

PIERRE DUHEM

# ZIEL UND STRUKTUR der physikalischen Theorien

Autorisierte Übersetzung von

FRIEDRICH ADLER

Mit einem Vorwort von

ERNST MACH

Mit einer Einleitung

und Bibliographie

herausgegeben von

LOTHAR SCHÄFER



FELIX MEINER VERLAG  
HAMBURG

12.1.2014

## Zweites Kapitel.

**Physikalische Theorie und naturgemäße Klassifikation.**

§ 1. — Die wahre Natur der physikalischen Theorie und die Operationen, durch die sie zustande kommt.

Wenn man eine physikalische Theorie als hypothetische Erklärung der materiellen Wirklichkeit betrachtet, bringt man sie in Abhängigkeit von der Metaphysik. Man gibt ihr damit eine Form, die keineswegs geeignet ist, ihr die Anerkennung der großen Mehrzahl der Denker zu verschaffen, man beschränkt im Gegenteil die Zustimmung auf jene, die sich zu der Philosophie bekennen, auf die sie sich beruft. Aber auch diese selbst fühlen sich von dieser Theorie nicht vollkommen befriedigt, denn sie leitet nicht alle ihre Prinzipien aus der metaphysischen Lehre ab, von der sie auszugehen behauptet.

Diese Gedanken, die den Gegenstand des vorhergehenden Kapitels bildeten, führen uns naturgemäß dazu, uns die folgenden zwei Fragen zu stellen:

Könnte man nicht das Ziel der physikalischen Theorie so bestimmen, daß sie selbständig würde? Wird sie auf Prinzipien gegründet, die nicht irgend einer metaphysischen Lehre entstammen, dann wird sie für sich beurteilt werden können, und die Meinungen der verschiedenen Physiker über sie werden in keiner Weise von den verschiedenen philosophischen Schulen abhängen, zu denen diese sich zählen mögen.

Könnte man nicht eine Methode ersinnen, die ausreichend wäre, um eine physikalische Theorie zu schaffen? Eine Theorie, die in Übereinstimmung mit ihrer eigenen Definition ist, wird kein Prinzip anwenden, wird auf keine Voraussetzung Bezug nehmen, von der sie nicht berechtigterweise Gebrauch machen kann.

Dieses Ziel und diese Methode wollen wir festsetzen und studieren:

Von jetzt an sei folgende Definition der physikalischen Theorie aufgestellt, die im Verlaufe unserer Ausführungen sich klären und deren ganzer Inhalt hervortreten wird:

Eine physikalische Theorie ist keine Erklärung.

Sie ist ein System mathematischer Lehrsätze, die aus einer kleinen Zahl von Prinzipien abgeleitet werden und den Zweck haben, eine zusammengehörige Gruppe experimenteller Gesetze ebenso einfach, wie vollständig und genau darzustellen.

Um diese Definition schon jetzt ein wenig zu präzisieren, charakterisieren wir die vier aufeinander folgenden Operationen, durch welche eine physikalische Theorie entsteht:

1. Unter den physikalischen Eigenschaften, die wir darstellen wollen, wählen wir diejenigen, die wir als einfache Eigenschaften betrachten, aus, während wir die anderen als Gruppen und Kombinationen jener auffassen. Wir ordnen ihnen, durch geeignete Meßmethoden, entsprechend viele mathematische Symbole, Zahlen, Größen zu. Diese mathematischen Symbole haben mit den Eigenschaften, die sie repräsentieren, von Natur aus keine Beziehung. Ihre einzige Beziehung ist die des Zeichens mit dem Bezeichneten. Durch die Meßmethoden kann man jedem Zustand einer physikalischen Eigenschaft einen Wert des repräsentierenden Symbols zuordnen und umgekehrt.

2. Wir verbinden die verschiedenen Arten derartig eingeführter Größen untereinander in einer kleineren Zahl von Gleichungen, die als Prinzipien für unsere Deduktionen dienen sollen. Diese Prinzipien können — im etymologischen Sinn des Wortes — als Hypothesen bezeichnet werden, denn sie sind wirklich die Grundlagen, auf denen sich die Theorie erhebt. Aber sie machen in keiner Weise den Anspruch, tatsächliche Beziehungen der realen Eigenschaften der Körper anzugeben. Diese Hypothesen können demnach in willkürlicher Weise formuliert werden. Der logische Widerspruch sowohl zwischen den Gliedern ein und derselben Hypothese als auch unter den verschiedenen Hypothesen derselben Theorie ist die einzige absolut unüber-schreitbare Schranke, vor der diese Willkür Halt macht.

3. Die verschiedenen Prinzipien oder Hypothesen einer Theorie sind miteinander gemäß den Regeln der mathematischen Analysis verbunden. Die Erfordernisse der algebraischen Logik sind die einzigen, denen der Theoretiker beim Gange der Ableitung genügen muß. Die Größen, auf welchen seine Rechnungen

heruhen, erheben keineswegs den Anspruch, physische Realitäten zu sein, die Prinzipien, auf die er sich bei seinen Deduktionen stützt, geben sich keineswegs als der Ausdruck tatsächlicher Beziehungen zwischen solchen Realitäten aus. Es ist somit belanglos, ob die Operationen, welche er ausführt, realen oder auch nur begreifbaren physikalischen Veränderungen entsprechen oder nicht. Alles, was man rechtmäßig von ihm fordern darf, ist, daß seine Schlüsse zutreffend und seine Rechnungen richtig seien.

4. Die verschiedenen Konsequenzen, die man so aus den Hypothesen gefolgert hat, können in ebensoviele Aussagen über die physikalischen Eigenschaften der Körper übersetzt werden. Die Methoden, die diese physikalischen Eigenschaften zu definieren und zu messen gestatten, sind gleichsam ein Vokabularium, gleichsam ein Schlüssel, der diese Übersetzung ermöglicht. Diese Aussagen vergleicht man mit den experimentellen Gesetzen, die die Theorie darstellen soll. Wenn sie mit diesen Gesetzen in der Annäherung, wie es die angewendeten Meßmethoden zulassen, übereinstimmen, hat die Theorie ihr Ziel erreicht, sie wird als gut erklärt. Wenn dies nicht der Fall ist, so ist sie schlecht, sie muß geändert oder ganz verworfen werden.

Sonach ist als richtige Theorie nicht die anzusehen, die eine der Wirklichkeit entsprechende Erklärung der physikalischen Erscheinungen gibt, sondern die, die eine Gruppe experimenteller Gesetze befriedigend darstellt. Eine falsche Theorie ist nicht ein Erklärungsversuch, welcher auf Annahmen gegründet ist, die der Wirklichkeit widersprechen, sondern eine Gruppe von Gleichungen, welche nicht mit den experimentellen Gesetzen übereinstimmen. Die Übereinstimmung mit der Erfahrung ist das einzige Kriterium der Wahrheit für eine physikalische Theorie.

Die Definition, welche wir eben skizzierten, unterscheidet an einer physikalischen Theorie vier fundamentale Operationen:

1. Die Definition und das Maß der physikalischen Größen.
2. Die Wahl der Hypothesen.
3. Die mathematische Entwicklung der Theorie.
4. Die Vergleichung der Theorie mit dem Experiment.

Jede dieser Operationen wird uns in dieser Schrift lange beschäftigen, denn jede von ihnen bietet Schwierigkeiten, die die sorgfältigste Analyse erfordern. Es ist uns aber bereits jetzt möglich, einige Fragen zu beantworten, einige Entgegnungen zu widerlegen, welche durch die vorliegende Definition der physikalischen Theorie angeregt werden.

## § 2. — Welchen Nutzen hat eine physikalische Theorie?

Die Theorie als Ökonomie des Denkens.

Und wozu kann nun eine solche Theorie dienen?

In betreff der wahren Natur der Dinge, in betreff der Realitäten, welche sich unter den Phänomenen, die wir studieren, verbergen, lehrt uns eine nach dem eben entwickelten Plane entworfene Theorie absolut nichts und beansprucht auch nicht diesbezüglich etwas zu lehren. Welchen Nutzen hat sie also? Welchen Vorteil finden die Physiker darin, die Gesetzmäßigkeiten, die uns das Experiment direkt liefert, durch ein System sie darstellender, mathematischer Lehrsätze, zu ersetzen?

Vor allem ersetzt die Theorie eine sehr große Zahl von Gesetzen, die uns als unabhängig voneinander gegenüberstehen, deren jedes für sich gelernt und behalten werden müßte, durch eine ganz kleine Zahl von Sätzen, von grundlegenden Hypothesen. Kennt man einmal die Hypothesen, so ermöglicht eine vollkommen sichere mathematische Deduktion, die weder Lücke noch Wiederholung aufweist, alle physikalischen Gesetze wieder zu finden. Eine derartige Kondensation einer Menge von Gesetzen in eine kleine Zahl von Prinzipien ist eine ungeheure Erleichterung für den menschlichen Verstand, der ohne einen derartigen Kunstgriff die neuen Reichtümer, die er täglich erwirbt, nicht unterbringen könnte.

Die Reduktion der physikalischen Gesetze auf Theorien trägt indirekt zu der Ökonomie des Denkens bei, in der Herr E. Mach<sup>1)</sup> das Ziel, das Richtungsprinzip der Wissenschaft erblickt.

<sup>1)</sup> E. Mach, Die ökonomische Natur der physikalischen Forschung (Populärwissenschaftliche Vorlesungen, III. Auflage, Leipzig 1903. XIII., p. 215). — Die Mechanik in ihrer Entwicklung, historisch-kritisch dargestellt, Leipzig 1904. V. Aufl., Kap. IV. Art. 4: Die Ökonomie der Wissenschaft, p. 521. [In der franz. Ausgabe Paris 1904, p. 449.]

Das experimentelle Gesetz repräsentierte bereits eine erste Ökonomie des Denkens. Der menschliche Geist hatte eine ungeheure Zahl von konkreten Tatsachen vor sich, deren jede in der Verwicklung vieler einander unähnlicher Details bestand. Kein Mensch könnte die Kenntnis aller dieser Tatsachen erlangen und behalten, keiner könnte sie seinen Mitmenschen mitteilen. Ist aber die Abstraktion ins Spiel getreten, so läßt sie das Eigenartige, Individuelle jeder dieser Tatsachen beiseite, sucht was an ihrer Gesamtheit allgemein und gemeinsam ist, und ersetzt so diese ungeheure Menge von Tatsachen durch einen einzigen Satz, der im Gedächtnis wenig Raum einnimmt und leicht im Unterricht mitteilbar ist. Die Abstraktion hat so ein physikalisches Gesetz formuliert.

„Statt z. B. die verschiedenen vorkommenden Fälle der Lichtbrechung uns einzeln zu merken, können wir alle vorkommenden sofort nachbilden oder vorbilden, wenn wir wissen, daß der einfallende, der gebrochene Strahl und das Lot in einer Ebene liegen und  $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$  ist. Wir haben dann statt der unzähligen Brechungsfälle bei verschiedenen Stoffkombinationen und Einfallswinkeln nur diese Anweisung und die Werte der  $n$  zu merken, was viel leichter angeht. Die ökonomische Tendenz ist hier unverkennbar.“<sup>1)</sup>

Die Ökonomie, die aus der Ersetzung der Einzeltatsachen durch Gesetze hervorgeht, verdoppelt der menschliche Geist, indem er die Gesetze in Theorien verdichtet. Was das Brechungsgesetz gegenüber den unzähligen Tatsachen der Brechung, bedeutet die optische Theorie gegenüber den endlos verschiedenen Gesetzen der Lichtphänomene.

Von den Lichtphänomenen hatten die Alten nur eine sehr kleine Zahl in Gesetzen zusammengefaßt. Die einzigen optischen Gesetze, die sie kannten, waren das der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes und die der Reflexion. Dieser mäßige Bestand wurde in der Zeit von Descartes um das Brechungsgesetz vermehrt.

<sup>1)</sup> E. Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt. Leipzig 1904, V. Aufl., p. 526. [In der franz. Ausgabe Paris 1904, p. 453.]

Eine so eingeschränkte Optik konnte eine Theorie entbehren. Es war leicht jedes Gesetz für sich zu studieren und zu lehren.

Wäre es dagegen einem Physiker, der die moderne Optik studieren will, möglich, ohne Hilfe einer Theorie eine auch nur oberflächliche Kenntnis dieses ungeheuren Gebietes zu erlangen? Die Tatsachen der einfachen Brechung, der Doppelbrechung durch ein- oder zweiachsige Kristalle, der Reflexion an isotropen und kristallisierten Medien, der Interferenz, der Beugung, der Polarisation durch einfache oder doppelte Brechung, der Rotationspolarisation usw., alle diese großen Kategorien von Phänomenen ermöglichen die Formulierung einer Menge von Gesetzmäßigkeiten, deren Zahl und Verwicklung das aufnahmefähigste und verläßlichste Gedächtnis erschrecken würde.

Die optische Theorie tritt hinzu, sie bemächtigt sich aller dieser Gesetze und verdichtet sie in eine kleine Zahl von Prinzipien. Aus diesen Prinzipien kann man jederzeit exakt und sicher das Gesetz, von dem man Gebrauch machen will, ableiten. Man braucht sich sodann nicht mehr alle diese Gesetze, sondern nur die Prinzipien, auf denen sie beruhen, zu merken.

Dieses Beispiel läßt uns auf das deutlichste den Weg erkennen, auf dem die physikalischen Wissenschaften vorwärts schreiten. Ununterbrochen bringt der Experimentator bisher nicht vermutete Tatsachen ans Tageslicht und formuliert neue Gesetze. Damit aber der menschliche Geist die Reichtümer beherbergen kann, ersinnt der Theoretiker ununterbrochen Darstellungsarten, die immer kondensierter, Systeme, die immer ökonomischer werden. Die Entwicklung der Physik bewirkt einen fortwährenden Kampf zwischen „der Natur, die nicht müde wird, Neues zu zeigen“ und dem Verstand, der „nicht müde werden will, zu begreifen“.

### § 3. — Die Auffassung der Theorie als Klassifikation.

Die Theorie besteht nicht nur in einer ökonomischen Darstellung der experimentellen Gesetze, sondern auch in einer Klassifikation derselben.

Die experimentelle Physik liefert uns alle Gesetze gemeinsam, sozusagen im gleichen Felde, ohne sie in Gruppen

von Gesetzen zu teilen, denen eine Art Verwandtschaft zukommt. Sehr oft sind es ganz zufällige Gründe, ganz oberflächliche Analogien, die die Beobachter dazu geführt haben, in ihren Veröffentlichungen ein Gesetz neben einem anderen zu behandeln. So hat Newton in dem gleichen Werke die Gesetze über die Dispersion des Lichtes beim Durchgang durch ein Prisma, und die Gesetze der Farben, die eine Seifenblase schmücken, behandelt, einfach deshalb, weil die Augen auf diese beiden Arten von Phänomenen durch auffallende Farben aufmerksam werden.

Im Gegensatz dazu stellt die Theorie bei der Entwicklung der zahlreichen Verzweigungen der deduktiven Schlußfolgerungen, welche die Prinzipien mit den experimentellen Gesetzen verbinden, unter letzteren eine Ordnung und Klassifikation her. Es gibt solche, die sie, eng aneinandergeschlossen, in derselben Gruppe vereinigt, wieder andere, die sie voneinander trennt und in zwei äußerst weit entfernten Gruppen unterbringt. Sie gibt sozusagen das Verzeichnis und die Titel der Kapitel an, in welche die zu studierende Wissenschaft methodisch zerfällt, und bestimmt die Gesetze, die in jedes dieser Kapitel eingeordnet werden sollen.

So setzt sie neben die Gesetze des durch ein Prisma hervorgerufenen Spektrums die Gesetze der Farben des Regenbogens. Die Gesetze aber, denen die Farben der Newtonschen Ringe unterliegen, bringt sie in ein ganz anderes Gebiet, indem sie sie mit den Gesetzen der von Young und Fresnel entdeckten Interferenzstreifen vereinigt. In einer anderen Klasse werden wieder die feinen, von Grimaldi untersuchten Farben in ihrer Verwandtschaft mit den von Fraunhofer hergestellten Beugungsspektren betrachtet. Die Gesetze aller dieser Phänomene, die ein einfacher Beobachter infolge ihrer auffallenden Farben untereinander mengt, werden durch die Bemühungen des Theoretikers klassifiziert und geordnet.

Klassifizierte Erkenntnisse sind leicht anwendbar und sicher zu gebrauchen. Aus kunstgerechten Werkzeugkästen, in denen die Instrumente, die demselben Zweck dienen, beieinander liegen, diejenigen aber, die verschiedene Aufgaben

haben, durch Scheidewände getrennt sind, nimmt der Arbeiter blitzschnell, ohne Zögern oder Ängstlichkeit, das Werkzeug, das er braucht. Dank der Theorie findet der Physiker mit Sicherheit, ohne Wesentliches außer acht zu lassen oder Überflüssiges anzuwenden, die Gesetze, die ihm zur Lösung eines gegebenen Problems dienlich sein können.

Überall, wo Ordnung herrscht, herrscht auch Schönheit. Die Theorie bewirkt daher nicht nur, daß die Gruppe von physikalischen Gesetzen, die sie darstellt, leichter, bequemer und fruchtbringender anwendbar werden, sondern daß sie auch schöner wird.

Verfolgt man den Gang einer der großen Theorien der Physik, wie sie sich majestätisch entfaltet, wie aus den ersten Hypothesen ihre geordneten Deduktionen folgen, wie ihre Ergebnisse eine Fülle experimenteller Gesetze bis ins kleinste Detail darstellen, dann ist es ausgeschlossen, daß man nicht von der Schönheit eines solchen Baues hingerissen wird, daß man nicht eine solche Schöpfung des menschlichen Geistes als wahres Kunstwerk empfindet.

#### § 4. — Die Theorie hat die Tendenz sich in eine naturgemäße Klassifikation umzuformen.<sup>1)</sup>

Dieses ästhetische Gefühl ist nicht das einzige Gefühl, welches eine Theorie, die einen hohen Grad der Vollkommenheit erreicht hat, hervorruft. Sie erweckt in uns auch die Überzeugung, daß sie als naturgemäße Klassifikation betrachtet werden müsse.

Was ist nun eine naturgemäße Klassifikation? Was will, zum Beispiel, ein Naturforscher sagen, wenn er eine naturgemäße Klassifikation der Wirbeltiere aufstellt?

Die Klassifikation, die er ersonnen hat, besteht in einem Zusammenhang geistiger Operationen. Sie behandelt nicht die konkreten Individuen, sondern Abstraktionen: die Arten. Diese

<sup>1)</sup> Wir haben bereits in dem Aufsatz „L'École anglaise et les théories physiques, art. 6.“ (Revue des questions scientifiques octobre 1903) die naturgemäße Klassifikation als die ideale Form, nach der die physikalische Theorie streben sollte, bezeichnet.

Arten teilt sie so in Gruppen, daß die speziellen sich den allgemeineren unterordnen. Um diese Gruppen zu bilden, betrachtet der Naturforscher die verschiedenen Organe, — die Wirbelsäule, den Schädel, das Herz, den Verdauungskanal, die Lunge, die Schwimmblase — nicht in der besonderen, konkreten, Form, die sie bei dem jeweiligen Individuum besitzen, sondern in abstrakter, allgemeiner, schematischer Form die allen Arten derselben Gruppe zukommt. Unter diesen derart durch die Abstraktion umgebildeten Organen stellt er Vergleiche an, sucht er Analogien und Verschiedenheiten festzustellen. So erklärt er zum Beispiel, daß die Schwimmblase der Fische mit der Lunge der Wirbeltiere gleichbedeutend sei. Dieses Gleichbedeutendsein ist eine rein ideelle Zusammenstellung, welche nicht auf den wirklichen Organen, sondern auf den verallgemeinerten und vereinfachten Vorstellungen, die sich im Geiste des Naturforschers gebildet haben, beruht. Die Klassifikation ist nur eine kurze Übersicht, welche alle diese Zusammenstellungen resumiert.

Wenn der Zoologe behauptet, daß eine derartige Klassifikation naturgemäß sei, meint er, daß die ideellen Verbindungen, die durch seinen Verstand zwischen den abstrakten Gedanken hergestellt wurden, realen Beziehungen zwischen den konkreten Wesen, in denen diese Abstraktionen Gestalt gewinnen, entsprechen. Er meint zum Beispiel, daß die mehr oder weniger auffallenden Ähnlichkeiten, die er zwischen verschiedenen Arten konstatiert hat, der Beweis einer mehr oder minder engen Verwandtschaft im eigentlichen Sinn unter den Individuen, die diese Gattung bilden, seien. Er meint, daß die Bindestriche, mit denen er die Abhängigkeitsverhältnisse der Klassen, Ordnungen, Familien und Arten versinnbildlicht, die Verzweigungen des Stammbaumes wiedergeben, der die Entwicklung der verschiedenen Wirbeltiere aus einem Stamm zur Darstellung bringt. Zu diesen Beziehungen der wirklichen Verwandtschaft, der Abstammung, kann die vergleichende Anatomie allein nicht gelangen, sie zu erfassen und zu bestätigen ist Aufgabe der Physiologie und Paläontologie. Der Anatom, der über die Ordnung, die sein Vergleichungsver-

fahren in die verwirrende Menge der Tiere bringt, nachsinnt, kann die Beziehungen, deren Prüfung über seine Methoden hinausgeht, nicht beweisen. Und wenn die Physiologie und Paläontologie ihm eines Tages zeigen würden, daß die Verwandtschaft, die er sich vorstellt, nicht bestehe, daß die Evolutionshypothese erdichtet sei, würde er dennoch fortfahren zu glauben, daß das System, das durch seine Klassifikation entstanden ist, wirkliche Beziehungen zwischen den Tieren darstellt. Er würde zugeben, daß er sich zwar über die Natur dieser Beziehungen getäuscht habe, nicht aber über deren Existenz.

Die Leichtigkeit, mit der eine jede Erfahrungstatsache in der vom Physiker geschaffenen Klassifikation untergebracht werden kann, die blendende Klarheit, die diese so vollkommen geordnete Gruppierung aufweist, wecken in uns die unbesiegbare Überzeugung, daß eine solche Klassifikation nicht rein künstlich, daß eine solche Ordnung nicht das Resultat einer rein willkürlichen Gruppierung sei, die ein erfindischer Systematiker den Gesetzen gegeben hat. Ohne uns von unserer Überzeugung Rechenschaft geben, aber auch ohne uns von ihr befreien zu können, sehen wir in der exakten Ordnung dieses Systemes ein Zeichen, an dem eine naturgemäße Klassifikation erkennbar ist. Wenn wir auch nur die Gesetze der Phänomene gruppieren und nicht vorgeben, die unter ihnen verborgene Wirklichkeit zu erklären, so fühlen wir doch, daß die durch unsere Theorie hergestellten Gruppen den wirklichen Beziehungen zwischen den Dingen selbst entsprechen.

Der Physiker, der in jeder Theorie eine Erklärung sieht, ist überzeugt, daß er in der Lichtschwingung den eigentlichen und innersten Grund der Eigenschaft, die unsere Sinne uns als Licht und Farbe kundtun, gefunden hat. Er glaubt an einen Körper, den Äther, dessen einzelne Teile durch solche schnelle hin und her gehende Schwingungen belebt sind.

Sicherlich teilen wir nicht diese Illusionen. Wenn wir bei Gelegenheit einer optischen Theorie auch von der Licht-

schwingung sprechen, denken wir doch nicht an eine wahrhaftige hin und her gehende Bewegung eines wirklichen Körpers. Wir stellen uns nur eine abstrakte Größe, einen rein mathematischen Ausdruck vor. Die periodisch wechselnde Länge dient uns dazu, die Hypothesen der Optik zu formulieren, durch regelrechte Rechnungen die experimentell feststellbaren Gesetzmäßigkeiten des Lichtes abzuleiten. Diese Schwingung ist für uns ein Bild, aber keine Erklärung.

Aber wenn wir nach langen Versuchen mit Hilfe dieser Schwingung dazu gelangt sind, einen Grundstock fundamentaler Hypothesen zu formulieren, wenn wir sehen, daß sich in dem ungeheuren Gebiet der Optik, welches erst so verschlungen und verworren erscheint, auf Grund dieser Hypothesen Ordnung und Organisation einstellen, dann ist es uns unmöglich zu glauben, daß diese Ordnung und diese Organisation nicht das Bild einer wirklichen Ordnung und Organisation sei. Wir können nicht glauben, daß die Phänomene, die die Theorie zueinander in Nachbarschaft bringt, wie die Interferenzstreifen und die Farben dünner Blättchen nicht wirklich wenig verschiedene Kundgebungen des gleichen Merkmales des Lichtes seien, daß die Phänomene, die die Theorie trennt, wie die Beugungs- und die Dispersionsspektren, nicht wesentlich verschiedene Eigenschaften aufweisen.

So gibt uns die physikalische Theorie niemals die Erklärung der experimentellen Gesetzmäßigkeiten, niemals enthüllt sie uns die Realitäten, die sich hinter den wahrnehmbaren Erscheinungen verbergen. Aber je mehr sie sich vervollkommenet, um so mehr ahnen wir, daß die logische Ordnung, in der sie die Erfahrungstatsachen darstellt, der Reflex einer ontologischen Ordnung sei. Je mehr wir mutmaßen, daß die Beziehungen, welche sie zwischen den Beobachtungsergebnissen herstellt, den Beziehungen zwischen den Dingen entsprechen<sup>1)</sup>, um so mehr können wir prophezeien, daß sie sich einer naturgemäßen Klassifikation nähern.

Diese Überzeugung könnte der Physiker nicht rechtfertigen.

<sup>1)</sup> vergl. Poincaré: *La Science et l'Hypothèse*, p. 190. Paris 1903.

tigen. Die Methode, die er verwendet, ist auf die Ergebnisse der Beobachtung beschränkt, sie kann daher nicht beweisen, daß die Ordnung der experimentellen Gesetze der Reflex einer über die Erfahrung hinausgehenden Ordnung sei und ebenso wenig kann sie die Natur der wirklichen Beziehungen ahnen, denen die durch die Theorie aufgestellten Beziehungen entsprechen.

Aber wenn es dem Physiker unmöglich ist, seine Überzeugung zu verifizieren, so ist es ihm nicht minder unmöglich, ihr den Boden zu entziehen. Vergebens sucht er sich mit der Idee zu durchdringen, daß seine Theorien unvernünftig seien, die Wirklichkeit zu erfassen, daß sie einzig dazu dienen, eine zusammengefaßte und klassifizierte Darstellung der Erfahrungstatsachen zu geben, er kann sich doch nicht zu dem Glauben zwingen, daß ein System, welches so einfach und so leicht eine ungeheure Zahl anfänglich so unvereinbarer Gesetzmäßigkeiten ordnen kann, rein künstlich sei. In einer Intuition, in der Pascal eines der Urteile des Herzens, „die die Vernunft nicht kennt“, gesehen hätte, betont er seinen Glauben an eine wirkliche Ordnung, von der seine Theorien ein von Tag zu Tag klareres und treueres Bild geben.

Derart beweist uns die Analyse der Methoden, auf denen sich die physikalischen Theorien aufbauen, mit vollkommener Sicherheit, daß diese Theorien nicht als Erklärungen der experimentellen Gesetze auftreten können. Andererseits erfüllt uns ein wirklicher Glaube, den diese Analyse ebensowenig rechtfertigen wie bezähmen kann, daß diese Theorien nicht ein rein künstliches System, sondern eine naturgemäße Klassifikation seien. Man kann hier den tiefen Gedanken Pascals anwenden: „Wir haben eine Ohnmacht im Beweisen, die kein Dogmatismus überwinden kann, und eine Idee des Wahren, die allen Pyrrhonismus überwindet.“

#### § 5. — Die der Erfahrung vorangehende Theorie.

Es gibt einen Umstand, an dem sich mit besonderer Deutlichkeit unser Glaube an den natürlichen Charakter einer theoretischen Klassifikation zeigt. Dieser Umstand tritt auf, wenn

wir von der Theorie die Angabe der Resultate eines Experiments fordern, bevor dieses Experiment ausgeführt wurde, wenn wir ihr ausdrücklich den kühnen Befehl erteilen: „Propheteie uns!“

Eine ansehnliche Gruppe experimenteller Gesetze wurde durch die Beobachter festgestellt. Der Theoretiker, der sich vorgenommen hatte, sie in einer ganz kleinen Zahl von Hypothesen zusammenzufassen, hat seine Aufgabe gelöst: Jedes dieser experimentellen Gesetze ist genau als Folgerung aus diesen Hypothesen darstellbar.

Aber man kann aus diesen Hypothesen unbegrenzt viel Folgerungen ziehen, man kann auch solche ableiten, die keinem der früher bekannten experimentellen Gesetze entsprechen, die lediglich mögliche experimentelle Gesetze darstellen.

Unter diesen Folgerungen gibt es solche, die auf praktisch realisierbare Bedingungen Bezug haben und daher besonders interessant sind, weil sie mit den Tatsachen konfrontiert werden können. Wenn sie die experimentellen Gesetze, denen diese Tatsachen unterliegen, genau darstellen, wird der Wert der Theorie wachsen, das Gebiet, auf dem sie herrscht, wird mit neuen Gesetzen bereichert sein. Wenn dagegen gewisse dieser Folgerungen im deutlichen Widerspruch mit den Tatsachen, deren Gesetz die Theorie darstellen sollte, stehen, muß sie mehr oder minder modifiziert, vielleicht vollständig verworfen werden.

Nehmen wir nun an, es gelte im Moment, wenn die Voraussagungen der Theorie mit der Wirklichkeit konfrontiert werden, eine Wette für oder gegen die Theorie zu schließen. Zugunsten welcher Seite würden wir unseren Einsatz wagen?

Wenn die Theorie ein rein künstliches System ist, wenn wir in den Hypothesen, auf denen sie ruht, Ausdrücke sehen, die mit Geschick so aufgestellt werden, daß sie die bereits bekannten experimentellen Gesetze darstellen, wenn wir in ihnen aber keinen Reflex der wirklichen Beziehungen zwischen den Realitäten, die sich vor unseren Augen verbergen, vermuten, so werden wir denken, daß eine derartige Theorie von einer neu gefundenen Tatsache eher widerlegt als bestätigt

werden wird. Es wäre ein wunderbarer Zufall, wenn die bisher unbekannte Gesetzmäßigkeit gerade einen ganz geeigneten Platz in dem Raume finden würde, der von den anderen Gesetzmäßigkeiten freigelassen wurde, und wir wären toll, wollten wir auf diese Hoffnung hin unseren Einsatz wagen.

Wenn wir im Gegenteil in der Theorie eine naturgemäße Klassifikation erkennen, wenn wir wissen, daß ihre Prinzipien tiefe und wirkliche Beziehungen zwischen den Dingen ausdrücken, werden wir nicht erstaunt sein zu sehen, daß ihre Folgerungen der Erfahrung vorausseilen und die Entdeckung neuer Gesetze befördern. Wir werden kühn auf sie wetten.

Wenn wir von einer Klassifikation fordern, daß sie von vornherein Tatsachen, die erst in Zukunft entdeckt werden, ihren Platz anweist, zeigt das am deutlichsten, daß wir diese Klassifikation für naturgemäß halten. Und wenn die Erfahrung die Voraussagungen unserer Theorie bestätigt, dann fühlen wir, wie sich in uns die Überzeugung festigt, daß die Beziehungen, die unser Verstand zwischen den abstrakten Begriffen hergestellt hat, tatsächlich den Beziehungen zwischen den Dingen entsprechen.

So stellt die moderne chemische Bezeichnung, indem sie sich der Konstitutionsformeln bedient, eine Klassifikation her, in die sich die verschiedenen Verbindungen einordnen. Die wunderbare Ordnung, die diese Klassifikation in das gewaltige Arsenal der Chemie bringt, macht uns schon sicher, daß sie nicht ein rein künstliches System sei. Die Bande der Analogie und der Ableitung durch Substitution, welche sie zwischen den verschiedenen Verbindungen herstellt, haben nur in unserem Geist Sinn. Und doch sind wir überzeugt, daß sie Verwandtschaftsbeziehungen zwischen den Substanzen selbst entsprechen, deren Natur uns zwar tief verborgen bleibt, deren Realität uns aber nicht zweifelhaft erscheint. Nichtsdestoweniger kann sich diese Überzeugung erst in eine unwiderlegliche Sicherheit verwandeln, wenn wir sehen, daß die chemische Theorie die Formeln einer Menge von Körpern im Voraus schreiben kann, und daß die Synthese, indem sie diese Angaben befolgt, Substanzen



herstellt, deren Zusammensetzung, ja sogar deren Eigenart wir kannten, bevor sie bestanden.

Ebenso wie die vorausgesagten Synthesen bestätigen, daß die chemische Bezeichnung eine naturgemäße Klassifikation sei, ebenso beweist die physikalische Theorie, daß sie der Reflex einer realen Ordnung sei, indem sie der Beobachtung vorausseilt.

Die Geschichte der Physik gibt uns nun eine Fülle von Beispielen solcher hellseherischer Wahrsagungen. Häufig hat eine Theorie noch nicht beobachtete Tatsachen und sogar solche, die unwahrscheinlich schienen, vorausgesehen, indem sie den Experimentator zur Entdeckung anreizte und zu ihr hinführte.

Die Académie des Sciences hatte als Thema für die Bewerbung um den Preis für Physik, welchen sie in der Sitzung im März 1819 zuerkennen sollte, die allgemeine Prüfung der Beugungerscheinungen des Lichtes festgesetzt. Von den zwei vorgelegten Arbeiten hatte die eine, die preisgekrönt wurde, Fresnel zum Verfasser. Biot, Arago, Laplace, Gay-Lussac und Poisson bildeten die Kommission.

Aus den von Fresnel aufgestellten Prinzipien leitete Poisson durch eine elegante Analyse folgende befremdende Folgerung ab: Wenn ein kleiner, kreisförmiger Schirm in den Weg der Strahlen, die von einem leuchtenden Punkt ausgehen, gestellt wird, dann existieren hinter dem Schirm, auf der Achse dieses Schirmes selbst, Punkte, die nicht nur beleuchtet, sondern genau ebenso hell sind, als wenn der Schirm nicht zwischen sie und die Lichtquelle gestellt worden wäre.

Eine derartige Konsequenz schien, da sie den frühesten und zuverlässigsten experimentellen Feststellungen scheinbar so entgegengesetzt war, wohl dazu angetan, zur Zurückweisung der Beugungstheorie, die Fresnel aufgestellt, zu führen. Arago hatte gestützt auf die Klarheit dieser Theorie Zutrauen zu deren naturgemäßen Charakter und versuchte eine Prüfung. Die Beobachtung ergab Resultate, die vollständig mit den so

wenig wahrscheinlichen Voraussagungen der Rechnung übereinstimmen<sup>1)</sup>.

So gibt die physikalische Theorie, wie wir sie definiert haben, eine gedrängte Darstellung einer großen Menge experimenteller Gesetze, die für die Ökonomie des Denkens förderlich ist.

Sie klassifiziert diese Gesetze. Indem sie sie klassifiziert, macht sie sie leichter und sicherer brauchbar. Indem sie in ihre Gesamtheit Ordnung bringt, erfüllt sie sie gleichzeitig mit Schönheit.

Sie nimmt, indem sie sich vervollkommenet, den Charakter einer naturgemäßen Klassifikation an. Die Gruppierungen, die sie herstellt, lassen die wirklichen Verwandtschaften der Dinge ahnen.

Dieser Charakter der naturgemäßen Klassifikation macht sich vor allem durch die Fruchtbarkeit der Theorie bemerkbar, die bisher nicht beobachtete Erfahrungstatsachen vorhersagt und deren Entdeckung beeinflusst.

Das genügt, um zu vermeiden, daß die Forschung nach physikalischen Theorien als unnütze und müßige Arbeit angesehen wird, obschon sie nicht die Erklärung der Erscheinungen anstrebt.

### Drittes Kapitel.

#### Die beschreibenden Theorien und die Geschichte der Physik.

##### § 1. — Die Rolle der naturgemäßen Klassifikation und der Erklärungen in der Entwicklung der physikalischen Theorien.

Als Ziel einer physikalischen Theorie betrachten wir, daß sie zu einer naturgemäßen Klassifikation werde, das heißt, daß sie zwischen den verschiedenen experimentellen Gesetzen eine logische Beziehung herstelle, die gleichsam ein Bild und ein Reflex der wirklichen Ordnung ist, in der die Realitäten, die

<sup>1)</sup> Oeuvres complètes d'Augustin Fresnel, t. I., pp. 236, 365, 368.

daß dieser Stein Gold enthalte. Der Chemiker aber, der mir eine glänzende Barre vorweist und sagt, das ist reines Gold, kann verbessernd beifügen: oder beinahe reines. Er kann nicht behaupten, daß die Barre nicht unmerkliche Spuren eines anderen Stoffes enthalte.

Der Mensch kann schwören, die Wahrheit zu sagen, aber es liegt nicht in seiner Macht die ganze Wahrheit und nur die Wahrheit zu sagen. „Die Wahrheit<sup>1)</sup> ist ein so feiner Punkt, daß unsere Instrumente zu stumpf sind, um sie zu treffen. Wenn sie zu ihr gelangen, drücken sie den Punkt platt und liegen dann mehr als auf dem Wahren auf dem Falschen, das es umgibt.“

## Zehntes Kapitel.

### Die physikalische Theorie und das Experiment.

§ 1. — Die experimentelle Kontrolle einer Theorie besitzt in der Physik nicht die gleiche logische Einfachheit wie in der Physiologie.

Die physikalische Theorie hat nur das Ziel, eine Darstellung und Klassifikation der experimentellen Gesetze zu liefern. Die einzige Probe, die es ermöglicht, eine physikalische Theorie zu beurteilen, sie als gut oder schlecht zu erklären, ist der Vergleich zwischen den Konsequenzen dieser Theorie und den experimentellen Gesetzen, die sie darstellen und gruppieren soll. Da wir nun genau die Eigenschaften eines Experimentes der Physik und eines physikalischen Gesetzes analysiert haben, können wir die Prinzipien festlegen, die bei dem Vergleich zwischen Experiment und Theorie zur Geltung kommen sollen. Wir können sagen, wie man erkennt, ob eine Theorie durch die Tatsachen bestätigt oder widerlegt wird.

Viele Philosophen denken, wenn sie über die experimentellen Wissenschaften sprechen, nur an solche, die in ihrer Entwicklung noch nicht weit fortgeschritten sind, wie die Phy-

<sup>1)</sup> Pascal: *Pensées*, édition Havet, art. III n° 3.

siologie, wie gewisse Zweige der Chemie, in denen der Forscher die Tatsachen direkt in Gedanken behandelt, in denen die Methode, die er benützt, nur die des gewöhnlichen, zu größerer Aufmerksamkeit angeregten Verstandes ist, in denen die mathematische Theorie noch nicht ihre symbolischen Darstellungen eingeführt hat. In solchen Wissenschaften ist der Vergleich zwischen den Deduktionen einer Theorie und den experimentellen Tatsachen sehr einfachen Regeln unterworfen. Diese Regeln wurden von Claude Bernard in sehr prägnanter Weise ausgedrückt und in folgendem einzigem Prinzip zusammengefaßt<sup>1)</sup>: „Der Experimentator muß zweifeln, die fixen Ideen fliehen und stets die Freiheit seines Kopfes wahren.“

„Die erste Bedingung, die ein Gelehrter erfüllen muß, der sich der Erforschung der Naturerscheinungen widmet, besteht darin, daß er sich vollkommene Freiheit des Denkens, die auf dem philosophischen Zweifel beruht, wahrt.“

Die Theorie soll nichts weiter als die Anregung zur Ausführung von Experimenten geben; „wir können<sup>2)</sup> unserem Gefühl und unseren Gedanken folgen, unserer Phantasie freien Lauf lassen, vorausgesetzt, daß alle unsere Gedanken nur dazu gebraucht werden, um neue Experimente anzuordnen, die uns Tatsachen liefern, die als Beweise dienlich oder unvorhergesehen und fruchtbar sind“. Wenn einmal das Experiment ausgeführt und die Resultate klar konstatiert sind, hat die Theorie sie nur zu benützen, um sie zu generalisieren, zu verknüpfen und aus ihnen neue Versuchsobjekte abzuleiten; „wenn man<sup>3)</sup> von den Prinzipien der experimentellen Methode erfüllt ist, hat man nichts zu fürchten; denn wenn ein Gedanke richtig ist, fährt man fort ihn zu entwickeln, wenn er irrig ist, wird ihn das Experiment berichtigen“. Aber solange das Experiment dauert, muß die Theorie vor der streng verschlossenen Türe des Laboratoriums bleiben. Sie muß Stillschweigen bewahren und den Gelehrten ungestört den Tatsachen

<sup>1)</sup> Claude Bernard: *Introduction à la Médecine expérimentale*. Paris, 1865; p. 63.

<sup>2)</sup> Claude Bernard: *loc. cit.* p. 64.

<sup>3)</sup> Claude Bernard: *loc. cit.* p. 70.

von Angesicht zu Angesicht gegenüberstehen lassen. Diese müssen ohne vorgefaßte Meinung beobachtet, mit der gleichen peinlichen Unparteilichkeit gesammelt werden, ob sie nun die Vorhersagungen der Theorie bestätigen oder ihnen widersprechen. Der Bericht, den uns der Beobachter über sein Experiment gibt, muß ein getreuer und peinlich genauer Abklatsch der Erscheinungen sein. Er darf uns sogar nicht ahnen lassen, welchem System der Gelehrte anhängt, gegen welches er Bedenken hegt.

„Die Leute<sup>1)</sup>, die übertriebenen Glauben an ihre Gedanken haben, sind nicht nur schlecht zur Ausführung von Entdeckungen veranlagt, sondern sie machen auch sehr schlechte Beobachtungen. Sie beobachten notwendigerweise mit einer vorgefaßten Meinung, und wenn sie ein Experiment angeordnet haben, wollen sie in den Resultaten desselben nur eine Bestätigung ihrer Theorie sehen. Sie entstellen so die Beobachtung und vernachlässigen oft sehr wichtige Tatsachen, weil sie nicht ihrem Zwecke entsprechen. Das veranlaßte uns früher zu sagen, daß man niemals Experimente ausführen soll um seine Gedanken zu bestätigen, sondern bloß um sie zu kontrollieren . . . Aber es ist auch ganz natürlich, daß diejenigen, die zu sehr an ihre eigenen Theorien, zu wenig an die der anderen glauben. Bei solchen Leuten, die stets auf andere herabsehen, herrscht die Idee vor, in den Theorien der anderen Fehler finden zu müssen und alles daran zu setzen, um ihnen widersprechen zu können. Dies ist für die Wissenschaft ebenso unzukömmlich. Sie führen Experimente nur aus, um eine Theorie zu vernichten, anstatt um die Wahrheit zu suchen. Ebenso führen sie schlechte Beobachtungen aus, weil sie in die Resultate ihrer Experimente nur das aufnehmen, was ihren Zwecken entspricht, alles vernachlässigen, was sich ihnen nicht einfügt und alles sorgfältig ausmerzen, was im Sinne des Gedankens, den sie bekämpfen wollen, liegen könnte. Man wird daher so auf zwei entgegengesetzten Wegen zu dem gleichen Resultat, das heißt zur Verfälschung der Wissenschaft und der Tatsachen, geführt.“

<sup>1)</sup> Claude Bernard: loc. cit. p. 67.

„Aus alledem muß man schließen, daß man ebensosehr seine eigene Meinung, wie die der anderen gegenüber den Entscheidungen des Experimentes zurücktreten lassen muß; . . . daß man die Resultate des Experimentes, wie sie sich darbieten, mit all ihrem Unvorhergesehenen und all ihren Zufälligkeiten akzeptieren muß.“

Nehmen wir zum Beispiel einen Physiologen. Er nimmt an, daß die vorderen Enden des Rückenmarks die motorischen Nervenfasern enthalten und die hinteren die sensitiven Fasern. Die Theorie, die er annimmt, führt ihn dazu, ein Experiment zu erdenken. Wenn er das vordere Ende abschneidet, muß die Beweglichkeit eines gewissen Körperteiles aufhören, ohne daß dessen Sensibilität Eintrag geschieht. Nachdem er dieses Ende abgeschnitten, beobachtet er die Folgen seiner Operation. Während er von ihnen Rechenschaft gibt, muß er von all seinen Gedanken über die Physiologie des Markes abstrahieren. Sein Bericht muß eine unveränderte Beschreibung der Tatsachen sein. Er darf keine Bewegung, kein Zucken, das seinen Vorhersagungen widerspricht, mit Stillschweigen übergehen; er darf es keiner sekundären Ursache zuschreiben, außer wenn ein besonderes Experiment diese Ursache klargelegt hat; er muß, wenn er nicht der wissenschaftlichen Unehrlichkeit angeklagt werden will, eine absolute Trennung, eine undurchlässige Scheidewand zwischen den Konsequenzen seiner theoretischen Deduktionen und der Konstatierung der Tatsachen, die ihm seine Experimente aufweisen, herstellen.

Eine derartige Regel ist nicht leicht zu befolgen. Sie erfordert vom Gelehrten eine absolute Unbefangenheit gegenüber seinem eigenen Fühlen, vollständigen Mangel an Animosität gegenüber der Meinung anderer; die Eitelkeit, wie der Neid dürfen nicht bis zu ihm dringen, oder wie Bacon sagt, „er darf niemals das Auge durch die menschlichen Leidenschaften benetzt haben“. Die Freiheit des Denkens, in der nach Claude Bernard das einzige Prinzip der experimentellen Methode besteht, hängt nicht nur von den intellektuellen Bedingungen, sondern ebensosehr von den moralischen, die sie noch seltener und verdienstvoller machen. ab.

Aber wenn die experimentelle Methode, so wie sie beschrieben wurde, schwierig zu handhaben ist, so ist doch ihre logische Analyse sehr einfach. Dem ist nicht mehr so, wenn die Theorie, die der Kontrolle der Tatsachen unterworfen werden soll, nicht mehr der Physiologie, sondern der Physik angehört. In diesem Falle kann in der Tat nicht mehr die Rede davon sein, die Theorie, die man prüfen will, vor der Türe des Laboratoriums zu lassen, denn ohne sie ist es unmöglich nur ein einziges Instrument zu justieren, eine einzige Ablesung zu interpretieren. Wir haben gesehen, daß im Kopfe des Physikers, der experimentiert, stets zwei Apparate vorhanden sind: der eine ist der konkrete Apparat aus Glas und Metall, mit dem er manipuliert, der andere ist der schematische und abstrakte, den die Theorie an Stelle des konkreten setzt und an den der Physiker seine Betrachtungen anknüpft. Diese beiden Begriffe sind unauflöslich in seinem Verstande vereinigt. Jeder von ihnen ruft notwendigerweise den anderen hervor. Der Physiker kann nicht an den konkreten Apparat denken, ohne den Begriff des schematischen Apparates zu assoziieren, ebenso wie der Franzose nicht an einen Begriff denken kann, ohne das französische Wort, durch das er ausgedrückt wird, in Gedanken danebenzustellen. Diese grundlegende Unmöglichkeit der Trennung der physikalischen Theorien von den experimentellen Verfahren, die zur Kontrolle dieser selben Theorien dienen sollen, macht diese Kontrolle besonders kompliziert und nötigt uns genau deren logischen Sinn zu prüfen.

Richtig ist, daß der Physiker nicht der einzige ist, der im Augenblick, in dem er experimentiert oder das Resultat seiner Experimente wiedergibt, von Theorien Gebrauch macht. Wenn der Chemiker oder der Physiologe von physikalischen Instrumenten, dem Thermometer, dem Manometer, dem Kalorimeter, dem Galvanometer oder Saccharimeter Gebrauch macht, nimmt er implizite die Richtigkeit von Theorien an, die den Gebrauch dieser Apparate rechtfertigen, von Theorien, die den abstrakten Begriffen Temperatur, Druck, Wärmemenge, Stromintensität, polarisiertes Licht erst einen Sinn geben, durch die die konkreten Angaben dieser Instrumente übersetzt werden.

Aber die Theorien, von denen diese Forscher Gebrauch machen, gehören ebenso wie die Instrumente, die sie anwenden, in das Gebiet der Physik. Indem der Chemiker und der Physiologe mit den Instrumenten die Theorien, ohne die deren Angaben keinen Sinn hätten, akzeptieren, schenken sie dem Physiker ihr Vertrauen und halten sie ihn für unfehlbar. Der Physiker aber muß gegen seine eigenen theoretischen Begriffe, wie gegen die seiner Fachgenossen mißtrauisch sein. Vom logischen Gesichtspunkt aus hat der Unterschied wenig Bedeutung. Für den Physiologen, für den Chemiker ebenso wie für den Physiker enthält der Ausdruck eines Resultates seines Experimentes im allgemeinen einen Akt des Glaubens an eine ganze Gruppe von Theorien.

§ 2. — Ein physikalisches Experiment kann niemals zur Verwerfung einer isolierten Hypothese, sondern immer nur zu der einer ganzen theoretischen Gruppe, führen.

Der Physiker, der ein Experiment ausführt oder über dasselbe berichtet, anerkennt implizite die Richtigkeit einer ganzen Gruppe von Theorien. Nehmen wir dieses Prinzip an und sehen wir, welche Konsequenzen man daraus ableiten kann, wenn man die Rolle und logische Tragweite eines physikalischen Experimentes einschätzen will.

Um jeden Irrtum zu vermeiden, unterscheiden wir zwei Arten von Experimenten: Experimentelle Anwendungen, die uns ohne weiteres eine Angabe machen und experimentelle Prüfungen, wie sie uns vor allem beschäftigen werden.

Wir befinden uns einem physikalischen Problem gegenüber, das wir praktisch lösen sollen. Um diese oder jene Wirkung hervorzubringen, müssen wir von den von den Physikern erlangten Kenntnissen Gebrauch machen. Wir wollen zum Beispiel eine Glühlampe zum Leuchten bringen. Die als zulässig erkannten Theorien geben uns die Hilfsmittel zur Lösung dieses Problems an. Aber um von diesen Hilfsmitteln Gebrauch machen zu können, müssen wir uns gewisse Aufschlüsse verschaffen. Wir müssen, wie wir annehmen wollen, die elektro-

motorische Kraft der Akkumulatorenbatterie, die wir besitzen, bestimmen. Wir messen diese elektromotorische Kraft. Hier haben wir eine experimentelle Anwendung vor uns. Dieses Experiment hat nicht den Zweck festzustellen, ob die als zulässig erkannten Theorien richtig sind oder nicht; es soll einfach aus diesen Theorien Nutzen ziehen. Um es auszuführen, machen wir von diesen Instrumenten, durch die die Richtigkeit dieser selben Theorien dargelegt wird, Gebrauch. Darin ist nichts, was die Logik verletzt.

Aber der Physiker hat es nicht nur mit den experimentellen Anwendungen, durch die die Wissenschaft allein die Praxis unterstützen kann, zu tun. Nicht durch sie wurde die Wissenschaft geschaffen und entwickelt, sondern durch die experimentellen Prüfungen, die neben den experimentellen Anwendungen vorgenommen werden.

Wie wird ein Physiker, wenn er ein bestimmtes Gesetz bestreitet, wenn er einen gewissen Punkt der Theorie in Zweifel zieht, die Entscheidung über seine Zweifel fällen, wie wird er die Unrichtigkeit des Gesetzes beweisen? Er wird aus dem in Frage gestellten Lehrsatz eine Vorhersage einer experimentellen Tatsache folgern, und sodann die Bedingungen, unter denen diese Tatsache entstehen muß, realisieren. Wenn die angekündigte Tatsache nicht entsteht, ist der Lehrsatz, der sie vorhergesagt, unrettbar gerichtet.

F. E. Neumann meinte, daß die Schwingung eines polarisierten Lichtstrahles parallel zur Polarisations-ebene sei. Viele Physiker haben diesen Lehrsatz in Zweifel gezogen. Was hat Hr. O. Wiener getan, um diesen Zweifel in Gewißheit zu verwandeln, um zu zeigen, daß der Lehrsatz von Neumann zu verwerfen sei? Er leitete aus diesem Lehrsatz folgende Konsequenz ab: Wenn man ein Lichtbündel, das unter  $45^\circ$  an einer Glasplatte reflektiert wurde mit dem einfallenden Bündel, das normal zur Einfallsebene polarisiert ist, interferieren läßt, müssen helle und dunkle Fransen, die parallel zur reflektierenden Fläche sind, entstehen. Er realisierte die Bedingungen, unter denen diese Fransen entstehen sollten und zeigte, daß die erwartete Erscheinung nicht eintrat. Er folgerte daraus, daß

der Lehrsatz von F. E. Neumann falsch sei, daß in einem polarisierten Strahl die Schwingung nicht parallel zur Polarisations-ebene sei. Eine derartige Beweismethode scheint ebenso überzeugend und unwiderlegbar, wie wenn etwas nach der bei den Mathematikern üblichen Methode ad absurdum geführt wird. Dieser Beweis ist übrigens der Methode des ad-absurdum-Führens nachgebildet, wobei der experimentelle Widerspruch im einen Falle, die Rolle des logischen Widerspruches im anderen spielt.

In Wirklichkeit fehlt viel dahin, daß die Beweiskraft der experimentellen Methode ebenso streng und absolut sei. Die Bedingungen, unter denen sie zur Anwendung kommt, sind viel verwickelter als wir es vorausgesetzt haben. Die Bestimmung der Resultate ist viel heikler und der Bestätigung bedürftig.

Ein Physiker will die Unrichtigkeit eines Lehrsatzes beweisen. Um aus diesem Lehrsatz eine zu erwartende Erscheinung abzuleiten, um das Experiment, das zeigen soll, ob diese Erscheinung eintritt oder nicht, anzuordnen, um die Resultate dieses Experimentes zu interpretieren und um zu konstatieren, ob die erwartete Erscheinung aufgetreten sei, kann er sich nicht auf die Anwendung des in Frage stehenden Lehrsatzes beschränken. Er wendet noch eine ganze Gruppe von Theorien an, die von ihm nicht in Frage gestellt sind. Das Auftreten oder Nichtauftreten der Erscheinung, das die Debatte entscheiden soll, ergibt sich nicht aus dem strittigen Lehrsatz allein, sondern aus der Verbindung desselben mit dieser ganzen Gruppe von Theorien. Wenn die erwartete Erscheinung nicht auftritt, wird nicht nur der einzige strittige Lehrsatz widerlegt, sondern das ganze theoretische Gerüst, von dem der Physiker Gebrauch gemacht hat. Das Experiment lehrt uns bloß, daß unter allen Lehrsätzen, die dazu gedient haben, die Erscheinung vorauszusagen und zu konstatieren, daß sie nicht auftritt, mindestens einer ein Irrtum sei. Aber wo dieser Irrtum liegt, sagt es uns nicht. Erklärt der Physiker, daß dieser Irrtum gerade in dem Lehrsatz, den er widerlegen will, enthalten sei und nirgends anders? Das würde bedeuten, daß er implizite die Richtigkeit aller anderen

Lehrsätze, von denen er Gebrauch macht, annimmt. Ebenso viel, wie dieses Vertrauen, ist sein Schluß wert.

Nehmen wir zum Beispiel das von Zenker erdachte und von Hrn. O. Wiener realisierte Experiment. Als Hr. O. Wiener die Gestalt der Fransen unter gewissen Bedingungen voraussetzte und zeigte, daß dieselben nicht auftreten, machte er nicht nur von dem berühmten Lehrsatz von F. E. Neumann, den er widerlegen wollte, Gebrauch. Er nahm nicht nur an, daß in einem polarisierten Strahl die Schwingungen parallel zur Polarisationssebene seien, sondern er bediente sich auch unter anderem der allgemein anerkannten Lehrsätze, der Gesetze und der Hypothesen, aus denen die Optik besteht. Er nahm an, daß das Licht aus einfachen, periodischen Schwingungen bestehe, daß diese Schwingungen normal zum Lichtstrahl seien, daß in jedem Punkte die mittlere lebendige Kraft der Schwingungsbewegung die Lichtintensität messe, daß die verschiedenen Grade dieser Intensität daran gemessen werden, inwieweit eine photographische Platte angegriffen wird. Diese verschiedenen Lehrsätze und viele andere, die aufzuzählen zu weitläufig wäre, mußte er dem von Neumann hinzufügen, damit er eine Voraussage formulieren und erkennen konnte, daß das Experiment dasselbe widerlege. Wenn nach Hrn. Wiener die Widerlegung einzig und allein dem Lehrsatz von Neumann gilt, wenn dieser allein die Verantwortung für den Fehler, den diese Widerlegung aufgedeckt hat, trägt, so bedeutet das, daß Hr. Wiener die anderen Sätze, die er verwendete, über allen Zweifel erhaben hielt. Aber dieses Vertrauen tritt nicht mit logischer Notwendigkeit auf. Nichts hindert uns, den Lehrsatz von F. E. Neumann für richtig zu halten und die Schuld des experimentellen Widerspruches irgend einem anderen gewöhnlich für zulässig gehaltenen Lehrsatz der Optik zuzuschreiben. Man kann sehr wohl, wie Hr. H. Poincaré gezeigt hat, die Hypothese von Neumann vor den Fangarmen des Experimentes des Hrn. O. Wiener bewahren, aber nur unter der Bedingung, daß man zum Tausch dafür die Hypothese, die die mittlere lebendige Kraft der Schwingungsbewegung zum Maß der Lichtintensität macht, preisgibt. Man kann, ohne mit dem

Experiment in Widerspruch zu kommen, die Schwingung parallel zur Polarisationssebene annehmen, vorausgesetzt, daß man die Lichtintensität durch die mittlere potentielle Energie des Mediums, das durch die Schwingungsbewegung deformiert wird, mißt.

Diese Prinzipien haben eine solche Bedeutung, daß es vielleicht nicht unnütz sein dürfte, sie auf ein anderes Beispiel anzuwenden. Wählen wir noch ein Experiment, das als eines der entscheidendsten in der Optik betrachtet wird.

Wie bekannt hat Newton eine Theorie der optischen Erscheinungen, die Emissionstheorie, entworfen. Die Emissionstheorie nimmt an, daß das Licht aus außerordentlich feinen Projektilen besteht, die mit ungeheurer Geschwindigkeit von der Sonne und anderen Lichtquellen weggeschleudert werden. Diese Projektile durchdringen alle durchsichtigen Körper. Von den verschiedenen Teilen der Medien, in deren Innern sie sich bewegen, werden auf sie anziehende oder abstoßende Kräfte ausgeübt. Dieselben sind sehr kräftig, wenn die Distanz, die die wirkenden Partikeln trennt, ganz klein ist, sie verschwinden, wenn die Massen, zwischen denen sie auftreten, sich merkbar voneinander entfernen. Diese grundlegenden Hypothesen führen in Verbindung mit mehreren andern, die wir mit Stillschweigen übergehen wollen, zu einer vollständigen Theorie der Reflexion und Refraktion des Lichtes. Im besonderen ergibt sich aus ihnen folgende Konsequenz: Der Brechungsindex des Lichtes beim Übergang aus einem Medium in ein anderes ist gleich der Geschwindigkeit des leuchtenden Projektils im Innern des Mediums, in das es eintritt, geteilt durch die Geschwindigkeit desselben Projektils im Innern des Mediums, das es verläßt.

Diese Konsequenz hat Arago gewählt, um zu beweisen, daß die Emissionstheorie mit den Tatsachen in Widerspruch stehe. Aus diesem Lehrsatz ergibt sich nämlich folgender andere: Das Licht bewegt sich im Wasser schneller als in Luft. Arago gab nun ein Verfahren an, um die Geschwindigkeit des Lichtes in Luft mit der in Wasser zu vergleichen. Das Verfahren war allerdings unanwendbar, aber Foucault modi-

fizierte das Experiment in der Art, daß es ausgeführt werden konnte und führte es auch aus. Er fand, daß das Licht sich weniger schnell im Wasser als in der Luft bewege. Daraus kann man mit Foucault schließen, daß das System der Emission mit den Tatsachen unvereinbar sei.

Ich sage das System der Emission, und nicht die Hypothese der Emission, denn es ist in der Tat die ganze Gruppe der von Newton, ebenso wie nachher von Laplace und Biot anerkannten Lehrsätze, in der das Experiment einen Fehler aufgewiesen hat. Es ist die ganze Theorie, aus der die Beziehung zwischen dem Brechungsindex und der Lichtgeschwindigkeit in verschiedenen Medien abgeleitet wird. Aber indem das Experiment dieses System als ganzes verwirft, indem es erklärt, daß es mit einem Fehler behaftet sei, sagt es nichts darüber, wo dieser Fehler liegt. Liegt er in der fundamentalen Hypothese, daß das Licht aus Projektilen besteht, die mit großer Geschwindigkeit von den leuchtenden Körpern weggeschleudert werden? Liegt er in irgend einer anderen Annahme über die Wirkungen, die die leuchtenden Teilchen von seiten der Medien, in deren Innern sie sich bewegen, erfahren? Wir wissen darüber nichts. Es wäre verwegen zu glauben, wie Arago gedacht zu haben scheint, daß das Experiment von Foucault unwiderbringlich die Emissions-Hypothese selbst, die Ersetzung eines Lichtstrahles durch einen Schwarm von Projektilen, vernichte. Wenn die Physiker einen Preis auf die Aufstellung eines optischen Systems, das auf diese Annahme gegründet und dabei mit dem Experiment von Foucault in Übereinstimmung steht, gesetzt hätten, würden sie sicher eine derartige Arbeit erhalten haben.

All dies zusammengefaßt ergibt sich, daß der Physiker niemals eine isolierte Hypothese, sondern immer nur eine ganze Gruppe von Hypothesen der Kontrolle des Experimentes unterwerfen kann. Wenn das Experiment mit seinen Voraussagen in Widerspruch steht, lehrt es ihn, daß wenigstens eine der Hypothesen, die diese Gruppe bilden, unzulässig ist und modifiziert werden muß.

Wir befinden uns da recht weit von der experimentellen

Methode, wie sie gerne jene Leute, die ihrer Funktion fremd gegenüberstehen, auffassen. Man denkt gewöhnlich, daß jede Hypothese, deren sich die Physik bedient, isoliert genommen und der Kontrolle des Experimentes unterworfen werden kann. Wenn dann verschiedene und vielfache Prüfungen den Wert derselben konstatieren ließen, kann sie in definitiver Weise in dem System der Physik ihren Platz finden. In Wirklichkeit ist es nicht so. Die Physik ist keine Maschine, die sich demontieren läßt. Man kann nicht jedes Stück isoliert untersuchen und voraussetzen, daß nur genau auf ihre Festigkeit kontrollierte Stücke montiert werden. Die physikalische Wissenschaft ist ein System, das man als Ganzes nehmen muß, ist ein Organismus, von dem man nicht einen Teil in Funktion setzen kann, ohne daß auch die entferntesten Teile desselben ins Spiel treten, die einen in höherem die anderen in geringerem, aber alle in irgend einem Grade. Wenn irgend eine Störung, irgend eine Beschwerde in seiner Funktion auftritt, so ist sie in der Tat durch das gesamte System hervorgerufen, und der Physiker muß das Organ finden, welches in Ordnung gebracht oder modifiziert werden muß, ohne daß es ihm möglich wäre, dieses Organ zu isolieren und es einzeln zu prüfen. Der Uhrmacher, dem man eine Uhr gibt, die nicht geht, nimmt alle Räder derselben heraus und prüft jedes einzeln, bis er das gefundene, welches fehlerhaft oder gebrochen ist. Der Arzt, der einen Kranken untersucht, kann diesen nicht zerschneiden, um seine Diagnose aufzustellen. Er muß den Sitz und die Ursache des Übels einzig und allein durch die Feststellung der Unregelmäßigkeiten, die am Körper als Ganzes auftreten, erkennen. Diesem und nicht jenem gleicht der Physiker, der eine lahme Theorie wieder auf die Beine bringen soll.

### § 3. — Das experimentum crucis. ist in der Physik unmöglich.

Verweilen wir noch einen Augenblick, da wir es hier mit einem der wesentlichsten Punkte der experimentellen Methode, wie sie in der Physik angewendet wird, zu tun haben.

Die Methode des ad-absurdum-Führens, die nur ein Mittel der Widerlegung zu sein scheint, kann zu einem Beweismittel werden. Um zu beweisen, daß ein Lehrsatz richtig ist, genügt es, den genau entgegengesetzten Lehrsatz zu einer absurden Konsequenz zu treiben. Man weiß, welche ausgedehnten Gebrauch die griechischen Mathematiker von dieser Art der Beweisführung gemacht haben.

Diejenigen, die den experimentellen Widerspruch mit der Methode des ad-absurdum-Führens gleichsetzen, meinen, daß man in der Physik von einem Argument Gebrauch machen kann, das dem von Euklid so häufig in der Geometrie benützten gleicht. Wollen Sie von irgend einer Gruppe von Erscheinungen eine gewisse, unbestreitbare, theoretische Erklärung erhalten? Zählen Sie alle Hypothesen auf, die man annehmen kann, um von dieser Erscheinungsgruppe Rechenschaft zu geben; alsdann eliminieren Sie auf Grund des experimentellen Widerspruches alle bis auf eine; diese letztere wird keine Hypothese mehr sein, sondern eine Gewißheit darstellen.

Nehmen Sie im Speziellen an, daß nur zwei Hypothesen vorhanden seien; suchen Sie experimentelle Bedingungen von der Art, daß eine dieser Hypothesen das Auftreten einer Erscheinung, die andere das einer ganz anderen Erscheinung anzeige; realisieren Sie diese Bedingungen und beobachten Sie, was geschieht; je nachdem Sie die erste der vorausgesagten Erscheinungen beobachten oder die zweite, werden Sie die zweite resp. die erste Hypothese verwerfen; diejenige, die nicht verworfen wird, wird in Zukunft unbestreitbar sein; die Debatte ist geschlossen, die Wissenschaft hat eine neue Wahrheit erlangt. Das ist die experimentelle Prüfung, der der Autor des *Novum Organum* den Namen „Experimentum crucis“ beilegte, „indem er diesen Ausdruck auf die Kreuze bezog, die an den Straßenkreuzungen die verschiedenen Wege anzeigen“.

Es liegen zwei Hypothesen über die Natur des Lichtes vor. Für Newton, Laplace, Biot besteht das Licht aus Projektilen, die sich mit ungeheurer Geschwindigkeit fortbewegen; für Huygens, Young, Fresnel besteht das Licht in Schwingungen,

deren Wellen sich im Innern eines Äthers fortpflanzen; die zwei Hypothesen sind die einzigen, die man für möglich hält; die Bewegung wird also entweder durch den Körper, der sie besitzt und mit dem sie verbunden bleibt, fortgetragen oder sie geht von einem Körper zum anderen über. Gehen wir von der ersten Hypothese aus, so ergibt sich, daß sich das Licht schneller in Wasser als in Luft bewegt; gehen wir von der zweiten aus, so ergibt sich, daß sich das Licht schneller in Luft als in Wasser bewegt. Montieren wir den Foucaultschen Apparat und setzen wir den rotierenden Spiegel in Bewegung. Vor unseren Augen werden sich zwei leuchtende Streifen bilden, deren einer nicht gefärbt, deren anderer grün ist. Wenn der grünliche Streifen an der linken Seite des ungefärbten auftritt, so bedeutet dies, daß sich das Licht schneller in Wasser als in der Luft bewegt, d. h. die Undulationshypothese ist falsch. Wenn dagegen das grünliche Band an der rechten Seite des ungefärbten auftritt, so bedeutet das, daß sich das Licht schneller in Luft als in Wasser bewegt, d. h. daß die Emissionshypothese widerlegt ist. Wir sehen durch die Lupe, die dazu dient, die beiden leuchtenden Streifen zu prüfen und konstatieren, daß der grünliche Streifen an der rechten des ungefärbten auftritt. Die Debatte ist entschieden, das Licht ist nicht ein Körper, sondern eine sich im Äther fortpflanzende Schwingungsbewegung. Die Emissionshypothese hat zu leben aufgehört, die Undulationstheorie kann nicht mehr in Zweifel gezogen werden. Dieses experimentum crucis hat in der Tat einen neuen Glaubensartikel des wissenschaftlichen Credo festgelegt.

Was wir im vorigen Paragraphen ausgeführt, zeigt, wie sehr man sich täuschen würde, wenn man dem Experiment von Foucault eine so einfache Bedeutung und eine so entscheidende Tragweite zuschreiben wollte. Das Experiment von Foucault entscheidet nicht zwischen zwei Hypothesen, der der Emission und der der Undulation, sondern zwischen zwei theoretischen Gruppen, deren jede als Ganzes genommen werden muß, zwischen zwei vollständigen Systemen, der Optik von Newton und der Optik von Huygens.



Aber nehmen wir einen Augenblick an, daß in jedem dieser Systeme alles folgerichtig, alles von logischer Notwendigkeit sei mit Ausnahme einer einzigen Hypothese; nehmen wir demzufolge auch an, daß die Tatsachen, indem sie einem dieser beiden Systeme widersprechen, auch mit Sicherheit die einzig zweifelhafte Annahme, die es enthält, verwerfen. Ergibt sich nun aber daraus, ebenso wie in der Geometrie, in der man, wenn man einen geometrischen Lehrsatz ad absurdum führt, die Gewißheit des widersprechenden erhält, daß man auch im experimentum crucis ein unwiderlegliches Verfahren besitzt, um eine der beiden vorliegenden Hypothesen in eine bewiesene Wahrheit zu verwandeln? Neben zwei Theoremen der Geometrie, die einander widersprechen, gibt es keinen Platz für ein drittes Urteil; wenn eines falsch ist, ist das andere notwendigerweise richtig. Bilden zwei physikalische Hypothesen jemals einen derartig strengen Doppelschluß? Würden wir jemals zu behaupten wagen, daß keine andere Hypothese denkbar sei? Das Licht kann ein Schwarm von Projektilen, es kann eine Schwingungsbewegung, deren Wellen sich in einem elastischen Medium fortpflanzen, sein; ist es ihm deshalb verboten, irgend etwas beliebig anderes zu sein? Arago meinte das ohne Zweifel, als er die folgende entscheidende Alternative formulierte: Bewegt sich das Licht schneller in Wasser als in Luft? „Das Licht ist ein Körper. Besteht das Gegenteil? Das Licht ist eine Welle“<sup>1)</sup>. Uns wäre es aber schwierig, uns in ebenso entscheidender Form auszudrücken. Maxwell hat uns in der Tat gezeigt, daß man das Licht ebensogut einer periodischen elektrischen Störung, die sich im Innern eines dielektrischen Mediums fortpflanzt, zuschreiben kann.

Der experimentelle Widerspruch ermöglicht es uns nicht — wie das von den Geometern verwendete ad-absurdum-Führen — eine physikalische Hypothese in eine unbestreitbare Wahrheit zu verwandeln. Um ihr dies zu ermöglichen,

<sup>1)</sup> Im Original: „La lumière est un corps. Le contraire a-t-il lieu? La lumière est une ondulation.“

müßte man alle verschiedenen Hypothesen aufzählen, die bei einer bestimmten Gruppe von Erscheinungen auftreten können. Der Physiker ist nun niemals sicher, alle denkbaren Annahmen erschöpft zu haben. Die Wahrheit einer physikalischen Theorie kann nicht nach Kopf und Wappen entschieden werden.

#### § 4. — Kritik der Newtonschen Methode. — Erstes Beispiel: Die Mechanik des Himmels.

Es ist illusorisch, mit Hilfe des experimentellen Widerspruches eine Argumentation, die das ad-absurdum-Führen nachahmt, konstruieren zu wollen. Aber die Geometrie kennt, um zur Gewißheit zu gelangen, noch andere Mittel, als den Weg per absurdum. Der direkte Beweis, bei dem die Wahrheit eines Lehrsatzes durch ihn selbst und nicht durch die Widerlegung des widersprechenden Lehrsatzes dargetan wird, erscheint ihr als der vollkommenste Gedankengang. Vielleicht wäre die physikalische Theorie in ihren Bemühungen glücklicher, wenn sie versuchte, den direkten Beweis nachzuahmen. Die Hypothesen, aus denen sie ihre Schlüsse ableitet, müßten dann Stück für Stück bewiesen werden. Jede von ihnen müßte akzeptiert werden, wie wenn sie die vollständige Gewißheit, die die experimentelle Methode einem abstrakten und allgemeinen Satz verleihen kann, darstellte. Das heißt, sie wäre notwendigerweise entweder ein Gesetz, das aus der Beobachtung auf Grund der zwei intellektuellen Operationen, die man Induktion und Generalisation nennt, abgeleitet, oder auch ein mathematisches Korollar, das aus solchen Gesetzen deduziert wurde. Eine auf solchen Hypothesen begründete Theorie würde nichts Willkürliches, nichts Zweifelhafte besitzen, sie würde das ganze Vertrauen verdienen, dessen die Hilfsmittel, die uns zur Formulierung der Naturgesetze dienen, würdig sind.

So ist jene physikalische Theorie beschaffen, die Newton pries, als er im Scholium generale, das das Werk über die Prinzipien krönt, jede Hypothese, die die Induktion nicht

aus der Erfahrung abgeleitet, so entschieden aus den Grenzen der Naturwissenschaft verwies, als er behauptete, daß in der gesunden Physik jeder Lehrsatz aus den Erscheinungen abgeleitet und durch die Induktion verallgemeinert werden müsse.

Die ideale Methode, die wir eben beschrieben, verdient daher ganz mit Recht den Namen Newtonsche Methode. Hat Newton nicht überdies, als er das System der allgemeinen Anziehung aufstellte, anknüpfend an seine Vorschriften das großartigste Beispiel derselben gegeben? Ist seine Theorie der Gravitation nicht vollständig aus den Gesetzen, die Kepler durch Beobachtung fand, Gesetzen, die die Überlegung umformt und deren Konsequenzen die Induktion verallgemeinert, abgeleitet?

Das erste Keplersche Gesetz: „Der Radius vector, der von der Sonne zu einem Planeten führt, überstreicht eine Fläche, die proportional der Zeit ist, während welcher man die Bewegung beobachtet“, hat in der Tat Newton gelehrt, daß jeder Planet konstant einer gegen die Sonne gerichteten Kraft unterworfen ist.

Das zweite Keplersche Gesetz: „Die Bahn jedes Planeten ist eine Ellipse, deren Brennpunkt die Sonne ist“, lehrte ihn, daß die Kraft, die auf einen bestimmten Planeten wirkt, mit dem Abstand desselben von der Sonne variere und im umgekehrten Verhältnis des Quadrates dieses Abstandes stehe.

Das dritte Keplersche Gesetz: „Die Quadrate der Umlaufzeiten der verschiedenen Planeten sind proportional den Kuben der großen Achsen ihrer Bahnen“ zeigte ihm, daß wenn verschiedene Planeten in den gleichen Abstand von der Sonne gebracht würden, sie von seiten dieses Gestirnes Anziehungen erfahren würden, die proportional ihren Massen sind.

Die durch Kepler experimentell erwiesenen, durch die mathematische Überlegung umgeformten Gesetze lehren alle Kennzeichen der Wirkung, die die Sonne auf einen Planeten ausübt, kennen; durch Induktion generalisiert Newton das erhaltene Resultat; er nimmt an, daß dieses Resultat das Ge-

setz ausdrücke, nach dem jede beliebige Menge Materie auf eine beliebige andere Materie wirkt, und formuliert folgendes großes Prinzip: „Zwei beliebige Körper ziehen sich gegenseitig mit einer Kraft an, die proportional dem Produkt ihrer Massen und umgekehrt proportional dem Quadrat ihres Abstandes ist“. Das Prinzip der allgemeinen Gravitation ist gefunden; er hatte es, ohne daß er von einer fiktiven Hypothese Gebrauch gemacht, durch die induktive Methode, deren Richtlinien er gezeichnet, erhalten.

Nehmen wir diese Anwendung der Newtonschen Methode etwas näher vor. Sehen wir, ob eine etwas strengere, logische Analyse den Schein der Strenge und Einfachheit, den diese allzusummarische Darstellung erzeugt, bestehen läßt.

Um dieser Diskussion alle nötige Klarheit zu sichern, beginnen wir mit der Erinnerung an folgendes Prinzip, das jedem, der sich mit der Mechanik beschäftigt, geläufig ist: Man kann nicht von der Kraft, die auf einen Körper unter gegebenen Umständen wirkt, sprechen, bevor man nicht den Punkt bezeichnet hat, der als fest angenommen wird, auf den man die Bewegung des Körpers bezieht; wenn man diesen Beziehungspunkt ändert, ändert auch die Kraft, die die auf den beobachteten Körper von den anderen ihn umgebenden ausgeübte Wirkung darstellt, ihre Richtung und Größe nach gewissen Regeln, die die Mechanik mit Genauigkeit ausspricht.

Nachdem wir das festgestellt, folgen wir den Überlegungen Newtons.

Newton nimmt im Anfang die Sonne als unbeweglichen Vergleichspunkt an. Er betrachtet die Bewegungen, die die verschiedenen Planeten besitzen, in Bezug auf diesen Punkt. Er nimmt an, daß diese Bewegungen den Keplerschen Gesetzen gehorchen und leitet aus ihnen folgenden Lehrsatz ab: „Wenn die Sonne der Beziehungspunkt für alle Kräfte ist, ist jeder Planet einer gegen die Sonne gerichteten Kraft unterworfen, die proportional der Masse des Planeten und umgekehrt proportional dem Quadrat seines Abstandes von der Sonne ist.

Was dieses Gestirn betrifft, so ist es, indem es als Beziehungspunkt gewählt wird, keiner Kraft unterworfen.

Newton studiert in analoger Weise die Bewegung der Satelliten, und für jeden von ihnen wählt er als unbeweglichen Beziehungspunkt den Planeten, den der Satellit begleitet, die Erde, wenn es sich um das Studium der Bewegung des Mondes handelt, den Jupiter, wenn ihn die Trabanten desselben beschäftigen. Gesetze, die den Keplerschen vollständig gleichen, werden als Regeln dieser Bewegungen angenommen. Aus ihnen ergibt sich, daß man folgenden neuen Lehrsatz formulieren kann: „Wenn man als unbeweglichen Beziehungspunkt den Planeten, den ein Satellit begleitet, annimmt, so ist dieser Satellit einer gegen den Planeten gerichteten Kraft unterworfen, die in umgekehrtem Verhältnis des Quadrates seines Abstandes vom Planeten wächst. Wenn, wie es bei Jupiter der Fall ist, derselbe Planet mehrere Satelliten besitzt, so würden sie, wenn sie in die gleiche Entfernung von ihm gebracht würden, Kräften unterliegen, die proportional ihren Massen sind. Der Planet selbst erfährt keinerlei Wirkung von seiten des Satelliten.“

Dies sind in sehr präziser Form die Lehrsätze, deren Aufstellung die Keplerschen Gesetze über die Planetenbewegungen und die Ausdehnung derselben auf die Bewegung der Satelliten ermöglichen. An Stelle dieser Lehrsätze setzt Newton einen anderen, der folgendermaßen ausgesprochen werden kann: „Zwei beliebige Himmelskörper üben aufeinander eine Anziehungskraft aus, die die Richtung der Geraden, welche sie verbindet, besitzt, proportional dem Produkt ihrer Massen und umgekehrt proportional dem Quadrate ihrer Entfernung ist. Dieser Ausdruck setzt voraus, daß alle Bewegungen und alle Kräfte auf den gleichen Beziehungspunkt bezogen seien. Dieser Punkt ist ein ideales Zeichen, das der Mathematiker recht wohl begreifen kann, dessen Lage am Himmel aber kein Körper in genauer und konkreter Weise bestimmt.“

Ist dieses Prinzip der allgemeinen Gravitation eine einfache Generalisation der zwei Ausdrücke, die die Keplerschen Gesetze und deren Ausdehnung auf die Satellitenbewegungen

geliefert haben? Kann die Induktion es aus diesen beiden Ausdrücken ableiten? Keineswegs. In der Tat ist es nicht nur allgemeiner, als diese beiden Ausdrücke, es ist nicht nur verschieden, sondern es steht in direktem Widerspruch zu ihnen. Wenn der Mechaniker das allgemeine Anziehungsprinzip anerkennt, kann er die Größe und Richtung der Kräfte, die auf die verschiedenen Planeten und die Sonne wirken, berechnen, wobei er letztere als Beziehungspunkt nimmt. Er findet dann, daß diese Kräfte keineswegs diejenigen sind, die unser erster Ausdruck verlangen würde. Er kann die Größe und Richtung jeder der Kräfte, die auf Jupiter und seine Satelliten wirken, bestimmen, unter der Annahme, daß alle Bewegungen auf den als unbeweglich vorausgesetzten Planeten bezogen seien. Er konstatiert, daß diese Kräfte nicht so sind, wie es unser zweiter Ausdruck erfordern würde.

Das Prinzip der allgemeinen Gravitation kann daher keineswegs durch Generalisation und Induktion aus den Beobachtungstatsachen, die Kepler formuliert hatte, abgeleitet werden, es widerspricht vielmehr in aller Form diesen Gesetzen. Wenn die Theorie von Newton richtig ist, sind die Keplerschen Gesetze notwendigerweise falsch.

Es sind daher nicht die Gesetze, die Kepler aus der Beobachtung der Himmelserscheinungen abgeleitet hat, die ihre experimentelle Sicherheit auf das Prinzip der allgemeinen Schwere übertragen, da man im Gegenteil, wenn man die absolute Richtigkeit der Keplerschen Gesetze annimmt, gezwungen wäre, den Lehrsatz, auf den Newton die Mechanik des Himmels aufbaut, zu verwerfen. Anstatt sich auf die Keplerschen Gesetze berufen zu können, findet der Physiker, der die Theorie der allgemeinen Gravitation rechtfertigen will, vor allem in diesen Gesetzen ein Hindernis, das überwunden werden muß. Er muß beweisen, daß seine Theorie, die mit der Richtigkeit dieser Gesetze unvereinbar ist, die Bewegungen der Planeten und Satelliten anderen Gesetzen unterwirft, die so wenig von den ersteren verschieden sind, daß Tycho-Brahe, Kepler und ihre Zeitgenossen die Abstände der Keplerschen

und Newtonschen Bahnen nicht zu unterscheiden vermocht hätten. Dieser Beweis kann aus dem Umstand, daß die Masse der Sonne sehr beträchtlich gegenüber den Massen der verschiedenen Planeten und die Masse eines Planeten sehr beträchtlich gegenüber den Massen seiner Satelliten ist, abgeleitet werden.

Wie kann daher die Newtonsche Theorie, wenn sich deren Gewißheit nicht aus der der Keplerschen Gesetze ergibt, als gültig bewiesen werden. Man wird aus ihr mit einer Annäherung, wie sie den stets verbesserten algebraischen Methoden entspricht, die Störungen berechnen, um die in jedem Augenblick jedes der Gestirne von der Bahn, die ihm gemäß den Keplerschen Gesetzen vorgezeichnet wäre, abweicht. Sodann wird man die berechneten Störungen mit den Störungen, die mit Hülfe der genauesten Instrumente und der präzisesten Methoden beobachtet wurden, vergleichen. Ein derartiger Vergleich wird nicht nur über diesen oder jenen Teil des Newtonschen Prinzips handeln, sondern alle Teile desselben auf einmal in Betracht ziehen, und ebenso auch aber alle Prinzipien der Dynamik. Außerdem wird er alle Lehrsätze der Optik, der Statik der Gase, der Wärmetheorie zu Hilfe nehmen, die nötig sind, um die Eigenschaften der Teleskope festzustellen, um sie zu konstruieren, zu justieren, zu korrigieren, um die durch die tägliche und jährliche Aberration und durch die atmosphärische Refraktion verursachten Fehler zu eliminieren. Es handelt sich nicht mehr darum, die durch Beobachtung festgestellten Gesetze Stück für Stück zu nehmen und jedes derselben durch Induktion und Generalisation zum Range eines Prinzips zu erheben, sondern es handelt sich vielmehr darum, die Folgesätze einer ganzen Gruppe von Hypothesen mit einer ganzen Gruppe von Tatsachen zu vergleichen.

Wenn wir nun die Ursachen suchen, die die Newtonsche Methode in dem Falle scheitern ließen, für den sie ersonnen wurde, und als dessen vollkommenste Anwendung sie erschien, finden wir sie in den zwei Kennzeichen, die jedes von der theoretischen Physik verwendete Gesetz besitzt: Ein solches Gesetz ist symbolisch und angenähert.

Ohne Zweifel handeln die Keplerschen Gesetze direkt von den eigentlichen Objekten der astronomischen Beobachtung. Sie sind so wenig symbolisch, wie nur möglich. Aber in dieser rein experimentellen Form können sie nicht zur Aufstellung des Prinzips der allgemeinen Schwere führen. Damit sie diese Fruchtbarkeit erlangen, müssen sie umgeformt werden, müssen sie die Eigenschaften der Kräfte, mit denen die Sonne die verschiedenen Planeten anzieht, kennen lehren.

Diese neue Form der Keplerschen Gesetze ist nun eine symbolische Form. Die Dynamik allein gibt den Worten Kraft und Masse, die dazu dienen, sie auszudrücken, einen Sinn. Die Dynamik allein ermöglicht es, die alten, realistischen Formeln, durch die neuen symbolischen, die Gesetze bezüglich der Bahnen durch Ausdrücke bezüglich der Kräfte und Massen zu ersetzen. Die Berechtigung einer derartigen Substitution setzt volles Vertrauen zu den Gesetzen der Dynamik voraus.

Um dieses Vertrauen zu rechtfertigen, wollen wir nicht behaupten, daß die Gesetze der Dynamik, im Augenblick, als Newton von ihnen Gebrauch machte, um die Keplerschen Gesetze zu symbolisieren, außer allem Zweifel standen, daß sie durch das Experiment Bestätigungen erfahren haben, die hinreichend sind, um die Zustimmung der Vernunft herbeizuführen. In Wirklichkeit wurden sie bis dahin nur recht speziellen und recht groben Prüfungen unterworfen. Ihre eigenen Ausdrücke waren recht unsicher und verschwommen geblieben. Erst im Werke über die Prinzipien wurden sie zum ersten Male in scharfer Weise formuliert. In der Übereinstimmung der Tatsachen mit der Mechanik des Himmels, die aus den Werken Newtons stammte, fanden sie ihre ersten, überzeugenden Verifikationen.

So setzte die Übertragung der Keplerschen Gesetze in symbolische, die allein für die Theorie dienlich sein können, von vornherein die Zustimmung des Physikers zu einer ganzen Gruppe von Hypothesen voraus. Aber noch mehr. Da die Keplerschen Gesetze nur angenähert sind, ermöglicht die Dynamik von ihnen eine Unzahl symbolischer Übertragungen zu

liefern. Unter diesen verschiedenen, ungezählten Formen gibt es eine, und nur eine, die mit dem Newtonschen Prinzip übereinstimmt. Die Beobachtungen von Tycho-Brahe, die von Kepler in so glücklicher Weise als Gesetze formuliert wurden, ermöglichen es dem Theoretiker, diese Form zu suchen, aber sie drängen sie ihm nicht auf, sie hätten es ihm ebenso gut ermöglicht, eine Unzahl anderer zu wählen.

Der Theoriker kann sich daher nicht begnügen, zur Rechtfertigung seiner Wahl die Keplerschen Gesetze heranzuziehen. Wenn er beweisen will, daß das Prinzip, das er sich zu eigen machte, wirklich ein Prinzip der naturgemäßen Klassifikation der Bewegungen am Himmel sei, muß er zeigen, daß die beobachteten Störungen mit den im voraus berechneten übereinstimmen. Er muß aus der Bahn des Uranus auf die Existenz und Lage eines neuen Planeten schließen und in der angezeigten Richtung Neptun in seinem Teleskop erscheinen sehen.

#### § 5. — Kritik der Newtonschen Methode (Fortsetzung). — Zweites Beispiel: Die Elektrodynamik.

Nach Newton hat niemand deutlicher als Ampère erklärt, daß jede physikalische Theorie allein durch Induktion aus dem Experiment abgeleitet werden müsse. Kein Werk hat sich enger an die *Philosophiae naturalis Principia mathematica* angeschmiegt, als die *Théorie mathématique des Phénomènes électrodynamiques uniquement déduite de l'expérience*.

„Die Epoche, deren Kennzeichen in der Geschichte der Wissenschaft die Arbeiten Newtons bilden, ist nicht nur die der bedeutendsten Entdeckung, die der Mensch jemals über die Ursachen der großen Erscheinungen in der Natur gemacht, sondern sie ist auch die Epoche, in der der menschliche Geist sich einen neuen Weg in die Wissenschaften, deren Aufgabe das Studium dieser Erscheinungen ist, gebahnt hat“. Mit diesen Zeilen beginnt Ampère seine Darlegungen in der *Théorie mathématique*. Er fährt folgendermaßen fort:

„Newton war weit davon entfernt, zu denken“, daß das Gesetz der allgemeinen Schwere „hätte entdeckt werden können, wenn man von abstrakten, mehr oder minder einleuchtenden Betrachtungen ausgegangen wäre. Er stellte fest, daß es aus den beobachteten Tatsachen oder vielmehr aus solchen empirischen Gesetzen, die wie die Keplerschen nur generalisierte Resultate einer großen Anzahl von Tatsachen sind, abgeleitet werden müsse“.

„Der Weg den Newton ging, war folgender: Zuerst wurden die Tatsachen beobachtet und deren Bedingungen, soweit als irgend möglich, variiert; bei dieser ersten Arbeit werden genaue Messungen angestellt, um aus ihnen allgemeine, einzig auf die Erfahrung gegründete Gesetze und sodann aus diesen Gesetzen unabhängig von jeder Hypothese über die Natur der Kräfte, die die Phänomene erzeugen, die mathematische Größe derselben, d. h. die Formel, die sie darstellen, abzuleiten. Diese Methode wurde allgemein in Frankreich von den Gelehrten, denen die Physik jene immensen Fortschritte, die sie in der letzten Zeit gemacht hat, verdankt, angewendet und sie diente auch mir als Führer in allen meinen Untersuchungen über die elektrodynamischen Erscheinungen. Ich hielt mich einzig an das Experiment, um die Gesetze dieser Erscheinungen aufzustellen und aus ihnen habe ich die Formel, die die Kräfte, aus denen sie entspringen, allein darstellen kann, abgeleitet. Ich habe keine Untersuchung über die eigentliche Ursache, die man diesen Kräften zuschreiben kann, ausgeführt, da ich fest überzeugt bin, daß jeder Untersuchung dieser Art die rein experimentelle Kenntnis der Gesetze und die Bestimmung des Wertes der Elementarkraft, die einzig aus diesen Gesetzen abgeleitet werden kann, vorausgehen muß“.

Man hat weder eine sehr aufmerksame noch sehr tiefgehende Kritik nötig, um zu erkennen, daß die mathematische Theorie der elektrodynamischen Erscheinungen in keiner Weise gemäß der Methode, die Ampère ihr vorzeichnet, verfährt, daß sie nicht einzig aus der Erfahrung abgeleitet sei. Die Tatsachen des Experimentes wären, roh, wie sie von Natur aus sind, nicht der mathematischen Behandlung

zugänglich gewesen. Um diese Behandlung zu ermöglichen, müssen sie umgebildet und in symbolische Form gebracht werden. Dieser Umbildung hat Ampère sie unterworfen. Er begnügt sich nicht, die Apparate aus Metall, in denen die Ströme fließen auf einfache geometrische Figuren zu reduzieren. Eine derartige Versinnbildlichung drängt sich zu natürlich auf, um Gelegenheit zu einem ersten Zweifel zu geben. Er begnügt sich auch nicht, den der Mechanik entlehnten Begriff der Kraft und die verschiedenen Theoreme, die diese Wissenschaft bilden, zu verwenden. In der Epoche, in der er schrieb, konnten diese Theoreme als über jeden Zweifel erhaben angesehen werden. Er macht überdies von einer ganzen Gruppe vollständig neuer, vollständig willkürlicher Hypothesen, von denen manche sogar ein wenig überraschend sind, Gebrauch. In erster Linie muß man unter diesen Hypothesen die intellektuelle Operation erwähnen, durch die er den elektrischen Strom, der in Wirklichkeit nicht gebrochen werden könnte, ohne daß er zu existieren aufhört, in unendlich kleine Elemente zerlegt. Sodann die Annahme, daß alle wirklichen elektrodynamischen Wirkungen sich in fingierte Wirkungen auf die Paare, die je zwei Stromelemente bilden, zerlegen lassen. Sodann das Postulat, daß die wechselseitigen Wirkungen von zwei Elementen sich auf zwei Kräfte zurückführen lassen, die an den Elementen angreifen, die Richtung von deren Verbindungsgeraden besitzen, einander gleich und entgegengesetzt sind. Sodann jenes andere Postulat, daß der Abstand der beiden Elemente in der Formel für ihre Wechselwirkung bloß im Nenner und zu einer bestimmten Potenz erhoben, auftrete.

Diese verschiedenen Annahmen sind so wenig augenscheinlich, so wenig zwingend, daß mehrere von ihnen von den Nachfolgern Ampères kritisiert oder verworfen wurden. Andere Hypothesen, die ebenso geeignet sind die fundamentalen Experimente der Elektrodynamik auszudrücken, wurden von anderen Physikern vorgeschlagen. Aber keinem von ihnen gelang es, einen solchen Ausdruck zu geben, ohne ein neues Postulat zu formulieren; dies zu verlangen wäre auch absurd.

Die Notwendigkeit für den Physiker, die experimentellen

Tatsachen symbolisch auszudrücken, bevor er sie in seine Überlegungen einführt, macht den rein induktiven Weg, den Ampère vorgezeichnet hat, für ihn unbrauchbar. Dieser Weg ist ihm ebenso deshalb verboten, weil keines der beobachteten Gesetze genau, sondern jedes nur angenähert ist.

Die Annäherung der Ampèreschen Experimente ist eine sehr grobe. Er gibt von den beobachteten Tatsachen eine symbolische Übertragung, die für den Ausbau seiner Theorie geeignet ist. Aber wie leicht wäre es ihm gewesen, die Ungenauigkeit der Beobachtungen zu benützen, um von ihr eine ganz andere Übertragung zu geben! Hören wir Wilhelm Weber<sup>1)</sup>:

„Ampère hat seine mathematische Theorie der elektrodynamischen Erscheinungen in der Überschrift seiner Abhandlung als einzig aus der Erfahrung abgeleitet, bezeichnet, und man findet in der Abhandlung selbst die sinnreiche einfache Methode ausführlich entwickelt, welche er zu diesem Zwecke angewandt hat. Man findet darin die von ihm gewählten Versuche und ihre Bedeutung für die Theorie ausführlich erörtert und die Instrumente zu ihrer Ausführung genau und vollständig beschrieben; doch fehlt es an einer genauen Beschreibung der Versuche selbst. Bei solchen Fundamentalversuchen genügt es aber nicht, den Zweck derselben anzugeben und die Instrumente zu beschreiben, womit sie gemacht werden, und im allgemeinen bloß die Versicherung beizufügen, daß sie von dem erwarteten Erfolge begleitet gewesen seien, sondern es ist auch nötig, in das Detail der Versuche selbst genauer einzugehen und anzugeben, wie oft jeder Versuch wiederholt, welche Abänderungen gemacht worden, und welchen Einfluß letztere gehabt haben, kurz, protokollmäßig alle Data mitzuteilen, welche zur Begründung eines Urteils über den Grad der Sicherheit oder Gewißheit des Resultates beitragen. Solche nähere Angaben über die Versuche hat Ampère nicht mitgeteilt, und es mangeln dieselben auch

<sup>1)</sup> Wilhelm Weber: Elektrodynamische Maaßbestimmungen, Leipzig, 1846, p. 6–7.

jetzt noch zur Vervollständigung eines direkten tatsächlichen Beweises der elektrodynamischen Fundamentalgesetze. Die Tatsache der Wechselwirkung der Leitungsdrähte im allgemeinen ist zwar durch häufig wiederholte Versuche außer Zweifel gesetzt; aber nur mit solchen Mitteln und unter solchen Umständen, wo an keine quantitativen Bestimmungen gedacht werden konnte, geschweige, daß diese Bestimmungen eine Schärfe erreicht hätten, welche notwendig ist, um das Gesetz jener Erscheinungen als erfahrungsmäßig bewiesen zu betrachten“.

„Nun hat zwar Ampère häufiger von dem Ausbleiben elektrodynamischer Wirkungen, welches er beobachtet hatte, eine ähnliche Anwendung gemacht, wie von Messungen, die das Resultat  $= 0$  ergeben hätten, und hat durch diesen Kunstgriff mit großem Scharfsinne und vieler Geschicklichkeit die notwendigsten Grunddata und Prüfungsmittel für seine theoretischen Kombinationen zu gewinnen gesucht, was in Ermangelung besserer Data nicht anders möglich war; solchen negativen Erfahrungen, wenn sie auch einstweilen die Stelle mangelnder positiver Messungsergebnisse vertreten müssen, kann aber,“ da bei diesen Experimenten, alle passiven Widerstände, alle Reibungen, alle Fehlerquellen präzise auf Erzeugung der Erscheinung, die man zu beobachten wünscht, hinwirken, „keineswegs der ganze Wert und die volle Beweiskraft zugeschrieben werden, welche die letzteren besitzen, wenn sie nicht selbst mit solchen Hilfsmitteln und unter solchen Verhältnissen gewonnen worden sind, mit denen und unter welchen auch wahre Messungen sich ausführen lassen, was mit den von Ampère gebrauchten Instrumenten nicht möglich war“.

Bei so wenig genauen Experimenten bleibt dem Physiker die Sorge überlassen, unter einer Unzahl gleich gut möglicher symbolischer Übersetzungen zu wählen. Sie bedingen keineswegs eine bestimmte Wahl und sie verleihen dieser auch keine Gewißheit. Einzig die Intuition, die zu der Form der aufzustellenden Theorie rät, leitet diese Wahl. Diese Rolle der Intuition ist besonders in dem Werke Ampères wichtig.

Es genügt die Schriften dieses großen Mathematikers durchzublüättern, um zu erkennen, daß seine fundamentale Formel der Elektrodynamik vollständig durch eine Art Sehergabe gefunden wurde, daß die Experimente, auf die er sich beruft, nachträglich ersonnen und gerade deshalb kombiniert wurden, um gemäß der Newtonschen Methode eine Theorie, die tatsächlich auf Grund einer Serie von Postulaten aufgestellt wurde, darstellen zu können.

Ampère war übrigens zu aufrichtig, um wissentlich zu verhehlen, daß seine einzig aus der Erfahrung abgeleitete Auseinandersetzung etwas Künstliches habe. Am Ende seiner *Théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques* schreibt er die folgenden Zeilen: „Ich glaube am Schluß dieser Abhandlung erwähnen zu müssen, daß ich noch nicht Zeit hatte, die in der Figur 4 der ersten Tafel und in der Figur 20 der zweiten Tafel dargestellten Instrumente zu konstruieren. Die Experimente, für die sie bestimmt sind, wurden daher noch nicht ausgeführt“. Der erste der beiden Apparate nun, von denen hier die Rede ist, hatte den Zweck, den letzten der vier fundamentalen Fälle des Gleichgewichts, die als Säulen des Gebäudes von Ampère dienten, zu verwirklichen. Mit Hilfe jenes Experimentes, für das dieser Apparat bestimmt war, sollte die Potenz des Abstandes, nach dem die elektrodynamischen Wirkungen vor sich gehen, festgestellt werden. Die elektrodynamische Theorie von Ampère ist daher keineswegs einzig aus der Erfahrung abgeleitet worden, sondern das Experiment hatte im Gegenteil nur einen sehr geringen Anteil an deren Ausbildung. Es war bloß die Gelegenheit, die die Intuition des genialen Physikers wachrief und diese Intuition tat das übrige.

Durch die Untersuchungen von Wilhelm Weber wurde die vollständig intuitive Theorie Ampères zum erstenmal einer eingehenden Prüfung an den Tatsachen unterworfen. Aber diese Prüfung wurde keineswegs auf Grund der Newtonschen Methode durchgeführt. Aus der in ihrer Gänze genommenen Theorie Ampères deduzierte Weber gewisse, der Rechnung zu-

gängliche Wirkungen. Die Theoreme der Statik und der Dynamik, zu denen sogar noch gewisse Lehrsätze der Optik kamen, ermöglichten ihm einen Apparat, das Elektrodynamometer zu ersinnen, durch den dieselben Wirkungen präzisen Messungen unterworfen werden können. Die Übereinstimmung der Voraussagungen der Rechnung mit den Resultaten der Messungen bestätigt nun nicht diesen oder jenen isolierten Lehrsatz der Theorie von Ampère, sondern die ganze Gruppe elektrodynamischer, mechanischer und optischer Hypothesen, auf die man sich bei der Interpretation eines jeden der Weberschen Experimente berufen muß.

Somit ist dort, wo Newton scheiterte, Ampère noch heftiger auf den Grund geraten. Das kommt daher, daß zwei unausweichliche Klippen den rein induktiven Weg für den Physiker ungangbar machen. In erster Linie kann kein experimentelles Gesetz dem Theoretiker dienen, bevor es einer Interpretation, die es in ein symbolisches Gesetz umbildet, unterworfen wurde. Diese Interpretation schließt nun die Anerkennung einer ganzen Gruppe von Theorien in sich. In zweiter Linie ist kein experimentelles Gesetz genau. Ein jedes ist nur angenähert und daher eine Unzahl verschiedener symbolischer Übersetzungen möglich. Unter allen diesen Übersetzungen muß der Physiker diejenige wählen, die der Theorie eine fruchtbare Hypothese liefert, ohne daß das Experiment irgendwie seine Wahl leiten würde.

Diese Kritik der Newtonschen Methode führt uns auf Schlußfolgerungen zurück, auf die wir schon bei der Kritik des experimentellen Widerspruches und des Experimentum crucis gekommen waren. Diese Schlußfolgerungen verdienen, daß wir sie mit aller Klarheit formulieren. Es sind folgende:

Man jagt einer Chimäre nach, wenn man irgend eine der Hypothesen der theoretischen Physik von den anderen Annahmen, auf denen diese Wissenschaft ruht, zu trennen sucht, um sie isoliert der Kontrolle der Beobachtung zu unterwerfen; es schließt nämlich die Verwirklichung und Interpretation jedes beliebigen

Experimentes der Physik die Anerkennung einer ganzen Gruppe theoretischer Lehrsätze in sich.

Die einzige experimentelle Kontrolle der physikalischen Theorie, die nicht unlogisch ist, besteht in dem Vergleich DES VOLLSTÄNDIGEN SYSTEMES DER PHYSIKALISCHEN THEORIE MIT DER GANZEN GRUPPE EXPERIMENTELLER TATSACHEN und in der Feststellung, ob diese durch jene in befriedigender Weise dargestellt wird.

#### § 6. — Konsequenzen in bezug auf den physikalischen Unterricht.

Im Gegensatz zu dem, was wir uns darzulegen bemüht haben, nimmt man im allgemeinen an, daß jede Hypothese der Physik aus der Gesamtheit getrennt und isoliert der Kontrolle des Experimentes unterworfen werden könne. Natürlich leitet man aus diesem irrtümlichen Prinzip falsche Konsequenzen in bezug auf die Methode des physikalischen Unterrichtes ab. Man wünscht, daß der Lehrer alle Hypothesen der Physik in eine bestimmte Ordnung bringe; daß er die erste nehme, deren Formulierung angebe, deren experimentelle Bestätigungen aufzeige und sodann, wenn diese Bestätigungen als hinreichend erkannt wurden, die Hypothese als akzeptiert bezeichne. Ja, noch mehr, man wünscht, daß er diese erste Hypothese auf Grund induktiver Generalisation eines rein experimentellen Gesetzes formuliere. Er würde diese Operation bei der zweiten Hypothese, ebenso der dritten usw. zu wiederholen haben, bis die Physik vollständig dargestellt wäre. Man würde die Physik ebenso lehren können, wie man die Geometrie lehrt. Die Hypothesen würden einander ebenso wie die Theoreme folgen. Die experimentelle Prüfung jeder Annahme würde den Beweis eines jeden Lehrsatzes ersetzen. Man würde kein Ergebnis erhalten, welches nicht aus den Tatsachen abgeleitet ist oder nicht ohne weiters durch die Tatsachen gerechtfertigt werden könnte.

So ist das Ideal beschaffen, das sich viele Professoren setzen, das manche vielleicht glauben erreicht zu haben. Es



fehlt nicht an gewichtigen Stimmen, die sie zur Verfolgung dieses Ideales anspornen. „Es ist wichtig,“ sagt Hr. H. Poincaré<sup>1)</sup>, „die Hypothesen nicht übermäßig zu vervielfältigen und sie einzeln nacheinander aufzustellen. Wenn wir eine, auf vielfache Hypothesen gegründete Theorie bilden, welche unter unsern Prämissen muß dann notwendigerweise geändert werden, wenn das Experiment die Theorie widerlegt? Das zu wissen, ist unmöglich. Und umgekehrt, wenn das Experiment gelingt, wird man dann glauben, alle Hypothesen auf einmal verifiziert zu haben? Wird man glauben, mit einer einzigen Gleichung mehrere Unbekannte bestimmt zu haben?“

Speziell die rein induktive Methode, deren Gesetze Newton formuliert hat, wird von vielen Physikern als die einzige Methode, die es ermöglicht, verstandesmäßig die Naturwissenschaft darzustellen, angesehen: „Die Lehre, die wir bringen werden“, sagt Gustave Robin<sup>2)</sup> „wird nur eine Kombination einfacher, durch das Experiment gegebener Induktionen sein. Was diese Induktionen betrifft, so werden wir sie stets in leicht merkbaren Ausdrücken formulieren, die direkten Verifikationen zugänglich sind, wobei wir niemals außer Betracht lassen, daß eine Hypothese niemals durch ihre Konsequenzen verifiziert werden könne.“ Es ist jene Newtonsche Methode, die denjenigen, die die Aufgabe haben, die Physik in der Mittelschule zu unterrichten, empfohlen, wo nicht vorgeschrieben wird. „Die Methoden der mathematischen Physik im Mittelschulunterricht“, wird ihnen gesagt<sup>3)</sup>, „sind mangelhaft; sie gehen von a priori aufgestellten Hypothesen oder Definitionen aus, aus denen Deduktionen abgeleitet werden, die der Kontrolle des Experimentes unterworfen werden müssen. Diese Methode kann im Unterricht der speziellen Mathematik entsprechen, man hat aber unrecht, sie gegenwärtig in den Ele-

<sup>1)</sup> H. Poincaré: Science et Hypothèse, p. 179. [Deutsche Ausgabe, Leipzig 1906, p. 153.]

<sup>2)</sup> G. Robin: Oeuvres scientifiques, Thermodynamique générale. Introduction p. XII, Paris 1901.

<sup>3)</sup> Note sur une conférence de M. Joubert, inspecteur général de l'Enseignement secondaire. (L'Enseignement secondaire, 15. avril 1903.)

mentarkursen der Mechanik, der Hydrostatik, der Optik anzuwenden. Ersetzen wir sie durch die induktive Methode.“

Die vorangehenden Erörterungen haben mehr als genügend folgende Wahrheit festgestellt: Die induktive Methode, deren Gebrauch man dem Physiker empfiehlt, ist für ihn ebenso unanwendbar, wie für den Mathematiker jene vollkommen deduktive Methode, die darin besteht, alles zu definieren und alles zu beweisen, jene Methode, in die sich gewisse Geometer zu verbeißen scheinen, obwohl Pascal an derselben vor langer Zeit gerechte und strenge Kritik geübt hat. Es ist daher wohl klar, daß diejenigen, die behaupten, nach dieser Methode die Reihe der physikalischen Prinzipien zu entwickeln, von derselben notwendigerweise eine Darstellung geben werden, die in irgend einem Punkte fehlerhaft ist.

Unter den Mängeln, die eine derartige Darstellung kennzeichnen, ist der häufigste und gleichzeitig wegen der falschen Ideen, die er in den Verstand der Schüler einpflanzt, auch der schwerste, das fingierte Experiment. Der Physiker, der genötigt ist, sich auf ein Prinzip zu berufen, das in Wirklichkeit keineswegs aus den Tatsachen abgeleitet wurde, das keineswegs durch Induktion entstand, und dem es dabei widerstrebt, dieses Prinzip für das auszugeben, was es ist, d. h. für ein Postulat, ersinnt ein Experiment, das, wenn es ausgeführt und gelungen wäre, zu dem Prinzip führen könnte, dessen Berechtigung dargetan werden soll.

Die Berufung auf ein derartiges fingiertes Experiment bedeutet, daß ein auszuführendes Experiment an Stelle eines ausgeführten gesetzt wird. Man rechtfertigt somit ein Prinzip nicht mit Hilfe der beobachteten Tatsachen, sondern mit Hilfe solcher, deren Realisierung man voraussagt. Und diese Voraussagung hat kein anderes Fundament, als den Glauben an das Prinzip, zu dessen Stütze man sich auf eben dieses Experiment beruft. Ein derartiges Beweisverfahren führt zu einem Circulus vitiosus, und derjenige, der es vorbringt, ohne hervorzuheben, daß das angegebene Experiment nicht ausgeführt wurde, begeht eine Unredlichkeit.

Manchmal würde das von dem Physiker beschriebene fingierte Experiment, wenn man es zu realisieren versuchen würde, kein irgendwie genaues Resultat ergeben. Die sehr unbestimmten und groben Wirkungen, die es hervorbringen würde, könnten ohne Zweifel mit dem zu rechtfertigenden Lehrsatz in Übereinstimmung gebracht werden, aber sie würden auch mit manchen andern, sehr verschiedenen Lehrsätzen in Übereinstimmung sein. Die Beweiskraft eines derartigen Experimentes wäre daher sehr schwach und der Bestätigung bedürftig. Das Experiment, das Ampère erdacht hat, um zu beweisen, daß die elektrodynamischen Wirkungen umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung vor sich gehen, das er aber nicht ausgeführt hat, ist ein schlagendes Beispiel eines solchen fingierten Experimentes.

Aber es kommt Schlimmeres vor. Recht häufig ist das fingierte Experiment, auf das man sich beruft, nicht nur unrealisiert, sondern unrealisierbar. Es setzt die Existenz eines Körpers voraus, den man in der Natur nicht antrifft, physikalische Eigenschaften, die niemals beobachtet wurden. So hat Gustave Robin<sup>1)</sup>, um von den Prinzipien der chemischen Mechanik die von ihm gewünschte rein induktive Darstellung geben zu können, unter dem Namen Beweiskörper (*corps temoins*), Körper erschaffen, die durch ihre bloße Gegenwart fähig sind, eine chemische Reaktion in Gang zu bringen oder aufzuhalten; niemals hat die Beobachtung den Chemikern die Existenz derartiger Körper offenbart.

Das nicht realisierte Experiment, das absolut unrealisierbare Experiment, erschöpfen noch nicht die verschiedenen Formen, die das fingierte Experiment in den Schriften der Physiker, die die induktive Methode zu befolgen behaupten, annehmen kann. Es bleibt noch die Aufzeigung einer noch unlogischeren Form als die aller anderen übrig, das absurde Experiment. Dasselbe will einen Lehrsatz beweisen, der, wenn er als Ausdruck einer experimentellen Tatsache angesehen wird, einen Widerspruch aufweist.

<sup>1)</sup> Gustave Robin: *Oeuvres scientifiques, Thermodynamique générale*, p. II, Paris 1901.

Auch den scharfsinnigsten Physikern gelang es nicht immer, sich gegen das Auftreten des absurden Experimentes in ihren Darlegungen zu schützen. Führen wir zum Beispiel folgende, J. Bertrand<sup>1)</sup> entlehnte Zeilen an: „Wenn man als experimentelle Tatsache annimmt, daß sich die Elektrizität an der Oberfläche der Körper befinde, und als notwendiges Prinzip, daß die Wirkung der freien Elektrizität auf leitende Massenpunkte O sein müsse, so kann man, wenn diese beiden vorausgesetzten Bedingungen streng erfüllt sind, ableiten, daß die elektrischen Anziehungen und Abstoßungen umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung sind.“

Nehmen wir folgenden Lehrsatz: „Es gibt, wenn elektrisches Gleichgewicht besteht, keine Elektrizität im Innern des leitenden Körpers“ und fragen wir, ob es möglich sei, ihn als Ausdruck einer experimentellen Tatsache zu betrachten. Wägen wir genau den Sinn der Worte, die da auftreten und speziell den Sinn des Wortes Inneres, ab. Im Sinne, in dem man dieses Wort in diesem Lehrsatz verstehen muß, ist ein Punkt im Innern eines elektrisierten Kupferstückes, ein solcher, der sich im Innern der Kupfermasse befindet. Wie kann man demzufolge konstatieren, ob sich in dem Punkte Elektrizität befindet oder nicht? Man müßte dorthin einen Probekörper bringen; dazu müßte man vorher das Kupfer, welches sich dort befindet, wegnehmen. Aber dann wäre dieser Punkt nicht mehr im Innern der Kupfermasse; er wäre außerhalb dieser Masse. Man kann nicht, ohne in einen logischen Widerspruch zu verfallen, unseren Lehrsatz als Beobachtungsergebnis auffassen.

Was ergeben daher die Experimente, durch die man diesen Lehrsatz zu beweisen vorgibt. Sicherlich etwas ganz anderes, als was man von ihnen behauptet. Man macht in einer leitenden Masse eine Höhlung und konstatiert, daß die Wände dieser Höhlung nicht elektrisiert seien. Diese Beobachtung beweist nichts bezüglich der An- oder Abwesenheit von Elektrizität in Punkten, die sich im Innern einer leitenden Masse befinden. Um von dem experimentell konstatierten Gesetz zu dem aus-

<sup>1)</sup> J. Bertrand: *Leçons sur la Théorie mathématique de l'Électricité*, p. 71. Paris, 1890.

gesprochenen überzugehen, spielt man mit dem Sinn des Wortes Inneres. Aus Furcht, die Elektrostatik auf ein Postulat zu stützen, stützt man sie auf ein Wortspiel.

Wir brauchten nur die Abhandlungen und Handbücher der Physik durchzublättern, um eine Menge fingierter Experimente aufzuzeigen. Wir würden in ihnen im Überfluß Beispiele der verschiedenen Formen, die ein derartiges Experiment annehmen kann, von dem einfach unrealisierten bis zu dem absurden, finden. Halten wir uns jedoch nicht mit dieser langweiligen Arbeit auf. Das, was wir gesagt haben, genügt zur Rechtfertigung folgender Schlußfolgerung: Der physikalische Unterricht nach der rein induktiven Methode, wie sie Newton formuliert hat, ist eine Chimäre. Derjenige, der behauptet, diese Chimäre erreichen zu können, narrt sich selbst und seine Schüler. Er gibt ihnen für Gesehenes bloß vorausgesehene Tatsachen, für genaue Beobachtungen grobe Feststellungen, für realisierbare Verfahren rein ideale Experimente, für experimentelle Gesetze Lehrsätze, die nicht ohne Widerspruch als Ausdruck von Realitäten angenommen werden können. Die Physik, die er darlegt, ist eine falsche und verfälschte.

Möge daher der Lehrer auf diese ideale, induktive Methode, die von einer falschen Vorstellung ausgeht, verzichten. Möge er diese Art der Auffassung des Unterrichts in der experimentellen Wissenschaft, die deren wesentlichen Charakter entstellt und verdreht, zurückweisen. Wenn die Interpretation des kleinsten physikalischen Experimentes die Anwendung einer ganzen Gruppe von Theorien voraussetzt, wenn sogar die Beschreibung des Experimentes eine Menge abstrakter symbolischer Ausdrücke, deren Sinn die Theorien allein festlegen und deren Verbindung mit den Tatsachen sie allein kennzeichnen, erfordert, ist es wohl nötig, daß der Physiker sich entschieße, eine lange Kette von Hypothesen und Deduktionen zu entwickeln, bevor er den Versuch macht, den geringsten Vergleich zwischen dem theoretischen Gebäude und der konkreten Realität auszuführen. Auch wird er oft bei der Beschreibung der Experimente, die die bereits entwickelten Theorien verifizieren, auf Theorien, zu denen er erst gelangen wird, vorgreifen müssen. Er wird zum

Beispiel nicht die geringste experimentelle Bestätigung der Prinzipien der Mechanik auszuführen versuchen, bevor er nicht nur die Verkettung der Lehrsätze der allgemeinen Mechanik entwickelt, sondern auch die Grundlagen der Mechanik des Himmels skizziert hat. Auch muß er, indem er sich auf die Beobachtungen, welche diese Gruppe von Theorien bestätigen, bezieht, die Gesetze der Optik als bekannt voraussetzen, die allein den Gebrauch der astronomischen Instrumente rechtfertigen.

Möge daher der Lehrer in erster Linie die wesentlichen Theorien der Wissenschaft entwickeln. Ohne Zweifel ist es, wenn er die Hypothesen, auf denen diese Theorien ruhen, darstellt, nötig, daß er auf deren Annahme hinarbeite; es ist berechtigt, wenn er auf die Erfahrungen des alltäglichen Lebens, auf die durch gewöhnliche Beobachtung erhaltenen Tatsachen, auf die einfachen oder noch wenig analysierten Elemente, die zur Formulierung dieser Hypothese geführt haben, hinweist. Diesen Punkt werden wir übrigens noch im nächsten Kapitel ausführlich besprechen. Aber er muß ganz ausdrücklich betonen, daß diese Tatsachen, die genügen, um zur Aufstellung dieser Hypothese anzuregen, nicht genügen, um sie zu bestätigen. Erst nachdem er einen großen Teil seines Lehrgebäudes aufgebaut, nachdem er eine vollständige Theorie ausgebildet hat, kann er die Konsequenzen dieser Theorie mit dem Experimente vergleichen.

Der Unterricht muß dem Schüler folgende Grundwahrheit deutlich machen: die experimentellen Bestätigungen sind nicht die Basis der Theorie, sondern deren Krönung; die Physik schreitet nicht wie die Geometrie vorwärts; diese wächst, indem sie fortwährend neue, ein für allemal bewiesene Theoreme beibringt, die sie den schon bewiesenen Theoremen hinzufügt, jene ist ein symbolisches Bild, dem fortwährende Verbesserungen mehr und mehr Ausdehnung und Einheit geben; die Gesamtheit der Theoreme gibt ein immer ähnlicheres Bild der Gesamtheit der experimentellen Tatsachen, während jedes Detail dieses Bildes abgeschnitten und isoliert vom Ganzen jede Bedeutung verliert und nichts mehr darstellt.

Dem Schüler, der diese Wahrheit nicht erkannt hat, wird die Physik als ein monströser Wortschwall erscheinen, der nichts anderes als eine *petitio principii* auf die andere und einen *circulus vitiosus* auf den anderen häuft. Wenn sein Denken sehr streng ist, wird er mit Abscheu die fortwährenden Verstöße gegen die Logik zurückweisen. Wenn sein Verstand minder streng ist, wird er diese Worte mit ungenauem Sinn, diese Beschreibungen unrealisierter und unrealisierbarer Experimente, diese Überlegungen, die nur Taschenspielerkünste sind, auswendig lernen, indem er bei dieser unvernünftigen Gedächtnisarbeit das wenige, was er an gesundem Sinn und kritischem Denken besaß, verliert.

Der Schüler dagegen, der mit klarem Blick die Gedanken die wir formuliert haben, erfaßt, wird nicht nur eine gewisse Zahl physikalischer Sätze gelernt, sondern die Natur und wahre Methode der experimentellen Wissenschaft begriffen haben<sup>1)</sup>.

## § 7. -- Konsequenzen in bezug auf die mathematische Entwicklung der physikalischen Theorie.

Auf Grund der vorangegangenen Erörterungen erscheint uns die wahre Natur der physikalischen Theorie und der Bande, die sie ans Experiment knüpfen, immer deutlicher und genauer.

Die Materialien, aus denen diese Theorie konstruiert wird, sind einerseits die mathematischen Symbole, die dazu dienen, die verschiedenen Qualitäten und Quantitäten der physikalischen Erfahrung darzustellen, andererseits die allgemeinen Postulate, die ihr als Prinzipien dienen. Aus diesen Materialien soll sie ein logisches Gebäude erstellen, sie muß daher, wenn sie den Plan dieses Gebäudes zeichnet, die Gesetze, die die Logik jeder deduktiven Schlußfolgerung auferlegt, ebenso

<sup>1)</sup> Man wird ohne Zweifel einwenden, daß ein derartiger Unterricht für junge Intelligenzen schwer anwendbar sei; die Antwort darauf ist einfach: Man trage die Physik nicht Köpfen vor, die noch nicht geeignet sind sie aufzunehmen. Mme de Sévigné sagte, als von kleinen Kindern die Rede war: „Bevor man ihnen Fuhrmannskost gibt, muß man sich vergewissern, ob sie einen Fuhrmannsmagen besitzen.“

wie die Regeln, die die Algebra jeder mathematischen Operation vorschreibt, peinlichst respektieren.

Die mathematischen Symbole, deren sich die Theorie bedient, haben nur unter richtig bestimmten Bedingungen einen Sinn; diese Symbole definieren heißt diese Bedingungen aufzählen. Die Theorie muß darauf verzichten, diese Zeichen unter anderen Bedingungen zu gebrauchen. So kann auf Grund der Definition eine absolute Temperatur nur positiv sein, so ist die Masse eines Körpers unveränderlich; niemals wird die Theorie in ihren Formulierungen der absoluten Temperatur den Wert Null oder einen negativen zuschreiben; niemals wird sie in ihren Rechnungen die Masse eines bestimmten Körpers variieren lassen.

Die Theorie hat zum Prinzip Postulate, d. h. Lehrsätze, die sie aussprechen kann, wie es ihr beliebt, vorausgesetzt, daß weder zwischen den Ausdrücken desselben Postulates, noch zwischen zwei verschiedenen Postulaten ein Widerspruch besteht. Wenn aber einmal diese Postulate aufgestellt sind, muß sie sie mit eifriger Strenge hüten. Wenn sie zum Beispiel das Gesetz der Erhaltung der Energie zur Basis ihres Systemes gemacht hat, muß sie auf jede Behauptung, die im Widerspruch mit diesem Princip steht, verzichten.

Solche Regeln — und nur solche — lasten während des Baues einer physikalischen Theorie mit ihrem ganzen Gewicht auf derselben. Ein einziger Mangel würde das System unlogisch machen und uns verpflichten, es umzustößeln, um ein anderes aufzubauen. IM LAUF IHRER ENTWICKLUNG steht es einer physikalischen Theorie frei, einen beliebigen Weg einzuschlagen, vorausgesetzt, daß er jeden logischen Widerspruch vermeidet; im speziellen steht es ihr frei, keinerlei Rechenschaft von den experimentellen Tatsachen zu geben.

Dies ist nicht mehr der Fall, WENN DIE THEORIE IHRE VOLLSTÄNDIGE AUSBILDUNG ERFAHREN HAT. Wenn das logische Gebäude vollendet ist, wird es notwendig, die Gruppe mathematischer Lehrsätze, die als Schlußfolgerungen dieser langen Deduktionen erhalten wurden, mit

der Gruppe experimenteller Tatsachen zu vergleichen. Durch Anwendung der angenommenen Meßverfahren muß man sich versichern, daß die zweite Gruppe in der ersten ein hinreichend ähnliches Bild, ein hinreichend genaues und vollständiges Symbol finde. Wenn diese Übereinstimmung zwischen den Schlußfolgerungen der Theorie und den experimentellen Tatsachen sich nicht mit befriedigender Annäherung zeigt, so kann die Theorie zwar logisch richtig aufgebaut sein, sie muß aber nichtsdestoweniger verworfen werden, weil sie durch die Beobachtung widerlegt wird, weil sie physikalisch falsch ist.

Dieser Vergleich zwischen den Schlußfolgerungen der Theorie und den experimentellen Wahrheiten ist daher unumgänglich nötig, da allein die Konfrontierung mit den Tatsachen der Theorie physikalischen Wert verleihen kann. Aber diese Konfrontierung mit den Tatsachen muß sich ausschließlich auf die Schlußfolgerungen der Theorie erstrecken, da sie allein als ein Bild der Wirklichkeit anzusehen sind; die Postulate, die als Ausgangspunkt der Theorie dienen, die Zwischenglieder, durch die man von den Postulaten zu den Schlußfolgerungen kommt, dürfen ihr nicht unterworfen werden.

Wir haben bereits sehr vollständig den Fehler derjenigen analysiert, die eines der fundamentalen Postulate der Physik, einer Prüfung an den Tatsachen durch ein Verfahren, wie das experimentum crucis direkt unterwerfen wollen; und vor allem den Fehler derjenigen, die als Prinzipien nur „Induktionen“ annehmen, „die ausschließlich darin bestehen, daß in allgemeinen Gesetzen nicht die Interpretation, sondern das eigentliche Resultat einer sehr großen Anzahl von Experimenten festgehalten wird.“<sup>1)</sup>

Diesem Irrtum ist ein anderer sehr verwandt; er besteht in der Forderung, daß alle vom Mathematiker im Lauf der Deduktionen, die die Postulate mit den Schlußfolgerungen verbinden, ausgeführten Operationen einen physikalischen Sinn besitzen; er besteht in dem Wunsche, „nur realisier-

<sup>1)</sup> Gustave Robin: Oeuvres scientifiques. Thermodynamique générale. Introduction p. XIV.

bare Operationen in Betracht zu ziehen!“ „nur Größen, die dem Experiment zugänglich sind, einzuführen“.

Gemäß dieser Forderung müßte vom Physiker in seinen Formeln, mittelst eines Messungsverfahrens, jede eingeführte Größe mit einer Eigenschaft eines Körpers verbunden werden; jede an diesen Größen ausgeführte algebraische Operation müßte auf Grund dieser Messungsverfahren in die konkrete Sprache übersetzbar sein; derartig übersetzt müßte sie eine wirkliche oder mögliche Tatsache ausdrücken.

Eine derartige Forderung, die berechtigt ist, solange es sich um die Schlußformeln handelt, auf die die Theorie hinausläuft, verliert ihre Begründung in bezug auf die Formeln und Operationen, die als Zwischenglieder den Weg von den Postulaten zu den Schlußfolgerungen herstellen.

Nehmen wir ein Beispiel:

J. Willard Gibbs hat theoretisch die Dissoziation eines vollkommenen Gasgemisches in seine Elemente, die man für vollkommene Gase hielt, studiert. Es wurde eine Formel erhalten, die das Gleichgewicht im Innern eines derartigen Systemes ausdrückt. Ich will diese Formel diskutieren. Zu diesem Zwecke lasse ich den Druck, dem die Gasmischung unterliegt, ungeändert und betrachte die absolute Temperatur, die in der Formel auftritt und lasse sie von 0 bis  $+\infty$  variieren.

Wenn man dieser mathematischen Operation einen physikalischen Sinn zuschreiben will, wird man vor sich eine Menge von Widerständen und Schwierigkeiten erstehen sehen. Kein Thermometer lehrt uns Temperaturen unter einer gewissen Grenze kennen, keines kann genügend hohe Temperaturen bestimmen; dem Symbol, das wir absolute Temperatur nennen, kann durch keines der Meßverfahren, über die wir verfügen, irgend ein konkreter Sinn zugeschrieben werden, wenn nicht sein numerischer Wert zwischen einem bestimmten Minimum und einem bestimmten Maximum bleibt. Überdies ist bei genügend tiefen Temperaturen jenes andere

<sup>1)</sup> G. Robin: loc. cit.

Symbol, das in der Thermodynamik vollkommenes Gas genannt wird, nicht mehr ein auch nur angenähertes Bild eines wirklichen Gases.

Diese Schwierigkeiten und viele andere, die aufzuzählen zu langwierig wäre, verschwinden, wenn man auf die Bemerkungen, die wir formuliert haben, achtet. Bei der Aufstellung der Theorie ist die Diskussion, von der wir gesprochen haben, nur ein Zwischenglied und es ist nicht berechtigt, in ihr einen physikalischen Sinn zu suchen. Nur wenn diese Diskussion uns zu einer Serie von Lehrsätzen geführt hat, können wir diese Lehrsätze der Konfrontierung mit den Tatsachen unterwerfen. Wir werden sodann zwischen den Grenzen, in denen die absolute Temperatur durch konkrete thermometrische Angaben ausgedrückt werden kann, innerhalb deren der Begriff des vollkommenen Gases durch die Fluida, die wir beobachten, beinahe realisiert ist, prüfen, ob die Schlußfolgerungen unserer Diskussion mit den experimentellen Tatsachen übereinstimmen.

Indem man fordert, daß die mathematischen Operationen, durch die aus den Postulaten Konsequenzen abgeleitet werden, immer einen physikalischen Sinn haben, legt man den Mathematikern unüberwindliche, jeden Fortschritt hemmende Hindernisse in den Weg. Es kann dann geschehen, daß man mit G. Robin den Gebrauch der Differentialrechnung scheut; in der Tat würde er, wenn er seinen Stolz darein setzte, stets und peinlich dieser Anforderung zu genügen, beinahe keine Rechnung mehr ausführen können; von den ersten Schritten an würde die theoretische Deduktion gehemmt sein. Eine genauere Vorstellung von der physikalischen Methode, eine schärfere Abgrenzung derjenigen Lehrsätze, die der Konfrontierung mit den Tatsachen zu unterwerfen, von denjenigen, die davon befreit sind, werden dem Mathematiker seine Freiheit vollständig wiedergeben und ihm ermöglichen, für die weiteste Entwicklung der physikalischen Theorien alle Hilfsmittel der Algebra zu verwenden.

## § 8. — Gibt es gewisse Postulate der physikalischen Theorie, die durch das Experiment nicht widerlegt werden können?

Daß ein Prinzip richtig ist, erkennt man daran, daß es leicht die Verwirrung beseitigt, in die wir durch den Gebrauch irrtümlicher Prinzipien gekommen sind.

Wenn daher der Gedanke, den wir ausgesprochen haben, richtig ist, wenn der Vergleich notwendigerweise zwischen der gesamten Theorie und den gesamten experimentellen Tatsachen vollzogen wird, werden wir sehen können, wie vor dem Lichte dieses Prinzips die Dunkelheiten verschwinden, in die wir uns verirren, wenn wir jede theoretische Hypothese isoliert mit den Tatsachen konfrontieren.

In erster Linie wollen wir unter den Behauptungen, deren paradoxes Aussehen wir zu beseitigen suchen werden, eine hier behandeln, die in den letzten Jahren oft formuliert und kommentiert wurde. Nachdem sie zuerst von Herrn G. Milhaud<sup>1)</sup> in bezug auf den reinen Körper der Chemie ausgesprochen wurde, hat Herr H. Poincaré<sup>2)</sup> sie ausführlich und eingehend in bezug auf die Prinzipien der Mechanik entwickelt; ebenso hat sie Herr Edouard Le Roy mit großer Klarheit formuliert<sup>3)</sup>.

Diese Behauptung ist die folgende:

Gewisse fundamentale Hypothesen in der physikalischen Theorie können durch kein Experiment widerlegt werden, weil sie in Wirklichkeit Definitionen bilden und gewisse, vom Physiker gebrauchte Ausdrücke ihren Sinn nur durch sie erhalten.

<sup>1)</sup> G. Milhaud: La science rationnelle (Revue de Métaphysique et de Morale, 4<sup>e</sup> année, 1896, p. 280). — Le Rationnel, Paris 1898, p. 45.

<sup>2)</sup> H. Poincaré: Sur les Principes de la Mécanique (Bibliothèque du Congrès international de Philosophie. III. Logique et Histoire des Sciences. Paris, 1901; p. 457). — Sur la valeur objective des théories physiques (Revue de Métaphysique et de Morale, 10<sup>e</sup> année, 1902, p. 263). — La Science et l'Hypothèse p. 110.

<sup>3)</sup> Édouard Le Roy: Un positivisme nouveau (Revue de Métaphysique et de Morale, 9<sup>e</sup> année, 1901, pp. 143—144).

Nehmen wir eines der von Herrn Ed. Le Roy angeführten Beispiele: Wenn ein schwerer Körper frei fällt, ist seine Fallbeschleunigung konstant. Kann ein derartiges Gesetz durch das Experiment widerlegt werden? Nein, denn es bildet die eigentliche Definition dessen, was man unter freiem Fall verstehen muß. Wenn wir beim Studium des Falles eines schweren Körpers finden, daß derselbe keine gleichförmig beschleunigte Bewegung besitze, schließen wir daraus nicht, daß das ausgesprochene Gesetz falsch sei, sondern, daß der Körper nicht frei falle, daß irgend eine Ursache die Bewegung hindere; der Unterschied zwischen dem ausgesprochenen Gesetz und den beobachteten Tatsachen wird uns dazu dienen, diese Ursache zu entdecken und deren Wirkungen zu analysieren.

So schließt Herr Ed. Le Roy, daß „die Gesetze nicht verifizierbar seien, wenn man die Dinge in aller Strenge nimmt, weil sie selbst das Kriterium bilden, nach dem man die Erscheinungen und Methoden beurteilt, die man verwenden müßte, um sie einer Prüfung, deren Genauigkeit jede angebbare Grenze überschreitet, zu unterwerfen“.

Nehmen wir den Vergleich zwischen dem Fallgesetz der Körper und dem Experiment mehr im Detail, in der Beleuchtung, die sie durch die früher aufgestellten Prinzipien erhalten, in Augenschein.

Unsere täglichen Beobachtungen haben uns eine ganze Kategorie von Bewegungen kennen gelehrt, die wir miteinander unter dem Namen Bewegungen schwerer Körper vereinigt haben. Unter diesen Bewegungen befindet sich auch der Fall, den ein schwerer Körper erleidet, wenn er durch keinerlei Hindernis gestört wird. Es folgt daraus, daß die Worte: „Freier Fall eines schweren Körpers“ für den Menschen, der einzig die Kenntnisse des gewöhnlichen Lebens zu Rate zieht und keinen Begriff von physikalischen Theorien besitzt, einen Sinn haben.

Andererseits hat der Physiker, um die Gesetze der Bewegungen, um die es sich handelt, zu klassifizieren, eine Theorie geschaffen, die Theorie der Schwere, eine wichtige Anwendung der wissenschaftlichen Mechanik. In dieser

Theorie, die eine symbolische Darstellung der Wirklichkeit liefern soll, ist gleicherweise die Rede vom „freien Fall eines schweren Körpers“. Infolge der Hypothesen, die dieses ganze Schema tragen, muß ein freier Fall notwendigerweise ein gleichförmig beschleunigter Fall sein.

Die Worte „freier Fall eines schweren Körpers“ haben jetzt einen zweifach verschiedenen Sinn. Für denjenigen, der die physikalischen Theorien nicht kennt, haben sie einen wirklichen Sinn, bezeichnen sie, was man im gewöhnlichen Leben meint, wenn man sie ausspricht; für den Physiker haben sie einen symbolischen Sinn, bezeichnen sie „einen gleichförmig beschleunigten Fall“. Die Theorie hätte ihre Aufgabe nicht erfüllt, wenn der zweite Sinn nicht das Zeichen des ersten wäre, wenn ein Fall, der im gewöhnlichen Leben als frei betrachtet wird, nicht gleichzeitig ein Fall von gleichförmiger oder von nahezu gleichförmiger Beschleunigung wäre, da die Konstatierungen des gewöhnlichen Lebens dem Wesen nach, wie bereits gesagt, der Präzision entbehren.

Diese Übereinstimmung, bei deren Mangel die Theorie ohne umständliche Untersuchungen verworfen worden wäre, tritt tatsächlich auf. Ein Fall, der im gewöhnlichen Leben als nahezu frei bezeichnet wird, ist auch ein Fall, dessen Beschleunigung nahezu konstant ist. Aber die Konstatierung dieser nur grob angenäherten Übereinstimmung befriedigt uns nicht. Wir wollen den Grad der Genauigkeit, zu dem man im gewöhnlichen Leben gelangen kann, erhöhen und übertreffen. — Mit Hilfe der von uns erdachten Theorie konstruieren wir Apparate, die mit Genauigkeit erkennen lassen, ob der Fall eines Körpers gleichförmig beschleunigt ist oder nicht. Diese Apparate zeigen uns, daß ein bestimmter Fall, der im gewöhnlichen Leben als freier bezeichnet wird, eine etwas veränderliche Beschleunigung besitzt. Der Lehrsatz, der in unserer Theorie dem Worte „freier Fall“ seinen symbolischen Sinn gibt, stellt nicht mit hinreichender Genauigkeit die Eigenschaften des wirklichen und konkreten Falles, den wir beobachtet haben, dar.

Zwei Wege stehen uns nun offen.

In erster Linie können wir erklären, daß wir recht gehabt haben, den studierten Fall als freien Fall zu betrachten und zu verlangen, daß die theoretische Definition dieser Worte mit unseren Beobachtungen übereinstimme. In diesem Falle muß, da unsere theoretische Definition unserer Forderung nicht entspricht, dieselbe verworfen werden. Wir müssen eine andere Mechanik auf neue Hypothesen aufbauen, eine Mechanik, in der die Worte „Freier Fall“ nicht mehr bezeichnen „gleichförmig beschleunigter Fall“, sondern „Fall, dessen Beschleunigung gemäß einem bestimmten Gesetze variiert“.

In zweiter Linie können wir erklären, daß wir unrecht gehabt haben, eine Bezeichnung zwischen dem konkreten Falle, den wir beobachtet haben und dem symbolischen freien Fall, wie er durch unsere Theorie definiert wurde, herzustellen, daß dieser ein zu vereinfachtes Schema des ersteren gewesen. Damit der Theoretiker in geeigneter Weise den Fall, auf den unsere Experimente gegründet sind, darstellen kann, muß er nicht mehr an einen frei fallenden, schweren Körper denken, sondern an einen, der durch bestimmte Hindernisse, wie den Luftwiderstand gestört wird. Indem er die Wirkung dieser Hindernisse mit Hilfe geeigneter Hypothesen darstellt, wird er ein viel verwickelteres Schema, als den frei fallenden Körper bilden, das aber viel geeigneter sein wird, die Details des Experimentes wiederzugeben. Alles in allem können wir gemäß den Ausdrücken, die wir im Vorhergehenden (Kap. VIII, § 3) festgelegt haben, versuchen, mit Hilfe geeigneter Korrekturen die unser Experiment beeinflussenden Fehlerquellen, wie den Luftwiderstand, zu eliminieren.

Herr Le Roy behauptet, daß wir den zweiten Weg einschlagen werden und nicht den ersten, darin hat er sicherlich recht. Die Ursachen, die uns diese Entscheidung aufdrängen, sind leicht zu begreifen. Wenn wir den ersten Weg einschlagen würden, wären wir gezwungen ein sehr großes theoretisches System, das in sehr befriedigender Weise eine sehr große und sehr verwickelte Gruppe experimenteller Ge-

setze darstellt, von Grund aus zu zerstören. Der zweite Weg dagegen läßt uns nichts von jenem Terrain, das die physikalische Theorie bereits erobert hat, verlieren. Noch mehr, wir haben auf ihm in einer so großen Zahl von Fällen Erfolg gehabt, daß wir berechtigt sind, einen neuen Erfolg zu gewärtigen. Aber in diesem Vertrauen, das wir dem Fallgesetz der schweren Körper entgegenbringen, sehen wir keinerlei Analogie zu der Sicherheit, die die geometrische Definition aus ihrem Wesen selbst ableitet, zu jener Sicherheit, die nur den Verrückten zweifeln läßt, daß alle Punkte eines Kreisumfanges gleich weit vom Zentrum entfernt sind.

Wir sehen hier nur eine spezielle Anwendung des im § 2 auseinandergesetzten Prinzipes. Eine Nichtübereinstimmung zwischen den konkreten Tatsachen, die ein Experiment bilden und der symbolischen Darstellung, die die Theorie für dieses Experiment substituiert, beweist uns, daß irgend ein Teil dieses Symboles zu verwerfen sei. Aber welcher Teil? Das sagt uns das Experiment nicht, das zu ergründen überläßt es unserer Einsicht. Unter den theoretischen Elementen, die in den Zusammenhang dieses Symbols eintreten, gibt es nun immer eine gewisse Zahl, denen die Physiker einer gewissen Epoche ohne Kontrolle zustimmen, die sie als über jede Anzweiflung erhaben betrachten. Daher wird der Physiker, der dieses Symbol modifizieren muß, sicher seine Modifikation an anderen Elementen als jenen anbringen.

Es ist aber keine logische Notwendigkeit, die den Physiker dazu treibt, so zu verfahren; wenn er anders verfährt, kann er ungeschickt und schlecht beraten sein, aber er würde sich deshalb doch nicht auf den Bahnen eines Geometers bewegen, der so verrückt wäre, seiner eigenen Definition zu widersprechen; er würde nichts Absurdes tun. Ja noch mehr. Wenn er vielleicht eines Tages anders handelt, wenn er darauf verzichtet, die Fehlerquellen in Betracht zu ziehen, auf die Korrekturen zu rekurrieren, die die Übereinstimmung zwischen dem theoretischen Schema und der Tatsache herstellen, indem er entschlossen ist, die Reformierung der Lehrsätze, die all-



gemein übereinstimmend als unantastbar erklärt werden in die Hand zu nehmen, wird er ein geniales Werk vollbringen, das der Theorie neue Bahnen öffnet.

In der Tat sollte man sich wohl vor dem Glauben hüten, daß jene Hypothesen, die zu allgemein anerkannten Konventionen geworden sind, deren Gewißheit den experimentellen Widerspruch niederzuschlagen und auf andere, zweifelhaftere Annahmen zu verweisen scheint, für ewig gesichert seien. Die Geschichte der Physik zeigt uns recht oft, wie der menschliche Geist dazu geführt wurde, derartige Prinzipien, die durch Jahrhunderte allgemein als unverletzbar Axiome anerkannt wurden, von Grund aus umzustürzen und seine physikalischen Theorien auf neuen Hypothesen wieder aufzubauen.

Gab es zum Beispiel während Jahrtausenden ein klareres und sichereres Prinzip als folgendes: In einem homogenen Medium pflanzt sich das Licht geradlinig fort? Auf diese Hypothese stützte sich nicht nur die alte Optik, die Katoptrik und Dioptrik, deren elegante geometrische Ableitungen nach Wunsch eine ungeheure Zahl von Tatsachen darstellten, sondern sie war auch sozusagen die physikalische Definition der geraden Linie geworden. Auf diese Hypothese mußte jeder Bezug nehmen, der eine Gerade realisieren wollte, der Zimmermann, der die Geradheit einer Holzkante prüft, der Feldmesser, der eine Bahnlinie absteckt, der Geodät, der eine Richtung mit Hilfe der Diopter seiner Alhidade aufnimmt, der Astronom, der die Stellung der Sterne, über die er Betrachtungen anstellt, durch die optische Achse seines Fernrohres angibt. Indessen kam der Tag, wo man überdrüssig wurde, die durch Grimaldi beobachteten Beugungserscheinungen irgend einer Fehlerquelle zuzuschreiben, wo man sich entschloß, das Gesetz der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes zu verwerfen und der Optik vollständig neue Grundlagen zu geben. Dieser kühne Entschluß war für die physikalische Theorie der Anstoß zu wunderbaren Fortschritten.

## § 9. — Hypothesen, deren Wortlaut keine experimentelle Deutung zuläßt.

Dieses Beispiel und die anderen, die wir auf Grund der Geschichte der Wissenschaft hinzufügen könnten, zeigen uns, daß wir sehr unklug wären, bezüglich heute allgemein anerkannter Hypothesen zu sagen: „Wir sind sicher, daß wir niemals durch ein neues Experiment, wie genau es auch immer sei, dazu geführt werden, sie aufzugeben.“ Hr. H. Poincaré zögert indessen nicht, diese Behauptung bezüglich der Prinzipien der Mechanik aufzustellen<sup>1)</sup>.

Zu den bereits angeführten Gründen, die beweisen, daß diese Prinzipien nicht experimentell widerlegt werden können, fügt Hr. H. Poincaré einen hinzu, welcher noch überzeugender scheint: Diese Prinzipien können nicht nur deshalb nicht durch das Experiment widerlegt werden, weil sie allgemein anerkannte Regeln sind, die uns dazu dienen, in unseren Theorien die durch diese Widersprüche angezeigten Fehler zu entdecken, sondern weil sie durch das Experiment nicht widerlegt werden können, da die Operation, die sie mit den Tatsachen vergleichen soll, keinen Sinn hat.

Erläutern wir das durch ein Beispiel.

Das Prinzip der Trägheit lehrt uns, daß ein materieller Punkt, der der Einwirkung eines jeden anderen Körpers entzogen ist, sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit geradlinig fortbewegt. Man kann nun nur relative Bewegungen beobachten. Man kann daher diesem Prinzip nur dann einen experimentellen Sinn geben, wenn man einen gewissen Beziehungspunkt als gewählt betrachtet, einen gewissen festen geometrischen Körpers als fixes Merkmal nimmt, auf das die Bewegung des materiellen Punktes bezogen wird. Die Festlegung dieses Merkmals bildet einen integrierenden Teil des Ausdruckes des Gesetzes. Wenn man diese Festlegung unterließe, würde dieser Ausdruck allen Sinnes beraubt werden.

<sup>1)</sup> H. Poincaré: Sur les principes de la Mécanique (Bibliothèque du Congrès international de Philosophie. III. Logique et Histoire des Sciences. Paris, 1901; pp. 475, 491).

Es gibt ebensoviele verschiedene Gesetze, wie verschiedene Beziehungspunkte. Man spricht ein Gesetz der Beharrung aus, wenn man sagt, daß die Bewegung eines isolierten Punktes, vorausgesetzt, daß sie von der Erde aus gesehen werde, geradlinig und gleichförmig sei, ein anderes, wenn man denselben Satz wiederholt, indem man die Bewegung auf die Sonne bezieht, noch ein anderes, wenn das Beziehungszeichen das gesamte Fixsternsystem ist. Eines ist nun aber wohl sicher: Wie immer auch die Bewegung eines materiellen Punktes von einem Beziehungspunkt aus gesehen, beschaffen sei, immer kann man in mannigfachster Weise einen zweiten Beziehungspunkt in der Art wählen, daß von ihm aus gesehen, unser materieller Punkt sich geradlinig mit gleichförmiger Geschwindigkeit zu bewegen scheint. Man dürfte daher eine experimentelle Bestätigung des Trägheitsprinzips nicht versuchen; wenn es bei Beziehung der Bewegungen auf einen gewissen Punkt falsch wäre, würde es bei der Wahl eines anderen richtig werden und es würde einem immer frei stehen, diesen letzteren zu wählen. Wenn das Trägheitsgesetz, das bezüglich der Erde als Beziehungspunkt ausgesprochen wurde, durch die Beobachtung widerlegt wird, wird man es durch das Trägheitsgesetz, das die Bewegungen auf die Sonne bezieht, ersetzen. Wenn dieses seinerseits für falsch befunden wird, wird man die Sonne durch das Fixsternsystem ersetzen und so fort. Es ist unmöglich, diese Hintertür zu schließen.

Das Prinzip der Gleichheit der Aktion und Reaktion, das ausführlich von Hrn. Poincaré<sup>1)</sup> analysiert wurde, bietet Gelegenheit zu analogen Bemerkungen. Dieses Prinzip kann folgendermaßen ausgesprochen werden:

„Der Schwerpunkt eines isolierten Systemes, kann nur eine geradlinige und gleichförmige Bewegung besitzen.“

Dieses Prinzip wollen wir durch das Experiment verifizieren. „Können wir diese Verifikation ausführen? Dazu wäre nötig, daß ein isoliertes System bestehe; solche Systeme

<sup>1)</sup> H. Poincaré: loc. cit. pp. 472 et seqq.

bestehen nun nicht; das einzige isolierte System ist das gesamte Universum.“

„Aber wir können nur relative Bewegungen beobachten; die absolute Bewegung des Schwerpunktes des Universums wird uns daher für immer unbekannt bleiben; wir können niemals wissen, ob sie geradlinig und gleichförmig sei oder besser gesagt, die Frage hat keinen Sinn. Wie immer auch die Beobachtungstatsachen beschaffen seien, es bleibt uns stets freigestellt anzunehmen, daß unser Prinzip richtig sei.“

So haben manche Prinzipien der Mechanik eine derartige Form, daß die Frage absurd ist: Ist dieses Prinzip mit der Erfahrung in Übereinstimmung oder nicht? Dieser befremdende Charakter ist nicht den Prinzipien der Mechanik eigentümlich. Er kennzeichnet in gleicher Weise gewisse fundamentale Hypothesen unserer physikalischen und chemischen Theorien<sup>1)</sup>.

Die chemische Theorie zum Beispiel ruht vollständig auf dem Gesetz der multiplen Proportionen; der genaue Wortlaut dieses Gesetzes ist folgender:

Einfache Körper  $A, B, C$  können bei ihrer Vereinigung in verschiedenen Verhältnissen verschiedene Verbindungen  $M, M' \dots$  bilden. Die Massen der Körper  $A, B, C$  die die Verbindung  $M$  bilden, verhalten sich zueinander, wie die drei Zahlen  $a, b, c$ . Die Massen der Elemente, die die Verbindung  $M'$  bilden, werden sich nun zu einander wie die Zahlen  $\alpha a, \beta b, \gamma c$  verhalten, wobei  $\alpha, \beta, \gamma$  drei ganze Zahlen sind.

Kann dieses Gesetz der Kontrolle durch das Experiment unterworfen werden? Die chemische Analyse lehrt uns die chemische Zusammensetzung des Körpers  $M'$  nicht genau, sondern nur mit einer gewissen Annäherung kennen; die Unsicherheit der erhaltenen Resultate wird außerordentlich klein, sie wird aber niemals streng 0 sein. In welchen Beziehungen nun die Elemente  $A, B, C$  sich in der Verbindung  $M'$  kombiniert finden, immer wird man diese Beziehungen mit einer

<sup>1)</sup> P. Duhem: Le mixte et la combinaison chimique; Essai sur l'évolution d'une idée, Paris, 1902; p. 159-161.

beliebig großen Annäherung durch die gegenseitigen Beziehungen der drei Produkte  $\alpha a$ ,  $\beta b$ ,  $\gamma c$  darstellen können, wobei  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  ganze Zahlen sind. Mit anderen Worten, wie immer die Resultate, die die chemische Analyse der Verbindung  $M'$  ergibt, sein mögen, man ist stets sicher drei ganze Zahlen  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  zu finden, dank deren das Gesetz der multiplen Proportionen mit einer höheren Genauigkeit als sie die Experimente besitzen, verifizierbar ist. Es wird daher keine chemische Analyse, so fein sie auch immer sei, jemals dem Gesetz der multiplen Proportionen widersprechen können.

In gleicher Weise ruht die ganze Kristallographie auf dem Gesetz der rationalen Indices, das in folgender Weise formuliert wird:

Ein Triëder wird von drei Kristallflächen gebildet, eine vierte Fläche schneidet die drei Kanten dieses Triëders in Distanzen von der Spitze, die sich untereinander wie die Zahlen  $a$ ,  $b$ ,  $c$  die Parameter des Kristalles verhalten. Irgend eine andere Fläche soll dieselben Kanten in Abständen von der Spitze, die sich zueinander wie  $\alpha a$ ,  $\beta b$ ,  $\gamma c$  verhalten, schneiden, wobei  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  drei ganze Zahlen, die Indices der neuen Kristallfläche, sind.

Das vollkommenste Goniometer bestimmt die Orientierung einer Kristallfläche nur mit einer gewissen Genauigkeit; die Beziehungen zwischen den drei Abschnitten, die eine derartige Fläche auf den Kanten des grundlegenden Triëders bestimmt, sind immer einem gewissen Fehler unterworfen. So klein nun dieser Fehler auch sein mag, kann man doch immer drei Zahlen  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  in der Art wählen, daß die gegenseitigen Verhältnisse dieser Abschnitte, mit einem Fehler der noch kleiner ist, durch die gegenseitigen Verhältnisse der drei Zahlen  $\alpha a$ ,  $\beta b$ ,  $\gamma c$  dargestellt werden. Der Kristallograph der das Gesetz der rationalen Indices durch sein Goniometer rechtfertigen wollte, hat sicher nicht den eigentlichen Sinn der Worte, die er anwendet, erfaßt.

Das Gesetz der multiplen Proportionen, das Gesetz der rationalen Indices sind mathematische Ausdrücke, denen jeder physikalische Sinn fehlt. Ein mathematischer Ausdruck hat

nur dann physikalischen Sinn, wenn er nach Einführung des Wortes annähernd noch seine Bedeutung behält. Dies ist bei den Ausdrücken, die wir erwähnten, nicht der Fall. Sie bestehen in der Tat in der Behauptung, daß gewisse Verhältnisse kommensurable Zahlen seien. Sie würden zu einfachen Gemeinplätzen werden, wenn sie aussagen sollten, daß diese Verhältnisse annähernd kommensurabel seien. Denn irgend ein beliebiges inkommensurables Verhältnis ist immer annähernd kommensurabel; es ist immer, so nahe man will, kommensurabel.

Es wäre daher absurd, gewisse Prinzipien der Mechanik der direkten Kontrolle des Experimentes unterwerfen zu wollen; ebenso wäre es absurd, das Gesetz der multiplen Proportionen oder das Gesetz der rationalen Indices dieser direkten Kontrolle zu unterwerfen.

Folgt daraus, daß diese Hypothesen, die vom direkten experimentellen Widerspruch nicht erreicht werden können, nichts vom Experiment zu fürchten haben? Sind sie sicher unveränderlich zu bleiben, welche Entdeckungen auch immer die Beobachtung der Tatsachen uns aufspart? Es hieße einen schweren Irrtum begehen, wollte man dies behaupten.

Isoliert genommen, haben diese verschiedenen Hypothesen keine experimentelle Bedeutung; es kann sich nicht darum handeln sie durch das Experiment zu bestätigen oder zu widerlegen. Aber diese Hypothesen werden als wesentliche Fundamente beim Bau gewisser Theorien, der wissenschaftlichen Mechanik, der chemischen Theorie, der Kristallographie verwendet; der Zweck dieser Theorien besteht in der Darstellung experimenteller Gesetze; sie sind Darstellungen, die dem Wesen nach dazu bestimmt sind, mit den Tatsachen verglichen zu werden.

Dieser Vergleich könnte nun sehr wohl eines Tages uns erkennen lassen, daß eine unserer Darstellungen schlecht zur Wirklichkeit, die sie versinnbildlichen soll, paßt, daß die Korrekturen, die unser Schema komplizierter machen, nicht genügen, um eine hinreichende Übereinstimmung zwischen dieser Darstellung und den Tatsachen herzustellen. Die lange Zeit ohne Widerspruch als zulässig betrachtete Theorie muß verworfen

und eine vollständig andere auf ganz neuen Hypothesen aufgebaut werden. An diesem Tage würde eine der Hypothesen, die isoliert genommen, vom direkten Widerspruch des Experimentes nicht erreicht werden könnte, mit dem System, das sie trug unter dem Gewichte der Widersprüche, in denen die Realität zu den Konsequenzen dieses als Ganzes genommenen Systemes steht, zusammenbrechen<sup>1)</sup>).

In Wirklichkeit unterliegen die Hypothesen, die selbst keine physikalische Bedeutung besitzen, genau in derselben Weise der Kontrolle durch das Experiment, wie die anderen Hypothesen. Wir haben am Anfang dieses Kapitels gesehen, daß wie immer auch eine Hypothese beschaffen sei, sie niemals isoliert durch das Experiment widerlegt werden kann. Der experimentelle Widerspruch handelt immer über eine theoretische Gruppe als Ganzes, ohne daß in dieser Gruppe der Lehrsatz, der verworfen werden muß, irgendwie bezeichnet werden könnte.

So verschwindet das, was an der Behauptung: Gewisse physikalische Theorien ruhen auf Hypothesen, die physikalisch nicht gedeutet werden können, hätte paradox scheinen können.

§ 10. — Der gesunde Menschenverstand hat zu beurteilen, welche Hypothesen aufgegeben werden müssen.

Wenn das Experiment gewissen Konsequenzen einer Theorie widerspricht, lehrt es uns wohl, daß diese Theorie modifiziert, aber es sagt uns nicht, was an ihr geändert werden müsse. Dem Scharfsinn des Physikers bleibt die Sorge überlassen, den Fehler zu suchen, an dem das ganze System leidet. Kein

<sup>1)</sup> Am internationalen philosophischen Kongreß, der in Paris im Jahre 1900 abgehalten wurde, hatte Hr. Poincaré folgende Schlußfolgerung entwickelt: „So erklärt es sich, daß das Experiment die Prinzipien der Mechanik wohl aufbauen (oder anregen), sie aber niemals umstürzen konnte.“ Gegen diese Schlußfolgerung hatte Hr. Hadamard mehrere Einwände erhoben, unter anderen folgenden: „Übrigens ist es entsprechend einer Bemerkung des Hrn. Duhem nicht eine isolierte Hypothese, sondern die Gesamtheit der Hypothesen der Mechanik, deren experimentelle Bestätigung man versuchen kann.“ (*Revue de Métaphysique et de Morale*, 8<sup>e</sup> année, 1900, p. 559.)

absolutes Prinzip leitet diese Untersuchung, die die verschiedenen Physiker auf sehr verschiedene Art und Weise ausführen können, ohne das Recht zu haben, einander als unlogisch anzuklagen. Der eine kann sich zum Beispiel bemühen, gewisse fundamentale Hypothesen aufrechtzuhalten, indem er sich bemüht, durch Komplikationen der Darstellung, in der diese Hypothesen angewendet werden, durch Aufsuchung verschiedener Fehlerquellen, durch Vermehrung der Korrekturen, die Übereinstimmung zwischen den Konsequenzen der Theorie und den Tatsachen wieder herzustellen. Ein anderer, der diese komplizierten Kniffe verschmäht, kann zum Entschluß kommen, eine der wesentlichen Annahmen, die das ganze System tragen, zu ändern. Der erstere hat nicht das Recht, von vornherein die Kühnheit des zweiten zu verdammen, ebensowenig, wie der zweite, die Zaghaftheit des ersten als absurd behandeln darf. Die Methoden, die sie verfolgen, können nur durch das Experiment gerechtfertigt werden, und wenn sie alle beide seinen Anforderungen genügen, ist es logisch zulässig, daß sowohl der eine wie der andere mit seiner Arbeit zufrieden ist.

Das will keineswegs sagen, daß man nicht mit sehr großer Berechtigung die Arbeit des einen der des anderen vorziehen kann. Die reine Logik ist keineswegs die einzige Regel unserer Urteile. Gewisse Meinungen, die nicht durch das Prinzip des Widerspruchs unmöglich werden, können dennoch vollkommen unvernünftig sein. Jene Motive, die nicht aus der Logik hervorgehen und dennoch unsere Wahl bestimmen, jene „Gründe, die die Vernunft nicht kennt“, die zum Scharfsinn und nicht zum mathematischen Denken sprechen, bilden das, was man recht geeignet als gesunden Menschenverstand bezeichnet.

Es kann nun geschehen, daß der gesunde Menschenverstand uns ermöglicht, zwischen unseren beiden Physikern zu entscheiden. Es kann geschehen, daß wir die Eile, mit der der zweite die Prinzipien einer großen und harmonisch gebauten Theorie zertrümmert, wenig verständlich finden, während eine Änderung im Detail, eine einfache Korrektur

genügt hätte, diese Theorie wieder mit den Tatsachen in Einklang zu bringen. Es kann dagegen geschehen, daß wir die Hartnäckigkeit, mit der der erste Physiker, koste es was es wolle, um den Preis fortwährender Verbesserungen und eines Wirrwarrs verwickelter Stützpfeiler an den wurmstichigen Säulen eines Gebäudes festhält, das an allen Ecken wackelt, für kindisch und unvernünftig halten, während es nach Demolierung dieses Gebäudes möglich wäre, auf neuen Hypothesen ein einfaches, elegantes und widerstandsfähiges System zu bauen.

Aber diese Gründe des gesunden Menschenverstandes drängen sich nicht mit derselben unabänderlichen Strenge, wie die Vorschriften der Logik auf; sie besitzen etwas Unsicheres, Schwankendes; sie zeigen sich nicht zu gleicher Zeit, mit gleicher Klarheit in allen Köpfen. Daher rührt die Möglichkeit der langen Streitigkeiten zwischen den Anhängern eines alten Systemes und den Vorkämpfern einer neuen Lehre, in denen jedes Lager behauptet, den gesunden Menschenverstand auf seiner Seite zu haben, in denen jede Partei die Gründe des Gegners für unzureichend hält. Solche Streitigkeiten zeigt uns die Geschichte der Physik in unzähligen Fällen, in allen Epochen, auf allen Gebieten. Beschränken wir uns darauf, an die Hartnäckigkeit und Scharfsinnigkeit zu erinnern, mit der Biot in der Optik durch fortgesetztes Anbringen von Korrekturen und Zusatzhypothesen an der Emissionstheorie festhielt, während Fresnel dieser Lehre stets neue Experimente entgegenhielt, die der Undulationstheorie günstig waren.

Dennoch dauert dieser Zustand der Unentschiedenheit stets nur eine gewisse Zeit. Eines Tages erklärt sich der gesunde Menschenverstand so deutlich zugunsten der einen der beiden Parteien, daß die andere auf den Kampf verzichtet, wenn auch die reine Logik seine Fortsetzung nicht verbieten würde. Nachdem das Experiment von Foucault gezeigt hatte, daß das Licht sich schneller in Luft als in Wasser fortpflanzt, verzichtete Biot auf die Aufrechterhaltung der Emissionshypothese. In aller Strenge hätte die reine Logik zu diesem Verzicht nicht genötigt, denn das Foucaultsche Experiment

war keineswegs das Experimentum crucis, das Arago in ihm zu sehen glaubte. Wenn aber Biot länger der Undulationstheorie Widerstand geleistet hätte, würde es ihm an gesundem Menschenverstand gemangelt haben.

Da der Augenblick, in dem eine ungenügende Hypothese einer fruchtbaren Annahme Platz machen muß, nicht mit strenger Präzision durch die Logik vorgezeichnet wird, da der gesunde Menschenverstand diesen Augenblick erkennen muß, können die Physiker diesen Entscheid beschleunigen und die Schnelligkeit des wissenschaftlichen Fortschrittes steigern, indem sie sich bemühen, in sich selbst den gesunden Menschenverstand möglichst hell und wachsam zu erhalten. Nichts trägt nun mehr dazu bei, den gesunden Menschenverstand einzuengen, die klare Einsicht zu trüben, als Leidenschaften und Interessen. Nichts verzögert daher mehr die Entscheidung, die in einer physikalischen Theorie eine glücklichere Form bestimmen soll, als die Eitelkeit, die den Physiker zu nachsichtig gegen sein eigenes, zu strenge gegen ein fremdes System macht. Wir sind daher zu folgendem Schluß gelangt, der überaus klar von Claude Bernard formuliert wurde: Die gesunde experimentelle Kritik einer Hypothese ist bestimmten moralischen Bedingungen unterworfen; zur richtigen Einschätzung der Übereinstimmung einer physikalischen Theorie mit den Tatsachen genügt es nicht, daß man ein guter Mathematiker und geschickter Experimentator sei, man muß auch ein unparteiischer und aufrichtiger Richter sein.

### Elftes Kapitel.

#### Die Wahl der Hypothesen.

§ 1. -- Worauf sich die von der Logik bei der Wahl der Hypothesen gestellten Bedingungen reduzieren.

Wir haben die verschiedenen Operationen, durch die eine physikalische Theorie zustande kommt, sorgfältig analysiert und haben im Speziellen die Regeln, die den Vergleich der aus einer Theorie gefolgerten Schlüsse mit den experimentellen