

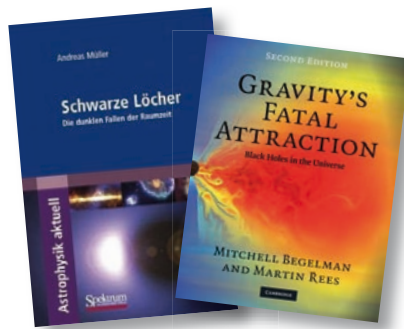
■ Schwarze Löcher

Zu den Eigenschaften, der Entstehung und der astrophysikalischen Bedeutung von Schwarzen Löchern gibt es eine Vielzahl von populärwissenschaftlichen Büchern und Fachbüchern. Zur ersten Gruppe zählen auch das neue Buch von Andreas Müller und die Zweitaufgabe des Buchs von Mitchell Begelman und Martin Rees. Beide Bücher vermitteln den Lesern nicht nur einen Einblick in die faszinierende Geschichte der Schwarzen Löcher, sondern bringen sie auf den neuesten Stand der Forschung, der sich in den letzten fünfzehn Jahren durch Fortschritte bei den Beobachtungstechniken sowie Computersimulationen enorm erweitert hat.

Wie die Autoren ausführlich beschreiben, gehen Astrophysiker inzwischen davon aus, dass sowohl stellare Schwarze Löcher, mit Massen von drei bis etwa 100 Sonnenmassen, als auch extrem massereiche Schwarze Löcher in großer Anzahl im Universum vorhanden sind. Letztere findet man im Zentrum fast jeder Galaxie, so auch in der Milchstraße, deren zentrales Schwarzes Loch nach neuesten Messungen⁺⁾ eine Masse von 4,3 Millionen Sonnenmassen besitzt; beide Büchern gehen noch von rund drei Millionen Sonnenmassen aus.

Vermutlich besitzen die meisten Schwarzen Löcher einen signifikanten Eigendrehimpuls, dessen genauer Wert sich allerdings durch astronomische Beobachtungen nur schwer bestimmen lässt. Wie von den Autoren beschrieben, kann man die Rotationsenergie eines Schwarzen Lochs anzapfen und ihm damit Energie entziehen. Begelman und Rees beschreiben sehr anschaulich und doch physikalisch korrekt (bei Müller sind die entsprechenden Passagen knapper), dass die Rotationsenergie mittels bisher nicht im Detail verstandener magnetohydrodynamischer Prozesse dazu verwendet werden kann, um die auf ein akkretierendes Schwarzes Loch zustürzende Materie teilweise umzulenken

und in eine kollimierte, nahezu lichtschnelle Ausströmung (Jet) in Richtung der Rotationsachse zu verwandeln. Die von den Jets in den Galaxienkernen freigesetzten und über Entfernungen von bis zu einigen Millionen von Lichtjahren transportierte Energiemengen sind wahrhaft astronomisch und betragen bis zu 10^{54} Joule. Dies entspricht etwa der Energie, die eine Galaxie von der Größe unserer Milchstraße mit 100 Milliarden Sternen in einer Milliarde Jahren produziert. Die Rückwirkung dieser Loch-Aktivität auf die Entwicklung der Galaxien



A. Müller: Schwarze Löcher – Die dunklen Fallen der Raumzeit
Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2010, X + 206 S., broschiert, 16,95 €
ISBN 9783827420701

M. Begelman, M. Rees: Gravity's Fatal Attraction – Black Holes in the Universe
Cambridge University Press, 2. Aufl., Cambridge 2010, 312 S., brosch., 19,99 £
ISBN 9780521717939

ist der Gegenstand aktueller Forschung und wird in beiden Büchern ausführlich behandelt.

Die Autoren diskutieren auch „Mini-Schwarze Löcher“, die sich im frühen Universum gebildet haben könnten und die unter Umständen auch in Teilchenbeschleunigern entstehen könnten. Letzteres hatte im Rahmen der Inbetriebnahme des Large Hadron Colliders (LHC) wegen der vermeintlichen Gefahr zu heftigen Diskussionen in Presse und Internet (und sogar zu einer gerichtlichen Klage) geführt. In beiden Büchern wird diese „Bedrohung“ analysiert und als vollkommen unbegründet entkräftet.

Die Präsentation der Forschungsergebnisse ist in beiden Büchern sehr unterschiedlich, was zum Teil am deutlich größeren Umfang des Buchs von Begelman und Rees liegt. Müllers Buch hat keine klar definierte Zielgruppe

(gebildete Laien, Physikstudierende oder Kollegen?) und wirkt auf mich wie mit heißer Nadel gestrickt, da es einige kleinere Ungenauigkeiten enthält. Die Darstellung ist uneinheitlich und reicht von sehr technisch über teilweise lexikografisch bis zu prosaisch. Viele Fachbegriffe werden eingeführt, aber nicht wirklich erklärt, und für meinen Geschmack gibt es zu viele Akronyme. Andererseits ist das Buch eine wahre Fundgrube an neuesten Fakten zu Schwarzen Löchern und enthält Kapitel zur Thermodynamik Schwarzer Löcher sowie über exotischere Aspekte, wie Grava-, Holo- und Bosonensterne.

Begelman und Rees bieten eine umfassendere und sprachlich elegantere Darstellung des Themas, dafür jedoch in Englisch. Alles wird nachvollziehbar erklärt, die Argumentation ist sehr physikalisch, kommt aber ohne Formeln aus. Das Buch enthält sehr schöne Abbildungen von neuesten Beobachtungen und Computersimulationen sowie sehr instruktive Grafiken.

Interessierte Leser stehen somit vor der Entscheidung, ob sie lieber einen jungen aber spritzigen Beaujoulais nouveaux oder einen gereiften und eleganten Bordeaux genießen möchten.

Ewald Müller

■ Atome, Moleküle und optische Physik

Dieses zweibändige Lehrbuch richtet sich an Studenten der Physik und Chemie nach dem Vordiplom bzw. Bachelor. Es behandelt die zentralen Themen der Atom- und Molekülphysik: die experimentellen Methoden und Ergebnisse zu Größe, Masse und Struktur von Atomen sowie zur Wechselwirkung elektromagnetischer Strahlung mit Materie, die zur Entwicklung der Quantentheorie geführt haben.

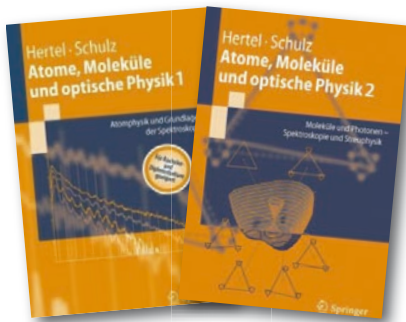
Der erste Band stellt die Grundlagen der Atomphysik und der Spektroskopie vor, die wichtigste Methode, um die Struktur von Atomen und Molekülen zu untersuchen. Dazu gehört die Beschrei-

+) S. Gillessen et al.,
Astrophys. J. 707, L114
(2009)

Priv.-Doz. Dr. Ewald Müller, Max-Planck-Institut für Astrophysik, Garching

bung des Photons und Elektrons als Teilchen und als Welle. Den Wellencharakter von Elektronen illustrieren die Autoren an modernen experimentellen Methoden, wie der Beugung niederenergetischer Elektronen (LEED) oder von Atomen und Molekülen an engmaschigen Transmissionsgittern. Der Teilchencharakter wird anhand des Verhaltens geladener Teilchen in äußeren elektrischen oder magnetischen Feldern dargestellt.

Die Beschreibung der atomaren Struktur beginnt, wie üblich, mit



I. V. Hertel, C.-P. Schulz: **Atome, Moleküle und optische Physik**
Springer, Heidelberg,
Bd. 1 und 2 2008 und
2010

Bd. 1: XVIII + 511 S.,
broschiert, 49,95 €
ISBN 9783540306139
Bd. 2: XXV + 639 S.,
broschiert, 49,95 €
ISBN 9783642119729

dem H-Atom, sowohl im Rahmen des Bohrschen Atommodells als auch der Quantenmechanik. Es folgt der Aufbau der Atomhüllen größerer Atome nach dem Pauli-Prinzip, wobei auch die theoretische Behandlung mithilfe der Störungstheorie kurz angerissen wird. Bevor feinere Details der Atomspektren, wie Feinstruktur und Lamb-Verschiebung im Kapitel 6 ins Blickfeld rücken, fügen die Autoren zwei Kapitel über nichtstationäre Probleme ein, wie Dipol-Übergänge, induzierte und spontane Emission, sowie Linienbreiten von Spektrallinien und Multiphoton-Prozesse.

Nach der mehr summarischen Diskussion der Mehrelektronen-Atome in Kap. 3, erläutert Kap. 7 am Beispiel des Helium-Atoms und Helium-artiger Ionen die Grundlagen der Theorie von Mehrelektronen-Atomen, die dann aber erst im Kapitel 10 fortgesetzt wird. Dazwischen widmet sich das Buch

den Problemkreisen von Atomen in äußeren Feldern sowie der Hyperfeinstruktur. Hier hätte ich mir persönlich eine mehr systematische Reihenfolge gewünscht.

Ein Anhang erläutert schließlich Begriffe wie 3j und 6j-Symbole und ihre Anwendung auf die Drehimpulsalgebra sowie Matrixelemente, Wigner-Eckart-Theorem, Oszillatorenstärke und Dipolnäherung.

Der zweite Band beginnt mit einem Überblick über zweiatomige und mehratomige Moleküle. Er folgt hier in der Behandlung der verschiedenen Teilaspekte bewährten Lehrbüchern der Molekülphysik.

Bevor die Autoren in Kapitel 15 die Molekülspektren als Fingerabdruck der Molekülstruktur besprechen, schieben sie zwei umfangreiche Kapitel über Laser und Kohärenz ein, in denen neben experimentellen Methoden der Laserphysik auch moderne Darstellungen der Kohärenz und Glauber-Zustände von Photonen diskutiert werden. Kapitel 15 behandelt außer den elektromagnetischen Übergängen auch neuere Verfahren der Teilchen-Spektroskopie, wie Photoelektronen-Spektroskopie und TPEPICO (Threshold Photo-Electron Photo-Ion COincidence).

Insgesamt drei Kapitel bieten die Grundlagen der atomaren Streuphysik, sowohl semiklassisch als auch quantenmechanisch. Phänomene wie die Regenbogen-Streuung, Stückelberg-Oszillationen oder Landau-Zener-Übergänge werden kurz diskutiert. Das Buch schließt mit den Themen Dichtematrix und optischen Bloch-Gleichungen.

Diese zwei Bände vermitteln den Lesern einen guten Überblick über die moderne Atomphysik, heutzutage verwendete experimentelle Methoden und einen summarischen Eindruck der theoretischen Beschreibungen. Die grundlegenden Phänomene sind an Hand gut ausgewählter Beispiele verdeutlicht und die zweifarbigen Abbildungen illustrieren in anschaulicher Weise den Text. Man muss das Buch nicht von vorne bis hinten in einem Zuge durchlesen, sondern viele Teilaspekte erschlie-

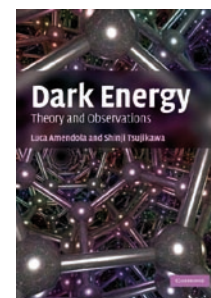
ßen sich durchaus bei der Lektüre der einzelnen Kapitel. Die vielen Beispiele erleichtern das Verständnis und kompensieren die nicht immer optimale Reihenfolge der Kapitel.

Insgesamt ein gutes Lehrbuch, das man Studierenden, die bereits eine Grundausbildung in Quantentheorie haben, durchaus empfehlen kann, weil es viele interessante Aspekte der modernen Physik der Atome, Moleküle und Photonen beleuchtet.

Wolfgang Demtröder

■ Dark-Energy Theory and Observations

Zum ersten Mal gibt es nun ein wissenschaftliches Buch zur Dunklen Energie. Luca Amendola von der Universität Heidelberg und Shinji Tsujikawa von der Universität Tokio erklären, was es mit der mysteriösen Dunklen Energie auf sich haben könnte, und wo die großen Fragezeichen stecken. Dunkle Energie trägt mehr als zwei Drittel zur heutigen Energiedichte im Kosmos bei und ist praktisch homogen im ganzen Universum verteilt. Wir können sie durch solche Eigenschaften charakterisieren,



L. Amendola, S. Tsujikawa: **Dark Energy – Theory and Observations**
Cambridge University Press, Cambridge 2010, 506 S., geb., 45 £
ISBN 9780521516006

aber es gibt inzwischen zahlreiche Theorien, die versuchen, ihren Ursprung zu erklären, und keiner weiß, welches die richtige ist.

Das Buch von Amendola und Tsujikawa widmet sich hauptsächlich dem theoretischen Rahmen, in dem die Dunkle Energie beschrieben werden kann. Nach einer prägnanten Formulierung der kosmologischen Grundlagen beschreiben sie verschiedene Beobachtungsmethoden zur Dunklen Energie:

Prof. Dr. Wolfgang Demtröder, Universität Kaiserslautern

Prof. Dr. Christoph Wetterich, Institut für Theoretische Physik, Universität Heidelberg

Dr. Gerald Schmidt, TU Dortmund, Zentrum für Synchrotronstrahlung / Delta