

Das Problem der Fernkräfte.

Von Dr. Anton Weber.

(Schluß.)

In der Möglichkeit, daß die Atome sukzessiv wirken, liegt die Schwierigkeit des Fernkraftproblems begründet. Wenn eine Fernkraft sukzessiv wirkt, spielt die große Anzahl der existierenden Atome keine Rolle mehr. Man müßte wenigstens wissen, wie viele Wirkungen das einzelne Atom jeweils gleichzeitig hervorzubringen hat. Darüber lassen sich aber keine Angaben machen. Vielleicht braucht das einzelne Atom in keinem Zeitpunkt mehr als eine einzige Kraft auszuüben. Dann können wir nicht ohne weiteres von einer Ueberanstrengung der Atome reden, und es wird eine genauere Prüfung des einzelnen Fernwirkungsaktes notwendig. Diese soll in den drei folgenden Abschnitten vorgenommen werden.

4.

Wir wollen unser Augenmerk zunächst auf die Retardierung der Fernkräfte richten. Nach der heutigen Physik tritt die Wirkung im leidenden Körper nicht in dem Augenblick ein, wo der tätige Körper die Kraft ausübt, sondern erst nach einiger Zeit. Wenn z. B. eine Lichtquelle zu leuchten beginnt, verzögert sich die Aufhellung eines Körpers, der 300 000 Kilometer entfernt ist, um eine Sekunde. Je größer die Entfernung, desto stärker die Verzögerung. Bei dem von der Sonne stammenden Licht verstreichen zwischen Ursache und Wirkung über acht Minuten. Wir wollen die Dauer der Verzögerung Retardierungszeit oder Wartezeit nennen.

Die Retardierung ist leicht verständlich, wenn das Licht mittelbar wirkt, d. h., wenn das Licht auf der Wegstrecke von der Sonne zur Erde transportiert werden muß, sei es durch Fortpflanzung im Aether, sei es durch Vermittlung von emittierten Partikeln. Dazu paßt dann vortrefflich die Tatsache, daß die Wartezeit dem Abstand proportional ist. Auch die Schallwellen brauchen die doppelte oder dreifache Zeit, um den doppelten oder dreifachen Weg zurückzulegen. Bei unmittel-

barer Wirksamkeit des Lichtes hingegen würde man erwarten, daß die Aufhellung im gleichen Augenblick eintritt, wo die Lichtquelle ihre Strahlen aussendet. Man behauptet mit Recht, jede Wirkung müsse unmittelbar auf ihre Ursache folgen, sie könne unmöglich erst nach Sekunden, Tagen oder Jahren eintreten, wie es beim Licht der Fall ist.

Trotzdem folgt aus der Retardierung nicht mit Notwendigkeit, daß eine Kraft mittelbar wirkt. Man braucht nur an die Möglichkeit einer latenten Energie zu denken. Der Vorgang kann sich folgendermaßen abspielen: Der tätige Körper erzeugt durch unmittelbare Fernwirkung in dem entfernten leidenden Körper ohne Verzögerung eine latente Energie, und diese letztere setzt sich nach Ablauf der Retardierungszeit in eine sichtbare Energieform um.

Bei Nahkräften kommt etwas Analoges häufig vor. Beim Aufziehen einer Uhr z. B. teilen wir der Uhrfeder Spannungsenergie mit. Diese Energie bleibt latent bis zum Stundenschlag, dann aber setzt die Uhr ihre Spannungsenergie in hörbare Schallenergie um. Die wahrgenommene Endwirkung, der Stundenschlag, ist also gegen die Ursache, d. h. gegen das Aufziehen des Uhrgewichtes retardiert. Etwas ähnliches kann bei den Fernkräften der Fall sein. Die Retardierung einer unmittelbar wirkenden Fernkraft braucht somit nicht in Widerspruch zu stehen mit der Forderung, daß jede Wirkung unmittelbar auf ihre Ursache folgen müsse. Damit entfällt die Möglichkeit, das Problem der Fernkräfte durch den bloßen Hinweis auf die Retardierung zu lösen.

Es werden deshalb wieder teleologische Ueberlegungen erforderlich, d. h. wir müssen prüfen, ob die Retardierung nicht an die Körper zu hohe Anforderungen stellt. Das soll nun geschehen, zunächst unter der Voraussetzung, daß die Körper simultan wirken. Um die Ausdrucksweise zu vereinfachen, wollen wir den Vorgang der Retardierung symbolisch darstellen. Wir sagen: Der wirkende Körper erteilt dem leidenden einen Befehl. Das soll bedeuten, er übt auf denselben eine Fernkraft aus. Wir sagen ferner: Der leidende Körper merkt sich den Befehl, oder: er behält ihn im Gedächtnis. Das soll heißen, er behält die Wirkung eine Zeitlang in latentem Zustand in sich. Die Zeit vom Empfang des Befehls bis zu dessen Ausführung nennen wir, wie bereits erwähnt, Retardierungszeit oder Wartezeit. Endlich sagen wir noch: Nach Ablauf der Wartezeit wird der Befehl ausgeführt. Das soll heißen, die latente Energie setzt sich in eine sichtbare Wirkung um.

Es ist klar, daß die Retardierung den Körpern ihre Tätigkeit erschwert. Es wäre viel einfacher, wenn die Körper die emp-

fangenen Befehle sogleich nach Empfang ausführen dürften. Die Retardierung fordert neben der Ausführung der Befehle auch noch eine Gedächtnisleistung.

Die letztere ist unmöglich zu bewältigen, wenn die Atome simultan wirken, wie wir vorderhand angenommen haben. Man stelle sich vor, wie bei einem gegebenen Atom von allen Seiten her die Befehle eintreffen, wie sie der Körper in seinem Gedächtnis aufspeichert, wie er dann fortwährend aus den aufgespeicherten Befehlen diejenigen heraussucht, für welche die Zeit der Ausführung gekommen ist. Das Heraussuchen der Befehle ist sehr umständlich, weil gleichzeitig eintreffende Befehle im allgemeinen nicht die nämliche Wartezeit haben, also nicht gleichzeitig ausgeführt werden dürfen. Die von entfernten Körpern herrührenden Befehle verlangen eine längere Wartezeit als die aus der Nähe stammenden. Es wäre schon eine Riesenleistung, wenn ein Atom die von einem einzigen fremden Körper eintreffenden Befehle mit der richtigen Retardierung behandeln würde. Dazu müßte er dauernd unendlich viele Befehle gleichzeitig nebeneinander im Gedächtnis behalten. Damit wäre aber die Arbeit des Atoms nicht getan, denn jeder andere fremde Körper stellt die gleichen Anforderungen. Wenn also die Fernkräfte simultan wirken, dann sind die Atome den Anforderungen der Retardierung nicht gewachsen.

Die Körper können die Retardierung nur dann leisten, wenn die Befehle nicht gleichzeitig eintreffen. Wir machen also nunmehr die Voraussetzung, daß die Fernkräfte sukzessiv wirken. Das ist für das ausführende Atom eine wesentliche Erleichterung. Aber auch in diesem Fall ist es nicht unbedingt zur verlangten Leistung befähigt, sondern nur dann, wenn es die Befehle nicht allzu rasch nacheinander erhält. Das Atom hat es am bequemsten, wenn ein neuer Befehl erst eintrifft, nachdem der vorhergehende ausgeführt ist. Je rascher die Befehle aufeinander folgen, desto schwieriger wird die Tätigkeit des Atoms. Die Retardierung trägt also nur dann zur Lösung unseres Problems bei, wenn das einzelne Atom nicht allzu häufig Befehle erhält.

Nach diesen grundsätzlichen Erörterungen sind zwei praktische Fragen zu stellen. Erstens, welche von den Hauptfernkräften sind retardiert, und zweitens, wie oft werden sie auf das einzelne Atom ausgeübt? Darauf ist folgendes zu antworten:

Die Existenz der Retardierung konnte bisher nicht für alle Fernkräfte mit voller Sicherheit nachgewiesen werden. Am besten sind wir bezüglich des Lichtes unterrichtet; man kennt seit langem

astronomische und physikalische Methoden, um die Dauer seiner Wartezeit zu messen. Michelson bestimmte in den Jahren 1921—1926 die Retardierungszeit des Lichtes so genau, daß künftige Messungen an dem Resultat höchstens noch den hundertsten Teil eines Promille ändern können. Auch bezüglich einer bestimmten Art von elektrischen Kräften kann das Vorhandensein der Retardierung experimentell bewiesen werden. Es sind das jene Kräfte, welche von bewegten Ladungen vermöge ihrer positiven oder negativen Beschleunigung ausgeübt werden; wir wollen diese spezielle Art von Kräften als elektro-induktive Kräfte bezeichnen. Daß sie retardiert sind, kann durch den Hinweis auf zwei Hilfsmittel der drahtlosen Telegraphie bewiesen werden, nämlich auf die Mehrfach-Sendeantennen und auf die Rahmen-Empfangsantennen. Die Wirksamkeit dieser beiden Vorrichtungen beruht darauf, daß in ihren verschiedenen Teilen verschiedene Abstände in Betracht kommen und infolgedessen verschieden lange Wartezeiten. In beiden Fällen rührt die Wirkung von elektro-induktiven Kräften her. Daß auch für die übrigen elektrischen Kräfte, speziell für die elektrostatischen, in absehbarer Zeit die Retardierung experimentell nachweisbar sein wird, bezweifle ich. Jedenfalls kenne ich unter den bisher ausgeführten Experimenten kein für diesen Zweck brauchbares. Das gleiche gilt von den magnetischen Kräften. Daß sich endlich bei der Gravitation die Retardierung nicht beobachten läßt, ist allgemein bekannt.

Soweit nun die experimentellen Tatsachen uns im Stich lassen, kann man nach theoretischen Beweisen Umschau halten. Für die elektrischen und magnetischen Kräfte wird man in erster Linie an die Maxwellschen Gleichungen denken. Aus diesen folgt mit mathematischer Notwendigkeit die Retardierung für alle Arten von elektrischen und magnetischen Kräften, auch die elektrostatischen nicht ausgenommen. Voraussetzung ist, daß die genannten Gleichungen in der Natur genau gelten. Hierin liegt aber die Schwierigkeit. Die Gleichungen besitzen allerdings einen hohen Grad von Genauigkeit, aber es gilt für sie, was für alle physikalischen Gleichungen gilt: Wir wissen nicht, ob sie absolut genau sind. Die Wirkung der elektrostatischen und der magnetischen Kräfte läßt sich nur in geringen Abständen vom tätigen Körper beobachten, also nur an solchen Stellen, wo die Retardierung wegen ihrer Kleinheit nicht wahrgenommen werden kann. Wenn daher diese Kräfte unabhängig von den elektro-induktiven wirken und keine Retardierung erfahren, dann stellen die Maxwellschen Gleichungen trotzdem alle Tatsachen innerhalb der erreichbaren Beobachtungsgenauigkeit richtig dar. Darum beweisen

diese Gleichungen nicht, daß auch die elektrostatischen und die magnetischen Kräfte retardiert sind.

Sehr vorteilhaft wäre in unserem Fall die Anwendung des speziellen Relativitätsprinzips. Aus letzterem würde nämlich mit zwingender Notwendigkeit folgen, daß jede Fernwirkung ohne Ausnahme, also auch die Gravitation, retardiert ist und daß die Wartezeit in allen Fällen genau so lange dauert wie beim Licht. Es fragt sich nun, ob das spezielle Relativitätsprinzip selbst ausreichend gesichert ist, um als Grundlage für Schlußfolgerungen zu dienen. Darauf ist zu antworten: Wir wissen nur das Eine bestimmt, daß das genannte Prinzip mit allen bekannten experimentellen Tatsachen vereinbar ist. Dagegen läßt sich nicht behaupten, daß man durch Annahme eines vom speziellen Relativitätsprinzip abweichenden Prinzips mit den Tatsachen notwendig in Widerspruch käme.

Man weist zur Begründung des Prinzips auf den Michelsonschen Versuch und auf eine Reihe weiterer Tatsachen hin, für welche das Prinzip eine befriedigende Erklärung liefert. Aber alle diese Tatsachen lassen sich auch ohne das Prinzip erklären, wenn man folgende zwei Annahmen macht: Erstens, daß sich die Körper beim Uebergang in den bewegten Zustand verkürzen, und zweitens, daß die Masse der Körper von ihrer Geschwindigkeit abhängt. Die Physiker ziehen allerdings die Erklärung durch das spezielle Relativitätsprinzip vor, weil sie die einfachste und idealste ist. Das beweist aber nicht, daß diese Erklärung die einzig richtige sein muß.

Auch teleologische Gründe sprechen für das spezielle Relativitätsprinzip. Der Schöpfer wollte offenbar, daß die Naturgesetze möglichst wenig von der Translationsgeschwindigkeit und Translationsrichtung der Erde abhängen, weil wir sonst im Winter andere Naturgesetze hätten als im Sommer. Damit war für den Schöpfer das genannte Prinzip ohne weiteres als Norm für die Schöpfung gegeben. Aber daraus folgt nicht, daß es in der Natur vollkommen genau gelten müsse. Auch wenn es bloß näherungsweise gilt, wird sein Zweck erreicht; Es genügt schon, wenn in der Natur die obengenannte Längskontraktion und die Abhängigkeit der Masse von der Geschwindigkeit vorhanden ist. Indes müssen wir festhalten, daß für den Schöpfer nicht die beiden letztgenannten Maßnahmen, sondern das spezielle Relativitätsprinzip das Naheliegendste war, und es läßt sich kaum ein Grunddenken, der den Schöpfer von der Durchführung dieses Prinzips abgehalten hätte.

Man kann also sagen, daß das Prinzip eine hohe Wahrscheinlichkeit besitzt und daß die Physiker gut tun, sich auf den Boden

dieses Prinzips zu stellen. Nur darf man es nicht als etwas Unabänderliches und Definitives ansehen. Das müssen namentlich die Philosophen beachten, wenn sie daraus Folgerungen ziehen. Solche Folgerungen können möglicherweise durch die künftige Entwicklung der Physik umgestoßen werden. Wenn man daher sicher gehen will, muß man in der Naturphilosophie auf die strikte Anwendung des speziellen Relativitätsprinzips verzichten; man muß es namentlich in unserm Fall unterlassen, aus dem genannten Prinzip auf die Retardierung sämtlicher Fernkräfte zu schließen. Aus diesem Grund kommt für die Lösung unseres Problems nur bei zwei Wirkungen die Retardierung in Betracht, nämlich beim Licht und bei den elektro-induktiven Kräften.

Die Tatsache der Retardierung genügt aber, wie oben dargelegt, nicht zum Beweis der mittelbaren Wirkungsweise einer Kraft. Dazu muß noch eine weitere Bedingung erfüllt sein, nämlich das Atom muß genügend häufig eine retardierte Kraftwirkung erfahren. Der Nachweis, daß die zweite Bedingung erfüllt ist, kann nur für das Licht geliefert werden, nicht aber für die elektro-induktiven Kräfte.

Um zu berechnen, wie oft das einzelne Atom eine Lichtwirkung erfährt, müssen wir von der Sonnenstrahlung ausgehen. Bei den irdischen Lichtquellen ist die zur Beobachtung kommende Wartezeit zu kurz, und das von den Fixsternen kommende Licht ist zu schwach, um ein für unsern Zweck brauchbares Resultat zu liefern. Wir müssen also unsere Aufmerksamkeit auf das Sonnenlicht richten. Die Sonne sendet auf jedes Quadratcentimeter der Erdoberfläche, wo ihr Licht senkrecht auftrifft, pro Minute drei Grammkalorien Strahlungsenergie; das sind 120 Millionen Erg. Dieser Betrag verteilt sich auf alle Wellenlängen. Die Betrachtung der Energiekurve des Sonnenlichtes zeigt nun, daß die angegebene Strahlungsenergie fast vollständig auf Wellenlängen unter $0,00004$ cm trifft. Wir können mit Sicherheit 100 Millionen Erg auf die Wellen rechnen, welche kürzer als $0,00004$ cm sind. Wenn nun alle Wellen die angegebene Maximalgröße hätten, bestände dieser Energiebetrag aus 20 Trillionen von Photonen. Da die Lichtwellen der Sonne im Durchschnitt kleiner sind, ist die Anzahl der Photonen merklich größer. Wir wollen aber der Sicherheit halber nur 20 Trillionen Photonen pro Minute und Quadratcentimeter rechnen.

Wir lassen nun das Sonnenlicht auf eine Platinfläche von einem Quadratcentimeter Größe fallen. Platin absorbiert schon in einer Oberflächenschicht von zwei Millionsteln Millimeter Dicke den zehnten Teil der auffallenden Strahlung. Dieses Strahlungsquantum wird reflektiert oder in Wärme verwandelt. Die genannte dünne Oberflächenschicht

empfängt also pro Quadratcentimeter zwei Trillionen Photonen pro Minute. Diese verteilen sich auf die 13000 Billionen Atome, welche sich in dem angegebenen kleinen Volumen befinden. Das einzelne Atom erfährt demnach pro Minute die Einwirkung von durchschnittlich 150 Photonen. In den acht Minuten, um welche das von der Sonne kommende Licht retardiert ist, treffen somit auf ein einzelnes Atom ca. 1100 Photonen.

Wenn nun das Licht eine unmittelbare Fernwirkung ist, dann muß das Atom dauernd 1100 von der Sonne kommende Befehle gleichzeitig im Gedächtnis bewahren. Es muß dieselben einzeln mit allem Detail merken, denn jeder dieser Befehle schreibt eine andere Beschleunigung, eine andere Richtung und eine andere Wartezeit vor. Aus dieser großen Anzahl von Befehlen muß das Atom jeden einzelnen im richtigen Moment herausgreifen und zur Ausführung bringen. Zu einer solchen Leistung ist das Atom nicht befähigt. Die Gedächtnisleistung ist zwar viel geringer, als wenn das Licht kontinuierlich auf alle Atome wirken würde, aber der Vergleich mit den früher genannten vielstelligen Zahlen darf uns nicht dazu verleiten, die Zahl 1100 für klein zu halten. Wir müssen vielmehr daraus folgern, daß das Licht keine unmittelbare Fernwirkung ist.

Leider können wir bei den übrigen Kräften nicht die gleichen Schlüsse ziehen. Außer dem Licht ist ja nur bei den elektro-induktiven Kräften die Retardierung bestimmt nachweisbar, und hier fehlen uns die Anhaltspunkte, um die Häufigkeit der eintreffenden Befehle zu berechnen. Bei der Schwerkraft, sowie bei den elektrostatischen und magnetostatischen Kräften wäre eine Schätzung der Häufigkeit möglich, aber wir haben keine sichere Kenntnis von ihrer Retardierung. Darum können wir nur beim Licht aus der Retardierung den Schluß ziehen, daß es eine mittelbare Fernwirkung sein muß.

5.

Um einen kleinen Schritt weiter gelangen wir, wenn wir uns auf eine andere physikalische Tatsache stützen, und zwar darauf, daß die Größe der Fernkräfte von dem Abstand zwischen befehlendem und gehorchendem Atom abhängt. Nach den älteren Formeln ist die Kraft indirekt proportional dem Quadrat des Abstandes, nach den neueren verbesserten Formeln gilt dieses Gesetz wenigstens in guter Annäherung.

Man darf hiebei nicht übersehen, daß sich diese Abhängigkeit nur bezüglich der Gesamtwirkung aller zu einem Körper gehörenden Atome experimentell nachweisen läßt, dagegen nicht bezüglich jeder

Einzelwirkung, die von irgendeinem Atom ausgeht. Was aber von der Gesamtwirkung gilt, darf nicht ohne weiteres auf die Einzelwirkungen übertragen werden. Das beweist das Beispiel des Lichtes. Nach der heutigen Auffassung sendet der Körper die Photonen bald nach dieser, bald nach jener Richtung aus, jedoch so, daß alle Richtungen gleichmäßig stark vertreten sind. Die Wirkung des einzelnen Photons ist nun vom Abstand des getroffenen Atoms unabhängig. Seine Lichtwirkung bleibt immer die gleiche, mag es von einem nahegelegenen oder von einem entfernten Atom aufgefangen werden. Somit ist die Einzelwirkung vom Abstand unabhängig. Auf die Gesamtwirkung hat der Abstand trotzdem Einfluß, weil die entfernten Atome seltener von einem Photon getroffen werden als die naheliegenden, und zwar ergibt sich nach den Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung, daß die Anzahl der Treffer indirekt proportional ist zum Quadrat des Abstandes. Natürlich kann nur eine sukzessiv wirkende Fernkraft in dieser Weise tätig sein. Wenn dagegen ein Atom simultan, d. h. auf alle anderen Atome gleichzeitig und ohne Unterbrechung wirken, und wenn es ferner auf alle gleichstarke Kräfte ausüben würde, dann könnte auch die Gesamtkraft als Summe der Einzelkräfte nicht vom Abstand abhängen.

Nach diesen Vorbemerkungen wollen wir prüfen, was aus der beobachteten Abhängigkeit der Wirkungen vom Abstand für unser Problem folgt. Hierbei machen wir wieder zuerst die Annahme, daß die Atome simultan wirken; damit ist von selbst gegeben, daß sowohl die Gesamtwirkung wie die Einzelwirkungen vom Abstand beeinflußt werden.

Man behauptet, die Abhängigkeit vom Abstand sei mit der Annahme einer unmittelbaren Fernkraft nicht vereinbar. Zum Beweis dieser Behauptung bedient man sich zweier Prämissen. Die erste lautet: Bei den unmittelbaren Fernkräften hängt die Wirkung nur ab vom Kraftaufwand des wirkenden und von der Empfänglichkeit des leidenden Körpers. Diese erste Prämisse ist unzweifelhaft richtig, denn unmittelbare Fernkräfte schließen nach ihrem Begriff die Mitwirkung dritter Körper und insbesondere die Mitwirkung des Zwischenmediums aus.

Die zweite Prämisse können wir folgendermaßen formulieren: Wenn zwei Körper unmittelbar aufeinander wirken, dann kann eine Aenderung des Abstandes weder den Kraftaufwand des wirkenden noch die Empfänglichkeit des leidenden beeinflussen. Falls auch die zweite Prämisse richtig ist, dann folgt ohne Zweifel, daß unmittelbare Fernkräfte vom Abstand unabhängig sind. Leider fehlt für

diese zweite Prämisse bisher der Beweis, und a priori darf man nicht behaupten, daß der Kraftaufwand des wirkenden und die Empfänglichkeit des leidenden Körpers vom Abstand unabhängig seien. Sicher ist zunächst nur: Wenn der tätige Körper seine Fernwirkung nach dem Abstand bemessen soll, muß er den Abstand kennen, und wenn der leidende Körper seine Empfänglichkeit für eine Fernwirkung nach dem Abstand abstufen soll, muß er seinerseits den Abstand kennen.

Der Ausdruck kennen ist natürlich in symbolischem Sinn zu verstehen. Wenn wir sagen: „Der Körper kennt den Abstand“, so soll das heißen: „Der Abstand ist dem Körper irgendwie real eingepreßt“. Wir wollen dieses Reale kurz als innere Abstandsgröße bezeichnen. Natürlich behaupten wir nicht, daß in dem Atom etwas Ausgedehntes Platz fände. Unter der inneren Abstandsgröße hat man sich etwas der elektrischen Feldstärke Analoges vorzustellen; auch die letztere besitzt Größe, aber nicht eine größere oder kleinere Längenausdehnung, sondern eine Intensität von bestimmter Größe. Eine im Atom vorhandene innere Abstandsgröße besitzt ebenfalls an Stelle der Längenausdehnung eine Intensität. Sie ist wohl zu unterscheiden von dem äußeren Abstand, den wir an den Körpern durch Beobachtung feststellen können. Der letztere ist eine Wirkung der inneren Abstandsgröße, die im Innern des Atoms sitzt und von uns nicht wahrgenommen werden kann.

Aus dem inneren Abstand kann das Atom die Größe der auszuübenden Kraft berechnen. Der symbolische Ausdruck rechnen bedeutet: Der im Atom real vorhandene innere Abstand beeinflusst in naturgesetzlich geregelter Weise die Tätigkeit des Atoms derart, daß die ausgeübte Kraft die richtige Größe bekommt. Daß die Körper in diesem Sinn rechnen, ist eine unbestreitbare Tatsache. Wenn beispielsweise ein Körper gedehnt wird, tritt eine elastische Kraft auf, welche der Längenzunahme proportional ist. Der Körper muß hier die Längenzunahme „kennen“ und daraus die auszuübende elastische Kraft „berechnen“.

Das Rechnen der Körper ist natürlich keine Verstandestätigkeit; man kommt der Wahrheit sicherlich näher, wenn man die Körper für eine Art Rechenmaschine ansieht. Zum Addieren und Multiplizieren werden vielfach Maschinen benützt. Doch gibt es auch Mechanismen, die viel kompliziertere Rechenarbeit leisten; so wurden Maschinen gebaut, welche für die Seehäfen den Wechsel von Ebbe und Flut sowie die stündliche Wasserhöhe auf mehr als ein Jahr vorausberechnen. Auch andere Rechnungen ließen sich durch Maschinen ausführen und, prinzipiell schließt keine Art von Rechnung

die maschinelle Erledigung aus. Beim Rechnen der Atome wird man nicht an eigentliche Rechenmaschinen, aber an etwas Analoges denken. Wie die Atome rechnen, brauchen wir nicht genauer zu untersuchen; es genügt, zu konstatieren, daß die Körper irgendwie zu jener Tätigkeit befähigt sind, die wir symbolisch als Rechnen bezeichnen.

Das Berechnen der Kräfte setzt allerdings das Vorhandensein der inneren Abstände voraus. Wir wollen nicht versuchen, deren Existenz zu beweisen oder wahrscheinlich zu machen. Es genügt, daß ihre Existenz denkbar ist und daß einstweilen für ihre Nichtexistenz kein Beweis vorliegt. Dieser Beweis müßte aber geliefert werden, ehe man behaupten darf, die fernwirkenden Atome könnten ihren Kraftaufwand nicht nach dem Abstand bemessen oder das leidende Atom könne seine Empfänglichkeit nicht nach dem Abstand abstufen.

Man muß nun fragen: Wie gelangt das Atom zur Kenntnis seiner Abstände von den übrigen Atomen, oder mit anderen Worten: Auf welche Weise werden die inneren Abstände stets mit den äußeren in Uebereinstimmung gehalten? Niemand wird das einem Eingreifen Gottes zuschreiben wollen. Man kann im höchsten Fall zugeben, daß Gott den Atomen am Anfang der Welt die damals geltenden inneren Abstände einerschaffen hat, aber für das weitere müssen jedenfalls die Atome selbst sorgen. Die Abstände ändern sich ja beständig. Wie kann aber das Atom wissen, um wie viel die äußeren Abstände im Laufe der Zeit größer oder kleiner werden? Diese Kenntnis ist offenbar notwendig, wenn das Atom stets seine inneren Abstände den äußeren angleichen soll.

Würden zwei Atome A und B allein existieren, dann könnte man zur Not folgende Erklärung geben. Das Atom A weiß, welche Kraft es auf B ausübt und welche Kraft es von B erleidet. Daraus berechnet es die Bewegung von B sowie seine eigene und hieraus ergibt sich die Aenderung des Abstandes. Diese Rechenleistung kann man dem Atom vielleicht zutrauen. Nun muß aber A nicht bloß auf B sondern auf eine Unzahl von Atomen Fernkräfte ausüben, muß also eine Unzahl von Abständen kennen. Es darf niemals eines der fremden Atome jemals aus dem Auge verlieren, sondern muß die Aenderung jedes einzelnen Abstandes ohne Unterbrechung rechnerisch verfolgen. Das Atom A muß sogar die Abstände der fremden Atome untereinander kennen, z. B. den Abstand zwischen B und C, weil auch dieser Abstand auf die Bewegung von B und C Einfluß hat. Eine Rechenarbeit von solchem Umfang darf man dem Atom nicht zumuten; das wäre eine Art Störungsrechnung, gegen welche sich die

von den Astronomen durchgeführte Berechnung der Planetenstörungen wie ein harmloses Kinderspiel ausnähme.

Wir müssen also unbedingt fordern, daß dem Atom A von seiten der übrigen Atome Unterstützung zuteil wird; die letzteren müssen dem Atom A Mitteilungen machen. Dieser Ausdruck ist wieder symbolisch zu verstehen, er bedeutet: Die übrigen Atome beeinflussen das Atom A derart, daß dasselbe seine inneren Abstandsgrößen entsprechend ändert. Es läßt sich nicht behaupten, daß eine solche „Mitteilung“ unmöglich sei. Sie hat den Charakter einer Fernwirkung und wäre nur dann undenkbar, wenn es keine unmittelbaren Fernwirkungen gäbe, wenn also dasjenige bereits feststünde, was wir beweisen wollen. Solange dieser Beweis noch aussteht, müssen wir mit der Möglichkeit von Fernmitteilungen rechnen.

Natürlich können die fremden Atome dem Atom A nicht die jeweilige Größe der Abstände melden, weil sie diese selbst nicht wissen. Sie können aber solche Daten mitteilen, die ihnen bekannt sind und welche dem Atom A die Berechnung der Abstände erlauben. Solche Daten sind z. B. die Cartesischen Koordinaten. Es ist durchaus denkbar, daß alle in der Welt existierenden Atome die Koordinaten ihrer Schwerpunkte kennen. Wenn sie sich gegenseitig dieselben mitteilen, ist jedes Atom imstande, seine Abstände von den übrigen zu berechnen. Es gibt noch andere Größen, aus denen sich die Abstände berechnen lassen, aber wir brauchen nicht alle Möglichkeiten zu berücksichtigen. Vielmehr genügt es, zu zeigen, daß es wenigstens eine vernünftige Annahme gibt, welche den Atomen die Berechnung der Abstände erlaubt. Wir machen also die Annahme, daß alle Atome ihre eigenen Koordinaten kennen und sich gegenseitig mitteilen. In diesem Fall sind dem Atom an Stelle der fertigen inneren Abstände die drei Koordinaten real eingeprägt. Sie haben den Charakter von Intensitäten, die der Atomsubstanz als Akzidentien anhaften.

Das Atom A ist offenbar imstande, seine eigenen Koordinaten dauernd zu kennen, obwohl sich dieselben fortwährend ändern; die Aenderung rührt ja nur von der eigenen Bewegung des Atoms her, und diese kennt das Atom. Die übrigen Atome teilen dem Atom A ihre Koordinaten mit, entweder fortlaufend oder nur dann, wenn A eine Fernkraft ausüben muß. Bezeichnen wir mit x, y, z die Koordinaten von A und mit x', y', z' diejenigen von Atom B, dann berechnen sich Abstand r und die auszuübende Kraft F nach der älteren Physik mittels der Formeln:

$$r = \sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2 + (z' - z)^2}; \quad F = \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

In der neueren Physik gelten kompliziertere Formeln. Wir wollen nicht prüfen, welches die richtigen Formeln sind, und auch nicht untersuchen, ob die Berechnung eines einzelnen Abstandes und der zugehörigen Kraft den Atomen eine nennenswerte Arbeit macht.

Eine unüberwindliche Schwierigkeit tritt aber sicher bei einer simultanen Fernwirkung aller existierenden Atome auf. Hier muß das Atom A in jedem Augenblick gleichzeitig so viele Abstände und Kräfte berechnen, als es andere Atome gibt. Das übersteigt seine Leistungsfähigkeit beträchtlich, selbst wenn für r und F die denkbar einfachsten Formeln gelten. Wenn alle lebenden Menschen, auch die Säuglinge nicht ausgenommen, täglich zwölf Stunden ohne Unterbrechung arbeiten und eine solche Geschicklichkeit besitzen, daß sie zur Berechnung eines einzelnen Abstandes und der zugehörigen Kraft nur eine Sekunde nötig haben, dann brauchen sie schon für eine Trillion Abstände und Kräfte 31 Jahre. Stellen wir eine Trillion mal so viele Rechner an und lassen sie tausend Trillionen Jahre lang rechnen, dann ist erst ein kleiner Teil der Arbeit geleistet, welche das Atom A allein in einem einzigen Augenblick fertigstellen soll.

Die Berechnung der Abstände und Kräfte ist nicht die einzige Rechenarbeit, welche von simultanwirkenden Fernkräften den Atomen zugemutet werden. Man muß nämlich bedenken, daß die Atome nicht bloß Kräfte ausüben, sondern auch solche erleiden. Das einzelne Atom muß nun alle empfangenen Wirkungen zu einer Resultante vereinigen, indem es die Einzelkräfte in Komponenten zerlegt und die zusammengehörigen Komponenten addiert. Alles das muß in einem einzigen Augenblick durchgeführt werden, und zwar in dem gleichen Augenblick, wo das Atom die Abstände und Kräfte berechnet, die es selbst ausüben muß. Das ist offenbar des Guten zuviel. Wir gelangen auf diese Weise wieder zu dem bereits oben aufgestellten Satz: Eine simultane Fernkraft kann nicht unmittelbar wirken.

6.

Wir lassen nun die Annahme fallen, daß die Fernkräfte simultan tätig sind. Bei sukzessiven Fernkräften wird den Atomen offenbar viel weniger zugemutet. Es wird sich aber zeigen, daß nicht alle Schwierigkeiten beseitigt sind.

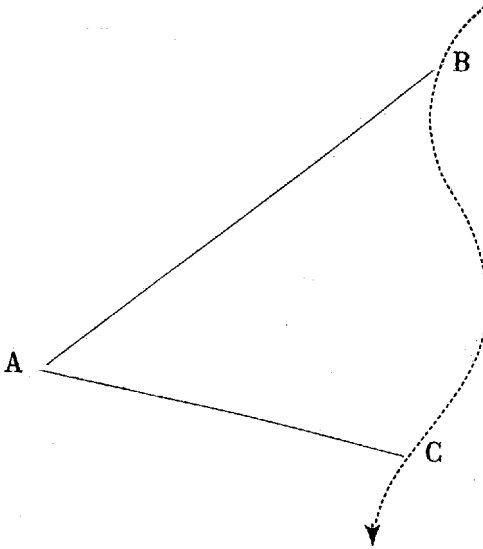
Wenn wir die sukzessiven Fernwirkungen untersuchen, entsteht vor allem die Frage: Sind auch in diesem Fall die Einzelwirkungen vom Abstand abhängig? Wir haben oben darauf hingewiesen, daß diese Abhängigkeit nur bezüglich der Gesamtwirkung aller zu einem gegebenen Körper gehörigen Atome experimentell nachzuweisen ist,

nicht aber bezüglich der Einzelwirkungen. Wir haben betont, daß nach der heutigen Lichttheorie die Wirkung der einzelnen Photonen vom Abstand unabhängig ist; die beobachtete Abhängigkeit der Gesamtwirkung rührt hier davon her, daß entfernte Körper seltener getroffen werden als die nahegelegenen.

Diese Theorie setzt voraus, daß die Photonen nach ihrer Emission eine vom Atom unabhängige Existenz haben, d. h. daß das Licht eine mittelbare Wirkung ist. In diesem Fall kann das Atom die Photonen ohne ein bestimmtes Ziel blindlings in irgendeiner Richtung hinaussenden und dann ihrem Schicksal überlassen. Wenn das Atom hingegen unmittelbar wirken soll, muß es das entfernte Atom selbst anpacken und ihm die Wirkung einprägen. Es hat unter den vielen existierenden Atomen jedesmal dasjenige auszuwählen, welches die Wirkung aufnehmen soll. Bei dieser Auswahl muß das Atom notwendig auf die räumliche Lage der fremden Atome Rücksicht nehmen. Sonst kämen die entfernten Atome ebenso oft daran als die naheliegenden, und dann wäre nicht bloß die Einzelwirkung sondern auch die Gesamtkraft vom Abstand unabhängig. Das wirkende Atom muß also die räumliche Lage aller Atome kennen, und zu dieser Kenntnis kann es nur gelangen, wenn ihm die Koordinaten aller Atome mitgeteilt werden.

Wir kommen also zu folgendem Resultat: Bei sukzessiv wirkenden unmittelbaren Fernkräften ist die Annahme zulässig, daß die Einzelwirkung nicht vom Abstand abhängt. Aber auch in diesem Fall muß das Atom die Abstände der übrigen Atome kennen; es müssen ihm daher die Koordinaten aller Atome mitgeteilt werden, und daraus hat es die Abstände zu berechnen.

Bei Sukzessivkräften müssen immer nur wenige Abstände berechnet werden, vielleicht nur ein einziger. Falls nun die Berechnung des einzelnen Abstandes nicht zu schwierig ist, bildet diese Forderung kein Argument gegen die Existenz unmittelbarer Fernkräfte. Wenn aber bei einer Fernkraft Retardierung vorliegt, dann macht schon die Berechnung des einzelnen Abstandes Schwierigkeiten. Das möge an der Hand der folgenden Figur dargelegt werden. Der wirkende Körper befinde sich in dem Augenblick, wo er einen Fernbefehl erteilt, im Punkt A der Figur; der leidende Körper, an welchen der Befehl gerichtet ist, befinde sich zur gleichen Zeit in B. Während nun die Wartezeit verstreicht, bleibt der leidende Körper nicht im Punkt B stehen; er führt vielmehr eine Bewegung aus, teils auf Grund des Trägheitsprinzips, teils unter dem Einfluß der Kräfte, die er von verschiedenen Körpern erfährt. Die punktierte Linie



von B nach C und über C hinaus sei die Bahn des Körpers. Im Punkt C gelange der letztere gerade in dem Augenblick an, wo die Wartezeit abgelaufen ist. Für die Berechnung der Fernkraft kommt nun nach der allgemeinen Annahme nicht der Abstand AB sondern der Abstand AC in Betracht, also jene Entfernung, welche der leidende Körper am Ende der Wartezeit von demjenigen Punkt hat, wo sich der wirkende Körper am Anfang der Wartezeit befand. Diese Annahme wollen wir zunächst zugrunde legen.

Nun sind in dem Augenblick, wo der Fernbefehl erteilt wird, der Endabstand und die Dauer der Wartezeit nicht bekannt, denn beide hängen von der Bewegung des leidenden Körpers ab. Ein Vorausberechnen der Bewegung wäre an sich möglich, würde aber dem Körper zuviel zumuten. Die Bewegung hängt ja nicht bloß von den beiden beteiligten Körpern ab, sondern auch von allen sonstigen Körpern, die auf den leidenden Körper Kräfte ausüben. Es ist ganz ausgeschlossen, daß die Atome eine solche riesige Rechenarbeit leisten.

Wir sind also zu folgender Annahme gezwungen: Der wirkende Körper meldet seine Koordinaten beim Beginn der Wartezeit dem leidenden und überläßt es demselben, sowohl die Dauer der Wartezeit und den Endabstand sowie Größe und Richtung der Kraft zu berechnen. Die Meldung ist zugleich ein Befehl. Der leidende Körper behält die mitgeteilten Anfangskordinaten des wirkenden Körpers im Gedächtnis und rechnet nun ununterbrochen, bis die Zeit zur Ausführung des Befehls kommt. Er muß in jedem Augenblick den jeweils vorhandenen Abstand neu berechnen, denselben mit 300 000 dividieren

und die erhaltene Zahlengröße mit der Größe der Zeit vergleichen, welche seit Beginn der Wartezeit verstrichen ist. In dem Augenblick, wo die zwei genannten Größen einander gleich werden, endigt die Wartezeit, und der Zeitpunkt für die Ausführung des Befehles ist gekommen. Der in diesem Augenblick vorhandene Abstand ist maßgebend für die Berechnung der Kraft.

Zur Berechnung einer einzigen Fernkraft wären nach dieser Annahme unendlich viele Rechnungen notwendig. Es ist undenkbar, daß die Natur soviele Arbeit verschwendet. Wesentlich vereinfacht wird die Arbeit, wenn der leidende Körper zur Berechnung der Wartezeit und der Kraft jenen Abstand benützen darf, den er zu Beginn der Wartezeit hat.

Die heutige Physik verwendet allgemein jene Annahme, welche die Berechnung so ungemein erschwert, d. h. sie nimmt an, daß die Fernkräfte vom Endabstand abhängen. Diese Annahme folgt eben aus den Maxwell'schen Gleichungen und aus dem Relativitätsprinzip. Von diesen beiden wissen wir aber nicht, ob sie ausreichend genau gelten. Das wurde schon oben dargelegt. Im vorliegenden Fall müssen wir auf diese Unsicherheit umsomehr Rücksicht nehmen, als sich in den der Beobachtung zugänglichen Fällen der Endabstand wenig vom Anfangsabstand unterscheidet. Schon eine geringe Ungenauigkeit der Theorie könnte für die Beurteilung dieser Frage eine ganz neue Grundlage schaffen. Wir müssen deshalb wieder auf die Erfahrungstatsachen zurückgreifen. Diese genügen im vorliegenden Fall für das Licht und für die elektro-induktiven Kräfte, nicht aber für die übrigen Fernwirkungen.

Beim Licht kommt zur Beweisführung die Aberration der Fixsterne und jene Verschiebung der Spektrallinien in Betracht, welche von der Bewegung der Erde herrührt. Beide lassen erkennen, daß nicht der Anfangsabstand maßgebend ist. Die Aberration hat ihre Ursache in der Bewegung der Erde während derjenigen Zeitspanne, welche zwischen der Ankunft des Fixsternlichtes im Objektiv und derjenigen im Okular des Beobachtungsfernrohres verstreicht. Das sind nur einige Milliardstel Sekunden. In dieser kurzen Zeit muß das lichtempfangende Atom bereits ziemlich oft die oben beschriebene Berechnung machen, nämlich die Berechnung des augenblicklich vorhandenen Abstandes und des 300 000fachen der seit Beginn der Retardierung verstrichenen Zeit. Würde das Atom in der angegebenen Zeitspanne die Berechnung nur ein- oder zweimal vornehmen, dann könnte die Aberration nicht jedesmal genau den gleichen Betrag zeigen. Das lichtempfangende Atom führt also pro Sekunde wenigstens

eine Milliarde Rechnungen aus. Wenn das Licht von der Sonne stammt, dann dauert die Wartezeit ca. 500 Sekunden, und in dieser Zeit muß das Atom mindestens eine halbe Billion Abstände berechnen. Für das von den Fixsternen kommende Licht erhöht sich die Arbeit um das Millionenfache. Diese Arbeit braucht aber nur geleistet zu werden, wenn das Licht eine unmittelbare Fernwirkung ist; sie fällt dagegen von selbst weg, wenn das Licht durch emittierte Teilchen oder durch Fortpflanzung in einem Zwischenmedium übertragen wird. Da nun der Schöpfer stets den Grundsatz der Einfachheit befolgt, ist es undenkbar, daß er dem Licht unmittelbare Wirksamkeit verliehen hat.

Die Aberration bildet für sich allein einen vollgültigen Beweis. Dieser gewinnt noch erhöhtes Gewicht durch Berücksichtigung der Tatsache, daß ein von der Sonne beleuchtetes Atom stets wenigstens 1100 Wartezeiten nebeneinander im Gedächtnis behalten und für jede derselben die vielen Abstandsberechnungen durchführen muß.

Bezüglich der elektro-induktiven Kräfte führt uns die gleiche Methode ans Ziel, mögen wir die Mehrfachantennen oder die Rahmenantennen zur Berechnung heranziehen. Somit können auch diese Kräfte nicht unmittelbar in die Ferne wirken.

7.

Die bisherigen Beweise haben den Nachteil, daß sie entweder nur unter unsicheren Voraussetzungen oder nur für einzelne Fernkräfte anwendbar sind. Von diesem Mangel ist derjenige Beweis frei, den wir aus praktischen Gründen bis zuletzt aufgespart haben und den wir jetzt darlegen wollen. Dieser letzte Beweis stützt sich auf den Satz: „Ein Körper kann nur dort wirken, wo er ist.“ Manche Philosophen betrachten diesen Satz als selbstverständlich, aber mit Unrecht; derselbe ist nichts anderes als eine Umschreibung dessen, was bewiesen werden soll. Deshalb fehlt es nicht an Versuchen, den vorstehenden Satz zu beweisen. Pesch z. B. schreibt:¹⁾ „Wäre einerseits der gedachte Effekt nicht bei der Ursache, so wäre bei der Ursache (beziehentlich dieses Effektes) eben nichts: Der wirkende Zustand der Ursache ginge auf nichts hin. Und wäre andererseits nicht die wirkende Ursache bei dem Effekt, so wäre bei dem Effekt (beziehentlich der fraglichen Ursache) wieder nichts: Die Abhängigkeit der Wirkung bezöge sich auf nichts. Wo also die Wirkung ist, da muß auch die Ursache sein.“ Dieser Beweis setzt das zu Beweisende voraus. Pesch geht davon aus, daß der Effekt nicht bei

¹⁾ Pesch, *Die großen Welträtsel* I. Tl. S. 489. Freiburg 1883, Herder.

der Ursache ist, und zieht die Folgerung, daß die Wirkung das Nichts als Objekt hat. Diese Folgerung setzt stillschweigend voraus, daß als Objekt nur etwas in Frage kommt, was sich bei der Ursache befindet.

Die Behauptung, der Körper könne nur dort wirken, wo er sich befindet, ist nicht selbstverständlich; sie ist bisher nicht bewiesen und kann in ihrer Allgemeinheit überhaupt nicht bewiesen werden. Sie enthält aber einen brauchbaren Kern: offenbar muß zwischen dem tätigen und dem leidenden Körper irgendeine Verbindung bestehen. Es ist nicht notwendig, daß diese Verbindung räumliche Natur hat. Der Ausdruck Verbindung läßt sich verschiedenartig interpretieren, er kann sehr viel und sehr wenig bedeuten. Jedenfalls muß die Verbindung real existieren, eine bloß gedachte Beziehung genügt nicht. Welcher Art ist nun diese Verbindung? Nehmen wir einmal an, Körper A übe auf Körper B eine Kraft aus, entweder eine Nah- oder eine Fernkraft! Dann ist B das Ziel der Tätigkeit. Nun muß offenbar das Ziel einer Handlung in dem tätigen Körper irgendwie real existieren. Bei geistigen Wesen ist das Ziel in gedanklicher Form vorhanden, und dieser Gedanke ist ein real existierendes Akzidens der geistigen Substanz. Bei nicht-geistigen Substanzen muß das Ziel als andersgeartetes, aber gleichfalls reales, Akzidens da sein. Wir wollen wieder symbolisch sagen: Körper A muß den Körper B kennen.

Daß jede Wirkung eine solche Kenntnis des Zieles voraussetzt, ist vollkommen sicher. Sonst müßte man annehmen, daß die Körper nicht selbst auf bestimmte andere Körper hinzielen, daß vielmehr Gott in jedem einzelnen Fall eingreift und die Tätigkeit der Körper auf das richtige Ziel hinlenkt. Bei den mittelbar wirkenden Kräften kennt allerdings der wirkende Körper sein entferntes Objekt nicht. Aber man beachte, daß der entfernte Körper überhaupt nicht das Ziel des wirkenden Körpers ist. Der letztere kennt nur denjenigen Körper, welcher die Wirkung vermittelt, nur dieser ist das Ziel seiner Tätigkeit. Was der vermittelnde Körper seinerseits tut, darum kümmert sich der wirkende Körper nicht. Es ist ihm gleichgültig, ob die Wirkung zu irgendeinem Körper hingelangt, und ebenso gleichgültig, zu welchen Körpern sie hingelangt.

Besonders deutlich ist das bei den Emissionswirkungen zu erkennen, etwa beim Licht. Das vom Atom emittierte Photon ist das Ziel, auf welches das Atom seine Wirkung ausübt. Das Atom hat das Photon zuerst in sich und kennt es. Hat sich das Photon vom Atom getrennt, dann kümmern sich beide nicht mehr umeinander. Das Photon zielt nicht auf irgendein Atom, es hat keine andere

Absicht, als seinen Weg in gerader Linie und mit gleichbleibender Geschwindigkeit fortzusetzen. Es weiß nicht, ob es einem Atom begegnen wird und wann gegebenenfalls die Begegnung erfolgen wird. Erst in dem Augenblick, wo das Photon mit einem Atom in Berührung kommt, erfährt es von dessen Existenz. Nun hat es ein Ziel für seine Tätigkeit und kann darauf eine Wirkung ausüben.

Bei Fortpflanzungskräften, z. B. beim Schall, liegen die Verhältnisse ähnlich. Die Schallquelle zielt nicht auf das Ohr des Zuhörers. Trotzdem arbeitet unser Sprachorgan nicht ohne Ziel. Sein Ziel ist eben die vor dem Mund liegende Luftschicht. Dieselbe wird in Schall-schwingungen versetzt und tritt nun ihrerseits in Tätigkeit. Sie zielt aber wieder nicht auf das Ohr des Zuhörers sondern auf die nächstfolgende Luftschicht, also auf ein ihr bekanntes Ziel. Das wiederholt sich solange, bis der Schall zum Zuhörer gelangt ist. Wie der Schall, so kennen auch die übrigen Fortpflanzungskräfte ihr entferntes Ziel nicht, aber sie arbeiten nicht ohne Ziel. Das Ziel ist der benachbarte Körper, auf den sie unmittelbar zu wirken haben und den sie kennen.

Bei den eigentlichen Fernkräften hingegen ist der entfernte Körper selbst das Ziel und muß darum dem wirkenden Körper bekannt sein. Man könnte nun vermuten, es genüge eine allgemeine Erkenntnis des Zieles. Wenn z. B. jemand eine neue Wohnung sucht, dann richtet sich seine Tätigkeit nicht auf eine bestimmte individuelle Wohnung, sondern er nimmt den nächstbesten, für seine Zwecke geeigneten, Raum. Analog könnte man sagen: Wenn der Körper seine Anziehungskraft betätigen will, dann ist sein Bestreben nicht auf bestimmte Körperindividuen gerichtet, sondern er nimmt, was er findet. Dem gegenüber ist zu betonen, daß zwischen dem wohnung-suchenden Mieter und dem fernwirkenden Körper ein großer Unterschied besteht. Der Mieter besitzt den allgemeinen Begriff „Wohnung“ und kann ihn als Norm für seine Suchtätigkeit verwenden. Der materielle Körper muß ohne allgemeine Begriffe auskommen, kann also nur individuelle Objekte als Ziele anstreben. Wir müssen also daran festhalten: Ein Körper, der auf einen anderen wirken soll, muß denselben kennen.

Wenn nun die Fernkräfte simultan wirken sollen, muß das einzelne Atom alle übrigen Atome kennen. Das ist eine übertrieben hohe Forderung. Um nur die Atome eines Körpers von einem Milligramm Gewicht aufzuzeichnen, wären schon mehr als eine Billion Bände in Lexikonformat erforderlich. Sie alle und noch viel mehr müßte das Atom kennen; es müßte also viel umfangreichere Kenntnisse besitzen als alle Menschen zusammen. Wir gelangen daher

von neuem zu dem Resultat: Unmittelbare Fernkräfte kann es nur geben, wenn die Atome nicht simultan sondern sukzessiv wirken.

8.

Welche Kenntnisse sind nun erforderlich, wenn die Fernkräfte sukzessiv wirken? In diesem Fall braucht das Atom natürlich nicht alle andern Atome gleichzeitig zu kennen, es muß immer nur von jenem Atom Kenntnis haben, auf welches gerade eine Fernwirkung auszuüben ist. Dann entsteht aber die Frage: Wenn das Atom nach getaner Arbeit das eben angezogene fremde Atom aus seinem Gedächtnis streicht, woher soll es dann später diese Kenntnis wieder bekommen? Es muß ja im Lauf der Zeit das gleiche fremde Atom immer wieder anziehen oder abstoßen. Man sieht also: Wenn das Atom auf sein eigenes Gedächtnis angewiesen bleibt, muß es dauernd alle übrigen Atome im Kopf behalten. Das ist nicht möglich, und daher bleibt nur mehr die Annahme übrig, daß das einzelne Atom stets von den übrigen Atomen die erforderlichen Mitteilungen erhält. Diese hypothetische Annahme wollen wir nun machen und in ihren Konsequenzen verfolgen. Dem Atom werde also von den übrigen Atomen jedesmal im richtigen Augenblick die Existenz desjenigen Atoms gemeldet, worauf es eine Fernkraft auszuüben hat. Diese Annahme ist durchaus zulässig, obwohl wir eine Beschreibung des einzelnen Meldevorganges nicht geben können.

Wir müssen uns nun fragen. Wie ist der gegenseitige Meldedienst organisiert? Die naheliegendste Vermutung wäre, das Atom erhalte die erforderlichen Meldungen durch seine Nachbaratome. In diesem Fall müssen die Nachbaratome selbst die nötigen Kenntnisse besitzen, sonst können sie dieselben nicht mitteilen. Nehmen wir nun für die Anzahl der Nachbaratome die unwahrscheinlich hohe Ziffer eine Trillion an, dann muß jedes dieser Atome noch das trillionenfache einer Trillion Atome kennen. Davon kann offenbar keine Rede sein. Es bleibt also nur die Möglichkeit, daß an dem Meldewesen nicht bloß die Nachbaratome sondern alle existierenden Atome beteiligt sind, d. h. daß das einzelne Atom von allen, auch von den entferntesten Atomen Meldungen entgegennimmt. Wenn diese Annahme zutrifft, läßt sich tatsächlich das Meldewesen in einer Weise organisiert denken, daß den einzelnen Atomen nur geringe Kenntnisse zugemutet werden.

Zum Beweis entwerfen wir folgendes Meldeschema: Wir ordnen im Geist alle existierenden Atome in eine geschlossene Reihe und bezeichnen sie mit den Nummern Eins, Zwei, Drei u. s. f. Als den

ersten Hintermann eines gegebenen Atoms bezeichnen wir jenes Atom, dessen Nummer um eine Einheit größer ist. Der erste Hintermann von Atom Zehn z. B. ist Atom Elf. Der zweite Hintermann ist dementsprechend Atom Zwölf u.s.w. Auf das letzte Atom folge wieder Atom Eins. Der erste Hintermann des letzten Atoms ist also Atom Eins. Auch die Bezeichnung Vordermann wollen wir gebrauchen, eine Bezeichnung, deren Sinn ohne weiteres klar ist.

Wir wollen nun zunächst ein Meldeschema für nichtretardierte Fernkräfte aufstellen: Indem wir, wie oben, die Fernwirkung als Befehl bezeichnen, setzen wir fest: Jedes Atom kennt die Existenz und Koordinaten von vier Atomen, davon zwei dauernd und zwei vorübergehend. Dauernd kennt es seinen ersten Vordermann und seinen ersten Hintermann. Der letztere hält es dauernd über seine Koordinaten auf dem Laufenden. Vorübergehend kennt jedes Atom dasjenige fremde Atom, dem es gerade einen Befehl erteilt, und jenes, von dem es gerade einen Befehl empfängt. Unser Meldeschema stellt offenbar an die Kenntnis der Atome keine übertriebenen Forderungen.

Greifen wir nun irgendein Atom heraus, z. B. Nummer 10. Dasselbe habe soeben an Atom 20 einen Fernbefehl erteilt. Letzteres führt den Befehl aus. Dann gibt es an Atom 10 eine Meldung zurück, und zwar meldet es die Existenz und die Koordinaten des Atoms 21. Zu dieser Meldung ist Atom 20 befähigt, weil nach unserer Annahme jedes Atom seinen ersten Hintermann und dessen Koordinaten kennt. Atom 10 darf jetzt das Atom 20 vergessen und muß sich an dessen Stelle das Atom 21 und dessen Koordinaten merken, die es soeben erfahren hat. Es erteilt nun dem Atom 21 einen Fernbefehl und erhält dann von demselben Nachricht über Atom 22. Auf diese Weise lernt Atom 10 nach und nach alle übrigen Atome samt deren Koordinaten zu rechter Zeit kennen und kann auf sie die entsprechenden Fernkräfte ausüben.

Während Atom 10 seine Befehle hinausgibt und die einlaufenden Meldungen entgegennimmt, sehen die übrigen Atome nicht untätig zu. In dem Augenblick, wo z. B. Atom 10 an seinen zehnten Hintermann einen Befehl erteilt, übt auch jedes andere Atom auf seinen zehnten Hintermann eine Fernwirkung aus, also Atom 11 auf Atom 21, Atom 12 auf Atom 22 u. s. f. Dann empfängt jedes Atom Nachricht über seinen elften Hintermann u. s. f.

Das Atom braucht nicht jedesmal, wann ihm die Existenz eines Atoms gemeldet wird, demselben auch wirklich einen Befehl zu erteilen; die Meldung zwingt nicht zu einem Fernbefehl, sondern

schaft nur die Möglichkeit. Ob das Atom von der gebotenen Möglichkeit Gebrauch macht, hängt von den Naturgesetzen ab. Vielleicht spielt auch der Zufall mit, soweit in der Natur vom Zufall die Rede sein kann. Dann arbeitet das Atom ganz so unregelmäßig, wie man es heute bezüglich der Photonemission annimmt. Unser Meldeschema läßt sich also der heutigen Lichttheorie ohne Zwang anpassen.

Wenn das beschriebene Schema in der Natur verwirklicht ist, dann muten unmittelbare Fernkräfte den Atomen keine übertriebenen Leistungen zu. Das Problem der Fernkräfte gipfelt also in der Frage: Ist das beschriebene Meldeschema oder ein ähnliches in der Natur verwirklicht?

Diese Frage ist mit Nein zu beantworten, weil das Schema etwas Unnatürliches ist. Unser Schema verbindet das einzelne Atom dauernd aufs engste mit seinem Hintermann, zu dem es im Lauf der Weltgeschichte vielleicht niemals in engere Beziehung treten wird. Solche Beziehungen bestehen nur zwischen denjenigen Atomen, die zu einem einzigen Körper vereinigt sind. Auf diese innere Zusammengehörigkeit nimmt das Meldeschema keine Rücksicht. Das einzelne Atom erweist jedem fremden Atom, auch dem fernstgelegenen, die gleiche Aufmerksamkeit, wie jenen, welche es im gleichen Molekül als Nachbarn hat. Ebenso unnatürlich ist es, daß die Reihenfolge unseres Schemas auf den inneren Zusammenhang der Ereignisse keine Rücksicht nimmt. Die Reihenfolge besteht ja seit Anfang der Welt und bleibt unveränderlich erhalten, solange die Welt steht. Sie kann also nicht den jeweils stattfindenden Ereignissen angepaßt werden und muß im allgemeinen sinnlos wirken. Ein Atom A meiner rechten Hand habe etwa gerade einem Atom B meines Schreibtisches einen Befehl erteilt. Dann richtet es den nächsten Befehl nicht an ein Nachbaratom von B im Schreibtisch, sondern an ein Atom im Sirius. Dann kommt ein Atom der Wüste Sahara daran, dann ein Atom meiner Zunge, dann gehen die Befehle nach Grönland, dann nach der Milchstraße u.s.w. Eine solche Reihenfolge ist etwas Unnatürliches. Ein so gekünsteltes System hätte Gott nur dann in Kauf genommen, wenn keine andere Möglichkeit bestünde. Davon kann aber keine Rede sein, denn Gott brauchte zur Vermeidung des unsinnigen Meldeschemas nur statt unmittelbarer Fernkräfte solche Kräfte zu erschaffen, die mittelbar in die Ferne wirken.

Es erübrigt noch die Frage, ob sich nicht durch Wahl eines anderen Meldeschemas die angeführten Bedenken beseitigen lassen. Andere Schemate lassen sich in der Tat angeben, aber nur dann, wenn man den Atomen höhere Leistungen auferlegt. Man müßte

vom einzelnen Atom verlangen, daß es mehr als zwei fremde Atome dauernd und mehr als zwei vorübergehend im Gedächtnis behält. Trotzdem würden unsere Bedenken nicht beseitigt. Die fremden Atome, welche das einzelne Atom zu merken hat, sowie deren Reihenfolge müßten schon bei Erschaffung der Welt bestimmt worden sein, also ohne Rücksicht auf die innere Zusammengehörigkeit der Atome und ohne Rücksicht auf die stattfindenden Ereignisse. Selbst wenn man dem einzelnen Atom zumutet, daß es eine Trillion fremder Atome dauernd im Gedächtnis behält, kann die Auswahl nicht sinngemäß erfolgen, denn eine Trillion Atome sind dem Weltall gegenüber nicht soviel wie ein Wassertropfen gegenüber dem atlantischen Ozean. Trotz dieser Riesengedächtnisleistung wäre es nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeitsrechnung höchst unwahrscheinlich, daß sich unter der Trillion fremder Atome wenigstens ein Atom des gleichen Körpers befände. Somit sind alle Meldeschemata ohne Ausnahme zu verwerfen.

Das oben aufgestellte Meldeschema ist für nichtretardierte Fernkräfte berechnet. Wenn Retardierung vorliegt, dann muß das Meldeschema erweitert werden. Das Atom müßte vorübergehend jedenfalls Trillionen von Trillionen fremder Atome im Gedächtnis behalten, wahrscheinlich sogar alle Atome merken. Das würde eine unzulässige Belastung für die Atome bedeuten. Man sieht also, daß für den Schöpfer ein Meldeschema überhaupt nicht in Betracht kam und daß die Atome nicht sukzessiv wirken. Damit entfällt auch die letzte Möglichkeit für die Annahme, daß eine der vier Hauptfernkräfte unmittelbar wirke.