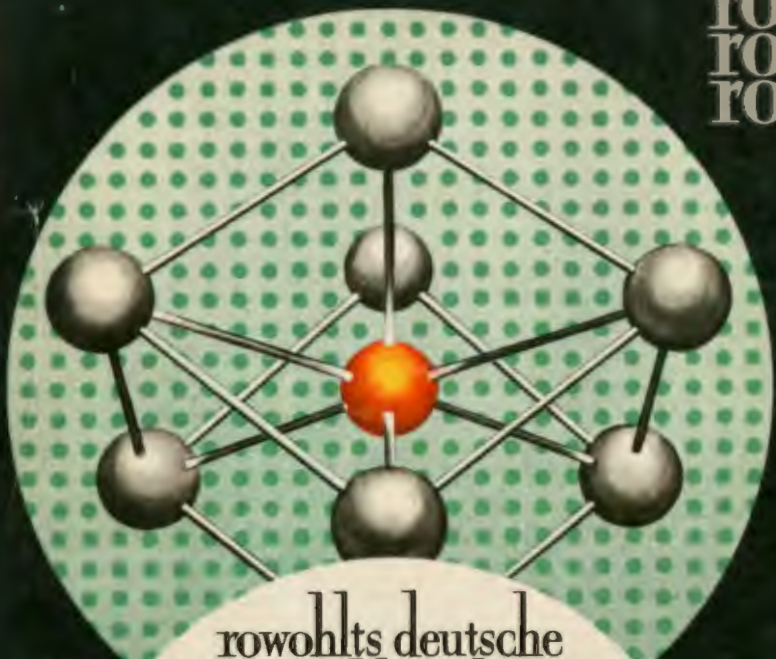


ro  
ro  
ro



rowohlt's deutsche  
enzyklopädie

*Werner Heisenberg*

DAS NATURBILD

DER HEUTIGEN

PHYSIK

Arendt

QC

6

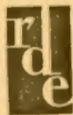
.H45

1956

WERNER HEISENBERG

---

*Das  
Naturbild  
der heutigen  
Physik*



---

ROWOHLT HAMBURG

# INHALTSVERZEICHNIS

## ENZYKLOPÄDISCHES STICHWORT

### NATUR

133

*(Zur vorherigen Lektüre empfohlene Einführung in den  
Problembereich, dem das Thema entstammt)*

## I. DAS NATURBILD DER HEUTIGEN PHYSIK

1. DAS PROBLEM DER NATUR 7
2. DIE TECHNIK 12
3. NATURWISSENSCHAFT ALS TEIL DES WECHSELSPIELES  
ZWISCHEN MENSCH UND NATUR 15

## II. ATOMPHYSIK UND KAUSALGESETZ

1. DER BEGRIFF «KAUSALITÄT» 24
2. DIE STATISTISCHE GESETZMÄSSIGKEIT 25
3. STATISTISCHER CHARAKTER DER QUANTENTHEORIE 28
4. GESCHICHTE DER NEUEN ATOMPHYSIK 30
5. RELATIVITÄTSTHEORIE UND DIE AUFLÖSUNG  
DES DETERMINISMUS 32

## III. ÜBER DAS VERHÄLTNISS VON HUMANISTISCHER BILDUNG, NATURWISSENSCHAFT UND ABENDLAND

1. DIE TRADITIONELLEN GRÜNDE DER VERTEIDIGUNG  
HUMANISTISCHER BILDUNG 36
2. DIE MATHEMATISCHE BESCHREIBUNG DER NATUR 38
3. ATOME UND HUMANISTISCHE BILDUNG 40
4. NATURWISSENSCHAFT UND HUMANISTISCHE BILDUNG 42
5. DER GLAUBE AN UNSERE AUFGABE 44

## HISTORISCHE QUELLEN

### I. DIE ANSÄTZE DER NEUZEITLICHEN NATUR- WISSENSCHAFTEN

1. JOHANNES KEPLER (*Mysterium cosmographicum*) 49

2. GALILEO GALILEI	59
a) <i>Galileis Selbstverteidigung gegen die Tradition</i> (Galileis Brief an Elia Diodati / Dialog über die beiden haupt- sächlichsten Weltsysteme)	61
b) <i>Galileis Entwurf der modernen Naturwissenschaften</i> (Gespräche und mathematische Beweise über zwei neue Wissen- schaften)	74
3. ISAAC NEWTON (Mathematische Prinzipien der Naturlehre)	78

## II. DIE ENTSTEHUNG DES MECHANISTISCHEN UND MATERIALISTISCHEN WELTBILDES

1. <i>Anwendung der Methode der Newtonschen Mechanik auf weitere Gebiete</i> CHRISTIAN HUYGENS (Abhandlung über das Licht)	86
2. <i>Entstehung des mechanistischen und materialistischen Weltbildes</i> D'ALEMBERT (Einleitung zur Enzyklopädie 1751)	89
DE LA METTRIE (Der Mensch, eine Maschine)	95
WILHELM OSTWALD (Vorlesungen über Naturphilosophie)	97

## III. DIE KRISIS DER MECHANISTISCH-MATERIALISTISCHEN AUFFASSUNG

1. HEINRICH HERTZ (Einleitung zu: Prinzipien der Mechanik)	112
2. LOUIS DE BROGLIE (Licht und Materie)	115

## ÜBER DEN VERFASSER

139

## LITERATURHINWEISE

141

## NAMEN- UND SACHREGISTER

144

## I. DAS NATURBILD DER HEUTIGEN PHYSIK

Es ist die Frage aufgeworfen worden, ob sich etwa die Stellung des modernen Menschen zur Natur so grundsätzlich von der früherer Zeiten unterscheidet, daß schon hierdurch ein völlig verschiedener Ausgangspunkt für jegliche Beziehung zu ihr, beispielsweise für die des Künstlers, gegeben werde. Die Stellung unserer Zeit zur Natur findet dabei kaum wie in früheren Jahrhunderten ihren Ausdruck in einer entwickelten Naturphilosophie, sondern sie wird sicher weitgehend durch die moderne Naturwissenschaft und Technik bestimmt. Daher liegt es nicht nur für den Naturforscher nahe, nach dem Naturbild der heutigen Naturwissenschaft, insbesondere der modernen Physik zu fragen. Freilich muß hier gleich zu Anfang ein Vorbehalt gemacht werden: Es besteht kaum Anlaß zu glauben, daß das Weltbild der heutigen Naturwissenschaft unmittelbar die Auseinandersetzungen — etwa des modernen Künstlers — mit der Natur beeinflußt habe; wohl aber kann angenommen werden, daß die Veränderungen in den Grundlagen der modernen Naturwissenschaft ein Anzeichen sind für tiefgehende Veränderungen in den Fundamenten unseres Daseins, die ihrerseits sicher auch Rückwirkungen in allen anderen Lebensbereichen hervorrufen. Unter diesem Gesichtspunkt kann es auch für den Menschen, der schöpferisch oder deutend in das Wesen der Natur einzudringen versucht, wichtig sein zu fragen, welche Veränderungen sich in den letzten Jahrzehnten im Naturbild der Naturwissenschaften vollzogen haben.

### 1. DAS PROBLEM DER NATUR

#### *Veränderungen in der Stellung des Forschers zur Natur*

Wenden wir zunächst den Blick zurück zu den geschichtlichen Wurzeln der neuzeitlichen Naturwissenschaft. Als diese Wissenschaft im 17. Jahrhundert durch KEPLER, GALILEI und NEWTON begründet wurde, stand am Anfang noch das mittelalterliche Naturbild, das in der Natur zunächst das von Gott Erschaffene erblickt. Die Natur wurde als das Werk Gottes gedacht, und es wäre den Menschen jener Zeit sinnlos erschienen, nach der materiellen Welt unabhängig von Gott zu fragen. Als ein Dokument jener Zeit möchte ich die Worte zitieren, mit denen KEPLER den letzten Band seiner «Kosmischen Harmonie» abgeschlossen hat: «Dir sage ich Dank, Herrgott, unser Schöpfer, daß Du mich die Schönheit schauen läßt in Deinem

Schöpfungswerk, und mit den Werken Deiner Hände frohlocke ich. Siehe, hier habe ich das Werk vollendet, zu dem ich mich berufen fühlte; ich habe mit dem Talent gewuchert, das Du mir gegeben hast; ich habe die Herrlichkeit Deiner Werke den Menschen verkündet, welche diese Beweigänge lesen werden, soviel ich in der Beschränktheit meines Geistes davon fassen konnte.»

Aber schon in dem Lauf weniger Jahrzehnte hat sich dann die Stellung der Menschen zur Natur grundsätzlich geändert. In dem Maß, in dem der Forscher sich in die Einzelheiten der Naturvorgänge vertiefte, erkannte er, daß man in der Tat, wie GALILEI es begonnen hatte, einzelne Naturvorgänge aus dem Zusammenhang herauslösen, mathematisch beschreiben und damit «erklären» kann. Dabei würde ihm allerdings auch deutlich, welche unendliche Aufgabe der beginnenden Naturwissenschaft hierdurch gestellt wird. Schon für NEWTON war daher die Welt nicht mehr einfach das nur im Ganzen zu verstehende Werk Gottes. Seine Stellung zur Natur wird am deutlichsten umschrieben durch seinen bekannten Ausspruch, daß er sich vorkomme wie ein Kind, das am Meeresstrand spielt und sich freut, wenn es dann und wann einen glatteren Kiesel oder eine schönere Muschel als gewöhnlich findet, während der große Ozean der Wahrheit unerforscht vor ihm liegt. Man kann diese Veränderung in der Stellung des Forschers zur Natur vielleicht dadurch verständlich machen, daß in der Entwicklung des christlichen Denkens in jener Epoche Gott so hoch über die Erde in den Himmel entrückt schien, daß es sinnvoll wurde, die Erde auch unabhängig von Gott zu betrachten. Insofern mag es sogar berechtigt sein, bei der neuzeitlichen Naturwissenschaft — wie es bei KAMLAH anklingt — von einer spezifisch christlichen Form der Gottlosigkeit zu sprechen und damit verständlich zu machen, warum sich eine entsprechende Entwicklung in anderen Kulturkreisen nicht vollzogen hat. Es ist daher wohl auch kein Zufall, daß eben um jene Zeit in der bildenden Kunst die Natur für sich Gegenstand der Darstellung wird, unabhängig vom religiösen Thema. Für die Naturwissenschaft entspricht es auch ganz dieser Tendenz, wenn die Natur nicht nur unabhängig von Gott, sondern auch unabhängig vom Menschen betrachtet wird, so daß sich das Ideal einer «objektiven» Naturbeschreibung oder Naturerklärung bildet. Immerhin muß hervorgehoben werden, daß auch für NEWTON die Muschel deswegen wichtig ist, weil sie aus dem großen Ozean der Wahrheit stammt, ihre Betrachtung ist noch nicht Selbstzweck, sondern ihr Studium erhält seinen Sinn durch den Zusammenhang des Ganzen.

rialistische Realitätsvorstellung der Atomphysik und brachte ein Element von Abstraktheit und Unanschaulichkeit in das sonst scheinbar so einleuchtende Weltbild. Daher hat es nicht an Versuchen gefehlt, auf dem Umweg über einen materiellen Äther, der diese Kraftfelder als elastische Verspannung tragen sollte, wieder zu dem einfachen Materiebegriff der materialistischen Philosophie zurückzukehren; jedoch hatten solche Versuche keinen rechten Erfolg. Immerhin konnte man sich damit trösten, daß auch die Veränderungen der Kraftfelder als Vorgänge in Raum und Zeit gelten konnten, die sich ganz objektiv, d. h. ohne Bezugnahme auf die Art ihrer Beobachtung, beschreiben lassen und die daher dem allgemein akzeptierten Idealbild eines gesetzmäßigen Ablaufs in Raum und Zeit entsprachen. Man konnte ferner die Kraftfelder, die ja nur in ihrer Wechselwirkung mit den Atomen beobachtet werden konnten, als von den Atomen hervorgerufen auffassen und sie gewissermaßen nur zur Erklärung der Bewegung der Atome benutzen. Insofern blieben dann also doch die Atome das eigentlich Seiende, zwischen ihnen der leere Raum, der höchstens als Träger der Kraftfelder und der Geometrie eine gewisse Art von Wirklichkeit besitzt.

Für dieses Weltbild war es auch nicht allzu bedeutsam, daß nach der Entdeckung der Radioaktivität gegen Ende des letzten Jahrhunderts die Atome der Chemie nicht mehr als die letzten unteilbaren Bausteine der Materie aufgefaßt werden konnten, daß diese vielmehr wieder aus drei Sorten von Grundbausteinen zusammengesetzt sind, die wir heute Protonen, Neutronen und Elektronen nennen. Diese Erkenntnis hat in ihren praktischen Konsequenzen zur Umwandlung der Elemente und zur Atomtechnik geführt und ist insofern ungeheuer wichtig geworden. Für die prinzipiellen Fragen aber ändert sich nichts, wenn wir nun Protonen, Neutronen und Elektronen als die kleinsten Bausteine der Materie erkannt haben und als das eigentlich Seiende interpretieren. Wichtig für das materialistische Weltbild ist nur die Möglichkeit, diese kleinsten Bausteine der Elementarteilchen als die letzte objektive Realität zu betrachten. Auf dieser Grundlage also ruhte das festgefügte Weltbild des 19. und beginnenden 20. Jahrhunderts, und es hat dank seiner Einfachheit eine Reihe von Jahrzehnten seine volle Überzeugungskraft bewahrt.

Aber eben an dieser Stelle haben sich dann in unserem Jahrhundert tiefgreifende Veränderungen in den Grundlagen der Atomphysik vollzogen, die von der Wirklichkeitsauffassung der antiken Atomphilosophie wegführen. Es hat sich herausgestellt, daß jene

erhoffte objektive Realität der Elementarteilchen eine zu grobe Vereinfachung des wirklichen Sachverhalts darstellt und viel abstrakteren Vorstellungen weichen muß. Wenn wir uns ein Bild von der Art der Elementarteilchen machen wollen, können wir nämlich grundsätzlich nicht mehr von den physikalischen Prozessen absehen, durch die wir von ihnen Kunde erlangen. Wenn wir Gegenstände unserer täglichen Erfahrung beobachten, spielt ja der physikalische Prozeß, der die Beobachtung vermittelt, nur eine untergeordnete Rolle. Bei den kleinsten Bausteinen der Materie aber bewirkt jeder Beobachtungsvorgang eine grobe Störung; man kann gar nicht mehr vom Verhalten des Teilchens losgelöst vom Beobachtungsvorgang sprechen. Dies hat schließlich zur Folge, daß die Naturgesetze, die wir in der Quantentheorie mathematisch formulieren, nicht mehr von den Elementarteilchen an sich handeln, sondern von unserer Kenntnis der Elementarteilchen. Die Frage, ob diese Teilchen «an sich» in Raum und Zeit existieren, kann in dieser Form also nicht mehr gestellt werden, da wir stets nur über die Vorgänge sprechen können, die sich abspielen, wenn durch die Wechselwirkung des Elementarteilchens mit irgendwelchen anderen physikalischen Systemen, z. B. den Meßapparaten, das Verhalten des Teilchens erschlossen werden soll. Die Vorstellung von der objektiven Realität der Elementarteilchen hat sich also in einer merkwürdigen Weise verflüchtigt, nicht in den Nebel irgendeiner neuen, unklaren oder noch unverstandenen Wirklichkeitsvorstellung, sondern in die durchsichtige Klarheit einer Mathematik, die nicht mehr das Verhalten des Elementarteilchens, sondern unsere Kenntnis dieses Verhaltens darstellt. Der Atomphysiker hat sich damit abfinden müssen, daß seine Wissenschaft nur ein Glied ist in der endlosen Kette der Auseinandersetzungen des Menschen mit der Natur, daß sie aber nicht einfach von der Natur «an sich» sprechen kann. Die Naturwissenschaft setzt den Menschen immer schon voraus, und wir müssen uns, wie BOHR es ausgedrückt hat, dessen bewußt werden, daß wir nicht nur Zuschauer, sondern stets auch Mitspielende im Schauspiel des Lebens sind.

## 2. DIE TECHNIK

### *Wechselwirkung zwischen Technik und Naturwissenschaft*

Bevor nun über allgemeine Folgerungen aus dieser neuen Situation in der modernen Physik gesprochen werden kann, soll noch die



Macht des Menschen zu erweitern. Der Wert dieses Zieles wird ebensowenig in Frage gestellt wie in der Naturwissenschaft der Wert der Naturerkenntnis, und beide Ziele fließen in eines zusammen in dem banalen Schlagwort «Wissen ist Macht». Obwohl die Unterordnung unter das gemeinsame Ziel wohl für jeden einzelnen technischen Vorgang nachgewiesen werden kann, so ist es doch auch wieder charakteristisch für die ganze Entwicklung, daß der technische Einzelprozeß oft nur so indirekt mit dem Gesamtziel verbunden ist, daß man ihn kaum mehr als Teil eines bewußten Planes zur Erreichung dieses Zieles ansehen kann. An solchen Stellen erscheint dann die Technik fast nicht mehr als das Produkt bewußter menschlicher Bemühung um die Ausbreitung der materiellen Macht, sondern eher als ein biologischer Vorgang im Großen, bei dem die im menschlichen Organismus angelegten Strukturen in immer weiterem Maße auf die Umwelt des Menschen übertragen werden; ein biologischer Vorgang also, der eben als solcher der Kontrolle durch den Menschen entzogen ist; denn «der Mensch kann zwar tun, was er will, aber er kann nicht wollen, was er will».

### 3. NATURWISSENSCHAFT ALS TEIL DES WECHSELSPIELES ZWISCHEN MENSCH UND NATUR

#### *Technik und Veränderungen der Lebensweisen*

In diesem Zusammenhang ist oft gesagt worden, daß die tiefgreifende Veränderung unserer Umwelt und unserer Lebensweise im technischen Zeitalter auch unser Denken in einer gefährlichen Weise umgestaltet habe und daß hier die Wurzel der Krisen zu suchen sei, von denen unsere Zeit erschüttert werde und die sich z. B. auch in der modernen Kunst äußern. Dieser Einwand ist nun freilich viel älter als Technik und Naturwissenschaft der Neuzeit; denn Technik und Maschinen hat es in primitiver Form schon viel früher gegeben, so daß die Menschen schon längst vergangener Zeiten gezwungen waren, über solche Fragen nachzudenken. Vor zweieinhalb Jahrtausenden hat z. B. der chinesische Weise DSCHUANG DSI schon von den Gefahren des Maschinengebrauchs für den Menschen gesprochen, und ich möchte hier eine Stelle aus seinen Schriften anführen, die für unser Thema wichtig ist:

«Als Dsi Gung durch die Gegend nördlich des Han-Flusses kam, sah er einen alten Mann, der in seinem Gemüsegarten beschäftigt war. Er hatte Gräben gezogen zur Bewässerung. Er stieg selbst in

den Brunnen hinunter und brachte in seinen Armen ein Gefäß voll Wasser herauf, das er ausgoß. Er mühte sich aufs äußerste ab und brachte doch wenig zustande.

Dsi Gung sprach: Da gibt es eine Einrichtung, mit der man an einem Tag hundert Gräben bewässern kann. Mit wenig Mühe wird viel erreicht. Möchtet Ihr die nicht anwenden? Der Gärtner richtete sich auf, sah ihn an und sprach: Und was wäre das?

Dsi Gung sprach: Man nimmt einen hölzernen Hebelarm, der hinten beschwert und vorne leicht ist. Auf diese Weise kann man das Wasser schöpfen, daß es nur so sprudelt. Man nennt das einen Ziehbrunnen.

Da stieg dem Alten der Ärger ins Gesicht, und er sagte lachend: Ich habe meinen Lehrer sagen hören: Wenn einer Maschinen benutzt, so betreibt er alle seine Geschäfte maschinenmäßig; wer seine Geschäfte maschinenmäßig betreibt, der bekommt ein Maschinenherz. Wenn einer aber ein Maschinenherz in der Brust hat, dem geht die reine Einfalt verloren. Bei wem die reine Einfalt hin ist, der wird ungewiß in den Regungen seines Geistes. Ungewißheit in den Regungen des Geistes ist etwas, das sich mit dem wahren Sinn nicht verträgt. Nicht daß ich solche Dinge nicht kannte, ich schäme mich, sie anzuwenden.

Daß diese alte Erzählung einen erheblichen Teil der Wahrheit enthält, wird jeder von uns empfinden; denn «Ungewißheit in den Regungen des Geistes» ist vielleicht eine der treffendsten Beschreibungen, die wir dem Zustand der Menschen in unserer heutigen Krise geben können: Die Technik, die Maschine hat sich in einem Ausmaß über die Welt ausgebreitet, von der jener chinesische Weise nichts ahnen konnte, und doch sind auch zweitausend Jahre später noch die schönsten Kunstwerke auf der Erde entstanden, und die Einfalt der Seele, von der der Philosoph spricht, ist nie ganz verlorengegangen, sondern im Laufe der Jahrhunderte bald schwächer, bald stärker in Erscheinung getreten und immer wieder fruchtbar geworden. Schließlich hat sich der Aufstieg des Menschengeschlechts ja doch durch die Entwicklung der Werkzeuge vollzogen; es kann also die Technik jedenfalls nicht an sich schon die Ursache dafür sein, daß in unserer Zeit das Bewußtsein des Zusammenhanges an vielen Stellen verlorengegangen ist.

Man wird der Wahrheit vielleicht näherkommen, wenn man die plötzliche und — gemessen an früheren Veränderungen — ungewöhnlich schnelle Ausbreitung der Technik in den letzten fünfzig Jahren für viele Schwierigkeiten verantwortlich macht, da diese

Schnelligkeit der Veränderung im Gegensatz zu früheren Jahrhunderten der Menschheit einfach nicht die Zeit gelassen hat, sich auf die neuen Lebensbedingungen umzustellen. Aber auch damit ist wohl noch nicht richtig oder noch nicht vollständig erklärt, warum unsere Zeit offensichtlich vor einer ganz neuen Situation zu stehen scheint, zu der es in der Geschichte kaum ein Analogon gibt.

#### *Der Mensch steht nur noch sich selbst gegenüber*

Schon am Anfang war davon die Rede, daß die Wandlungen in den Grundlagen der modernen Naturwissenschaft vielleicht als Symptom angesehen werden können für Verschiebungen in den Fundamenten unseres Daseins, die sich dann an vielen Stellen gleichzeitig äußern, sei es in Veränderungen unserer Lebensweise und unserer Denkgewohnheiten, sei es in äußeren Katastrophen, Kriegen oder Revolutionen. Wenn man versucht, von der Situation in der modernen Naturwissenschaft ausgehend, sich zu den in Bewegung geratenen Fundamenten vorzutasten, so hat man den Eindruck, daß man die Verhältnisse vielleicht nicht allzu grob vereinfacht, wenn man sagt, daß *zum erstenmal im Laufe der Geschichte der Mensch auf dieser Erde nur noch sich selbst gegenübersteht*, daß er keine anderen Partner oder Gegner mehr findet. Das gilt zunächst in einer ganz banalen Weise im Kampf des Menschen mit äußeren Gefahren. Früher war der Mensch durch wilde Tiere, durch Krankheiten, Hunger, Kälte und andere Naturgewalten bedroht, und in diesem Streit bedeutete jede Ausweitung der Technik eine Stärkung der Stellung des Menschen, also einen Fortschritt. In unserer Zeit, in der die Erde immer dichter besiedelt wird, kommt die Einschränkung der Lebensmöglichkeit und damit die Bedrohung in erster Linie von den anderen Menschen, die auch ihr Recht auf die Güter der Erde geltend machen. In dieser Auseinandersetzung braucht die Erweiterung der Technik aber kein Fortschritt mehr zu sein. Der Satz, daß der Mensch nur noch sich selbst gegenüberstehe, gilt aber im Zeitalter der Technik noch in einem viel weiteren Sinne. In früheren Epochen sah sich der Mensch der Natur gegenüber; die von Lebewesen aller Art bewohnte Natur war ein Reich, das nach seinen eigenen Gesetzen lebte und in das er sich mit seinem Leben irgendwie einzuordnen hatte. In unserer Zeit aber leben wir in einer vom Menschen so völlig verwandelten Welt, daß wir überall, ob wir nun mit den Apparaten des täglichen Lebens umgehen, ob wir eine mit Maschinen zubereitete Nahrung zu uns nehmen oder die

### 3. STATISTISCHER CHARAKTER DER QUANTENTHEORIE

Obwohl man in dieser Weise seit den Entdeckungen von GIBBS und BOLTZMANN die unvollständige Kenntnis eines Systems in die Formulierung der physikalischen Gesetze einbezog, hat man doch grundsätzlich am Determinismus festgehalten bis zur berühmten Entdeckung von MAX PLANCK, mit der die Quantentheorie begonnen hat. PLANCK hatte zunächst in seiner Arbeit über die Strahlungstheorie nur ein Element von Unstetigkeit in den Strahlungserscheinungen gefunden. Er hatte gezeigt, daß ein strahlendes Atom seine Energie nicht kontinuierlich, sondern unstetig, in Stößen, abgibt. Diese unstetige und stoßweise Energieabgabe führt wieder, wie die ganzen Vorstellungen der Atomtheorie, zu der Annahme, daß die Aussendung von Strahlung ein statistisches Phänomen sei. Aber erst im Laufe von zweieinhalb Jahrzehnten hat sich herausgestellt, daß die Quantentheorie tatsächlich sogar dazu zwingt, die Gesetze eben als statistische Gesetze zu formulieren und vom Determinismus auch grundsätzlich abzugehen. Die Plancksche Theorie hatte sich seit den Arbeiten von EINSTEIN, BOHR und SOMMERFELD als der Schlüssel erwiesen, mit dem man das Tor zu dem Gesamtgebiet der Atomphysik öffnen kann. Mit Hilfe des Rutherford-Bohrschen Atommodells hat man die chemischen Vorgänge erklären können, und seit dieser Zeit sind Chemie, Physik und Astrophysik zu einer Einheit verschmolzen. Bei der mathematischen Formulierung der quantentheoretischen Gesetze hat man sich aber gezwungen gesehen, vom reinen Determinismus abzugehen. Da ich von diesen mathematischen Ansätzen hier nicht sprechen kann, will ich nur verschiedene Formulierungen angeben, in denen man die merkwürdige Situation ausgedrückt hat, vor die der Physiker sich in der Atomphysik gestellt sah. Einmal kann man die Abweichung von der früheren Physik in den sogenannten Unbestimmtheitsrelationen ausdrücken. Man stellte fest, daß es nicht möglich ist, den Ort und die Geschwindigkeit eines atomaren Teilchens gleichzeitig mit beliebiger Genauigkeit anzugeben. Man kann entweder den Ort sehr genau messen, dann verwischt sich dabei durch den Eingriff des Beobachtungsinstruments die Kenntnis der Geschwindigkeit bis zu einem gewissen Grad; umgekehrt verwischt sich die Ortskenntnis durch eine genaue Geschwindigkeitsmessung, so daß für das Produkt der beiden Ungenauigkeiten durch die Plancksche Konstante eine untere Grenze gegeben wird. Diese Formulierung macht jedenfalls klar, daß man mit den Begriffen der Newtonschen Mechanik nicht sehr viel weiter

schließenden technischen Entwicklung können Element-Umwandlungen auch im Großen vollzogen werden.

Nun hat sich in den letzten beiden Jahrzehnten das Bild wieder etwas verwirrt. Neben den genannten drei Elementarteilchen: Proton, Neutron und Elektron hat man schon in den dreißiger Jahren noch weitere entdeckt, und in den allerletzten Jahren ist die Anzahl dieser neuen Teilchen erschreckend angewachsen. Es handelt sich dabei stets um Elementarteilchen, die im Gegensatz zu den drei Grundbausteinen instabil, d. h. nur ganz kurze Zeit existenzfähig sind. Von diesen Teilchen, die wir Mesonen nennen, hat eine Sorte eine Lebensdauer von etwa dem millionstel Teil einer Sekunde, eine andere lebt nur den hundertsten Teil dieser Zeit, eine dritte, elektrisch ungeladene Sorte sogar nur den hundertbillionsten Teil einer Sekunde lang. Bis auf diese Unstabilität verhalten sich die neuen Elementarteilchen aber ganz ähnlich wie die drei stabilen Grundbausteine der Materie. Im ersten Augenblick sieht es so aus, als sei man nun wieder gezwungen, eine große Anzahl qualitativ verschiedener Elementarteilchen anzunehmen, und das wäre im Hinblick auf die Grundvoraussetzungen der Atomphysik sehr unbefriedigend. Es hat sich aber in den Experimenten der letzten Jahre herausgestellt, daß die Elementarteilchen sich bei Zusammenstößen mit großer Energieumsetzung ineinander verwandeln können. Wenn zwei Elementarteilchen mit großer Bewegungsenergie aufeinander treffen, so entstehen beim Stoß neue Elementarteilchen, die ursprünglichen Teilchen und ihre Energie verwandeln sich in neue Materie. Diesen Sachverhalt kann man am einfachsten beschreiben, wenn man sagt, alle Teilchen bestehen im Grunde aus dem gleichen Stoff, sie sind nur verschiedene stationäre Zustände ein und derselben Materie. Auch die Zahl 3 der Grundbausteine wird daher noch einmal reduziert auf die Zahl 1. *Es gibt nur eine einheitliche Materie, aber sie kann in verschiedenen diskreten stationären Zuständen existieren.* Einige dieser Zustände sind stabil, das sind Proton, Neutron und Elektron, und viele andere sind instabil.

##### 5. RELATIVITÄTSTHEORIE UND DIE AUFLÖSUNG DES DETERMINISMUS

Obwohl man auf Grund der experimentellen Ergebnisse der vergangenen Jahre kaum mehr daran zweifeln kann, daß die Atomphysik sich in dieser Richtung entwickeln wird, ist es bisher noch nicht gelungen, die Gesetzmäßigkeiten mathematisch zu erfassen, nach de-

nen die Elementarteilchen gebildet sind. Das ist eben das Problem, an dem die Atomphysiker im Augenblick arbeiten, sowohl experimentell, indem sie neue Teilchen entdecken und deren Eigenschaften untersuchen, als auch theoretisch, indem sie sich bemühen, die Eigenschaften der Elementarteilchen gesetzmäßig zu verknüpfen und sie in mathematischen Formeln niederzuschreiben.

Bei diesen Bemühungen sind Schwierigkeiten mit dem Zeitbegriff aufgetaucht. Wenn man sich mit den Zusammenstößen der Elementarteilchen höchster Energien beschäftigt, muß man auf die Raum-Zeit-Struktur der speziellen Relativitätstheorie Rücksicht nehmen. In der Quantentheorie der Atomhülle spielte diese Raum-Zeit-Struktur keine sehr wichtige Rolle, da sich die Elektronen der Atomhülle verhältnismäßig langsam bewegen. Jetzt aber hat man es mit Elementarteilchen zu tun, die sich nahezu mit Lichtgeschwindigkeit bewegen, deren Verhalten also nur mit Hilfe der Relativitätstheorie beschrieben werden kann. EINSTEIN hat vor 50 Jahren gefunden, daß die Struktur von Raum und Zeit nicht ganz so einfach ist, wie wir sie uns zunächst im täglichen Leben vorstellen. Wenn wir als vergangen alle jene Ereignisse bezeichnen, von denen wir, wenigstens im Prinzip, etwas erfahren können, und als zukünftig alle Ereignisse, auf die wir, wenigstens im Prinzip, noch einwirken können, so entspricht es unserer naiven Vorstellung, zu glauben, daß zwischen diesen beiden Gruppen von Ereignissen nur ein unendlich kurzer Moment liegt, den wir den gegenwärtigen Zeitpunkt nennen können. Das war auch die Vorstellung, die NEWTON seiner Mechanik zugrunde gelegt hatte. Seit EINSTEINS Entdeckung im Jahre 1905 aber weiß man, daß zwischen dem, was ich eben zukünftig, und dem, was ich vergangen genannt habe, ein endlicher Zeitabstand liegt, dessen zeitliche Ausdehnung abhängt von dem räumlichen Abstand zwischen dem Ereignis und dem Beobachter. Der Bereich der Gegenwart ist also nicht auf einen unendlich kurzen Zeitpunkt beschränkt. Die Relativitätstheorie nimmt an, daß Wirkungen sich grundsätzlich nicht schneller als mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten können. Dieser Zug der Relativitätstheorie führt nun im Zusammenhang mit den Unbestimmtheitsrelationen der Quantentheorie zu Schwierigkeiten. Nach der Relativitätstheorie können Wirkungen sich nur erstrecken auf das Raum-Zeit-Gebiet, das scharf begrenzt ist durch den sogenannten Lichtkegel, d. h. durch die Raum-Zeit-Punkte, die von einer von dem wirkenden Punkt ausgehenden Lichtwelle erreicht werden. Dieses Raum-Zeit-Gebiet ist also, das muß besonders betont werden, scharf begrenzt. Anderer-

seits hat sich in der Quantentheorie herausgestellt, daß eine scharfe Festlegung des Ortes, also auch eine scharfe räumliche Begrenzung, eine unendliche Unbestimmtheit der Geschwindigkeit und damit auch des Impulses und der Energie zur Folge hat. Dieser Sachverhalt wirkt sich praktisch in der Weise aus, daß bei dem Versuch einer mathematischen Formulierung der Wechselwirkung der Elementarteilchen stets unendliche Werte für Energie und Impuls auftreten, die eine befriedigende mathematische Formulierung verhindern. Über diese Schwierigkeiten sind in den letzten Jahren viele Untersuchungen angestellt worden. Es ist aber noch nicht gelungen, eine ganz befriedigende Lösung anzugeben. Als einzige Abhilfe scheint sich einstweilen die Annahme darzubieten, daß in ganz kleinen Raum-Zeit-Bereichen von der Größenordnung der Elementarteilchen Raum und Zeit in einer eigentümlichen Weise verwischt sind, nämlich derart, daß man in so kleinen Zeiten selbst die Begriffe früher oder später nicht mehr richtig definieren kann. Im Großen würde sich an der Raum-Zeit-Struktur natürlich nichts ändern können, aber man müßte mit der Möglichkeit rechnen, daß Experimente über die Vorgänge in ganz kleinen Raum-Zeit-Bereichen zeigen werden, daß gewisse Prozesse scheinbar zeitlich umgekehrt ablaufen, als es ihrer kausalen Reihenfolge entspricht. An dieser Stelle hängen also die neuesten Entwicklungen der Atomphysik wieder mit der Frage des Kausalgesetzes zusammen. Ob freilich hier noch einmal neue Paradoxien, neue Abweichungen vom Kausalgesetz auftreten, ist im Augenblick noch nicht zu entscheiden. Es mag sein, daß sich bei dem Versuch zur mathematischen Formulierung der Gesetze der Elementarteilchen doch noch neue Möglichkeiten ergeben werden, um die genannten Schwierigkeiten zu umgehen. Aber man kann doch schon jetzt kaum daran zweifeln, daß die Entwicklung der neuesten Atomphysik an dieser Stelle noch einmal in den philosophischen Bereich übergreifen wird. Die endgültige Antwort auf die eben gestellten Fragen wird man erst geben können, wenn es gelungen ist, die Naturgesetze im Bereich der Elementarteilchen mathematisch festzulegen; wenn wir also z. B. wissen, warum etwa das Proton gerade 1836 mal schwerer ist als das Elektron.

Man erkennt daraus, daß die Atomphysik sich von den Vorstellungen des Determinismus immer weiter entfernt hat. Zunächst schon seit den Anfängen der Atomlehre dadurch, daß man die für die Vorgänge im Großen maßgebenden Gesetze als statistische Gesetze aufgefaßt hat. Man hat damals zwar prinzipiell den Determinismus aufrechterhalten, aber praktisch mit unserer unvollständigen Kennt-

Die ganze Aktivität des Abendlandes rührt ja nicht von einer theoretischen Einsicht her, auf Grund deren unsere Vorfahren sich berechtigt gefühlt hätten zu handeln, sondern es war ganz anders. Am Anfang stand und steht in solchen Fällen immer der Glaube. Ich meine damit nicht nur den christlichen Glauben an den von Gott gegebenen sinnvollen Zusammenhang der Welt, sondern auch einfach den Glauben an unsere Aufgabe in dieser Welt. Glauben heißt dabei natürlich nicht, dies oder jenes für wahr halten, sondern glauben heißt immer: Dazu entschieße ich mich, darauf stelle ich meine Existenz! Als KOLUMBUS zu seiner ersten Reise nach dem Westen aufbrach, glaubte er, daß die Erde rund sei und klein genug, sie zu umfahren. Dies hielt er nicht nur theoretisch für richtig, sondern darauf stellte er seine Existenz. In der Weltgeschichte Europas, wie sie FREYER jüngst dargestellt hat und in der er von diesen Dingen spricht, ist mit Recht auch hierauf die alte Formel angewendet worden: *«Credo, ut intellegam — ich glaube, um einzusehen»*, und FREYER hat sie bei dieser Anwendung auf die Entdeckungsfahrten erweitert, indem er ein Zwischenglied einfügte: *«Credo, ut agam; ago, ut intellegam — ich glaube, um zu handeln; ich handle, um einzusehen.»* Diese Formel paßt nicht nur auf die ersten Weltumsegelungen, sie paßt auch auf die ganze Naturwissenschaft des Abendlandes, wohl auf die ganze Sendung des Abendlandes. Sie umgreift humanistische Bildung und Naturwissenschaft. Und an anderer Stelle wollen wir nicht allzu bescheiden sein: Die eine Hälfte der heutigen Welt, der Westen, hat unvergleichliche Macht gewonnen, indem er einen Gedanken des Abendlandes, die Beherrschung und Ausnutzung der Naturkräfte durch Wissenschaft, in einer bisher nicht gekannten Weise in die Tat umgesetzt hat. Die andere Hälfte der Welt, der Osten, wird zusammengehalten durch das Vertrauen auf die wissenschaftlichen Thesen eines europäischen Philosophen und Nationalökonomien. Niemand weiß, was die Zukunft bringen wird und von welchen geistigen Mächten die Welt regiert werden wird, aber wir können nur damit anfangen, daß wir etwas glauben und etwas wollen.

Wir wollen, daß hier wieder geistiges Leben blüht, daß hier in Europa auch weiterhin die Gedanken wachsen, die das Gesicht der Welt bestimmen. Wir stellen unsere Existenz darauf, daß im gleichen Maße, in dem wir uns auf unseren Ursprung besinnen und wieder den Weg zu einem harmonischen Zusammenspiel der Kräfte unseres Erdteils finden, auch die äußeren Bedingungen des europäischen Lebens glücklicher sein werden als in den letzten fünfzig

mit ihrer unvernünftigen Seele viel geschickter —, sondern auch dazu, daß wir vom Sein der Dinge, die wir mit Augen betrachten, zu den Ursachen ihres Seins und Werdens vordringen, wenn auch weder kein Nutzen damit verbunden ist. Und wie die anderen Lebewesen sowie der Leib des Menschen durch Speise und Trank erhalten werden, so wird die Seele des Menschen, die etwas vom ganzen Menschen Verschiedenes ist, durch jene Nahrung in der Erkenntnis am Leben erhalten, bereichert, gewissermaßen im Wachstum gefördert. Wer darum nach diesen Dingen kein Verlangen in sich trägt, der gleicht mehr einem Toten als einem Lebenden. Wie nun die Natur dafür sorgt, daß es den Lebewesen nie an Speise gebricht, so können wir mit gutem Grund sagen, die Mannigfaltigkeit in den Naturerscheinungen sei deswegen so groß, die im Himmelsgebäude verborgenen Schätze so reich, damit dem menschlichen Geist nie die frische Nahrung ausgehe, daß er nicht Überdruß empfinde am Alten, noch zur Ruhe komme, daß ihm vielmehr stets in dieser Welt eine Werkstatt zur Übung seines Geistes offenstehe.

Was ich mir nun in meinem Buche gleichsam von der überaus reich besetzten Tafel des Schöpfers herablangte, verliert dadurch an Wert mitnichten, daß es dem größten Teil der Menge nicht schmeckt, von ihm vielmehr verschmäht wird. Die Gans wird von mehr Leuten gepriesen als der Fasan; denn jene kennen alle, dieser ist seltener, und doch wird kein Feinschmecker den Fasan geringer schätzen als die Gans. So wird der Wert meines Gegenstandes um so größer sein, je weniger Lobredner er findet, wenn diese nur Kennen sind. Dem großen Haufen und den Fürsten steht nicht dasselbe an; die Himmelskunde bietet nicht unterschiedslos allen Nahrung dar, sondern nur dem hochstrebenden Geist, und zwar nicht durch meine Schuld, weil ich es so wünschte, nicht der Natur der Sache nach, nicht weil Gott neidisch wäre, sondern weil die meisten Menschen dumm und feige sind. Die Fürsten lassen beim Mahle zwischenhin einen besonders köstlichen Gang auftragen, den sie erst genießen, wenn sie satt sind, um den Überdruß zu vertreiben. So wird dem edelmütigsten und weisesten Mensch an diesen und ähnlichen Forschungen dann erst Geschmack finden, wenn er seine Hütte verläßt, die Dörfer, Städte, Landschaften und Reiche durchstreifend seinen Blick emporwendet zum großen Reich der ganzen Erde, um alles genau kennenzulernen. Wenn er dann nirgends, da alles Menschenwerk ist, etwas findet, das ihn beseligen könnte, das dauernden Bestand hätte, etwas, was seinen Hunger zu stillen und ihn zu sättigen vermöchte, dann wird er sich aufmachen, um Besseres zu

suchen, dann wird er von dieser Erde aufsteigen zum Himmel, dann wird er den von leeren Sorgen erschöpften Geist in jene große Ruhe hineintauchen, dann wird er sagen:

Glücklich der Geist, dessen Sorge es war, all das zu erforschen, Der zuerst sich erhob, auf zu den himmlischen Höh'n. (*Lucr.*)

Er wird anfangen zu verachten, was ihm ehemals bedeutsam erschien, er wird nunmehr diese Werke von Gottes Hand hochschätzen und bei ihrer Betrachtung endlich zum Genuß einer ungetrübten, reinen Wonne gelangen. Mag solches Streben noch so viel, noch so gründlich verachtet werden, mögen sich die Menschen Glück, Reichtümer und Schätze suchen, wo sie wollen — den Astronomen genügt der eine Ruhm, daß sie ihre Werke für die Weisen, nicht für die Schreier, für die Könige, nicht für die Schafhirten schreiben. Ich verkünde ohne Zaudern, es wird noch Menschen geben, die hieraus Trost in ihrem Alter schöpfen, Menschen nämlich, die ihre öffentliche Tätigkeit in einer Weise ausüben, daß sie hernach frei von Gewissensbissen jene Wonnen zu kosten instande sein werden.

Ja, es wird wieder einmal ein Karl auftreten, der als Herr von Europa das nicht zu finden vermag, was er müde vom Herrschen in der engen Zelle von S. Yuste findet, dem unter allen Festlichkeiten, Titeln, Triumphen, Reichtümern, Städten, Königreichen die Turrianische oder vielmehr die nach Pythagoras und Kopernikus gefertigte Planetensphäre so großes Gefallen bereitet, daß er die ganze Welt mit ihr vertauscht und lieber mit dem Meßinstrument die Himmelsbahnen als mit dem Szepter die Völker regiert...

Geschrieben am 15. Mai, an dem ich vor einem Jahr mit der Arbeit begonnen habe.

Ew. Hochgeboren untertänigster  
M. Joannes Keplerus aus Württemberg,  
Mathematiker an Eurer Schule zu Graz. >

(J. KEPLER, *Mysterium cosmographicum*, deutsch: *Das Weltgeheimnis*, übersetzt und eingeleitet von MAX CASPAR, Augsburg 1923.)

KEPLER betrachtet nicht allein die Natur als Werk Gottes, sondern er hält es auch für sinnlos, nach der materiellen Welt zu fragen, ohne Gott mit einzubeziehen. Mittels der Quantität wird die Natur vom Geist des Menschen erfaßt und wird dadurch in ihrem geistigen Wesen erkannt. In einem Brief an HERWART VON HOHENBURG vom 14. Sept. 1599 heißt es: «Nicht jede Ahnung ist falsch. Denn der Mensch ist ein Ebenbild Gottes, und es ist leicht möglich, daß er in gewissen Dingen, die den Schmuck der Welt ausmachen, dasselbe meint wie Gott. Denn die Welt hat an der Quantität teil,

und der Geist des Menschen (etwas Überweltliches in der Welt) erfaßt nicht so gut, wie eben die Quantitäten, für deren Erkenntnis er offenbar geschaffen ist.

Im zweiten Kapitel des «Mysterium Cosmographicum», das wir hier wiedergeben, wird hervorgehoben, daß das Körperliche durch das Quantitative erfaßbar ist; das Quantitative bildet so den Ausgangspunkt einer begrifflichen Bestimmung, durch die dem menschlichen Geist das Werk Gottes zugänglich wird. Daher bemüht sich KEPLER, Wirkungen, die a posteriori, – durch Erfahrungen – festgestellt werden («wie wenn ein Blinder seinen Schritt mit seinem Stabe stützt»), aus Gründen, die a priori – aus den Ursachen stammend – sind, herzuleiten.

### *Skizzierung meines Hauptbeweises*

«Um nun zu meinem Gegenstand zu gelangen und die soeben dargelegten Lehren des KOPERNIKUS über die neue Welt durch einen neuen Beweis zu erhärten, will ich die Sache ganz von Anfang an in aller Kürze durchnehmen.

Der Körper war das, was Gott im Anfang erschaffen hat. Haben wir diesen Begriff, so wird es wohl einigermaßen klar sein, warum Gott am Anfang den Körper und nicht etwas anderes geschaffen hat. Ich sage, die Quantität lag Gott vor; um sie zu realisieren, bedurfte es alles dessen, was zum Wesen des Körpers gehört, damit so die Quantität des Körpers, insofern er Körper ist, gewissermaßen Form sei und Ausgangspunkt der Begriffsbestimmung werde. Daß die Quantität vor allem anderen ins Dasein trete, wollte Gott deswegen, damit eine Vergleichung von *Krummem*<sup>1</sup> und *Geradem* stattfinden könne. Der CUSANER und andere erscheinen mir gerade aus dem einen Grund so göttlich groß, weil sie das Verhalten des Geraden und Krümmen zueinander so hoch eingeschätzt und gewagt haben, das Krümme Gott, das Gerade den geschaffenen Dingen zuzuordnen. Daher leisten jene, die den Schöpfer durch die Geschöpfe, Gott durch den Menschen, die göttlichen Gedanken durch menschliche Gedanken zu erfassen suchen, kaum viel nützlichere Arbeit als jene, die dem Krümmen durch das Gerade, dem Kreis durch das Quadrat beizukommen suchen.

Doch warum legte sich Gott bei der Ausschmückung der Welt die Unterschiede zwischen Krümmen und Geradem und den edlen Sinn des Krümmen vor? Warum denn? Nun deswegen, weil der vollkommenste Baumeister notwendig ein Werk von höchster Schönheit

<sup>1</sup> Krümm hier gleichzusetzen mit kreis- oder ellipsenförmig (Anm. d. Red.)



bestimmte Merkmale aussondern; ich denke an solche, die Kanten oder Winkel oder Seitenflächen, einzeln oder zu je zweien oder nach irgendeiner bestimmten Gesetzmäßigkeit, unter sich gleich haben, so daß man mit gutem Grund zu etwas Endlichem kommen mag. Wenn nun eine Gattung von Körpern, die durch bestimmte Bedingungen definiert ist, zwar aus einer endlichen Anzahl von Arten besteht, jedoch in eine ungeheure Mannigfaltigkeit von einzelnen Körpern zerfällt, so wollen wir Ecken und Mittelpunkte der Seitenflächen dieser Körper zur Darstellung der Mannigfaltigkeit, Größe und Lage der Fixsterne verwenden, wenn es möglich ist. Wenn dies aber die Kraft eines Menschen übersteigt, so wollen wir es so lange aufschieben, Zahl und Lage der Fixsterne zu begründen, bis uns jemand alle ohne Ausnahme der Zahl und Größe nach angeben kann. Lassen wir darum die Fixsterne und überlassen wir sie dem allweisen Baumeister, der allein die Anzahl der Sterne kennt und jeden mit Namen benennt, und wenden wir unseren Blick zu den näheren, in geringerer Zahl auftretenden, beweglichen Gestirnen.

Wenn wir nun schließlich eine Auswahl unter den Körpern treffen, den ganzen Haufen der unregelmäßigen beiseite schieben und nur jene zurückbehalten, deren Seitenflächen sämtlich gleichzeitig und gleichwinklig sind, so bleiben uns jene fünf regulären Körper, denen die Griechen folgende Namen gegeben haben: der Würfel oder das Hexaeder, die Pyramide oder das Tetraeder, das Dodekaeder, das Ikosaeder und das Oktaeder. Daß es nicht mehr als diese fünf geben kann, dafür siehe EUKLID, Buch XIII, Anm. nach Satz 18.

Wie nun die Anzahl dieser Körper wohl bestimmt und sehr klein ist, die Arten der übrigen aber unzählbar oder unendlich sind, so mußten auch in der Welt zwei Gattungen von Sternen auftreten, die sich durch ein evidentes Merkmal unterscheiden (wie es Ruhe und Bewegung ist); die eine Gattung muß ans Unendliche grenzen, wie die Zahl der Fixsterne, die andere muß eng begrenzt sein, wie die Zahl der Planeten. Es ist hier nicht der Ort, die Gründe zu erörtern, warum sich diese bewegen, jene aber nicht. Aber gesetzt, die Planeten bedürften der Bewegung, so folgt, daß sie, um diese zu erhalten, runde Bahnen bekommen mußten.

Wir kommen also zur Kreisbahn durch die Bewegung, und zu den Körpern durch die Zahl und Größe. Was bleibt uns übrig, als mit PLATO zu sagen, *Gott treibe immer Geometrie* und er habe bei dem Bau der Wandelsterne Körper den Kreisen und Kreise den Körpern so lange einbeschrieben, bis kein Körper mehr da war, der nicht innerhalb und außerhalb mit beweglichen Kreisen ausgestat-

diese den ersten sich anpassen, sondern umgekehrt. *Jeglicher Rede soll die Beobachtung, die Erfahrung vorangehen*: die Sinne erhalten dabei — als Werkzeug — den Vorrang. Daraus ergibt sich, daß wir die Natur nur innerhalb bestimmter Abschnitte erkennen können. Die Menschen, die sich nicht zu einer solchen Bescheidenheit der Beobachtung und Beschreibung innerhalb vorausgesetzter Grenzen bereithalten, sind verurteilt, überhaupt nichts zu erkennen.

Die Erfahrung muß die Eigenschaften der Körper bestätigen, damit Definition und Phänomene sich decken. In einem Brief an CARCARILO vom 5. Juni 1637 (Bd. VII, S. 156, Florenz 1855) heißt es: «Zeigt die Erfahrung nunmehr, daß solche Eigenschaften, wie wir sie abgeleitet, im freien Fall der Naturkörper ihre Bestätigung finden, so können wir ohne Gefahr des Irrtums behaupten, daß die konkrete Fallbewegung mit derjenigen, die wir definiert und vorausgesetzt haben, identisch ist: ist dies nicht der Fall, so verlieren doch unsere Beweise, da sie einzig und allein für unsere Voraussetzung gelten wollten, nichts von ihrer Kraft und Schlüssigkeit, so wenig es den Sätzen des ARCHIMEDES über die Spirale Abbruch tut, daß sich in der Natur kein Körper findet, dem eine spiralförmige Bewegung zukommt.»

Hier wird ein Grundprinzip des modernen naturwissenschaftlichen Denkens mit erstaunlicher Klarheit und Kürze ausgesprochen: das Grundprinzip, das die Wechselbeziehung zwischen Hypothesen und Erfahrung festlegt. Der menschliche Geist entwickelt für die Beobachtung der Natur Voraussetzungen, die in sich mathematisch, logisch schlüssig sein müssen. Diesen Voraussetzungen gelten die mathematischen Beweise. Mit deren Schlüssigkeit ist aber noch nichts über das wirkliche Vorhandensein solcher Beziehungen in der Natur ausgesagt, wie sie in den Voraussetzungen gedacht werden. Erst wenn die Voraussetzungen als Hypothese in der empirischen Erfahrung verwendet und dort bestätigt werden, gewinnen sie den Charakter der Naturgesetze. Voraussetzungen, die in sich logisch, mathematisch sind, in der Natur aber keine Entsprechung finden, verlieren dadurch zwar nichts von dieser Schlüssigkeit, bilden aber kein Naturgesetz.

Schon LEONARDO DA VINCI (1452–1519) lehnte jedes Denken ab, das nicht vom Kriterium der Beobachtung ausgeht: die reine Beobachtung genügt allerdings nicht, denn sie wird erst dann fruchtbar, wenn sie auf Grund des Entwurfes von Hypothesen durchgeführt wird, Hypothesen, die das Experiment bestätigen muß. Daher behauptet er, wo experimentelle Feststellungen sind, da sind auch Vernunftgründe (ragioni), d. h. die Ausgangspunkte unserer Fragen an die Natur. Was sich im Experiment zeigt, ist daher immer eine begrenzte Antwort der Natur. Wo Vernunftgründe sind, da ist auch deren mathematische Präzisierung möglich. So wird schon bei ihm die Mathematik das entscheidende Bindeglied zwischen dem Geist des Menschen und der Wirklichkeit der Natur.

Das Neue, das hier auftaucht: es handelt sich nicht mehr um die Beobachtung der Natur schlechthin, sondern um eine Beobachtung, die von bestimmten Prinzipien ausgeht und sich in ihrem Verlauf an ganz bestimm-

ten Denkregeln orientiert. Das ist aber nichts anderes als die experimentelle Beobachtung, welche feststellt, ob und wie weit bestimmte theoretische Auffassungen mit der Beobachtung übereinstimmen.

GALILEI unterscheidet extensives und intensives Verstehen der Phänomene, wobei er mit intensivem Verstehen das schrittweise Vorgehen der modernen Naturwissenschaften meint, während das extensive Verstehen das unmittelbare Erfassen des Ganzen aus seinem Urgrund bedeutet, also ein Verstehen, das letzten Endes nur Gott vorbehalten ist.

### a) Galileis Selbstverteidigung gegen die Tradition

Um diese Gedanken und Methodenideale durchzuführen, muß GALILEI sich vor allem gegenüber den möglichen Einwänden der christlichen Tradition und der Vertreter der pseudo-aristotelischen Naturwissenschaft sichern. Aus seinem berühmten Brief an ELIA DIODATI ebenso wie aus mehreren Stellen des «Dialogo dei massimi sistemi» klingt das Pathos seiner Bemühung, sich von der versteinerten Überlieferung zu befreien:

Florenz, 15. Januar 1633.

«Wenn ich frage, wessen Werk die Sonne, der Mond, die Erde, die Sterne, ihre Bewegungen und Anlagen seien, so wird man mir vermutlich antworten: Werke Gottes. Wenn ich weiter frage, von wem die Heilige Schrift sei, wird man mir bestimmt antworten, sie sei ein Werk des Heiligen Geistes, d. h. gleichfalls Gottes Werk. Wenn ich nun frage, ob der Heilige Geist Worte gebrauche, die deutlich im Widerspruch zur Wahrheit stehen, um sich dem Verständnis der — meistens ungebildeten — Menge anzupassen, so bin ich gewiß, daß man mir, unter Berufung auf sämtliche heiligen Schriftsteller, antworten wird, dies sei die Gepflogenheit der Heiligen Schrift, die an hundert Stellen Sätze enthält, die wörtlich genommen reine Häresie und Lästerung darstellen, da in ihnen Gott als Wesen voller Haß, Reue, Vergeßlichkeit erscheine. Wenn ich aber fragen werde, ob Gott, um sich dem Verstand der Menge anzupassen, jemals seine Werke verändert hätte, oder ob die an sich unveränderliche und menschlichen Wünschen unerreichbare Natur immer die gleiche Art Bewegungen, Gestalten und Aufteilungen des Universums beibehalten habe, so bin ich gewiß, daß man mir antworten wird, der Mond werde immer rund sein, auch wenn man ihn für lange Zeit flach gehalten habe. Um dies alles in einem Satz zusammenzufassen: Man wird niemals behaupten, die Natur habe sich verändert, um ihre Werke der Meinung der Menschen anzupassen. Wenn das so ist, so frage ich, warum sollen wir, um zur Erkenntnis

**SIMPLICIO:** Wenn ich anders zu den Menschen gehöre, die Verstand besitzen, so liegt in dem, was Ihr sagt, ein offener Widerspruch. Als einen der großen Vorzüge, ja als den größten von allen betrachtet Ihr an dem von der Natur geschaffenen Menschen den Verstand; und doch sagtet Ihr noch eben mit **SOKRATES**, daß sein Verstand ein Nichts sei. Man muß also sagen, auch die Natur habe nicht verstanden, einen Geist hervorzubringen, der versteht.

**SALVIATI:** Euer Einwand ist sehr scharfsinnig; um darauf zu erwidern, muß man sich auf eine philosophische Unterscheidung berufen und feststellen, daß der Begriff des Verstehens in zweierlei Weise gebraucht werden kann, nämlich intensive oder extensive. Extensive, d. h. bezüglich der Menge der zu begreifenden Dinge, deren Zahl unendlich ist, ist der menschliche Verstand gleich Nichts; hätte er auch tausend Wahrheiten erkannt; denn Tausend ist im Vergleich zur Unendlichkeit nicht mehr als Null. Nimmt man aber das Verstehen intensive, insofern dieser Ausdruck die Intensität d. h. die Vollkommenheit in der Erkenntnis irgendeiner einzelnen Wahrheit bedeutet, so behaupte ich, daß der menschliche Intellekt einige Wahrheiten so vollkommen begreift und ihrer so unbedingt gewiß ist, wie es nur die Natur selbst sein kann. Dahin gehören die rein mathematischen Erkenntnisse, nämlich die Geometrie und die Arithmetik. Freilich erkennt der göttliche Geist unendlich viel mehr mathematische Wahrheiten, denn er erkennt sie alle. Die Erkenntnis der wenigen aber, welche der menschliche Geist begriffen, kommt meiner Meinung an objektiver Gewißheit der göttlichen Erkenntnis gleich; denn sie gelangt bis zur Einsicht ihrer Notwendigkeit, und eine höhere Stufe der Gewißheit kann es wohl nicht geben.

**SIMPLICIO:** Das heiße ich entschieden und kühn gesprochen.

**SALVIATI:** Diese Sätze sind allgemein anerkannt und weit erhaben über den Verdacht der Vermessenheit oder Kühnheit. Sie tun der Majestät der göttlichen Allwissenheit keinen Eintrag, so wenig es die göttliche Allmacht beeinträchtigt, wenn man sagt, Gott vermöge nicht das Geschehene ungeschehen zu machen. Aber ich vermute, Signore Simplicio, daß Ihr Verdacht schöpft, weil Ihr meine Worte teilweise mißverstanden habt. Um mich also besser auszudrücken, so erkläre ich, daß zwar die Wahrheit, deren Erkenntnis durch die mathematischen Beweise vermittelt wird, dieselbe ist, welche die göttliche Weisheit erkennt; allerdings aber will ich Euch zugeben, daß die Art und Weise, wie Gott die zahllosen Wahrheiten erkennt, von denen wir nur einige wenige ken-

reißen lassen. In dem Glauben, andere müßten ebenso denken wie ich, habe ich verallgemeinert, was ich beschränkter hätte ausdrücken sollen. Ich habe mir wirklich einen Irrtum zu schulden kommen lassen, namentlich da ich die Ansicht des hier anwesenden Signore Simplicio nicht kenne.

SIMPLICIO: Ich gestehe, die ganze letzte Nacht überdachte ich nochmals unsere gestrigen Erörterungen und finde, sie enthalten in der That viel Schönes, Neues und Treffendes. Bei alledem fühle ich mich doch weit mehr durch das Ansehen so großer Schriftsteller bewogen, und insbesondere — Ihr schüttelt den Kopf, Signor Sagredo, und lächelt, als ob ich ganz etwas Ungeheuerliches sagte.

SAGREDO: Ich lächle nur, aber glaubt mir, ich ersticke fast, um nicht laut vor Lachen herauszuplatzen; denn Ihr habt mich an eine prächtige Geschichte erinnert, bei welcher ich vor einigen Jahren Zeuge war, gleichzeitig mit einigen anderen befreundeten Edelleuten, deren Namen ich Euch noch nennen könnte.

SALVIATI: Es wird gut sein, wenn Ihr uns die Sache erzählt, sonst möchte Signore Simplicio vielleicht bei der Meinung beharren, er sei es, der Euch lachen gemacht.

SAGREDO: Es sei. Ich befand mich eines Tages im Hause eines in Venedig sehr angesehenen Arztes, wohin öfters Leute kamen, theils ihrer Studien wegen, theils aus Neugier, um eine Leichensektion von der Hand eines ebenso wahrhaft gelehrten, wie sorgfältigen und geschickten Anatomen ausführen zu sehen. Diesen Tag nun geschah es, daß man den Ursprung und den Ausgangspunkt des Nerven aufsuchte, welches eine berühmte Streitfrage zwischen den Ärzten aus der Schule des GALEN und den Peripatetikern ist. Als nun der Anatom zeigte, wie der Hauptstamm der Nerven, vom Gehirn ausgehend, den Nacken entlangzieht, sich durch das Rückgrat erstreckt und durch den ganzen Körper verzweigt, und wie nur ein ganz feiner Faden von Zwirndicke zum Herzen gelangt, wendete er sich an einen Edelmann, der ihm als Peripatetiker bekannt war, und um dessentwillen er mit außerordentlicher Sorgfalt alles bloßgelegt und gezeigt hatte, mit der Frage, ob er nun zufrieden sei und sich überzeugt habe, daß die Nerven im Gehirn ihren Ursprung nehmen und nicht im Herzen. Worauf unser Philosoph, nachdem er ein Weilchen in Gedanken dagestanden, erwiderte: Ihr habt mir das alles so klar, so augenfällig gezeigt — stünde nicht der Text des ARISTOTELES entgegen, der deutlich besagt, der Nervenursprung liege im Herzen, man sähe sich zu dem Zugeständnis gezwungen, daß Ihr Recht habt.

ein Citat vorbringt, das gar oft auf einen ganz anderen Gegenstand sich bezieht, und mit diesem dem Gegner den Mund verstopft? Wenn Ihr aber durchaus fortfahren wollt, auf diese Weise zu studieren, nennt Euch fernerhin nicht Philosophen, nennt Euch Historiker oder Doktoren der Auswendiglernerei; denn wer niemals philosophiert, der darf den Ehrentitel eines Philosophen nicht beanspruchen. — Doch wir thun gut, dem Ufer wieder zuzusteuern, um nicht in ein unendliches Meer zu geraten, aus dem wir den ganzen heutigen Tag über nicht wieder herausfänden. Darum, Signore Simplicio, bringt uns Euere Beweise oder des ARISTOTELES Gründe und Beweise, nicht aber Citate und bloße Autoritäten; denn unsere Untersuchungen haben die Welt der Sinne zum Gegenstand, nicht eine Welt von Papier.»

(G. GALILEI, Dialogo dei massimi sistemi. Giornata prima e seconda, Florenz 1890—1909.)

### b) Galileis Entwurf der modernen Naturwissenschaften

Die zunächst wiedergegebenen Auszüge aus GALILEIS Schriften haben für seine Auseinandersetzung mit der Tradition historische Bedeutung. Aus dem nun folgenden kurzen Abschnitt seiner «Gespräche und mathematische Beweise über zwei neue Wissenschaften» wird seine neue Methode ersichtlich. Ihr Gegenstand ist nicht die Beschreibung neuer Phänomene: die Bewegung eines fallenden Körpers ist zu allen Zeiten beobachtet worden; sie wurde aber noch nie in ihrer genau begrenzten Gesetzmäßigkeit untersucht. Gesetzmäßig ist ein Phänomen, wenn es aus den mannigfaltigen Bewegungen der Naturkörper isoliert, mit Hilfe bestimmter Maßstäbe, Prinzipien oder Axiome genau identifiziert und in seinen Eigenschaften bewiesen werden kann. Beweisen bedeutet das beobachtete Phänomen in Hinblick auf einen vorausgesetzten Ausgangspunkt zu bestimmen und zu begründen: erst hieraus entsteht Wissenschaft, die sich nicht mit zufälligen, sich verändernden, relativen Feststellungen begnügt. Die Definition des Phänomens muß daher dem «Verhalten» der Natur innerhalb des durch die Voraussetzungen gezogenen Rahmens entsprechen: «Natur» ist hier also ein bescheidener, genau abgegrenzter Abschnitt und Ausschnitt aus den mannigfaltigen Phänomenen, die unsere Sinne feststellen, Abschnitte innerhalb deren — wie GALILEI sagt — wir uns von ihr «an der Hand führen lassen». Fragen und Antworten, Beobachtungen und Bestimmungen sind nicht mehr auf allgemeine metaphysische, theologische Erkenntnisse gerichtet, sondern werden mit Bescheidenheit abgegrenzt. Während KEPLER den Phänomenen — unabhängig von der Beobachtung — einen ewigen, metaphysischen, theologischen Charakter zusprach, hat sich bei GALILEI eine völlige Umkehrung vollzogen. Bei KEPLER ist die Naturwissenschaft noch ganz ungeschüchtern: mit GALILEI wird sie geschichtlich, indem die Phäno-

mene, die bestimmt werden sollen, nur innerhalb der von Menschen festgelegten Voraussetzungen nach ihren Eigenschaften befragt werden. Ändern sich diese Ausgangspunkte, so muß sich auch die Beschreibung des so in Grenzen betrachteten Phänomens entsprechend ändern. Innerhalb der einzelnen, vom Menschen von Fall zu Fall gesetzten Grenzen gibt die Natur allerdings immer die gleiche Antwort, und diese «ewige», eiserne Gesetzmäßigkeit wird nun Gegenstand der wissenschaftlichen Erbauung und ihre Erkenntnis bildet den Stolz des Naturwissenschaftlers.

### «Gespräche über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme»

#### «Dritter Tag

Über einen sehr alten Gegenstand entwickeln wir eine ganz neue Wissenschaft. Nichts ist vielleicht älter in der Natur als die Bewegung, und über sie sind zahlreiche und stattliche Bände von den Forschern geschrieben worden. Trotzdem finde ich so manche wissenschaftliche Eigenschaften derselben, die bisher nicht beobachtet, geschweige bewiesen sind. Einige näherliegende pflegt man zu erwähnen, z. B. daß die natürliche Bewegung fallender schwerer Körper sich stetig beschleunigt. Aber nach welchem Gesetz ihre Beschleunigung zustande kommt, ist bis jetzt nicht bekannt gemacht worden. Denn niemand hat meines Wissens bewiesen, daß die von einem aus dem Ruhestand fallenden Körper in gleichen Zeiten zurückgelegten Strecken sich verhalten wie die aufeinanderfolgenden ungeraden Zahlen, von eins angefangen. Man hat beobachtet, daß Geschosse oder geworfene Körper irgendeine krumme Linie beschreiben; aber daß diese eine Parabel ist, hat niemand ausgesprochen. Daß sich dies so verhält, und vieles andere ebenso wissenschaftliche, werde ich beweisen und, was ich für wichtiger halte, den Zugang zu einer sehr ausgedehnten und hervorragenden Wissenschaft erschließen, deren Anfangsgründe unsere vorliegenden Arbeiten bilden werden. Scharfsinnigere Geister als ich werden in ihre entlegeneren Gegenden vordringen.

In drei Teile gliedern wir unsere Abhandlung. Im ersten betrachten wir alles, was die gleichmäßige oder gleichförmige Bewegung betrifft; im zweiten handeln wir von der natürlich beschleunigten Bewegung, im dritten von der gewaltsamen Bewegung oder vom Wurf.»

#### Über die natürlich beschleunigte Bewegung

«Die Eigentümlichkeiten der gleichförmigen Bewegung sind im vorhergehenden Buch betrachtet worden, wir haben nun die beschleunigte Bewegung zu behandeln. Vor allem muß man eine dem wirk-

gesetzte Körper, ans Ende der Ebene gelangt, während er weiter fortschreitet, zur gleichförmigen und unzerstörbaren bisherigen Verschiebung jenes Streben nach abwärts hinzubekommen, das ihm vermöge seiner Schwere eigen ist; so wird eine gewisse Bewegung entstehen, die aus einer gleichförmigen horizontalen und aus einer nach abwärts gerichteten natürlich beschleunigten zusammengesetzt ist; ich nenne sie Wurfbewegung. Einige ihrer Eigenschaften werden wir nunmehr beweisen . . .

(G. GALILEI, Gespräche und mathematische Beweise über zwei neue Wissenschaften, Florenz 1890—1909.)

Werke: Le opere di G. G., Edizione Nazionale, hg. v. A. Favaro und J. del Lungo, 20 Bde., Florenz 1890—1909 / Werke hg. in deutscher Sprache v. E. Strauß, Leipzig 1892.

Schriften über G. G.: A. CARLI u. A. FAVARO: Bibliografia Galileiana, Rom 1896 / K. v. GEBLER: G. G. und die Römische Curie, 2 Bde., 1876—1877 / E. WOHLWILL: G. und sein Kampf für die copern. Lehre, 2. Bde., 1909 und 1926 / L. OLSCHKI: Galileo G. und seine Zeit, 1927 / E. J. DIJKSTERHUIS: De Mechanisering van het Wereldbeeld, Amsterdam 1950 / P. AUBANEL: Le génie sous la tiare . . . Urbain VIII et G., 1929 / F. SHERWOOD TAYLOR: G. and the Freedom of Thought, London 1938 / A. KOYRC: Études Galiléennes, 3 Hefte, 1939 / A. MAIER: Die Vorläufer G.'s im 14. Jahrh., Rom 1949 / P. NATORP: G. als Philosoph, in Philos. Monatsh., 1882 / E. CASSIRER: «Wahrheitsbegriff und Wahrheitsproblem bei G.», in «Scientia» 1937 / A. KOYRC: G. und Plato, in Journal of History of Ideas, Bd. 4, 1943.

### 3. ISAAC NEWTON (4. 1. 1643 — 31. 3. 1727)

Die methodischen Gedanken, die wir bei G. GALILEI verfolgten, sind nun Gemeingut geworden. Die wissenschaftliche Beobachtung der Natur führt zu immer neuen Entdeckungen und Errungenschaften, nachdem in England bereits BACON (1561—1626) die Wichtigkeit der empirischen Methode mit Nachdruck betont hatte. Um nur an einige wenige praktische Auswirkungen der neuen Erkenntnisse zu erinnern: 1628 entdeckt WILLIAM HARVEY (1578—1658) den Blutkreislauf, 1600 behandelt WILLIAM GILBERT (1540 bis 1603) in seiner Schrift «De magnete» zum ersten Mal magnetische Erscheinungen; 1643 erfindet GALILEIS Schüler EVANGELISTA TORRICELLI (1608 bis 1647) das Barometer; 1662 entdecken der Engländer ROBERT BOYLE (1627—1691) und der Franzose EDMÉ MARIOTTE (1620—1684) das Gesetz des Luftdruckes.

Das Phänomen der Bewegung der Körper bleibt in seinen letzten Ursachen unbekannt, man kann aber die Kräfte in ihrer Gesetzmäßigkeit, in ihren Zusammenhängen bestimmen und ausrechnen.

Bisher hatte der menschliche Geist naturwissenschaftliche Hypothesen anscheinend ohne Rücksicht auf die natürlichen Gegebenheiten zunächst nur nach Maßgabe ihrer mathematischen und logischen Schlüssigkeiten aufgestellt, um sie dann der Beobachtung zu Grunde zu legen. Jetzt erkannte man, daß dieses Erfinden von Hypothesen keine autarke Schöpfung des menschlichen Geistes aus sich selbst heraus sein darf, sondern in engem Zusammenhang mit der Naturbetrachtung erfolgen muß. Die Genialität des Naturwissenschaftlers zeigt sich beim Aufstellen von Hypothesen gerade darin, daß er in bestimmten Naturerscheinungen einfache Zusammenhänge erfaßt, die sich in mathematische Allgemeinbegriffe umwandeln und der Erklärung der übrigen Naturerscheinungen zu Grunde legen lassen. Der Naturwissenschaftler muß also zu den Hypothesen, mit denen er dann an seine Beobachtungen und Experimente herangeht, durch die Naturerscheinungen selbst angeregt worden sein.

NEWTON, dessen Naturauffassung — indem er die Natur nicht nur aus dem allumfassenden Gottesbezug, sondern auch aus der engen Bindung an den Menschen löst — ein entscheidend neues Moment enthält, erscheint zunächst als bloßer Empiriker, weil er Hypothesen ablehnt: die Erkenntnisse werden aus den Erscheinungen abgeleitet und durch Induktion verallgemeinert. R. COTES, der Herausgeber der 2. Auflage (1713) von NEWTONS «Mathematischen Prinzipien der Naturlehre» verdeutlicht die Einstellung NEWTONS vielleicht am klarsten. Er äußert, daß alle, die sich der Forschung der Physik widmeten, in drei Klassen einzuteilen wären. Die einen schreiben einzelnen Arten von Dingen spezifische und verborgene Eigenschaften zu, von denen die Operationen der einzelnen Körper abhängen sollten (also die Vertreter der scholastischen Philosophie). Die anderen behaupteten, daß die allgemeine Materie homogen sei, und daß die den einzelnen Körpern eigentümliche unterschiedliche Funktion gewissen höchst einfachen und leicht zu erkennenden Beziehungen der sie zusammensetzenden Teilen entspringe. Da sie sich aber erlauben, eine beliebige unbekannte Gestalt und Größe der Teile und eine unbestimmte Lage und Bewegung derselben anzunehmen, so versinken sie in Träumereien: «Diejenigen, welche ihre Spekulationen auf Hypothesen gründen, werden, wenn sie danach auch aufs strengste nach mechanischen Gesetzen fortschreiten, eine Fabel, vielleicht eine elegante und schöne, jedoch nur eine Fabel aufbauen.» Diese Methode der Forschung führt also nicht zu einwandfreien Feststellungen. Endlich beschreibt COTES NEWTONS Methode folgendermaßen: «Es bleibt noch eine dritte Art von Naturforschern übrig, welche sich zur Experimental-Physik bekennen. Diese wollen zwar aus möglichst einfachen Prinzipien die Ursachen aller Dinge ableiten, allein als Prinzip nehmen sie etwas an, was noch nicht durch die Erscheinungen sich gezeigt hat. Sie verfahren daher nach einer zweifachen Methode, der analytischen und der synthetischen. Die Kräfte der Natur und ihre einfachen Gesetze leiten sie aus einigen ausgewählten Erscheinungen mittels der Analysis ab und legen die ersten mittels der Synthesis als Beschaffenheit der übrigen Erscheinungen dar.

Diese Art der Forschung ist jene bei weitem beste, welche vor den übrigen anzuwenden unser berühmter Verfasser für würdig und verdienstlich hielt . . . Er stellte als berühmtes Beispiel derselben die mit Glück aus dem Gesetz der Schwere abgeleitete Erklärung des Weltsystems auf. Daß die Kraft der Schwere allen Körpern innewohnt, hatten die einen vermutet, die anderen gedacht; er aber als der erste und einzige vermochte es, ihr Dasein mittelst der Erscheinungen zu erweisen und ihr durch ausgezeichnete Spekulationen eine feste Grundlage aufzubauen. Man betont also, daß es zur wahren Forschung gehöre, die Natur der Dinge aus wirklich existierenden Ursachen abzuleiten und die Gesetze aufzusuchen. «Wir müssen aber jene Gesetze nicht aus ungewissen Vermutungen ableiten, sondern durch Beobachtung und Versuche erlernen. Wer die Prinzipien der Naturlehre und die Gesetze der Dinge finden zu können glaubt, indem er sich allein auf die Kraft seines Geistes und das innere Licht seiner Vernunft stützt, muß entweder annehmen, die Welt sei aus einer Notwendigkeit hervorgegangen, und er muß die aufgestellten Gesetze aus derselben Notwendigkeit folgen lassen; oder er muß der Meinung sein, daß, wenn die Ordnung der Natur durch den Willen Gottes entstanden sei, er, ein elendes Menschlein, eingesehen habe, was als das Beste zu tun sei. Eine gesunde und wahre Naturlehre gründet sich auf die Erscheinungen der Dinge, welche uns, selbst wider unsern Willen und widerstrebend, zu derartigen Prinzipien führen, daß man in ihnen deutlich die beste Überlegung und die höchste Herrschaft des weisesten und mächtigsten Wesens wahrnimmt.» (COTÉS.)

Aus den Erscheinungen und durch die Verallgemeinerung der Induktion ist NEWTON zur Erkenntnis der Undurchdringlichkeit, der Beweglichkeit, der Stoßkraft der Körper, der Gesetze der Bewegungen und der Schwere gekommen: die Schwerkraft existiert und wirkt nach den Gesetzen, die er aufstellt; er geht von ihr aus, um die Bewegungen der Himmelskörper zu erklären; die verborgenen Eigenschaften der Körper lehnt er ab. Indem er die Postulate aufstellt, die die Festsetzung von Begriffen wie Masse, Ursache, Kraft, Trägheit, Raum, Zeit und Bewegung ermöglichen, wird NEWTON zum ersten Systematiker der modernen Naturwissenschaft. So heißt es im «Vorwort an den Leser» der ersten Auflage (1687) der «Mathematischen Prinzipien der Naturlehre»: «Alle Schwierigkeit der Physik besteht natürlich dem Anschein nach darin, aus den Erscheinungen der Bewegung die Kräfte der Natur zu erforschen und hierauf durch diese Kräfte die übrigen Erscheinungen zu erklären. Hierzu dienen die allgemeinen Sätze, welche im ersten und zweiten Buch behandelt werden. Im dritten Buch haben wir, zur Anwendung derselben, das Weltsystem erklärt. Dort wird nämlich aus den Erscheinungen am Himmel, mittelst der in dem ersten Büchern mathematisch bewiesenen Sätze, die Kraft der Schwere abgeleitet, vermöge welcher die Körper sich bestreben, der Sonne und dem einzelnen Planeten sich zu nähern. Aus derselben Kraft werden dann gleichfalls mittelst mathematischer Sätze, die Bewegungen der Planeten, Kometen, des Mondes und des Meeres abgeleitet.

Möchte es gestattet sein, die übrigen Erscheinungen der Natur auf dieselbe Weise aus mathematischen Prinzipien abzuleiten! Viele Beweggründe bringen mich zur Vermutung, daß diese Erscheinungen aber von gewissen Kräften abhängen können. Dank dieser werden die Teilchen der Körper nämlich, aus noch nicht bekannten Ursachen, entweder gegeneinander getrieben und hängen alsdann als reguläre Körper zusammen, oder sie werden voneinander zurück und fliehen sich gegenseitig. Bis jetzt haben die Physiker es vergebens versucht, die Natur durch diese unbekanntten Kräfte zu erklären; ich hoffe jedoch, daß die hier aufgestellten Prinzipien entweder über diese, oder irgendeine richtige Verfahrensweise Licht verbreiten werden.»

NEWTON hat eine Physik des Himmels geschaffen, ohne Willkür und ohne Wunder, sich selbst erhaltend und in sich selbst ruhend, ohne damit in die Bahn des Materialismus geraten zu sein. Er hält am Glauben an einen persönlichen Gott fest; der Naturmechanismus ist nur ein Mittel zur Erfüllung seiner Zwecke. Bleibt der «große Ozean» der Wirklichkeit auch noch unentdeckt, so fügen sich die Einzelwahrheiten durch ihren Zusammenhang doch allmählich zu einem Ganzen. Daher NEWTONS berühmte gewordene Äußerung: «Ich weiß nicht, als was ich der Welt dereinst erscheinen werde; aber ich selbst komme mir nur wie ein am Meeresstrande spielender Knabe vor, der im Spiel hier und da einen glatteren Kiesel oder eine schönere Muschel als gewöhnlich findet, während der große Ozean der Wahrheit ganz unentdeckt vor meinen Blicken liegt.»

### Drittes Buch der «Mathematischen Prinzipien der Naturlehre» Vom Weltsystem — Regeln zur Erforschung der Natur

1. Regel. An Ursachen zur Erklärung natürlicher Dinge nicht mehr zuzulassen, als wahr sind und zur Erklärung jener Erscheinungen ausreichen.

Die Physiker sagen: Die Natur tut nichts vergebens, und vergeblich ist dasjenige, was durch vieles geschieht und durch weniger ausgeführt werden kann. Die Natur ist nämlich einfach und schwelgt nicht in überflüssigen Ursachen der Dinge.

2. Regel. Man muß daher, soweit es angeht, gleichartigen Wirkungen dieselben Ursachen zuschreiben.

So dem Atem der Menschen und der Tiere, dem Falle der Steine in Europa und Amerika, dem Lichte des Küchenfeuers und der Sonne, der Zurückwerfung des Lichtes auf der Erde und den Planeten.

3. Regel. Diejenigen Eigenschaften der Körper, welche weder verstärkt noch vermindert werden können und welche allen Körpern zukommen, an denen man Versuche anstellen kann, muß man für Eigenschaften aller Körper halten.

*einordnen*. Somit eignet sich dieser Begriff vor allem dazu, als vollständige Lösung des im Substanzbegriff aufgestellten, aber durch den Begriff der Materie nicht vollkommen gelösten Problems zu gelten.

Die Energie ist aber nicht allein bei allen Naturerscheinungen anwesend, sie ist auch *für alle bestimmend*. Jeder Vorgang ohne Ausnahme läßt sich dadurch exakt und erschöpfend darstellen oder beschreiben, daß man angiebt, welche Energieen zeitliche und räumliche Veränderungen erfahren. Umgekehrt kann man auf die Frage, unter welchen Umständen überhaupt ein Vorgang eintritt, oder etwas geschieht, eine allgemeine Antwort geben, welche auf dem Verhalten der vorhandenen Energieen beruht. Also auch die zweite Seite, die für den allgemeinsten Begriff der Außendinge erfordert wurde, findet sich bei der Energie vor. Man kann thatsächlich sagen: *Alles, was wir von der Außenwelt wissen, können wir in der Gestalt von Aussagen über vorhandene Energieen darstellen, und daher erweist sich der Energiebegriff allseitig als der allgemeinste, den die Wissenschaft bisher gebildet hat.* (S. 148 ff)

### Das Bewußtsein

«An die Vorgänge der durch den Eintritt äußerer Energie bewirkten Eindrücke und Empfindungen, die wir als die Entstehung von Nervenenergie auf Kosten der äußeren Energie auffassen, können sich zweierlei Wirkungen schließen. Entweder bewirken die Empfindungen unmittelbar eine Reaction in solcher Weise, daß eine *Handlung* im allgemeinsten Sinne, d. h. eine Energieleistung des Organismus nach außen eintritt, oder es schalten sich noch Umwandlungen der zuerst entwickelten Nervenenergie in andere Formen derselben Energie dazwischen. Da auch die Auslösung einer Handlung meist auf einer dazwischen erfolgenden Umwandlung beruht, so ist diese die allgemeinere Erscheinung und soll zunächst besprochen werden.

Die Umwandlung der im Sinnesapparat hervorgebrachten Nervenenergie geschieht sehr wahrscheinlich in den Organen, welche man als *Ganglienzellen* bezeichnet hat, und die sich stets an einem Ende jedes Nervenfadens befinden. Der hier stattfindende Vorgang darf nicht als eine bloße Energieumwandlung aufgefaßt werden, sondern er hat den Charakter einer *verhältnismäßigen Auslösung*. Es wird mit anderen Worten die eintretende Nervenenergie dazu verwendet, vorhandene Energievorräthe, wahrscheinlich chemischer



### III. DIE KRISIS DER MECHANISTISCH-MATERIALISTISCHEN AUFFASSUNG

In den ersten Teilen des Anhangs wurden die Anfänge des modernen naturwissenschaftlichen Denkens und die Entstehung des mechanistisch-materialistischen Weltbildes durch ausführliche Zitate aus Werken klassischer Autoren, die zugleich Urheber und Beförderer dieser Entwicklung waren, deutlich gemacht. Für diesen dritten Teil werden wir uns aus Raumgründen auf einen größeren Auszug aus einer Schrift von LOUIS DE BROGLIE beschränken: er faßt die Ursachen der Krisis des mechanistisch-materialistischen Denkens in musterhafter Weise zusammen.

Als Übergang soll die Einleitung zu den «Prinzipien der Mechanik» (1876) von HEINRICH HERTZ (1857—1894) dienen. Hier wird nämlich deutlich, wie die Physik sich wieder darauf zu besinnen beginnt, daß sie Naturwissenschaft ist, deren Aussagen über begrenzte Bereiche der Natur auch nur eine entsprechend begrenzte Gültigkeit haben: und daß sie nicht Philosophie ist, die eine Weltanschauung über die Natur im Ganzen und über das Wesen der Dinge entwickelt. HERTZ führt aus, daß physikalische Aussagen weder die Aufgabe noch die Fähigkeit haben, das Wesen der Naturerscheinungen, so wie sie an sich selbst sind, zu enthüllen. Er stellt fest, daß die physikalischen Bestimmungen nur Bilder sind, über deren Übereinstimmung mit den Naturgegenständen wir lediglich in einem Punkt eine Aussage machen können: nämlich, ob die *logisch* ableitbaren Folgen unserer Bilder mit den empirisch beobachtbaren Folgen der Phänomene, für die wir die Bilder entwerfen, übereinstimmen. Mit anderen Worten: die hypothetischen Bilder eines ursächlichen Zusammenhanges, mit denen wir an die Naturphänomene herantreten, müssen sich in der empirischen Erfahrung als brauchbar erweisen. Die Kriterien, mit deren Hilfe wir die Brauchbarkeit der Bilder feststellen können, sind die drei folgenden: 1. sie müssen *zulässig* sein, d. h. den Gesetzen unseres Denkens entsprechen; 2. sie müssen *richtig* sein, d. h. sie müssen mit der äußeren Erfahrung übereinstimmen; 3. sie müssen *zweckmäßig* sein, d. h. sie müssen möglichst viele wesentliche und möglichst wenige überflüssige oder leere Beziehungen des Gegenstandes enthalten.

Hier klingt bereits die wesentliche Einsicht der modernen Physik an, die EDDINGTON in eindrucksvoller Kürze in folgendem Satz formuliert hat: «Wir haben gesehen, daß da, wo die Wissenschaft am weitesten vorgedrungen ist, der Geist aus der Natur nur wieder zurückgewonnen hat, was der Geist in die Natur hineingelegt hat. Wir haben an den Gestaden des Unbekannten eine sonderbare Fußspur entdeckt. Wir haben tiefgründige Theorien, eine nach der anderen, ersonnen, um ihren Ursprung aufzuklären. Schließlich ist es uns gelungen, das Wesen zu rekonstruieren, von dem die Fußspur herrührt. Und siehe! es ist unsere eigene.»

nur durch eine Korpuskelvorstellung erklärt werden können. Von diesen Phänomenen ist das wichtigste der photoelektrische Effekt. Es handelt sich um folgende Erscheinung: wenn man ein Stück Materie, ein Metall zum Beispiel, mit Licht bestrahlt, so beobachtet man häufig, daß dieses Stück Materie schnell bewegte Elektronen ausschleudert. Das Studium dieser Erscheinung hat gezeigt, daß die Geschwindigkeit der ausgeschleuderten Elektronen nur von der Wellenlänge der einfallenden Strahlung und von der Natur des ausstrahlenden Körpers abhängt, aber keineswegs von der Intensität der einfallenden Strahlen. Lediglich die Anzahl der ausgeschleuderten Elektronen ist von dieser Intensität abhängig. Mehr noch: die Energie der ausgeschleuderten Elektronen verändert sich im umgekehrten Verhältnis zur Wellenlänge der einfallenden Welle. EINSTEIN hat Überlegungen über dieses Phänomen angestellt und hat erkannt, daß man, um es zu erklären, wenigstens in gewissem Maße auf eine korpuskulare Struktur der Strahlen zurückkommen muß. Er hat angenommen, daß die Strahlen aus Korpuskeln bestehen, die eine Energie tragen, die umgekehrt proportional zur Wellenlänge ist, und er hat gezeigt, daß sich die Gesetze des photoelektrischen Effekts leicht aus dieser Hypothese ableiten lassen.

Die Physiker aber befanden sich plötzlich in einer nicht geringen Verlegenheit: neben der Gesamtheit der Interferenz- und Beugungserscheinungen, die zeigen, daß das Licht aus Wellen besteht, steht jetzt der photoelektrische Effekt und andere kürzlich entdeckte Phänomene, die zeigen, daß das Licht aus Korpuskeln gebildet wird, aus «Photonen», wie man gegenwärtig sagt.

Es gibt nur einen Ausweg aus dieser Schwierigkeit: die Wellenanschauung des Lichtes und seine Korpuskelanschauung werden als zwei komplementäre Anschauungen einer gleichen Wirklichkeit anerkannt. Jedesmal, wenn eine Strahlung Energie mit der Materie austauscht, läßt sich dieser Austausch als Absorbierung oder Emission eines Photons durch die Materie beschreiben. Will man aber das Fortschreiten von Lichtkorpuskeln im Raum beschreiben, so muß man zu einer Wellenfortpflanzung seine Zuflucht nehmen. Wenn man diesen Gedanken ausbaut, gelangt man folgerichtig zu der Annahme, daß die Dichte der Korpuskelwolke, die mit einer Lichtwelle verbunden ist, in jedem Punkt der Intensität dieser Lichtwelle proportional ist. So ergibt sich eine Art Synthese zweier alter rivalisierender Theorien, und man kann gleichzeitig die Interferenzen und den photoelektrischen Effekt erklären. Der große Vorteil dieser Synthese ist, daß sie uns offenbart, wie innig in der Natur

Wellen und Korpuskeln, wenigstens im Falle des Lichtes, miteinander verbunden sind. Wenn dies aber für das Licht der Fall ist, darf man dann nicht annehmen, daß es ebenso für die Materie gilt? Alle Bemühungen der Physiker waren darauf gerichtet, die Materie auf ein ausgedehntes Ganzes von Korpuskeln zurückzuführen. Aber muß man nicht folgern, daß, genau wie ein Photon nicht von der Welle getrennt werden kann, die mit ihm verbunden ist, auch die Materiekorpuskeln stets mit einer Welle verbunden sind? Das ist die Hauptfrage, die wir zu erörtern haben.

Wir wollen einmal annehmen, die Materiekorpuskeln, die Elektronen zum Beispiel, seien stets von einer Welle begleitet. Wenn nun Korpuskeln und Welle eng verbunden sind, dann sind die Bewegung der Korpuskel und die Fortpflanzung der Welle nicht mehr unabhängig voneinander, und die mechanischen Größen der Korpuskel (Bewegungsgröße und Energie) muß man mit den charakteristischen Größen der zugehörigen Welle (Wellenlänge und Fortpflanzungsgeschwindigkeit) verbinden können. Tatsächlich ist diese Parallele möglich, indem man von der Verbindung ausgeht, die zwischen dem Photon und seiner zugehörigen Welle besteht. Die Theorie einer Verbindung zwischen materiellen Korpuskeln und ihren zugehörigen Wellen ist heute unter dem Namen Wellenmechanik bekannt.

Solange sich die mit einer Korpuskel verbundene Welle in einer Region frei fortpflanzt, deren Dimension groß ist im Verhältnis zur Wellenlänge, führt die neue Mechanik dazu, der mit einer Welle verbundenen Korpuskel die gleiche Bewegung zuzuerkennen, die durch die Gesetze der klassischen Mechanik vorausgesagt wird. Das gilt insbesondere für die Bewegung von Elektronen, die wir direkt beobachten können, und so erklärt es sich, weshalb das Studium der Elektronenbewegungen im großen Maßstab dazu geführt hatte, die Elektronen als einfache Korpuskeln anzusehen. Es gibt aber Fälle, in denen es den Gesetzen der klassischen Mechanik nicht mehr gelingt, die Bewegung der Korpuskel zu beschreiben. Der erste dieser Fälle ist der, in welchem die Fortpflanzung der zugeordneten Welle auf eine Region des Raumes beschränkt ist, deren Dimensionen denen der Wellenlänge entsprechen. Das gilt für die Elektronen im Innern des Atoms. Die mit dem Elektron verbundene Welle ist dann gezwungen, die Form einer Stationärwelle anzunehmen, analog den elastischen Stationärwellen, die etwa ein an beiden Enden befestigtes Seil aufweisen kann, oder analog den elektrischen Stationärwellen, die sich in einer Radioantenne bilden können. Die Theorie zeigt,

(1 zehnmillionstel Millimeter). Man muß also, um die Welle der Elektronen festzustellen, versuchen, mit ihnen Interferenzerscheinungen zu erreichen, die denen analog sind, die man mit Röntgenstrahlen erhält. Erscheinungen dieser Art sind tatsächlich erzielt worden, zuerst im Jahre 1927 durch DAVISSON und GERMER in den Vereinigten Staaten, dann durch eine große Anzahl von Experimentatoren, namentlich durch Professor G. P. THOMSON in England und durch PONTE in Frankreich. Ich werde ihre Experimente nicht beschreiben, sondern nur feststellen, daß durch sie die wellenmechanischen Formeln völlig bestätigt worden sind.

Diese großartigen Experimente haben also bewiesen, daß das Elektron keine einfache Korpuskel ist. Es ist gewissermaßen Korpuskel und Welle zugleich. Und dasselbe gilt, wie spätere Experimente gezeigt haben, für das Proton. Wir sehen also, daß die Materie ebenso wie das Licht aus Wellen und Korpuskeln gebildet wird. Materie und Licht scheinen also in ihrer Struktur viel ähnlicher zu sein, als man früher glaubte. Dadurch wird unsere Auffassung von der Natur klarer und einfacher.

Der Kern eines Atoms mit der Atomnummer  $Z$  trägt, wie wir oben gesehen haben, eine Ladung, die gleich der  $Z$ -fachen Ladung des Protons ist, und stellt nahezu die gesamte Masse des Atoms dar. Man hat seit langem vermutet, daß die Atomkerne aus Protonen und Elektronen bestehen, daß ferner die Anzahl der Protonen die Anzahl der Elektronen um  $Z$  übersteigt, so daß die gesamte Masse praktisch den Protonen zukommt. Der Gedanke, daß der Kern zusammengesetzt sei, entstand gewissermaßen zwangsweise durch die Interpretation der Radioaktivität. Die Entdeckung der Radioaktivität — angeregt durch HENRI BECQUEREL — ist das Verdienst von PIERRE CURIE und seiner Mitarbeiterin und Gattin, Madame CURIE, geborene MARIE SKLODOWSKA. Die radioaktiven Stoffe sind schwere Elemente, die in der Reihe der Elemente die höchsten Nummern tragen (von 83 bis 92). Sie werden durch die Tatsache charakterisiert, daß sie spontan instabil sind, das heißt, daß der Kern eines ihrer Atome von Zeit zu Zeit explodiert, indem er sich in den Kern eines leichteren Atoms verwandelt. Dieser Zerfall wird begleitet von der Ausscheidung von Elektronen (beta-Strahlen), leichten Heliumatomen ( $Z = 2$ ) (alpha-Strahlen) und von sehr durchdringender Strahlung mit sehr hohen Frequenzen (gamma-Strahlen). Die Entdeckung dieser radioaktiven Erscheinungen war für die Physiker von überaus großem Interesse, da sie bewies, daß die Atomkerne in der Tat zusammengesetzte Bauwerke sind. Denn ein komplizierter Kern

läßt, wenn er sich spaltet, einen einfacheren Kern entstehen und verwirklicht so spontan die Umwandlung der Elemente, von der die Alchimisten des Mittelalters geträumt haben. Leider aber ist die Radioaktivität ein Phänomen, auf das wir keinerlei Einfluß auszuüben vermögen. Wir können infolgedessen nichts weiter tun, als sie beobachten, ohne eine Möglichkeit, die Modalitäten zu beeinflussen. Etwa zwanzig Jahre jedoch nach der Entdeckung der Radioaktivität ist durch die Entdeckung der künstlichen Atomzertrümmerung, die wir dem englischen Physiker RUTHERFORD verdanken, ein großer Fortschritt erzielt worden. Indem man leichte Atome mit Hilfe von alpha-Teilchen beschöß, die selbst wieder von radioaktiven Stoffen ausgesandt werden, gelang es, diese leichten Atome aufzubrechen. Man erhält einfachere Atome und vollzieht auf diese Weise in der Tat eine künstliche Umwandlung. Zwar ist diese Umwandlung nur für so kleine Mengen verwirklicht worden, daß sie zur Zeit keinerlei praktischen Nutzen hat, aber ihr theoretischer Nutzen ist sehr groß, denn sie erweist die Einheit der Materie und gibt uns Aufschluß über den Aufbau der Kerne.

In der Erforschung der künstlichen Umwandlung ist man in den letzten Jahren sehr viel weiter gekommen, und zwar zuerst in England, wo, beeinflußt durch Lord RUTHERFORD, die jungen Physiker CHADWICK, COCKCROFT, WALTON und BLACKETT bewundernswerte Ergebnisse erzielten, dann in verschiedenen anderen Ländern und namentlich in den Vereinigten Staaten, dort vor allem durch die Arbeiten von LAWRENCE. In Frankreich, und zwar in Paris, gibt es zwei wichtige Institute, an denen junge, hervorragend tüchtige Gelehrte sich mit den Kernfragen beschäftigen. Da ist einmal das Radioinstitut, dem Madame CURIE bis zu ihrem Tode vorstand, und in dem in erster Linie ihre Tochter, Madame IRÈNE JOLIOT-CURIE, und deren Gatte F. JOLIOT sowie PIERRE AUGER, ROSENBLUM und andere tätig sind. Da ist ferner das Laboratorium für physikalische Untersuchung der Röntgenstrahlen, das durch den Bruder des Verfassers gegründet worden ist, und das noch heute von ihm geleitet wird. An ihm haben JEAN THIBAUD, J. J. TRILLAT, LEPRINCE-RINGUET und andere Forscher schöne und fruchtbare Versuche gemacht.

Ich kann hier nun keineswegs auf die Einzelheiten der Ergebnisse eingehen, die zu einer Art Atomkern-Chemie geführt haben. Die Umwandlungen werden dabei durch Gleichungen dargestellt, die denjenigen völlig analog sind, welche die Chemiker seit langem benutzen, um die gewöhnlichen chemischen Reaktionen darzustellen. Aber ich möchte auf zwei fundamentale Entdeckungen eingehen,

die im Laufe der Untersuchungen ganz unerwartet gemacht worden sind. Da ist zuerst die Entdeckung des Neutrons. Im Laufe gewisser Zertrümmerungsexperimente haben sowohl CHADWICK wie auch das Ehepaar JOLIOT in den Zertrümmerungsprodukten die Anwesenheit einer neuen, bisher unbekanntes Korpuskelart festgestellt. Diese Korpuskeln, die sehr leicht die Materie durchqueren, scheinen keine elektrische Ladung zu haben und eine Masse zu besitzen, die genau gleich der des Protons ist. Man nennt sie gegenwärtig 'Neutronen', und es ist wohl nicht mehr zu bezweifeln, daß sie im Aufbau der Kerne eine wichtige Rolle spielen.

Nicht ganz ein Jahr nach der Entdeckung des Neutrons (1932) hat man eine vierte Korpuskelart entdeckt. Beim Studium von Zertrümmerungswirkungen, die durch kosmische Strahlen hervorgerufen werden, haben sowohl ANDERSON wie auch BLACKETT und OCCHIALINI die Existenz des positiven Elektrons festgestellt, das heißt einer Korpuskel, die gleiche Masse hat wie das Elektron, deren elektrische Ladung aber gleich der des Elektrons mit entgegengesetzten Vorzeichen ist. Diese positiven Elektronen, die viel seltener auftreten, als die negativen Elektronen, spielen offensichtlich in den Atomkern-Phänomenen eine bedeutende Rolle.

Infolge dieser sensationellen Entdeckungen, die in den letzten Jahren gemacht worden sind, stellt sich nun die Lage viel komplizierter dar als zuvor. Denn wir kennen jetzt vier Arten von Korpuskeln: Elektronen, Protonen, positive Elektronen und Neutronen. Sind sie aber wirklich alle elementar? Zweifellos nicht. Wahrscheinlich muß eines der vier zusammengesetzt sein. Nimmt man zum Beispiel an, daß das Proton, das Elektron und das positive Elektron elementar sind, dann würde das Neutron aus einem Proton bestehen, das fast für die gesamte Masse verantwortlich ist, und aus einem Elektron, das die Ladung des Protons neutralisiert. Man kann auch — und diese Hypothese scheint uns verführerischer — annehmen, daß das Neutron und beide Arten von Elektronen Elementarkorpuskeln sind; das Proton würde dann aus einem Neutron und einem positiven Elektron bestehen und den Rang einer einfachen elementaren Korpuskel verlieren. Wie dem auch sei, die Entdeckung des Neutrons und des positiven Elektrons hat unsere Kenntnis von der Atomwelt beträchtlich bereichert.

Ich will hier noch ein Wort über die kosmischen Strahlen sagen. Eine Reihe von Arbeiten, die in den letzten Jahren ausgeführt worden sind, in erster Linie die von Professor MILLIKAN, haben die Existenz einer äußerst durchdringenden Strahlung aufgezeigt, die aus

dem interplanetaren Raum zu kommen scheint. Man hat entdeckt, daß diese Strahlung außerordentlich kräftige Wirkungen auf die Materie ausübt, indem sie zahlreiche Atomzertrümmerungen hervorruft. Das Studium der kosmischen Strahlen ist schwierig, von ihrer Natur wissen wir noch ziemlich wenig, aber es ist sehr wahrscheinlich, daß in nächster Zeit auch auf diesem Gebiet zahlreiche und interessante Ergebnisse zu erwarten sind.

Man sieht aus dieser sehr gedrängten Darlegung, daß die Laboratoriumsversuche uns seit einigen Jahren Tag für Tag Entdeckungen beschert haben, die von unermeßlichem Wert sind. Die theoretische Physik nun, deren Aufgabe es ist, die experimentellen Versuche zu erklären und zu leiten, ist währenddessen auch nicht untätig geblieben.

Seit dreißig Jahren ist die Geschichte der theoretischen Physik bestimmt worden durch die Entwicklung zweier großer Lehren, die von ungeheurer Tragweite sind, durch die Entwicklung der Relativitätstheorie und der Quantentheorie. Von ihnen ist die Relativitätstheorie, die weniger direkt mit dem Fortschritt der Atomphysik verbunden ist, wohl diejenige, die dem großen Publikum am bekanntesten ist. Sie geht von gewissen Experimenten aus, die die Interferenz des Lichtes betreffen, und die man mit Hilfe der alten Theorie nicht erklären konnte. Mit einer geistigen Kraft, die in den Annalen der Wissenschaft denkwürdig bleiben wird, hat ALBERT EINSTEIN diese Schwierigkeiten überwunden, und zwar dadurch, daß er ganz neue Begriffe von der Natur des Raumes und der Zeit und von ihrer gegenseitigen Beziehung eingeführt hat. So wurde jene schöne Relativitätstheorie geboren, die uns später, als man sie verallgemeinerte, eine neuartige Vorstellung von der Schwerkraft liefert hat. Gewisse experimentelle Bestätigungen hat man bestritten. Man bestreitet sie auch heute noch, aber eines ist sicher, daß wir nämlich der Relativitätstheorie außerordentlich neue und fruchtbare Gesichtspunkte verdanken. Sie hat uns gezeigt, wie man unübersteigbar scheinende Hindernisse überwinden und unerwartete Ausblicke entdecken kann, wenn man nur gewisse vorgefaßte Meinungen aufgibt, die ihre Geltung mehr der Gewohnheit als der Logik verdanken. Den Geist der Physiker zu üben, war die Relativitätstheorie ein herrliches Mittel.

Mindestens ebenso bedeutsam, wenn auch der Allgemeinheit weniger bekannt, war die Aufstellung der Quantentheorie und ihr weiterer Ausbau. Mit ihrer Hilfe gelang es, die Feststellungen der Experimentalphysik auszuwerten und eine Wissenschaft der atomaren

Phänomene zu begründen. Wenn man nämlich die Phänomene genauer beschreiben wollte, war man dem fundamentalen Zwang unterworfen, völlig neue, der klassischen Physik gänzlich fremde Anschauungen gelten zu lassen. Um die Atomwelt zu beschreiben, genügt es nicht, Methoden und Bilder, die in unserem oder auch im astronomischen Bereich gültig sind, auf viel kleinere Bereiche zu übertragen. Wir haben bereits gesehen, daß man auf Grund der Arbeiten BOHRs übereingekommen ist, sich die Atome als kleine Miniatursonnensysteme vorzustellen, in denen die Elektronen die Rolle der Planeten spielen, die Bahnen um eine positiv geladene Zentralsonne beschreiben. Aber um mit dieser Vorstellung wirklich interessante Ergebnisse zu erhalten, mußte man voraussetzen, daß das atomare Sonnensystem bestimmten Gesetzen gehorcht, den Quantengesetzen nämlich, die völlig verschieden sind von denen der astronomischen Systeme. Je mehr man über diese Unterschiede nachdachte, desto stärker wurde man sich ihrer großen Tragweite, ihrer grundlegenden Bedeutung bewußt. Die Einschaltung der Quanten hatte zur Folge, daß überall in der Atomphysik das Diskontinuum eingeführt wurde, und diese Einführung ist wesentlich, da ohne sie die Atome instabil wären und die Materie nicht existieren könnte.

Wir haben gesehen, daß die Quantentheorie infolge der Entdeckung der doppelten — korpuskularen und wellenmäßigen — Natur des Elektrons seit einigen Jahren eine neue Form angenommen hat, die man «Wellenmechanik» nennt. Ihre Erfolge sind zahllos gewesen. Die Wellenmechanik hat uns erlaubt, diejenigen Phänomene, welche von der Existenz gequantelter Stationärzustände für die Atome abhängen, besser zu verstehen und besser vorauszusagen. Auch die Chemie hat aus der Entwicklung der neuen Theorie Nutzen gezogen, denn es ergab sich aus ihr eine ganz neue und interessante Art, die chemischen Verbindungen aufzufassen.

Die Entwicklung der Wellenmechanik hat die Physiker veranlaßt, ihre Vorstellungen mehr und mehr zu erweitern. Die Naturgesetze haben in dieser neuen Lehre nicht mehr den strengen Charakter, den sie in der klassischen Physik hatten. Es gibt keinen unumstößlichen Determinismus der Erscheinungen mehr, sondern nur noch Wahrscheinlichkeitsgesetze. Dies drückt die berühmte, durch WERNER HEISENBERG aufgestellte «Unbestimmtheitsrelation» auf präzise Weise aus. Selbst die Begriffe Kausalität und Individualität mußten einer neuen Prüfung unterzogen werden, und aus dieser bedeutsamen Krise der Hauptgrundsätze unserer physikalischen Vorstellung