

1 Kernspaltung von Uran-235

Genau dies war die Absicht der Experimente von HAHN und STRASSMANN. Zu ihrem großen Erstaunen stellten sie jedoch fest, daß statt der erwarteten Transurane zwei Elemente mit mittleren Ordnungszahlen entstanden waren, nämlich Barium ($Z=56$) und Krypton ($Z=36$). Die Uranatome mußten also in zwei Teile zerbrochen sein.

Natürliches Uran besteht aus den Isotopen U-235 und U-238. Die Untersuchungen von HAHN und STRASSMANN ergaben, daß in ihren Versuchen nur Uran-235 durch Neutronen gespalten wurde. Bei dieser Spaltung können auch andere Bruchstücke entstehen. Die Massenzahlen stehen dabei stets etwa im Verhältnis 2:3. Bild 1 zeigt ein weiteres Beispiel mit der zugehörigen Reaktionsgleichung.

Obwohl Urankerne auf verschiedene Weise zerplatzen können, ist allen diesen Kernreaktionen folgendes gemeinsam:

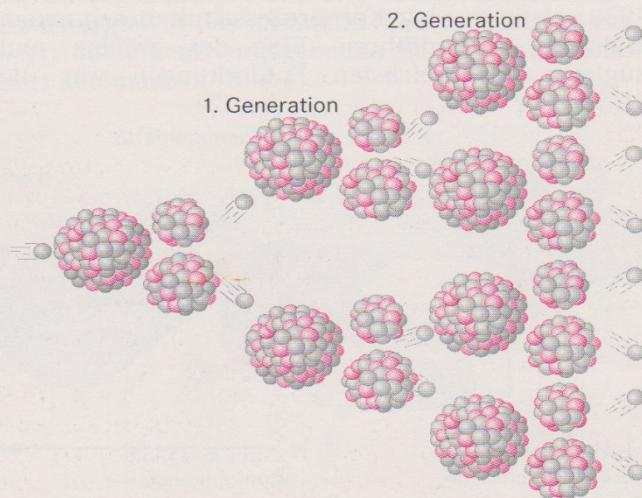
- Die Bruchstücke fliegen mit hoher Geschwindigkeit auseinander.
- Die bei der Spaltung entstehenden Isotope sind meist radioaktiv. Sie zerfallen – zum Teil mit langen Halbwertszeiten – und senden dabei neben radioaktiver Strahlung auch Neutronen aus.
- Bei jeder Kernspaltung werden bis zu 2 oder 3 energiereiche (d. h. schnelle) Neutronen freigesetzt.
- Bei all diesen Prozessen wird **Energie** frei. Sie ist insgesamt etwa zehnmilliardenmal größer als die Energie des zur Spaltung benötigten Neutrons.

Eine neue Energiequelle wird entdeckt

Sehr rasch erkannte man die ungeheuren Möglichkeiten der Kernspaltung. Wenn es gelänge, eine ausreichend große Zahl von Kernen zu spalten, so ließe sich eine völlig neue, gewaltige Energiequelle schaffen. Dies gelingt tatsächlich, wenn man dafür sorgt, daß die bei der Spaltung eines Urankerns frei werdenden Neutronen weitere Urankerne spalten. Bei einer solchen **Kettenreaktion** kann sich nämlich die Anzahl der Neutronen, die weitere Spaltungen auslösen, sehr rasch vergrößern.

B Nimmt man wie in Bild 2 an, daß jeder gesplattene Urankern gerade zwei Neutronen liefert, die wiederum Urankerne spalten, so verdoppelt sich die Zahl der „wirksamen“ Neutronen von „Generation zu Generation“. Da zwischen zwei aufeinanderfolgenden Kernspaltungen nur etwa eine Nanosekunde ($= 10^{-9}$ s) vergeht, zerplatzen in Sekundenbruchteilen ungeheuer viele Urankerne (vgl. Aufg. 5). Dabei wird in kürzester Zeit eine riesige Energiemenge frei. Dieser Vorgang spielt sich in einer **Atombombe** ab. ■

In unserem Beispiel wurde angenommen, daß jeder Urankern zwei Neutronen für weitere Spaltungen liefert. Dies ist aber nicht nötig. Solange sich nämlich die Zahl der wirksamen Neutronen von einer Generation zur nächsten nur *erhöht*, läuft die Kettenreaktion grundsätzlich in gleicher Weise ab. (Aufg. 6). Erst wenn jeder gesplattene Urankern im Mittel nur noch ein Neutron für weitere Kernspaltungen zur Verfügung stellt, bleibt die Zahl der Kernspaltungen zeitlich konstant. Wenn es gelingt, die Kettenreaktion so zu steuern, dann wird über lange Zeit hinweg gleichmäßig Energie abgegeben. Solche kontrollierten Kernspaltungen spielen sich beim Betrieb eines **Reaktors im Kernkraftwerk** ab (S. 342).



2 Kettenreaktion

Was versteht man unter der „kritischen Masse“?

Sinkt die Zahl der wirksamen Neutronen pro gespaltenem Uranatom unter eins, so geht die Anzahl der Kernspaltungen sehr rasch zurück. Die Kettenreaktion bricht ab. Dies geschieht z. B., wenn zu viele Neutronen das spaltbare Material verlassen. Das ist immer dann der Fall, wenn die Uranmenge eine im Verhältnis zu ihrem Volumen große Oberfläche besitzt. Günstig ist eine Kugel, dort wächst das Volumen mit der dritten Potenz des Radius, die Oberfläche nur mit dessen Quadrat. Die Kettenreaktion kann nur dann aufrecht erhalten werden, wenn diese Kugel eine Mindestgröße besitzt. Man benötigt dafür eine bestimmte Menge an spaltbarem Material, die sogenannte **kritische Masse**. Sie beträgt für reines Uran-235 etwa 50 kg. Das entspricht einer Kugel aus Uranmetall von ungefähr 17 cm Durchmesser.

Uranatome können sich mit einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit auch spontan (d. h. von selbst, ohne Neutronenbeschuss) spalten. Bei der *Uranbombe* werden mehrere kleine Blöcke mit einem hohen Gehalt (90%) an U-235 durch die Explosion gewöhnlichen Sprengstoffs aufeinander geschossen, so daß ein Körper mit überkritischer Masse entsteht. Dann genügt ein einziges Neutron aus einer spontanen Kernspaltung, um die Kettenreaktion in Gang zu setzen. Diese läuft so rasch ab, daß ein heißer Gasball mit Temperaturen bis zu einigen Millionen °C entsteht (Bild 3).

Die verheerenden momentanen Wirkungen von Atombomben beruhen auf der bei der Explosion freigesetzten *Strahlung* (Licht-, Wärme- und radioaktive Strahlung) sowie der sich anschließend ausbreitenden *Druckwelle*, die im Umkreis von einigen Kilometern alles dem Erdboden gleichmacht. Schlimme Nachwirkungen werden durch die radioaktiven Reaktionsprodukte (*Fallout*) verursacht, die große Gebiete um die Abwurfstelle herum verseuchen und außerdem durch ihre Ausbreitung in der Atmosphäre weltweit zu einer erhöhten radioaktiven Strahlenbelastung beitragen.

Masse wird in Energie verwandelt

Die bei der Kernspaltung freigesetzte Energie tritt vorwiegend als Bewegungsenergie der Spaltprodukte in Erscheinung. Stoffe, in denen Kernspaltungen ablaufen, erwärmen sich daher. Während bei *chemischen Vorgängen* wie z. B. der Verbrennung die gesamte Masse aller Reaktionsprodukte konstant bleibt, ist jedoch nach einer Kernspaltung die gesamte Masse aller Spaltprodukte *kleiner* als die Summe der Massen von Neutron und Ausgangskern. Es verschwindet Masse und wandelt sich in Energie um! Die Möglichkeit einer solchen **Umwandlung von Masse in Energie** hatte ALBERT EINSTEIN (1879–1955) bereits theoretisch vorhergesagt und mit seiner berühmten Gleichung $E = mc^2$ (c = Lichtge-



3 Atombombenexplosion

windigkeit) auch den „Umrechnungskurs“ angegeben. Bei der Spaltung von 1 kg Uran-235 wird weniger als 1 g Masse in Energie umgewandelt (vgl. Aufg. 4). Die dabei freigesetzte Kernenergie beträgt ungefähr 23 Millionen kWh. Um die gleiche Energiemenge auf herkömmlichem Wege bereitzustellen, müssen fast 3 Millionen kg Steinkohle verbrannt werden. Dies macht deutlich, wie wirkungsvoll Uran als „Brennstoff“ ist.

Aufgaben

- 1 Zur Erinnerung: Erläutere die Funktionsweise einer Nebelkammer!
- 2 Was war das ursprüngliche Ziel der Untersuchungen von OTTO HAHN und FRITZ STRASSMANN?
- 3 Beschreibe die Vorgänge bei der Spaltung eines U-235 Kerns!
- 4 Berechne mit der Gleichung EINSTEINS, welche Masse in Energie verwandelt werden muß, damit die Energie 23 Millionen kWh frei wird!
Wieviel Prozent Uran werden also bei der Spaltung von 1 kg reinem U-235 in Energie verwandelt?
- 5 Ein Gramm U-235 enthält etwa $2,5 \cdot 10^{21}$ Atome. In welcher Zeitspanne ist 1 kg U-235 gespalten, wenn man wie im Beispiel annimmt, daß jeder Kern 2 Neutronen zur weiteren Spaltung liefert?
- 6 Wie ändert sich das Ergebnis von Aufg. 5, wenn im Mittel nur 1,01 Neutronen pro Kern zur Spaltung beitragen?
- 7 Welche Bedingungen müssen erfüllt sein, damit bei der Kernspaltung eine Kettenreaktion in Gang kommt?
- 8 Worin bestehen die schrecklichen Wirkungen von Kernwaffenexplosionen?