



2 - Umbruch in der Physik Anfang des 20. Jahrhunderts

1. Mit der Arbeit zweier Physiker, Max Planck und Albert Einstein, wurde Anfang des 20. Jahrhunderts das durch Descartes und Newton geprägte Weltbild grundlegend verändert. Durch die Entdeckung des „Planckschen Wirkungsquantums“ (1900) und Einsteins Beschreibung der speziellen (1905) und der allgemeinen (1915) „Relativitätstheorie“ wurde der Umbruch in der modernen Physik eingeleitet mit weitreichenden Konsequenzen für unser Weltbild. Die strikte Trennung zwischen beobachtendem Subjekt und beobachtetem Objekt verlor ihren Sinn (Descartes' *res cogitans* : *res extensa*); die Kontinuität beim Wirken der Kräfte musste aufgegeben werden; der absolute Raum (Newton) war als Bezugsrahmen abgeschafft; die Zeit verlor ihre eigenständige Funktion und wurde als eine vierte Dimension zu einer Funktion des Raumes (Raum-Zeit). Somit gibt es „Gleichzeitigkeit“ nur innerhalb eines Bezugssystems. Damit verlor auch die Erkenntnistheorie Kants einen Pfeiler: Raum und Zeit sind nicht mehr die a priori gegebenen absoluten Formen der Anschauung. Schließlich wird der „Euklidische Raum“ (Geometrie in der Ebene) erweitert zum Riemannschen Raum (gekrümmter Raum) im Schwarzschildfeld.
2. [Max Planck](#) (* 1858 in Kiel; aufgewachsen in München; † 1947 in Göttingen), Professor für Theoretische Physik an der Friedrich-Wilhelms-Universität in Berlin, gilt als Begründer der Quantenphysik. Für die Entdeckung des „**Planckschen Wirkungsquantums**“ („h“) erhielt er 1919 den Nobelpreis für Physik des Jahres 1918. Planck hatte sich seit 1895 mit der sog. „Schwarzen Wärmestrahlung“ beschäftigt und konnte 1900 das experimentell gefundene „Plancksche Strahlungsgesetz“ formulieren, in der das kleinst mögliche „Wirkungsquantum“ des Lichtes bzw. der Energie überhaupt die entscheidende Rolle spielte. Das war der Beginn der modernen Quantenphysik. Die Konsequenzen nicht nur für den Bereich der Physik, sondern für das wissenschaftliche Denken überhaupt und die Beschreibung des neu zu entwerfenden Weltbildes waren Planck sehr genau bewusst. Gerade die Auswirkungen auf das „wissenschaftliche Weltbild“ haben die öffentlichen Vorträge und Arbeiten Plancks in seiner Spätzeit geprägt. „Man klagt zu Unrecht, dass unsere Zeit keine Philosophen mehr habe“, pflegte der Theologe und Wissenschaftsorganisator Adolf von Harnack zu sagen, „sie sitzen nur jetzt in der anderen Fakultät, und ihre Namen sind Planck und Einstein.“ (zit. n. Armin Hermann, in: M. Planck, Vom Wesen der Willensfreiheit, S. 10)
3. Die moderne Physik geprägt und das neuzeitliche Weltbild von Grund auf verändert zu haben – und sich dessen sehr genau bewusst gewesen zu sein, das gilt in noch höheren Maße von [Albert Einstein](#) (*1879 in Ulm; 1914 – 1932 Direktor des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Physik in Berlin; ab 1933 in Princeton (USA) am Institute for Advanced Study; 1933 Verbrennung von Einsteins Büchern als „undeutsches Schrifttum“ (Goebbels); 1934 „Strafausbürgerung“; † 1955 in Princeton, USA). 100 führende Physiker wählten ihn 1999 zum größten Physiker aller Zeiten.

Die **spezielle Relativitätstheorie** ist eine physikalische Theorie über Raum und Zeit. Sie verallgemeinert das galileische Relativitätsprinzip der klassischen Mechanik auf alle Gesetze der Physik. Dieses Prinzip besagt, dass in allen relativ zueinander gleichförmig bewegten Bezugssystemen (*Inertialsystemen*) die gleichen physikalischen Gesetze gelten. Beim Vergleich dieser Systeme gelten nach Einstein nun aber die sog. „Lorentztransformationen“, durch die **Raum und Zeit gemeinsam verändert** werden. Dabei wird die Lichtgeschwindigkeit „c“ von Einstein als unveränderliche Konstante angenommen; die Vakuum-Lichtgeschwindigkeit ist die größtmögliche Geschwindigkeit überhaupt. Eine Konsequenz dieser mathematischen Theorie (Maxwell-Gleichungen) ist die Entsprechung von Masse und Energie in der berühmten Formel $E=mc^2$.

In der **Allgemeinen Relativitätstheorie** erweitert Einstein seine Sicht auf relativ zueinander beschleunigte Bezugssysteme. Durch die Gleichsetzung von träger und schwerer Masse wird die **Gravitation als geometrische Eigenschaft der gekrümmten vierdimensionalen Raumzeit** beschrieben (Attraktionskraft).

Durch Beobachtungen und Experimente konnten die Voraussagen beider Theorien bis heute genauestens bestätigt werden: z. B. Rotverschiebung des Lichtes in der Astronomie („Doppler-Effekt“); Zeit-Dilatation, d.h. Verlangsamung der Zeit bei relativ größerer Geschwindigkeit bzw. größerer Nähe zum Schwerkraftzentrum (umgekehrt gesagt: Für einen Astronauten in 300 km über der Erde vergeht die Zeit ein wenig schneller; wichtig bei der Korrektur von GPS-Daten); „Gravitationslinsen“; „Schwarze Löcher“.

Max Planck – Texte

Der Aufbau der physikalischen Wissenschaft vollzieht sich auf der Grundlage von Messungen, und da jede Messung mit einer sinnlichen Wahrnehmung verknüpft ist, so sind alle Begriffe der Physik der Sinnenwelt entnommen. Daher bezieht sich auch jedes physikalische Gesetz im Grunde auf Ereignisse der Sinnenwelt. Mit Rücksicht auf diesen Umstand neigen manche Naturforscher und Philosophen zu der Auffassung, daß die Physik es letzten Endes überhaupt nur mit der Sinnenwelt, und zwar natürlich mit der menschlichen Sinnenwelt zu tun habe, daß also z. B. ein sogenannter „Gegenstand“ in physikalischer Hinsicht nichts weiter sei, als ein Komplex von verschiedenartigen zusammentreffenden Sinnesempfindungen. Es muß immer wieder betont werden, daß eine solche Auffassung niemals durch logische Gründe widerlegt werden kann. Denn die Logik allein ist nicht imstande, irgend jemanden aus seiner eigenen Sinnenwelt herauszuführen; sie kann ihn nicht einmal zwingen, die selbständige Existenz seiner Mitmenschen anzuerkennen.

Aber in der Physik, wie in jeder anderen Wissenschaft, regiert nicht allein der Verstand, sondern auch die Vernunft. Nicht alles, was keinen logischen Widerspruch aufweist, ist auch vernünftig. Und die Vernunft sagt uns, daß, wenn wir einem sogenannten Gegenstand den Rücken kehren und uns von ihm entfernen, doch noch etwas von ihm da ist; sie sagt uns weiter, daß der einzelne Mensch, daß wir Menschenwesen alle mitsamt unserer Sinnenwelt, ja mitsamt unserm ganzen Planeten nur ein winziges Nichts bedeuten in der großen unfaßbar erhabenen Natur, deren Gesetze sich nicht nach dem richten, was in einem kleinen Menschenhirn vorgeht, sondern bestanden haben, bevor es überhaupt Leben auf der Erde gab, und fortbestehen werden, wenn einmal der letzte Physiker von ihr verschwunden sein wird.

Durch solche Erwägungen, nicht durch logische Schlußfolgerungen, werden wir genötigt, hinter der Sinnenwelt noch eine zweite, die reale Welt, anzunehmen, welche ein selbständiges, vom Menschen unabhängiges Dasein führt, eine Welt, die wir allerdings niemals direkt, sondern stets nur durch das Medium der Sinnenwelt hindurch wahrnehmen können, mittels gewisser Zeichen, die sie uns übermittelt; ebenso wie wenn wir einen Gegenstand, der uns interessiert, nur durch eine Brille betrachten können, deren optische Eigenschaften uns gänzlich unbekannt sind.

...

Zu diesen beiden Welten, der Sinnenwelt und der realen Welt, kommt nun noch eine dritte Welt hinzu, die wohl von ihnen zu unterscheiden ist: die Welt der physikalischen Wissenschaft, oder das physikalische Weltbild. ... Die Aufgabe des physikalischen Weltbildes kann man in doppelter Weise formulieren, je nachdem man das Weltbild mit der realen Welt oder mit der Sinnenwelt in Zusammenhang bringt. Im ersten Fall besteht die Aufgabe darin, die reale Welt möglichst vollständig zu erkennen, im zweiten darin, die Sinnenwelt möglichst einfach zu beschreiben. Es wäre müßig, zwischen diesen beiden Fassungen eine Entscheidung treffen zu wollen. Vielmehr ist jede von ihnen für sich allein genommen einseitig und unbefriedigend. Denn auf der einen Seite ist eine direkte Erkenntnis der realen Welt ja überhaupt nicht

möglich, und andererseits läßt sich die Frage, welche Beschreibung mehrerer zusammenhängender Sinneswahrnehmungen die einfachste ist, gar nicht grundsätzlich beantworten.

Die Hauptsache bleibt, daß die genannten beiden Formulierungen der Aufgabe sich in ihrer praktischen Auswirkung nicht widersprechen, sondern im Gegenteil in glücklicher Weise ergänzen. Die erste verhilft der vorwärts tastenden Phantasie des Forschers zu den für seine Arbeit völlig unentbehrlichen befruchtenden Ideen, die zweite hält ihn auf dem sicheren Boden der Tatsachen fest.

Zweitens ist es aber höchst bemerkenswert, daß, obwohl der Anstoß zu jeder Verbesserung und Vereinfachung des physikalischen Weltbildes immer durch neuartige Beobachtungen, also durch Vorgänge in der Sinnenwelt, geliefert wird, dennoch das physikalische Weltbild sich in seiner Struktur immer weiter von der Sinnenwelt entfernt, daß es seinen anschaulichen, ursprünglich ganz anthropomorph gefärbten Charakter immer mehr einbüßt, daß die Sinnesempfindungen in steigendem Maße aus ihm ausgeschaltet werden - man denke nur an die physikalische Optik, in der vom menschlichen Auge gar nicht mehr die Rede ist - daß damit sein Wesen sich immer weiter ins Abstrakte verliert, wobei rein formale mathematische Operationen eine stets bedeutendere Rolle spielen und Qualitätsunterschiede immer mehr auf Quantitätsunterschiede zurückgeführt werden.

Hält man diese zweite Tatsache mit der vorgenannten ersten, der stetigen Vervollkommnung des physikalischen Weltbildes hinsichtlich seiner Bedeutung für die Sinnenwelt, zusammen, so ergibt sich für diese auffallende und auf den ersten Anblick geradezu paradox anmutende Erscheinung nach meiner Meinung nur die eine vernünftige Deutung, daß die mit der fortschreitenden Vervollkommnung zugleich fortschreitende Abkehr des physikalischen Weltbildes von der Sinnenwelt nichts anderes bedeutet als eine fortschreitende Annäherung an die reale Welt. Von einer logischen Begründung dieser Meinung kann allerdings nicht die Rede sein, da ja nicht einmal die Existenz der realen Welt rein verstandesmäßig abgeleitet werden kann. Aber ebenso wenig wird es jemals möglich sein, sie durch logische Gründe zu widerlegen. Die Entscheidung darüber ist vielmehr Sache einer vernünftigen Weltauffassung, und es bleibt bei der alten Wahrheit, daß diejenige Weltauffassung die beste ist, welche die reichsten Früchte trägt.

Wie hat sich nun das physikalische Weltbild in den letzten zwanzig Jahren geändert? Jeder von uns weiß, daß die inzwischen eingetretene Wandlung mit zu den tiefstgreifenden gehört, die jemals in der Entwicklungsgeschichte einer Wissenschaft stattgefunden haben, und daß der Umbildungsprozeß auch gegenwärtig noch nicht vollständig zum Abschluß gekommen ist.

In das bis hierher geschilderte harmonische Weltbild, das seiner Aufgabe in nahezu idealer Weise gerecht zu werden schien, ist nun unversehens mit einem neuen grellen Licht die Quantenhypothese hineingefahren. Wenn wir auch hier wieder versuchen, mit einem Wort den Kernpunkt der für diese Hypothese charakteristischen Idee zu bezeichnen, so können wir ihn finden in dem Auftreten einer neuen universellen Konstanten: des elementaren Wirkungsquantums. Diese Konstante ist es, ein neuer geheimnisvoller Bote aus der realen Welt, welcher sich bei den verschiedenartigsten Messungen immer wieder aufdrängte und immer hartnäckiger einen eigenen Platz beanspruchte, andererseits aber doch so wenig in den Rahmen des bisherigen physikalischen Weltbildes hineinpaßte, daß er schließlich die Sprengung des zu eng befundenen Rahmens herbeigeführt hat.

Es gab eine Zeit, wo sogar ein völliger Zusammenbruch der klassischen Physik nicht außer dem Bereich der Möglichkeit zu liegen schien; doch zeigte sich allmählich, was für jeden, der an einen stetigen Fortschritt der Wissenschaft glaubt, selbstverständlich war, daß es sich auch hier letzten Endes nicht um ein Zerstörungswerk, sondern um eine allerdings recht tiefgehende Umbildung handelte, und zwar um eine Verallgemeinerung. Denn wenn man das Wirkungsquantum als unendlich klein voraussetzt, so geht die Quantenphysik über in die klassische Physik. Aber auch für den allgemeinen Fall erwiesen sich die Grundquadern des Baus der klassischen Physik nicht nur als unerschütterlich, sondern sie gewannen durch die Einverleibung der neu hinzugekommenen Ideen sogar noch an Festigkeit und Ansehen. Es wird sich daher empfehlen, daß wir zunächst diese letzteren ins Auge fassen.

[die universellen Konstanten, wie die Gravitationskonstante, die Lichtgeschwindigkeit, die Masse und die Ladung der Elektronen und Protonen, die großen Prinzipien der Erhaltung der Energie und des Impulses, die Hauptsätze der Thermodynamik, insbesondere der zweite Hauptsatz (Entropie), das Prinzip der Relativität]

Nun wird man zu der Frage versucht sein: wenn alle diese Grundlagen der klassischen Physik unangestastet geblieben sind, was hat sich dann überhaupt in der neuen Physik geändert? Die Antwort hierauf können wir sehr einfach finden, wenn wir uns etwas näher ansehen, was das elementare Wirkungsquantum bedeutet. Es bedeutet die grundsätzliche Äquivalenz einer Energie und einer Schwingungszahl: $E = h\nu$. Diese Äquivalenz ist es, welcher die klassische Theorie vollkommen verständnislos gegenübersteht.

Während die klassische Physik eine räumliche Zerlegung des betrachteten physikalischen Gebildes in seine kleinsten Teile vornimmt und dadurch die Bewegungen beliebiger materieller Körper auf die Bewegungen ihrer einzelnen als unveränderlich vorausgesetzten materiellen Punkte, d. h. auf Korpuskularmechanik zurückführt, zerlegt die Quantenphysik jeden Bewegungsvorgang in die einzelnen periodischen Materiewellen, die den Eigenschwingungen und Eigenfunktionen des betreffenden Gebildes entsprechen, und führt dadurch zur Wellenmechanik. Daher ist nach der klassischen Mechanik die einfachste Bewegung diejenige eines einzelnen materiellen Punktes, nach der Quantenmechanik diejenige einer einfach periodischen Welle, und wie nach der ersteren die allgemeinste Bewegung eines Körpers als die Gesamtheit der Bewegungen seiner einzelnen Punkte aufgefaßt wird, so besteht dieselbe nach der letzteren in dem Zusammenwirken aller möglichen Arten von periodischen Materiewellen.

aus: *Das Weltbild der neuen Physik*, 1929

Bei dieser Übereinstimmung ist aber doch auch ein grundsätzlicher Unterschied zu beachten. Für den religiösen Menschen ist Gott unmittelbar und primär gegeben. Aus ihm, aus seinem allmächtigen Willen, quillt alles Leben und alles Geschehen in der körperlichen wie in der geistigen Welt. Wenn er auch nicht mit dem Verstand erkennbar ist, so wird er doch durch die religiösen Symbole in der Anschauung unmittelbar erfaßt und legt seine heilige Botschaft in die Seelen derer, die sich ihm gläubig anvertrauen. Im Gegensatz dazu ist für den Naturforscher das einzig primär Gegebene der Inhalt seiner Sinneswahrnehmungen und der daraus abgeleiteten Messungen. Von da aus sucht er sich auf dem Wege der induktiven Forschung Gott und seiner Weltordnung als dem höchsten, ewig unerreichbaren Ziele nach Möglichkeit anzunähern. Wenn also beide, Religion und Naturwissenschaft, zu ihrer Betätigung des Glaubens an Gott bedürfen, so steht Gott für die eine am Anfang, für die andere am Ende alles Denkens. Der einen bedeutet er das Fundament, der andern die Krone des Aufbaues jeglicher weltanschaulicher Betrachtung.

aus: *Religion und Naturwissenschaft* (1937)

So sehen wir uns durch das ganze Leben hindurch einer höheren Macht unterworfen, deren Wesen wir vom Standpunkt der exakten Wissenschaft aus niemals werden ergründen können, die sich aber auch von niemandem, der einigermaßen nachdenkt, ignorieren läßt. Hier gibt es für einen besinnlichen Menschen, der nicht nur wissenschaftliche, sondern auch metaphysische Interessen besitzt, nur zwei Arten der Einstellung, zwischen denen er wählen kann: entweder Angst und feindseliger Widerstand oder Ehrfurcht und vertrauensvolle Hingabe.

...

Das einzige, was wir mit Sicherheit als unser Eigentum beanspruchen dürfen, das höchste Gut, was uns keine Macht der Welt rauben kann, und was uns wie kein anderes auf die Dauer zu beglücken vermag, das ist eine reine Gesinnung, die ihren Ausdruck findet in gewissenhafter Pflichterfüllung. Und wem es vergönnt ist, an dem Aufbau der exakten Wissenschaft mitzuarbeiten, der wird mit unserem großen deutschen Dichter sein Genügen und sein innerliches Glück finden in dem Bewußtsein, das Erforschliche erforscht zu haben und das Unerforschliche ruhig zu verehren.

aus: *Sinn und Grenzen der exakten Wissenschaft*, 1947

Albert Einstein-Texte

Die Methode des Theoretikers bringt es mit sich, daß er als Fundament allgemeine Voraussetzungen, sogenannte Prinzipie, braucht, aus denen er Folgerungen deduzieren kann. Seine Tätigkeit zerfällt also in zwei Teile. Er hat erstens jene Prinzipie aufzusuchen, zweitens die aus den Prinzipien fließenden Folgerungen zu entwickeln. Für die Erfüllung der zweiten Aufgabe erhält er auf der Schule ein treffliches Rüstzeug. Wenn also die erste seiner Aufgaben auf einem Gebiet bzw. für einen Komplex von Zusammenhängen bereits gelöst ist, wird ihm bei hinreichendem Fleiß und Verstand der Erfolg nicht fehlen. Die erste der genannten Aufgaben, nämlich jene, die Prinzipie aufzustellen, die der Deduktion als Basis dienen sollen, ist von ganz anderer Art. Hier gibt es keine erlernbare, systematisch anwendbare Methode, die zum Ziele führt. Der Forscher muß vielmehr der Natur jene allgemeinen Prinzipie gleichsam ablauschen, indem er an größeren Komplexen von Erfahrungstatsachen gewisse allgemeine Ziele erschaut, die sich scharf formulieren lassen.

Ist diese Formulierung einmal gelungen, so setzt eine Entwicklung der Folgerungen ein, die oft ungeahnte Zusammenhänge liefert, welche über das Tatsachengebiet, an dem die Prinzipie gewonnen sind, weit hinausreichen. Solange aber die Prinzipie, die der Deduktion als Basis dienen können, nicht gefunden sind, nützt dem Theoretiker die einzelne Erfahrungstatsache zunächst nichts; ja, er vermag dann nicht einmal mit einzelnen empirisch ermittelten allgemeineren Gesetzmäßigkeiten etwas anzufangen. Er muß vielmehr im Zustand der Hilflosigkeit den einzelnen Resultaten der empirischen Forschung gegenüber verharren, bis sich ihm Prinzipie erschlossen haben, die er zur Basis deduktiver Entwicklungen machen kann.

... Da zeigte Planck, daß man zur Aufstellung eines mit der Erfahrung übereinstimmenden Gesetzes der Wärmestrahlung sich einer Methode des Rechnens bedienen muß, deren Unvereinbarkeit mit den Prinzipien der klassischen Mechanik immer deutlicher wurde. Mit dieser Rechenmethode führte Planck nämlich die sogenannte Quantenhypothese in die Physik ein, die seitdem glänzende Bestätigungen erfahren hat. Mit dieser Quantenhypothese stürzte er die klassische Mechanik für den Fall, daß genügend kleine Massen mit hinreichend kleinen Geschwindigkeiten und genügend großen Beschleunigungen bewegt sind, so daß wir heute die von Galilei und Newton aufgestellten Bewegungsgesetze nur mehr als Grenzgesetze gelten lassen können. Aber trotz emsigster Bemühungen der Theoretiker gelang es bisher nicht, die Prinzipie der Mechanik durch solche zu ersetzen, welche Plancks Gesetz der Wärmestrahlung bzw. der Quantenhypothese entsprechen. So unzweifelhaft auch erwiesen ist, daß wir die Wärme auf Molekularbewegung zurückzuführen haben, so müssen wir heute doch gestehen, daß wir den Grundgesetzen dieser Bewegung ähnlich gegenüberstehen wie die Astronomen vor Newton den Bewegungen der Planeten.

Ich habe soeben auf einen Tatsachenkomplex hingewiesen, für dessen theoretische Behandlung die Prinzipie fehlen. Es kann aber ebensogut der Fall eintreten, daß klar formulierte Prinzipie zu Konsequenzen führen, die ganz oder fast ganz aus dem Rahmen des gegenwärtig unserer Erfahrung zugänglichen Tatsachenbereiches herausfallen. In diesem Fall kann es langjähriger empirischer Forschungsarbeit bedürfen, um zu erfahren, ob die Prinzipie der Theorie der Wirklichkeit entsprechen. Dieser Fall bietet sich uns dar bei der Relativitätstheorie.

Eine Analyse der zeitlichen und räumlichen Grundbegriffe hat uns gezeigt, daß der aus der Optik bewegter Körper sich ergebende Satz von der Konstanz der Vakuum-Lichtgeschwindigkeit uns keineswegs zur Theorie eines ruhenden Lichtäthers zwingt. Es ließ sich vielmehr eine allgemeine Theorie aufstellen, die dem Umstände Rechnung trägt, daß wir von der Translationsbewegung der Erde bei auf der Erde ausgeführten Versuchen niemals etwas merken. Dabei wird vom Relativitätsprinzip Gebrauch gemacht, das lautet: Die Naturgesetze ändern ihre Form nicht, wenn man von dem ursprünglichen (berechtigten) Koordinatensystem zu einem neuen, relativ zu ihm in gleichförmiger Translationsbewegung begriffenen übergeht. Diese Theorie hat nennenswerte Bestätigungen durch die Erfahrung erhalten und hat zu einer

Vereinfachung der theoretischen Darstellung bereits in Zusammenhang gebrachter Tatsachenkomplexe geführt.

Andererseits aber gewährt diese Theorie vom theoretischen Gesichtspunkt aus nicht die volle Befriedigung, weil das vorhin formulierte Relativitätsprinzip, die gleichförmige Bewegung bevorzugt. Wenn es nämlich wahr ist, daß der gleichförmigen Bewegung vom physikalischen Standpunkt aus eine absolute Bedeutung nicht vorgeschrieben werden darf, so liegt die Frage auf der Hand, ob diese Aussage nicht auch auf ungleichförmige Bewegungen auszudehnen sei? Es zeigt sich, daß man zu einer ganz bestimmten Erweiterung der Relativitätstheorie gelangt, wenn man ein Relativitätsprinzip in diesem erweiterten Sinne zugrunde legt. Man wird dabei zu einer allgemeinen, die Dynamik einschließenden Theorie der Gravitation geführt. Es fehlt aber vorläufig das Tatsachenmaterial, an dem wir die Berechtigung der Einführung des zugrunde gelegten Prinzips prüfen könnten.

aus: Prinzipien der theoretischen Physik, 1918

Die neue Theorie der Gravitation weicht in prinzipieller Hinsicht von der Theorie Newtons bedeutend ab. Aber ihre praktischen Ergebnisse stimmen mit denen der Newtonschen Theorie so nahe überein, daß es schwerfällt, Unterscheidungskriterien zu finden, die der Erfahrung zugänglich sind. Solche haben sich bis jetzt gefunden:

1. In der Drehung der Ellipsen der Planetenbahnen um die Sonne (beim Merkur bestätigt).
2. In der Krümmung der Lichtstrahlen durch die Gravitationsfelder (durch die englischen Sonnenfinsternis-Aufnahmen bestätigt).
3. In einer Verschiebung der Spektrallinien nach dem roten Spektralende hin des von Sternen bedeutender Masse zu uns gesandten Lichtes (später ebenfalls bestätigt).

Der Hauptreiz der Theorie liegt in ihrer logischen Geschlossenheit. Wenn eine einzige aus ihr geschlossene Konsequenz sich als unzutreffend erweist, muß sie verlassen werden; eine Modifikation erscheint ohne Zerstörung des ganzen Gebäudes unmöglich.

aus: Was ist Relativitätstheorie? Times 28.11.1919

Dennoch neige ich der Auffassung zu, daß sich die Physiker auf die Dauer mit einer derartigen indirekten Beschreibung des Realen nicht begnügen werden, auch dann nicht, wenn eine Anpassung der Theorie an das Postulat der allgemeinen Relativität in befriedigender Weise gelingen sollte. Dann wird man wohl wieder auf den Versuch der Realisierung desjenigen Programms zurückkommen müssen, das man passend als das Maxwellsche bezeichnen kann: Beschreibung des Physikalisch-Realen durch Felder, welche partiellen Differentialgleichungen singularitätenfrei genügen. [„Gott würfelt nicht!“]

aus: Maxwells Einfluß auf die Entwicklung der Auffassung vom Physikalisch-Realen, ~ 1930

Das Schönste, was wir erleben können, ist das Geheimnisvolle. Es ist das Grundgefühl, das an der Wiege von wahrer Kunst und Wissenschaft steht. Wer es nicht kennt und sich nicht mehr wundern, nicht mehr staunen kann, der ist sozusagen tot und sein Auge erloschen. Das Erlebnis des Geheimnisvollen - wenn auch mit Furcht gemischt - hat auch die Religion gezeugt. Das Wissen um die Existenz des für uns Undurchdringlichen, der Manifestationen tiefster Vernunft und leuchtendster Schönheit, die unserer Vernunft nur in ihren primitivsten Formen zugänglich sind, dies Wissen und Fühlen macht wahre Religiosität aus; in diesem Sinn und nur in diesem gehöre ich zu den tief religiösen Menschen. Einen Gott, der die Objekte seines Schaffens belohnt und bestraft, der überhaupt einen Willen hat nach Art desjenigen, den wir an uns selbst erleben, kann ich mir nicht einbilden. Auch ein Individuum, das seinen körperlichen Tod überdauert, mag und kann ich mir nicht denken; mögen schwache Seelen aus Angst oder lächerlichem Egoismus solche Gedanken nähren. Mir genügt das Mysterium der Ewigkeit des Lebens und das Bewußt-

sein und die Ahnung von dem wunderbaren Bau des Seienden sowie das ergebene Streben nach dem Begreifen eines noch so winzigen Teiles der in der Natur sich manifestierenden Vernunft.

aus: Wie ich die Welt sehe, 1931

1. Es ist schon nicht leicht, mit dem Wort »Wissenschaftliche Wahrheit« einen klaren Sinn zu verbinden. So ist der Sinn des Wortes »Wahrheit« verschieden, je nachdem es sich um eine Erlebnistatsache, einen mathematischen Satz oder eine naturwissenschaftliche Theorie handelt. Unter »religiöser Wahrheit« kann ich mir etwas Klares überhaupt nicht denken.

2. Wissenschaftliche Forschung kann durch Förderung des kausalen Denkens und Überschauens den Aberglauben vermindern. Es ist gewiß, daß eine mit religiösem Gefühl verwandte Überzeugung von der Vernunft bzw. Begreiflichkeit der Welt aller feineren wissenschaftlichen Arbeit zugrunde liegt.

3. Jene mit tiefem Gefühl verbundene Überzeugung von einer überlegenen Vernunft, die sich in der erfahrbaren Welt offenbart, bildet meinen Gottesbegriff; man kann ihn also in der üblichen Ausdrucksweise als »pantheistisch« (Spinoza) bezeichnen.

4. Konfessionelle Traditionen kann ich nur historisch und psychologisch betrachten; ich habe zu ihnen keine andere Beziehung.

Über wissenschaftliche Wahrheit, ~ 1950