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 Expertenwissen von Springer-Fachautoren kompakt zur Darstellung. Sie sind besonders für die Nutzung als eBook auf Tablet-PCs, eBook-Readern und Smartphones geeignet. *essentials*: Wissensbausteine aus den Wirtschafts-, Sozial- und Geisteswissenschaften, aus Technik und Naturwissenschaften sowie aus Medizin, Psychologie und Gesundheitsberufen. Von renommierten Autoren aller Springer-Verlagsmarken.

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

Alexander Knochel

Neustart des LHC: neue Physik

Die Teilchenphysik hinter der
Weltmaschine anschaulich erklärt

Springer Spektrum

Dr. Alexander Knochel
Heidelberg, Deutschland

ISSN 2197-6708

essentials

ISBN 978-3-658-13906-3

DOI 10.1007/978-3-658-13907-0

ISSN 2197-6716 (electronic)

ISBN 978-3-658-13907-0 (eBook)

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

Springer Spektrum

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2016

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 Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

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.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Spektrum ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Was Sie in diesem *essential* finden können

- Wie der Large Hadron Collider am CERN wissenschaftliches Neuland erkundet und dabei unser Bild der grundlegenden Naturgesetze revolutionieren könnte.
- Welche aktuellen Fragen der Kosmologie und Astrophysik an den Experimenten des LHC untersucht werden. Woraus besteht die Dunkle Materie, was ist die Dunkle Energie und wie entstand die Materie nach dem Urknall?
- Welche Anomalien in den Daten derzeit vorliegen, welche neuen Phänomene dahinter stecken könnten und was man über Statistik wissen muss, um rätselhafte Beobachtungen richtig einschätzen zu können.
- Wie der LHC und Experimente andernorts sich gegenseitig ergänzen.
- Ist das Higgs-Boson ein Elementarteilchen?
- Was ist die Supersymmetrie, was leistet sie und wie kann sie entdeckt werden?
- Gibt es höhere Dimensionen?
- Kann die Quantengravitation in Beschleunigerexperimenten untersucht werden? Was ist Stringtheorie und welche Rolle spielt sie dabei?

Vorwort

Seit dem Frühjahr 2015 läuft der leistungsfähigste Teilchenbeschleuniger der Welt mit Rekordenergie und stellt unser Bild der Naturgesetze auf den kleinsten Skalen auf die Probe. Zu diesem Anlass erscheinen zwei „*essentials*“, die einen kompakten Überblick über die wissenschaftlichen Ziele und aktuellen Fragestellungen rund um den Large Hadron Collider geben. Während das *essential* „Neustart LHC: das Higgs-Teilchen und das Standardmodell“ eine Einführung in die moderne Physik, das Standardmodell der Teilchenphysik und damit verbundene Themen gibt, lotet dieser Teil „Neustart LHC: neue Physik“ die Grenzen der existierenden Theorien aus und bespricht die ungeklärten Phänomene und offenen Fragen, wie sie sich zu Beginn des Jahres 2016 präsentieren. Ich habe versucht, die Darstellung möglichst in sich geschlossen und unabhängig vom ersten Teil zu halten, beziehe mich aber notwendigerweise auf darin behandelte Konzepte wie etwa den Aufbau des Standardmodells oder die Eigenschaften von Feldern und Teilchen. Um dem Buch zusätzliche Aktualität zu verleihen, erkläre ich einige derzeit beobachtete Anomalien und diskutiere mögliche Interpretationen. Da es sich dabei notwendigerweise um Momentaufnahmen der derzeitigen Datenlage handelt, läuft dieses Kapitel eine höhere Gefahr, von den laufenden Messungen überholt zu werden. Dennoch will ich den Lesern diesen Einblick in die gegenwärtig herrschenden Trends und laufenden Diskussionen nicht vorenthalten. Kommentare zu aktuellen Entwicklungen und Errata finden Sie unter www.knochel.de/blog. Ich wünsche viel Spaß beim Lesen!

Heidelberg
Februar 2016

Alexander Knochel

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Neue Phänomene am LHC	5
3	Offene Fragen	9
3.1	Neutrinos und ihre Massen	9
3.2	Dunkle Materie	10
3.3	Inflation und der Ursprung der Materie	15
3.4	Quantengravitation	17
3.5	Freie Parameter, Hierarchieprobleme, und die Dunkle Energie.	18
3.6	Kritisch!	24
4	Einige aktuelle Anomalien	27
4.1	Zu viele Photonenpaare bei 750 GeV und etwas Statistik	27
4.2	Moment mal!	35
4.3	Die B-Mesonen verhalten sich eigenartig	37
5	Einige Modelle und Theorien	39
5.1	Was steckt hinter dem Higgs-Boson?	39
5.2	Supersymmetrie	42
5.3	Neue Dimensionen	47
5.4	Kann man die Stringtheorie am LHC nachweisen?	50
6	Zusammenfassung und Schlusswort	53
	Was Sie aus diesem <i>essential</i> mitnehmen können	55