I.

Die Bewegung eines Körpers.

Der Mensch empfängt Eindrücke von der Aufsenwelt durch seine Sinne, und die Sinne täuschen ihn. Sie gaukeln ihm Farben, Töne, Wärme usw. vor, deren Entstehung von der fortschreitenden Naturlehre auf Bewegungen zurückgeführt wird. Zwar kann man sich im Reich der Töne, der Farben sehr wohl fühlen, auch den Standpunkt vertreten, den der Künstler einnimmt, dafs die Empfindungen der Seele die wahre Welt ausmachen, die über Raum und Zeit erhaben ist. Der Physiker kann aber als Gegenstand seiner Forschungen nur das anerkennen, was im Rahmen von Raum und Zeit liegt, und in dem von diesen Anschauungsformen aufgeschlossenen und begrenzten Gebiete findet er Bewegungen und nur Bewegungen. Allerdings tritt sogleich noch ein Postulat der Denknotwendigkeit hinzu: Die Bewegung mufs ein Objekt haben, dem man den Namen Materie so gut wie irgend eine andere Bezeichnung beilegen kann. Der Materie wird man genau denselben Grad der Realität zubilligen müssen, den man je nach seiner philosophischen Überzeugung für die Aufsenwelt überhaupt beansprucht.

Die alltägliche Erfahrung lehrt dreierlei:

1. Die Materie ist teilbar, sie kommt in verschieden grofsen Mengen vor, die man Körper nennen kann.

2. Die Materie (ein Körper) kann nicht an einer Stelle des Raumes und der Zeit aus der Welt verschwinden, um in derselben oder veränderter Menge gleichzeitig, früher oder später an einer anderen Stelle des Raumes wieder aufzutauchen, d. h. die Materie ist individuell identisch.

3. Ein Körper, der einmal in Bewegung gesetzt ist, behält seine Bewegung, bis er aufgehalten wird, d. h. die Materie als Gegenstand der Bewegung verbraucht sowohl Raum wie Zeit (nach menschlicher Anschauung), oder in der Sprache der Physik: die Materie ist träge.

Diese Sätze sind als Erfahrungsresultate anzusehen; nach Beweisen, dafs es so sein müsse und nicht anders sein könne, wird man vergeblich suchen. Wer sie verwirft, auch ablehnt, sich durch Erfahrung belehren zu lassen, dem ist nicht zu helfen.

Die Trägheit der Materie gehört, abgesehen von dem nicht gerade glücklich gewählten Namen, zweifellos zu den ältesten Erfahrungen der Menschheit. Der roheste Naturmensch weifs ganz genau, dafs er seinem Pfeil oder seiner Lanze nicht nachzulaufen braucht, um ihre Bewegung aufrecht zu erhalten, sondern dafs er nur für eine gehörige Anfangsgeschwindigkeit und die Richtung zu sorgen hat. Von der Erfahrung bis zum naturwissenschaftlichen Gesetz aber ist noch ein weiter Schritt, haben doch die meisten

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Menschen die Fähigkeit, sich über das Alltägliche zu wundern, nie besessen oder in frühester Jugend eingebüfst. Erst die Versuche Galilei's haben die Bewegung zum Gegenstand wissenschaftlicher Forschung erhoben und den Begriff der Trägheit schärfer definiert. In Newton's erstem Axiom hat das Trägheitsgesetz seinen bleibenden Ausdruck gefunden.

Auch hiermit ist die Physik eines Körpers noch nicht erschöpft. Jetzt treten die Mathematiker auf den Plan. Nach dem Vorgang der grofsen französischen Mathematiker seit Cartesius stellen sie neben dem bewegten Körper ein Koordinatenkreuz und eine Uhr auf und sagen: zu jeder Zeit t wird der Körper m im Raume einen Platz einnehmen, seine Koordinaten x, y, z sind daher als Funktionen von t anzusehen, und wenn der Raumverbrauch des Körpers seinem Zeitverbrauch proportional ist, wie das Trägheitsgesetz verlangt, so werden die ersten Abgeleiteten der Koordinaten nach der Zeit konstante Gröfsen und die zweiten Abgeleiteten gleich Null sein. Daher heifsen die Differentialgleichungen für die Bewegung eines Punktes:

$$x'' = 0; \qquad y'' = 0; \qquad z'' = 0$$

und ihre Lösungen:

$$x' = u, \quad y' = v, \quad z' = w; \qquad x = ut + x_0, \; y = vt + y_0, \; z = wt + z_0.$$

Anmerkung. Die Differentialquotienten werden im folgenden immer durch Strichelung bezeichnet, wenn nicht die Deutlichkeit eine genauere Angabe der unabhängigen Variablen fordert, also hier

$$x' = \frac{dx}{dt}; \quad x'' = \frac{d^2x}{dt^2} \text{ usw.}$$

Durch die Konstanten x_0, y_0, z_0 wird der Ort des Körpers zur Zeit $t_0 = 0$, durch die Konstanten u, v, w Richtung und Gröfse seiner Geschwindigkeit gegeben. Die Gröfsen x, y, z und t sind variabel, durch Elimination von t ergeben sich die Gleichungen einer geraden Linie im Raum als Bahnlinie der Bewegung. Die Lösung ist allgemein, weil die drei Differentialgleichungen zweiter Ordnung je zwei, im ganzen sechs Konstanten geliefert haben, die durch die Daten eines bekannten Anfangszustandes gedeckt werden.

Man erkennt, dafs die Differentialgleichungen der Bewegung sich auf das Gesetz der Trägheit, d. h. auf eine physikalische Hypothese stützen, und dafs diese Hypothese ihrerseits auf Erfahrung beruht. Dann ist, könnte man meinen, mit diesem Vorgehen der Mathematiker nichts gewonnen, und doch ist der Gewinn ein grofser, er liegt in der allgemeinen Gültigkeit der Gleichungen. Die Anzahl der Erfahrungsfälle, die zur Hypothese führen, ist allen möglichen Erfahrungen gegenüber eine beschränkte. Die Hypothese selbst kann wahr oder falsch sein, jedenfalls steht sie der Kritik offen. Ist sie aber richtig, so gelten die Differentialgleichungen und ihre Lösungen allgemein und lassen Schlüsse zu, die über alle mögliche Erfahrung hinausgehen, da sie sich nicht nur auf den Inhalt, sondern auch auf die Grenzen unserer Anschauungsformen beziehen können. Man denke sich irgend einen Körper allein im Raum, ein Wurfgeschofs aber ohne die Erde, die Erde selbst aber ohne Sonne und Mond, das ganze Sonnensystem ohne die

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

übrigen Gestirne, ja die ganze Körperwelt, so weit sie reichen mag, als Einheit: ihre Bewegungen sind in den Gleichungen festgelegt. Wer aber beschafft und hält die Uhr, nach der die Ortsveränderung gemessen werden soll, wenn nur der eine Körper sich im Raum befindet? Wer bürgt dafür, dafs sich das Koordinatenkreuz nicht selbst bewegt, oder auf welchen Punkt will man die Ruhe des Koordinatenanfangs beziehen? Es ist offenbar, dafs wir für einen Körper im Raum, sagen wir für die gesamte Körperwelt, als Einheit aufgefafst, nicht entscheiden können, ob Ruhe oder Bewegung herrscht, nach welcher Richtung sie sich bewegt, ob schnell oder langsam. Nur zweierlei folgt mit Bestimmtheit aus der durch alle Erfahrung gestützten Hypothese: die Richtungen im Raum sind bestimmt, (eine Drehung der Koordinatenachsen würde die Gestalt der Differentialgleichungen völlig verändern,) und der Verlauf der Zeit oder dessen, was wir Zeit nennen, ist mit derselben Notwendigkeit gleichmäfsig, mit der wir die Längeneinheit als konstant betrachten.

Wollte man, was verfrüht ist, eine Anschauungslehre auf kinematischer Grundlage aufbauen, so müfste man von der Definition ausgehen: Die Bewegung eines ungestörten Körpers bestimmt durch ihre Richtung die gerade Linie im Raum und durch ihren Verlauf die als gleich anzusehenden Zeitabschnitte.

II.

Die Bewegung zweier Körper.

1. Beobachtungen. Die soeben besprochene Bewegung würde die einfachste und genaueste Uhr abgeben, die man sich denken kann; sie findet aber nirgends und niemals statt. Periodisch wiederkehrende Bewegungen von völlig gleichwertiger Dauer künstlich zu erzeugen, wie es der Uhrmacher anstrebt, oder im Lauf der Gestirne nachzuweisen glückt nur bis zu einem gewissen Grade. Wir leben in einer Welt der Störungen. Das Gesetz der Trägheit verliert aber nichts von seinem Wert dadurch, dafs es in keinem Falle ungehindert zur Geltung kommt. Der Physiker, der in der Natur seine grofse Aufgabensammlung vor sich sieht, mufs auch die Kunst besitzen, in dieser Sammlung zu lesen; er mufs trennen, abstrahieren, das Wesentliche herausheben und zusammenfassen können, sonst wird er in jedem kleinen Teil der Natur die Gesamtheit der physikalischen Disziplinen mit allen ihren Verwickelungen vorfinden. Es geht ihm in dieser Hinsicht wie dem Maler, dem Bildhauer, dem Dichter, die auch die Natur nicht zu genau kopieren dürfen, wenn ihre Werke nicht überladen erscheinen sollen. Wie schwer es ist, aus der realen Verwirrung das einfache Ideal herauszufinden, tritt uns bei den vielen mifsglückten Versuchen entgegen, die Bewegung zweier Körper richtig zu deuten. Im ganzen Altertum und bis in die neue Zeit hinein eine Kette von Irrtümern. Dafs zwei durch einen Zwischenraum getrennte Körper an der Erdoberfläche sich gegenseitig beeinflussen, hat man in früherer Zeit nicht gewufst, und das ist ver-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf