

Einleitung

1

1.1	Was ist Kern-, Elementarteilchen- und Astrophysik?	2
1.2	Historische Entwicklung der Kern- und Elementarteilchenphysik	3
1.3	Bedeutung der Kern-, Elementarteilchen- und Astrophysik; offene Fragen	5
1.4	Überblick über das Konzept des Lehrbuches	6
	Literaturverzeichnis	7

Praktisch alle Erscheinungen in unserer irdischen Umwelt können auf Gravitation und elektromagnetische Wechselwirkungen zurückgeführt werden. Das makroskopische Verhalten der Materie, das sich z. B. durch ihre mechanischen, elektrischen oder optischen Eigenschaften ausdrückt, wird im Wesentlichen nur durch die Elektronenhüllen der Atome bestimmt, deren Anordnung durch die elektromagnetische Wechselwirkung festgelegt wird, wie wir in Bd. 3 gesehen haben. Auch alle chemischen und biologischen Reaktionen, welche das Leben auf der Erde bestimmen, beruhen auf elektromagnetischen Wechselwirkungen zwischen den Elektronenhüllen von Atomen und Molekülen. Da die Elektronen das elektrische Coulomb-Feld des Atomkerns weitgehend abschirmen, wechselwirken Kerne neutraler Atome, außer durch Gravitationswechselwirkung aufgrund ihrer Masse, kaum mit anderen Teilchen außerhalb des eigenen Atoms. Diese Tatsache hat sicher dazu beigetragen, dass Atomkerne erst im 20. Jahrhundert entdeckt wurden. Die Kernphysik, die sich mit den Eigenschaften und Strukturen der Kerne beschäftigt, ist daher eine relativ junge Wissenschaft.

1.1 Was ist Kern-, Elementarteilchen- und Astrophysik?

In der Kernphysik wird untersucht, aus welchen Bausteinen die Atomkerne aufgebaut sind, welche Kräfte sie zusammenhalten, wie groß die Bindungsenergien sind, welche Energiezustände angeregter Kerne möglich sind, in welcher Form die Anregungsenergie abgegeben wird, wann Kerne stabil sind oder wann sie zerfallen können, und wie Kerne beim Zusammenstoß mit anderen Teilchen reagieren. Die genaue Kenntnis der charakteristischen Eigenschaften der Kerne, wie z. B. ihre Masse, die Ladungsverteilung im Kern, elektrische und magnetische Momente von Kernen und die Kerndrehimpulse, ist dabei Voraussetzung für die weitergehende Untersuchung der Dynamik angeregter Kerne.

Während die *Atomhüllenphysik* durch die bekannte elektromagnetische Wechselwirkung beschrieben werden kann und inzwischen eine einheitliche geschlossene Theorie (Quantenmechanik bzw. Quantenelektrodynamik) existiert, welche alle bisher beobachteten Phänomene der Atomphysik richtig wiedergibt (wenn auch die meisten Probleme nur durch Näherungsverfahren numerisch gelöst werden können), wird die Struktur der *Atomkerne* außer durch elektromagnetische Kräfte durch zwei neue Arten von Kräften beherrscht. Über diese *starke* und *schwache* Wechselwirkung gibt es bisher, trotz großer Fortschritte in den letzten Jahren, nur unvollkommene Kenntnisse und noch keine gesicherte vollständige Theorie. Trotzdem sind eine Reihe phänomenologischer Modelle entwickelt worden, die viele Eigenschaften der Atomkerne richtig beschreiben. Sie sind häufig an Vorbilder aus der Atomphysik angelehnt, wie z. B. das *Schalenmodell*, oder orientieren sich an Vorstellungen der Kontinuumsphysik, wie z. B. das *Tröpfchenmodell* des Atomkerns.

Eine tiefere Einsicht in die Kernphysik hat die Hochenergiephysik gebracht, in der die Substruktur der Kernbausteine,

der Nukleonen, untersucht wird. Das Quarkmodell, welches einen Aufbau aller Nukleonen aus elementaren Fermionen, den Quarks, annimmt, und die Kräfte zwischen ihnen auf den Austausch von anderen elementaren Teilchen (Gluonen und Vektorbosonen) zurückführt, hat zu einer Theorie, der Quantenchromodynamik, geführt, die alle bisherigen Beobachtungen richtig erklären und teilweise auch vorhersagen konnte. Sie ist in Analogie zur Quantenelektrodynamik der Atomhülle entwickelt worden.

Deshalb ist es auch aus didaktischen Gründen zweckmäßig, die Kern- und Teilchenphysik erst nach der Atom- und Festkörperphysik zu studieren, obwohl bei der Darstellung des systematischen Aufbaus größerer Strukturen aus ihren Bausteinen die Kernphysik eigentlich vor der Atomphysik behandelt werden müsste.

Da man Atomkerne nicht direkt sehen kann, mussten spezielle Nachweistekniken zu ihrer Beobachtung entwickelt werden. Diese nutzen überwiegend die Wechselwirkung un abgeschirmter Kerne entweder mit den Atomhüllen anderer Atome oder auch mit denen des eigenen Atoms aus. Beispiele der ersten Art sind die Ionisation von Luftmolekülen in der Nebelkammer durch Alphateilchen oder die durch radioaktive Teilchenstrahlung induzierte Lichtemission von Szintillatoren (Kap. 4). Ein Beispiel der zweiten Art ist die durch die Wechselwirkung mit elektrischen oder magnetischen Momenten des Kerns bewirkte Hyperfeinstruktur der Termwerte der Elektronenhülle (siehe Abschn. 2.5 und Bd. 3, Abschn. 5.6). Solche Nachweistekniken und die Interpretation der experimentellen Ergebnisse erfordern deshalb oft Kenntnisse aus der Atom- oder Festkörperphysik, die zu Beginn des 20. Jahrhunderts noch nicht verfügbar waren.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Untersuchung von Kernen als quantenmechanische Teilchen beruht auf der Wellennatur der Materie (siehe Bd. 3, Kap. 3): Zur Untersuchung der Struktur von Atomkernen mit Hilfe von Streuexperimenten muss man Sonden verwenden, die ein genügend großes räumliches Auflösungsvermögen haben. Benutzt man Teilchen als Projektile bei der Streuung an Atomkernen, so muß deren De-Broglie-Wellenlänge klein sein gegen die Kerndimensionen, d. h. ihre kinetische Energie muss genügend groß sein. Deshalb konnte die systematische Untersuchung der Kernstruktur besonders große Fortschritte machen, nachdem außer den schnellen Teilchen, die von natürlichen radioaktiven Stoffen ausgesandt werden, intensive Teilchenströme hoher Energie aus Beschleunigern zur Verfügung standen. Solche Beschleuniger wurden aber erst in den dreißiger Jahren des 20. Jahrhunderts für mittlere Energien und nach dem zweiten Weltkrieg für hohe Energien entwickelt. Dies ist ein weiterer Grund für die, relativ zur Atomphysik, späte Entwicklung der Kernphysik.

Die Physik der Elementarteilchen hat durch die Entwicklung gigantischer Beschleuniger und komplexer Detektortechnologie, aber auch durch neue Ideen der Theoretiker sehr große Fortschritte gemacht, und die experimentellen und theoretischen Erfolge der letzten Jahre haben uns dem Ziele einer einheitlichen Theorie aller Wechselwirkungen näher gebracht.

Das Gebiet der Elementarteilchenphysik ist nicht nur vorstellungsmäßig, sondern auch in seiner mathematischen Behandlung sehr schwierig. Wir werden es hier deshalb nur auf einer