

BOGATITEV URANA

Tamara Stojanov

mentor: prof. dr. Iztok Tiselj

reaktorska tehnika

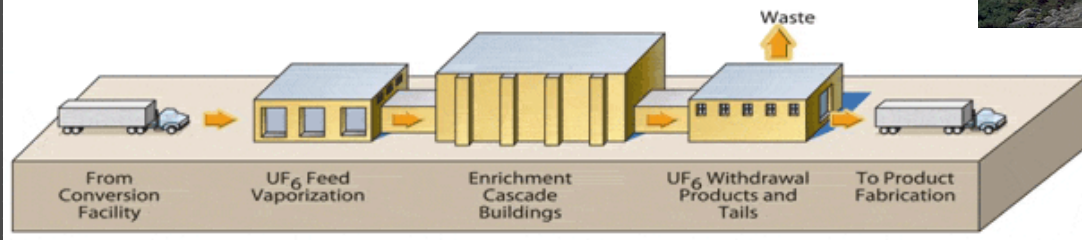
12. november 2013

BOGATITEV

- ▶ izkoriščamo razliko v masi izotopov U-235 in U-238
- ▶ ločevanje najlažje v plinastem stanju
- ▶ UF_6
- ▶ SWU – enote ločevalnega dela

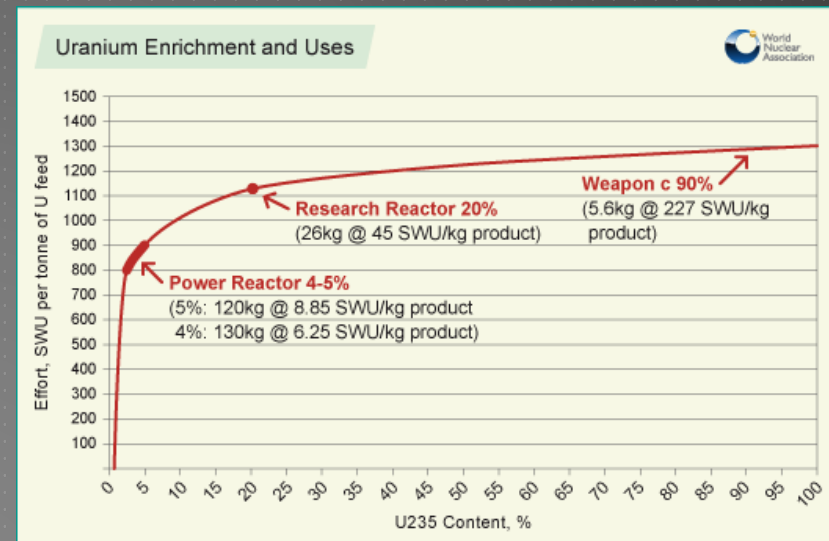
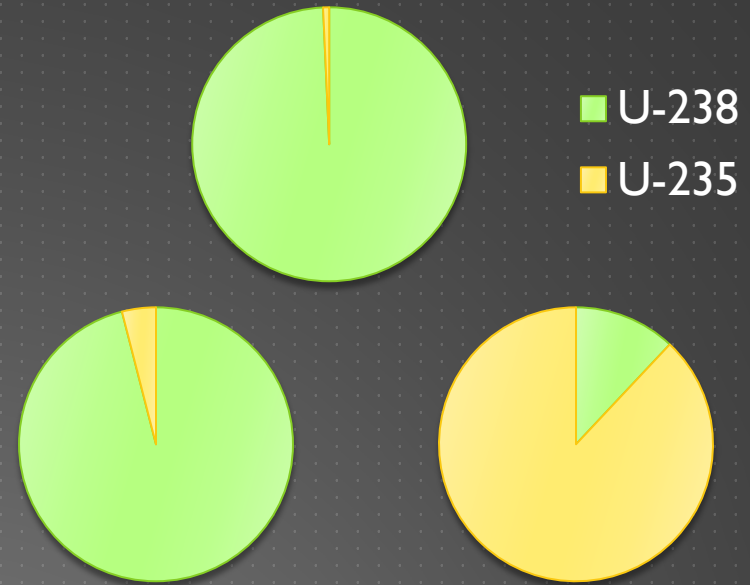


Typical Uranium Enrichment Facility



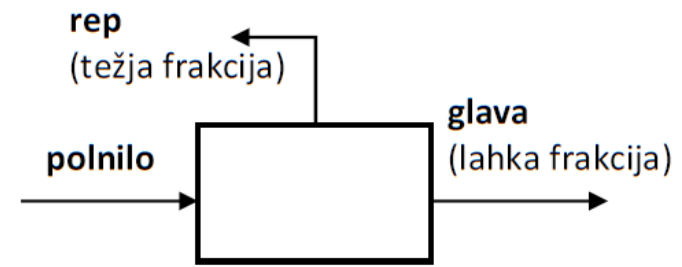
OBOGATITVE

- ▶ naravni uran 0,711 % U-235
- ▶ rahlo obogateni uran 0,9—2 % U-235
 - ▶ težkovodni reaktorji
 - ▶ večja zgorelost
 - ▶ povratna zanka
- ▶ nizko obogateni uran 2—20 % U-235
 - ▶ elektrarne 3—5 %
 - ▶ raziskovalni reaktorji 12—20 %
- ▶ visoko obogaten uran nad 20 % U-235
 - ▶ jedrsko orožje okoli 90 %
 - ▶ doseženo že 97 %

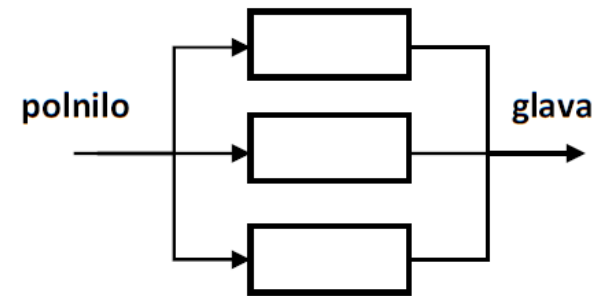


KASKADA

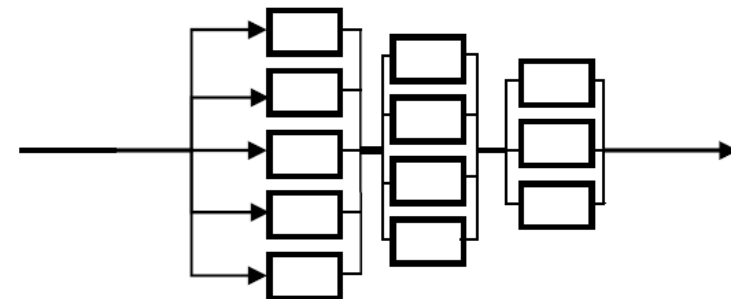
- ▶ separacijski (ločevalni) faktor α =delež na začetku/delež na koncu
- ▶ α blizu 1 (hočemo čim več), zato rabimo veliko ponovitev
- ▶ polnilo \rightarrow bogatitveni element \rightarrow lažja (glava) in težja frakcija (rep)
- ▶ več bogatitvenih elementov z enakim polnilom je stopnja
- ▶ stopnje zaporedoma vežemo v kaskade



Bogatitveni element.



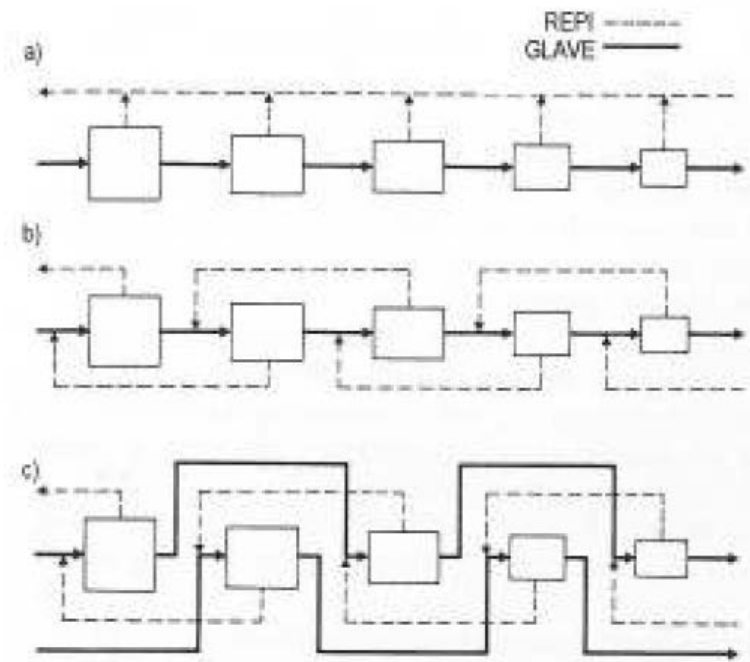
Vzporedno vezane bogatitvene elemente imenujemo *stopnja*. Shematsko si stopnjo lahko predstavljamo kot ustrežno večji element.



Kaskada je več stopenj vezanih zaporedno.

KASKADA

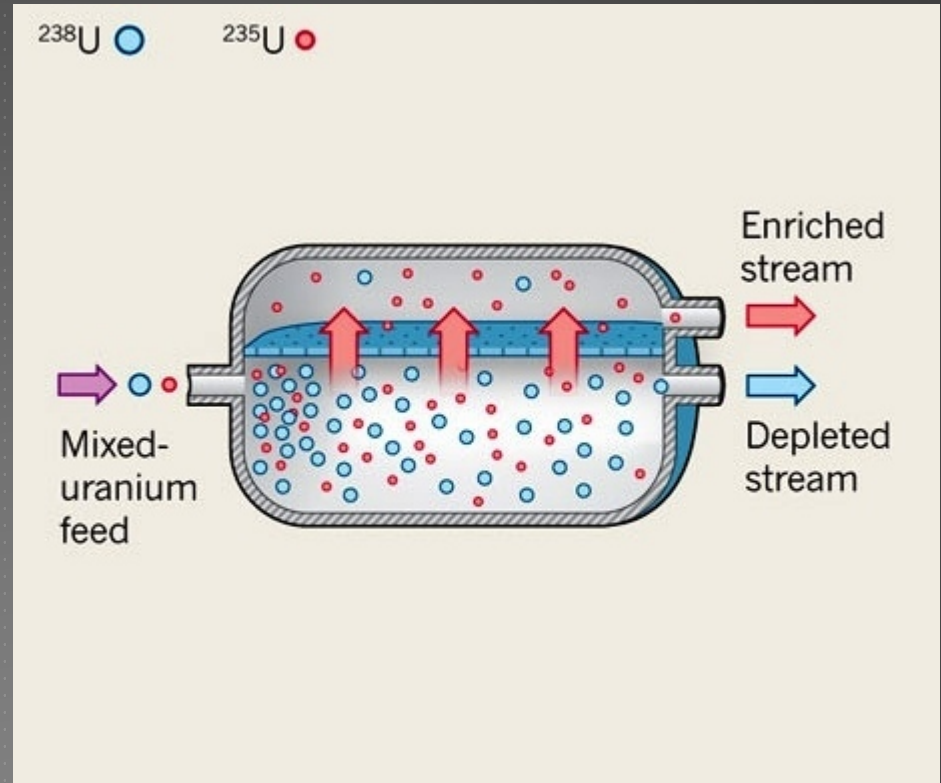
- ▶ enostavna kaskada repov ne procesira, slab izkoristek
- ▶ simetrična kaskada
- ▶ asimetrična kaskada
- ▶ bogatitveni del in del za siromašenje
- ▶ idealna kaskada



a) Enostavna kaskada – glava vsake stopnje tvori polnilo naslednje, repi pa se vodijo iz kaskade kot odpadki. **b)** Simetrična kaskada – glava vsake stopnje se vodi v polnilo naslednje, rep pa v polnilo prejšnje. **c)** Asimetrična kaskada – rep in glava vsake stopnje se vodita naprej oz. nazaj za različno število korakov.

PLINSKA DIFUZIJA

- ▶ prva generacija
- ▶ UF_6 potuje skozi porozno bariero
- ▶ termodinamično ravnovesje
- ▶ manjša masa U-235, zato večja hitrost
- ▶ $\alpha = 1,004$
- ▶ čez 1000 stopenj



PLINSKA DIFUZIJA

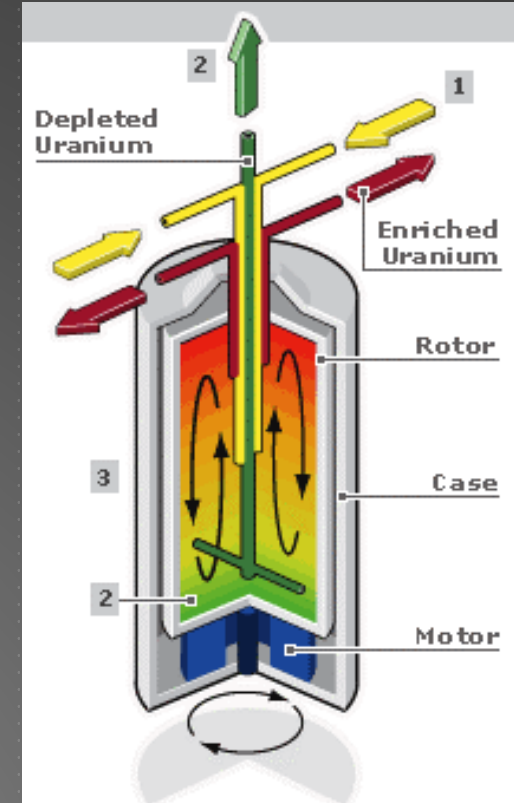
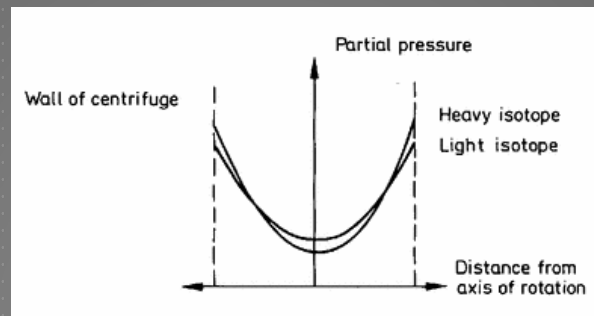
- ▶ bariere:
 - ▶ premer por okoli 10 nm
 - ▶ čim višja poroznost
 - ▶ čim manjša debelino
 - ▶ čim večja mehanska trdnost
 - ▶ kar se da nizka kemična reaktivnost
- ▶ kovine (Au, Ag, Ni, Al, Cu),
kovinski oksidi (Al_2O_3 , keramike), fluoridi (CaF_2) ali nitridi in
fluorokarboni (teflon)
- ▶ navrtane ali porozne



	difuzija		
α	1,004		
kWh/SWU	2500		
prednosti	zanesljivost preizkušnost		
slabosti	bariere poraba energije relaksacijski čas		

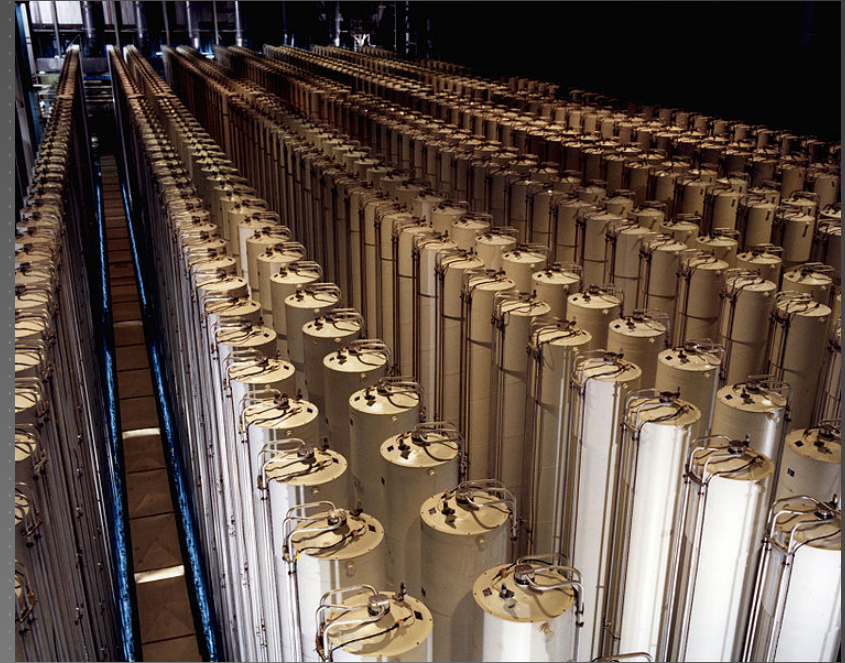
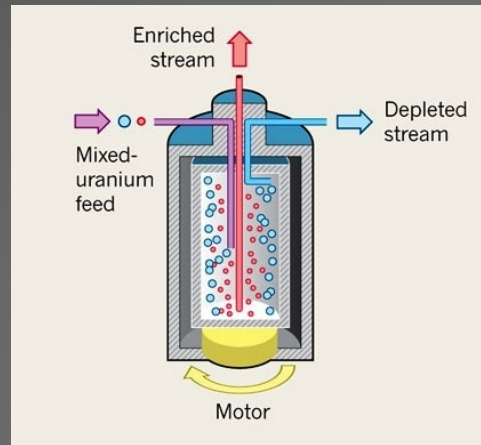
PLINSKA CENTRIFUGA

- ▶ druga generacija, danes najbolj razširjena
- ▶ močan radialen pospešek
- ▶ valj, ki se vrti okoli svoje osi
- ▶ na obodu večja koncentracija težjega izotopa, na sredini lažjega
- ▶ razmerje tlakov na obodu 10^{10}
- ▶ zippe: spodaj segrevamo, konvekcijski tokovi
- ▶ $\alpha = 1,01 - 1,5$
- ▶ 12—20 stopenj



PLINSKA CENTRIFUGA

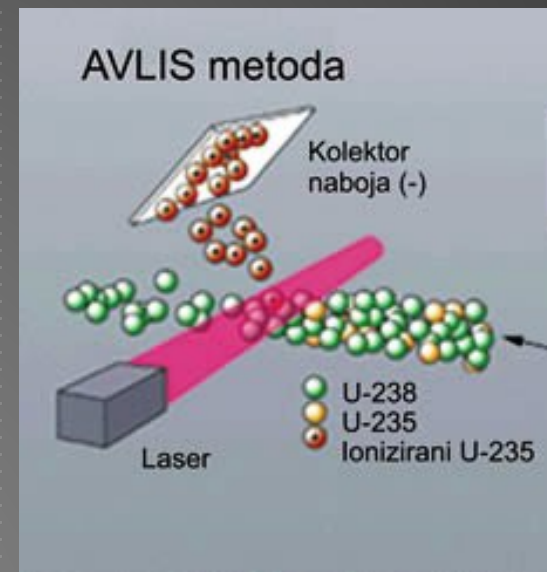
- ▶ višina 1—12 m
- ▶ premer 10—50 cm
- ▶ frekvenca 50 000—90 000 rpm
- ▶ elektromotor
- ▶ vakuum



	difuzija	centrifuga	
α	1,004	1,01—1,5	
kWh/SWU	2500	60	
prednosti	zanesljivost preizkušnost	poraba energije relaksacijski čas	
slabosti	bariere poraba energije relaksacijski čas	vzdrževanje	

LASERSKE METODE

- ▶ temeljijo na razlikah v hiperfini strukturi
- ▶ absorpcijski vrh U-235 pri 502,73 nm, U-238 pri 502,74 nm
- ▶ selektivno vzbudimo le U-235
- ▶ α okoli 70, majhna poraba energije
- ▶ nevarnost proliferacije
- ▶ AVLIS
 - ▶ ločevanje izotopov v atomarnem plinu
 - ▶ z laserjem vzbudimo U-235, z drugim jih ioniziramo
 - ▶ s statičnim električnim poljem jih odstranimo iz zmesi
 - ▶ skoraj 100-odstotno ločevanje



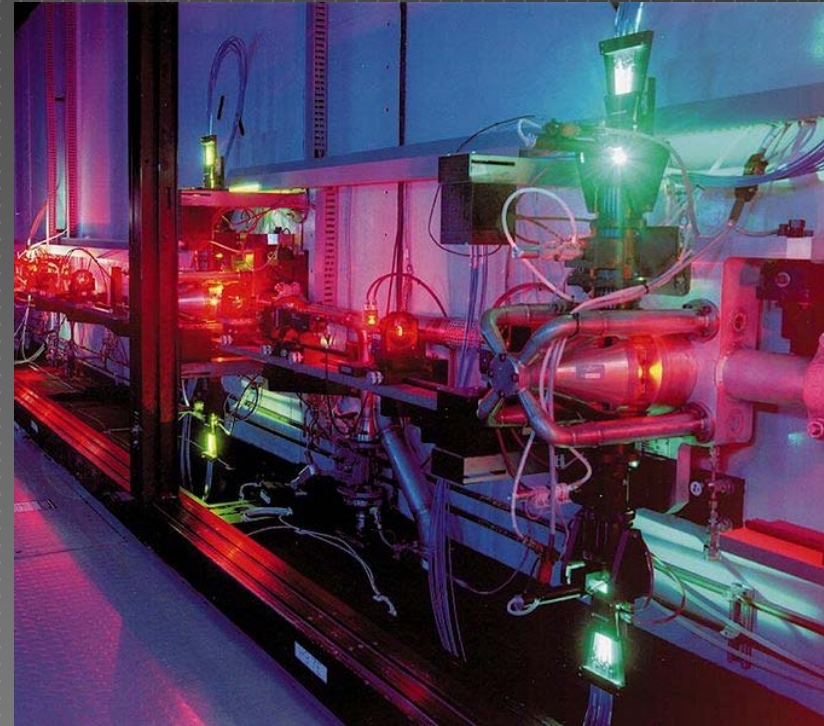
LASERSKE METODE

▶ MLIS

- ▶ molekularno ločevanje izotopov
- ▶ UF_6 s primešanim nosilnim plinom
- ▶ vse molekule vzbudimo v vibracijsko stanje
- ▶ molekule z U-235 s fotolizo pretvorimo v UF_5
- ▶ ta je trden, ga odstranimo
- ▶ slabša separacija kot pri AVLIS

▶ SILEX – GLE

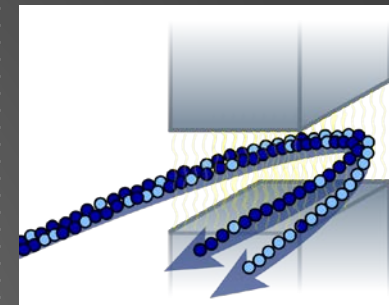
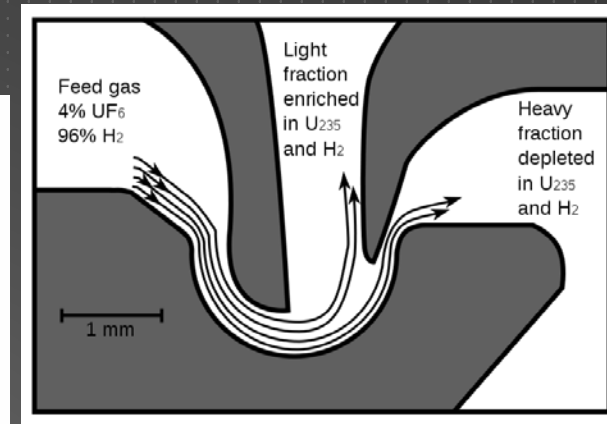
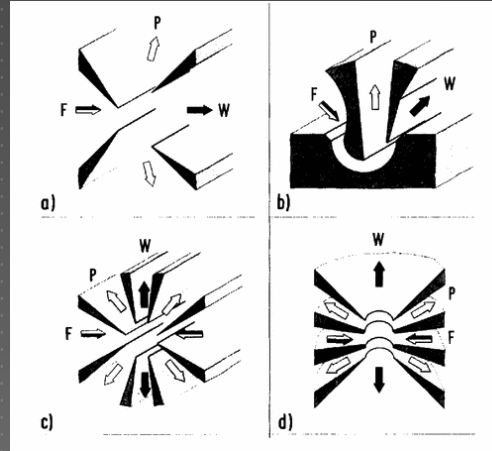
- ▶ ločevanje z laserskim vzbujanjem
- ▶ UF_6 z U-235 v UF_5 , odstranjevanje z magnetnim poljem
- ▶ tretja generacija?
- ▶ državna skrivnost ZDA
- ▶ Začetek gradnje komercialnega obrata v ZDA v 2012 (izdana potrebna dovoljenja)



	difuzija	centrifuga	laser
α	1,004	1,01—1,5	do 70
kWh/SWU	2500	60	40
prednosti	zanesljivost preizkušenosť	poraba energije relaksacijski čas	poraba energije učinkovitost
slabosti	bariere poraba energije relaksacijski čas	vzdrževanje	nevarnost proliferacije

DRUGE METODE

- ▶ aerodinamične metode
 - ▶ radialni pospeški v hitro zavijajočem toku plina
 - ▶ α okoli 1,03
- ▶ elektromagnetna separacija
- ▶ kemijske metode



OSTALI VIRI URANA

- ▶ ponovna bogatitev osiromašenega urana
- ▶ siromašenje urana iz jedrskega orožja



DANES

- ▶ leta 2010 z difuzijo obogatenih 25 % urana, s centrifugo 65 %, iz jedrskega orožja 10 %
- ▶ 2017: difuzija 0 %, centrifuga 93 %, laser 3 %, orožje 4 %
- ▶ večina obratov za bogatitev v večnacionalni lasti in pod nadzorom mednarodnih agencij
- ▶ tabela: kapacitete za bogatitev [1000 SWU/leto]

država	podjetje in tovarna	2012	2015	2020
Francija	Areva, Georges Besse I & II	2500	7000	8200
Nemčija, Nizozemska, VB	Urenco: Gronau, Germanu; Almelo, Nizozemska; Capenhurst, VB	12,800	14,200	15,700
Japonska	JNFL, Rokkaasho	150	150	1500
ZDA	USEC, Paducah & Piketon	5000	3800	3800
ZDA	Urenco, New Mexico	2000	5700	5700
ZDA	Areva, Idaho Falls	0	1500	3300?
ZDA	Global Laser Enrichment	0	1000?	3000?
Rusija	Tenex: Angarsk, Novouralsk, Zelenogorsk, Seversk	25 000	30 000	37 000
Kitajska	CNNC, Hanzhun & Lanzhou	1500	3000	8000
Pakistan, Brazilija, Iran, Indija	različno	100	500	1000?
	skupaj	49 000	65 000	87 200

HVALA ZA POZORNOST!

▶ VIRI:

- ▶ U. Pompe: Bogatenje urana – seminar II pri prof. dr. Ravniku (http://mafija.fmf.uni-lj.si/seminar/files/2008_2009/Seminar_II_-_Bogatenje_Urana.pdf)
- ▶ <http://world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Conversion-Enrichment-and-Fabrication/Uranium-Enrichment/>
- ▶ http://en.wikipedia.org/wiki/Enriched_uranium
- ▶ <http://www.urengo.com/page/19/Nuclear-fuel-supply-chain.aspx>
- ▶ <http://www.nemis.hr/energetske-svrhe/obogacivanje-urana.html>

	difuzija	centrifuga	laser	aero- dinamično
α	1,004	1,01—1,5	do 70	1,01—1,03
kWh/SWU	2500	60	40	3000
prednosti	zanesljivost preizkušenosť	poraba energije relaksacijski čas	poraba energije učinkovitost	fleksibilnost
slabosti	bariere poraba energije relaksacijski čas	vzdrževanje	nevarnost proliferacije	odvajanje toplote poraba energije