

Ein gespenstisches Universum

In den merkwürdig anmutenden wissenschaftlichen Theorien des 20. Jahrhunderts scheint der „gesunde Menschenverstand“ völlig ausgeschaltet zu sein. Die komplizierte Welt der modernen Physik läßt die Zeit mal schneller und mal langsamer oder gar zurück fließen. Materie und Antimaterie befinden sich im Zustand ständigen Wandels.

Im 19. Jahrhundert hielten die Wissenschaftler ihr Modell des Universums für eine solide, zuverlässige und dauerhafte Konstruktion. Doch innerhalb von 50 Jahren wurde sie durch die Quantenmechanik und Relativitätstheorie vollständig zerstört.

Die ersten Zweifel stellten sich ein, als es Michelson und Morley in ihrem Versuch nicht gelang, einen Beweis für die Bewegung der Erde durch den Äther zu finden. Die Physiker Hendrik Lorentz und G. F. Fitzgerald boten folgende Erklärung: Die Größe von Gegenständen hängt von ihrer Geschwindigkeit ab – ein bewegtes Objekt schrumpft in die Richtung, in die es sich bewegt. Sie postulierten ferner, daß die Messung einer Zeitdauer mit einer Uhr von der Geschwindigkeit, mit der sich die Uhr bewegt, abhängt. Der Ausdruck „die Zeit

Eine Fotografie einzelner Atome. Jeder Lichtpunkt auf diesem Bild stellt ein einzelnes Atom auf der Spitze einer Wolframmadel dar. Die symmetrische Anordnung der Atome gibt die kristalline Struktur des Metalls wieder. Für diese Aufnahme wurde an die sehr feine Nadelspitze ein starkes elektrisches Feld gelegt. Elektronen wurden von den Atomen abgezogen und bildeten dieses Muster.

eilt dahin“ erhielt eine ganz neue Bedeutung! Die beiden Forscher meinten, daß die Erfolglosigkeit des Michelson-Morley-Versuchs durch derartige Veränderungen im Meßapparat erklärbar seien.

Lorentz entwickelte ein mathematisches System, in dem die Zeit- und Raummessungen eines bewegten Beobachters zu denen eines ruhenden Beobachters in Beziehung gesetzt wurden. Die im Alltag erreichten Geschwindigkeiten sind im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit – die 300 000 km in der Sekunde beträgt – sehr gering. Deshalb lassen sich diese Effekte nicht beobachten. Doch wenn sich Licht zum Beispiel mit der Geschwindigkeit eines Rennwagens bewegen würde, hätten es schon die Menschen der vergangenen Jahrhunderte als ganz normal empfunden, daß sich Pfeile und Kanonenkugeln erkennbar in Flugrichtung verkürzen und erst bei Stillstand wieder ihre ursprüngliche Länge erhalten; niemand würde sich wundern, daß die Zeiger einer Uhr langsamer gehen, wenn sie bewegt wird.

Einige Ideen von Lorentz wurden in leicht veränderter Form von Einsteins 1905 veröffentlichter Relativitätstheorie übernommen. Einstein ging insofern weiter, als er keinen Unterschied mehr zwischen bewegten und ruhenden Gegenständen machte. Für den Beobachter in einer schnellen Rakete würden sich Gegenstände außerhalb der Rakete verkürzen und Uhren außerhalb von ihr schneller gehen. Einstein zeigte, daß dieser eigenartige Geschwindigkeitseffekt auch die Masse eines Gegenstandes verändert. Wenn seine Geschwindigkeit wächst, nimmt auch seine Masse zu, so daß es immer schwerer wird, den Gegenstand zu beschleunigen. Wenn seine Geschwindigkeit sich der Lichtgeschwindigkeit nähert, vervielfältigt sich seine Masse ins Unermeßliche. Einstein kam zu dem Ergebnis, daß die Lichtgeschwindigkeit eine Grenze darstellt, die kein körperlicher Gegenstand zu erreichen vermag. Heute können Physiker geladene Teilchen fast bis auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigen. Bei diesem Tempo wird ihre Masse um ein Vielfaches größer als ihre Ruhemasse.

Außerdem nahm Einstein an, daß die Lichtgeschwindigkeit für jeden Beobachter eine feste Größe sei, unabhängig davon, mit welcher Geschwindigkeit er sich bewegt. Auch dies widerspricht der Alltagserfahrung. Wenn zwei Autos, die beide mit 80 km/h fahren, sich aufeinander zu bewegen, so sieht der Fahrer des einen Wagens den anderen sich mit einer Geschwindigkeit von 160 km/h nahen. Doch Einstein zeigte, daß die relative Geschwindigkeit um einen unendlich kleinen Wert geringer ist.

Wenn man sich jedoch zwei Lichtstrahlen denkt, die sich mit Lichtgeschwindigkeit aufeinander zubewegen, dann würde eine Messung der Geschwindigkeit des nahenden Lichtstrahls nicht doppelte Lichtgeschwindigkeit, sondern stets nur einfache Lichtgeschwindigkeit ergeben, unabhängig von dem Tempo, mit dem sich der Beobachter dem

Lichtstrahl nähert. Er würde im Grunde das Experiment von Michelsen und Morley wiederholen und zu dem gleichen Ergebnis wie sie kommen – nämlich daß in der Geschwindigkeit des Lichts keine Veränderungen feststellbar sind. Es erwies sich jetzt, daß Raum und Zeit nicht als voneinander unabhängige Größen betrachtet werden dürfen. 1908 führte Hermann Minkowski den Begriff „Raumzeit“ ein, um mit seiner Hilfe Verständnisschwierigkeiten in bezug auf diese Veränderungen in Raum und Zeit zu beheben.

Nach Minkowskis Theorie hat das Universum vier Dimensionen: die drei räumlichen – Länge, Breite und Höhe – und die der Zeit. Der Werdegang eines Körpers (eines Menschen, eines Bildes usw.) wird durch eine „Weltlinie“ dargestellt, die sich vom Zeitpunkt des Entstehens eines Objekts bis zu dessen Untergang ihren Weg durch Raum und Zeit sucht. In diesem Modell des Universums gibt es keine Bewegung oder Veränderung. Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft werden erst vom menschlichen Bewußtsein eingeführt. Der Ausschnitt der Raumzeit, der bewußt wahrgenommen wird, bildet für den Beobachter den gegenwärtigen Augenblick. Einige Theoretiker haben die Vermutung geäußert, daß das Bewußtsein wie ein winziger Lichtpunkt auf der Weltlinie des Beobachters entlangwandert. Obwohl das vierdimensionale Universum statisch ist und keine Veränderungen kennt, hat der Betrachter den fälschlichen Eindruck, daß etwas außerhalb von ihm geschieht. Diese Situation ist einer nächtlichen Autofahrt vergleichbar, wenn im Scheinwerferlicht Bäume auftauchen, vorbeizueilen scheinen und wieder verschwinden.

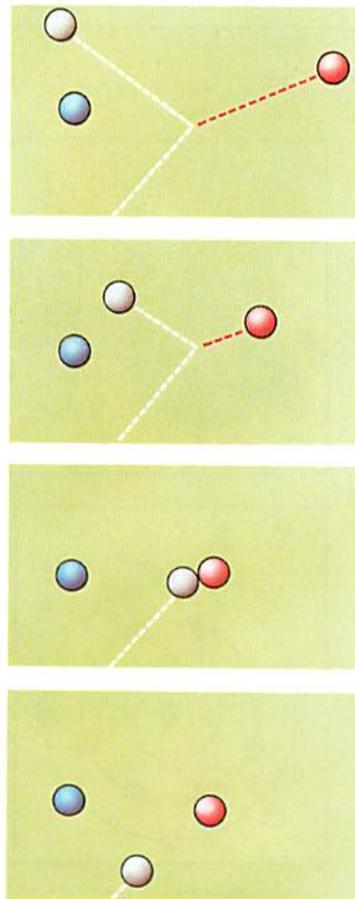
Ins Innere des Atoms

Nach den Theorien von Einstein und Minkowski folgten noch härtere Angriffe auf den „gesunden Menschenverstand“. J. J. Thomson zeigte, daß das Elektron weniger als ein Tausendstel der Masse des Wasserstoff-Atoms besitzt. Andere Forscher entdeckten das Proton und das Neutron. Beide haben ungefähr die gleiche Masse wie ein Wasserstoff-Atom, doch ist das Neutron elektrisch neutral, während das Proton eine positive Ladung von gleicher Größe wie das negativ geladene Elektron trägt. Ernest Rutherford postulierte, daß jedes Atom aus einem Kern von Protonen und Neutronen besteht, der von einer Elektronenhülle umgeben ist. Die Elektronen werden durch die Anziehungskraft zwischen ihrer negativen Ladung und der positiven Ladung der Protonen auf einer Kreisbahn gehalten. Rutherford war der Meinung, die Elektronen umkreisen den Kern wie die Planeten die Sonne; wie das Sonnensystem besteht das Atom hauptsächlich aus leerem Raum. Angenommen, das Atom wäre eine Kugel von der Größe der Erde, dann hätte der Kern in der Mitte die Ausmaße einer Kathedrale und die Elektronen die Größe eines Wohnhauses.



Oben:
Hermann Minkowski; er prägte den Begriff der „Raumzeit“.

Unten:
Die Bewegung von Billardkugeln in „Schnappschüssen“ (links, von unten nach oben) und in der Raum-Zeit (rechts); die vertikale Richtung verkörpert die Zeit. Die Geschichte eines jeden Gegenstandes ist in seiner „Weltlinie“ erfaßt.

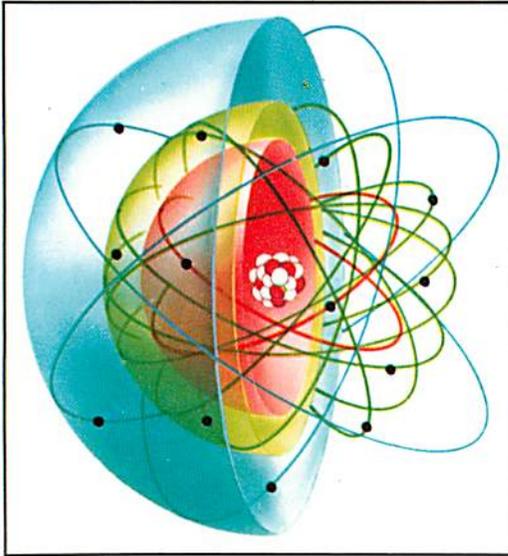


Der dänische Physiker Niels Bohr ging noch weiter. Er sagte, jedem Kreisbahnradius entspräche ein Energieniveau. Er griff den schon lange verbreiteten Gedanken auf, daß bei atomaren Vorgängen Energie nur als Vielfaches einer grundlegenden Energieeinheit, einem „Quant“, auftritt und zeigte, daß die Elektronen sich deshalb nur auf bestimmten Kreisbahnen um den Kern bewegen können. Die Elektronen sollten von einer Schale auf die andere springen können. Diese Theorie setzte sie sich durch.

Andere Forscher wiesen nun weitere merkwürdige Eigenschaften dieser subatomaren Teilchen nach. Wenn ein Elektron mit einem anderen Elementarteilchen zusammenstößt, reagiert es wie eine winzige Kanonenkugel, doch in anderen Experimenten verhalten sich Elektronen wie Wellen. Das Elektron konnte beliebig als Welle oder als Teilchen beschrieben werden. Sir William Bragg witzelte: „Montags, mittwochs und freitags scheinen Elektronen Wellen zu sein, doch dienstags, donnerstags und samstags benehmen sie sich wie Teilchen.“ Vielleicht brauchen sie den Sonntag, um sich von ihren an Jekyll und Hyde erinnernde Verwandlungen zu erholen.

Diese Ambivalenz der Elementarteilchen wird in Bohrs Prinzip der Komplementarität Rechnung getragen:

„Der Begriff der Komplementarität soll der Beschreibung einer Situation dienen, in der wir ein und dasselbe Ereignis durch zwei verschiedene Bezugssysteme betrachten



Links:
Früher hielt man das Atom für unteilbar, in Wirklichkeit hat es eine sehr komplexe Struktur. Eine ganze Anzahl von negativ geladenen Elektronen umkreisen den schweren Kern, der aus positiv geladenen Protonen und ungeladenen Neutronen besteht. Elektronen bewegen sich auf Kreisbahnen, die zu „Schalen“ geordnet sind. Sie bestimmen die chemischen Eigenschaften des Atoms.

Unten: 1913 sprach Niels Bohr die Vermutung aus, daß sich die Elektronen nur auf ganz bestimmten Radien um den Kern bewegen können. Damals konnte man sich diese Einschränkung noch nicht erklären.



können. Diese beiden Systeme schließen einander aus, und erst die Nebeneinanderstellung dieser kontradiktorischen Systeme ermöglicht eine umfassende Sicht der Erscheinungen der Phänomene.“

Bohr führte auch außerhalb der Physik viele Beispiele für komplementäre Beziehungen zwischen Ideen an. So können zum Beispiel moralisches Urteil und psychologische Erklärung menschlicher Taten unvereinbar miteinander sein, und doch bedarf es beider, um sich ein vollständiges Bild einer Tat machen zu können. Auch Werner Heisenberg trug dazu bei, die alte Vorstellung eines festen stofflichen Universums durch das Konzept eines unstoff-

lichen Welt-Gewebes zu ersetzen, wie ihn die theoretische Physik des 20. Jahrhunderts entwarf. Er formulierte die Unschärferelation. Sie besagt, daß bei subatomaren Teilchen unmöglich Position und Geschwindigkeit gleichzeitig und präzise bestimmt werden können. Da subatomare Teilchen Wellencharakter haben, ist der Begriff der Position für sie sinnlos. Die Gleichungen der theoretischen Physik arbeiten zudem mit Möglichkeiten oder Wahrscheinlichkeiten, nicht mit Tatsachen.

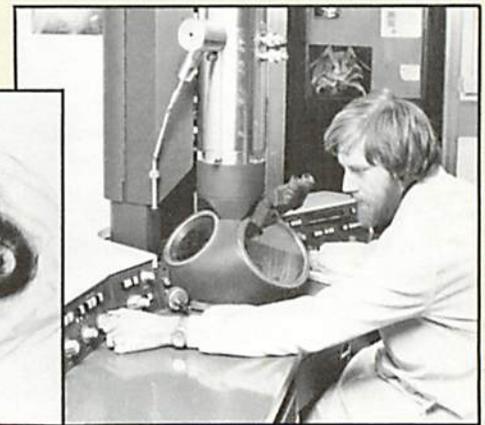
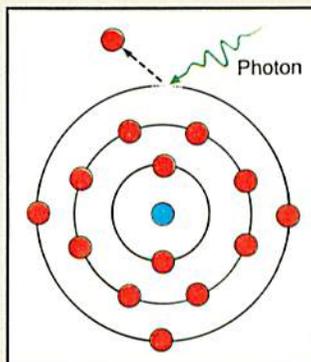
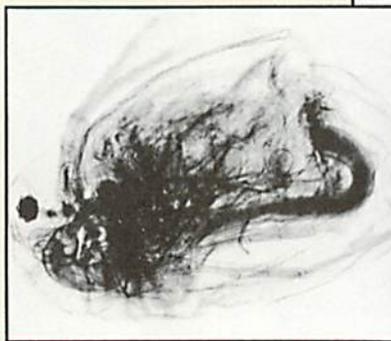
Die Feldtheorie bedeutet auch, daß Materie sich aus wellenähnlichen Prozessen zusammensetzt und das anscheinend feststoffliche Universum, wie wir es mit unseren Sinnesorganen wahrnehmen, eine Illusion ist. Auf der subatomaren Ebene gibt es keine „Gegenstände“ mit einer unveränderlichen „Masse“ und einem gegebenen „Volumen“, die durch „Entfernungen“ voneinander getrennt sind und durch „Kräfte“, wie sie die Mechanik annimmt, aufeinander einwirken. Die Einheit, die wir Elektron nennen, hat zu einer gegebenen Zeit weder eine bestimmte Position noch eine bestimmte Geschwindigkeit und ist von dem Rest des Universums nicht eindeutig abtrennbar. Die Quantentheorie besagt, welche Umgebung auch immer spezifiziert wird, so besteht eine kleine und begrenzte Wahrscheinlichkeit, daß sich das Elektron dort befindet. Jedes Elementarteilchen ist gewissermaßen mit jedem Teil des Universums verbunden.

Der Gedanke liegt nahe, daß unser mangelhaftes Wissen über Position, Geschwindigkeit usw. eines Elementarteilchens auf die fehlende

Eine Identitätskrise

Eine großer Triumph der Wissenschaften des 19. Jahrhunderts war der Nachweis, daß Licht aus Wellen besteht. Diese betrachtete man als Schwankungen in elektrischen und magnetischen Feldern. Ihre Wellenlänge wurde genau gemessen. Trotz der Beweise für diese Theorie konnten sie doch nicht die Tatsache erklären, daß Lichtwellen Elektronen aus Atomen herauskatapultieren können (unten rechts). Dieser „photoelektrische“ Effekt wird im Belichtungsmesser angewendet: Die durch das Licht freigesetzten Elektronen bilden einen elektrischen Strom, dessen Stärke die Lichtintensität anzeigt. Selbst ein äußerst blasses Licht kann Elektronen freisetzen. Im gleichen Jahr, in dem Albert Einstein die Relativitätstheorie veröffentlichte, stellte er die These auf, in diesem Experiment verhalte sich Licht wie ein Strom von teilchenähnlichen „Photonen“. In einigen Versuchen verhält sich das Licht wie ein Strom von Teilchen, in anderen dagegen wie eine Welle.

Dieselbe Doppeldeutigkeit traf bei den Elementarteilchen zu. 1926 wurde gezeigt, daß sich Elektronen unter gewissen Um-



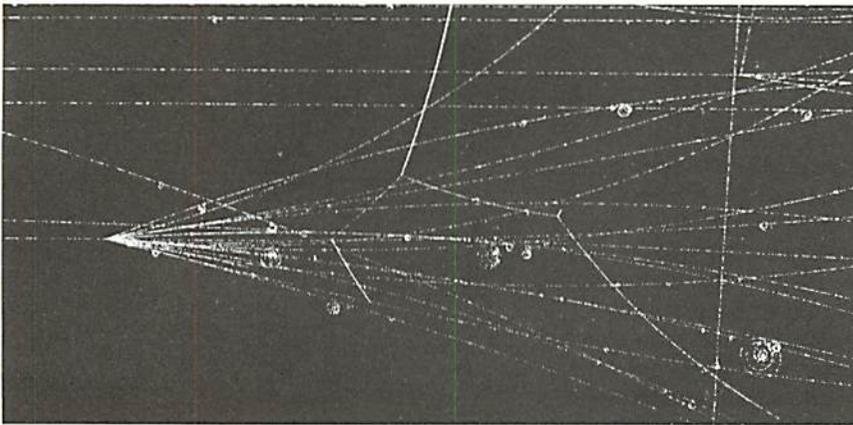
ständen wie Wellen verhalten. Wie der photoelektrische Effekt findet auch dieses Phänomen eine praktische Anwendung. Ein bestimmter Typ des Elektronenmikroskops (oben) verwendet anstelle eines Lichtstrahls einen gebündelten Strahl aus Elektronen und vermag auf diese Weise Bilder eines Gegenstandes zu liefern, zum Beispiel das eines Wasserfloh (oben links). Die Wellenlänge der Elektronen ist so kurz, daß sie Details wiedergeben können, die Hunderte von Malen kleiner sind als die unter einem Lichtmikroskop sichtbaren Strukturen.

Genauigkeit der zur Verfügung stehenden Meßgeräte zurückzuführen ist. Doch dem ist nicht so. Die Ungewißheit ergibt sich vielmehr aus dem Wesen der Elementarteilchen.

Tag für Tag wird Masse in Energie umgewandelt und umgekehrt; Ströme von Neutrinos (Teilchen ohne Masse, ohne elektrische Ladung und ohne Magnetfeld) kommen aus fernen Gegenden des Weltraums und durchdringen die „feste“ Erde, als sei der Planet eine Geistererscheinung; Forscher arbeiten mit Antimaterie-Teilchen, den Spiegelbildern der Teilchen, aus denen unser bekanntes Universum besteht.

1931 sagte der britische Physiker P. A. M. Dirac die Existenz des Positrons, eines Antimaterie-Teilchens, voraus. Carl Anderson konnte es 1932 experimentell nachweisen. Es hat dieselbe Masse wie ein Elektron, doch die

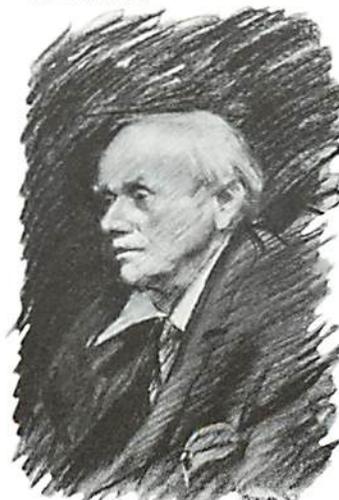
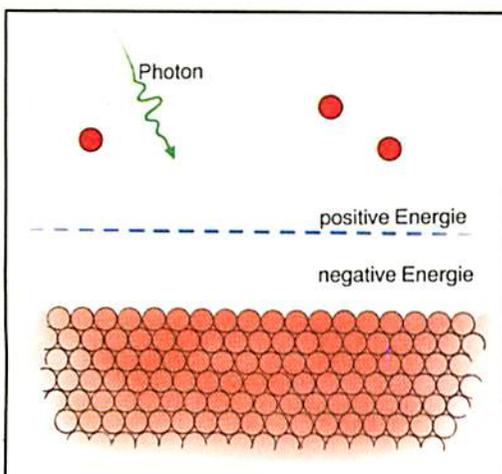
Ein Zusammenstoß von Elementarteilchen. Das Foto zeigt eine Nebelkammer, ein Gefäß, das mit flüssigem Wasserstoff gefüllt ist. Links tritt ein Pion, ein sehr kurzlebiges Teilchen, ein. An seinem Pfad entlang kocht der Wasserstoff und erzeugt eine Spur von winzigen Bläschen. Das Pion trifft auf den aus einem einzigen Proton bestehenden Kern eines Wasserstoffatoms, das zerfällt und eine Kaskade von Teilchen hervorbringt. Ihre Eigenschaften lassen sich an der Länge, Stärke und Krümmung ihrer Pfade erkennen.



entgegengesetzte elektrische Ladung. Wenn es auf ein Elektron trifft, werden beide vernichtet, wobei stark energiegeladene Gammastrahlen entstehen. Der Physiker Richard Feynman verfocht die These, das Positron sei ein Elektron – jedoch ein Elektron, das sich in der Zeit rückwärts bewegt. Tatsächlich kann mathematisch gezeigt werden, daß ein in der Zeit rückwärts gehendes Elektron sich genau wie ein Positron verhalten würde. Feynman ging noch weiter und behauptete, sämtliche Antimaterie-Teilchen seien Teilchen, die sich in der Zeit rückwärts bewegen.

Unten:

P. A. M. Dirac äußerte die Vermutung, es gäbe ein „Meer“ von nicht wahrnehmbaren Elektronen mit negativer Energie (links). Gewöhnliche Elektronen haben positive Energie. Ein Photon mit sehr hoher Energie kann ein Elektron aus dem „Meer“ herauslösen (rechts). Das Elektron scheint geschaffen worden zu sein. Gleichzeitig entsteht ein „Loch“ in dem Meer – ein Anti-Elektron oder Positron.



Dirac war zu seiner Voraussage gelangt, nachdem er die von ihm vorgeschlagenen Lösungen der quantenmechanischen Gleichungen näher erforschte. Er stellte fest, daß jede Lösung, die ein Elektron in einem gewissen Energiezustand beschrieb, eine andere Lösung voraussetzte, die ein Elektron mit umgekehrter Ladung ergab. Doch wenn es diese umgekehrten energetischen Zustände gibt, warum fallen die Elektronen nicht in diesen bodenlosen Schlund an negativer Energie, wodurch die Atome kollabieren und das Universum in einem Sturm von Strahlung untergehen würde? Dirac äußert die Vermutung, daß alle umgekehrten Energiezustände bereits von einem unendlichen „Meer“ von Elektronen besetzt sind. Paulis „Ausschluß-Prinzip“ besagt jedoch, daß sich zwei Elektronen nicht in demselben energetischen Zustand befinden können. Da alle möglichen, umgekehrten energetischen Zustände abgedeckt sind, bleiben die Elektronen unseres Universums erhalten.

Normalerweise ist dieses unendliche Elektronenmeer in atomaren Prozessen nicht erkennbar, so wie wir auch die Luft um uns herum nicht wahrnehmen. Gelegentlich jedoch kann ein Antimaterie-Elektron so viel Energie aufladen, daß es aus seinem „Loch“ in Diracs Meer klettert. Dem Forscher stellt es sich als ein ganz gewöhnliches Elektron dar. Doch das Loch in dem Meer zeigt sich ebenfalls als ein Elektron mit positiver Ladung – das von Dirac postulierte Antiteilchen-Positron.

Alle diese paradox anmutenden Erkenntnisse haben es dem Menschen gestattet, in die atomare Welt einzugreifen, um Kernspaltungen vorzunehmen und Atomkraftwerke zu bauen. Jetzt strebt der Mensch der Sagengestalt des Prometheus nach, der das Feuer vom Himmel stahl, denn die Physiker versuchen, durch Kernfusionen auf der Erde die energie-freisetzenden Prozesse der Sterne zu wiederholen. Einige Parapsychologen haben die Hoffnung, daß unser modernes, quantenmechanisches Modell des Universums auch im nicht weniger eigenartigen Bereich der paranormalen Phänomene zur Entwicklung ähnlich fruchtbarer Theorien beitragen wird.

