

HARALD LESCH | JÖRN MÜLLER
STERNSTUNDEN DES UNIVERSUMS

HARALD LESCH
JÖRN MÜLLER

STERN-
DES STUNDEN
UNIVERSUMS

Von tanzenden Planeten und
kosmischen Rekorden

 Bassermann

ISBN 978-3-8094-4633-0

1. Auflage

Genehmigte Sonderausgabe

© 2022 by Bassermann Verlag, einem Unternehmen der Penguin Random House Verlagsgruppe GmbH, Neumarkter Straße 28, 81673 München

© der Originalausgabe 2011 by C. Bertelsmann Verlag,
einem Unternehmen der Penguin Random House Verlagsgruppe GmbH,
Neumarkter Straße 28, 81673 München

Jegliche Verwertung der Texte und Bilder, auch auszugsweise,
ist ohne die Zustimmung des Verlags urheberrechtswidrig und strafbar.

Sollte diese Publikation Links auf Webseiten Dritter enthalten,
so übernehmen wir für deren Inhalte keine Haftung,
da wir uns diese nicht zu eigen machen, sondern lediglich auf
deren Stand zum Zeitpunkt der Erstveröffentlichung verweisen.

Projektleitung dieser Ausgabe: Martha Sprenger
Umschlaggestaltung: Atelier Versen, Bad Aibling
Bildredaktion: Dietlinde Orendi
Satz: Uhl + Massopust, Aalen
Herstellung: Franziska Polenz



Penguin Random House Verlagsgruppe FSC® N001967

Druck und Bindung: Litotipografia Alcione Srl., Lavis, Trient, Italien

Printed in Italy

214100750111

Inhalt

Prolog 7

Kapitel 1

Reaktortechnik à la nature 11

Kapitel 2

Ein Tag – so lang 31

Kapitel 3

Stiefkinder der Sonne 40

Kapitel 4

Prima Klima 68

Kapitel 5

Spring, Neptun, spring! 79

Kapitel 6

Vorfahrt beachten! 89

Kapitel 7

Kohlenstoff – to be or not to be 95

Kapitel 8

Warten auf den Knall 108

Kapitel 9

Extrablatt – Breaking News 130

Kapitel 10

Heller – größer – schwerer 146

Kapitel 11

Quasi ein Stern 176

Kapitel 12

Urknall ade? 190

Kapitel 13

Wieso ist etwas und nicht nichts? 202

Kapitel 14

Tausendmal ICH? 213

Danksagung 232

Anhang

Schreibweisen 233

Glossar 234

Literatur 246

Abbildungsnachweis 252

Register 257

Prolog

Haben Sie schon mal die Show eines Magiers besucht? Was dort vorgeführt wird, lässt die Zuschauer an ihrem Verstand zweifeln. Da verschwinden oder erscheinen Dinge wie von Zauberhand, Tauben flattern aus augenscheinlich leeren Kisten, und manchmal wird sogar ein Mensch mit einer Guillotine enthauptet, nur um sich kurz darauf wieder munter vom Schafott zu erheben. Für einen guten Zauberkünstler ist es anscheinend ein Leichtes, unsere Sinne »hinters Licht zu führen«. Unmittelbar vor unseren Augen ereignen sich Dinge, die aller Logik zu widersprechen scheinen. Wie ist das möglich? Unser Verstand fühlt sich schlichtweg betrogen. Meist reagieren wir auf solche Vorführungen mit hilflosem Staunen, so, als wäre ein Wunder geschehen. Im täglichen Leben kommen derartige Seltsamkeiten ja nicht vor. Die Erfahrung hat uns gelehrt, dass jedes Ereignis eine Ursache hat. Die Badewanne läuft über, weil jemand vergessen hat, den Wasserhahn zuzudrehen. Das ist einsichtig und logisch zugleich. Doch welches Geheimnis steckt hinter den Vorführungen des Illusionisten? Wie hat der »Zauberer« das bloß geschafft?

Ja, wie? In den Naturwissenschaften ist dieses unscheinbare Wörtchen »wie« von zentraler Bedeutung. Mit einem »wie« beginnen nahezu alle Verständnisfragen. Wie funktioniert das? Wie läuft dieser Prozess ab? Wie kann man sich das erklären? Am Anfang aller Bemühungen um Erkenntnis steht dieses simple Fragewort. Das gilt auch für die wohl älteste Wissenschaft der Menschheit, die Astronomie. Sie hat es sich zur Aufgabe gemacht, grundlegende Fragen zum Universum und unserer Existenz zu klären: Wie konnte aus dem sogenannten Urknall, der »Initialzündung« allen Seins, das Universum entstehen, in

dem wir heute leben, und wie laufen die Prozesse ab, die noch immer den Kosmos gestalten?

Antworten liefern im Wesentlichen zwei Verfahren. Zum einen stellt die Astronomie mithilfe geeigneter Experimente Fragen an die Natur. Die andere Methode beruht auf der gezielten Beobachtung der Vorgänge im Kosmos. Hier kommen sowohl auf der Erde als auch im Weltraum stationierte Teleskope zum Einsatz. Beide Methoden sind empirischer Natur, und beide leiden darunter, dass sich uns die Dinge nicht so darstellen, wie sie wirklich sind. Die Wahrnehmung unserer Umwelt ist zwangsweise durch unser Erkenntnisvermögen eingeschränkt. Insbesondere die Experimente laufen unter idealisierten Bedingungen ab und spiegeln die Wirklichkeit nur unzureichend wider. Folglich sind die gewonnenen Erkenntnisse nicht mit der Wahrheit gleichzusetzen. Die Astronomie, aber auch alle anderen unter dem Begriff »Naturwissenschaft« vereinten Disziplinen können prinzipiell nicht herausfinden, ob ihre Theorien und Modelle richtig sind. Sie können bestenfalls feststellen, inwieweit daraus abgeleitete Vorhersagen nicht falsch sind. Was die Naturwissenschaften jedoch so glaubhaft macht, ist die Falsifizierbarkeit ihrer Theorien. Das heißt: Naturwissenschaftliche Theorien müssen sich an Beobachtungsergebnissen und der Erfahrung messen lassen. Ob eine Theorie nicht falsch ist, darüber entscheidet als letzte Instanz das Experiment. Ziel astronomischer Forschung ist es daher nicht, die Wahrheit in Erfahrung zu bringen, sondern die Wirklichkeit mit den Mitteln der empirischen Wissenschaften zu untersuchen und immer neue Erkenntnisse zu gewinnen.

Trotz ihrer enormen Bandbreite sind die Naturwissenschaften nicht für alle Fragen zuständig. Ein Beispiel mag das verdeutlichen. Die Frage »*Wie* kommt es, dass überhaupt etwas ist und nicht nichts?« ist eine der Kernfragen der Astronomie. In einem eigenen Kapitel werden wir dem noch ausführlich nachgehen. Die Situation ändert sich jedoch grundlegend, wenn man die Frage abändert zu: »*Warum* ist überhaupt etwas und nicht nichts?« Aus der Seinsfrage wird so urplötzlich eine Sinnfrage! Eine Frage nach dem Grund, dem Zweck, ja, nach

dem tieferen Sinn dessen, was geschieht. Sinnfragen sind Fragen der Metaphysik. Diese Disziplin der Philosophie versucht Antworten zu geben auf die primären Fragen des Seins: »Gibt es einen letzten Sinn?«, »Warum existiert überhaupt die Welt?« oder »Gibt es einen Gott – und wenn ja, was können wir über ihn wissen?« Darauf vermögen die Naturwissenschaften nicht zu antworten. Fragen dieser Art stehen außerhalb der rationalen Erfahrungswelt, gehen über das Wahrnehmbare hinaus und sind einer empirischen Untersuchung unzugänglich. Der große Philosoph Immanuel Kant hat in seiner *Kritik der reinen Vernunft* dazu sinngemäß gesagt: Schicksal der menschlichen Vernunft ist es, mit derartigen (also metaphysischen) Fragen belästigt zu werden, mit Fragen, die sie nicht abweisen kann, da sie ihr durch die Natur der Vernunft selbst aufgegeben sind. Aber sie kann sie nicht beantworten, denn sie übersteigen alles Vermögen der menschlichen Vernunft. In diesem Sinne sind die modernen Naturwissenschaften für Fragen, denen ein »Warum« voransteht, der falsche Adressat.

Wie ein Magier uns immer wieder in Erstaunen versetzen kann, so präsentiert uns auch das Universum ungewöhnliche Objekte und verwirrende Vorgänge. Da gibt es Sterne, die sich regelmäßig aufblähen und wieder zusammenziehen und dabei ihre Leuchtkraft periodisch ändern. Oder aus den Tiefen des Alls erreicht uns urplötzlich ein nur Sekunden andauernder Strahlungsblitz, der mehr Energie transportiert, als unsere Sonne während ihres rund zehn Milliarden Jahre langen Sternenlebens erzeugt. Und es gibt Sterne, die einige zehntausend Male leuchtkräftiger und heißer sind als unsere Sonne. Einige sind so groß, dass selbst der Mars darin verschwinden würde, könnte man sie an die Stelle der Sonne setzen. Auch die Tatsache, dass das Element Kohlenstoff, der Grundbaustein allen Lebens, in ausreichender Menge im Universum vorkommt, verdankt sich im Grunde einem glücklichen Zufall.

All das hat nichts mit einem Wunder zu tun. Und dennoch, die Phänomene sind höchst verwunderlich. In den folgenden Kapiteln wollen wir einige merkwürdige Objekte und bizarr

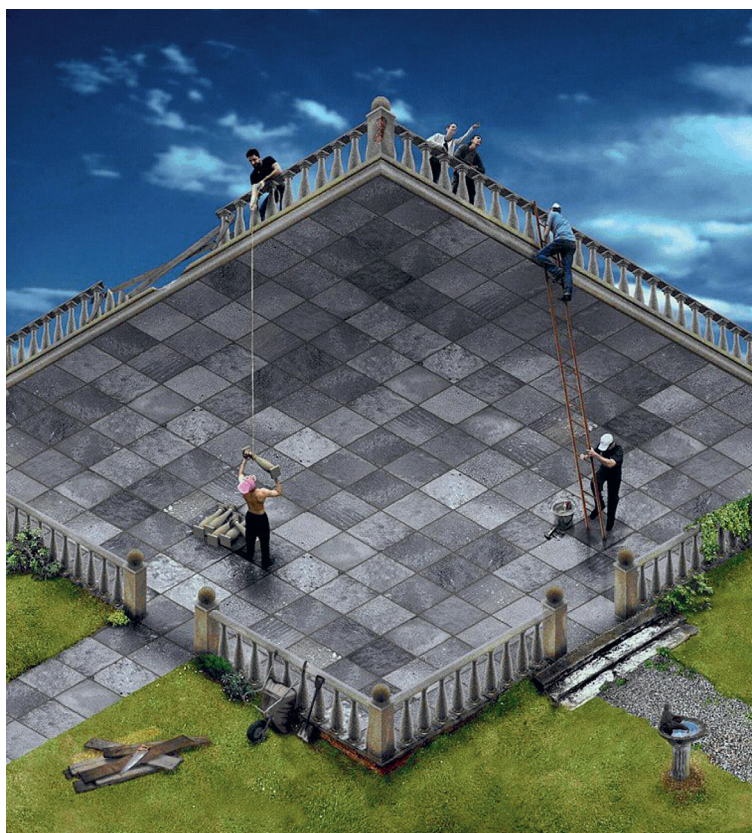


Abb. 1: Illusion oder Wirklichkeit? – Nicht immer fällt die Entscheidung leicht. Die Natur konfrontiert uns stets aufs Neue mit irrational erscheinenden Vorgängen. Nicht selten bedarf es jahrelanger Forschung, um die Phänomene zu entzaubern.

erscheinende Vorgänge vorstellen. Meist hat es die Astrophysiker viel Mühe gekostet, zu verstehen, was sich da tut. Nicht immer ist alles klar. Noch immer bedürfen viele Theorien einer Bestätigung durch Experiment oder Beobachtung. Der Faszination tut das jedoch keinen Abbruch (Abb. 1).

Kapitel 1

Reaktortechnik à la nature

Die älteren Leser erinnern sich vielleicht noch an die Anti-Atomkraft-Demos in den 70er-Jahren des vergangenen Jahrhunderts. Der »Schlachtruf« der Atomkraftgegner lautete damals »Atomkraft? Nein Danke«. Doch alle Proteste waren vergeblich. Bis 2004 wurden in Deutschland rund 110 Atomreaktoren zur Stromerzeugung und zu Forschungszwecken geplant. Nicht alle wurden fertiggestellt. Einige sind über das Planungsstadium nicht hinausgekommen, wurden nicht zu Ende gebaut oder nie in Betrieb genommen, viele sind mittlerweile stillgelegt worden. Anfang des Jahres 2011 waren 17 Kernkraftwerke mit einer Gesamtleistung von rund 20 Gigawatt am Netz. Angesichts des unvermeidbaren Risikos, durch einen Unfall in einem AKW ganze Landstriche radioaktiv zu verseuchen, und unter dem Eindruck des Reaktorunglücks im Kernkraftwerk Fukushima (Japan) im März 2011, bei dem es in mehreren Reaktorblöcken zu einer Kernschmelze kam, hat man in Deutschland den Ausstieg aus der Kernenergie beschlossen. Bis jedoch Wind- und Solarkraftwerke die Lücke schließen, dürfte noch einige Zeit vergehen.

Ob sich Atomkerne spalten lassen, war lange Zeit umstritten. Am 17. Dezember 1938 erbrachte der deutsche Chemiker Otto Hahn schließlich den Beweis. Zusammen mit Fritz Straßmann konnte er zeigen, dass der schwere Kern des Elements Uran in leichtere Elemente »zerplatzen« kann. Was hatte Hahn gemacht? Er hatte Uran mit Neutronen beschossen und mithilfe komplizierter chemischer Analyseverfahren die Elemente Barium und Krypton als Spaltprodukte nachgewiesen. Kurz

darauf, am 6. Februar 1939, lieferte schließlich Hahns Kollegin Lise Meitner die Theorie zu diesem Experiment. Sie konnte erklären, wie es zu diesen Reaktionsprodukten gekommen war: durch Kernspaltung von Uran. Dass für diese Entdeckung allein Otto Hahn mit dem Nobelpreis geehrt wurde, kann man durchaus als ungerecht empfinden.

Doch zurück zum Uran. Wie bei allen Elementen besteht auch ein Uranatom aus einem Atomkern mit einer ihn umgebenden Elektronenhülle. Der Kern wiederum setzt sich zusammen aus sogenannten Nukleonen, den Protonen und Neutronen. Beim Uran sind es 92 Protonen und, je nach Uranisotop, 142, 143 oder 146 Neutronen. Die Atomkerne der Isotope eines Elements haben demnach immer gleich viele Protonen, sie unterscheiden sich aber in der Zahl der Neutronen. Die Summe von Protonen und Neutronen ergibt die Massenzahl des Elements. Das Uranisotop mit 142 Kernneutronen hat daher die Bezeichnung Uran 234 (U234), das mit 143 Neutronen im Kern wird Uran 235 (U235) genannt und das mit 146 Neutronen Uran 238 (U238). In der Natur kommen diese Uranisotope mit stark unterschiedlicher Häufigkeit vor. 99,2744 Prozent des Urans in den Uranlagerstätten stellt das Isotop U238 und nur 0,7202 Prozent das Isotop U235. Das Isotop U234 trägt mit vernachlässigbaren 0,0054 Prozent fast nichts zum Gesamtvorkommen bei.

Was geschieht, wenn Urankerne mit Neutronen beschossen werden, hängt davon ab, welches Isotop getroffen wird und wie schnell die Neutronen sind beziehungsweise wie hoch ihre kinetische Energie ist. Zunächst wird durch den Einfang eines Neutrons Bindungsenergie frei. Man versteht darunter die Energiemenge, die man benötigen würde, um ein Neutron aus dem Kern zu lösen und unendlich weit weg zu schaffen. Bei Atomkernen, die eine gerade Anzahl an Kernneutronen aufweisen, ist die Bindungsenergie der Neutronen viel größer als bei Kernen mit einer ungeraden Anzahl von Kernneutronen. Demnach ist die frei werdende Bindungsenergie höher, wenn die Anzahl der Kernneutronen durch das eingefangene Neu-

tron geradzahlig wird, als wenn sich eine ungerade Neutronenzahl ergibt. Der U235-Kern hat mit 143 Neutronen eine ungerade Anzahl an Kernneutronen. Durch den Einfang eines Neutrons wird sie mit 144 geradzahlig, und die frei werdende Bindungsenergie beträgt rund 6,4 Millionen Elektronenvolt. (Ein Elektron gewinnt eine Energie von 1 Million Elektronenvolt [1 MeV], wenn es durch eine Spannung von 1 Million Volt beschleunigt wird.) Beim U238-Kern ist die Anzahl der Kernneutronen vor dem Einfang mit 146 geradzahlig, und sie wird durch den Einfang eines Neutrons ungerade. Folglich ist auch die beim Einfang frei werdende Bindungsenergie mit rund 4,8 MeV deutlich kleiner als beim U235-Kern.

Die Kernspaltung wird ausgelöst, wenn die Summe aus frei werdender Bindungsenergie und kinetischer Energie des Neutrons größer ist als die sogenannte Spaltschwelle des Atomkerns. Die liegt für U235 bei rund 5,8 MeV, für U238 bei 6,3 MeV. Da beim U235-Kern die frei werdende Bindungsenergie bereits höher als die Spaltschwelle ist, kann die kinetische Energie der Spaltneutronen beliebig klein sein. U235-Kerne sind demnach besonders leicht zu spalten. Bei U238 sieht die Sache anders aus. Dort liegt die frei werdende Bindungsenergie deutlich unterhalb der Spaltschwelle. Damit es zur Kernspaltung kommt, müssen die Spaltneutronen eine kinetische Energie von mindestens 1,5 MeV haben, entsprechend der Differenz zwischen 6,3 MeV und 4,8 MeV. Mit »langsamen« Neutronen ist U238 daher praktisch nicht zu spalten.

Ob schwer oder leicht zu spalten, lässt sich auch am sogenannten Wirkungsquerschnitt ablesen. Vereinfacht ausgedrückt versteht man darunter die Fläche um den Atomkern, innerhalb derer das Neutron auftreffen muss, damit es zum Einfang mit anschließender Spaltung des Urankerns kommt. Der Wirkungsquerschnitt, der in Einheiten von 10^{-28} Quadratmetern, auch 1 barn genannt, angegeben wird, ist abhängig von der kinetischen Energie der Neutronen. Für Neutronen mit geringer kinetischer Energie, sogenannte thermische Neutronen, hat U235 einen Wirkungsquerschnitt von rund

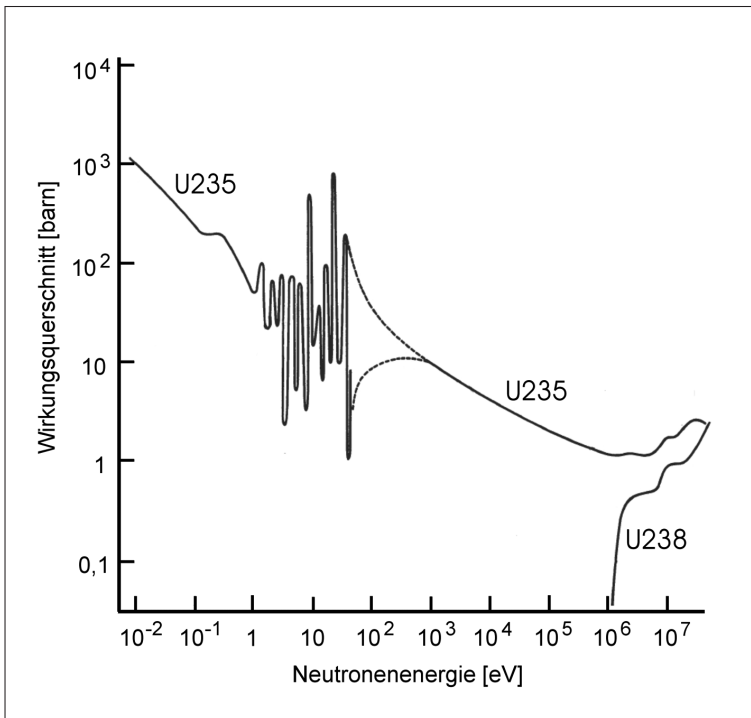


Abb. 2: U235 ist besonders leicht mit langsamen Neutronen im Energiebereich um 0,025 eV zu spalten. Mit wachsender kinetischer Energie der Neutronen nimmt der Wirkungsquerschnitt für den Neutroneneinfang stark ab. Bei U238 erreicht man erst mit Neutronen oberhalb 1,5 MeV nennenswerte Spaltreaktionen.

600 barn. Mit wachsender Neutronenenergie wird er immer kleiner (Abb. 2). Auf die Erzeugung thermischer Neutronen kommen wir noch zu sprechen. U238 hat für langsame Neutronen einen rund 30 Millionen Mal kleineren Wirkungsquerschnitt als U235. Erst wenn die kinetische Energie der Neutronen einen Wert von 1,5 MeV erreicht, steigt er auf etwa 0,1 barn und bei einer kinetischen Energie von 10 MeV auf rund 1 barn. Im Vergleich zu U235 ist daher U238 nicht nur viel schwerer zu spalten, man würde auch einen wesentlich höheren Fluss an hochenergetischen Neutronen benötigen, um