

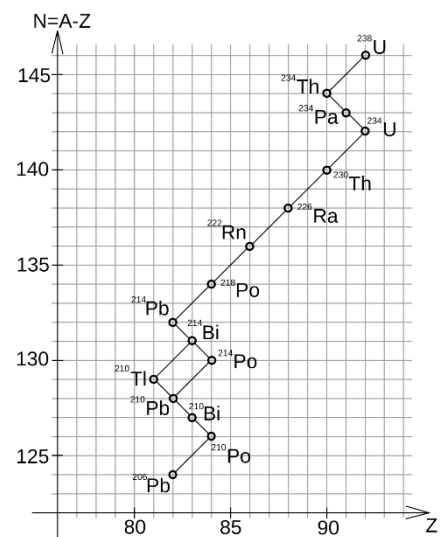
Peter Tirler Von Marie Curie zum Manhattan Project: Physik und Geschichte der Atombombe

Die Epoche von ca. 1900 bis 1940 wird in der Geschichte der Physik als eine der fundamentalen Veränderungen und Umwälzungen angesehen, in denen sich ein Übergang von einem direkten, intuitionsbasierten Verständnis der Welt zur modernen Physik mit all ihren komplexen Phänomenen vollzog. Während dies anfänglich vor allem innerhalb eines kleinen Kreises von Wissenschaftlern am Rand der gesellschaftlichen Wahrnehmung geschah, rückten sie mit dem Abwurf zweier Atombomben auf Japan im August 1945 plötzlich und schlagartig in den Mittelpunkt der Gesellschaft. In meinem Vortrag versuche ich die Entwicklung von der Entdeckung der Radioaktivität bis zu Kernwaffen und ihren Folgen wissenschaftlich und historisch gleichermaßen nachzuzeichnen, und in diesem Rahmen das Verhältnis von Wissenschaft und Gesellschaft in der turbulenten ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts zu beleuchten.

Die Physik als abgeschlossene Wissenschaft

Die großen, heute im Physikunterricht von Mittel- und Oberschulen, aber auch Bachelorstudien gelehrt Theorien stammen fast allesamt aus dem 19. Jahrhundert. Eine einheitliche Theorie der klassischen Mechanik, die Lehre der Thermodynamik und schließlich auch die Phänomene des Elektromagnetismus konnten in Theoreme und Formeln gezwängt werden. Gegen Ende des Jahrhunderts machte sich in einer sich rapide industrialisierenden Welt immer mehr die Idee breit, die Physik sei allgemein verstanden, und alles, was jetzt noch nicht verstanden war, würde sich mit genug Aufwand aus den bereits etablierten Prinzipien und etwas Intuition herleiten können. Bekannt wurde die Aussage von Max Plancks Mentor Philipp von Jolly, der den angehenden Physikstudenten wissen ließ, dass „in dieser Wissenschaft schon fast alles erforscht sei, und es gelte, nur noch einige unbedeutende Lücken zu schließen.“ [1]

Kurz vor der Jahrhundertwende wurde dieses Weltbild aber immer mehr durch neue experimentelle Erkenntnisse in Frage gestellt. Eine dieser Entdeckungen gelang dem französischen Physiker Henri Becquerel, der feststellte, dass von Pechblende, einem uranhaltigen



Eine schematische Darstellung des Zerfalls von Uran, der über verschiedene Zwischenschritte zu Blei führt. Die x-Achse gibt die Anzahl Protonen im Atomkern an, die y-Achse ist die Gesamtanzahl der Kernteilchen inklusive Neutronen. Grafik von [9]

Erz, eine unsichtbare Strahlung ausging, die Fotoplatten ohne die Anwesenheit von Licht schwärzen konnte. [2]

Was als kurzer Kommentar publiziert wurde, sollte weitreichende Folgen haben. Eine Studentin Becquerels, die aus Polen nach Paris gezogene Marie Curie, begann dieses Phänomen systematisch zu untersuchen, und es gelang ihr, neue, bislang unbekannte chemische Elemente zu isolieren, die noch viel stärker strahlen als Uran. Ein Uran-Kern zerfällt nicht direkt in stabile Bestandteile, sondern über eine Kette verschiedener kurzlebiger Zustände, die schnell weiter zerfallen und schließlich in einem stabilen Blei-Kern enden. Zu diesen Zwischenprodukten gehören zum Beispiel Radium und Polonium, die, nach den lateinischen Worten für „Strahlung“ und „Polen“, noch heute den Namen ihrer Entdeckungsgeschichte verdanken. [3]

Was ist Radioaktivität und was ein Atomkern

Heute wissen wir, dass Radioaktivität ein Phänomen von Atomkernen ist. Nicht nur die Elektronen eines Atoms können reagieren und zu chemischen Reaktionen führen, auch die positiven Protonen und neutralen Neutronen, die Teilchen des Kerns können sich von diesem trennen, oder sich sogar ineinander umwandeln. Generell unterscheidet man heute drei Arten von Radioaktivität: [4]

- **α -Strahlung**, bei der sich ein ganzer Helium-Kern (zwei Protonen und zwei Neutronen) vom Atomkern löst und als Materie-Strahlung ausgesendet wird.
- **β -Strahlung**, bei der sich ein Neutron in ein Proton verwandelt. Dabei bleibt die Masse im Kern erhalten, aber die Ladung wird dadurch erhalten, dass ein Elektron abgestoßen wird.
- **γ -Strahlung**. Hier werden keine Teilchen ausgesandt, sondern ein Atomkern in einem angeregten Zustand, zum Beispiel nach einem α - oder β -Zerfall, zerfällt in einen stabileren Zustand mit weniger Energie. Dabei wird die freiwerdende Energie als elektromagnetische Strahlung abgestrahlt, die noch energiereicher ist als Röntgenstrahlung.

Physikalisch können diese Effekte so erklärt werden, dass Atomkerne von ca. mittlerer Größe energetisch am effektivsten sind. Sehr kleine und sehr große Kerne hingegen können unter gewissen Bedingungen entstehen, tragen in sich aber mehr Energie als rein durch ihre Bestandteile notwendig wäre. Ein Zerfall von Uran in etwas kleinere Bestandteile zum Beispiel ist also energetisch vorteilhaft und setzt gleichzeitig Energie frei. Da Kerne sehr viel enger gebunden sind als die Elektronen eines Atoms, sind auch die Energien in solchen Prozessen größer als die, die wir aus chemischen Reaktionen kennen, und ist radioaktive Strahlung so hochenergetisch.

Alle drei Effekte treten vor allem bei sehr großen, instabilen Atomkernen auf. Sie sind daher spontane Prozesse und hängen nur von der Struktur eines Atomkerns ab. Ist ein Atom einmal stabil, und fast alle natürlich vorkommenden Atome und Atomkerne sind es, tritt Radioaktivität gar nicht auf.

Zum Zeitpunkt der Entdeckungen von Becquerel und Curie war das aber alles andere als offensichtlich. Die Vorstellung, Atome bestünden aus noch kleineren Bestandteilen war

sehr neu, und erst 1911 postulierte der Neuseeländer Ernest Rutherford überhaupt die Existenz eines Atomkerns, nachdem er experimentell bewiesen hatte, dass Atome vor allem aus leerem Raum bestehen, und fast die gesamte Masse in ihrem Zentrum konzentriert ist.

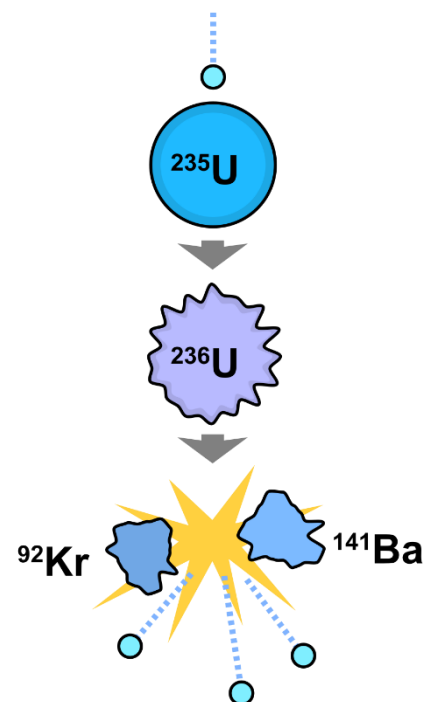
Es dauerte noch zwei weitere Jahrzehnte, bis die Struktur von Atomen als Kern aus Protonen und Neutronen, umgeben von einem Orbit aus leichten Elektronen experimentell bestätigt war, und damit auch eine physikalische Erklärung für die mysteriöse Radioaktivität gefunden war

Kernspaltung

Radioaktivität war der erste Beweis dafür, dass Atome, und nicht einmal Atomkerne, vollständig stabil sind, und in kleinere Teile zerbrechen können. Sind aber alle Arten von Atomkernen, alle Elemente und Isotope, die keine Radioaktivität aufweisen, unendlich stabil, oder können auch sie in kleinere Teile zerbrechen, wenn die Bedingungen passen?

1938 gelingt es dem deutschen Chemiker Otto Hahn, Uran durch Bestrahlung mit Neutronen in kleinere Bestandteile zerfallen zu lassen. [5] Diesmal werden aber nicht nur kleine Teile ausgesetzt, sondern der Urankern zerfällt in zwei ungefähr gleich große neue Kerne, zum Beispiel Barium und Krypton. Das ist eine viel radikalere Veränderung als bei radioaktiver Strahlung, wo höchstens ein kleiner Teil des Atomkerns sich abspaltet, und der große Rest verbleibt.

Otto Hahns Mitarbeiterin, die Österreicherin Lise Meitner, erkannte als erste, dass deswegen auch noch viel größere Energien frei werden konnten. [6] Außer den beiden Endprodukten erzeugt der Spaltprozess auch noch neue, freie Neutronen, die wieder andere Atomkerne zur Spaltung anregen können. Damit könnte eine Kettenreaktion entstehen, die alle Urankerne einer Probe gleichzeitig spaltet, und für die damalige Zeit unvorstellbar viel Energie freisetzt.



Eine schematische Darstellung der Kernspaltung. Ein ^{235}U Kern wird von einem Neutron angeregt, um über ein Zwischenprodukt in zwei ähnlich große Teile zu zerfallen. Grafik entnommen von [8]

Das Rennen um die Atombombe

Hahn vermied zunächst eine Veröffentlichung seiner Entdeckungen und teilte sie nur seiner mittlerweile aus Deutschland geflohenen Kollegin Lise Meitner mit. Er publizierte sie wenige Monate später aber doch und sowohl die deutsche als auch die ausländische Fachwelt wurde sich schnell bewusst, dass seine Entdeckung nicht nur für friedliche Energiegewinnung, sondern auch für eine Bombe genutzt werden konnte.

In Deutschland schrieb im April 1939 der österreichische Physiker Paul Harteck an das Reichskriegsministerium und machte es auf die Möglichkeit einer Atombombe aufmerksam. Sofort wurde eine Konferenz einberufen, in der allerdings beschlossen wurde, sich zunächst auf den Bau eines Kernreaktors zu fokussieren. Alle verfügbaren Uranreserven wurden gesammelt und es entstand das „Uranprojekt“, eine große Kooperation verschiedener deutscher Institutionen, um Kernenergie nutzbar zu machen. Zwischen 1939 und 1945 passiert aber fast das Gegenteil: Die verschiedenen Teams des Projekts verfolgen unterschiedliche Ansätze, Ziele und Technologien, und konkurrieren miteinander um Ressourcen. Als die Wehrmacht schließlich im Mai 1945 kapituliert, waren weder ein Reaktor noch eine Bombe in greifbarer Nähe.

In England behauptet Nobelpreisträger G. P. Thompson zuerst, der Bau einer Bombe sei technisch unmöglich. Nach einem Memorandum von Lise Meitners Neffen, dem geflohenen Otto Frisch, kommt eine Kommission 1941 schließlich doch zum Schluss, es sei möglich. Die meisten Arbeiten beschränken sich aber auf Theorie, nicht den Versuch, selbst eine Bombe zu bauen.

In Amerika wird zunächst wenig unternommen, obwohl jüdische Physiker selbst Albert Einstein überzeugen können, einen Brief an Präsident Roosevelt mitzuunterzeichnen, der vor einem deutschen Atomwaffenprogramm warnt. Auf der Basis der britischen Ergebnisse beginnt schließlich doch 1941 das Manhattan-Projekt mit dem Ziel, eine Atombombe zu bauen.

Dieses ist dafür sehr breit angelegt: Unter der wissenschaftlichen Leitung von J. Robert Oppenheimer wird versucht, sowohl mit Uran als auch mit der Alternative Plutonium eine Bombe zu bauen. Der größten Herausforderung, der Anreicherung von ^{235}U , wird mit Masse und Industrie begegnet, und in kurzer Zeit entstehen ganze Städte, die sich nur dieser Aufgabe widmen, zum Beispiel Oak Ridge in Tennessee. [7] Dieser Ansatz funktioniert. Zu spät, um noch für den Krieg in Europa relevant zu werden, aber noch vor der Kapitulation Japans testet die USA am 16. Juli 1945 das erste Mal erfolgreich eine Atombombe.

Das Atomzeitalter

Am 6. und am 9. August schließlich werden diese eingesetzt. Die japanischen Städte Hiroshima und Nagasaki werden dadurch effektiv vernichtet, zwischen 90.000 und 166.000 Menschen finden dabei den Tod. Nicht nur der zweite Weltkrieg endet hier, da Japan kurz darauf bedingungslos kapituliert, sondern die ganze globale Weltordnung ist mit einem Schlag verändert. Das nukleare Wettrüsten mit Deutschland ist zwar beendet, aber es folgt kurz darauf eines mit der Sowjetunion. Mit dem Unterschied, dass die Bomben nun bereits existieren und eine gegenseitige, globale nukleare Vernichtung eine reale Option ist.

Literaturverzeichnis

- [1] H. H. R. A. H. Max Planck, Vorträge Reden Erinnerungen, Berlin, Heidelberg: Springer, 2001.
- [2] H. Becquerel, "Sur les radiations émises par phosphorescence," *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, vol. 122, pp. 420-421, 1896.
- [3] J. V. Pierre Radvanyi, "The discovery of radioactivity," *Comptes Rendus Physique*, 2017.
- [4] K. S. Krane, Introductory Nuclear Physics, 1988.
- [5] F. S. Otto Hahn, "Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle," *Die Naturwissenschaften*, vol. 1, 1939.
- [6] O. F. Lise Meitner, "Disintegration of Uranium by Neutrons: A New Type of Nuclear Reaction," *Nature*, vol. 143, 1939.
- [7] R. Rhodes, The Making of the Atomic Bomb, New York: Simon & Schuster, 1986.
- [8] https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_fission#/media/File:Nuclear_fission.svg.
- [9] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Uranova_rada.svg?uselang=de#filelinks.