

Jörg Resag

Mehr als nur schön



Wie
Symmetrien
unsere
Naturgesetze
formen

SACHBUCH

 Springer

Mehr als nur schön

Jörg Resag

Mehr als nur schön

Wie Symmetrien unsere Naturgesetze
formen

 Springer

Jörg Resag
Leverkusen, Nordrhein-Westfalen,
Deutschland

ISBN 978-3-662-61809-7 ISBN 978-3-662-61810-3 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-61810-3>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2020

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Einbandgestaltung: deblik, Berlin

Planung/Lektorat: Lisa Edelhäuser

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Vorwort

Am 4. Juli 2012 ging eine Nachricht um die Welt, in der eine der größten Entdeckungen der modernen Teilchenphysik verkündet wurde: „*CERN experiments observe particle consistent with long-sought Higgs boson.*“ (Die CERN-Experimente beobachten ein Teilchen, das mit dem lang gesuchten Higgs-Boson vereinbar ist.) Auf diese Nachricht hatten die Physiker seit geraumer Zeit gewartet, und nicht wenige hatten bereits ihre Zweifel, ob das gesuchte Higgs-Teilchen überhaupt existiert. Immerhin waren mittlerweile mehr als vier Jahrzehnte vergangen, seit Mitte der 1960er-Jahre unabhängig voneinander mehrere Physiker, insbesondere der Brite Peter Higgs und sein belgischer Kollege François Englert, die Existenz dieses Teilchens gefordert hatten. Nun schien man es tatsächlich gefunden zu haben. Weitere Messungen in den nächsten Monaten bestätigten dies, sodass man im Jahr 2013 den beiden Physikern endlich den wohlverdienten Nobelpreis verleihen konnte. Peter Higgs war mittlerweile 84 Jahre alt – manchmal braucht man in der Physik offenbar einen langen Atem.

Warum ist das Higgs-Teilchen so wichtig? Warum hatte man am europäischen Forschungszentrum CERN bei Genf über mehr als zwei Jahrzehnte hinweg den weltgrößten Teilchenbeschleuniger – den Large Hadron Collider (LHC) – entwickelt und gebaut, dessen vielleicht wichtigstes Ziel es war, dieses Teilchen zu finden?

Offensichtlich ist das Higgs-Teilchen nicht irgendein Teilchen – es ist etwas ganz Besonderes. Man braucht es, um zu verstehen, wie unsere Welt mit all ihren verschiedenen Elementarteilchen und deren Wechselwirkungen im Innersten funktioniert. Dabei spielt eine Erkenntnis eine ganz entscheidende Rolle: die Form der Naturgesetze, die unser Universum regieren,

wird von *Symmetrien* und deren *Brechung* geprägt. Hätten Peter Higgs und seine Kollegen nicht intensiv über diese Symmetrien nachgedacht, wären sie nie auf die Idee gekommen, dass unsere Welt ein Higgs-Teilchen braucht, um zu funktionieren.

„*We are all children of broken symmetry*“ (Wir sind alle Kinder gebrochener Symmetrie)¹ – so formulierte es die Königlich Schwedische Akademie der Wissenschaften, als sie im Jahr 2008 den Physik-Nobelpreis an Yoichiro Nambu, Makoto Kobayashi und Toshihide Maskawa für ihre Untersuchungen zur Symmetriebrechung verlieh. Auf den Erkenntnissen insbesondere von Nambu hatten Peter Higgs und seine Kollegen aufgebaut und waren so bis zum Higgs-Teilchen vorgestoßen.

Nur, was genau soll es bedeuten, wir seien Kinder gebrochener Symmetrie? Was für eine Symmetrie ist das, und was ist damit gemeint, sie sei gebrochen?

In der Umgangssprache steht der Begriff der Symmetrie oft für Schönheit und Eleganz. Menschen mit symmetrischen Gesichtern erscheinen uns als attraktiv. Auch der französische Sonnenkönig Ludwig XIV. wusste die Schönheit der Symmetrie zu schätzen: Mitte des 17. Jahrhunderts ließ er das Schloss Versailles (Abb. 0.1) im typischen Stil des Barocks so symmetrisch wie möglich anlegen – ein Sinnbild von Perfektion, Reichtum und Macht.



Abb. 0.1 Das Schlosses Versailles, hier auf einem Bild von Pierre-Denis Martin aus dem Jahr 1722, ist ein Inbegriff von Symmetrie und Eleganz. (© akg-images/picture alliance)

¹Siehe <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2008/illustrated-information/>.

Auch die Vorstellungen, die sich unsere Vorfahren von der Antike bis in die frühe Neuzeit vom Universum machten, besaßen diese Art von ästhetischer Symmetrie: mit der Erde in der Mitte und um sie herum die Sphären der Planeten und Gestirne. Später wurde die Erde zwar aus dem Zentrum der Welt verbannt und durch die Sonne ersetzt, doch die wunderbare kugelsymmetrische Gestalt des Kosmos blieb erhalten.

Nun ist Schönheit nicht alles. Symmetrien sind mehr als nur schön! Sie besitzen eine wichtige Eigenschaft, die sie für die Physik so interessant macht. Am Schloss Versailles können wir diese Eigenschaft gut erkennen: Würden wir das gesamte Schloss in Gedanken abreißen und spiegelsymmetrisch wiederaufbauen, so sähe es im Idealfall genauso aus wie zuvor. Wir könnten also rechts und links vertauschen, und nichts Wesentliches würde sich am Aufbau des Schlosses ändern. Ähnlich ist es bei den früheren Vorstellungen vom Kosmos mit der Erde oder der Sonne in der Mitte: Wir können sie um den Mittelpunkt drehen, ohne dass sich etwas Wesentliches ändert.

In der modernen Physik beschränkt man sich nun nicht alleine auf die Vertauschung von rechts und links oder Drehungen um einen Mittelpunkt, sondern fasst den Begriff der Symmetrie weiter. Der deutsche Mathematiker und Physiker Hermann Weyl, der uns in diesem Buch noch begegnen wird, hat es sinngemäß so ausgedrückt: „Ein Ding ist symmetrisch, wenn man es einer bestimmten Operation aussetzen kann und es danach als genau das Gleiche erscheint wie vor der Operation.“² Dabei meint man mit „Ding“ nicht unbedingt das äußere Erscheinungsbild eines Gegenstandes, sondern seine physikalische Funktionsweise. Funktioniert der Gegenstand und damit die zugrunde liegende Physik nach der Symmetrieeoperation noch genauso wie vorher?

Ein einfaches Beispiel für eine solche Symmetrieeoperation wäre die Verschiebung an einen anderen Ort. So macht es beispielsweise bei einer komplizierten Apparatur – sagen wir, einer Uhr – normalerweise keinen Unterschied, ob wir sie in unserem Wohnzimmer oder im Schlafzimmer aufstellen. Der eine Ort ist so gut wie der andere, egal, wie die Uhr im Detail funktioniert. Die Physik, die den Mechanismus im Inneren der Uhr ablaufen lässt, ist an beiden Orten dieselbe, unabhängig davon, ob es sich um eine mechanische Uhr, eine elektronische Quarzuhr oder eine hochpräzise Atomuhr handelt.

²Zitiert nach Feynman Vorlesungen über Physik, Band I, Kap. 11-1.

Diese Überlegung mag uns trivial erscheinen, doch sie hat wichtige Konsequenzen, wie wir noch sehen werden. Und natürlich ist die Verschiebung an einen anderen Ort nicht die einzige Symmetrioperation, die den physikalischen Ablauf im Inneren der Uhr unverändert lässt. Was geschieht beispielsweise, wenn wir eine stehen gebliebene Uhr wieder in Betrieb setzen – spielt es dann eine Rolle, wann wir das tun? Verändert sich der Lauf der Uhr, wenn wir sie um 180 Grad gedreht aufstellen, also mit dem Ziffernblatt zur Wand? Und was ist, wenn wir die Uhr auf einer Kreuzfahrt in unserer Schiffskabine aufstellen, während das Schiff sein nächstes Ziel ansteuert?

Wir können sogar noch weiter gehen und beispielsweise sämtliche Materie in der Uhr durch Antimaterie ersetzen, wobei wir die Uhr im leeren Weltraum postieren sollten, denn Materie und Antimaterie vertragen sich nicht gut miteinander. Würde also eine Antimaterieuhr genauso funktionieren wie ihr Gegenstück aus Materie? Und warum gibt es Antimaterie überhaupt?

Diesen und vielen weiteren Fragen werden wir in diesem Buch nachgehen, wobei wir dem Lauf der Geschichte von der Antike bis hin zur aktuellen Front der Forschung folgen wollen. Auf mathematische Formeln möchte ich dabei weitgehend verzichten. Nur gelegentlich werde ich die eine oder andere Formel der Vollständigkeit halber erwähnen; für das Verständnis des Buches spielen sie keine Rolle.

Auch wenn die Physik im Mittelpunkt dieses Buches steht, so möchte ich zugleich auch die Frauen und Männer würdigen, die uns auf dem Weg durch die Geschichte begegnen. So treffen wir beispielsweise zu Beginn im antiken Griechenland auf den Philosophen Aristoteles, der sich als einer der ersten Menschen umfassende Gedanken darüber macht, wie unsere Welt beschaffen ist und wie sie funktioniert. Seine Ideen haben einen tief greifenden Einfluss bis weit ins Mittelalter hinein, auch wenn im Laufe der Zeit immer mehr Unstimmigkeiten sichtbar wurden. Es ist eben keineswegs einfach, die richtigen Ideen und Begriffe zu finden, mit denen sich die Natur beschreiben lässt.

Fast zwei Jahrtausende vergehen, bis es gelingt, sich von den Ideen der Antike zu lösen. So rückt der Domherr Nikolaus Kopernikus die Sonne anstelle der Erde ins Zentrum der Welt, und der deutsche Naturphilosoph Johannes Kepler entdeckt am Vorabend des dreißigjährigen Krieges auf der Suche nach himmlischer Schönheit und Harmonie die elliptische Form der Planetenbahnen. Sein eher praktisch veranlagter Kollege Galileo Galilei stellt sich derweil in Italien eine wegweisende Symmetrieffrage: Merkt man unter Deck eines Schiffes überhaupt, ob dieses gleichmäßig durch die ruhige See gleitet oder fest vertäut im Hafen liegt? Mit solchen Überlegungen und

konkreten Experimenten stößt er schließlich auf das Trägheitsgesetz und versetzt so einige Jahrzehnte später den englischen Naturforscher Isaac Newton in die Lage, die falschen Vorstellungen von Aristoteles endgültig zu überwinden und die richtigen Gesetze der Bewegung und der Gravitation zu finden – der Durchbruch ist geschafft.

Erst allmählich kann Newtons Werk in der Welt Fuß fassen. Einen bedeutenden Beitrag dazu leistet Émilie du Châtelet – die „göttliche Émilie“ – die wir im Frankreich des Sonnenkönigs Ludwig XIV. kennen lernen. Sie überarbeitet Newtons Werk, übersetzt es ins moderne Französisch und macht es so in weiten Kreisen bekannt.

Immer schneller wandelt sich die Welt. Die industrielle Revolution fegt alte Gesellschaftsordnungen hinweg und schafft ein Umfeld, in dem die Wissenschaften an Bedeutung gewinnen und zunehmend schneller voranschreiten. Im neunzehnten Jahrhundert gelingt es Naturforschern wie dem englischen Experimentator Michael Faraday und dem schottischen Theoretiker James Clerk Maxwell schließlich, die Gesetze der Elektrizität und des Magnetismus zu entschlüsseln und in einer umfassenden Theorie zu vereinen.

Ein besonderes Highlight dieses Buches ist unsere Begegnung mit der Mathematikerin und Physikerin Emmy Noether, die es im Deutschland des frühen zwanzigsten Jahrhunderts – einer von Männern dominierten Welt – nicht leicht hat. Dennoch schafft sie es, einen tiefen Zusammenhang zwischen Symmetrien und Erhaltungsgrößen aufzudecken. Die Tatsache, dass beispielsweise Energie weder erzeugt noch zerstört werden kann, sondern sich nur von einer Form in eine andere umwandelt, ist tatsächlich die Folge einer Symmetrie! Offenbar haben Symmetrien neben ihrem ästhetischen Schönheitswert auch ganz handfeste physikalische Konsequenzen.

Albert Einstein, der drei Jahre jünger als Emmy Noether ist, darf in diesem Buch natürlich nicht fehlen. Die bahnbrechenden Symmetrieüberlegungen dieses berühmten Freigeistes revolutionieren im Jahr 1905 unser Verständnis von Raum und Zeit und stellen zehn Jahre später die Beschreibung der Gravitation auf eine ganz neue Basis – die Spezielle und Allgemeine Relativitätstheorie sind geboren.

Einige Jahre nach Einsteins Erfolg kommt es zu einem fundamentalen Umbruch in der Physik: Männer wie der französische Adelige Louis de Broglie, der österreichische Physiker Erwin Schrödinger, der ebenso scharfsinnige wie schonungslos kritische Wolfgang Pauli, das stille Genie Paul Dirac und viele andere entdecken die Quantenmechanik, in der Symmetrien eine absolut grundlegende Rolle spielen. Sie führen zum Phänomen des Spins, sorgen dafür, dass manche Teilchen sich wie Einzelgänger

und andere wie Herdentiere verhalten, und erzwingen sogar die Existenz von Antimaterie. Dabei gibt es auch manche Überraschung: Gilt in einer gespiegelten Welt tatsächlich dieselbe Physik wie vor der Spiegelung? Das galt als Selbstverständlichkeit – bis die chinesisch-amerikanische Experimentalphysikerin Chien-Shiung Wu das Gegenteil beweist.

Symmetrien haben im Rahmen der Quantenmechanik noch mehr zu bieten: So nutzt Einsteins visionärer Kollege Hermann Weyl – ein Meister der Symmetrie und ständiger Grenzgänger zwischen Mathematik und Physik – eine sogenannte *Eichsymmetrie* dazu, unser Verständnis der elektromagnetischen Kräfte auf eine neue Grundlage zu stellen. Damit legt er das Fundament für die heutige Theorie aller bekannten Elementarteilchen und ihrer Wechselwirkungen.

Es dauert seine Zeit, bis sich diese Theorie in der zweiten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts langsam herausbildet. Nach und nach gelingt es Physikern wie dem Briten Peter Higgs, dem überzeugten Atheisten Steven Weinberg, seinem muslimischen Freund und Kollegen Abdus Salam und vielen anderen, mithilfe von Eichsymmetrien und deren Brechung alle bekannten Teilchen und Kräfte – mit Ausnahme der Gravitation – unter einem großen gemeinsamen Dach zu vereinen, das den wenig spektakulären Namen *Standardmodell der Elementarteilchenphysik* trägt. Diese umfassende Theorie der Teilchen und ihrer Wechselwirkungen ist die absolute Krönung der modernen Physik und wurde unzählige Male im Experiment bestätigt. Auch ihr letzter noch fehlender Schlussstein – das berühmte Higgs-Teilchen – wurde im Jahr 2012 schließlich gefunden.

Symmetrien spielen in der modernen Physik also eine entscheidende Rolle. Da wir wissen, dass auch das überaus erfolgreiche Standardmodell noch nicht der Weisheit letzter Schluss sein kann, versuchen heutzutage Theoretiker in aller Welt, mithilfe von Symmetrien in Neuland vorzustoßen. Lassen sich die bekannten Eichsymmetrien im Rahmen sogenannter *Grand Unified Theories* (GUT) zusammenführen, sodass sich dadurch noch unbekannte Zusammenhänge eröffnen? Können wir Einsteins Symmetrie von Raum und Zeit zu einer *Supersymmetrie* erweitern? Und können wir auch die Gravitation mit den anderen Kräften im Rahmen der Quantentheorie vereinen und eine universelle *Theorie von Allem* finden, die die gesamte Physik unseres Universums umfasst?

Lassen Sie sich von den Menschen und ihren Ideen, denen Sie in diesem Buch begegnen werden, faszinieren. Begeben Sie sich auf eine Reise, die von der Antike bis zu den heutigen Grenzen des Wissens führt, und lernen Sie dabei die Vielfalt der physikalischen Erkenntnisse kennen, die diese