Feuilleton.

Die Relativitätstheorie der Physik.

Von H. Boruttau in Berlin.

(Schluß aus Nr. 8.)

Was die Theorie fordert und unzweifelhaft mit Recht behauptet, ist die „Gleichwertigkeit der Bezugssysteme“ unter Verneinung oder Ausschließung des von diesen Losgelösten, „Absoluten“. Der absolute Raum als sogenannte Vorstellung a priori erscheint der Betrachtung des „relativistischen“ Physikers ebenso unzulässig, wie das Kantsche „Ding an sich“ der strengen Kritik des Erkenntnistheoretikers nicht standhalten kann. Es begegnen sich eben theoretische Physik und Erkenntnistheorie darin, daß die Erscheinungen je nach dem Standpunkt der Betrachtung wechseln, daß z. B. der Würfel als ein von sechs gleichen Quadraten begrenzter Körper nur ein Begriff ist, hergeleitet aus der Verbindung der Erfahrungen der Gefühlssinnesehre (Berührungsempfindung, Bewegungs- und Lagegefühl, Ortssinn der Haut) mit denjenigen des Gesichtssinns, für den der Würfel immer nur perspektivisch mit entsprechender Verzerrung seiner Flächen, Verkürzung seiner Kanten etc. erscheinen kann. Bekanntlich ist am weitesten hierin Mach gegangen, der zeigte, daß von optischen „Täuschungen“ eigentlich garnicht gesprochen werden darf, insofern es sich dabei so gut wie bei allen Schätzungen, Messungen etc. um unsere Sinnesempfindungen handelt, die erkenntnistheoretisch das allein gegebene, „Wirkliche“ darstellen¹⁾. Alle Standpunkte sind auch hier gleichwertig, und eine Naturerscheinung erklären, heißt sie von möglichst vielen Standpunkten aus beschreiben.

Dieser Relativismus im weiteren, philosophischen Sinne (relativistische Positivismus nach Avenarius und Mach²⁾) führt zu einer wissenschaftlichen Weltanschauung, wie sie vor einigen Jahren in dieser Wochenschrift³⁾ durch B. v. Kern entworfen wurde. Der physikalischen Relativitätstheorie von Einstein, dem „Weltpostulat“ von Minkowski muß die Formulierung der Naturgesetze entsprechen, und es hat letzterer dementsprechend die Grundgleichungen der Elektrodynamik entwickelt. Mit ihr erscheint auch die Optik von neuen Gesichtspunkten aus, indem mit dem absoluten Raum auch die Annahme des Aethers überflüssig wird und Elektronen vom Verständnis des Elektromagnetismus und Lichtes zur Erforschung des Zerfalls der radioaktiven Substanzen überleiten, von denen wir hier ausgegangen waren. Nun sei aber daran erinnert, daß der Machsche Relativismus, ausgehend von der Analyse der Empfindungen, auf den Forschungen der Sinnesphysiologie beruht, die von medizinisch geschulten Fachphysiologen geleistet wurden — es brauchen hier nur die Namen Helmholtz und Ewald Hering genannt zu werden —, und man wird der Annahme beipflichten, daß die hier kurz behandelten Dinge bereits heute das Interesse oder wenigstens die Kenntnisnahme seitens der Mediziner beanspruchen dürfen.

Im Folgenden sei die elementare Ableitung der Einsteinschen Relativitätstheorie kurz wiedergegeben (nach La Rosa, Der Aether; Leipzig 1912).

In nebenstehender Skizze (Fig. 2) soll eine Plattform sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit v in der Richtung AB bewegen, und auf ihr sich drei Beobachter ABC befinden in zueinander senkrecht stehenden und gleich großen Abständen, welche zwischen sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts messen, durch Absenden und Auffangen von Lichtstrahlen mit zur Fortpflanzungsrichtung senkrechtstehenden Spiegeln. Diese Messung kann in einfachster Weise erfolgen, wenn sie genau gleichgehende Uhren besitzen; sonst wird die Sache durch die notwendige gegenseitige Signalisierung der Gangunterschiede verwickelter, doch in leicht zu erratender Weise. Ein außerhalb stehender Beobachter wird sehen, was den Beobachtern selbst zunächst entgeht, nämlich daß das Licht von A nach C und zurück in Wirklichkeit den Weg AC_1A_2 macht, muß also annehmen, daß der von ihnen gemessene Zeitabstand größer sei, als ihn das Licht benötigt,

¹⁾ E. Mach, Die Analyse der Empfindungen, 6. Aufl. Jena 1906.

²⁾ Derselbe, Erkenntnis und Irrtum, 2. Aufl. 1910. Petzoldt, Das Weltproblem vom Standpunkte des relativistischen Positivismus aus. 2. Aufl. Leipzig 1912. Siehe auch: Ztschr. f. positivistische Philosophie, 2, S. 1, 1914. — ³⁾ 1911, H. 20 und 21.

um einen Weg gleich AC zu durchlaufen; nennen wir ersteren t_1 , letzteren t , so verhalten sie sich wie $AC_1 : AC$ und da nach dem Pythagoras $(AC_1)^2 = (AA_1)^2 + (AC)^2$, so wird $\frac{t_1^2}{t^2} = \frac{(AC_1)^2}{(AC)^2} = 1 + \frac{(AA_1)^2}{AC^2}$, da ja, wie ohne weiteres ersichtlich $A_1C_1 = AC$ ist.

Da ferner AA_1 von A in der Zeit durchlaufen wird, die das Licht gebraucht, um von A nach C_1 zu gelangen, also in t_1 , so ist $AA_1 = v \cdot t_1$ und da $AC = c \cdot t$ ist, so erhält man durch Einsetzen dieser Werte in obige Gleichung: $\frac{t_1^2}{t^2} = 1 + \frac{v^2 t_1^2}{c^2 t^2}$ und durch Ausrechnen auf t_1 :

$$t_1 = t \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Letzteren Bruch kann man auch kurz mit β bezeichnen;

da sein Nenner kleiner als 1 ist, ist t_1 deutlich größer als t . Der außerhalb stehende Beobachter O wird darum meinen, die von A und C gemessene Lichtgeschwindigkeit sei $\frac{c}{\beta}$; wenn er deren Ergebnis C erfährt, so wird er meinen, daß die von ihnen verwendete Maßeinheit der Zeit β mal so groß sei als die seinige!

Was nun die Messung der Lichtgeschwindigkeit zwischen A und B betrifft, so ist dem „außerhalb“ befindlichen Beobachter O klar, daß das Licht, um von A nach B zu gelangen, in Wahrheit eine größere Strecke zu durchlaufen hat, als die feststehende Entfernung AB . Durch die Bewegung der Plattform wird B bis B_1 gelangt sein, und die Entfernung BB_1 wird gleich sein $v \cdot \tau_1$, wo, wie gesagt, v die Bewegungsgeschwindigkeit der Plattform in der Richtung AB darstellt, und τ_1 die Zeit, die das Licht braucht, um von A nach B_1 zu gelangen. Da die relative Geschwindigkeit, mit der das Licht (für den außerhalb gedachten Beobachter O) die bewegte Strecke durchlaufen hat, gleich der Lichtgeschwindigkeit c vermindert um die Geschwindigkeit der „vor dem Lichte fliehenden“ Plattform v ist, so ergibt sich:

$$\tau_1 = \frac{AB}{c - v}$$

Wird das Licht nun, in B_1 angelangt, von dem B -Spiegel zurückgeworfen nach A , so erscheint dem äußeren Beobachter der tatsächlich durchlaufene Raum kleiner als AB , und zwar gleich dieser Länge vermindert um den Wert $v \cdot \tau_2$, wobei τ_2 die Zeit darstellt, die das Bündel braucht, um von B_1 nach A_1 zu gelangen; diese Zeit berechnet sich aus den obigen entsprechender Ueberlegung:

$$\tau_2 = \frac{AB}{c + v}$$

Im ganzen wird die von O bestimmte Zeit des Hin- und Rückweges des Lichtes

$$2 t_2 = \tau_1 + \tau_2 = AB \left(\frac{1}{c - v} + \frac{1}{c + v} \right) = 2 \cdot AB \frac{c}{c^2 - v^2}$$

Erinnern wir uns, daß AB gleich AC sein soll, somit auch wie dieses gleich $c t$ ist und setzen diesen Wert in obige Gleichung ein, so wird

$$2 t_2 = 2 t \frac{c^2}{c^2 - v^2} \cdot c = 2 t \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \text{ oder } 2 t \cdot \beta^2.$$

Das bedeutet also für O , daß es A und B nicht gelingt, ihre Uhren in Uebereinstimmung zu bringen. Während die Zeit, die das Licht „tatsächlich“ braucht, um von A nach B , d.h. also B_1 zu gelangen, τ_1 ist, ist die Angabe, die A dem B mitteilt, und der nach dieser seine Uhr reguliert, t_2 . Die Uhr von B wird gegen die Uhr von A einen Gangunterschied aufweisen, die sich berechnet zu

$$t_2 - \tau_1 = AB \left(\frac{c}{c^2 - v^2} - \frac{c}{c^2} \right) = AB \frac{v}{c^2} = AB \cdot v \cdot \frac{\beta^2}{c^2}$$

Dem entsprechend besitzen alle Uhren des „bewegten Bezugssystems“ für das „ruhende“ gegeneinander einen Gangunterschied, proportional der jeweiligen Entfernung voneinander, der Bewegungsgeschwindigkeit des Systems, zu multiplizieren mit dem oben abgeleiteten Bruch β und zu dividieren mit dem Quadrate der Lichtgeschwindigkeit gleich 300 000 km/sek. Die in der Bewegungsrichtung vorausgehenden Uhren gehen um diesen Betrag vor, die folgenden nach. Jeder Punkt des Systems hat seine eigene Zeitangabe. Für den außerhalb stehenden Beobachter ist aber auch die „wahre“ Zeit, welche A und B für das Durchlaufen des Lichts durch die bewegte Strecke AB gemessen haben, nämlich t_2 , verschieden von derjenigen, welche A und C erhalten haben für das Durchlaufen des Lichtes durch AC , nämlich t_1 . Diese letztere ist gleich $t \beta$, t_2 dagegen gleich $t \beta^2$. Beide verhalten sich wie l zu β . Das Ergebnis, das A und B selbst aus ihren Messungen der Lichtgeschwindigkeit erhalten, ist aber c , derselbe Wert, den auch der „ruhende“ Beobachter O findet oder kennt. Dieser muß, wenn er das erfährt, auf den Gedanken kommen, daß die drei Beobachter auf der Plattform den Längen AB und AC nicht gleiche Werte zuschreiben, vielmehr AB für β mal so groß wie AC halten, sodaß sie nicht erstaunt sind, als für das Licht zum Durchlaufen von AB nötige Zeit einen β mal so großen Wert zu finden, wie zum Durchlaufen von AC , und so die konstante Beziehung erzielen. Nach seinem (O) Urteil kann das aber nur geschehen, wenn die Beobachter auf der Plattform in der Richtung der Bewegung eine Längeneinheit verwenden, die im Verhältnis $l : \beta$ kleiner ist als in der darauf senkrechten Richtung!

Zur unmittelbaren Veranschaulichung der wiedergegebenen Transformationsgleichungen hat E. Cohn (Himmel und Erde 23, S. 117, 1910) auch ein Modell konstruiert, welches von Rohmann in der Physik. Ztschr., 12, S. 1227, 1911, beschrieben ist.