

Vorwort

Die Physik versteht sich als grundlegende und widerspruchsfreie Naturwissenschaft. Sie hat die Grundlagen für die meisten technischen Entwicklungen gelegt, wie die Satellitentechnik, die Halbleitertechnik, die Lasertechnik oder die medizinischen Diagnosegeräte in der Computertomographie. Darüber hinaus wurden mit der Relativitätstheorie und der Quantenmechanik leistungsfähige Theorien entwickelt.

Die Physik gilt als exakte Wissenschaft und nach ihrem Selbstverständnis wird eine Theorie erst durch das Experiment bestätigt. Allerdings sollte man erwähnen, dass einige fundamentale Fragen bis heute nicht geklärt sind, z.B. warum nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik die Entropie in einem physikalischen System zu- aber niemals abnehmen kann (irreversible Prozesse). Im Gegensatz dazu sind z.B. die Elektrodynamik und die Relativitätstheorie reversibel, d.h. die Zeitrichtung spielt keine Rolle. Die letzte Wahrheit hat auch die Physik noch nicht gefunden, und es bleibt ungewiss, ob sie jemals die gesamte Welt erklären kann.

In der Physik gibt es viele Phänomene, die auf den ersten Blick als unerklärlich erscheinen, z.B. das Hydrodynamische Paradoxon oder die Zeitdilatation sowie Lorentz-Kontraktion der Speziellen Relativitätstheorie. Darüber hinaus treten in der Quantenmechanik besondere, aus Sicht der klassischen Physik nur schwer verständliche Phänomene auf, z.B. die so genannte spukhafte Fernwirkung, die Vakuumfluktuationen, der Spin eines Teilchens oder der Tunneleffekt. Eine Formulierung in der Referenz [PM1] bringt die Lage auf den Punkt: „*Wir müssen anerkennen, dass die Welt, die uns umgibt, viel seltsamer ist, als wir uns das vorstellen können. Unsere Alltagsgewissheiten werden auf den Kopf gestellt - das Absurde ist offensichtlich Realität.*“

Bei manchen Effekten sind auch die Fachleute bis heute ratlos: „*Die spukhafte Fernwirkung ist ein Vorgang jenseits von Raum und Zeit, das kann auch ich mir nicht richtig vorstellen*“, meint der bekannte Quantenforscher Anton Zeilinger in der Referenz [PM1]. Ein weiteres Zitat aus dieser Referenz beschreibt die Situation der Quantenmecha-

nik in zutreffender Weise: „*Wir erfassen nur einen Bruchteil der Welt und nehmen sie stark vereinfacht wahr, wie einen Schatten, den ein dreidimensionales Objekt an eine Wand wirft. In Wirklichkeit sind nicht die Effekte der Quantenmechanik paradox, sondern unsere Vorstellung von Realität ist es.*“

Im vorliegenden Buch werden die genannten sowie andere Phänomene anschaulich beschrieben. Sie übersteigen in einigen Fällen die Vorstellungskraft, ja erscheinen sogar als absurd. Der Autor, selbst Physiker, beleuchtet dabei auch die theoretischen Hintergründe in verständlicher Form.

Die theoretische Physik stellt eigentlich die mathematische Beschreibung der realen Welt dar. Aber kann sie das überhaupt leisten? Einstein formulierte den Sachverhalt so: „*Insofern sich die Sätze der Mathematik auf die Wirklichkeit beziehen, sind sie nicht sicher, und insofern sie sicher sind, beziehen sie sich nicht auf die Wirklichkeit.*“ (Zitat aus [SPEKTRUM1]). So erschließt sich bei einigen, in diesem Buch beschriebenen Phänomenen der Zusammenhang zwischen mathematischer Beschreibung und wahrgenommener Realität nicht ohne weiteres.

Nach der Darstellung einiger Phänomene der klassischen Physik und der Speziellen Relativitätstheorie im Kapitel 2 wird im Kapitel 3 auf besondere Phänomene der Quantenmechanik eingegangen. Danach erfolgt im Kapitel 4 die Vorstellung der aus heutiger Sicht aussichtsreichsten Kandidaten für eine Theorie der Quantengravitation, d.h. einer Theorie zur Vereinigung der Allgemeinen Relativitätstheorie mit der Quantenmechanik, nämlich der Stringtheorie und der Loop-Quantengravitation. Das Kapitel 5 beschreibt interessante kosmologische Phänomene. Im Kapitel 6 wird gezeigt, dass sich mit Hilfe geometrischer Elemente unterschiedlicher Raumdimensionen und anderer Größen interessante Beziehungen zwischen den Naturkonstanten ergeben. Vermutlich handelt es sich dabei um zufällige Koinzidenzen und doch ist die Anzahl der gefundenen Beziehungen bemerkenswert.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Phänomene der Physik	5
2.1	Punktteilchen	5
2.2	Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik	11
2.3	Das Hydrodynamische Paradoxon	15
2.4	Spezielle Relativitätstheorie	17
2.4.1	Die Zeitdilatation	17
2.4.2	Die Lorentz-Kontraktion	22
2.5	Magnetische Monopole	26
2.6	Supraleitung	28
2.7	Suprafluidität	33
2.8	Größenverhältnisse	36
2.9	Antimaterie	42
3	Quantenmechanische Phänomene	50
3.1	Der Spin des Elektrons	50
3.2	Der Bahndrehimpuls des Elektrons im Wasserstoffatom	54
3.3	Der Doppelspalt-Versuch	57
3.4	Das Standardmodell	62
3.5	Die Unschärferelation	75
3.6	Die spukhafte Fernwirkung	78
3.7	Vakuumfluktuationen	82
3.8	Der Tunneleffekt	86
3.9	Das Pauli-Prinzip	92
3.10	Die Viele-Welten-Interpretation	97
4	Theorien nach dem Standardmodell	99
4.1	Die Stringtheorie	99
4.2	Die Loop-Quantengravitation	113
5	Kosmologische Phänomene	122
5.1	Die Dunkle Materie	122

5.2 Die Dunkle Energie	130
5.3 Schwarze Löcher	134
5.4 Das inflationäre Universum	143
5.5 Die Kosmologische Konstante	148
5.6 Weiße Zwerge, Neutronensterne und Pulsare	151
5.7 Neutrinos	162
5.8 Gammablitz	167
5.9 Das holografische Universum	170
5.10 Das Multiversum	174
5.11 Exoplaneten	181
6 Absurde Gleichungen?	187
6.1 Die Zahl 10^{122}	187
6.2 Die Feinstrukturkonstante	191
6.3 Weitere Beziehungen Teil 1	195
6.4 Weitere Beziehungen Teil 2	198
6.5 Weitere Beziehungen Teil 3	202
6.6 Weitere Beziehungen Teil 4	206
6.7 Weitere Beziehungen Teil 5	212
6.8 Weitere Beziehungen Teil 6	221
6.9 Weitere Beziehungen Teil 7	228
6.10 Weitere Beziehungen Teil 8	238
6.11 Zusammenfassung besonderer Gleichungen	245
7 Literaturverzeichnis	248
8 Verzeichnis der Abbildungen	250
9 Verzeichnis der Tabellen	252
10 Stichwortverzeichnis	253

1 Einleitung

In dem Artikel “Die Physik - ein baufälliger Turm von Babel“ von Tony Rothman in der Referenz [SPEKTRUM1] wird eine Reihe von Problemen der heutigen Physik kritisch angesprochen, wie beispielsweise in den folgenden Zitaten.

„Physiker versprechen immer wieder, ein Theoriegebäude zu errichten, das die gesamte Welt erklärt. Dabei müsste jeder wissen, der die Disziplin zu seinem Beruf gemacht hat, dass sogar in längst errichteten Stockwerken teils gewaltige Risse klaffen.“

„Auch wenn mancher von der Weltformel träumt, liegen auf vielen Gebieten endgültige Antworten noch außer Reichweite. Die Physik bleibt vorerst eine Sammlung theoretischer Modelle und kann nicht den Anspruch erheben, die 'Wahrheit' gefunden zu haben.“

In den vergangenen hundert Jahren hat die Physik enorme Fortschritte gemacht. Aber sie kann mit dem Erreichten nicht zufrieden sein. Zu viele offene Fragen warten auf eine Antwort. In der Elementarteilchen- und Quantenphysik besteht ein erheblicher Klärungsbedarf. Z.B. arbeitet das Standardmodell der Teilchenphysik mit neunzehn frei justierbaren Parametern, eine erstaunliche Zahl für eine derart bewährte Theorie. Die von Null verschiedene Ruhmasse des Neutrinos kann das Standardmodell überhaupt nicht erklären. Auch die Annahme von Punktteilchen sollte überdacht werden. Zumindest scheint die Frage nach dem Higgs-Boson inzwischen geklärt. Am LHC (Large Hadron Collider, CERN) hat man ein Higgs-Teilchen nachgewiesen.

Der Eigendrehimpuls bzw. Spin eines Teilchens, z.B. des Elektrons, stellt eine wichtige Quanteneigenschaft dar. Bei einer klassischen Betrachtung ist jeder Drehimpuls mit einer Rotation verbunden. Aber als Punktteilchen kann das Elektron nicht rotieren. Hat es eine endliche Ausdehnung, ergibt sich für seine periphere Rotationsgeschwindigkeit ein Wert weit über der Lichtgeschwindigkeit (siehe Kapitel 3.1).

Ein weiteres Beispiel einer ungelösten Frage stellt das “Messproblem“ in der Quantenmechanik dar. Die deterministisch angelegte Schrödinger-Gleichung beschreibt die Wellenfunktion eines quantenmechanischen Systems und das Absolutquadrat der Wellenfunktion die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses. So wird bei einer Messung aus dem deterministischen ein probabilistisches System. Diesen Übergang kann letztendlich auch die Quantenmechanik nicht befriedigend erklären.

Das Erreichte muss man aber trotz aller Kritik anerkennen, was auch im nachfolgenden Zitat aus der Referenz [BOJOWALD] zum Ausdruck kommt.

Zitat aus der Referenz [BOJOWALD], Seite 11

„Im letzten Jahrhundert ist die physikalische Forschung weit fortgeschritten und hat ein überragendes Theoriengebäude entworfen: die Quantentheorie und die Allgemeine Relativitätstheorie. Dies erlaubt ein Verständnis der Natur im großen wie im kleinen Maßstab, vom ganzen Universum in der Kosmologie bis hin zu einzelnen Molekülen, Atomen oder gar Elementarteilchen mit Hilfe der Quantentheorie. Zusammengekommen ergibt sich so eine präzise Beschreibung und ein tief greifendes Verständnis von mannigfachen Phänomenen, die eine spektakuläre Bestätigung durch Beobachtungen erfahren haben. Gerade in den letzten Jahren ist dies vor allem in der Kosmologie des frühen Universums geglückt.“

Neben klassischen Phänomenen werden auch solche der Quantenmechanik betrachtet. Mit der Schrödinger-Gleichung und der Unschärferelation gehört die Quantenmechanik zu den bis ins Detail ausformulierten und durch Experimente bestätigten Theorien. Besonders bemerkenswert ist das Konzept der verschränkten Quantensysteme, das mit der Quanten-Kryptographie und dem Quanten-Computer ein erhebliches technisches Potential darstellt. Der Tunneleffekt und Begrif-

fe wie der Kollaps der Wellenfunktion oder die Viele-Welten-Interpretation der Quantenmechanik beanspruchen die Vorstellungskraft in besonderer Weise.

Einen weiteren Schwerpunkt bilden die Stringtheorie und die Loop-Quantengravitation, beides Kandidaten für eine Theorie der Quantengravitation, d.h. der Vereinigung von Allgemeiner Relativitätstheorie und Quantenmechanik.

Die Stringtheorie postuliert als elementare Bausteine der Materie so genannte Strings, eindimensionale Fäden von der Ausdehnung der Planck-Länge (etwa 10^{-35} m). Hinzu kommen mehrdimensionale Branen (Membranen), wobei bis zu zehn Raumdimensionen bzw. elf Raumzeitdimensionen eine Rolle spielen.

Die Vorstellung, dass es mehr als drei Raumdimensionen gibt, widerspricht unserer Alltagserfahrung. Die Extradimensionen sind allerdings mikroskopisch klein. Sie könnten von der Größe der Planck-Länge sein und wären damit unsichtbar. So wie auch ein (dreidimensionaler) Strohalm aus der Ferne als eindimensional erscheint, d.h. zwei seiner Dimensionen verborgen bleiben. Die Stringtheorie ist kompliziert und in Form der M-Theorie nicht endgültig ausformuliert. Sie hat noch keine experimentelle Bestätigung erfahren und besticht trotzdem durch die bereits vorliegenden theoretischen Ergebnisse.

Die Loop-Quantengravitation geht davon aus, dass Raum und Zeit im Bereich der Planck-Skala in quantisierter Form vorliegen. Der Raum setzt sich aus elementaren Bausteinen von der Größe des Planck-Volumens (etwa 10^{-105} m³) zusammen. Die Zeit schreitet in Einheiten von 10^{-43} s (Planck-Zeit) diskret voran. Der Raum bildet sich auf das aus Knoten und Kanten bestehende Spin-Netzwerk ab. Durch Hinzufügung der Zeit wird aus dem Spin-Netzwerk der Spin-Schaum geformt.

Mit der Theorie konnte Bojowald (Referenz [BOJOWALD]) z.B. zeigen, dass das Universum beim Urknall möglicherweise aus keiner Singularität hervorgegangen ist, d.h. aus keinem Zustand unendlich

hoher Dichte. Allerdings konnte die Loop-Quantengravitation genau wie die Stringtheorie bisher experimentell nicht bestätigt werden.

Hochinteressant sind auch die im Kapitel 5 vorgestellten kosmologischen Phänomene wie die Dunkle Materie und Dunkle Energie, für die es bis heute keine befriedigende Erklärung gibt.

Das Kapitel 6 geht auf eine Reihe bemerkenswerter Beziehungen zwischen verschiedenen Naturkonstanten ein. Bei der Ableitung der Gleichungen des Kapitels 6.1 spielt die Zahl 10^{122} eine wichtige Rolle. Viele Gleichungen enthalten geometrische Elemente des 10-dimensionalen Raums (bzw. von elf Raumzeitdimensionen), z.B. $\sqrt{11}$, den Betrag eines 11-dimensionalen Vektors mit den Komponenten 1. So gibt es mit einer Abweichung von 0,03 % eine Beziehung zwischen der Gravitationskonstanten, $\sqrt{11}$, der Feinstrukturkonstanten und anderen Konstanten (siehe die Gl. (6.9) auf Seite 189).

Die Gl. (6.106) auf der Seite 212 (bzw. auf der Titelseite) verknüpft das Verhältnis der Protonen- zur Elektronenmasse mit einer Genauigkeit von 0,002 % mit den Zahlen 6 und π . Die Gleichung lässt sich z.B. mit dem Volumen einer 5-dimensionalen Hyperkugel bzw. der Oberfläche einer 6-dimensionalen Hyperkugel in Verbindung bringen. Die Gleichungen stellen vermutlich nur zufällige Koinzidenzen dar. Trotzdem ist die Zahl der gefundenen Beziehungen von 300 erstaunlich. Im Vergleich zur 1. Auflage sind im Kapitel 6 etwa 200 Gleichungen dazu gekommen.

Quellen [BOJOWALD] und [SPEKTRUM1]

2 Phänomene der Physik

2.1 Punktteilchen

Paarvernichtung, unendliche Kräfte, unendliche Dichten

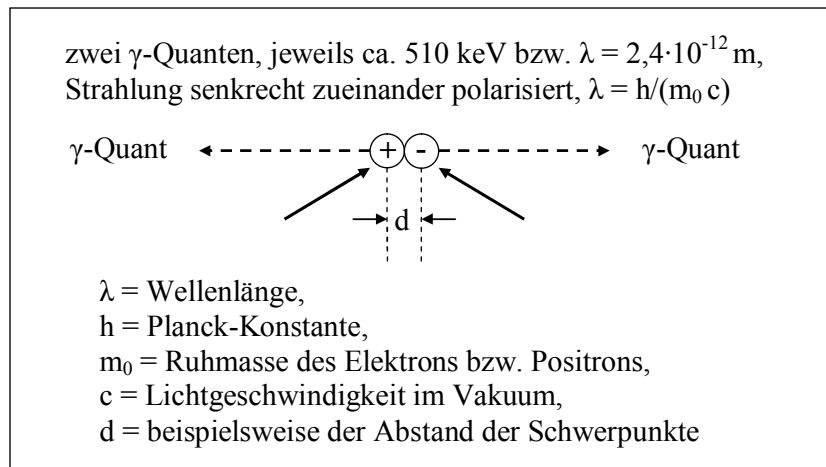


Bild 2.1 Paarvernichtung

Bei welchem Abstand zwischen einem Elektron und Positron erfolgt die Paarvernichtung, d.h. die Zerstrahlung in zwei γ -Quanten? Als Punktteilchen könnten sich beide sehr nahe kommen. Die Coulomb-Kraft (wegen der positiven und negativen Ladung) und die Gravitationskraft sind anziehend, jeweils umgekehrt proportional zum Quadrat des Teilchenabstands.

$$K_G = G \frac{m_0^2}{d^2} \quad (2.1)$$

$$K_C = f \frac{e_0^2}{d^2} \quad \text{mit} \quad f = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad (2.2)$$

K_G	Gravitationskraft in N
G	Gravitationskonstante in Nm^2/kg^2 bzw. in $\text{m}^3/(\text{kg s}^2)$
m_0	Ruhmasse des Elektrons bzw. Positrons in kg
d	Teilchenabstand in m
K_C	Coulomb-Kraft in N
e_0	Elementarladung in C
ε_0	Influenzkonstante in $\text{As}/(\text{Vm})$ bzw. $\text{C}^2/(\text{Nm}^2)$

Allerdings kann die Gravitationskraft bei gleichem Abstand gegen die Coulomb-Kraft vernachlässigt werden. Gemäß den Gln. (2.1) und (2.2) folgt

$$\frac{K_C}{K_G} = \frac{f e_0^2 / d^2}{G m_0^2 / d^2} = \frac{f e_0^2}{G m_0^2} = 4,17 \cdot 10^{42} \quad (2.3)$$

Für kleine Abstände werden die Kräfte der Gln. (2.1) und (2.2) sehr groß, für den Teilchenabstand Null sogar unendlich groß. Unendlich große Kräfte machen aber physikalisch keinen Sinn, d.h. die Gleichungen verlieren für sehr kleine Abstände ihre Gültigkeit. Die Paarvernichtung zeigt, dass sich ein Elektron-Positron-Paar in zwei γ -Quanten umwandelt. Eine Information über den Teilchenabstand ergibt sich daraus nicht.

Nimmt man an, dass sich die Teilchen wie im Bild 2.1 vor der Zerstrahlung berühren, gilt $d = D_0$, wobei D_0 die aus Experimenten abgeschätzte Obergrenze der Größe eines Elektrons darstellt. Sie liegt im Bereich von 10^{-19} bis 10^{-18} m. Bei so kleinen Abständen ist die Gl. (2.2) mit großer Wahrscheinlichkeit nicht mehr gültig. Wendet man sie trotzdem an, folgt für $D_0 = 10^{-19}$ m

$$K_C = 2,3 \cdot 10^{10} \text{ N}$$

Diese enorme Kraft lässt sich mit den Kräften der nachfolgenden Tabelle 2.1 vergleichen. Man kann sich kaum vorstellen, dass sich das Elektron und Positron bis auf einen Abstand von 10^{-19} m oder noch weniger nähern. Das Konzept der Punktteilchen lässt eine Reihe von Fragen offen. Als Punktteilchen hätte ein Elektron eine unendlich gro-