei.

4) Vgl. „Ä. u. Urä.“, Noten S. 27 u. 31; nur daß dort die negativen Aberrationserfahrungen an bewegten Himmelskörpern, die wir im hier weiter folgenden hinzunehmen, noch nicht berücksichtigt sind.

einem Äther in einen anderen, anders bewegten, anzunehmen. Im besonderen ist dies auch der Fall, wenn Lichtquanten außerirdischer Lichtquellen in den Äther der Erde gelangen; sie nehmen dann Lichtgeschwindigkeit relativ zu letzterem, das ist relativ zur Erde an und sie verhalten sich dabei im Michelsonversuch gleich irdischen Lichtquanten, die von vornherein diese Geschwindigkeit hatten. Wir begründen und erläutern diese Auffassung vom Längsverhalten der Lichtquanten eingehender im nächsten Abschnitt.

Das Querverhalten der Lichtquanten, d. i. ihr Verhalten gegen Bewegung in Richtung senkrecht zur Wellenlänge, hängt in ganz anderer Weise mit dem Medium zusammen, als die Längsbewegung. Wir schließen dies aus dem Statthaben der astronomischen Aberration, die in unserer Auffassung zeigt, daß die Lichtquanten der außerirdischen Lichtquellen auch nach ihrem Eindringen in den Äther der Erde keine Querbewegung von letzterem annehmen. Ganz unbeeinflußbar sind aber dennoch die Lichtquanten in bezug auf Querbewegung nicht; dies wird daraus klar, daß keine anderen Aberrationen beobachtet worden sind, als die aus der Bewegung der Erde folgenden. Nehmen wir beispielsweise an, ein ferner Doppelstern führe eine kreisende Bewegung aus und es befinde sich die Erde nahe seiner Bahnebene. Bei der Bewegung des Sterns senkrecht zur Gesichtslinie kann angenommen werden, daß die gegen die Erde hin laufenden Lichtquanten des Sterns die Querbewegung desselben mit sich fortnehmen, da sie im Äther des Sterns entstanden sind. Besäßen sie diese Querbewegung auch noch bei ihrer Ankunft im Beobachtungsfernrohr der Erde, so würde dies eine Aberrationsverschiebung am Stern zur Folge haben, die bei der recht großen Umlaufgeschwindigkeit mancher Doppelsterne sehr auffallend sein müßte<sup>1)</sup>, von deren Auftreten aber nichts bekannt ist. Man muß danach annehmen, daß die von der Lichtquelle stammende Querbewegung der Lichtquanten auf deren Wegen im Uräther

---

1) Es würde z. B. merkliche Winkeltrennung der beiden Komponenten eines genügend schnell umlaufenden Doppelsterns gerade dann eintreten müssen, wenn Fehlen von Spektrallinienverdoppelung das Gegenteil erwarten ließe, nämlich wenn Erde und die beiden Sternkomponenten nahe in einer geraden Linie sich befinden.

früher oder später zum Verschwinden kommt.<sup>1)</sup> Da auch bei den Planeten unseres Sonnensystems, wie Merkur oder Venus, nichts von Aberrationen bekannt ist, die in dem soeben betrachteten Sinne von den genügend schnellen Eigenbewegungen dieser Planeten herrührten, muß auch innerhalb des Sonnensystems der die Querbewegung wegnehmende Uräther als vorhanden und wirksam angenommen werden. Es ist dies in Übereinstimmung mit der Annahme, daß der Uräther überall vorhanden ist, auch in den Räumen, die zugleich den Äther von Materie enthalten. Wie schnell eine von der Lichtquelle stammende Querbewegung im Uräther verschwindet, ist unbekannt.<sup>2)</sup>

Sind die Lichtquanten dem Einfluß der Schwerkraft ausgesetzt, so erleiden sie in bezug auf Querbewegung diejenige Veränderung, welche nach Maßgabe ihrer Masse und einer dieser proportionalen Gravitation zu erwarten ist.<sup>3)</sup>

---

1) Hiermit wird die Aberration insofern zu einer *absoluten* Erscheinung, als sie zwar von der Querbewegung des Beobachters, nicht aber von der der Lichtquelle abhängig ist, und dies ist sehr bemerkenswert. Die astronomische Erfahrung läßt in der Tat die Aberration durchaus nur als Folge der Erdbewegung relativ zum Uräther, *nicht relativ zur Lichtquelle*, also als eine Folge und somit auch als Kennzeichen von *Absolutbewegung* erscheinen. Bemerkbar können zwar durch die Beobachtungen nur Unterschiede von Aberrationen werden, diese Unterschiede (z. B. die gewöhnliche jährliche Aberration von  $2 \cdot 20''$ ) entsprechen aber eben doch zeitlichen Unterschieden in der *Absolutbewegung* der Erde, nicht in irgendeiner Relativbewegung derselben.

2) Reicht der Abstand des Mondes von der Erde nicht aus, um die bei der Reflexion des Sonnenlichtes vom Monde etwa dem Mondlicht mitgeteilte Querbewegung des Mondes — das ist seine Bahnbewegung — wegzudämpfen, so würde die oben gedachte Aberration infolge Eigenbewegung der Lichtquelle beim Monde ganz oder teilweise wirksam werden. Es wären dann die in der Astronomie üblichen Aberrationskorrekturen — die darauf keine Rücksicht nehmen — für den Mond nicht genau richtig. Es wäre zu untersuchen, ob nicht etwa geringe Unstimmigkeiten in der Vorausberechnung der Mondbewegung, auf die man manchmal hingewiesen findet, dieses Ursprungs sind. — Eine experimentelle Untersuchung der Lichtquanten von querbewegten Lichtquellen soll an Kanalstrahlen erfolgen (vgl. verwandte Fragen in bezug auf Längsbewegung in „Ä. u. Urä.“ S. 28).

3) Es ist dies der alte Gedanke von Soldner aus dem Jahr 1801. Siehe Ann. d. Phys. 65. S. 593. 1921 und „Ä. u. Urä.“ S. 43. Er kann durch die Erfahrung als bestätigt angesehen werden, wie bereits oben

Es verhalten sich also Lichtquanten im materiefreien Raum, soweit bisher zu sehen, in bezug auf Längsbewegung stets wie Wellenzüge, die eine relativ zum Medium vorgegebene Geschwindigkeit einhalten, in bezug auf Querbewegung aber nur wie träge Massen, die mit dem die Längsgeschwindigkeit bestimmenden Medium weit weniger zu tun haben, vom Uräther aber doch reibungsähnliche Kräfte erfahren, welche von der Lichtquelle stammende Quergeschwindigkeiten vernichten. Die Eigenschaft, mit Wellengeschwindigkeit zu laufen, ist nichts Besonderes, da Licht schon lange genügend sicher als Wellenerscheinung bekannt ist. Aber auch das Querverhalten, die Masseneigenschaft, ist nichts Besonderes; sie gehört einfach dem Energieinhalt  $E$  des Lichtquants zu, der nach Hasenöhrls Beziehung bei allen Energieformen die Masse  $m = E/c^2$  besitzt<sup>1)</sup>, welche Masse natürlich auch in bezug auf Längsbewegung wirksam ist, und ebenso ist auch die dieser Masse proportionale Gravitation nichts Besonderes mehr, seit durch die Beobachtungen von Galilei, Newton, Bessel, Eötvös und neuerdings besonders auch Zeeman die allen Massen, auch den Energiemassen stets proportional zugeordnete Gravitation außer Zweifel gestellt ist.<sup>2)</sup>

Man kann somit dieses Bild vom Verhalten der Lichtquanten außerhalb der Materie<sup>3)</sup> wohl als einfach und über-

angegeben. Den noch nicht erfahrungsmäßig verfolgten Einfluß von Schwere in Längsrichtung der Lichtquanten behandeln wir im letzten Abschnitt des Vorliegenden.

1) Siehe „Ä. u. Urä.“ S. 41, 42 u. 46. Es ist dort auch ersichtlich gemacht, daß jene Massengleichung der Energie ganz zu Unrecht als ein besonderes Ergebnis der Relativitäts„theorie“ hingestellt wird, von der sie in Wirklichkeit völlig unabhängig ist.

2) Siehe „Ä. u. Urä.“, S. 43, 44.

3) In materiellen Medien ist die Längsbewegung in bekannter Weise durch den Brechungsindex bestimmt. In „Ä. u. Urä.“ (S. 44ff.) ist gezeigt, daß die Geschwindigkeitsänderung beim Übergang von einem materiellen Medium in ein anderes mit einer Massenänderung des Lichtquants verbunden erscheint — durch Aufnahme von Zusatzmasse aus dem Medium —, welche sowohl dieser Geschwindigkeitsänderung, als auch dem Lichtdruck an der Grenzfläche entspricht. Was den Einfluß von Bewegung eines materiellen Mediums anlangt, so gilt der Fresnelsche Mitführungskoeffizient (s. „Ä. u. Urä.“ S. 45, 46).

sichtlich und — wenn die Unterscheidung zwischen Längs- und Querverhalten einmal getroffen ist — fast als selbstverständlich bezeichnen. Freilich ist dabei zu bedenken, daß die Erfahrung, auf Grund deren das Bild gebaut ist, immer noch ärmlich ist. Dafür bietet aber das Bild neue Anhaltspunkte zum Einsammeln weiterer Erfahrung durch neue Beobachtung, besonders astronomischer Art, worauf an mehreren Stellen des Vorliegenden hingewiesen ist.

Da die Lichtquanten elektromagnetische Wellenzüge sind, so wird man in relativ zum Beobachter ruhendem Äther Gültigkeit der Maxwell'schen Gleichungen für dieselben insoweit erwarten dürfen, als es sich um Eigenschaften handelt, die auch bei einer Quervereinigung sehr vieler Lichtquanten sich finden; denn eine solche Quervereinigung ist erfahrungsmäßig gleich zu setzen dem Wellenzug eines Hertz'schen Oszillators, bis auf Unterschiede der Wellenlänge. Eine solche, ebengedachte Eigenschaft elektromagnetischer Wellenzüge ist diese, daß Wellenfront (Fläche der elektrischen und magnetischen Kraftlinien) und Fortpflanzungsrichtung (Energieweg) stets senkrecht aufeinander stehen. Nimmt man diese Eigenschaft für die Lichtquanten an, so folgt beim Auftreten von Querbewegung stets eine Drehung der Wellenfront, so daß diese senkrecht zur Gesamtbewegung des Lichtquants sich stellt, und es ist dann diese Gesamtbewegung, welche mit der Lichtgeschwindigkeit  $c$  relativ zum umgebenden Äther vor sich geht. So würden die Lichtquanten ferner Sterne, die — wie wir sahen — ohne Querbewegung relativ zum Uräther aus diesem zur Erde kommen, beim Eintritt in den Äther der Erde eine Drehung der Wellenfront erleiden müssen, da sie relativ zum Äther der Erde Querbewegung haben. Nach dieser Drehung ist die Querbewegung als solche verschwunden und nicht mehr zu betrachten und es ist dafür das Lichtquant um den Aberrationswinkel aus seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt. Es würde dann das Fixsternlicht nichts von Aberrationseigenschaften an sich haben im Vergleich zu irdischem Licht, noch auch wäre die Aberration ein Vorgang, der im Fernrohr des Beobachters zu überlegen sei (wie es gewöhnlich geschieht), sondern die Aberration bestünde in einer Krümmung des vom Stern kommenden Strahls bei seinem Eintritt in den Äther

der Erde, so daß der Strahl schon in Aberrationsrichtung das Fernrohr erreicht.<sup>1)</sup>

*Erfahrungen über die Längsbewegung der Lichtquanten.* — Die Längsbewegung zeigt die Eigenschaft einer Wellenfortpflanzung dadurch, daß sie mit veränderter Geschwindigkeit vor sich geht, je nach dem Medium, das durchlaufen wird. Dieses Verhalten ist von den materiellen Medien her wohlbekannt; daß wir Ähnliches auch in dem von Materie freien Himmelsraum anzunehmen haben, sei im folgenden noch besonders — an Hand der Erfahrung — begründet.

Der bekannte Michelsonversuch mit irdischer Lichtquelle zeigt in einfachster Auffassung an, daß die Lichtquanten der irdischen Lichtquellen mit Lichtgeschwindigkeit relativ zur Erde laufen (nicht relativ zu einem Äther, durch welchen die Erde sich hindurchbewegte).<sup>2)</sup> Dementsprechend darf man annehmen, daß auch die von anderen Himmelskörpern ausgehenden Lichtquanten in der Nähe dieser Himmelskörper relativ zu diesen mit Lichtgeschwindigkeit weglafen, und daß dies auch von den Lichtquanten einer Doppelsternkomponente gilt. Die Doppelsternbeobachtungen<sup>3)</sup> zeigen nun aber, daß die Lichtquanten einer Doppelsternkomponente auf dem allergrößten Teil ihres Weges bis zur Erde nicht Lichtgeschwindigkeit relativ zu ihrem wechselnd bewegten Ursprungstern, sondern absolute, von der Bewegung dieses Sterns unabhängige

---

1) Zwei andere Möglichkeiten, besonders in bezug auf Spiegelung von Aberrationslicht findet man in Hrn. R. Tomascheks gleichzeitiger Veröffentlichung in diesen Annalen betrachtet.

Eine der hier beim Eintritt in den Äther der Erde angenommenen Strahlenkrümmung entsprechende Krümmung kann auch beim Weggang des Sternlichts von dem relativ zum Uräther bewegten Stern angenommen werden als Folge der Wegdämpfung der vom Stern stammenden Querbewegung der Lichtquanten im Uräther. Während aber die Strahlkrümmung beim Eintritt in den Äther der Erde den beobachteten Sternort um den Aberrationswinkel verschiebt, hat die Strahlkrümmung beim Weggang vom Stern solche Wirkung nicht, da sie verhältnismäßig viel zu dicht beim Stern selbst erfolgt; es führt dies auf die schon hervorgehobene Absolutbedeutung der Aberration zurück.

2) Über die hier vorausgesetzte Unwirklichkeit der Lorentzkontraktion siehe „Ä. u. Urä.“, S. 39f.

3) Siehe über die hier gemeinten Doppelsternbeobachtungen „Ä. u. Urä.“ S. 32ff., wo auch der im oben folgenden aus diesen Beobachtungen gezogene Schluß bereits eingehend dargelegt ist.



Lichtgeschwindigkeit eingehalten haben müssen. Es muß also die Lichtgeschwindigkeit unterwegs, in dem von Materie freien Himmelsraum, eine Veränderung erlitten haben, und zwar muß diese Änderung schon in einem Abstand vom emittierenden Stern eingetreten sein, der klein ist gegen den Abstand des Doppelsterns von der Erde, da die Beobachtungen eine Abhängigkeit der Lichtzeiten von der wechselnden Bewegungsrichtung des Sterns überhaupt nicht bemerklich machen.

Da wir Gründe gefunden haben, jedem Atom seinen eigenen Äther zuzuschreiben, den es in seinem Innern und in seiner Umgebung mit sich trägt, wonach auch jeder materielle Körper, auch die Erde und jeder Stern, seinen eigenen Äther hat, der ihn wie eine verwaschen begrenzte Atmosphäre umgibt<sup>1)</sup>, war es für uns natürlich, anzunehmen, daß dieser Äther das Medium ist, in welchem die vom Stern emittierten Lichtquanten mit der Lichtgeschwindigkeit  $c$  laufen. Denn dieser Äther ruht relativ zum Stern, so daß dann seine Lichtquanten auch relativ zu ihm mit Lichtgeschwindigkeit laufen, wie es der Michelsonversuch in bezug auf die Lichtquanten der Erde gezeigt hat.

Von dieser Vorstellung aus erscheint es leicht verständlich, daß die vom Stern weglaufenden Lichtquanten schließlich, wenn sie in Räume kommen, wo der Äther des Sterns fast verschwindet, ihre Geschwindigkeit relativ zu dem dort vorhandenen, nicht mehr zu dem Stern gehörigen und nicht mit ihm bewegten Medium einrichten, wodurch sie unabhängig von den Bewegungen des Sterns wird, wie es den Doppelsternbeobachtungen entspricht. Unsere bisherige Kenntnis des eben gedachten Mediums, das diese fern von allen materiellen Massen abliegenden Himmelsräume erfüllt, ist allerdings nahezu Null; sie besteht aber doch darin, daß die Doppelsternbeobachtungen das Dasein eines solchen, eine bestimmte, einheitliche, von Bewegungen ferner Himmelskörper unabhängige Lichtgeschwindigkeit schaffenden Mediums anzeigen. Ich habe dieses, die weiten Himmelsräume erfüllende Medium *Uräther* genannt.<sup>2)</sup>

---

1) Siehe „Ä. u. Urä.“, S. 19.

2) Wie groß die Lichtgeschwindigkeit im *Uräther* ist, wissen wir in der Tat nicht; nur daß sie einheitlich, nämlich für die verschiedenen Bahnpunkte und die diesen zugehörigen verschiedenen Bewegungsrichtungen einer Doppelsternkomponente nicht verschieden ist, dies ver-

Die Annahme eines solchen Mediums, das außer dem Äther noch vorhanden und das allverbreitet ist, erscheint auch nahelegend, wenn man die Gravitation als vermittelte Fernkraft betrachten will; denn der Äther, welcher die elektromagnetischen Kraftfelder (und somit auch die Lichtquanten) ausmacht, kann schwerlich zugleich Vermittler der Gravitation sein schon deshalb, weil eben dieser Äther selbst der Gravitation unterworfen erscheint, sobald er Träger von Energie ist, die in allen ihren Formen der Gravitation unterworfen erscheint.<sup>1)</sup> Wie dem auch sei und wenn auch die Rolle, welche wir hier dem Uräther in bezug auf die Lichtgeschwindigkeit zuschreiben, vielleicht ebensogut dem Gesamtäther zugeschrieben werden könnte, welcher als Summe der zu allen Himmelskörpern in größeren Abständen gehörigen spärlichen Äthermengen in den Himmelsräumen angenommen werden kann<sup>2)</sup>, so bleiben wir doch schon der Kürze und Deutlichkeit halber bei dem Namen Uräther für das hier auftretende, von den Bewegungen einzelner Himmelskörper nicht merklich beeinflusste Medium.

Wenn demnach die von fernen Sternen kommenden Lichtquanten mit Lichtgeschwindigkeit relativ zum Uräther zu uns heranlaufen, so war es bis vor kurzem noch eine offene Frage, ob sie diese Geschwindigkeit bis zur Erde hin beibehalten oder ob sie bei Eintritt in den Äther der Erde ihre Geschwindigkeit von neuem ändern und etwa Lichtgeschwindigkeit relativ zu diesem Äther, also auch zur Erde annehmen. Diese Frage ist jetzt durch Ausführung des Michelsonversuchs mit Fixsternlicht beantwortet worden und sie ist in letzterem Sinne entschieden, wodurch wir eben zur Voranstellung des oben be-

---

bürgen die Beobachtungen. Doch ist es nach den weiter unten folgenden Überlegungen — Lichtbrechung im materiefreien Raum betreffend — nicht wahrscheinlich, daß die Lichtgeschwindigkeit beim Übergang vom Äther des Sterns in den Uräther mehr als nur um die Relativgeschwindigkeit des Sterns zum Uräther geändert wird.

1) Siehe „Ä. u. Urä.“, S. 47.

2) Geht man hierauf ein, so nähert man sich der von Hrn. Gehrke bevorzugten Auffassung der Aberration (s. Drudes Optik, 3. Aufl. 1912 und D. Phys. Ges. 1918, S. 165 u. 1919, S. 67). Sieht man aber den Uräther als Vermittler der Gravitation an, so muß er auch in den Räumen als vorhanden angenommen werden, die gleichzeitig den Äther der einzelnen materiellen Körper enthalten. Wir nehmen hier — bis zu weiterer Belehrung durch die Erfahrung — das Letztere an.

trachteten allgemeinen Satzes über die Längsbewegung der Lichtquanten berechtigt wurden.<sup>1)</sup> Es laufen also im Äther der Erde alle Lichtquanten irgendwelchen Ursprungs relativ zu diesem Äther mit der Lichtgeschwindigkeit  $c^2$ ), ebenso auch alle Lichtquanten im Bereiche eines anderen Gestirns relativ zum dortigen Äther; von Gestirn zu Gestirn dagegen herrscht Lichtgeschwindigkeit relativ zum Uräther.

*Lichtbrechung im Äther.* — Die Geschwindigkeitsänderung der Lichtquanten beim Übergang von einem Äther in anderen, relativ zu ersterem in Strahlrichtung bewegten Äther muß mit einer Richtungsänderung des Strahls analog der Brechung in materiellen Medien verbunden sein, wenn die Grenzschicht schief zum Strahle steht. Es folgt dies nach dem Huyghensschen Prinzip. Wegen der Allmählichkeit des Übergangs ist diese Brechung in Gestalt einer Strahlenkrümmung zu erwarten. Da der wirksame Brechungsexponent  $c/(c - u)$  ist, wenn  $u$  die in der Strahlrichtung genommene Komponente der Relativgeschwindigkeit ist, so würde die Ablenkung bei einem Einfallswinkel von  $45^\circ$  etwa  $20''$  betragen, wenn  $u$  von der Größe der planetarischen Geschwindigkeiten ist (80 km/sec). Dieser unter der Annahme einer scharfen Äthergrenze berechnete kleine Winkel wäre wohl das Höchstmaß der Ablenkungen, die bei Relativgeschwindigkeiten der angenommenen Größe eintreten könnten. Die Verwaschenheit der Äthergrenze muß die Ablenkungen wesentlich kleiner machen, und es sind auch bei beliebig schiefem Einfall keine größeren Winkel zu erwarten, da die bei der Berechnung der  $20''$  eingesetzte ganze Geschwindigkeitsdifferenz  $u$  nicht zur Geltung kommen kann, wenn eine Ätheratmosphäre nur streifend durchlaufen wird.

Es sollte auf das Bestehen oder Nichtbestehen solcher Ablenkungen bei astronomischen Messungen geachtet werden. Die Ablenkung könnte beispielsweise bei einem von der Erde

---

1) Siehe die ausführliche Diskussion bei Rudolf Tomaschek, Astr. Nachr. 5251 und in der gleichzeitigen Abhandlung in diesen Ann.

2) Hiernach würde ein positiver Ausfall des Michelsonversuches bei genügend schnell relativ zur Erde bewegtem Apparat zu erwarten sein (siehe „Ä. u. Urä.“, S. 38ff.). Leider scheinen der Durchführung des Versuches, die einen weiteren wichtigen Schritt in der experimentellen Erforschung des Äthers bedeuten würde, große Schwierigkeiten entgegenzustehen.

aus beobachteten Fixstern wirksam werden, wenn sein Licht exzentrisch in den Äther des genügend schnell absolut bewegt gedachten Sonnensystems einfällt, wenn also etwa der Lichtstrahl in Richtung der Erdbahntangente verläuft.<sup>1)</sup> Ein anderer Fall möglichen Wirksamwerdens der gedachten Ablenkung wäre die Beobachtung eines Fixsterns exzentrisch durch die Ätherhülle eines in der Gesichtslinie befindlichen anderen Fixsternsystems, das Eigenbewegung in der Gesichtslinie hat. Es könnte dann die Ätherhülle wie eine Schliere wirken, die je nach der Bewegungsrichtung optisch dünner oder dichter als die Umgebung sich verhielte, oder wie eine flache und verwaschen begrenzte konvexe beziehlich konkave Linse, von der aber jeweils nur ein kleines prismatisches Flächenelement zur Benutzung gelangt.

Auch eine geringe diffuse Zurückwerfung von Licht bei solchen die Lichtgeschwindigkeit verändernden Übergängen könnte stattfinden.

*Intensitätsabnahme als Folge von Gravitationswirkung der Lichtquelle.* — Eine besondere Frage besteht noch in bezug auf die Schwere der Lichtquanten. Daß solche besteht, und zwar nach Maßgabe der Masse der Lichtquanten  $m = E/c^2 = h\nu/c^2$  ist anzunehmen, nachdem die Schwere als Eigenschaft von Energiemassen überhaupt erkannt ist, und die bei Sonnenfinsternissen beobachtete Lichtablenkung am Sonnenrand kann als experimenteller Nachweis solcher Schwerewirkung angesehen werden, wie oben bereits angegeben wurde. Diese Lichtstrahlablenkung ist eine Querwirkung der Schwere auf die Lichtquanten, da die Richtung der Schwerkraft senkrecht zum Lichtstrahl steht. Es ist aber noch die Frage offen, ob, beziehlich in welcher Weise, eine Längswirkung von Schwerkraft auf die Lichtquanten statthat. Eine solche Wirkung müßte sich bei Lichtquanten zeigen, die von einem genügend

---

1) Beobachtung von Sternen im Meridian zur Sonnenaufgangs- und Sonnenuntergangszeit könnte danach Unstimmigkeiten ergeben, wenn das Sonnensystem gleichzeitig in der Gesichtslinie bewegt ist. Wahrnehmungen dieser Art sind in der Tat kürzlich veröffentlicht worden (R. H. Tucker, *Lick Obs. Bull.* Nr. 380, Apr. 1921; C. D. Perrine, *Astr. Nachr.* 214, 22, Juli 1921). Ob sie die hier gedachte Deutung zulassen, wäre bei planmäßiger Fortsetzung der Beobachtungen von den oben auseinandergesetzten Gesichtspunkten aus zu entscheiden.

großen Gravitationszentrum, wie der Sonne, ausgesandt werden, und es seien hier nach bisheriger Kenntnis vorhandene Möglichkeiten näher betrachtet.

Die Aussendung erfolge mit der Lichtgeschwindigkeit  $c$  relativ zum leuchtenden Gravitationszentrum; die Masse des Letzteren sei  $M$ , der Radius  $R$ , die Gravitationskonstante  $k$ , die Masse des Lichtquants  $m$ , seine Frequenz  $\nu$ . Läuft das Lichtquant bis in sehr große Entfernung weg, so findet bei Bestehen von Schwere des Lichtquants Aufhäufung von potentieller Energie im System Sonne—Lichtquant statt im Betrage  $kMm/R$ . Diese Aufhäufung muß im Sinne des Energieprinzips irgendwo von einem Verbrauch von Energie begleitet sein, und man kann annehmen, daß es Energie des Lichtquants ist, die verbraucht wird. Dieser Verbrauch kann in verschiedener Weise gedacht werden. Wir betrachten drei verschiedene Fälle hiervon (a, b, c).

a) Gilt für die Energie  $E$  eines Lichtquants stets und überall Hrn. Plancks Beziehung  $E = h\nu$ , so könnte die verlangte Energieänderung  $\delta E = -kMm/R$  des Lichtquants in der Weise stattfinden, daß  $\delta E = h\delta\nu$ , also  $\delta\nu = -kMm/Rh$  wird, oder, da nach Hasenöhrls Beziehung  $E = h\nu = mc^2$ ,

$$(a) \quad \frac{\delta\nu}{\nu} = -\frac{kM}{Rc^2}.$$

Dies ist die von Hrn. Einstein angegebene „Rotverschiebung“, die somit auf Grund des soeben befolgten höchst einfachen Gedankenganges ganz ohne Relativitäts„theorie“ ableitbar ist.<sup>1)</sup> Gültig braucht aber die Ableitung und somit die „Rotverschiebung“ keineswegs zu sein; denn es ist sehr zweifelhaft, ob die gemachte Annahme, daß die Energie eines Lichtquants stets unveränderlich gleich  $h\nu$  bleibe, der Wirklichkeit entspricht. Vielmehr scheint mit zunehmender Deutlichkeit die Gleichung  $E = h\nu$  weder eine Eigenschaft der Energie noch auch eine Eigenschaft der Lichtquanten darzustellen, sondern eine Eigenschaft von in Lichtaussendung begriffenen Atomen. Wohl mag daher die Energie des frisch emittierten Lichtquants gleich  $h\nu$  sein; später aber, nachdem das Lichtquant Veränderungen erlitten hat, kann es jeden beliebigen, von seiner

1) Dieser Gedankengang ist auch bereits in „Ä. u. Urä.“, S. 64, angegeben worden.

Frequenz  $\nu$  ganz unabhängigen Energieinhalt annehmen<sup>1)</sup>, so daß man keineswegs berechtigt ist auf dem ganzen Wege des von der Sonne ablaufenden Lichtquants mit  $E = h\nu$  weiterzurechnen, wie es geschehen ist.<sup>2)</sup>

b) Man kann auch versuchen, die Lichtquanten als geworfene Massen von unveränderlicher Größe  $m$  anzunehmen, wie das schon Laplace getan hat (natürlich ohne unsere Vorstellung vom Lichtquant zu besitzen).<sup>3)</sup> Es wird dann die Lichtgeschwindigkeit  $c$  veränderlich; der Zuwachs von potentieller Energie  $kMm/R$  ist kompensiert durch Verlust von kinetischer Energie, so daß  $\delta(mc^2/2) = mc\delta c = -kMm/R$ , wonach

$$(b) \quad \frac{\delta c}{c} = - \frac{kM}{Rc^2} .$$

Die benutzte Annahme, daß das Lichtquant in seiner Längsrichtung nur als träge Masse sich verhalte und eine andere Geschwindigkeit annehme als die, welche ihm als Wellenzug zukommt, nämlich die Lichtgeschwindigkeit  $c$  relativ zum Äther in welchem es läuft, ist aber nach dem Ausfall des Michelsonversuchs mit Fixsternlicht sehr unwahrscheinlich geworden, und man dürfte daher dem folgenden Gedankengang sich zuwenden, der bis jetzt am besten mit aller vorhandenen Erfahrung übereinstimmt.

1) Vgl. hierzu eine der vorhergehenden Fußnoten, die Veränderungen der Lichtquanten auf ihren Wegen betreffend.

2) Es scheint dem Zutreffen obiger Zweifel zu entsprechen, daß eine einwandfrei gesicherte Feststellung von „Rotverschiebung“ noch nicht gelungen ist. Vgl. hierzu „Ä. u. Urä.“, Note S. 64, 65. Besteht keine Rotverschiebung durch Gravitationswirkung, so muß in jeder Ableitung einer solchen Rotverschiebung etwas falsch sein. Eine der Ableitungen — historisch die erste — ist die der Relativitäts„theorie“; unsere obige Ableitung hat den Vorteil der Durchsichtigkeit, wonach es leicht ist, gegebenenfalls einen falschen Teil gesondert zu sehen und ihn auszuscheiden. Wir bewirken die Ausscheidung des oben als falsch vermuteten Teils unter c) in einer mit aller bisherigen Kenntnis gut vereinbarten Weise. — Was die Relativitäts„theorie“ anlangt, so unterliegt sie — „spezielle“ wie „allgemeine“ — schon so vielseitigen Bedenken, daß dies jetzt kaum mehr hervorgehoben zu werden braucht; man vgl. außer dem in „Ä. u. Urä.“ S. 61 ff. Zusammengestellten neuerdings besonders G. v. Gleich, Ann. d. Phys. 72. S. 221. 1923 und von ganz anderer Seite her Vogtherr, „Wohin führt die Relativitätstheorie?“ Leipzig 1923, ebenso unsere obige Feststellung der Absolut-Bedeutung der Aberration.

3) S. „Ä. u. Urä.“, Note S. 64.

c) Wir nehmen sowohl die Lichtgeschwindigkeit  $c$  im gleichbewegten Äther, als auch die Frequenz  $\nu$  als konstant an. Die Zunahme der potentiellen Energie im System Sonne-Lichtquant nehmen wir als ausgeglichen an durch einen Verlust von Eigenenergie des Lichtquants, wie in a), nur daß wir diese Eigenenergie nicht dauernd durch  $h\nu$ , sondern durch  $mc^2$  bemessen denken, was unzweifelhaft vollkommen berechtigt ist insofern, als kein Anlaß zu Zweifeln an der Gültigkeit der Hasenöhrlichen Beziehung gerade für den Fall der Lichtenergie besteht, von welcher die Beziehung ihrer Herleitung nach genommen ist.<sup>1)</sup> Ändert sich die Energie des Lichtquants  $E = mc^2$ , so kann dies nach unserer Annahme der Konstanz von  $c$  nur Folge einer Änderung der Masse  $m$  des Lichtquants sein, so daß  $\delta E = c^2 \delta m$ , und dies ist auch in voller Übereinstimmung mit unserer Vorstellung von der Natur der Masse  $m$ , indem dieselbe nur Masse der Energie ist, wonach in der Tat  $E$  und  $m$  einander proportional sein dürfen. Wir haben somit nach dem Energieprinzip die Gleichung  $c^2 \delta m = -kMm/R$ , und also  $\delta m/m = -kM/Rc^2$ , oder auch

$$(c) \quad \frac{\delta E}{E} = - \frac{kM}{Rc^2} .$$

Es nähme also die Masse sowie die Energie des Lichtquants, das ist seine Intensität, beim Weglaufen von der Sonne ab, ohne daß sonst eine Änderung geschieht. Das von der Sonne aufsteigende Lichtquant verhielte sich demnach etwa wie eine Rakete, insofern, als es im Aufstieg Masse hinter sich läßt, die als Masse der potentiellen Energie um die Sonne sich häuft; das Lichtquant zehrt sich dabei allmählich auf.

Doch ist die bisherige Rechnung nur genähert, da im Ausdruck der potentiellen Energie,  $kMm/R$ ,  $m$  als konstant angenommen war. Genau hat man die Differentialgleichung

$$c^2 dm = - \frac{kMm}{r^2} dr ,$$

wo  $r$  ein beliebiger Abstand vom Sonnenmittelpunkt am Wege des Lichtquants ist. Das Integral ist

---

1) Siehe besonders auch die vereinfachte Herleitung in „Ä. u. Urä.“, S. 41 f., aus welcher auch hervorgeht, daß die Beziehung unabhängig von der Relativitäts„theorie“ ist.

$$(c_1) \quad \left\{ \begin{array}{l} m = m_0 e^{-\frac{kM}{c^2} \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right)} \\ \text{und also} \\ E = E_0 e^{-\frac{kM}{c^2} \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right)}, \end{array} \right.$$

wovon obige Gl. c) die Näherung durch Reihenentwicklung für den Fall  $r = \infty$  darstellt. Wird  $r = \infty$ , so bleibt auch nach der exakten Gl. (c<sub>1</sub>) immer noch ein endlicher Wert von  $E$ , sowie auch von  $m$  übrig; das fortlaufende Lichtquant zehrt sich also niemals vollständig auf. Für unsere Sonne ist  $kM/Rc^2 = 2 \cdot 10^{-6}$ , und von dieser sehr geringen Größe wäre also der äußerste Verlust an Lichtintensität, der infolge der Schwere der Lichtquanten zur verkehrten Entfernungsquadrat-abnahme noch hinzukäme. Es besteht für jetzt keine Aussicht, die Wirklichkeit in bezug auf dieses Ergebnis zu Rate zu ziehen; doch haben die bisherigen Beobachtungen in der Tat gar keine merkliche Änderung an den Lichtquanten der Sonne gezeigt<sup>1)</sup>, so daß die gegenwärtige Kenntnis dem Statt-haben des auch sonst einwandfreien Falles c) nicht widerspricht. Wir sind demnach auch hier bei Annahme der oben zusammen-gefaßten Eigenschaften der Lichtquanten auf keine Wider-sprüche gestoßen.

Heidelberg, Radiolog. Institut, 6. August 1928.

---

1) Vgl. über die vielgesuchte „Rotverschiebung“ die betreffende Note beim Falle a).

(Eingegangen 7. August 1928.)

---