

}essentials{

Klaus Stierstadt

Die Grenzen der Physik in Natur und Technik

Vom Atomkern zur Galaxie



Springer Spektrum

essentials

essentials liefern aktuelles Wissen in konzentrierter Form. Die Essenz dessen, worauf es als „State-of-the-Art“ in der gegenwärtigen Fachdiskussion oder in der Praxis ankommt. *essentials* informieren schnell, unkompliziert und verständlich

- als Einführung in ein aktuelles Thema aus Ihrem Fachgebiet
- als Einstieg in ein für Sie noch unbekanntes Themenfeld
- als Einblick, um zum Thema mitreden zu können

Die Bücher in elektronischer und gedruckter Form bringen das Fachwissen von Springerautor*innen kompakt zur Darstellung. Sie sind besonders für die Nutzung als eBook auf Tablet-PCs, eBook-Readern und Smartphones geeignet. *essentials* sind Wissensbausteine aus den Wirtschafts-, Sozial- und Geisteswissenschaften, aus Technik und Naturwissenschaften sowie aus Medizin, Psychologie und Gesundheitsberufen. Von renommierten Autor*innen aller Springer-Verlagsmarken.

Weitere Bände in der Reihe <http://www.springer.com/series/13088>

Klaus Stierstadt

Die Grenzen der Physik in Natur und Technik

Vom Atomkern zur Galaxie



Springer Spektrum

Klaus Stierstadt
Fakultät für Physik, Universität München
München, Deutschland

ISSN 2197-6708
essentials

ISBN 978-3-658-34801-4

ISSN 2197-6716 (electronic)

ISBN 978-3-658-34802-1 (eBook)

<https://doi.org/10.1007/978-3-658-34802-1>

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

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert durch Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2021

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung der Verlage. 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 geographische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Margit Maly

Springer Spektrum ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Was Sie in diesem *essential* finden können

- Sie erhalten einen Einblick in die Naturgesetze der Physik sowie in die Begrenztheit unseres Wissens und Könnens.
- Sie lernen, welche prinzipiellen Grenzen unserer Erkenntnis durch die Naturgesetze definiert werden.
- Sie erfahren, in welchen Grenzen die physikalischen Größen durch unsere technischen Fähigkeiten veränderbar sind.
- Sie lernen, was die Planck-Größen bedeuten und welche Grenzen durch sie gesetzt sind.

Vorwort

All unser Wissen und unsere Fähigkeiten sind begrenzt. Das bestimmen die Naturgesetze aber auch unsere Ressourcen und technischen Möglichkeiten. In diesem Buch nehmen wir deren Grenzen unter die Lupe. Wir untersuchen, was von der Wissenschaftsphantasie, der Science Fiction übrig bleibt, wenn wir die Wirklichkeit, die Science Reality betrachten.

Unsere Darstellung gliedert sich in drei Teile: Eine Einführung beschreibt unsere Stellung als Menschen in dieser Welt sowie unsere Begrenztheit im Raum, in der Mitte zwischen Atomen und Galaxien. Da gibt es naturgemäß zwei Arten von Grenzen: Solche, die durch Naturgesetze festgelegt sind und solche, die unseren technischen Möglichkeiten entsprechen. Im Teil I werden dann die Naturgesetze selbst und ihre Begrenzungen besprochen. Im dritten Teil II betrachten wir die wichtigsten physikalischen Größen wie Energie, Impuls, Temperatur, Magnetfeld usw., ihre Zahlenwerte in Natur und Technik sowie ihre Grenzen.

Manche der im Text vorkommenden Naturkonstanten sind heute sehr genau bekannt, bis auf zehn Stellen hinter dem Komma. Wir beschränken uns bei den meisten Angaben aber auf zwei solche Stellen. Das entspricht einer Genauigkeit von etwa einem Prozent und ist für unsere Betrachtungen völlig ausreichend.

Zum Inhalt dieses Buches haben viele Studierende und Kollegen beigetragen. Ich bedanke mich dafür vor allem bei den Hörern meiner Vorlesungen, aber auch bei vielen Kollegen, unter anderem Matthias Bartelmann, Martin Faessler, Ferenc Krausz und Udo Seifert.

Klaus Stierstadt

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
----------	-------------------	----------

Teil I Die Grundgesetze der Physik und ihre Grenzen

2	Erhaltungssätze	11
2.1	Energieerhaltung	11
2.2	Impulserhaltung	13
2.3	Drehimpulserhaltung	13
2.4	Ladungserhaltung	14
3	Der Entropiesatz oder Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik	17
4	Quantenphysik	23
5	Relativität und Gravitation	29
5.1	Spezielle Relativitätstheorie	29
5.2	Allgemeine Relativitätstheorie	30
6	Wechselwirkungen und Kräfte	33
6.1	Elektromagnetisches Feld	33
6.2	Starke Wechselwirkung	35
6.3	Schwache Wechselwirkung	36
6.4	Zusammenschau der Wechselwirkungen	37

Teil II Physikalische Größen und ihre Grenzen in Natur und Technik

7	Entfernungen im Raum	41
7.1	Mikroskope	41

7.2	Makroskope	45
8	Zeit und Geschwindigkeit	49
9	Energie und Leistung	55
10	Kräfte und Drücke	61
11	Impuls und Drehimpuls	67
12	Temperatur und Entropie	73
13	Elektrische Felder und Ströme	79
14	Das Magnetfeld	85
	Nachwort	89
	Anhang	93
	Literatur	99

In der Science-Fiction-Literatur und in den entsprechenden Filmen findet man viele überraschende und unwirkliche Phänomene: Zeitreisen, magische Fernwirkung, Teletransport usw. Ist das alles Utopie oder gibt es dafür wirkliche Beispiele und Erklärungen? Diese Frage stellt sich immer einmal wieder angesichts der erstaunlichen Phänomene, die uns da vorgespielt werden. Man sollte dabei unterscheiden zwischen den akrobatischen technischen Kunststücken, die James Bond uns hier auf der Erde präsentiert und den unglaublichen Vorgängen der Science Fiction in Raumschiffen, im Weltraum oder auf fremden Sternen. James Bonds Abenteuer und ihre technischen Grenzen sind in der Literatur [1] sogar quantitativ beschrieben. Die Reisen zu fremden Welten oder die Fähigkeiten der Aliens sind dagegen zum größten Teil utopischer Natur [2]. Sie widersprechen oft den Naturgesetzen, und dafür gibt es Grenzen.

„Unser Wissen ähnelt einer Kugel. Mit ihrer Größe wächst auch ihre Oberfläche und damit ihre Berührung mit dem Unbekannten“. Diese alte Erkenntnis gilt sowohl in der Natur als auch für unsere Technik. In beiden Bereichen gibt es Grenzen, die einerseits durch Naturgesetze und andererseits durch unsere Möglichkeiten und Fähigkeiten gegeben sind. Die **Naturgesetze** bzw. die **Grundgesetze der Physik** sagen uns, was wir im Raum wahrnehmen können, sowohl im Großen wie im Kleinen. Sie sagen uns auch, wie schnell wir uns oder ein Objekt bewegen können, wieviel Energie wir aufbringen oder umwandeln können und welche Temperaturen, Kräfte oder Feldstärken wir realisieren können usw. In der Science-Fiction-Welt und in den Abenteuerfilmen werden diese Grenzen oft überschritten. Und darin liegt ja gerade deren Reiz.

Es hat sich herausgestellt, dass man zwei verschiedene Arten von **Grenzen** unterscheiden muss: Einerseits gibt es solche, die von den Grundgesetzen definiert werden, und die man prinzipiell nicht überschreiten kann. Es sei denn,