

Atomi lézeres eljárás

- Atomic Vapor Laser Isotope Separation – AVLIS (Franciaországban: SILVA)
- Az urángőz szelektív foto-ionizációja nagyteljesítményű lézerrel. Az U-235 ionizálódik, elektrosztatikus elven gyűjtik össze.
- Az eljárás plutónium-izotópok szeparálására is alkalmas
- 1970-es években kezdték fejleszteni
- USA: 1985-ben a gázdifúziót leváltó perspektivikus eljárásnak minősítik, 2 milliárd dolláros K+F után mégis elvetik a SILEX molekuláris módszer ellenében
- Franciaország: a tudományos és technológiai megvalósíthatóságot bizonyították, 2003-tól „jegelték”
- A gondot elsősorban az urángőz előállítása jelenti

Molekuláris lézeres eljárás I. (SILEX)

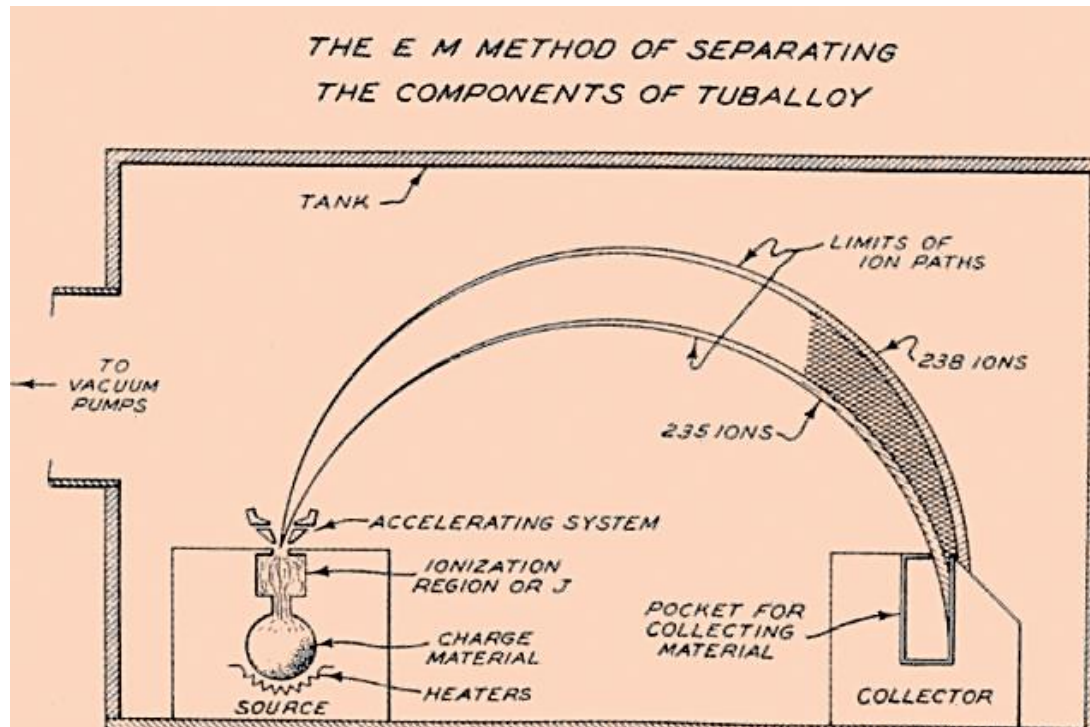
- SILEX = Separation of Isotopes by Laser EXcitation
- Az UF_6 molekula szelektív foto-disszociációja szilárd UF_5^+ -ra és fluorra, hangolt lézer-sugárzással, majd az elektromosan töltött UF_5^+ gyökök elektrosztatikus összegyűjtése (fémlapon).
- Legkidolgozottabb módszer: SILEX (Ausztrália, 1988-) (más néven: GLE - Global Laser Enrichment) eljárás. (Az U^{235}F_6 -ot ionizálja 16 μm -es CO_2 lézerrel.) 2006-ban az ausztrál kutatási eredményeket kizárólagos joggal megvette a GE (újabbban a GE-Hitachi).
- A GEH kísérleti üzeme bebizonyította a technológia alkalmazhatóságát. Wilmingtonban (North Carolina, USA) 2013-ban indult a 3,5-6 MSWU kapacitású termelőüzem építése (8% max. dúsításra). 2018: GEH feladta az építkezést, a technológia Ausztráliába történő visszatelepítését tervezik.
- 2021 október: az első valós méretű modul sikeres tesztje Ausztráliában
- A GLE a kereskedelmi termelés 2030-ig tervezi megindítani.

Molekuláris lézeres eljárás II. (CRISLA)

- CRISLA = Chemical Reaction by Isotope Selective Laser Activation
- Az urántartalmú gázt (UF_6 + hordozó gáz) olyan hangolt lézerefénnyel sugározzák be, amely csak az egyik izotópot tartalmazó molekulát gerjeszti (nem ionizálja). A besugárzott gázt lehűtik, majd hideg felületen kondenzálják. A gerjesztett állapotú molekulák kevésbé kondenzálódnak.
- Még fejlesztés alatt álló módszer

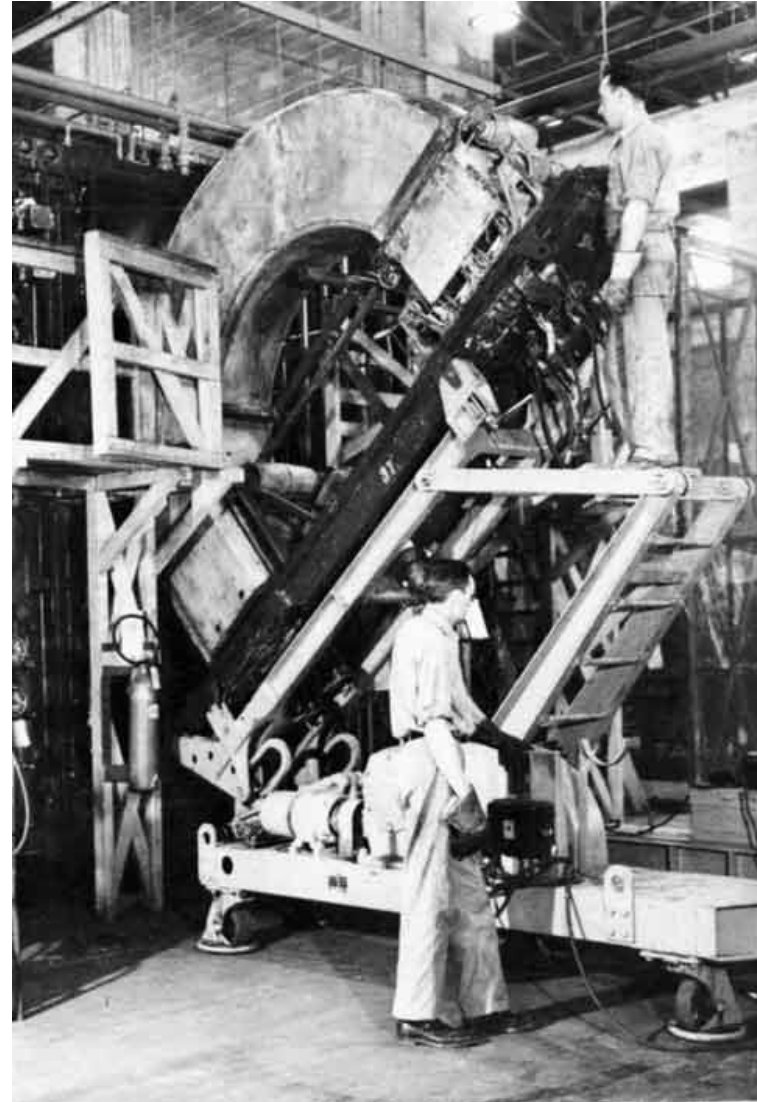
Elektromágneses izotópelválasztás

- Tömegspektrometriai alapelv
- Manhattan Project: CALUTRON (**CAL**ifornia **U**niversity Cyclo**TRON**), tiszta ^{235}U előállítása (Oak Ridge, Y-12 létesítmény)



Elektromágneses izotópelválasztás (történelem)

Alpha CALUTRON
tartály
(Manhattan Project)

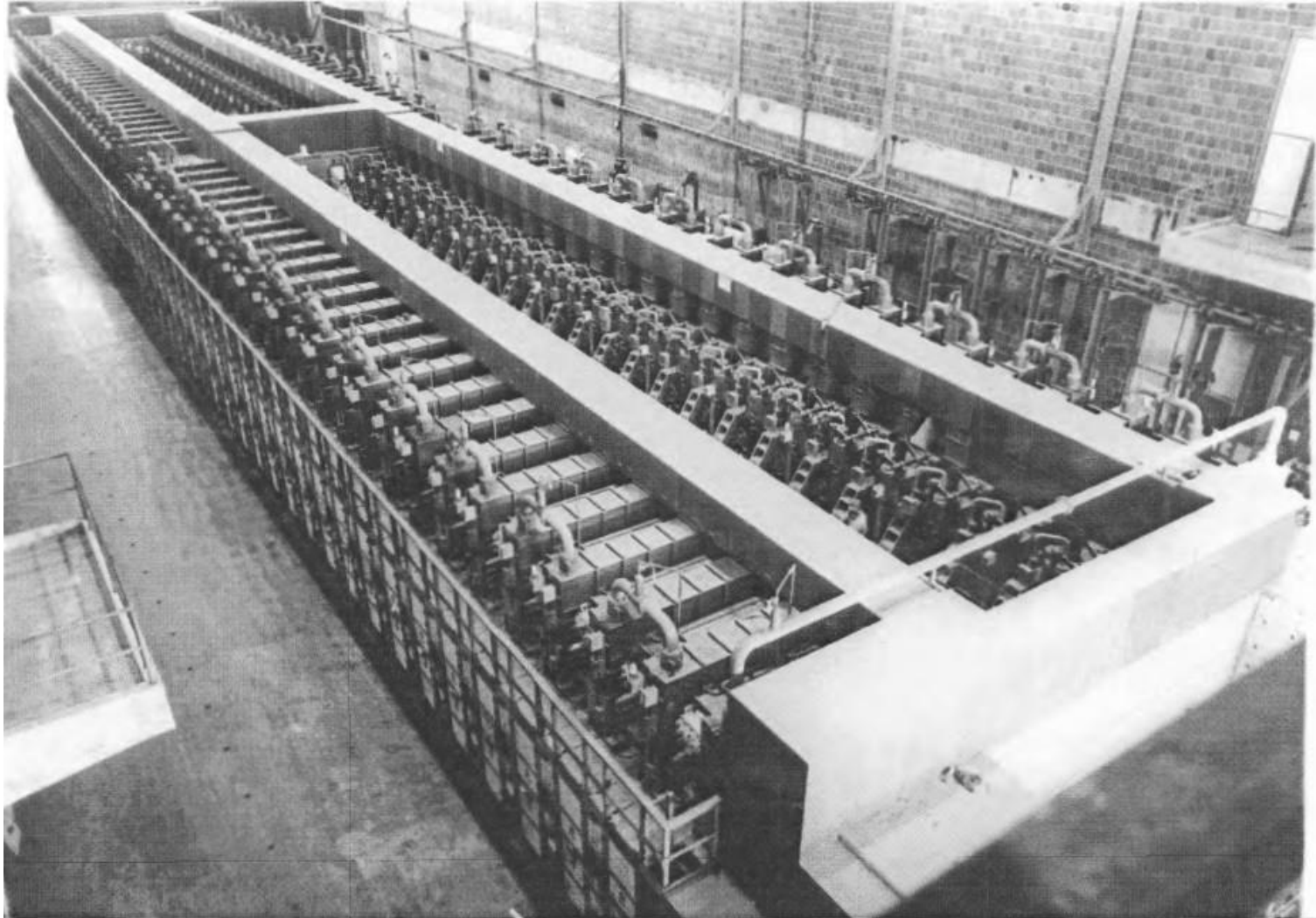


Elektromágneses izotópelválasztás (történelem)



Y-12 CALUTRON Alpha (Manhattan Project)

Elektromágneses izotópelválasztás (történelem)



Y-12 CALUTRON Beta (Manhattan Project)

Elektromágneses izotópelválasztás (történelem)



Az Y-12 CALUTRON irányító terme (Manhattan Project)

Elektromágneses izotópelválasztás

- CALUTRON felhasználása a II. világháborút követően: szinte minden elem stabil izotópjainak grammnyi mennyiségét előállították vele.
- Nagy kapacitású elektromágneses szeparátorok Oroszországban és néhány más országban is épültek és működtek.

Elektromágneses izotópelválasztás



Az Oak Ridge Y-12 telephely jelenleg
(National Security Complex)

Urándúsítási eljárások összevetése

Table 3. Comparison of the enrichment processes

Enrichment process	Separation factor	Throughput	Specific inventory (kg/U/SWU/year)	Specific energy consumption (kWh/SWU)	Capital costs
Gaseous diffusion	1.004	High	0.1–0.3	2400	Reference
Gas centrifuge	>1.3	Low	–0.0005	100	Higher
Aerodynamic					
—Vortex tube	1.03	High	0.003	3500	Comparable
—Separation nozzle	1.015	High	0.002	2500–3500	Comparable
Chemical exchange	1.0026	High	1.1	360 ^a	Lower
Ion exchange	1.001	High	0.1–0.4	140 ^a	Lower
Laser					
—Molecular	2–6	Moderate	Low	150	Lower
—Atomic vapor	2–6	Moderate	Low	150	Lower
Electromagnetic isotope separation (EMIS)	~30	Very low	N/A	High	Much higher

A világ dúsítási kapacitása (kSWU/év)

(működő és tervezett)

Ország	Vállalat és telephely	2013	2015	2020
Franciaország	Areva, Georges Besse I & II	5500	7000	7500
Németország – Hollandia – UK	Urenco: Gronau, Németország; Almelo, Hollandia; Capenhurst, Nagy-Britannia	14,200	14,400	13,700
Japán	JNFL, Rokkaasho	75 (150)	75 (750)	75 (1500)
USA	USEC, Paducah & Piketon	0 (11,300)	0 (3800)	0 (3800)
USA	Urenco, New Mexico	3500	4700	4900
USA	Areva, Idaho Falls	0	0 (>1000)	0 (3300)
USA	Global Laser Enrichment	0	0 (2000)	0 (3500)
Oroszország	Tenex: Angarsk, Novouralsk, Zelenogorsk, Seversk	26,000	26,578	27,700
Kína	CNNC, Hanzhun & Lanzhou	2,200	5,760	6,300
Pakisztán, India, Brazília, Irán	Több telephely	75	100	66
	Teljes SWU (közelítőleg)	51,550	58,600	60,166
	Igény (WNA szerint)	49,154	47,285	50,205

A globális igényeket kielégítik a kapacitások (de csak az orosz-kínai kapacitással együtt!).

A dúsítási igények kielégítésére alkalmazható módszerek részesedése 2000 és 2020 között (WNA, 2017)

Módszer	2000	2010	2015	2020
Diffúzió	50%	25%	0	0
Centrifuga	40%	65%	100%	100%
Lézer	0	0	0	0
Nukleáris fegyverek töltetének „lehígítása” *	10%	10%	0	0

* „Blending down”:

- Előzmény: Megatons to Megawatts program (USA – Oroszország, 1993-2013, 90% -> 5%, Oroszo. szállított az USA-nak.)
- MFFF - MOX Fuel Fabrication Facility, USA South Carolina, katonai Pu lehígítása, építés francia részvétellel, engedély meghosszabbítva 2025-ig.

Nemzetközi Dúsítási Központok - Multilaterális Megközelítés I.

- NAÜ, Oroszország és USA (GNEP) felvetése
- Nemzetközi ellenőrzés, a non-proliferation jegyében
- International Uranium Enrichment Centre (IUEC) Angarszk, Szibéria, Bajkál-tó közelében (orosz (többségi), kazah, örmény és ukrán tulajdon); 2007 óta NAÜ-felügyelet (safeguard), USA is támogatja; résztulajdon felajánlva, technológiai hozzáférés nem; „termékek”: dúsítási szolgáltatás és dúsított urán.
- (Korábbi) Eurodif – Franciaország (tulajdon: Franciao. 60%, Olasz. Spanyol., Belgium és Irán); NAÜ-felügyelet (safeguard), csak francia technológiai hozzáférés; többi résztvevőnek csak szolgáltatás vagy termék, Irán a termékből is csak korlátozásokkal részesülhet.
- A Georges Besse I (2011) és II (2016) gázcentrifugás dúsítómű (Franciao., Tricastin) esetében hasonló konstrukciós javaslat.

Nemzetközi Dúsítási Központok - Multilaterális Megközelítés II.

- Urenco – három ország tulajdona: (Hollandia, Németország, Nagy-Britannia), telephely minden országban.
- Új Urenco tulajdonú dúsítómű az USA-ban (New Mexico), hatósági (regulatory) felügyelettel, de irányítási (management) kontroll nélkül.
- Új Areva dúsítómű az USA-ban (Idaho Falls), kizárólagos francia tulajdon, amerikai területen.
- Egyetlen amerikai tulajdonú dúsítómű az előregedett USEC, Paducah és Piketon telephelyeken (2013 óta nem működik).
- Global Laser Enrichment projekt; 2013-ban kereskedelmi mű építésébe kezdtek az USA-ban (USA (51%), Kanada (24%) és Japán (25%) – Jelenleg: pénzügyi nehézségek.

Irán



NATANZ, IRAN -- CLOSE-UP

INSTITUTE FOR SCIENCE AND INTERNATIONAL SECURITY

IMAGE CREDIT: DIGITALGLOBE
DATE OF IMAGE: 16 SEPTEMBER 2002

THE GAS CENTRIFUGE URANIUM ENRICHMENT PLANT AT NATANZ, IRAN.



NATANZ, IRAN

INSTITUTE FOR SCIENCE AND INTERNATIONAL SECURITY

IMAGE CREDIT: DIGITALGLOBE
DATE OF IMAGE: 7 FEBRUARY 2003

THE GAS CENTRIFUGE URANIUM ENRICHMENT PLANT AT NATANZ, IRAN.

Az iráni atomprogram létesítményei (2015)



Natanz-i történet („ballépés”)

(amikor egy protokoll képriport a megrendelő szándékán - és tudtán – kívül féltve őrzött ipari titkokat fed fel a szakértő számára)



Natanz

