

}essentials{

Martin Prechtel · Christian Wolf

Das Lehr-Zyklotron COLUMBUS

Mit einem Teilchenbeschleuniger
Physik und Technik erleben



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

Martin Prechtel · Christian Wolf

Das Lehr-Zyklotron COLUMBUS

Mit einem Teilchenbeschleuniger
Physik und Technik erleben

 Springer Spektrum

Martin Prechtl
Hochschule Coburg
Coburg, Deutschland

Christian Wolf
Untersiemau, Deutschland

ISSN 2197-6708
essentials

ISSN 2197-6716 (electronic)

ISBN 978-3-658-29709-1

ISBN 978-3-658-29710-7 (eBook)

<https://doi.org/10.1007/978-3-658-29710-7>

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

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 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.

Planung/Lektorat: Lisa Edelhaeuser

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

- Die Geschichte eines interessanten Projekts von der Idee bis zu seiner Verwirklichung
- Einen Überblick über ein reales Zyklotron mit seinen Subsystemen
- Wie mit Hilfe von Schulwissen ein Zyklotron gebaut wird
- Grundlegende Berechnungen zur Dimensionierung eines kleinen Zyklotrons
- Fragen und Beispiele, die den Physik-Unterricht der Oberstufe nachhaltig vertiefen und ergänzen

Vorwort

Wie kommt ein Lehrer auf die Idee, ein eigenes Zyklotron zu bauen?

Diese Frage hat sich mein Schulleiter sicher auch gestellt, als ich ihm im Herbst 2011 das erste Mal von meinem Plan erzählt habe, ein solches zu bauen, noch dazu mit meinem Physikkurs. Aber wie bin ich wirklich darauf gekommen? Die Antwort liegt eigentlich auf der Hand, wenn man sich einmal die Lehrbücher der Physik, insbesondere der gymnasialen Oberstufe genauer anschaut:

Hier findet sich das Zyklotron in nahezu jedem Lehrbuch. Die Schülerinnen und Schüler lernen, diesen Beschleuniger zu beschreiben, seine wesentlich Funktion zu erklären und wichtige Kenngrößen zu berechnen, wie z. B. die Zyklotronfrequenz, die Endenergie oder die -geschwindigkeit der Ionen.

Und warum ist das so?

Ein Zyklotron ist, zumindest theoretisch, ein sehr einfacher, vielleicht sogar der einfachste Typ eines Kreisbeschleunigers. Das Prinzip ist so plausibel und einleuchtend, dass man es bisweilen schon in einigen Mittelstufenbüchern zu lesen bekommt.

Fragt man jedoch, wer von ihnen schon einmal ein *richtiges* Zyklotron gesehen hat, so wird man in der Regel entweder Kopfschütteln oder bestenfalls eine ironische Antwort erhalten. Nur wenige Universitäten oder Forschungseinrichtungen unterhalten einen solchen Beschleuniger; zu komplex ist ein reales Zyklotron im Vergleich zu seinem theoretischen Pendant. Und so kommt es zu der geradezu paradoxen Situation, dass fast jeder Schüler, bzw. jede Schülerin ein Zyklotron zwar bis ins Detail berechnen kann, aber noch nie einen solchen Beschleuniger gesehen, praktische Erfahrungen oder gar Experimente damit gemacht hat.

Genau an dieser Stelle setzt das von den Verfassern 2012 ins Leben gerufene Projekt COLUMBUS an, indem es interessierten Schülerinnen und Schülern ein Kleinzyklotron zur Verfügung stellt, mit dem sie die Funktion dieses Beschleunigers **zur Laufzeit** studieren und sogar eigene Experimente durchführen können. Um dies zu erreichen, muss u. a. die Energie der beschleunigten Ionen – es handelt sich hier um Wasserstoffionen – so niedrig sein, dass eine Gefährdung der Schülerinnen und Schüler zu jeder Zeit ausgeschlossen ist. Die Herausforderung dieses Projekts bestand demnach darin, ein Zyklotron in diesem niedrigen Energiebereich zum Laufen zu bringen.

Natürlich hat es in der Vergangenheit bereits einige Versuche in dieser Richtung gegeben, etwa die Arbeiten von Fred Neill (1995) [1], Leslie Dewan (2007) [2], Damian Steiger (2009) [3] oder die Untersuchungen von Heidi Baumgartner/Peter Heuer (Cyclotronkids 2010) [4], und nicht zu vergessen, das Zyklotron von Timothy Koeth, das er an der Rutgers University, New Jersey [5] gebaut hat.

Trotzdem konnten wir nur bedingt auf bereits gemachte Erfahrungen zurückgreifen. Zu unterschiedlich waren die Voraussetzungen und Bedingungen, die diesen Arbeiten zugrunde lagen. So mussten auch wir unseren eigenen Weg gehen, um unser Zyklotron zu bauen. Ohne die Hilfe von vielen Personen, Firmen und Instituten wäre dieses Werk jedoch nie gelungen, so dass ich an dieser Stelle allen Beteiligten ganz herzlich für ihre Unterstützung danken möchte. Eine namentliche Erwähnung würde jedoch den Rahmen dieses Buches sicher sprengen, so dass ich stellvertretend für alle nur einen persönlichen Dank ausspreche, und dieser gilt Prof. Dr. Rudolph Maier vom Forschungsinstitut Jülich und seinem Team. Prof. Maier hat uns, als er 2012 von diesem Plan erfuhr, nicht nur den Magneten zur Verfügung gestellt sondern auch sonst dieses Projekt mit außergewöhnlicher Unterstützung in jeder Hinsicht gefördert und begleitet. Er ist somit quasi der Vater von COLUMBUS. Aus diesem Grund ist das vorliegende Buch auch ihm gewidmet.

Scherneck
im Jahr 2020

Christian Wolf

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Beschleuniger und ihre Anwendungen	5
2.1	Beschleuniger: Gigantomanie oder Notwendigkeit?	5
2.2	Strukturanalyse	6
2.3	Erzeugung neuer Teilchen	7
2.4	Erforschung des frühen Universums	7
2.5	Beschleunigertypen	8
2.6	Das Zyklotron heute	10
3	Das klassische Zyklotron	11
3.1	Beschleunigung im Spiegel elektrischer und magnetischer Felder	11
3.2	Lorentz-Kraft und Führungsfeld	12
3.3	Resonanzbedingung (Zyklotron-Prinzip)	14
4	Teilsysteme und ihr Zusammenwirken	17
4.1	Eine faszinierende Idee	17
4.2	Wirkungsgefüge eines Zyklotrons	18
4.3	Grundsätzliche Überlegungen vor dem Bau des Zyklotrons ...	21
5	Das Magnetsystem	25
5.1	Auf der Suche nach einem Magneten	25
5.2	Der Elektromagnet	26
5.3	Peripherie	27
5.4	Die Dimensionierung	28