

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 127/128 (1946)
Heft: 9: G.e.P.-Generalversammlung in Lugano

Artikel: Die physikalischen Grundlagen der Atomenergie-Anlage
Autor: Dubs, Werner R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-83892>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 06.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

kreuzigten zu schaffen. Das höchst altertümliche Bild erinnert an byzantinische Mosaiken und muss aus der Zeit stammen, da die Kirche gebaut wurde. Es ist der älteste bildnerische Schmuck, den wir in den vier Caroneser Heiligtümern antreffen. Das Bild ergreift durch die Seelenhaftigkeit.

Links vom Eingang zur Kirche hat ein mittelalterlicher Künstler die Gestalt des Stifters Wilhelm I. della Torre gemalt und rechts steht gross und erhaben der heilige Christoph mit dem Jesusknaben auf der Schulter. Es ist eines der vielen Christophorusbilder, an denen der Tessin heute noch reich ist. Vor allem ist es die Leventina mit ihrem Zugang zum St. Gotthard, wo man dem Heiligen begegnet. Wer sein Bild am frühen Morgen anschaut, der sei vor dem jähen Tod verschont. Doch hilft Sankt Christoph auch gegen die Pest und im Gedanken daran hat man ihn auf die Fassade von Santa Maria di Torello gemalt. «peste martir liberat iste» steht neben dem Bild des Heiligen. Es ist eine der altertümlichsten Darstellungen des Christusträgers — vielleicht ist nur noch die zu Rossura hoch über Faido älter —, was daraus hervorgeht, dass das Jesuskind dem Heiligen auf der linken Schulter reitet und mehr die Züge eines Mannes als eines Kindes hat. Das Bild in Santa Maria di Torello wird aus der Zeit stammen, da die Kirche gebaut wurde; es ist als romanisch anzusprechen.

Wer aber sind die Mönche, welche die Konventsgebäude bewohnt haben? Darüber sind sich die Historiker nicht einig. Die einen erklären, es seien Augustiner Chorherren gewesen, und andere reden von den Humiliaten. Uns will scheinen, dass das letztere den Tatsachen am ehesten entspricht. Dem Zuger Historiker Eugen Gruber gebührt das grosse Verdienst, aufgedeckt zu haben, dass auf dem Boden des Tessin nicht weniger als 25 Humiliatenniederlassungen waren, von denen die zu Polleggio

eine der bedeutendsten war. Die Humiliaten sind eine Frucht der Armutsbewegung des 13. Jahrhunderts und auf dem Boden der Lombardei entstanden. Gegenüber den Bettelorden, welche von Almosen lebten, verschafften sich die Humiliaten das tägliche Brot mit ihrer Hände Arbeit. Sie trieben Wollmanufaktur, weshalb man das Humiliatenkloster schon «Klosterfabrik» genannt hat. Daneben gaben sie sich der Pflege von Kranken und Armen hin. Dem Humiliatenkloster war meistens noch ein bescheidenes Spital angebaut. Sie waren die Religiös-Sozialen des Mittelalters. So haben wir uns auch das monasterium im Walde des Monte Arbostora zu denken, eine Stätte, wo tüchtig Hand angelegt wurde. Im Jahre 1349 sind die Mönche ausgezogen und in das fünf Jahre zuvor gegründete Humiliatenkloster zu Lugano übersiedelt. Seither ist das Gotteslob auf Torello verstummt und es ist still geworden um das Grab Wilhelms I. della Torre. Heute wohnt ein Bauer in den Konventgebäuden und lebt vom Ertrag der Waldwiese.

Wenn man von Madonna d'Ongero herkommt, dann wird man von Santa Maria di Torello so sehr beeindruckt, dass man für die landschaftliche Umgebung keinen Blick hat. Man ist in den Anblick des vermeintlichen «uralten Langobardenwerkes» ganz versunken. Bevor wir den halsbrecherischen Weg nach Figino hinunter antreten, wollen wir uns doch noch rasch anschauen. Viel ist wirklich nicht zu sehen. Santa Maria di Torello ist ein Winkel voller Heimlichkeit und Heimgeliebt, weshalb Johann Rudolf Rahn den Ort ein Waldmärchen nennt. Ringsum zieht sich dichter Wald und darüber leuchtet das Blau des südlichen Himmels. Der Blick in die Weite ist verwehrt; er wird auf engstem Raume zurückgehalten. Gerade diese Heimlichkeit macht Santa Maria di Torello schön. Er ist eine Stätte wie geschaffen zum Träumen.

Die physikalischen Grundlagen der Atomenergie-Anlage

Von Dr. sc. techn. WERNER R. DUBS, Dipl. Masch. Ing. E. T. H., Mem. Am. Phys. Soc., Escher Wyss A.-G., Zürich

Selten war ein Zeitalter so reich an weittragenden Entdeckungen und umwälzenden Theorien, wie das unsrige. Durch die grundlegenden Arbeiten genialer Gelehrter wurden die theoretischen Voraussetzungen für die Erschliessung neuer Energiequellen geschaffen.

Die bisher in der Technik entwickelten Energieumwandlungsprozesse basieren fast ausschliesslich auf der Ausnützung der Energieträger Wasserkraft, Kohle und Oel. Bei dem stetig stark zunehmenden Bedarf an elektrischer und mechanischer Energie ist jedoch damit zu rechnen, dass diese bekannten Ausgangsformen der Energieumwandlung eines Tages nicht mehr in genügendem Ausmass zur Verfügung stehen werden. Insbesondere hat die Kohle im Laufe der neueren technischen Entwicklung eine vollständige Umwertung erfahren, indem sie vom blossen Brennstoff zu einem der wichtigsten Rohstoffe der chemischen Industrie aufgerückt ist. Es ist deshalb verständlich, dass die Ausnützung noch unerschlossener Energieformen zu einer der wichtigsten Aufgaben der modernen Technik geworden ist.

Der Weg, der heute zu einer neuen Methode der Energiegewinnung geführt hat, wurde vor rund 40 Jahren durch A. Einstein gezeigt. Als eine Folgerung der Relativitätstheorie formulierte Einstein den fundamentalen Satz von der Gleichwertigkeit von Masse und Energie. Die Masse stellt nur eine besondere Form von Energie dar, es muss daher grundsätzlich möglich sein, Materie in mechanische Arbeit, Wärme oder Strahlung zu verwandeln und auch umgekehrt Energie in Materie überzuführen.

Während bekanntlich nach der klassischen Mechanik die kinetische Energie eines materiellen Punktes gegeben ist durch:

$$(1) \quad E = \frac{m}{2} v^2$$

lautet nach der Relativitätstheorie der entsprechende Ausdruck:

$$(2) \quad E = \frac{m_0 \cdot c^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = m c^2$$

worin:

$m_0 = \text{Ruhemasse}$
 $v = \text{Geschwindigkeit}$ } des materiellen Punktes

$c = 3 \cdot 10^{10}$ cm/s = Lichtgeschwindigkeit im absolut. Vacuum.

Die Masse m eines mit der Geschwindigkeit v bewegten Teilchens berechnet sich zu:

$$(3) \quad m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

Diese Beziehung, nach der die Masse eines bewegten Teilchens mit der Geschwindigkeit zunimmt, ist durch das Experiment sehr gut bestätigt worden.

Entwickelt man den Ausdruck (2) für die kinetische Energie nach einer binomischen Reihe, so folgt:

$$(4) \quad E = m_0 c^2 + \frac{m_0}{2} v^2 + \frac{3}{8} m_0 \cdot \frac{v^4}{c^2} + \dots \quad (1)$$

Somit ist dem ruhenden materiellen Teilchen ($v=0$, $m=m_0$) die Energie zugeordnet:

$$(5) \quad E = m \cdot c^2$$

d. h. die träge Masse eines Körpersystems kann geradezu als Mass für seine Energie angesehen werden.

Jede Masse m stellt also zugleich eine Energie E dar. Eine Energieänderung ΔE eines Systems zieht eine Massenänderung Δm nach sich, derart dass:

$$(6) \quad \Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$$

Die Materie ist ein Sonderfall räumlich verdichteter Energie. Da die Proportionalitätskonstante c^2 die unvorstellbar grosse Zahl $c^2 = 900\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$ cm²/s²

ergibt, verkörpert schon eine sehr kleine Masse einen enorm grossen Energiebetrag. Umgekehrt müssen ganz aussergewöhnlich grosse Energiemengen aufgewendet werden, um messbare Massenänderungen zu bewirken. Damit erklärt sich aber auch, weshalb die wechselseitige Ueberführbarkeit von Masse in Energie bisher nur an den kleinsten Masseteilchen nachgewiesen werden konnte. Die Masse zeichnet sich unter allen andern Energieformen dadurch aus, dass sie die konzentrierteste Energieform darstellt.

Setzt man in der Beziehung (5) die Masse in Gramm, die Lichtgeschwindigkeit in cm/s ein, so erhält man die Energie in Erg. Diese Energieeinheit des physikalischen Masssystems lässt sich in den technischen Einheiten kWh und kcal ausdrücken durch Einführen folgender Umrechnungsfaktoren:

$$1 \text{ Erg} = 2,778 \cdot 10^{-14} \text{ kWh}$$

$$1 \text{ Erg} = 2,389 \cdot 10^{-11} \text{ kcal}$$

Gelänge es, 1 gr Materie restlos in Energie umzuwandeln, so würden dabei

$$E = 1 \cdot 9 \cdot 10^{20} \cdot 2,778 \cdot 10^{-14} = 25\,000\,000 \text{ kWh}$$

$$= 21\,600\,000\,000 \text{ kcal}$$

entstehen.

¹⁾ Das erste Glied dieser Reihe enthält die Geschwindigkeit v nicht; es kommt also nicht in Betracht, wenn es sich um die Frage handelt, wie die Energie eines Massenpunktes von seiner Geschwindigkeit abhängt. In der *Klassischen Mechanik* wird allein das zweite Glied berücksichtigt, die weiteren Glieder sind gegenüber diesem Glied stets sehr klein, wenn $\left(\frac{v}{c}\right)^2$ gegen 1 klein ist.

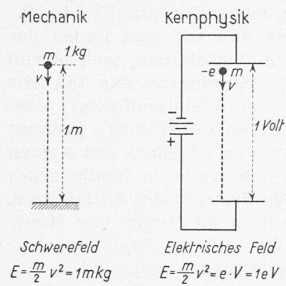


Bild 1. Energieeinheiten der Mechanik und der Kernphysik

Dieser Betrag könnte nach den bisherigen Verfahren erzeugt werden durch die Verbrennung von rd. 3 000 000 kg Kohle. Die gesamte schweizerische Jahresproduktion an elektrischer Energie beträgt rd. 10 Milliarden kWh; sie könnte somit durch die Umwandlung von 400 gr Masse gedeckt werden.

In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass in der Kernphysik die Energietönungen, die bei der Reaktion der einzelnen Atomkerne auftreten, in einer besonderen Energieeinheit gemessen werden.

Durchläuft ein Elektron mit der Ladung e eine elektrische Spannungsdifferenz V , so wird es beschleunigt. Sein Energiegewinn ist $e \cdot V$ Erg (Bild 1).

Man bezeichnet als 1 Elektronvolt (eV) diejenige kinetische Energie, die das Elektron mit der Ladung e erhält, wenn es eine elektrische Potentialdifferenz von 1 Volt durchläuft. Setzt man die entsprechenden Zahlenwerte ein, so erhält man mit:

$$e = 4,803 \cdot 10^{-10} \text{ el. stat. cgs-Einheiten, } 1 V = 1/300 \text{ el. stat. cgs-Einheiten die Beziehung:}$$

$$1 eV = 1,602 \cdot 10^{-12} \text{ Erg}$$

Meist wird mit der Einheit 1 Million Elektronvolt (MeV) gerechnet. Der Anschluss an die technischen Energieeinheiten wird durch folgende Umrechnungsfaktoren gegeben:

$$1 MeV = 3,827 \cdot 10^{-17} \text{ kcal}$$

$$1 MeV = 4,45 \cdot 10^{-20} \text{ kWh}$$

Nachdem wir eine Vorstellung gewonnen haben über die ungeheure Energiekonzentration in der Materie, wollen wir uns den Prozessen zuwenden, bei denen das erwähnte Wechselspiel der Ueberführung von Materie in Energie in Erscheinung tritt.

Einen der bekanntesten Prozesse dieser Art stellt die natürliche Radioaktivität dar. Das nur in ganz geringen Mengen vorkommende Radium zerfällt jedoch derart langsam (in 1590 Jahren wird erst die Hälfte der Zerfallsenergie frei), dass die Energieumwandlung in der Zeiteinheit technisch nicht von Interesse ist. Von grösster Bedeutung für die Energiegewinnung sind dagegen die bei der künstlichen Atomumwandlung sich abspielenden Kernreaktionen. Zum Verständnis dieser Vorgänge müssen wir kurz den Aufbau des Atoms aus seinen Elementarteilchen in Erinnerung rufen. Auf Grund von genial ausgedachten Versuchen ist es E. Rutherford 1911 gelungen zu beweisen, dass das Atom aus einem winzigen Kern besteht, der von einer Hülle umgeben ist (Bild 2).

Die Bauelemente eines Atoms sind:

Ort	Symbol	Name	Zeichen	Masse*	Ladung**
Hülle	•	Elektron	e	0,000548	- 1
	⊕	Proton	p	1,007582	+ 1
Kern	○	Neutron	n	1,008930	0

*) Einheit der Masse $1,66 \cdot 10^{-24}$ gr

***) Einheit der Ladung $4,80 \cdot 10^{-10}$ el. stat. cgs-Einheiten.

Beim elektrisch neutralen Atom ist die Zahl der Elektronen, die auf den Bohr'schen Bahnen den Atomkern umkreisen, gleich gross, wie die Anzahl der positiven Ladungseinheiten des Kernes. Das einfachste Atom ist das des Wasserstoffs mit einem Proton als Kern und einem Elektron in der Hülle (Bild 3).

Dem Wasserstoff folgt im periodischen System der Elemente das Helium, dessen Atom einen zweifach positiv geladenen Kern

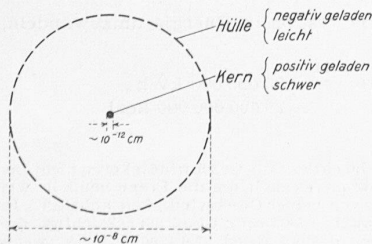


Bild 2. Das Kernatom nach Rutherford (nicht massstäblich!)

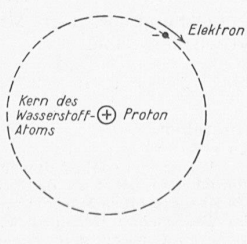


Bild 3. Das Wasserstoffatom

und zwei Elektronen aufweist, deren Abstände vom Kern ungefähr gleich gross sind (Bild 4).

Das schwerste in der Natur vorkommende Atom ist das Uranatom U 238, dessen Kern aus 92 Protonen und 146 Neutronen besteht (Bild 5, vereinfacht).

Die Zahl der Protonen im Atomkern, d. h. die Kernladungszahl, hat für jedes chemische Element einen festen Wert. Sie ist die massgebende Grösse für die chemische Natur eines Elementes. Dagegen ist die Zahl der Neutronen, die im allgemeinen etwas grösser ist als die Protonenzahl, für ein bestimmtes chemisches Element nicht immer gleich gross. Dies hat zur Folge, dass bei gleicher Kernladungszahl und damit bei den gleichen chemischen Eigenschaften verschieden schwere Atomsorten, die Isotope, entstehen. Isotope haben somit bei der gleichen Anzahl Protonen verschiedene Neutronenzahlen und daher verschiedene Massen.

Die durch die chemischen Verfahren dargestellten Elemente erweisen sich sehr oft als ein Gemisch von Isotopen. So gibt es neben dem leichten Wasserstoff, dessen Kern einfach ein Proton ist, noch den schweren Wasserstoff (Deuterium), dessen Kern ein Proton und ein Neutron aufweist (Bild 6).

Der natürliche Wasserstoff ist ein Gemisch von 99,98 % leichtem Wasserstoff und 0,02 % schwerem Wasserstoff. Das Deuterium, d. h. der Kern des schweren Wasserstoffs, ist eines der wirksamsten Geschosse für die Atomumwandlungen. Die Verbindung des Deuteriums mit dem Sauerstoff in der Form D_2O wird als schweres Wasser oder als Deuteriumoxyd bezeichnet. Da sich das schwere Wasser langsamer zersetzt, kann es durch fortgesetzte Elektrolyse im gewöhnlichen Wasser angereichert werden. (Anlage Rjukan, Norwegen.)

In Anbetracht der grossen Bedeutung, die dem schweren Wasser in der Kernphysik zukommt, sind in Tabelle 1 die wichtigsten physikalischen Eigenschaften von natürlichem Wasser und schwerem Wasser einander gegenübergestellt worden.

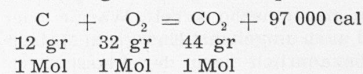
Tabelle 1. Eigenschaften von leichtem Wasser und schwerem Wasser

		H ₂ O	D ₂ O
Molekulargewicht		18	20
spez. Gewicht 20 ° C	kg/dm ³	0,998	1,106
Dichte max. bei	° C	4,0	11,6
kritische Temperatur	° C	374,2	371,5
Gefrierpunkt	} bei 760 mm Hg	0	+ 3,8
Siedepunkt		° C	100

Auch das letzte Element des periodischen Systems, das Uran, besitzt mehrere Isotopen. So besteht das natürliche Uran aus einem Gemisch von drei Isotopen (Bild 7). Bemerkenswert ist, dass die Atomgewichte von Elementen sehr verschiedener Herkunft immer gleich sind, ein Beweis dafür, dass die Mengenverhältnisse der Isotopen überall auf der Erde gleich sein müssen.

Bei den chemischen Prozessen verändert sich nur die Elektronenhülle. Da in diesem Fall der Kern als Hauptträger der Masse nicht beteiligt ist, wird es nach den vorausgehenden Ausführungen über die Aequivalenz von Masse und Energie ohne weiteres klar, dass bei den exotherm verlaufenden chemischen Reaktionen (Verbrennung der Kohle, Explosion von Sprengstoff) die Wärmetönungen klein sind.

Die Verbrennung der Kohle zu Kohlensäure verläuft mit einer Wärmeentwicklung von 97 000 cal pro Mol Kohlenstoff:



Dieser Verbrennungswärme entspricht ein Massenverlust oder Massendefekt von:

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{97\,000}{2,389 \cdot 10^8 \cdot 9 \cdot 10^{20}} = 4,5 \cdot 10^{-9} \frac{\text{gr}}{\text{Mol}}$$

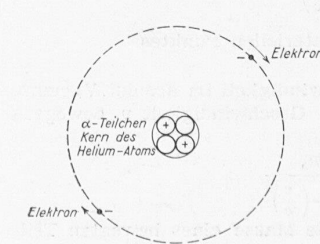


Bild 4. Das Heliumatom

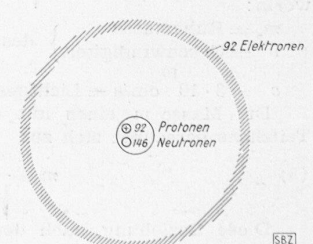
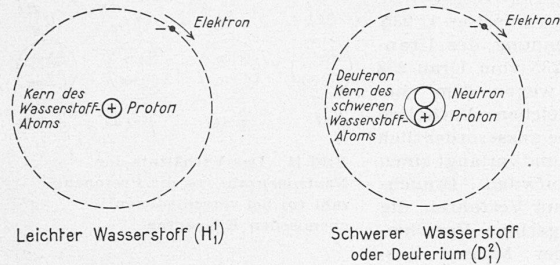


Bild 5. Das Atom des Urans U-238



Einige physikalische Daten von leichtem und schwerem Wasserstoff

	1. Wasserst.	Deuterium
Schmelzpunkt ° C	- 259,18	- 254,46
Siedepunkt ° C	- 252,76	- 249,56
Schmelzwärme kcal/kg	14	23,5

Bild 6. Die Isotopie des Wasserstoffs

Die Masse des Kohlensäuremoleküls ist um diesen Betrag kleiner als die Summe der Massen der Kohlenstoff- und Sauerstoffatome war, ehe sie zu CO₂ verbrannt. Bezeichnen wir als Massenausbeute das Verhältnis von der in Energie umgesetzten Masse zur gesamten Masse, so ergibt die Verbrennung der Kohle den Wert

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{4,5 \cdot 10^{-9}}{44} = 1,02 \cdot 10^{-10}$$

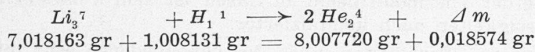
Von derselben Grössenordnung sind die Zahlen bei der Knallgasreaktion, in der auf 2 gr Wasserstoff eine Wärmemenge von 68 300 cal frei wird. In diesem Fall wird die Massenausbeute:

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{3,18 \cdot 10^{-9}}{18} = 1,76 \cdot 10^{-10}$$

In bezug auf die Energieumsetzung arbeiten somit die chemischen Reaktionen sehr ungünstig. Die Verhältnisse ändern sich aber sofort, sobald wir Prozesse durchführen, bei denen die Atomkerne miteinander reagieren, wie dies bei der künstlichen Atomumwandlung der Fall ist.

Beschiesst man z. B. das Element Lithium mit Protonen, so beobachtet man die Entstehung einer sehr energiereichen α -Strahlung, d. h. einer Emission von Heliumkernen (Bild 8).

Die Reaktion wird durch folgende Gleichung dargestellt:



Der Massendefekt beträgt:

$$\Delta m = 18,574 \cdot 10^{-3} \text{ gr/Grammatom}$$

und die Massenausbeute berechnet sich zu:

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{0,018574}{8,007720} = 2,32 \cdot 10^{-3} = 2,32 \text{ ‰}$$

In diesem Fall ist die Massenausbeute und damit die entsprechende Energieumsetzung rund 10 Millionen mal so gross wie die der beiden angeführten chemischen Reaktionen. Auf 1 gr

Lithium bezogen ergibt sich ein Massendefekt von $2,65 \cdot 10^{-3}$ gr. Könnte man nach obiger Kernreaktion 1 kg natürliches Lithium (Isotopengemisch von 92,1 ‰ Li₃⁷ und 7,9 ‰ Li₃⁶) vollständig umsetzen, so würde sich ein Massendefekt von 2,44 gr ergeben, was nach Einstein einer Reaktionsenergie von:

$$E = 2,44 \cdot 25 \cdot 10^6 = 61\,000\,000 \text{ kWh}$$

$$\text{oder } E = 2,44 \cdot 21,6 \cdot 10^9 = 52\,800\,000\,000 \text{ kcal}$$

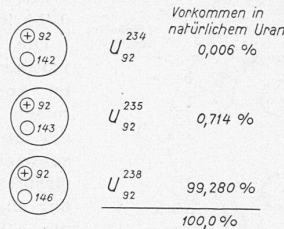


Bild 7. Die Isotopie des Urans

entspricht. Dieser enorme Energiebetrag könnte andererseits gedeckt werden durch die Verbrennung von rd. 7 000 000 kg Kohle.

Bei der erwähnten Beschiessungsmethode, bei der mit einer Kernsorte auf eine andere geschossen wird, ist wegen der ausserordentlichen Kleinheit des Zielobjektes und der gegenseitigen elektrischen Abstossung der Kerne die Trefferwahrscheinlichkeit sehr gering. Die meisten Geschosse laufen sich in der Elektronenhülle tot, ohne je in Kernnähe gelangt zu sein. Obwohl bei einem einzelnen Treffer eine beträchtliche Energie frei wird, kann sie gegenüber dem

Energieaufwand in den Beschleunigungsanlagen²⁾ vernachlässigt werden. Bis vor dem Kriege konnten nur äusserst geringe Stoffmengen durch Kernreaktionen umgewandelt werden.

Das Bild änderte sich jedoch in dem Augenblick, als es durch die Entdeckung der Uranspaltung gelang, bei technisch noch gut beherrschbaren Temperaturen eine Kettenreaktion durchzuführen.

O. Hahn (Nobelpreis 1944 in Chemie) und F. Strassmann (Deutschland) haben im Jahre 1939 gefunden, dass der schwere Atomkern des Uranisotops-235 bei der Beschiessung mit langsamen Neutronen unter vorübergehender Bildung des Zwischenkerns U 236 in zwei leichtere Kerne zerfällt und dabei gleichzeitig zwei bis drei neue Neutronen aussendet. Wird nun den neu entstanden, zunächst schnellen Neutronen Gelegenheit geboten ihre Geschwindigkeit zu vermindern (z. B. durch Bremsung in schwerem Wasser, Kohle u. s. w.), so können sie sich selbst wiederum an die Kerne des Urans-235 anlagern und die Spaltung weiter fördern (Bild 9). So besteht die Möglichkeit einer Kettenreaktion, die, einmal eingeleitet, weiter fortschreitet, bis die ganze Uranmenge umgesetzt ist.

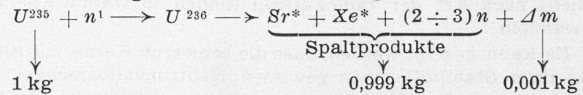
Bild 10 zeigt eine Wilsonkammeraufnahme (stereoskopisch) der Uranspaltung durch Neutronen. Man erkennt deutlich die Nebelspuren der beiden Kernbruchstücke, die von der Uranfolie nach entgegengesetzten Richtungen ausgehen.

Bemerkenswert ist bei dieser Reaktion die grosse Energie-tönung. Die beiden stark positiv geladenen Kernbruchstücke stossen sich mit ungeheurer Kraft ab und fliegen mit grosser Wucht auseinander, wobei sich ihre kinetische Energie durch Stösse in Wärme umsetzt. Wird ein Kern in kleinere Bruchstücke gespalten, so ist die freiwerdende Energie gegeben durch die Beziehung:

$$\Delta E = (m_0 - \sum m_i) c^2$$

wobei m_0 die Ruhemasse des Ausgangskernes und m_i die Ruhemasse eines Kernbruchstückes bedeutet.

Der Ablauf des Prozesses bei der Uranspaltung kann symbolisch durch folgende Schreibweise dargestellt werden:



Diese Zahlen zeigen, dass bei der Uranspaltung die Massenausbeute nur 1 ‰ beträgt, gegenüber 2,3 ‰ bei der Reaktion des Lithiums mit Protonen. Rechnen wir den Massendefekt von rund 1 gr nach dem Einstein'schen Aequivalenzprinzip auf Energie um, so ergibt sich, dass bei der Spaltung von 1 kg Uran-235 eine Energiemenge von 25 000 000 kWh oder 21 600 000 000 kcal in Form von Wärme frei wird. Wohl mag dieser Energiebetrag, verglichen mit der Energiетönung der Lithiumreaktion

verhältnismässig bescheiden anmuten; doch ist zu bedenken, dass die Kernreaktion des Lithiums erst nach einer Zündung bei etwa 10 000 000 ° C von selbst abläuft. Auf der Erde aber gibt es keine Materialien, mit denen wir eine Brennkammer bauen könnten, die diesen hohen Temperaturen standhalten würde.

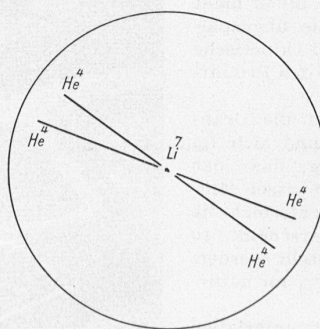
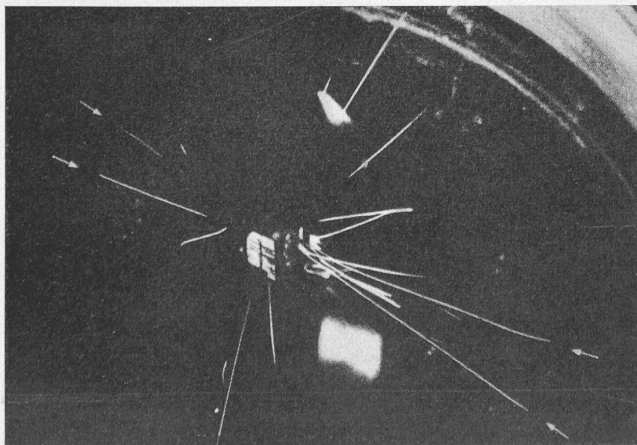


Bild 8 und 8a. Wilsonkammer-Aufnahme der Umwandlung des Lithiums durch Protonen (aus Gentner, Atlas typischer Nebelkammerbilder)

²⁾ Im Cyclotron werden die Atomkerne (meist Protonen) auf etwa 1/10 Lichtgeschwindigkeit beschleunigt; infolge der grossen kinetischen Energie können die fliegenden Kerne die Elektronenhüllen durchdringen und sich trotz der Coulomb'schen Abstossung, den ruhenden Atomkernen bis zur Berührung nähern.

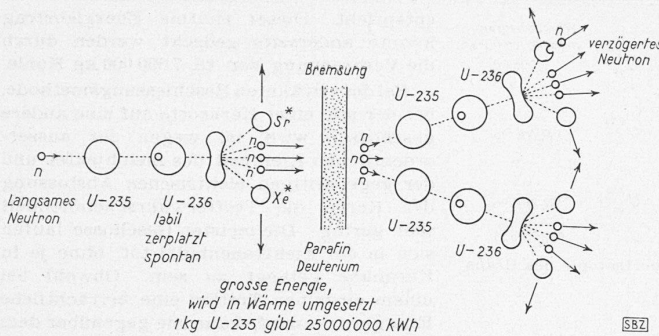


Bild 9. Die Kettenreaktion von Uran - 235

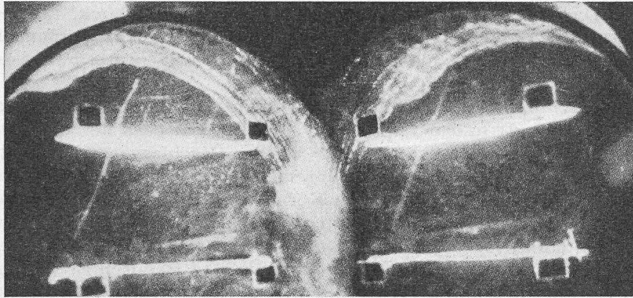
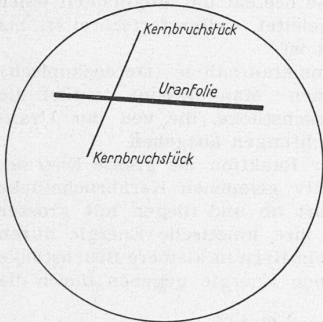


Bild 10 und 10a. Wilsonkammer-Aufnahme von der Spaltung des Urans - 235 durch Neutronen. Aufnahme: D. Corson & R. Thornton, Phys. Rev. 55,509, 1939



In der Kammer sind dünne Uranfolien ausgespannt, die der Einwirkung von Neutronen aus einem Cyclotron ausgesetzt sind

Das unmittelbare Produkt der Spaltung des Urankerns U 235 sind zwei schwere, nicht beständige Isotope der Elemente Xenon und Strontium, die sich im β -Zerfall (d.h. Emission von Elektronen) nach Art der radioaktiven Reihen in stabile Elemente umwandeln.

Es kann gezeigt werden, dass die schweren Kerne zur Sicherung ihrer Stabilität einen gewissen Neutronenüberschuss enthalten müssen. Das Verhältnis der Neutronenzahl (n) zur Protonenzahl (p) wächst vom Wert 1 bei den leichten Elementen zu den schweren Elementen auf 1,6 an (Bild 11).

Zerfällt nun der Zwischenkern U 236 spontan, so ist bei den leichteren Zerfallskernen das Verhältnis der Neutronenzahl zur Protonenzahl kleiner als beim schweren Urankern und es werden einige Neutronen in Freiheit gesetzt. Zur Aufrechterhaltung einer Kettenreaktion ist aber die Tatsache einer Neutronenvermehrung allein nicht hinreichend, sondern es müssen die abgespaltenen Neutronen auch genügend kinetische Energie besitzen, um selbst wieder den Primärprozess auszulösen.

Damit nicht zu viele Neutronen die Uranmasse ohne Wirkung verlassen und sich im Raum verlieren, ist es notwendig, dass das Reaktionsmaterial U 235 in einer gewissen Mindestmenge vorhanden ist. So aussichtsreich die Reaktion mit Uran-235 zunächst erscheint, so muss andererseits in Rechnung gestellt werden, dass dieses Uranisotop nur zu 0,7% im natürlichen Uran enthalten ist.

Eines der wichtigsten Ausgangsmaterialien für die Gewinnung des Urans ist die Uranpechblende, die wegen ihres Radiumgehaltes um die Jahrhundertwende bekannt geworden ist. In 100 kg Uranpechblende sind enthalten rd. 75 kg Uranoxyd U_3O_8 , darin rd. 63 kg natürliches

Uran und in diesem rd. 0,450 kg Uranisotop U 235.

Die Trennung des Uranisotops U 235 vom Uran-238 ist aber wegen dem chemisch gleichen Verhalten der Isotope ausserordentlich schwierig und verlangt einen riesigen Aufwand. Brauchbar sind nur Verfahren, die die sehr geringe Verschiedenheit der Massen ausnützen.

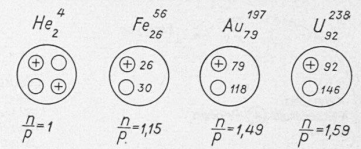


Bild 11. Das Verhältnis der Neutronenzahl (n) zur Protonenzahl (p) bei verschiedenen chemischen Elementen

Von diesen hat vor allem das Thermodiffusionsverfahren, das zur Gewinnung der notwendigen Menge von Uran-235 für die erste Atombombe angewendet wurde, besondere Bedeutung erlangt. Darnach wurde in den Trennkolonnen von Oak Ridge (Bild 12) erstmals in technischem Ausmass das Uran-235 von 0,7% auf etwa 40% (?) angereichert.

Nach Untersuchungen (vor 1920) von Enskog und S. Chapman (England) besteht beim Vorhandensein eines Temperaturgradienten, in einer Gasmischung die Tendenz, dass sich eine Sorte der Moleküle in der kalten, die andere in der warmen Zone anreichert. Dieses Bestreben hängt nicht nur vom Molekulargewicht, sondern auch von den Kräften zwischen den Molekülen ab.

Der Thermodiffusionseffekt wurde erstmals von H. Clusius und G. Dickel (München) zur Trennung von Isotopen angewendet. Bringt man ein gasförmiges Isotopengemisch in ein vertikales Rohr, das in seiner Axe durch ein zweites geheiztes Rohr begrenzt wird, so reichern sich die Gasmoleküle des schwereren Isotops an der kalten Wand des äusseren Rohres an und sinken dort ab, während die Moleküle des leichten Isotops an der heissen Wand des Innenrohres emporsteigen (Bild 13). Man erhält so im oberen Teil des Trennrohres eine grössere Konzentration des leichteren Isotops. Die Konzentrationsänderung ist allerdings nur sehr gering, so dass für eine genügende Anreicherung eine grosse Zahl solcher Trennröhre hintereinander geschaltet werden muss. In der amerikanischen Grossanlage ist es nach Ueberwindung grosser Schwierigkeiten gelungen, den Thermodiffusionseffekt von Flüssigkeiten zur Trennung des leichten und schweren Uranhexafluorides anzuwenden. Die Theorie der Thermodiffusion in Gasen ist sehr verwickelt und in Flüssigkeiten noch komplizierter.

Weitere Einzelheiten über die verschiedenen sehr interessanten Verfahren zur Trennung der Uranisotopen können dem offiziellen Bericht von H. D. Smyth entnommen werden.³⁾ Da für den Betrieb einer «Uranenergieanlage» das natürliche Uran verwendet werden kann und dabei gleichzeitig Plutonium entsteht, das als Explosivstoff der heutigen Atombombe dient, beansprucht die Reindarstellung des Urans-235 im Wesentlichen nur noch historisches Interesse.

Das Uran-238 reagiert in ganz anderer Weise auf eine Neutronenbombardierung als U 235. Während das Uranisotop U 235 nur mit langsamen Neutronen wirkungsvoll gespalten werden

³⁾ H. D. Smyth: «Atomic Energy». A General Account of the Development of Methods of Using Atomic Energy for Military Purposes under the Auspices of the United States Government 1940-1945. Published in the United States of America by the Government Printing Office, 1945.

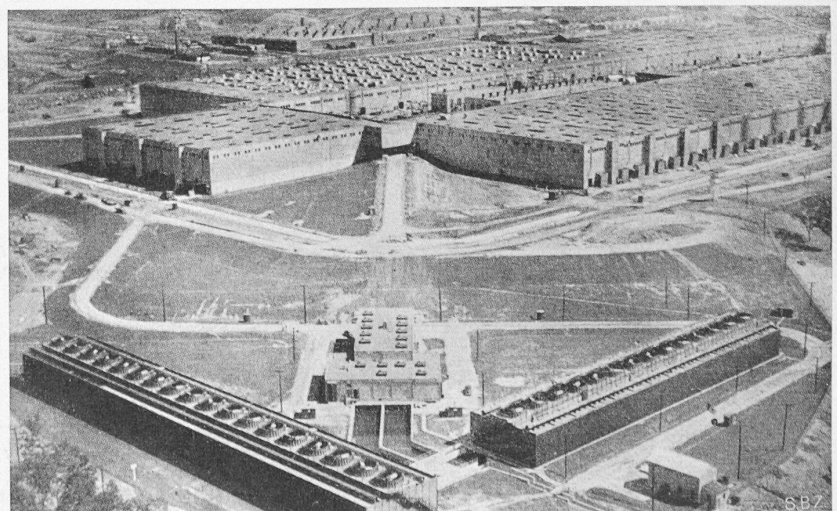


Bild 12. Anlagen zur Trennung der Uranisotopen in Oak-Ridge U. S. A. Quelle s. Fussnote ³⁾

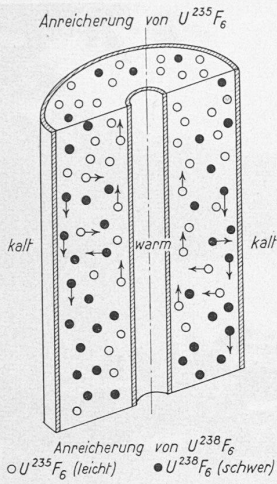


Bild 13. Prinzip der Thermosdiffusion

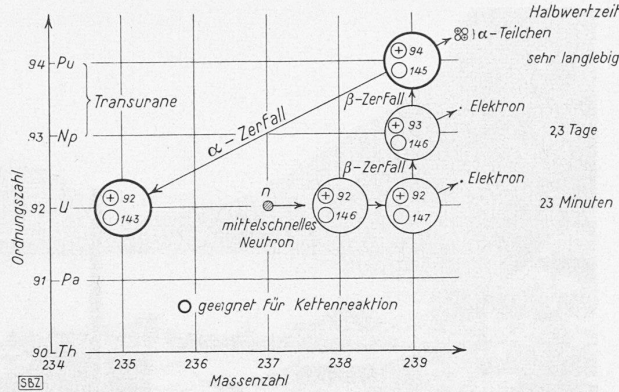


Bild 14. Die Umwandlung des Urans-238

kerns U239 in das Element Neptunium und weiter in das Element Plutonium zu verwandeln. Die Elemente Uran 239 und Neptunium sind β -Strahler, d.h. in ihrem Kern wandelt sich ein Neutron in ein Proton um und sendet dabei ein Elektron aus. Damit rückt aber die Ordnungszahl um eine Einheit hinauf und wir erhalten die chemisch neuen Elemente Neptunium (Np) und Plutonium (Pu) (Bild 14). Das Plutonium ist ebenfalls ein radioaktives Element; es zerfällt unter Aussenden eines α -Teilchens in Uran-235. Die Zerfallswahrscheinlichkeit ist jedoch derart gering, dass der Kern praktisch als stabil angesehen werden kann. Der Plutoniumkern eignet sich in analoger Weise wie der Kern des Urans-235 sehr gut für eine Kettenreaktion, namentlich zur detonativen Energieproduktion in der Bombe.

Da den Elementen Neptunium und Plutonium, die in der freien Natur nicht vorkommen, die Ordnungszahlen 93 und 94 zugeordnet werden müssen, stehen sie im periodischen System der Elemente jenseits des Urans und werden daher auch als Transurane bezeichnet.

Gerbstoff-Fabrikation bei der „Tannini Ticinesi S. A.“ in Maroggia-Melano

Allgemeines

Die zum Ledergerben erforderlichen Gerbstoffe kommen in der Natur vor allem in der Rinde und dem Holz verschiedener Pflanzen vor; am bekanntesten sind die Rinden von Eichen, Fichten und Mimosen (Süd-Afrika), ferner Quebrachoholz (Argentinien und Paraguay), sowie Holz und Rinde der Edelkastanie. Bei der Schnellgerberei werden die Häute direkt in gerbstoffhaltige Lösungen (Gerbrühen) gebracht und nicht wie bei der Grubengerberei mit gerbstoffhaltiger Loh vermisch, wodurch der Prozess in wenigen Monaten, sogar Wochen beendet ist. Hierzu muss der Gerbstoff aber vorerst aus den Pflanzenteilen extrahiert und in die Form einer konzentrierten Flüssigkeit oder eines festen, in Wasser löslichen Stoffes umgearbeitet werden. Die Herstellung von solchem Gerbstoffextrakt oder Tannin ist die Aufgabe der Tannini Ticinesi Maroggia-Melano.

Ausgangsstoff bildet hier ausschliesslich das Holz der Edelkastanie, das in den Wäldern des Kantons Tessin, der südlichen Bündnertäler und der benachbarten, am Südfuss der Alpen gelegenen Gebiete Italiens wächst. Diese Vorkommen bestimmten die Ortswahl für den Fabrikbau am Südende des Luganersees mit günstigem Anschluss an Bahn, Strasse und See.

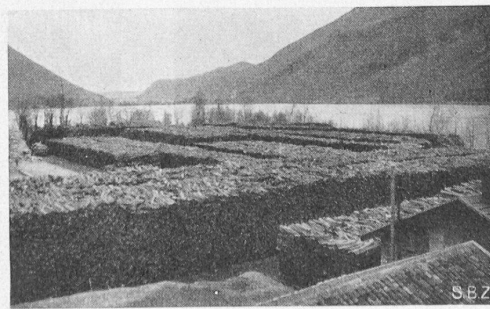
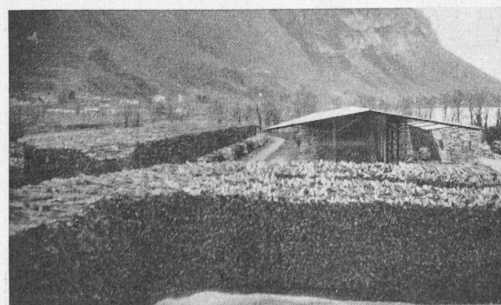


Bild 1a und 1b. Kastanienholzlager der «Tannini Ticinesi S. A.» in Maroggia-Melano

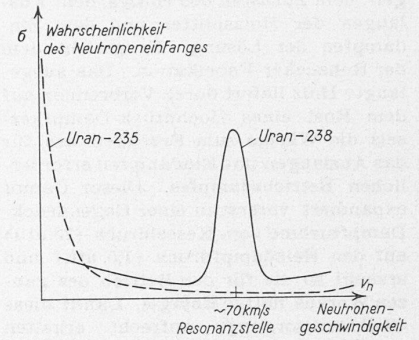


Bild 15. Die Einfangwahrscheinlichkeit für Neutronen verschiedener Geschwindigkeiten in Uran-235 und Uran-238

In diesem Zusammenhang mag die Tatsache von Interesse sein, dass die Entdeckung der Transurane auf Prof. E. Fermi (Rom) zurückgeht, der bereits im Jahre 1934 entsprechende Arbeiten veröffentlicht hat.

Trifft bei einer Beschiessung des natürlichen Urans ein langsames Neutron zufällig (im Mittel nach etwa 200 Stössen) auf einen der seltenen Kerne des Urans 235, so löst es in bekannter Weise eine Spaltung dieses Atomkerns aus. Die dabei freiwerdenden schnellen Neutronen verlieren durch Stösse mit den übrigen Urankernen einen Teil ihrer kinetischen Energie und durchlaufen bei dieser Gelegenheit den Geschwindigkeitsbereich, in dem sie von den in erdrückender Mehrzahl vorhandenen Kernen des Urans-238 besonders leicht eingefangen werden (Bild 15). Dies hat zur Folge, dass praktisch keine langsamen Neutronen für eine weitere Spaltung des Urans 235 mehr übrig bleiben und daher die Kettenreaktion erlischt. Das Uran 238 absorbiert also bei seiner Umwandlung die für die Kette notwendigen Neutronen, ohne selbst neue Neutronen freizugeben.

Trotz dieser Schwierigkeiten haben die amerikanischen Physiker den Weg gefunden, die Kettenreaktion mit dem natürlichen Uran in Gang zu halten. (Schluss folgt)

Der Arbeitsprozess besteht aus drei getrennten Vorgängen