

Die Welt verstehen: Physik II, die Fortsetzung

In diesem Kapitel...

- ▶ Elektrizität und Magnetismus
- ▶ Schall- und Lichtwellen
- ▶ Relativitätstheorie, Radioaktivität und weitere Themen der modernen Physik

p Physik hat nichts mit esoterischen Wissenschaften zu tun, die von irgendwelchen Gralshütern verwaltet werden, die von Ihnen allein aus Grausamkeit Prüfungen verlangen, obwohl genau dies manchmal den Anschein hat. Physik ist im Gegenteil die Erforschung *unserer* Welt. Sie sollten also die Physik nicht als etwas betrachtet, das ausschließlich in Büchern und den Köpfen von Professoren stattfindet, aber alle anderen ausgeschlossen bleiben.

Physik ist im Gegenteil das Ergebnis von Fragen, die tief sinnige Menschen an die Natur gestellt haben. An der Beantwortung dieser Fragen kann jeder teilhaben. Fragen wie: Was ist Licht? Warum ziehen Magnete Eisen an? Gibt es eine größere Geschwindigkeit als die des Lichtes? sind schließlich für jeden von Interesse. Daher sollte Sie die Physik nicht abschrecken. Sie sollten vielmehr hingehen und diese Fragen zu Ihren eigenen Themen machen. Wenn Sie etwas nicht verstehen, sollten Sie darauf bestehen, dass man es Ihnen besser erklärt, und den Fehler nicht bei sich selbst suchen. Physik ist die menschliche Untersuchung der Welt, die uns umgibt, und Sie selbst sind ein Teil davon.

Physik II für Dummies nimmt den Faden dort auf, wo Physik I aufgehört hat. Dieses Buch behandelt und erklärt die Themen, die üblicherweise im zweiten Semester einer Einführung in die Physik vorkommen. Sie erfahren alles über Elektrizität, Magnetismus, Lichtwellen, Relativitätstheorie (natürlich nur die spezielle), Radioaktivität, Materiewellen und mehr. Dieses erste Kapitel gibt einen kurzen Überblick.

Mechanik und Wärmelehre

Mechanik und Wärmelehre – von den Physikern auch liebevoll *Thermodynamik* genannt – wurden schon in Physik I dargestellt. Damit das vorliegende Buch alle Themen umfasst, die Sie möglicherweise für eine Prüfung brauchen, werden sie hier noch einmal kurz und knapp dargestellt. Eine vollständige Behandlung finden Sie natürlich in *Physik für Dummies*.

Elektrizität und Magnetismus

Elektrizität und Magnetismus sind eng miteinander verbunden. Sich bewegende Ladungen (nicht aber ruhende, unbewegliche Ladungen) erzeugen magnetische Effekte. Selbst in Permanentmagneten wird der Magnetismus durch winzige, bewegliche Ladungen innerhalb

der Atome erzeugt. Aus diesem Grund werden beide Themen in diesem Buch stets gemeinsam diskutiert. In Teil III werden daher Elektrizität, Magnetismus und Wechselstromkreise eingeführt.

Elektrische Ladungen und elektrische Felder

Elektrizität spielt eine wichtige Rolle in unserer Welt; dies betrifft nicht nur Blitze und Glühlampen. Die Anordnung elektrischer Ladungen in jedem Atom bildet die Grundlage der Chemie: Wie in Kapitel 16 erläutert wird, bestimmt die Anordnung der Elektronen in den Atomen die chemischen Eigenschaften eines Materials, wodurch sowohl der Glanz von Metallen als auch die Biegsamkeit von Plastikmaterialien erklärt werden können. Die Anordnung der Elektronen bestimmt sogar die Farbe von Materialien, wenn man sie mit Licht bestrahlt.

Die Diskussion der Elektrizität beginnt üblicherweise mit elektrischen Ladungen, insbesondere der Kraft zwischen zwei Ladungen. Die Tatsache, dass sich zwei Ladungen gegenseitig entweder anziehen oder abstoßen, ist von großer Bedeutung sowohl für die Elektrizität im Allgemeinen als auch für die Struktur der Atome, aus denen die Materie um uns herum aufgebaut ist. In Kapitel 5 lernen Sie, wie diese Kraft genau aussieht und wie sie sich mit dem Abstand der beiden Ladungen ändert. Elektrische Ladungen erzeugen zudem in dem sie umgebenden Raum elektrische Felder. Sie selbst haben schon solche elektrische Felder erfahren, wenn sich die Haare auf ihren Armen aufgerichtet haben, als Sie Wäsche aus einem Trockner holen wollten. Die Physiker haben das elektrische Feld als Kraft pro Einheitsladung definiert. Kapitel 5 zeigt, wie man elektrische Felder anhand der Anordnung von Ladungen berechnen kann.

Der nächste Schritt ist die Einführung des *elektrischen Potentials*, das Sie auch unter dem Namen *Spannung* kennen. Die Spannung ist die pro Einheitsladung notwendige Arbeit, um diese Ladung in einem Feld von einem Punkt zum anderen zu transportieren. Diese Spannung ist identisch mit den Angaben, die Sie auf Batterien finden.

Mit diesen drei Größen (Kraft, elektrisches Feld und Spannung) können Sie alle Fragen, die Sie haben, wenn statische elektrische Ladungen vorhanden sind, beantworten.

Einen Schritt weiter: der Magnetismus

Was passiert, wenn elektrische Ladungen sich zu bewegen beginnen? Genau dann tritt Magnetismus auf. Der *Magnetismus* ist ein Effekt, der von elektrischen Ladungen hervorgerufen wird; er hängt mit elektrischen Feldern zusammen, ist aber ganz klar etwas anderes. Er tritt nur auf, wenn sich Ladungen bewegen. Man muss nur ein Elektron anstoßen und in Bewegung setzen, und siehe da: man erhält ein magnetisches Feld. Die Entdeckung, dass bewegte elektrische Ladungen magnetische Felder erzeugen können, war damals wirklich revolutionär; man kann nicht darauf kommen, wenn man nur mit Permanentmagneten arbeitet.

Bewegte elektrische Ladungen bilden einen *Strom*; elektrische Ströme erzeugen ihrerseits magnetische Felder, deren Form von der Anordnung der stromdurchflossenen Leiter abhängt. Das heißt, dass sich das Magnetfeld eines geraden stromdurchflossenen Drahtes von dem einer Stromschleife unterscheidet und noch viel mehr von dem einer Aneinanderrei-

hung von Stromschleifen in einer Zylinderspule. Die Berechnung der Magnetfelder all dieser Anordnungen erfolgt in Kapitel 6.

Die Erzeugung magnetischer Felder durch bewegte elektrische Ladungen ist nicht die einzige Verbindung zwischen Elektrizität und Magnetismus; magnetische Felder beeinflussen im Gegenzug auch bewegte elektrische Ladungen. Wenn sich eine elektrische Ladung in einem Magnetfeld bewegt, erfährt sie eine Kraft senkrecht zu ihrer Bewegungsrichtung und ebenfalls senkrecht zur Richtung des Magnetfeldes. Daraus folgt, dass bewegte elektrische Ladungen in gleichförmigen Magnetfeldern unweigerlich Kreisbahnen einschlagen (dieses Prinzip wird in Massenspektrometern ausgenutzt, um chemische Elemente in einer Probe zu identifizieren). Wie groß ist nun diese Kreisbahn? Wie hängt ihr Radius mit der Geschwindigkeit der Ladung zusammen? Wie ist die Abhängigkeit von der Größe der Ladung oder der Stärke des Magnetfeldes? Ganz ruhig. All diese Fragen werden in Kapitel 6 beantwortet.

Wechselstromkreise: Wechselspiel zwischen elektrischen und magnetischen Feldern

In *Physik für Dummies* haben Sie Gleichstromkreise kennengelernt. In Kapitel 7 finden Sie die gehobene *Physik-II*-Version. Sie werden lernen, was passiert, wenn Strom und Spannungen in einem Schaltkreis zeitlich in definierter Weise variieren; in diesem Fall spricht man von *Wechselspannung* und *Wechselstrom*. In diesem Zusammenhang werden Sie neben Widerständen weitere Komponenten von Wechselstromkreisen wie Kondensatoren und Spulen kennenlernen und erfahren, wie sich diese in Wechselstromkreisen verhalten. Eine ganze Reihe von elektrischen Geräten unseres Alltagslebens beruht auf diesen Elementen in wechselstrombetriebenen Schaltungen.

Wenn Sie sich mit Spulen beschäftigen, werden Sie auch einem der wichtigsten Gesetze der Physik begegnen, das elektrische und magnetische Felder in Beziehung zueinander setzt. Das Induktionsgesetz (oder Faraday'sche Induktionsgesetz) zeigt, wie ein sich änderndes Magnetfeld eine Spannung induziert, die wiederum ihr eigenes Magnetfeld erzeugt. Dieses Gesetz gilt nicht nur für Spulen, es gilt für alle elektrischen und magnetischen Felder im ganzen Universum.

Das ist die perfekte Welle

Wellen bilden ein wichtiges Thema in diesem Buch. Eine *Welle* ist eine sich fortbewegende Störung in einem System, die Energie transportiert. Wenn diese Störung *periodisch* ist, wiederholt sich ihr Ausmaß in Raum und Zeit über eine Entfernung, die man *Wellenlänge* nennt, und einem Zeitraum, der *Periode* oder *Schwingungsdauer* genannt wird. Kapitel 8 beschäftigt sich mit der Ausbreitung von Wellen; Sie werden dort Zusammenhänge zwischen der Geschwindigkeit einer Welle, der Wellenlänge und der *Frequenz* kennen lernen (das ist die Rate, mit der Wellen einen bestimmten Punkt passieren). In den übrigen Kapiteln von Teil IV erfahren Sie dann mehr über bestimmte Arten von Wellen, z. B. elektromagnetische Wellen (wie etwa Licht oder Radiowellen) und Schallwellen.

Alles über Schallwellen

Schall ist eine Welle in der Luft; die verschiedenen Wechselwirkungen von Schallwellen beruhen auf Verhaltensweisen, die alle Wellen gemeinsam haben. Schallwellen können beispielsweise an einer Oberfläche reflektiert werden: Richten Sie einfach einmal eine Schallwelle auf eine Wand und lauschen Sie dem Echo. Eine Schallwelle kann auch mit anderen Schallwellen interferieren. Auch diese Effekte kann man hören – oder es herrscht Stille, je nach den Bedingungen. Diese beiden Effekte bilden die Grundlage, wenn man die harmonischen Töne von Musik verstehen will.

Die Eigenschaften von Schall wie etwa Tonhöhe oder Lautstärke hängen von den Eigenschaften der Welle ab. Wenn Sie jemals dem Geräusch eines vorbeifahrenden Zuges oder eines Polizeiwagens aufmerksam zugehört haben, wissen Sie, dass sich der Ton ändert, wenn sich ein Fahrzeug auf Sie zu oder von Ihnen weg bewegt. Das ist der sogenannte *Doppler-Effekt*. Ein besonders extremer Effekt tritt auf, wenn sich Körper mit einer Geschwindigkeit bewegen, die größer ist als die des Schalls; dabei werden Stoßwellen ausgelöst. Dies ist die Ursache des Überschallknalls. All diese Themen werden in Kapitel 9 behandelt.

Die Natur des Lichts

Licht spielt in diesem Buch eine große Rolle. Heute weiß man natürlich, was Licht ist, aber lange Zeit war dies nicht der Fall. Sie können sich wahrscheinlich die Aufregung von James Clerk Maxwell vorstellen, als plötzlich die Lichtgeschwindigkeit in seinen Gleichungen auftauchte und er sich bewusst wurde, dass die Kombination von Elektrizität und Magnetismus unweigerlich zu Lichtwellen führte. Vor dieser Entdeckung war Licht ein großes Rätsel: Was ist Licht? Wie kann es Energie transportieren?

Durch Maxwell hatte sich die Situation verändert. Alle Physiker wissen heute, dass Licht aus elektromagnetischen Schwingungen besteht. In Kapitel 10 werden wir Maxwells Überlegungen folgen, die ihn zu dieser erstaunlichen Schlussfolgerung führten. Dabei werden Sie lernen, wie die Lichtgeschwindigkeit durch zwei voneinander unabhängige Konstanten definiert ist, die jeweils beschreiben, wie sich elektrische und magnetische Felder im freien Raum ausbreiten.

Da Licht eine Welle ist, transportiert es Energie, die man genau berechnen kann. Der Betrag dieser Energie ist eng mit der Größe der elektrischen und magnetischen Komponenten der Welle verbunden. In Kapitel 10 wird gezeigt, wie viel Leistung Licht einer bestimmten Intensität transportieren kann.

Natürlich ist Licht nur der sichtbare Teil des *elektromagnetischen Spektrums*, ein sehr kleiner Teil übrigens. Es gibt eine Vielzahl elektromagnetischer Strahlungen, die man anhand ihrer Frequenzen einteilen kann: Radiowellen, Mikrowellen, Infrarotlicht, sichtbares Licht, ultraviolettes Licht, Röntgenstrahlen und schließlich die extrem energetischen Gammastrahlen.

Spiele mit Licht: Reflexion und Brechung

Licht wird vor allem durch seine Wechselwirkung mit Materie interessant. Dabei kann das Licht beispielsweise teilweise reflektiert oder absorbiert werden. Diese Prozesse bestimmen zum großen Teil, was wir in der alltäglichen Welt um uns herum sehen.

Die Reflexion von Licht unterliegt bestimmten Regeln. Die wichtigste ist, dass der *Einfallswinkel* eines Lichtstrahls – das ist der Winkel, unter dem das Licht auf eine Oberfläche trifft, gemessen in bezug auf die Oberflächennormale, die senkrecht zur Oberfläche steht – gleich dem *Reflexions-* oder *Ausfallwinkel* ist, unter dem das Licht die Oberfläche wieder verlässt. Die Art und Weise, wie Licht von Oberflächen zurückgeworfen (reflektiert) wird, ist für eine ganze Reihe von Anwendungen von großer Bedeutung, angefangen von Periskopen von Unterseebooten über Fernrohre, Glasfasern bis hin zu den Reflektoren, die die Apollo-Astronauten auf dem Mond zurückgelassen haben. Diese Regeln der Reflexion werden in Kapitel 12 behandelt.

Auf der anderen Seite kann sich Licht natürlich auch in Materie ausbreiten (sonst gäbe es Fenster, Sonnenbrillen, gefärbte Gläser und vieles mehr nicht). Wenn Licht von einem Material in ein anderes übertritt, wird es abgelenkt. Diesen Prozess nennt man *Refraktion* oder *Brechung*. Das Ausmaß der Ablenkung hängt von den beteiligten Materialien ab; entscheidend sind die *Brechungsindizes* dieser Materialien. Die entsprechenden Gesetze sind für viele Anwendungen wichtig. Wenn man beispielsweise Linsen herstellen will, muss man natürlich wissen, wie das Licht in die Linse eintritt und sie wieder verlässt, um eine Linse so zu formen, dass man das gewünschte Bild erhält. Linsen spielen auch im nächsten Abschnitt eine große Rolle.

Bilderzeugung: Linsen und Spiegel

Wenn Sie sich intensiv mit der praktischen Anwendung der Physik (und damit auch dieses Buches) beschäftigen wollen, dann werden Sie insbesondere die Optik lieben. Sie befasst sich vor allem mit Linsen und Spiegeln, die für Fernrohre, Mikroskope, Kameras usw. notwendig sind.

Linsen: es kommt auf den Fokus an

Linsen können Licht entweder sammeln (fokussieren) oder zerstreuen. In jedem Fall erhält man ein Bild des gewählten Gegenstandes. Manchmal steht es aufrecht, manchmal steht es auf dem Kopf, manchmal ist es größer und manchmal auch kleiner als das Original. Zudem ist es manchmal reell, manchmal auch nur virtuell. Bei *reellen Bildern* konvergieren die Lichtstrahlen, und man kann einen Bildschirm an die Stelle bringen, an der es erscheint, und das Bild auf dem Schirm beobachten (wie etwa im Kino). Ein *virtuelles Bild* liegt vor, wenn das Licht von einem Punkt zu divergieren scheint, wie etwa im Fall von Vergrößerungsgläsern oder ebenen Spiegeln.

Mit ein klein wenig Physik ist es einfach, die Abbildung mithilfe von Linsen zu verstehen. Wenn Sie gerne mit graphischen Darstellungen arbeiten, können Sie die Eigenschaften der von Linsen erzeugten Bilder sehr einfach durch Zeichnungen ermitteln. In Kapitel 11 werden Strahlendiagramme eingeführt, die die Wirkungsweise von Linsen illustrieren.

wird (und ob es aufrecht oder kopfüber sein wird).

unverzüglich Mikroskope und Fernrohre nach Ihren eigenen Vorstellungen entwerfen.

Spiegelbilder/ ʁɛʃlɪdʁɪŋ

hersagen, wo das Bild dieses Gegenstandes erscheinen wird.

von Spiegeln werden in Kapitel 12 erläutert.

Interferenz: wenn Licht mit Licht wechselwirkt

wenn Licht auf Licht gleicher Frequenz trifft, sogenannte *Interferenzmuster*: Eine Aneinan-

Die moderne Physik: ein weit verzweigtes Feld

Das 20. Jahrhundert brachte der Physik viele neue Themen und einige Revolutionen, die man heute unter dem Begriff *Moderne Physik* zusammenfasst. Die revolutionären Ansätze – wie etwa die Quantenmechanik oder Einsteins spezielle Relativitätstheorie – änderten die Sicht der Physik der uns umgebenden Welt vollständig. Beispielsweise wurde klar, dass die Newton'sche Mechanik nicht immer angewendet werden kann. Je tiefer die Physiker die physikalischen Grundlagen unserer Welt durchdrangen, umso mehr Ideen entwickelten sie, wie man noch mehr und immer mehr über diese Welt erfahren kann. Das führte schließlich zu technologischen Entwicklungen, die neue Experimente ermöglichten, die Welt noch genauer und immer besser kennenzulernen.

Sie werden wahrscheinlich die Begriffe Relativitätstheorie und Radioaktivität kennen und auch Einiges darüber wissen, aber mit anderen Themen wie *Materiewellen* (dahinter verbirgt sich die Tatsache, dass Materieteilchen einen wellenartigen Charakter aufweisen, wenn sie sich bewegen) oder der Schwarzkörperstrahlung (die Emission von Strahlung eines Körpers in Abhängigkeit von seiner Temperatur) werden sie nicht so vertraut sein. Diese Themen und mehr werden in Teil V behandelt.

Die Schwarzkörperstrahlung: Wärme bedeutet Helligkeit

Wenn Sie eine Glühbirne (eine aussterbende Spezies) oder gar die Sonne betrachten, so wird Ihnen klar, dass heiße Gegenstände Licht aussenden. Genau genommen emittieren alle Gegenstände, wie heiß auch immer sie sein mögen, elektromagnetische Strahlung, darunter auch sichtbares Licht.

Wenn man die Temperatur eines Körpers kennt, kann man die Wellenlänge berechnen, bei der das emittierte Spektrum sein Maximum aufweist. Dieses Thema ist eng mit *Photonen* verbunden – Lichtteilchen oder Lichtquanten. Die Energie, die ein solches Photon transportieren kann, hängt von seiner Wellenlänge ab. Weitere Einzelheiten dazu finden sich in Kapitel 15.

Die Relativitätstheorie: natürlich gilt $E = mc^2$

Zuletzt kommen wir nicht darum herum: Einstein und seine spezielle Relativitätstheorie. Was bedeutet eigentlich $E = mc^2$? Letztendlich bedeutet es, dass Materie und Energie austauschbar sind und ineinander umgewandelt werden können. Das Energieäquivalent ist dabei die Ruhemasse m . Betrachten Sie beispielsweise eine Tomate. Wenn sich deren gesamte Masse plötzlich in Energie umwandelt – was zugegebenermaßen nicht sehr wahrscheinlich ist – können Sie die dabei freigesetzte Energie genau berechnen. Dabei zeigt sich, dass diese Explosion mehr als gewaltig wäre. Normalerweise wandeln Kernexplosionen nur einen kleinen Teil der beteiligten Materie in Energie um.

Einsteins Theorie umfasst mehr als $E = mc^2$. Sie sagt auch voraus, dass sich bei sehr hohen Geschwindigkeiten die Zeit ausdehnt, Längen sich aber zusammenziehen. Wenn Sie beispielsweise ein Raumschiff sehen, das sich mit 99 % der Lichtgeschwindigkeit bewegt, würde es Ihnen in Flugrichtung verkürzt erscheinen. Im Raumschiff selbst verstreicht die Zeit langsamer, wie ein Vergleich einer Uhr, die sich im Schiff selbst befindet, mit einer in Ruhe

befindlichen Uhr zeigen würde. Die Frage ist also: Wenn sich ein Raumschiff mit hoher Geschwindigkeit an Ihnen vorbei bewegt, tickt die Uhr im Raumschiff langsamer als Ihre eigene Armbanduhr? Das ist wirklich der Fall; als Folge altert die Besatzung des Raumschiffs langsamer als Sie selbst.

Flugzeuge fliegen wesentlich langsamer als dieses imaginäre Raumschiff, aber diese Effekte spielen auch hier eine Rolle. Man kann genau berechnen, wie viel weniger ein Transatlantikpassagier altert als Sie selbst, wenn Sie zu Hause in Ihrem Sessel sitzen. (Die gute Nachricht für Sie ist: diese Zeitspanne ist unendlich klein, Sie müssen also auf der Suche nach dem Jungbrunnen nicht rund um die Welt fliegen.) Die spezielle Relativitätstheorie wird in Kapitel 14 dargestellt.

Identitätsprobleme: der Welle-Teilchen-Dualismus

Licht besteht aus Wellen – nach allem, was Sie in diesem Buch gelernt haben, ist das keine Überraschung. Die Aussage, dass sich auch Materie in Form von Wellen bewegt, ist dagegen ein echter Knaller! Betrachten Sie zum Beispiel einmal ganz normale Elektronen, die sich vor sich hin bewegen. Diese Elektronen haben nicht nur den Teilchencharakter, der bislang ausschließlich diskutiert wurde, sondern auch einen Wellencharakter. Dies führt soweit, dass Elektronenstrahlen miteinander interferieren können – genauso wie zwei Lichtstrahlen – und dabei Interferenzmuster erzeugen können.

Aber nicht nur Elektronen kann man eine Wellenlänge zuordnen. Dies gilt auch für Tortenstücke, Fußbälle und sogar Tomaten, wenn sie sich bewegen. Diese Aspekte werden in Kapitel 15 vorgestellt.

Das $\alpha\beta\gamma$ der Strahlung

Kernphysik befasst sich – das sagt sich immer so schön – mit den Kernen, die sich in der Mitte von Atomen befinden. Wenn man sich mit Kernphysik beschäftigt, beschäftigt man sich automatisch auch mit Radioaktivität.

In Kapitel 17 erfahren Sie mehr oder über Atomkerne. Sie lernen den Unterschied zwischen *Kernspaltung* (wenn man Atomkerne spaltet) und *Kernfusion* kennen, bei der sich Kerne vereinigen. Darüber hinaus werden Sie den Kernzerfall kennenlernen, der schließlich zur *Radioaktivität* führt.

Natürlich verhalten sich verschiedene radioaktive Materialien unterschiedlich. Ihre Halbwertszeiten (die Zeit, nach der die Hälfte des Materials zerfallen ist) ist ein Maß für ihre Radioaktivität. Je kürzer die Halbwertszeit, desto größer die Radioaktivität eines Materials.

Die verschiedenen Arten radioaktiver Strahlung – α , β und γ – sind Thema von Kapitel 17.