

Schimank

1920

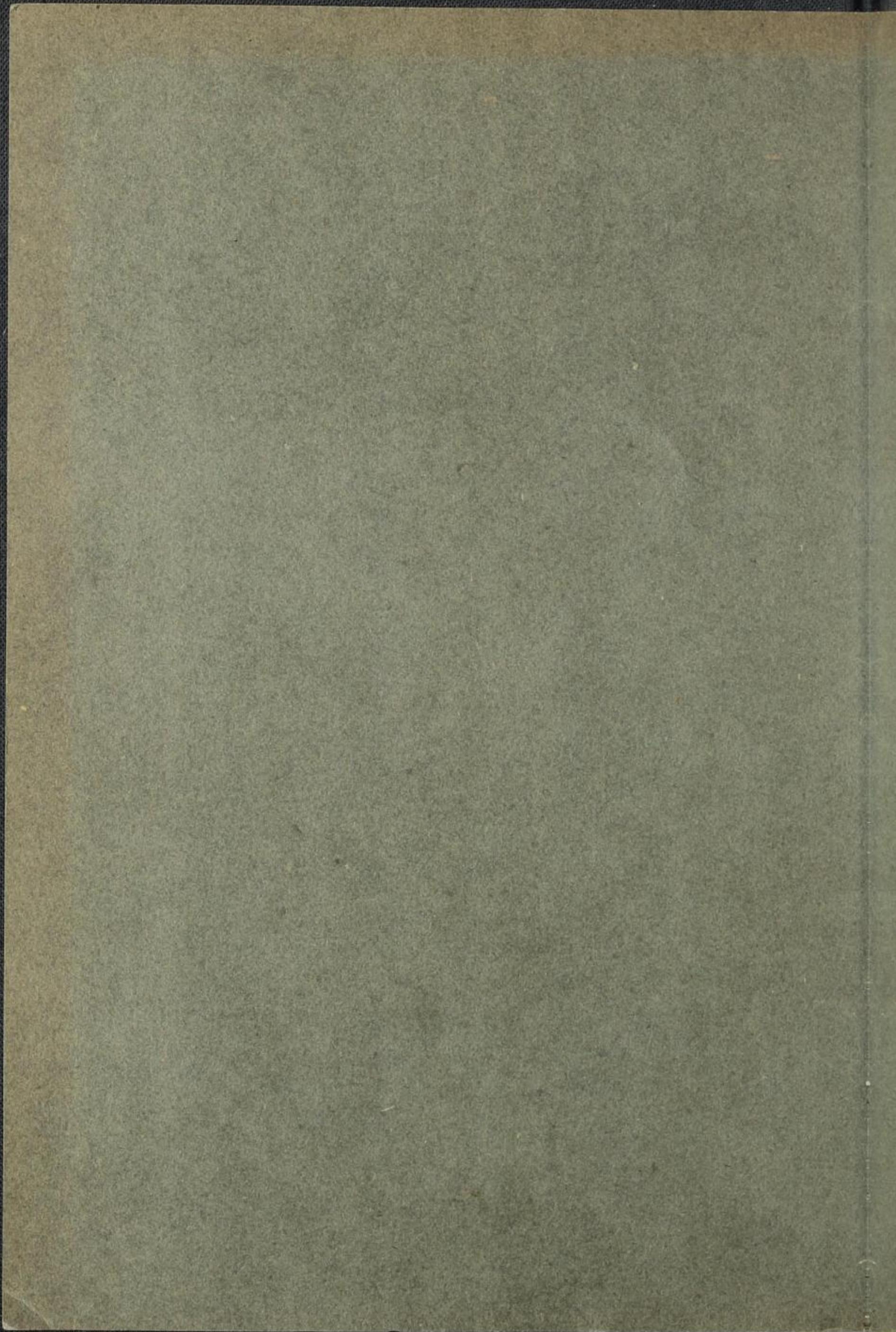
Sächsische

28 8°

1218

K(A-B/9) 10 000 1/329

Landesbibl.



Gespräch

über die

**Einsteinsche
Theorie**

**Versuch einer Einführung
in den Gedankenkreis**

von

Dr. Hans Schimank

**Dozent am Technischen Vorlesungswesen und
an den Technischen Staatslehr-
anstalten Hamburgs**

1.-10. Tausend



Berlin NW 6 / 1920

SIEGFRIED SEEMANN VERLAG

GESPRÄCH
ÜBER DIE
EINSTEINSCHEN
THEORIE

VERSUCH EINER EINFÜHRUNG
IN DEN GEDANKENKREIS

VON

DR. HANS SCHIMANK

DOZENT AM TECHNISCHEN VORLESUNGSWESEN
UND AN DEN TECHNISCHEN STAATS-
LEHRANSTALTEN HAMBURG

1.—10. TAUSEND



BERLIN NW 6 / 1920

SIEGFRIED SEEMANN VERLAG

489/2...

70/5...

Copyright by S. Seemann, Berlin NW. 6.

1920.

Sächsische
Landesbibliothek
Dresden

320,33
x

Druck von Gerhard Stalling, Oldenburg i. O.

1953 IV 6 56

GOTTFRIED JAHN

ZUGEEIGNET

Vorwort.

Die nachfolgenden Auseinandersetzungen haben keinerlei wissenschaftliche Ambitionen, wie wohl schon die Form ihrer Einkleidung beweist. Wenn eine Art von Problemstellung bei Abfassung der Schrift stattfand, so war es höchstens diese: Wie läßt sich eine Theorie von der Art der Einsteinschen in Sätze fassen, die dem ernsthaften Dilettanten — im Goetheschen Sinne — ein Verständnis des Inhalts vermitteln, ohne von der Schärfe des Gedankens allzuviel aufzugeben.

Es ist grundsätzlich auf jede mathematische Formel verzichtet worden. Denn den Laien interessiert nicht die quantitative Seite der Angelegenheit, sondern allein der Grundgedanke und das Ergebnis. Den Übermut, so vielen kurzen Darstellungen der Relativitätstheorie eine neue hinzuzufügen, schöpfte der Verfasser aus der Überzeugung, daß der Fortschritt des menschlichen Erkenntnisvermögens gefördert wird, wenn der Anschauungskreis der allgemeinen Relativität von möglichst vielen Gehirnen schnell assimiliert wird. Im übrigen gibt er seiner eigenen Darstellung das Motto, das er manchen vorangegangenen gleichfalls geben würde:

Wenn die Könige bauen, haben die Kärner zu tun.

Hamburg, im Oktober 1920.

Wie gut, daß Sie kommen, Herr Doktor," sagte die junge Frau Agna zu dem gerade eintretenden Dr. Hellfried, indem sie ihm die Hand bot, „wir zerbrechen uns eben den Kopf darüber, was man sich unter der Einsteinschen Relativitätstheorie vorzustellen hat. Niemand weiß etwas Richtiges darüber. Kommen Sie, Doktorchen, setzen Sie sich zu mir und würzen Sie uns den Tee durch einen kleinen Vortrag über dieses Thema.“

„Was Sie da von mir verlangen, ist nicht ganz einfach, verehrte gnädige Frau. Aber ich will immerhin versuchen, wenigstens die Grundgedanken der Relativitätstheorie herauszuarbeiten. Ob mir das in kurzen Worten und ohne Zuhilfenahme der Mathematik gelingen wird, ist freilich eine andere Frage. Um mit etwas ganz Einfachem zu beginnen: Ist Ihnen in der elektrischen Straßenbahn oder im fahrenden Eisenbahnzuge schon einmal etwas heruntergefallen, gnädige Frau?“

„Ja, gewiß! Aber was hat das mit der Relativitätstheorie zu tun?“

„Mehr als es scheint. Wenn Sie sich nämlich dieses ganz alltäglichen Vorganges erinnern, wird es Ihnen vielleicht jetzt, da ich Sie darauf aufmerksam mache, seltsam erscheinen, daß ein Apfel in einer fahrenden Bahn

ebenso gerade herabfällt wie hier im Zimmer. Es ist doch eigentlich sonderbar, daß die Fahrbewegung so gar keinen Einfluß darauf hat, und sozusagen keimhaft steckt auch in dieser Beobachtung schon die ganze Relativitätstheorie. Der Fall eines Apfels ist nämlich nur ein besonders einfaches Beispiel eines sogenannten mechanischen Vorganges, und die Erfahrung lehrt, daß solche Vorgänge in einem bewegten Gefährt sich genau in derselben Weise abspielen wie in einem stillstehenden. Sie haben ja in der Schule etwas von den Fallgesetzen gehört. Diese Fallgesetze bestehen in nichts anderem, als in der Behauptung eines bestimmten Zusammenhangs zwischen meßbaren Größen, zum Beispiel zwischen der Strecke, die der Apfel durchfällt, seinem Fallweg, und der Zeit, die er dazu braucht, der Fallzeit. Die gegenseitige Abhängigkeit dieser beiden Größen, die jederzeit durch entsprechende Versuche festgestellt werden kann, ist eines der Fallgesetze und läßt sich, wenn man Wert darauf legt, in eine ganz bestimmte mathematische Formel kleiden. Ebenso gut kann man auch Zusammenhänge zwischen andern meßbaren Größen, etwa zwischen der Länge eines Uhrpendels und der Zeitdauer seiner Schwingung, aufsuchen und in Form eines Gesetzes aussprechen. Die Physik ist nichts anderes, als ein System derartiger Gesetze, ein nach einheitlichen Gesichtspunkten geordnetes Schema gegenseitiger Abhängigkeiten von meßbaren Größen. Eine Sondergruppe im System der Physik bilden die mechanischen Gesetze, von denen wir zuerst sprachen. Und für sie alle gilt unsere anfängliche Feststellung, daß es nämlich — selbst mit den feinsten Mitteln physikalischer

Meßkunst — nicht gelingt, im Ablauf dieser Erscheinungen einen Unterschied festzustellen, wenn sie das eine Mal in einem stillstehenden, ein anderes Mal in einem fahrenden Eisenbahnwagen vor sich gehen. Unerläßlich ist dabei die Bedingung, daß der Wagen mit gleichförmiger Geschwindigkeit und ganz geradeaus fährt. Diese Tatsache pflegt man das Relativitätsprinzip der Mechanik, oder wohl auch das „klassische“ Relativitätsprinzip zu nennen. Wollen wir es möglichst knapp formulieren, so läßt es sich etwa folgendermaßen aussprechen: Die Form der mechanischen Gesetze bleibt unverändert beim Übergang von einem ruhenden zu einem gleichförmig geradlinig gegen das ursprüngliche bewegten Bezugssystem.

Sie wollen gewiß fragen, was das heißen soll: Übergang von einem Bezugssystem zu einem andern; was überhaupt unter einem Bezugssystem zu verstehen ist. Lassen Sie mich damit beginnen. Wenn wir die Beschreibung irgendeines Ereignisses geben, so stellen wir damit eine Beziehung her zwischen dem Geschehen und unserm Bewußtsein, das an die Existenz unseres Körpers geknüpft ist. Handelt es sich bei der Beschreibung um die Wiedergabe zahlenmäßiger Zusammenhänge, die auf Messungen beruhen, so müssen wir die Beschreibung durch Angabe der Begleitumstände vervollständigen, unter denen die Beobachtung erfolgte. Wir müssen beispielsweise angeben, ob wir einen Vorgang vom Fenster unseres Zimmers aus verfolgten oder vom Fenster eines dahinfahrenden Automobils. Unsern jeweiligen Standort, den Aufenthaltsraum, der uns und unsere Apparate aufnimmt, wollen wir als das „Bezugssystem“ bezeichnen. Ein Übergang von

einem Bezugssystem zu einem andern erfolgt, wenn wir statt unserer ursprünglichen Beschreibung des beobachteten Vorganges eine zweite von einem veränderten Standpunkt aus geben. Stehen wir — um ein Beispiel zu wählen — auf einem Bahnsteig und sehen einen Fernzug in der Halle halten, so sagen wir von diesem Standpunkt aus: der Fernzug steht still. Besteigen wir jetzt etwa einen Vorortzug, der sich früher als der Fernzug in Bewegung setzt, so sagen wir von diesem veränderten Standpunkt aus: der Fernzug gleitet an unsern Blicken vorüber. Wir haben also einen Übergang von einem Bezugssystem zu einem andern vollzogen. Mit demselben Rechte, mit dem wir sagten, der Fernzug gleitet an unsern Blicken vorüber, kann übrigens ein Reisender, der sich im Fernzuge befindet und unsern Vorortzug betrachtet, sagen: der Vorortzug gleitet an meinen Blicken vorüber.“

„Das scheint mir aber nicht ganz zu stimmen,“ mischte sich hier einer der anwesenden Herren ein, „schließlich ist es doch ihr Vorortzug, der sich bewegt, denn nur seine Räder drehen sich, während die des Fernzuges es nicht tun.“

„Diese Tatsache will ich Ihnen gern zugeben,“ erwiderte Dr. Hellfried, „sie spricht aber durchaus nicht gegen meine Darlegungen. Wenn Sie sagen, der Vorortzug bewegt sich, so versetzen Sie sich instinktiv auf den Bahnsteig, d. h. Sie nehmen die Erde als Bezugssystem und behaupten mit Recht, daß ihr gegenüber der Vorortzug sich bewegt. Die Angelegenheit gewinnt sogleich ein anderes Gesicht, wenn Sie sie einmal vom Standpunkt der nächsthöheren Instanz in unserm Weltsystem, vom Stand-

punkt der Sonne aus, betrachten. Ich will Ihnen rein gedanklich sogleich einen Fall konstruieren, in dem für einen Beobachter, der sich auf der Sonne befindet, der Vorortzug als das Stillstehende erscheint. Die Erde führt bekanntlich im Laufe eines Tages eine Umdrehung um ihre Achse aus. Denken Sie sich jetzt in der Nähe des Nordpols einen Schienenring genau auf den 88. Breitengrad verlegt und einen Zug, der entgegengesetzt der Richtung der Erdrotation auf diesem Schienenstrang den Pol umkreist. Wenn er seine Rundfahrt gerade in 24 Stunden vollendet, so verändert sich für die Reisenden dieses Zuges der Stand der Sonne am Himmel nicht, das heißt umgekehrt, daß auch von der Sonne aus gesehen der Standort des Zuges sich nicht ändert. Ein Sonnenbewohner wird daher behaupten, daß der Zug stillsteht und daß seine Räder sich nur drehen, weil die Erde samt der Bahnhofshalle unter ihm fortrollt. Unser Beispiel zeigt also augenscheinlich, daß es nur Sinn hat, von der Bewegung eines Körpers in bezug auf einen andern, von einer relativen Bewegung zu sprechen."

„Ich glaube, lieber Herr Doktor, das haben wir jetzt alle verstanden,“ wandte Frau Agna sich an den Redner, „wenigstens bilde ich mir ein, mit den Worten „relative Bewegung“ künftig eine richtige und klare Vorstellung zu verbinden.“

Doktor Hellfried quittierte diese Feststellung mit einer leichten, scherzhaften Verneigung gegen die Dame des Hauses und fuhr darauf in seiner Auseinandersetzung fort:

„Wir hatten vorhin festgestellt, daß der Verlauf der

mechanischen Vorgänge in allen Systemen, die relativ zueinander gleichförmig und geradlinig bewegt sind, der gleiche ist, daß beim Übergang von einem zum andern System die Form der Gesetze keine Veränderung erleidet. Wenn es Ihnen Vergnügen macht, die Aussage dieses letzten Satzes in ein ganz wissenschaftliches Gewand zu kleiden, so können Sie anstatt: Übergang von einem Bezugssystem zu einem andern, das gegen das erste gleichförmig und geradlinig bewegt ist, kurz sagen „Galileitransformation“ und statt: Die Form der Gesetze erleidet keine Veränderung, „die Gesetze bleiben invariant“. Dann läßt sich das klassische Relativitätsprinzip, das die Summe aller bisher gemachten mechanischen Erfahrungen einschließt, in die lapidaren Worte kleiden: Die mechanischen Gesetze sind gegenüber jeder Galileitransformation invariant. Sie bemerken wohl, daß damit zwei Einschränkungen gemacht sind. Die Unveränderlichkeit der Form gilt nämlich zunächst nur für die mechanischen Gesetze und des ferneren nur dann, wenn die Bezugssysteme relativ zueinander gleichförmig und geradlinig bewegt sind. Wie schön wäre es, wenn man diese beiden Einschränkungen nicht zu machen brauchte. Ob wir aber berechtigt sind, sie fallen zu lassen, darüber kann nur die Erfahrung, nur das Experiment entscheiden. In welchem Sinne diese Entscheidung erfolgt ist, wollen wir sogleich näher betrachten. Bei der großen Bedeutung, die das oben formulierte klassische Relativitätsprinzip hat, möchte ich aber doch seine Aussage nochmals in etwas veränderter Form wiederholen, um es Ihnen ganz besonders eindringlich zu machen.

Bei der Beschreibung mechanischer Vorgänge gibt es kein bevorzugtes Bezugssystem. Alle relativ zueinander geradlinig und gleichförmig bewegten Systeme sind unter sich gleichberechtigt. Das heißt andererseits auch, es existiert kein mechanischer Vorgang, kein mechanisches Instrument, kein nur mit mechanischen Hilfsmitteln angestellter Versuch, durch den wir innerhalb eines gleichförmig geradlinig bewegten Systems, zum Beispiel in einem Eisenbahnwagen oder in einer Schiffskabine, die Bewegung des Systems feststellen können. Damit schalten für diesen Zweck zugleich alle physikalischen Vorgänge aus, die sich mechanisch deuten lassen, und es bleiben nur die elektromagnetischen übrig, die Erscheinungen des Magnetismus, der Lehre von der Elektrizität und der Lehre vom Licht, für die alle Versuche einer mechanischen Erklärung bisher fehlgeschlagen sind. Der Lichtäther, ein besonderer mit recht einander widersprechenden Eigenschaften ausgestatteter Stoff sollte der Träger dieser Phänomene sein und den gesamten Raum zwischen den materiellen Körpern erfüllen. Da die Ergebnisse gewisser physikalischer Versuche uns nötigen, diesen Äther als ruhend gegenüber den Körpern anzunehmen, so hätte es offenbar Berechtigung, wenn wir eine Bewegung relativ zu ihm als absolute Bewegung bezeichnen.

Auf Grund dieser Überlegungen hat der amerikanische Physiker Michelson ein Experiment erdacht und ausgeführt, durch welches die Bewegung der Erde gegenüber dem Weltäther sich unbedingt bemerkbar machen mußte. Aber der Versuch blieb ergebnislos, obwohl er aufs Sorgfältigste angestellt wurde, obwohl er so eingerichtet war,

daß bereits ein ganz geringer Bruchteil der vorausberechneten Wirkung hätte wahrgenommen werden können, und obwohl er unter allen erdenklichen Vorsichtsmaßregeln nochmals von Michelson in Gemeinschaft mit Morley wiederholt wurde. Dies bedeutet, daß auch das Licht einem Beobachter innerhalb eines bewegten Systems kein Mittel bietet, die Bewegung dieses Systems festzustellen.

Sollte uns hierdurch nicht nahegelegt werden, unser Relativitätsprinzip zu erweitern, es auch auf die elektromagnetischen Erscheinungen auszudehnen und zu sagen: Die Form *s ä m t l i c h e r* Naturgesetze bleibt unverändert beim Übergang von einem Bezugssystem zu einem andern, das relativ zum ersten gleichförmig und geradlinig bewegt ist? Eine derartige Erweiterung des Relativitätsprinzips würde nichts anderes bedeuten, als das Fallenlassen der ersten Einschränkung, nach der nur die mechanischen Gesetze gegenüber jeder Galileitransformation invariant sein sollten. Zunächst wählten die Physiker diesen Ausweg nicht, um das Mißlingen des Michelsonschen Versuches zu erklären. Lorentz und Fitzgerald machten vielmehr die Annahme, daß jeder bewegte Körper in der Bewegungsrichtung eine Verkürzung erfährt, die von der Geschwindigkeit seiner Bewegung abhängig ist und mit ihr wächst. Wenn durch solche Hilfsannahme auch das Ausbleiben des Erfolges bei dem Michelson-Morleyschen Experiment erklärt werden kann, so hat doch ein derartiger Ausweg etwas sehr Unbefriedigendes, denn er stellt eine dem sonstigen System der Physik recht fremdartige Hypothese dar.

Erst Einstein zog entschlossen aus dem ergebnislosen

Versuch Michelsons die Folgerung, die uns vorhin so nahe-
liegend und verlockend erschien. Er stellte zwei Forde-
rungen, zwei Postulate, an den Anfang seiner Theorie, die
man als spezielle Relativitätstheorie zu bezeichnen pflegt,
nämlich das Postulat der Relativität und das Postulat von
der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit. Das Relativitäts-
postulat haben wir bereits ausgesprochen, es besagt, wenn
wir es einmal etwas anders ausdrücken, daß es unmöglich
ist, eine absolute Bewegung festzustellen, daß es nur Sinn
hat, von relativen Bewegungen zu sprechen, von Be-
wegungen in bezug auf einen andern Körper, den man
willkürlich als ruhend gelten läßt. Das Postulat von der
Konstanz der Lichtgeschwindigkeit fordert, daß für diese
Geschwindigkeit in allen Systemen der gleiche Zahlenwert
gefunden wird, und daß keine andere meßbare Geschwin-
digkeit die Lichtgeschwindigkeit zu erreichen oder gar zu
übersteigen vermag. Beide Forderungen sind mit der Er-
fahrung, d. h. mit den Ergebnissen aller bisher angestellten
physikalischen Versuche durchaus in Übereinstimmung.

Nun werden Sie alle die letzte Forderung etwas eigen-
tümlich finden, denn man kann sich unschwer Bewegungen
denken, die mit Überlichtgeschwindigkeit vor sich gehen.
Aber sonst wird Ihnen die Einsteinsche Theorie zunächst
nicht besonders umstürzlerisch vorkommen. Bei näherem
Zusehen zeigt sich jedoch bald ihr wahrhaft revolutionärer
Charakter. Nichts ist ihr heilig. Unsere ältesten, so ver-
trauensvoll und gläubig hingenommenen Begriffe von
Raum und Zeit wirft sie über den Haufen, sie stürzt sie
von den Thronen, die sie innehatten, solange überhaupt
eine abendländische Naturwissenschaft und Philosophie

existiert. Mit der absoluten Bewegung wandern auch die absolute Länge und die absolute Zeit in die Rumpelkammer und der Äther findet höchstens dem Namen nach bei einigen gutmütigen Physikern noch Unterschlupf.

Lassen Sie mich nun versuchen, das, was ich eben in wenigen Zügen skizziert habe, etwas mehr im einzelnen auszuführen. — Wenn man das Prinzip der Relativität mit dem Prinzip von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit vereinigen will, ist es, wie ich schon andeutete, notwendig, zwei Annahmen aufzugeben, die bisher niemand auf ihre Richtigkeit geprüft hat, weil jeder sie als selbstverständlich hinnahm. Es sind die Annahmen, daß die Länge eines Maßstabs jedem Beobachter gleichgroß erscheint, und daß zwei Ereignisse, die ein ruhender Beobachter als gleichzeitig bezeichnet, es auch für einen bewegten sind. Stellt man sich auf den Boden der Einsteinschen Theorie, so gelten sie nicht. Je nach seinem Bewegungszustande beurteilt dann der Beobachter die Länge eines Maßstabes und die Größe eines Zeitunterschiedes verschieden, Längendifferenzen erscheinen einem relativ zu ihnen bewegten Beobachter verkleinert, Zeitdifferenzen vergrößert.

Zu den gleichen Konsequenzen hatte auch schon die Lorentz-Fitzgeraldsche Annahme geführt. Da sie aber für unsern traditionellen Vorstellungskreis höchst paradox wirken, will ich versuchen, Ihnen wenigstens zu zeigen, daß der Begriff der absoluten Gleichzeitigkeit einer gründlicheren Kritik nicht standzuhalten vermag."

Hier wurde der Redner durch den Eintritt eines neuen Gastes, einer jungen Malerin, unterbrochen. Nachdem sich

die unvermeidliche Unruhe, die dadurch in die Gesellschaft gekommen war, gelegt hatte, und nachdem man die Dame kurz über das Thema orientiert hatte, fuhr Dr. Hellfried fort:

„Nehmen Sie einmal an, meine Damen und Herrn, Sie führen in einem Auto mit großer Geschwindigkeit die Charlottenburger Chaussee entlang. Die Geschwindigkeit des Autos möge etwas über 100 Kilometer in der Stunde betragen, was einer Geschwindigkeit von rund 30 m in der Sekunde entsprechen würde. Am Großen Stern stehe der Schutzmann Busekow und je 300 m von ihm entfernt, sowohl in der Richtung nach Charlottenburg, wie in der Richtung nach dem Brandenburger Tor ein anderer Schutzmann. Wenn Busekow die Hand hochhebt, geben seine beiden Kameraden Schulze 1 und 2 ein Pfeifensignal. Busekow hört diese Pfiffe gleichzeitig und rund eine Sekunde nachdem er die Hand hochgehoben hat; denn der Schall hat aus beiden Richtungen die gleiche Strecke bis zu ihm zurückzulegen und braucht dazu, wie Sie von der Schule noch wissen werden, eine Sekunde. Wie nimmt sich aber dieser Vorgang für Sie aus, wenn Sie in Ihrem Auto gerade in dem Augenblick an Busekow vorbeisausen, wo er die Hand aufhebt? Dem Schutzmann Schulze 1 fahren Sie entgegen, und da Ihre Fahrgeschwindigkeit ein Zehntel der Schallgeschwindigkeit beträgt, so hören Sie seinen Pfiff eine Zehntelsekunde früher, den Pfiff des Schutzmanns Schulze 2, von dem Sie sich entfernen, hören Sie eine Zehntelsekunde später als der bewußte Busekow. Zwei Ereignisse, die für ihn gleichzeitig sind, weisen für Sie einen zeitlichen Unterschied von zwei

Zehntelsekunden auf. Oder wenn wir dies Ergebnis allgemein ausdrücken: Für einen bewegten Beobachter sind zwei Ereignisse nicht gleichzeitig, die es für einen ruhenden Beobachter sind. Damit ist aber dasjenige, was wir aus unserm Beispiel lernen können, noch nicht erschöpft. Wir wollen uns nämlich einmal überlegen, wie sich denn der Vorgang ausnehmen würde, wenn Sie recht gemächlich in einer Pferdroschke an dem Schutzmann Busekow vorüberzuckeln. Wenn Sie Ihre Fahrgeschwindigkeit in diesem Fall sehr optimistisch auf 3 Meter in der Sekunde veranschlagen, so würde das bedeuten, daß der Zeitunterschied der beiden Piffe für Sie nur zwei Hundertstelsekunden beträgt. Das ist aber eine Zeitdifferenz, die Sie wegen der Unvollkommenheit unseres Ohres nicht mehr wahrnehmen könnten. Sie würden ebenso wie Busekow behaupten, die Piffe gleichzeitig gehört zu haben und würden aus Ihrer eigenen Wahrnehmung und der seinen den falschen Schluß ziehen, daß die Gleichzeitigkeit zweier Ereignisse absolute Bedeutung hat, daß sie unabhängig ist vom Bewegungszustande des Beobachters. Haben Sie aber zuvor in Ihrem schnellfahrenden Automobil die Beobachtung gemacht, daß es eben doch nur eine relative Gleichzeitigkeit gibt, so werden Sie zur Erklärung des zweiten scheinbar widersprechenden Erlebnisses anführen, daß die Ungleichzeitigkeit zweier Ereignisse erst bei großen Geschwindigkeiten wahrnehmbar wird. Auf dieselbe Weise erklärt sich auch, wieso man bisher immer dem Begriff der Gleichzeitigkeit absolute Bedeutung beigemessen hat. Wir brauchen nur unser Beispiel aus dem Akustischen und Berlinischen ins Optische und Kosmische zu übertragen,

brauchen nur an Stelle der Schallgeschwindigkeit die Lichtgeschwindigkeit und an Stelle der Pferdedroschke die um die Sonne laufende Erde zu setzen. Wenn wir dies tun und uns die entsprechenden Zahlenwerte vor Augen halten, sehen wir sehr schnell, daß die Erdgeschwindigkeit von 30 Kilometer in der Sekunde recht klein ist gegenüber der Lichtgeschwindigkeit von 300 000 Kilometer in der Sekunde.

Wenn also etwa die Folgerungen aus der Einsteinschen Relativitätstheorie auf ängstliche Gemüter erschreckend und verwirrend wirken, so dürfen sie sich damit trösten, daß alle diese Erscheinungen erst bei Geschwindigkeiten merklich werden, die an Größe der Lichtgeschwindigkeit nahekommen. Für unsere geringfügigen irdischen und kosmischen Geschwindigkeiten bleibt praktisch alles wie bisher.

Fassen wir, bevor wir weitergehen, unsere bisherigen Ergebnisse nochmals kurz zusammen! Die Erfahrung lehrt, daß wir immer nur relative Bewegungen feststellen können, niemals absolute. Sie lehrt ferner, daß wir für die Lichtgeschwindigkeit stets den gleichen Wert finden. Erheben wir diese Tatsachen zu Forderungen, so können wir ihnen in logisch widerspruchsfreier Weise nur genügen, wenn wir den Begriff der Gleichzeitigkeit ebenfalls seiner Absolutheit berauben. Der Zeitunterschied zweier Ereignisse ist ein relativer und hängt vom Bewegungszustand des Beobachters ab. Absolute Bewegung und absolutes Zeitmaß sind Begriffe, die keine physikalische Gültigkeit haben, rein gedankliche Konstruktionen, die nirgendwo in der Natur in Erscheinung treten. Ebensowenig existiert

ein absolutes Raummaß. Auch seine Relativität ist eine unvermeidliche Konsequenz der Einsteinschen Grundannahme. Die nur relative Geltung des Zeitmaßes zieht die gleiche Erscheinung für das Raummaß nach sich, weil in den mathematischen Formeln, in die sich der Inhalt der speziellen Relativitätstheorie am prägnantesten und kürzesten fassen läßt, stets Strecken und Zeiten gemeinsam auftreten, also in gegenseitiger Abhängigkeit stehen. Diese Tatsache ist es, die den formalen Vollender der speziellen Relativitätstheorie, Hermann Minkowski, zu dem bekannten Ausspruch veranlaßt hat: „Von Stund an sollen Raum für sich und Zeit für sich völlig zu Schatten herabsinken und nur noch eine Art Union der beiden soll Selbstständigkeit bewahren.“

Strecken erscheinen verkürzt, Zeitunterschiede verlängert, für alle Bewegungen gilt Relativität. Was heißt das, wenn wir es an einem konkreten Beispiel betrachten. Längenmessungen können wir nur vornehmen, wenn wir Maßstäbe haben, Zeitmessungen nur mit Hilfe von Uhren. Jetzt wollen wir uns Herrn Dr. Schmidt und Herrn Dr. Bröger je mit einem Maßstab von einem Meter Länge und einer Anzahl Uhren ausgerüstet denken, die unter sich vollkommen gleichgehen, wenn wir sie hier nebeneinander stellen und auf ihren Gang hin vergleichen. Nun lassen wir jeden der Herrn samt Maßstab, Uhren und einer Anzahl Gehilfen einen Extrazug besteigen. An den Fenstern dieser gleichlangen Züge stellen sie ihre Uhren so auf, daß man sie von außen her ablesen kann, und mittels ihres Maßstabes messen sie jeder die Länge seines Zuges. Setzen sich die beiden Züge nun von verschiedenen Stationen

aus gegeneinander in Bewegung, so findet jeder der mitreisenden Herrn, daß alles beim Alten geblieben ist, daß seine Uhren nach wie vor richtig gehen, und daß seine Zuglänge dieselbe ist wie auf der Station. Beobachtet nun aber Herr Dr. Schmidt den Gang der Uhren des Herrn Dr. Bröger, wenn die beiden Züge mit voller Geschwindigkeit aneinander vorüberrasen, und läßt er von seinen Gehilfen zugleich die Länge des andern Zuges dabei messen, so findet er, daß die Brögerschen Uhren gegenüber den seinen nachgehen, und daß der vorbeifahrende Zug kürzer ist als sein eigener. Vollkommen das gleiche findet aber auch Herr Dr. Bröger. Ihm scheinen gegenüber seinen Uhren die Schmidtschen nachzugehen und der Schmidtsche Zug scheint ihm kürzer zu sein als sein eigener. Jeder der beiden Herrn hat recht mit seiner Behauptung, denn Herr Dr. Bröger bewegt sich relativ zu Herrn Dr. Schmidt und Herr Dr. Schmidt relativ zu Herrn Dr. Bröger."

„Das ist in der Tat reichlich paradox, daß zwei Behauptungen, die sich nach den Grundsätzen der normalen Logik ausschließen, miteinander verträglich sein sollen, aber in der Relativitätstheorie scheint man sich an die unbegreiflichsten Dinge gewöhnen zu müssen. Ich muß ganz ehrlich gestehen, daß ich da nicht mitkomme,“ meinte Dr. Schmidt, der sich ganz unvermuteterweise in die Einsteinsche Theorie hineingezogen sah.

„Mir kommt es nicht so völlig unwahrscheinlich vor,“ bemerkte hierzu die Malerin, „beobachtet man nicht in der Perspektive etwas, was mit dieser Behauptung der Relativitätstheorie eine vage Ähnlichkeit hat? Wenn ich von irgendeinem Menschen etwas weiter entfernt bin, er-

scheint er mir kleiner, als wenn er neben mir steht. Und ihm geht es mit mir nicht anders. Auch hier behauptet doch jeder vom andern, daß er kleiner sei.“

„Dieser Vergleich hat manches für sich, wenn er auch hinkt wie alle Vergleiche,“ nahm Dr. Hellfried wieder das Wort. Eines haben die beiden verglichenen Erscheinungen unbedingt gemeinsam — und das wird Ihnen vielleicht eine Art Erklärung der relativistischen Paradoxieen geben —, in beiden Fällen wendet nämlich jeder Beobachter seine zu ihm gehörigen Meßwerkzeuge zu Messungen eines Objektes an, auf das sie unmittelbar nicht angewendet werden können, weil es sich unter andern Bedingungen, an einem andern Ort beziehungsweise in einem andern Bewegungszustande befindet. Um übrigens allen Mißverständnissen vorzubeugen, möchte ich nochmals darauf hinweisen, daß nur bei enorm großen Geschwindigkeiten die Verkürzungen von Maßstäben und die Gangdifferenzen von Uhren meßbare Beträge erreichen. In unserm Zugbeispiel müßten die Züge mit einer Geschwindigkeit von vielleicht 100 000 Kilometern in der Sekunde aneinander vorüberfahren, damit eine Änderung der Zuglänge und ein Nachgehen der Uhren festzustellen wäre. Ich kann es nicht als meine Aufgabe betrachten, Sie mit noch mehr Einzelheiten der Relativitätstheorie bekannt zu machen, zumal manche wichtigen physikalischen Begriffe vielen von Ihnen fremd sein werden. Deswegen will ich von den weiteren Ergebnissen der speziellen Relativitätstheorie nur noch zwei anführen. Selbst auf die Gefahr hin, daß Sie sie nicht völlig verstehen.

Die Relativität der Raum- und Zeitmessung bedingt,

daß auch die Geschwindigkeit, mit der ein Körper sich bewegt, von verschiedenen Beobachtern verschieden beurteilt wird, je nach der Bewegung des Systems, dem sie zugehören, relativ zu dem bewegten Körper. Geht zum Beispiel ein Reisender den Gang eines in Fahrt befindlichen D-Zuges entlang und zwar in der Fahrtrichtung, so stellen die Mitreisenden seine Geschwindigkeit fest, indem sie die Länge seines Weges mit ihren Maßstäben ausmessen und durch die Zeit dividieren, die er nach Angabe ihrer Uhren dazu braucht. Einem Beobachter, der am Bahndamm steht, erscheint aber die Strecke, die der Reisende durchschritt, kürzer, die Zeit, die er dazu brauchte, länger, von ihm aus betrachtet, ist die Gehgeschwindigkeit des Reisenden im Zuggang eine kleinere als nach Ansicht der Mitreisenden. In etwas abstrakterer Fassung heißt das, wenn ein System A relativ zu einem System B eine bestimmte Geschwindigkeit hat und ein Körper C relativ zu B eine bestimmte andere, so ist die Gesamtgeschwindigkeit des Körpers C von A aus gemessen kleiner als die Summe der beiden relativen Werte; denn die von B aus vorgenommene Bestimmung ist eben nur von B aus gültig und trifft nicht ohne weiteres auch für A zu. Von A aus beurteilt ist die relative Geschwindigkeit von C gegenüber dem System B kleiner, und somit ist es auch die Summe. Rein gedanklich kann man zwei Geschwindigkeiten, die der Lichtgeschwindigkeit nahe kommen, zu einer Überlichtgeschwindigkeit addieren. Man kann sich zum Beispiel von einem Körper, der mit $\frac{3}{4}$ Lichtgeschwindigkeit fliegt, ein Geschoß etwa gleichfalls mit $\frac{3}{4}$ Lichtgeschwindigkeit abgeschossen denken. Von dem ruhen-

den System aus gemessen, hat die Geschößgeschwindigkeit dann bei weitem nicht diesen Wert. Durch Summierung zweier Unterlichtgeschwindigkeiten kann unter keinen Umständen eine Überlichtgeschwindigkeit erzielt werden. Die Lichtgeschwindigkeit stellt eine Grenzgeschwindigkeit dar, der man wohl nahekommen, die man aber niemals überschreiten kann.

Das wissenschaftlich belangvollste Ergebnis der speziellen Relativitätstheorie ist schließlich die Erkenntnis, daß die beiden wichtigsten Größen der Physik, Masse und Energie, einander gleichwertig, daß sie äquivalent sind. Nimmt ein Körper Energie auf, so wächst damit seine Masse um einen bestimmten Betrag, und umgekehrt, das, was wir als Masse bezeichnen, kann aufgefaßt werden als ein außerordentlich großer Energievorrat. Die fundamentalen Sätze von der Erhaltung der Masse und von der Erhaltung der Energie fließen in einen einzigen zusammen.

Damit wäre das Wesentliche über die spezielle Relativitätstheorie gesagt. Wenn es Ihnen recht ist, gnädige Frau, brechen wir hier für eine Weile ab, um uns später noch über die allgemeine Relativitätstheorie etwas zu unterhalten.“

Für einige Zeit löste sich die Gesellschaft jetzt in zwanglos plaudernde Gruppen auf, die sich über die verschiedenen Räume des Hauses verstreuten. Nachdem sich auf die Aufforderung der Dame des Hauses alle wieder in der Bibliothek zusammengefunden hatten, nahm Dr. Hellfried von neuem das Wort.

„Die Form der mechanischen Gesetze ändert sich nicht beim Übergang von einem gegebenen Bezugssystem

zu einem andern, das relativ zum ersten gleichförmig und geradlinig bewegt ist. So lautete das klassische Relativitätsprinzip der Mechanik. Wir ließen die erste Einschränkung fallen und gelangten damit zur speziellen Relativitätstheorie Einsteins: Sämtliche Naturgesetze bleiben gegenüber einer Galileitransformation invariant. Dürfen wir uneingeschränkt sagen: Die Form der Naturgesetze erleidet keine Änderung beim Übergang von einem gegebenen Bezugssystem zu einem zweiten, das relativ zum ersten beliebig bewegt ist? Es muß — um mit Einsteins Worten zu reden — jedem nach Verallgemeinerung strebenden Geist verlockend erscheinen, den Schritt zum allgemeinen Relativitätsprinzip zu wagen. Aber für eine naturwissenschaftliche Theorie kann und darf nicht ein ästhetisches Verlangen, darf einzig die Natur die oberste Instanz bedeuten. Es ist auch nicht dieses Verlangen allein, was der speziellen Relativitätstheorie etwas Unbefriedigendes für den Physiker gibt. So erstaunlich die Resultate dieser Theorie sind, so wenig sich vom mathematischen Standpunkt gegen sie einwenden läßt, ist dies alles nicht zu guter Letzt nur Konstruktion, gilt es wirklich in der Natur? Wir finden doch nirgendwo Systeme, die gleichförmig und geradlinig bewegt sind, wie die spezielle Relativitätstheorie dies verlangt. Wenn wir aber den Versuch machen, die beschränkende Bedingung der nur gleichförmigen und geradlinigen Bewegung aufzugeben, scheinen die Tatsachen uns ein Halt zuzurufen. Im gleichmäßig geradeaus fahrenden Wagen hängt ein Pendel ruhig wie in einem Zimmer von der Decke herab, sitzen wir ungestört in den Polstern. Sobald der Wagen bremst oder umbiegt,

schlägt das Pendel nach vorn oder seitwärts aus, gibt es uns einen Ruck vorwärts oder nach der Seite. Eine gleichförmig geradlinige Bewegung macht sich uns nicht bemerkbar, eine ungleichförmige sehr wohl.

Einstein fand den Ausweg aus diesem Dilemma, weil er die Stimme der Wirklichkeit deutlicher vernahm, als seine Zeitgenossen, deren Gehör vom Lärm der Abstraktionen betäubt war.“

„O, Herr Doktor, wie poetisch! Sie stimmen ja förmlich einen Hymnus an.“

„Tue ich das? Ich glaube, wenn ich die Sprachgewalt d'Annunzios hätte, würde ich wirklich einen ganzen Hymnus auf Einstein dichten. Aber ich will meine Begeisterung zügeln und wieder rein sachlich werden.“

Die Änderung einer Geschwindigkeit nach Größe oder Richtung, die man Beschleunigung nennt, macht sich bemerkbar. Die Frage ist, in welcher Weise sie es tut. Das werden Sie am schnellsten übersehen, wenn Sie sich in Gedanken mit mir nach dem Lunapark begeben und dort auf einem Teufelsrad Platz nehmen. Das ist bekanntlich eine wohlgehobelte Scheibe von einigen Metern Durchmesser, die in immer schnellere Rotation um ihre Achse versetzt werden kann. Alle die auf solch einer Scheibe sitzen, kommen früher oder später ins Rutschen, gleiten dem Rand der Scheibe mit wachsender Geschwindigkeit zu und werden schließlich abgeschleudert. Es ist, als hätte eine geheimnisvolle Anziehungskraft am Rande der Scheibe ihren Sitz.

Sie merken wohl, wohin dieses Beispiel zielt. Wie auf dem Teufelsrad die Körper dem Rand der Scheibe

zufallen, so fallen sie hier im Zimmer der Erde zu, wenn man sie ihrer Unterstützung beraubt. Im ersten Falle haben wir es sichtlich mit der Wirkung einer Beschleunigung zu tun, im zweiten Fall mit einer Wirkung der Gravitation, einer Schwerkraftwirkung. Urteilt man nach diesen Wirkungen, so erweisen sich eine Beschleunigung und eine Schwerkraft als etwas sehr Ähnliches. Der Physiker darf sich aber von bloßen Ähnlichkeiten nicht blenden lassen. Er verlangt volle zahlenmäßige Übereinstimmung, bevor er zwei Ursachen einander gleichsetzt. Bezüglich der beiden erwähnten Phänomene besteht bei den Körpern nun eine derartige Übereinstimmung. Bezeichnet man nämlich bei einem und demselben Körper als träge Masse diejenige Größe, die kennzeichnend ist für den Widerstand, welchen er einer In-Bewegung-Setzung entgegenstellt, als schwere Masse dasjenige, was sein Gewicht an einem bestimmten Punkt der Erde charakterisiert, so ergeben die sorgfältigsten physikalischen Untersuchungen, daß für jeden Körper seine träge und seine schwere Masse einander gleich sind.

In der bisherigen Physik war diese Gleichheit ein Wunder, über das man verlernt hatte zu erstaunen. In der allgemeinen Relativitätstheorie hört sie auf, eines zu sein, weil an der Spitze der Theorie das Äquivalenzprinzip steht, nach welchem ein Schwerfeld, in dem ein System sich befindet, oder eine Beschleunigung, die dem System erteilt wird, gleichwertige Wirkungen innerhalb des Systems hervorrufen. Der Begriff des Feldes wird Ihnen fremd sein. Er ist aus der Lehre vom Elektromagnetismus übernommen und soll ausdrücken, daß irgendeine Wirkung,

z.B. die der Schwerkraft, nicht unvermittelt durch den leeren Raum hin stattfindet, sondern daß ein besonderer, nicht weiter erklärbarer Zustand sich vom Sitz der Ursache aus mit einer bestimmten Geschwindigkeit durch den Raum ausbreitet. Die Fernwirkungstheorie Newtons ist zugunsten einer Nahwirkungstheorie nach dem Vorbilde Faradays aufgegeben.

Die mathematische Durchführung des soeben skizzierten Gedankens stellt in formaler Hinsicht die allgemeine Relativitätstheorie dar, die zugleich eine Theorie der Gravitation ist. Ihren physikalischen Sinn können wir nicht in voller Strenge, aber doch hinreichend richtig so ausdrücken, wie wir es schon mehrmals getan haben:

Die Form der allgemeinen Naturgesetze ist unabhängig vom Bezugssystem.

Lassen Sie mich noch ein paar Ausführungen machen über das Verhältnis der allgemeinen zur speziellen Relativitätstheorie, über die Folgerungen, die sich ergeben, und über die Bestätigung durch die Erfahrung.

Die spezielle Relativitätstheorie ist ebenso ein Sonderfall der allgemeinen, wie die Ruhe ein besonders einfacher Fall der Bewegung ist. Darum gilt auch in der allgemeinen Theorie das Gesetz von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit im leeren Raum nicht mehr. Das bedeutet aber nach den Lehren der Optik, daß der Weg des Lichtstrahles unter Umständen aufhört, ein geradliniger zu sein. In der Tat hat Einstein ausgerechnet, daß ein Lichtstrahl, der in der Nähe des Sonnenrandes vorübergeht, eine Krümmung erfahren muß, und durch die Messungen englischer Astronomen ist bei der Sonnenfinsternis des Jahres 1919 diese

Voraussage bestätigt worden. Ebenso auch die Behauptung, daß auf der Sonne jeder farbige Lichtstrahl eine geringfügige Farbänderung in bestimmtem Sinne erfahren muß. Die dritte glänzende Leistung der allgemeinen Relativitätstheorie besteht in der Erklärung einer lange bekannten Unregelmäßigkeit in der Bewegung des Planeten Merkur, seiner sogenannten Perihelbewegung. Abgesehen von diesen astronomischen Erfolgen hat sich die Einsteinsche Theorie auch in andern Teilen der Physik aufs beste bewährt, wie überhaupt bisher keine physikalische Tatsache bekannt ist, die ihr widerspräche."

„Gestatten Sie mir bitte, eine kleine Bemerkung zu machen, Herr Dr. Hellfried,“ wandte Dr. Bröger sich an den Redner, „es kommt mir so vor, als wenn man in der Relativitätstheorie erst alles so zurechtrückte, daß kein Widerspruch mit der Natur auftreten kann und sich dann dieser Widerspruchslosigkeit rühmte. Ganz abgesehen von einem sonstigen praktischen Nutzen sehe ich auch nicht einmal ein, wozu die Relativitätstheorie in der Physik gut sein könnte.“

„So liegt die Situation nicht, wie Sie sie eben darstellten,“ erwiderte Dr. Hellfried. „Wenn auch die Grundannahmen der Einsteinschen Theorie aus der Erfahrung gewonnen sind, so ist doch damit noch lange nicht gesagt, daß auch alle Folgerungen, die man aus den Voraussetzungen ziehen kann, mit der Erfahrung in Übereinstimmung sein müssen. Kein Forscher vermag die Summe aller Erfahrungen zu ziehen. Er kann immer nur aus einigen wenigen Tatsachen ein allgemeines Gesetz zu erschließen suchen. Ob er den richtigen Instinkt besessen

hat, darüber entscheidet dann eben die mehr oder weniger erfolgreiche Anwendung auf alle möglichen andern Erscheinungen, die bei der Aufstellung des Gesetzes nicht mit herangezogen waren. Die drei Bestätigungen der Relativitätstheorie, die ich eben anführte, sind Beispiele solcher erfolgreichen Anwendung. Der praktische Nutzen der Relativitätstheorie wird nicht größer und nicht kleiner sein als derjenige, den die Einführung der Kopernikanischen Anschauung brachte, obwohl ich persönlich glaube, daß indirekt auch technisch verwertbare Konsequenzen sich ergeben werden. Für die Physik besteht der außerordentliche Wert der Relativitätstheorie darin, daß durch sie ganz bestimmte Bedingungen für die Form der Naturgesetze vorgeschrieben werden und daß dadurch ein Auswahlmerkmal gegeben ist, das sämtliche Naturgesetze besitzen müssen, die auf Allgemeingültigkeit Anspruch erheben. Auf diese mehr erkenntnistheoretischen Fragen möchte ich mich aber hier nicht weiter einlassen.

Wenn ich Ihre Geduld noch für ganz kurze Zeit in Anspruch nehmen darf, will ich lieber zum Schluß die kosmologischen Konsequenzen, zu denen die allgemeine Relativitätstheorie führt, knapp andeuten. Als Sie in der Schule Geometrie trieben, lernten Sie, daß eine Ebene ein Gebilde ist, das sich ins Unendliche erstreckt und daß zwei Gerade, die Sie in einer solchen Ebene ziehen, sich nur in einem Punkte schneiden. In der Stereometrie wurden Sie späterhin mit der Kugeloberfläche bekannt gemacht, die ein zweidimensionales flächenhaftes Gebilde im dreidimensionalen Raume darstellt. Genau wie in der Ebene können Sie in der Kugeloberfläche eine Linie stets in der

gleichen Richtung weiterziehen, ohne jemals auf eine Begrenzung zu stoßen. Dennoch ist diese Linie auf der Kugel­fläche nicht unendlich lang. Sie scheint es nur, weil sie nach einiger Zeit in sich selbst mündet. Eine in immer gleicher Richtung auf der Kugeloberfläche laufende Linie ist unbegrenzt aber nicht unendlich. Ziehen Sie noch eine zweite derartige Linie, so schneidet sie, wie Ihnen irgend zwei Meridiane auf einem Globus ohne weiteres zeigen, die erste Linie nicht in einem, sondern in zwei Punkten.

Nun versuchen Sie einmal, dies zu verallgemeinern, indem Sie ausgehen von der Betrachtung der Kreislinie. In der zweidimensionalen Fläche gibt es gekrümmte Linien, die in sich zurücklaufen, also endlich sind, ohne begrenzt zu sein. Im dreidimensionalen Raume existieren gekrümmte Flächen, die allseitig in sich zurücklaufen, und die unbegrenzt sind, ohne unendlich zu sein. Gekrümmte Räume erfordern das Vorhandensein vierdimensionaler Erstreckung. Ist diese gegeben, dann sind gekrümmte Räume denkbar, die überall in sich selbst zurücklaufen, unbegrenzt und dennoch endlich sind. Solch ein Raum ist nach Einsteins Lehre der Weltraum. Er ist von endlicher Größe aber unbegrenzt. Die vierte Erstreckung, die seine Existenz möglich macht, ist die Zeit.

Was Wirklichkeit besitzt, ist nicht Raum für sich und Zeit für sich. In einer vierfältigen Raum-Zeitmannigfaltigkeit ruht in sich geründet der Weltenraum. So wenig wie sich die Oberfläche der Erde in einförmiger Gleichmäßigkeit ausbreitet, wie sie in wechselnder Krümmung Bergen, Tälern und Ebenen folgt, ebensowenig ist die Krümmung des Weltraums eine gleichmäßige. Die Körper sind es, die

in bewegtem Wechsel das Krümmungsmaß des Raumes verändern, in ihnen und durch sie sind erst Raum und Zeit. Wie sollen wir, die wir zum ersten Male die neuen Erkenntnisse innerlich schauen, Worte für dieses Erlebnis finden, die mehr sind als leerer Schall, die es andern Menschen lebendig machen! Man wünscht sich die Kraft, die im inbrünstigen Stammeln der deutschen Mystiker wirkt, um dem noch kaum Umfaßten Ausdruck zu leihen. Welch eine Lehre!

Raum, Zeit und Materie sind eins.“

Der Redner schwieg, und es währte eine Zeit, bis dies Schweigen unterbrochen wurde.

„Das war ja recht interessant, lieber Herr Doktor,“ meinte schließlich einer der anwesenden Herrn und fügte nach einer kleinen Pause mit leiser Ironie hinzu: „Beabsichtigen Sie übrigens, die Flut der Schriften über die Einsteinsche Theorie durch ein weiteres Werk zu vermehren?“

**Im gleichen Verlag
erscheint Anfang März 1921**

Gespräch
über die
Atomtheorie

VON

Dr. Hans Schimank

Geschenk von:		Preis:
P. Beierlein, Radebeul?		
AK-Hinw.		
Fach		
1 Grundlagen der Physik Bm +		
Bio K	Einstein, Albert Physiker * 1879	Bild K
SWK		
Mag.-Stdnr.	28180 1278x	zu:
ABGHKL Sonder-Aufst.	Ausl.-V.	zu:

(2601) D 05 950 6

