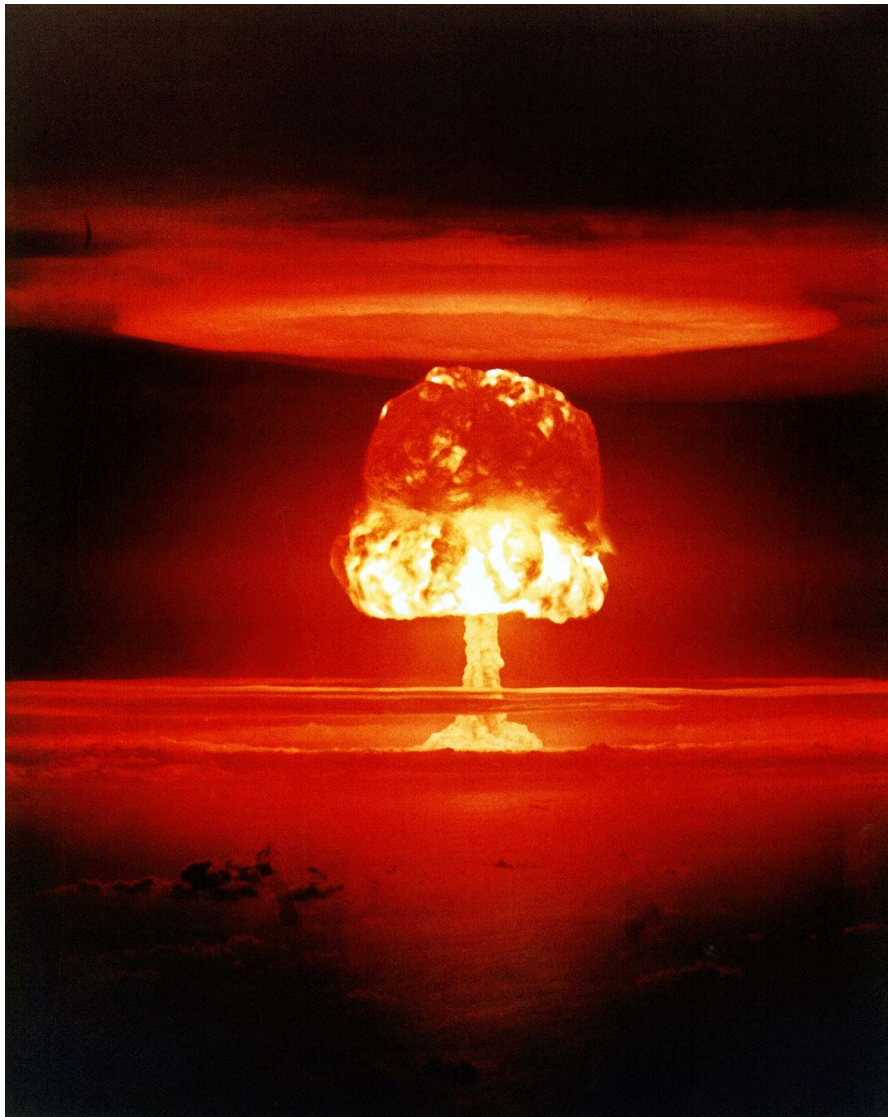


Kapitel 08: Radioaktivität



Quelle Bild: public domain by United States Department of Energy, thank you; https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Castle_Romeo.jpg

Freies Lehrbuch der anorganischen Chemie von H. Hoffmeister und C. Ziegler
(unter GNU Free Documentation License, Version 1.2 (GPL)).

Die jeweils aktuellste Fassung finden Sie unter: <https://hoffmeister.it/index.php/chemiebuch-anorganik>

Inhalt

Kapitel 08: Radioaktivität.....	1
Inhalt.....	2
Informationen zur Radioaktivität.....	3
Man unterscheidet nun folgende Arten des radioaktiven Zerfalls:.....	3
Die Halbwertszeit.....	4
Die Entdeckung der Radioaktivität:.....	4
Strahlungsarten.....	4
Radioaktivität und die radioaktive Strahlung m Detail.....	5
a) Versuch von Henri Becquerel (1896):.....	5
b) Strahlungsarten:.....	6
Weitere Beispiele für die 3 Strahlungsarten.....	7
α -Zerfall.....	7
β -Emission.....	7
γ -Strahlen.....	7
Neutronenstrahlen.....	7
Zerfallsgeschwindigkeit.....	8
^{14}C - Methode zur Altersbestimmung.....	9
Massendefekt.....	10
Die Atombombe.....	11
Die Entwicklung der ersten Kernwaffen:.....	11

Informationen zur Radioaktivität

Radioaktivität findet man überall in der Natur als schwache natürliche Radioaktivität, in Atomkraftwerken oder auch in Atombomben.

In Kraftwerken wird dabei durch die freiwerdende Energie Wasser erhitzt und der entstehende Wasserdampf dann zum Antreiben einer stromerzeugenden Turbine verwendet.

Auch in der Medizin wird Radioaktivität zu Untersuchungszwecken oder auch zum Bestrahlen von Tumoren verwendet. Die Röntgenstrahlung ist der radioaktiven Strahlung sehr ähnlich. Das Element Blei kann davor als Schutz verwendet werden.

Das wichtigste Merkmal der Radioaktivität ist die radioaktive Strahlung. Die bekanntesten Strahlungsarten sind Alpha-, Beta-, und Gammastrahlung. Diese Strahlung ist unsichtbar, aber für Lebewesen sehr gefährlich. Besonders die Gammastrahlung ist gefährlich.

Messen kann man die radioaktive Strahlung mit einem sogenannten „Geiger-Zähler“.

Die Umwandlung von Atomen unter Veränderung ihrer Atomkerne nennt man Radioaktivität oder auch radioaktiver Zerfall. Dabei verlieren die Atomkerne Neutronen oder Protonen sowie freiwerdende Energie in Form von Strahlung. Diese Strahlung können Alphateilchen, Betateilchen oder Gammastrahlung bzw. Röntgenstrahlen sein.

Eine Vorstellung dazu, die vielleicht diesen doch schwer vorstellbaren Zerfall verdeutlicht, wäre eine Glasflasche, welche beim Herunterfallen zerbricht. Neben ein oder zwei großen Bruchstücken hat man auch kleine Splitter. Der Atomkern kann auch zerfallen und dabei zu einem oder zwei anderen Atomkernen werden. Dabei werden kleine „Reste“ (also vergleichbar den Splittern der Flasche) als radioaktive Strahlung frei.

Radioaktive Elemente sind allesamt schwere Elemente (vorwiegend Metalle), welche im Verhältnis viele Protonen und etwas zu wenig Neutronen haben, um diese Protonen noch „Zusammenzuhalten“. So entsteht im Atomkern eine hohe „Spannung“ durch die sich die Protonen gegenseitig mit ihren positiven Ladungen abstoßen.

Die wichtigsten und meist verwendeten radioaktiven Elemente sind Uran und Plutonium.

Der Entdecker der Radioaktivität war Henry Becquerel. Die Polin Marie Curie hat zusammen mit ihrem Ehemann ebenfalls viel zur Erforschung der Radioaktivität beigetragen. Sie und ihr Mann starben an den Folgen ihrer Experimente, da sie damals noch nicht wussten, dass die radioaktive Strahlung gefährlich ist.

Die Strahlung richtet bei Atombomben, zusammen mit den enormen Energiemengen (die als Hitze und Druckwelle freiwerden) sehr große Schäden an. Die wenigen Überlebenden sind dann noch zusätzlich verstrahlt und werden durch diese „Strahlenkrankheit“ unter Umständen noch später sterben.

Die erste Atombombe wurde 1945 in Hiroshima (Japan) gezündet. Einige Tage später wurde die zweite in Nagasaki abgeworfen.

Man unterscheidet nun folgende Arten des radioaktiven Zerfalls:

- Es ändert sich die Protonenzahl des Atoms => Es findet eine Umwandlung in ein anderes chemisches Element statt.
- Es ändert sich nur die Massenzahl des Atoms => Es findet die Umwandlung in ein anderes Isotop statt, das Element bleibt aber erhalten.

Die Stärke der Radioaktivität wird in der Einheit Becquerel angegeben.

Die Halbwertszeit

Der Zeitraum, in dem die Hälfte der Masse eines radioaktiven Elementes zerfallen ist, nennt man auch Halbwertszeit.

Bei einigen Elementen, den besonders instabilen Elementen, beträgt sie nur winzige Sekundenbruchteile. Bei anderen Elementen, den fast stabilen kann sie mehrere Milliarden Jahre betragen (z.B. Uran-238 und Uran-235, Thorium oder Kalium-40). Dabei gilt:

Je kürzer die Halbwertszeit, desto größer und stärker die radioaktive Strahlung.

Folgender Text von Wikipedia: <https://de.wikipedia.org/wiki/Radioaktivität>

Die Entdeckung der Radioaktivität:

Der französische Physiker **Antoine Henri Becquerel** stellte 1896 fest, dass das Element Uran lichtempfindlichen Film schwärzen kann, selbst wenn er nicht vom Uran berührt wird.

Die polnische Chemikerin **Marie Curie** und ihr Ehemann Pierre Curie war 1898 auf der Suche nach einem neuen Element, welches sie versuchte aus der Pechblende zu isolieren. Sie entdeckte bei ihren Forschungen neben dem Radium dann auch das Polonium, welches sie nach ihrer Heimat nannte. Sie bewies also, dass Radioaktivität eine Elementeigenschaft ist und bei verschiedenen Elementen auftritt. Gerhard Carl Schmidt aus Erlangen machte zur gleichen Zeit ähnliche Entdeckungen.

1899 war ein wichtiges Jahr. Die Briten Ernest Rutherford und Frederick Soddy entdeckten das radioaktive Gas Radon, der Franzose André Louis Debierne fand das strahlende Actinium.

Schon bald wusste man, dass die Radioaktivität eine sehr große Energiequelle ist. Die Curies berechneten die beim radioaktiven Zerfall von Radium frei werdende Wärmeenergie auf ca. 420 Joule/ (Gramm Radium · Stunde).

Bemerkenswert fanden sie daran, dass diese Energie in Wärme umgewandelt werden kann und diese über Jahre unvermindert anhält. (Zum Vergleich: 1g Kohlenstoff setzt 33 600 Joule frei).

Was die Curies nicht ahnten, war allerdings die stark schädigende Wirkung der Radioaktivität. Da sie beide viele Jahre schutzlos mit radioaktiven Stoffen arbeiteten, waren sie hochgradig verstrahlt und starben beide an den Folgen der Strahlenkrankheit.

Strahlungsarten

Schon Rutherford bestätigte, es mehrere Strahlungsarten geben muss:

- Positiv geladene **Alphateilchen**, die Papier nicht durchdringen können.
- Negativ geladene **Betateilchen**, welche kleiner sind und die Haut von Menschen durchdringen.
- Ungeladene **Gammastrahlung**, welche sehr energiereich ist, viele Stoffe durchdringt und erbgutschädigend sowie stark gesundheitsschädlich ist.

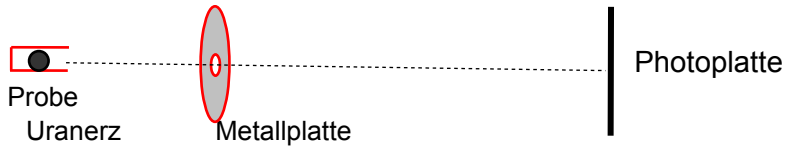
Aufgaben zum Verständnis:

1. Was versteht man unter Radioaktivität? Erkläre und nenne Beispiele.
2. Nenne die verschiedenen Arten der Strahlung. Welche Gefahren gehen davon aus?
3. Wie erklärst Du Dir den radioaktiven Zerfall?

Radioaktivität und die radioaktive Strahlung m Detail

Wiederhole zuerst die Begriffe Ordnungszahl, Kernladungszahl und Massenzahl sowie das Modell zur Anziehung von geladenen Teilchen¹.

a) Versuch von Henri Becquerel (1896):



Einige Elemente geben eine unsichtbare Strahlung ab, welche Metalle (Hinweis Rutherford: sehr dünne Folien schon) nicht durchdringt aber Photoplatten schwärzt. Sie wird als Radioaktivität bezeichnet (griech.: „radius“ = Strahl)

Tipp: Viele gute Fotos und Fakten:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Radioaktivität>

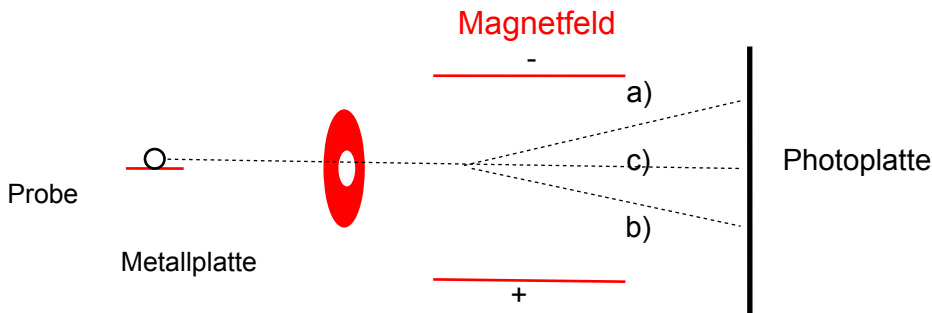
<https://de.wikipedia.org/wiki/Kernwaffe>

¹ Was passiert, wenn Du Plastikfolie und Papier aneinander reibst? (Papier und Folie ziehen sich an, da sie gegensätzliche Ladungen haben. Folie und Folie hingegen stoßen sich ab (=> gleichsinnige Ladungen)

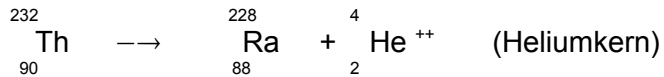
b) Strahlungsarten:

Die Strahlung von 3 Proben wird durch eine Metallplatte gebündelt und durch ein Magnetfeld geleitet. Die Ablenkung im Magnetfeld wird gemessen.

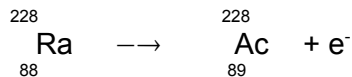
Die Proben: a) ^{232}Th b) ^{228}Ra c) ^{224}Ra



- α -Strahlen bestehen aus positiv geladenen Heliumkernen: ($V=10000-30000$ km/s).
z.B.:



- β -Strahlen bestehen aus Elektronen: ($V=130\,000$ Km/s).



- γ -Strahlen sind elektromagnetische Strahlen, die den Röntgenstrahlen sehr ähnlich sind.

Atome sind also doch teilbar (gr. Atomus = das Unteilbare), allerdings findet dies nur in der Kernphysik Anwendung. In der Chemie nicht!

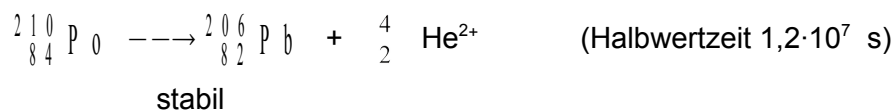
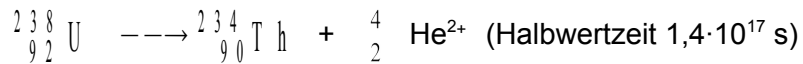
Radioaktive Atome sind in ihrem Grundaufbau instabil. Sie zerfallen in stabile Nukleonen und senden dabei energiereiche Strahlen aus. Unterschieden wird dabei nach den Zerfallsprodukten (und der Halbwertszeit).

Weitere Beispiele für die 3 Strahlungsarten

α -Zerfall

(Abstrahlung von ${}^4_2\text{He}^{2+}$ - Kernen)

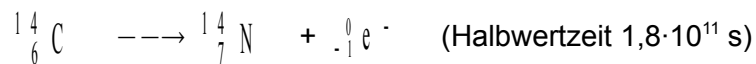
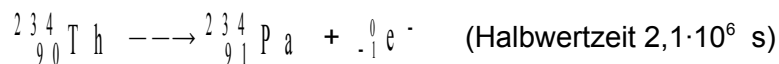
Abnahme von 2 Protonen und 2 Neutronen des strahlenden Nuklids



β -Emission

(Abstrahlung von ${}^0_{-1}\text{e}^-$ - Elektronen)

Bei Nukliden mit zu hohem Neutronen / Protonen - Verhältnis bewirkt die β -Emission eine Abnahme der Neutronenzahl um 1 und eine Zunahme der Protonenzahl um 1 (Umwandlung eines Neutrons in ein Proton).



(Zerfallsreaktion zur C-14 - Altersbestimmung)

γ -Strahlen

Sind energiereiche, hochfrequente elektromagnetische Wellen aus der Elektronenhülle durch Energieänderung der Elektronen.

Neutronenstrahlen

Sind energiereiche Neutronen ${}^1_0\text{n}$.

Zerfallsgeschwindigkeit

- Geschwindigkeit 1. Ordnung (vgl. Kinetik, s.u.)
- Abhängig von der Geschwindigkeitskonstante des Zerfalls.
- temperaturunabhängig (keine Aktivierungsenergie notwendig)
- Die Zerfallsgeschwindigkeit gibt Auskunft über den Zeitraum und die Intensität der radioaktiven Strahlung.

Differenzialgleichung des Zerfalls: $\frac{dN}{dt} = -k \cdot N$ ($k > 0$)

integriert: $N(t) = N_0 \cdot e^{-kt}$ oder

$$\ln \frac{N}{N_0} = -k \cdot t$$

N = Menge radioaktiver Teile (in g, Teilchen u.a.)

t = Zeit

k = Geschwindigkeitskonstante des Zerfalls (Zerfallskonstante)

N₀ = Menge zur Zeit t = 0

Halbwertszeit des Zerfalls:

$$N = 1/2 N_0; \quad N/N_0 = 0,5$$

$$k = (-\ln 0,5) / t_{1/2}$$

$$t_{1/2} = 0,693 \cdot 1/k$$

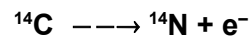
Beispiel: Das genaue Alter eines historischen Holzbalkens soll bestimmt werden. Eine Messung ergibt, dass er pro Minute 8,0 Entladungsimpulse an ¹⁴C (pro Gramm C) abgibt. Die Halbwertszeit (t_{1/2}) von ¹⁴C beträgt 5760 Jahre.

Frisches Holz gibt 15,3 Impulse pro Minute und pro Gramm Kohlenstoff ab.

Lösung: $k = 0,693 \cdot 1/t_{1/2}; \quad k = 1,203 \cdot 10^{-4} \text{ Jahre}^{-1}$
 $= 1,203 \cdot 10^{-4} \text{ Jahre}^{-1} \cdot t$

$$\ln \frac{15,3 \text{ min}^{-1}}{8,0 \text{ min}^{-1}}$$

t = **5400 Jahre**

^{14}C - Methode zur Altersbestimmung

Die Halbwertszeit ist der Zeitraum, in dem die Hälfte aller ursprünglich vorhandenen Atome zerfallen ist. Sie ist für jedes Atom verschieden und von äußeren Bedingungen unabhängig:

HWZ ^{14}C = 5730 Jahre

Durch natürliche Radioaktivität existiert das Kohlenstoffisotop ^{14}C . Es wird von allen Lebewesen mit der Nahrung aufgenommen, solange dieses lebt. Nach dem Tode kann man durch den „Restgehalt“ an ^{14}C bestimmen, wann das Lebewesen lebte.

=> von 100% ^{14}C sind nach 5730 Jahren nur noch 50% vorhanden.

=> von 100% ^{14}C sind nach 11460 Jahren nur noch 25% vorhanden.

Hinweise: Gefahren, Tschernobyl (26.4.86), Nutzen: Krebsbekämpfung

Hinweise:

- Es gibt zwei Arten von β -Strahlen: Elektronen Strahlen sowie Positronen (=positive Elektronen)
- γ -Strahlen sind eine reine Energiestrahlung, welche im Kern nach dem Drehimpulssatz keinerlei Masse verändert. Selbst die Physiker rätseln noch.

Massendefekt

Die Summe der Massen aller Elementarteilchen eines Atoms ist verschieden von der effektiven Atommasse. Die Differenz wird als **Massendefekt** bezeichnet.

$$\begin{aligned}
 \text{Beispiel: } m(^{35}\text{Cl}) &= 17 \cdot (1,007277 \text{ u} + 0,0005486 \text{ u}) + 18 \cdot 1,008665 \text{ u} \\
 &= 35,28901 \text{ u} \quad (\Sigma \text{ Protonen, Elektronen, Neutronen}) \\
 - m(^{35}\text{Cl})_{\text{eff}} &= 34,96885 \text{ u} \\
 &= 0,32016 \text{ u} \quad (\text{Massendefekt}).
 \end{aligned}$$

Nach $E = m \cdot c^2$ lässt sich aus dem Massendefekt die Bindungsenergie der Kernbausteine berechnen:

$$\begin{aligned}
 E &= 0,32016 \cdot 1,66056 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ m}^2\text{s}^{-2} \\
 E &= 4,78 \cdot 10^{-11} \text{ J pro Chloratom oder} \\
 E &= 1,37 \cdot 10^{-12} \text{ J pro Nukleon des Chlors (1/35 von } ^{35}\text{Cl)}.
 \end{aligned}$$

$$\text{Mit } 1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1 \text{ eV}$$

ist die Kernbindungsenergie 8,5 MeV pro Nukleon des Chlor-35.
Die Kernbindungsenergie in 1 g ^{35}Cl beträgt 229.000 kWh!

Die Atombombe

(Auszug aus: <https://de.wikipedia.org/wiki/Atombombe>)

Am 6. August 1945 wurde die japanische Stadt Hiroshima zerstört. Drei Tage später die Stadt Nagasaki, welches die damalige japanische Regierung zum Aufgeben und letztlich zum Ende des 2. Weltkriegs führte. Einer solchen Sprengkraft hatte kein Land der Welt etwas entgegensetzen.

Atombomben zählen zusammen mit Wasserstoff- und Neutronenbomben zu den Kernwaffen. Durch Atomspaltungen werden gewaltige Energiemengen frei, welche ein unvorstellbares Zerstörungspotential haben.

Bereits die ersten Kernwaffen mit nur 1%-iger Effizienz erreichten Explosionsenergien, die mehr als zehntausend Tonnen konventionellen Sprengstoffs entsprachen. Damit setzten sie genug Energie frei, um die japanischen Städte Hiroshima und Nagasaki fast vollständig zu zerstören und Hunderttausende von Menschen zu töten. Während des Kalten Krieges entwickelten vor allem die USA und die Sowjetunion Kernwaffen mit teilweise mehr als zehn Millionen Tonnen TNT-Äquivalent.

Die stärkste jemals explodierte Bombe war die sowjetische Zar-Bombe. Sie wurde am 30. Oktober 1961 bei einem atmosphärischen Kernwaffentest gezündet und setzte eine Energie von etwa 57.000 Kilotonnen (= 57 Megatonnen) TNT-Äquivalent frei. Zum Vergleich: die Hiroshima-Bombe hatte eine Sprengkraft von 13 Kilotonnen TNT. Eine Bombe mit derartiger Kraft hätte im Kriegseinsatz ganze Ballungsgebiete verwüstet. Die Temperatur, die bei einer nuklearen Explosion erzeugt wird, beträgt zwischen 200.000.000 °C und 300.000.000 °C.

Durch ihre große Zerstörungskraft, aber mehr noch durch die bei der Explosion freigesetzten radioaktiven Rückstände stellen Kernwaffen eine ernste existenzielle Bedrohung für die Menschheit und das Leben auf der Erde dar.

Die Entwicklung der ersten Kernwaffen:

Allgemein bekannt für ihre Arbeit bei der Entwicklung von Kernwaffen sind Robert Oppenheimer, Edward Teller und Albert Einstein. Jedoch der wohl der erste Wissenschaftler, der ernsthaft über den tatsächlichen Bau einer Kernwaffe nachdachte, war der Physiker Leó Szilárd.

Bereits im September 1933 dachte er an die Möglichkeit mittels Beschuss durch Neutronen Atomkerne zu einer Kettenreaktion anzuregen. Diese Idee war zu jener Zeit noch sehr umstritten, später auf diesem Gebiet sehr erfolgreiche Forscher wie Ernest Rutherford, Enrico Fermi und Otto Hahn glaubten damals noch nicht daran, dass Kerne sich überhaupt spalten lassen.

Nach einigen Jahren der Grundlagenforschung (u.a. von Otto Hahn, Fritz Straßmann, Frédéric Joliot-Curie, Enrico Fermi) war es im Frühsommer 1939 soweit, dass die notwendigen theoretischen Grundlagen veröffentlicht waren, um bei ausreichender Verfügbarkeit von spaltbarem Uran eine Kernwaffe zu bauen.

Schon vor dem Beginn des Zweiten Weltkrieges am 1. September 1939 richteten die drei in den Vereinigten Staaten lebenden Physiker und Leó Szilárd, Albert Einstein und Eugene Paul Wigner im August 1939 einen Brief an den damaligen US-Präsidenten Franklin D. Roosevelt, um ihn vor der Möglichkeit der Entwicklung einer Atombombe in Deutschland zu warnen und ihn im Gegenzug zu der Entwicklung einer eigenen Atombombe anzuregen.

Als die amerikanische Regierung davon überzeugt wurde, dass die Entwicklung einer Atombombe grundsätzlich möglich ist, und dass auch der Kriegsgegner Deutschland diese Möglichkeit besitzt, wurden die Forschungen intensiviert und führten schließlich zum amerikanischen Manhattan-Projekt, welches von Dr.J. Robert Oppenheimer geleitet wurde.

In Deutschland arbeiteten während des Zweiten Weltkrieges Wissenschaftler wie u.a. Werner Heisenberg, Carl Friedrich von Weizsäcker, Walther Gerlach, Kurt Diebner und Otto Hahn an der Entwicklung einer Atombombe.