

Isotopentrennung



Die Isotope eines Elements zeigen das gleiche chemische Verhalten, d.h. sie können bis auf ganz wenige Ausnahmen (z.B. Deuterium) nicht chemisch getrennt werden.

Durch was unterscheiden sich Atome, die dem gleichen Element angehören, deren Kerne aber unterschiedliche Isotope darstellen?

→ **Der Unterschied liegt in ihrer Masse**

Die Atome unterschiedlicher Isotope eines Elements unterscheiden sich lediglich in ihrer Masse. Die Isotopentrennung muß deshalb an dem Masseunterschied ansetzen.

Beispiel: Uran-235 / Uran – 238
0.7% 99.3%
natürliches Uran

Pechblende



Große Frage: Wie läßt sich das leichtere Uran-235 vom lediglich drei Nukleonenmassen schwereren Uran-238 trennen?

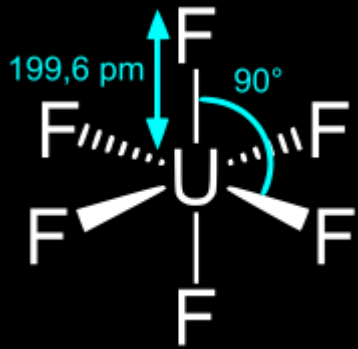
Liegt Uran als Metall vor, ist eine Trennung vollkommen unmöglich. Liegt Uran als Bestandteil eines Plasmas vor, dann kann eine Trennung mittels **Massenspektrometrie** erreicht werden. Dabei werden aber nur Spuren, aber niemals makroskopische Mengen von (relativ) reinen Uran-235 erhalten. Massenspektrometer sind deshalb nur für analytische Untersuchungen von Isotopengemischen geeignet.

Welche physikalischen Effekte bedingen unterschiedlich schwere Atome?

- a) **Trägheit** (um einen schwereren Atomkern zu beschleunigen, ist eine größere Kraft notwendig)
- b) **Diffusion** (in einem Gas diffundieren Atome unterschiedlicher Masse unterschiedlich schnell durch eine halbdurchlässige Membran)
- c) **Elektrolyse** (nur Deuteriumwasserstoff = „Schweres Wasser“)

Urananreicherung

Um Uran-235 anreichern zu können, muß es zuvor als gasförmige Verbindung vorliegen. Diese Verbindung ist Uranhexafluorid:



$$1 - \frac{6 \cdot 19 \text{ u} + 235 \text{ u}}{6 \cdot 19 \text{ u} + 238 \text{ u}} \approx 0,0085 = 0,85 \%$$

Fluor kommt in der Natur nur als Reinelement (d.h. es gibt nur 1 Isotop) mit der Massezahl 19 vor.

Der Masseunterschied zwischen „leichten“ und „schweren“ UF_6 - Molekülen liegt bei lediglich 0.85 % !

Der Weg zur ersten Uranbombe – Gasdifffusion zur Urananreicherung



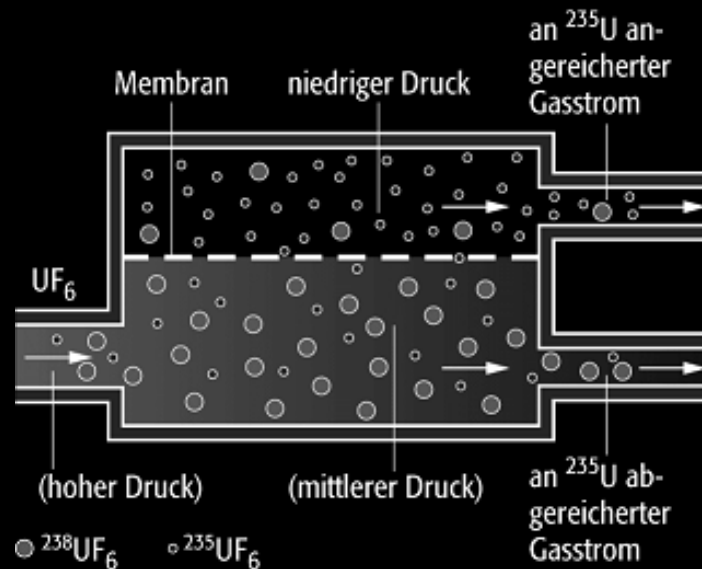
Oak Ridge, Tennessee

Funktionsweise:

In einem großen Behälter (Oak Ridge, 800 m lang, 300 m breit, 15 m hoch) werden abgeschlossene Teilbereiche (Kaskaden) geschaffen, deren Wände porös für Uranhexafluorid sind. Dabei muß über die Länge des Behälters ein Druckunterschied aufgebaut werden, was extrem energieintensiv ist.

- Die Wahrscheinlichkeit, daß ein leichtes Molekül durch die poröse Wand diffundiert, ist ein klein wenig größer als daß es ein schwereres schafft (Trennfaktor 1.0035).
- Mit jeder Kaskade nimmt der Anreicherungsgrad zu. Zur Herstellung von einem für Leichtwasserreaktoren geeigneten Urangemisch sind ~1200 Kaskaden notwendig.

Schematischer Aufbau einer Diffusionskaskade



Natural uranium
> 99.2% U-238
0.72% U-235



Low-enriched uranium
(reactor grade)
3-4% U-235



Highly enriched uranium
(weapons grade)
90% U-235

Urananreicherung mittels Gaszentrifugen

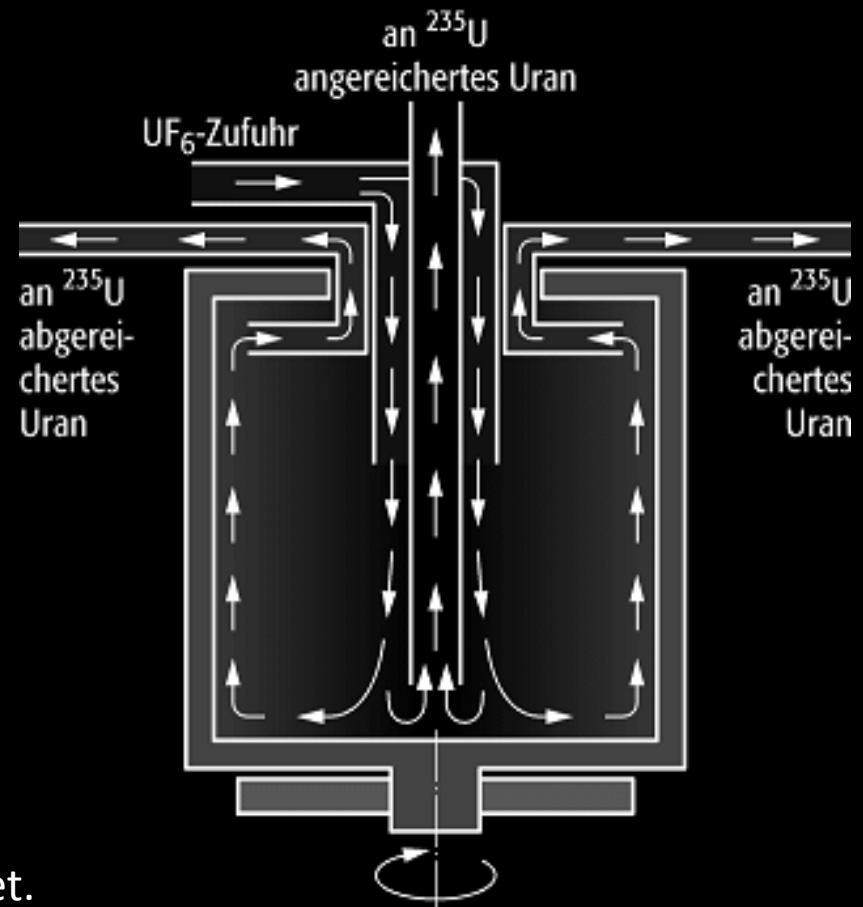
Ausnutzung des Trägheitsverhaltens der unterschiedlich schweren Uranhexafluorid-Moleküle.

In einer Zentrifuge werden schwerere Teilchen bevorzugt durch die Zentrifugalkraft nach außen getrieben.

Die Anreicherung erfolgt wie beim Gasdiffusionsverfahren über viele Kaskaden.

Das Gaszentrifugenverfahren wird heute fast ausschließlich zur Urananreicherung verwendet.

- wegen des geringen Gasdurchsatzes sind viele 1000 Einzelzentrifugen notwendig
- an der Peripherie der Zentrifugen werden Umlaufgeschwindigkeiten bis zu 500 m/s erreicht – Zentrifugen sind technisch äußerst anspruchsvolle Geräte

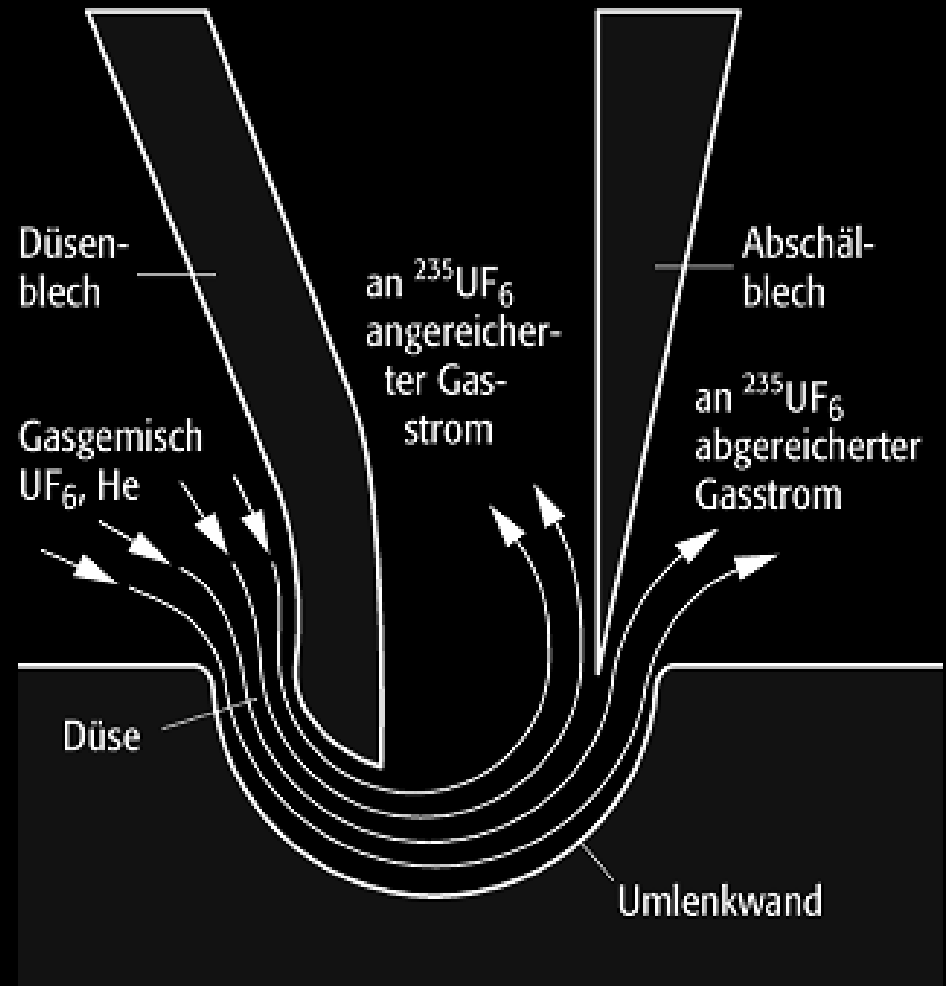




Trenndüsenverfahren

Uranhexafluorid wird mit einem Trägergas (meist He) versetzt und strömt über eine spezielle Düse in einen Ablenkbereich, wobei die schwereren Moleküle aufgrund ihrer höheren Trägheit eine geringere Ablenkung erfahren. Über ein sogenanntes Abschälblech werden die beiden Teilströme unterschiedlichen Anreicherungsgrades getrennt.

Dieses Verfahren wurde in Deutschland entwickelt, als es die „Grünen“ als Partei noch nicht gab.



High-End: Lasertrennverfahren

a) bei hohen Temperaturen (Uran liegt atomar als Gas vor ~ 4364 °C Siedepunkt)

Resonanzfrequenzen der beiden unterschiedlich schweren Atome unterscheiden sich Mittels extrem genau frequenzmäßig abgestimmten Laserlichts werden Uran-235 Atome ionisiert (möglich aufgrund der Isotopenverschiebung der Absorptionslinien), die sich danach leicht elektrostatisch trennen lassen.

→ Technisch extrem anspruchsvoll, im Entwicklungsstadium

b) bei niedrigen Temperaturen, Verwendung von Uranhexafluorid

Molekulares Laserverfahren: Uranhexafluorid wird gelöst in einem Trägergas bei einer Temperatur von -173 °C in einen Laserstrahl gebracht, dessen Frequenz so abgestimmt ist, daß die bei den Uran-235-Hexafluoridmolekülen induzierten Resonanzschwingungen zu einer Abtrennung eines Fluor-Atoms führen. Da UF_5 bei dieser Temperatur fest auskondensiert, kann es leicht vom Gas getrennt werden.

→ Technisch anspruchsvoll, im Entwicklungsstadium