

Нуклеарна енергија и нуклеарни реактори

Богдан Степановић, докторанд у ЦЕА-и (Француски нуклеарни институт)

Мрежа младе генерације Српског нуклеарног друштва

Садржај

- 1. Шта је нуклеарна енергија ?**
- 2. Принцип функционисања нуклеарних реактора**
- 3. Нуклеарни отпад**
- 4. Реактори будућности**



1 ■

**Шта је нуклеарна
енергија ?**



Шта је нуклеарна енергија ?

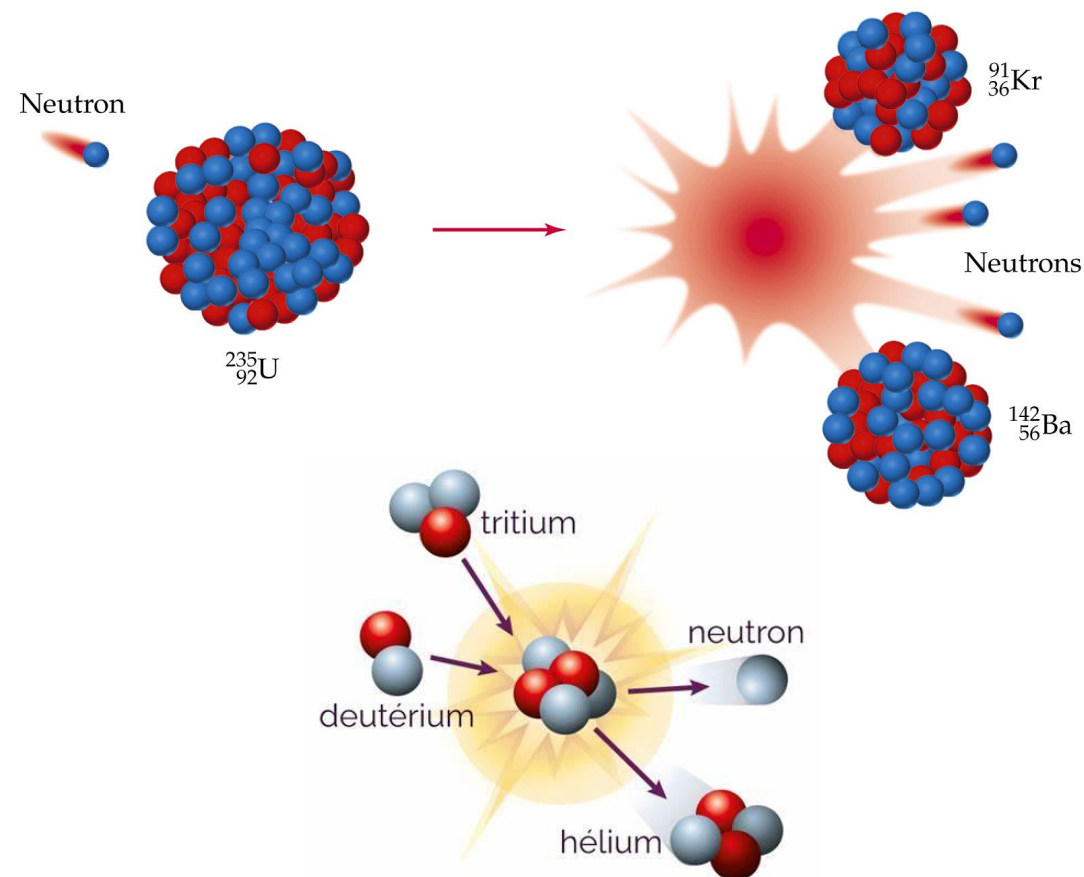
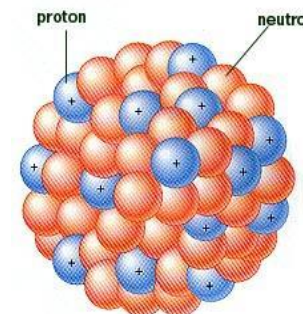
Нуклеарна енергија је енергија која држи на окупу честице у језгрима атома. Честице које чине језгро су *протони* и *неутрони*.

Зависно од врсте **нуклеарне реакције**, може доћи до *ослобађања нуклеарне енергије* или *примања енергије*. Две врсте нуклеарних реакција које могу ослободити енергију :

- **Фисија**
- **Фузија**

Фисија је врста нуклеарне реакције, која настаје кад се **језгра атома** неког хемијског елемента **цепају на два дела** уз емитацију једног или више **неутрона**.

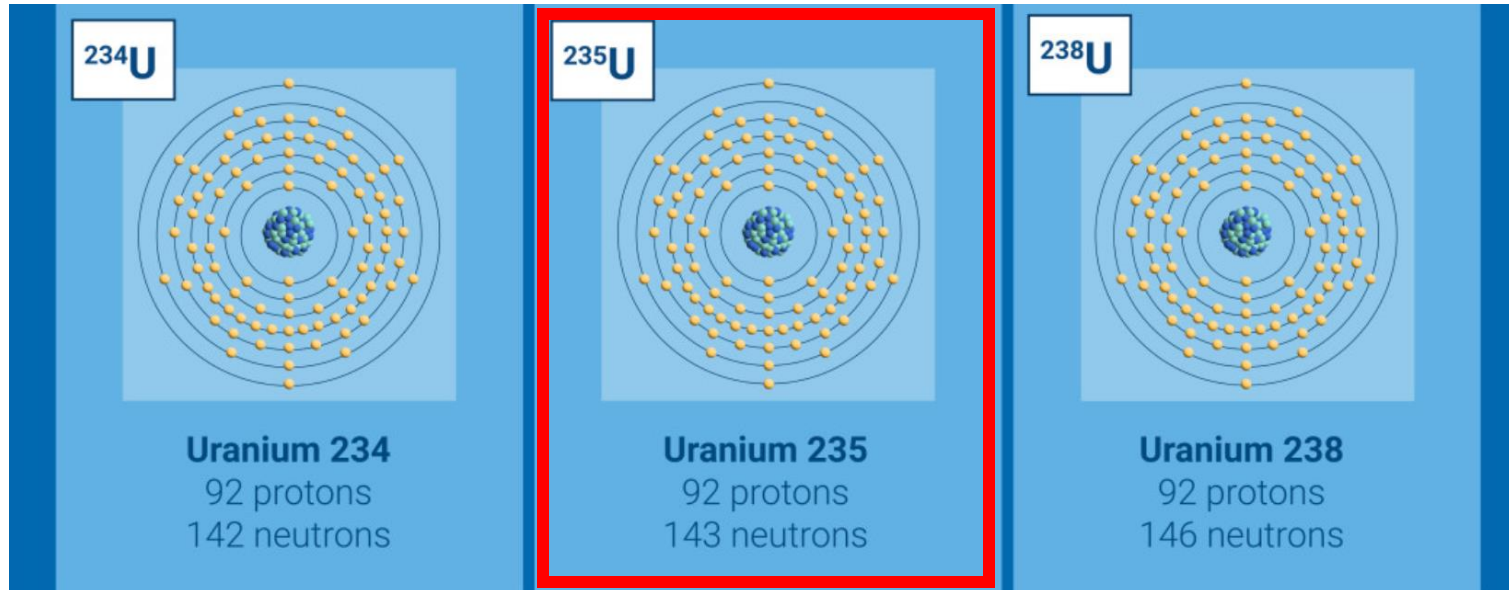
Фузија је процес током којег се више атомских језгара спајају формирајући једно теже језгро.



Нуклеарна фисија

Природни уранијум се састоји од различитих атома који се називају **изотопи** и који се само разликују по броју *неутрона*.

Уранијум-238 чини **99%** природног уранијума.



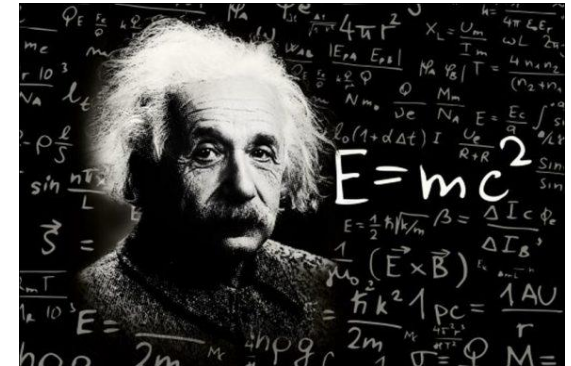
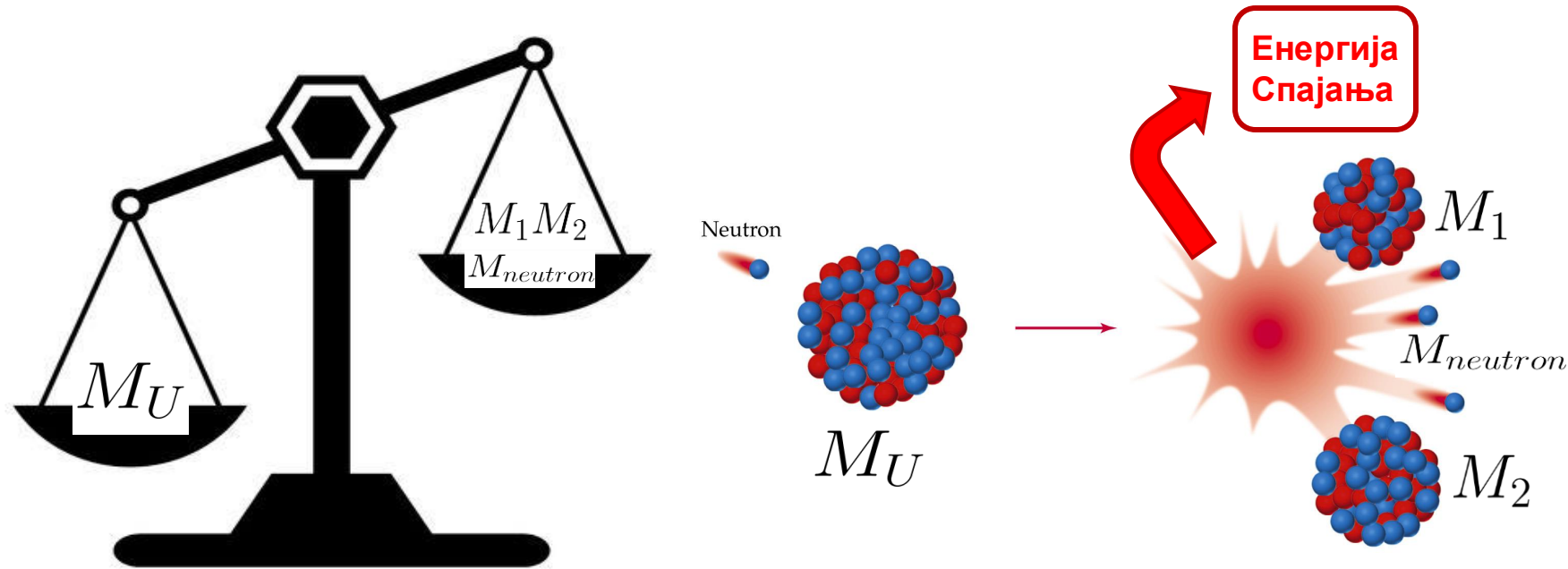
Једини фисибилни (који *подлеже фисији*) изотоп који постоји у природи је изотоп **уранијума-235** (0,72% природног уранијума). Уранијум-235 има **велику вероватноћу** да доживи фисију у реактору.

Нуклеарна фисија

Уранијум-235 има велику вероватноћу за фисију. Гориво које има већи проценат уранијума-235 од 0,72% је такозвано "обогаћено" гориво

Високо обогаћено гориво > 20% U-235
Осиромашено гориво < 0,72% U-235

Два лакша језгра које настају фисијом су радиоактивна (1 и 2)



Фисија ослобађа **енергију** која **везује честице** (неутроне и протоне) од којих се **састоји језгро**.

Место нуклеарне енергије у свету

- Једини стабилан извор енергије који не емитује угљен-диоксид у ваздух током производње струје
- Нуклеарна енергија је званично ушла у категорију "зелене енергије" (ЕУ)
- 10% струје произведене у свету долази из нуклеарних електрана
- Број нових пројеката/будућих електрана у свету : 210
- Половина сценарија за будући електрични микс Србије узима у обзир нуклеарну енергију

Количина угљен-диоксида емитована по произведеном киловату



Source: Intergovernmental Panel on Climate Change
орган Уједињених нација



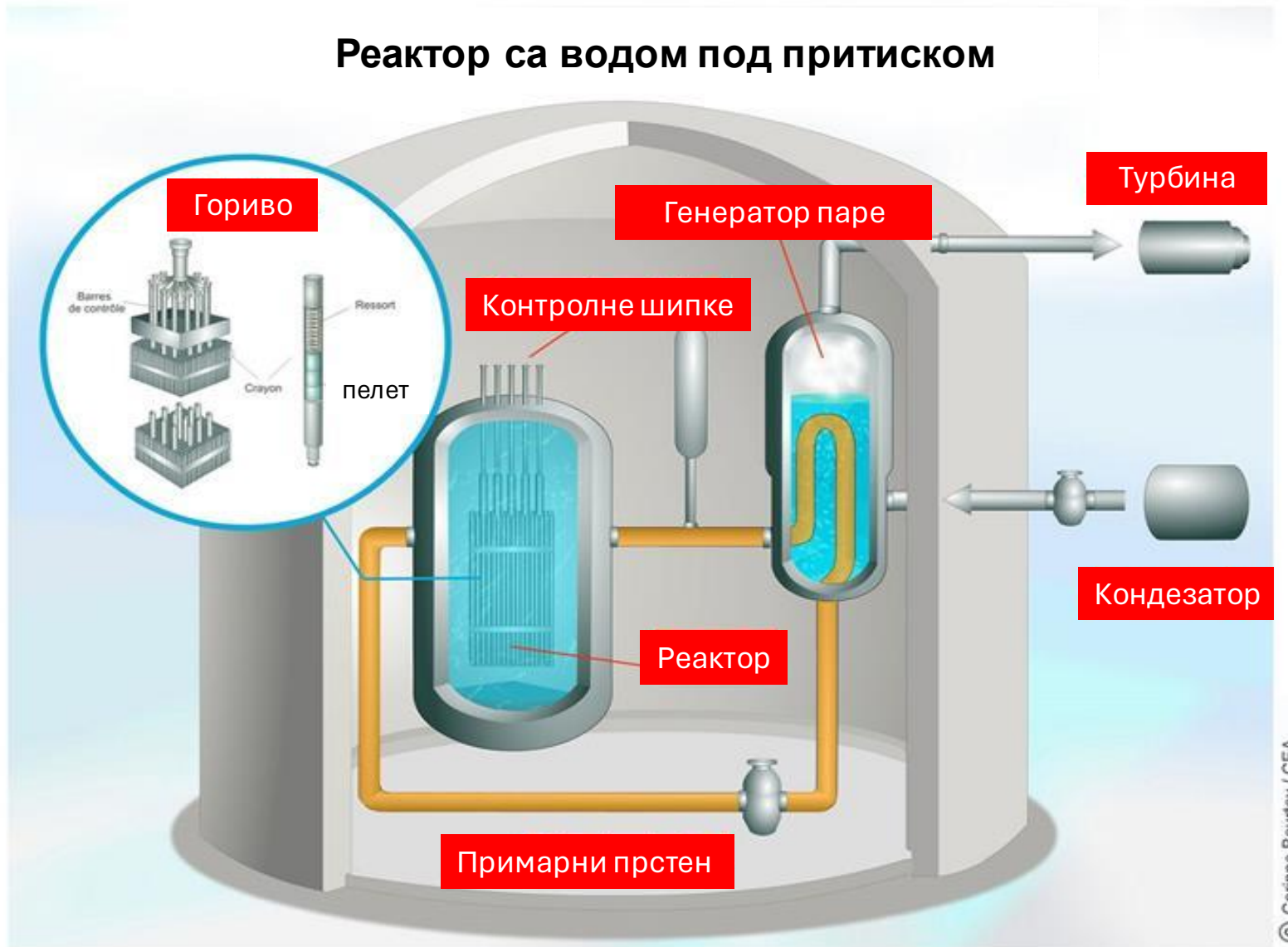
2 ■

Принцип функционисања нуклеарних електрана



Како функционишу нуклеарне електране ?

Реактор са водом под притиском



- Двострука улога воде
- *модератор* : успорава неутроне како би **повећали вероватноћу** да уранијум-235 доживи фисију
- *Расхладни флуид* : **односи топлоту** произведену фисијом
- Вода се налази под **високим притиском** јер је температура воде око 300°C у примарном прстену

Како функционишу нуклеарне електране ?



Вода из примарног прстена никад није у контакту са водом из секундарног прстена



Сигурност уз помоћ Инжењерства



Три главне препреке за сузбијање радиоактивности :
Шипке за гориво, суд реактора и зграда реактора

Контролне шипке се најчешће састоје од **бора**, елемент који има велику вероватноћу да **апсорбује** **неутроне**

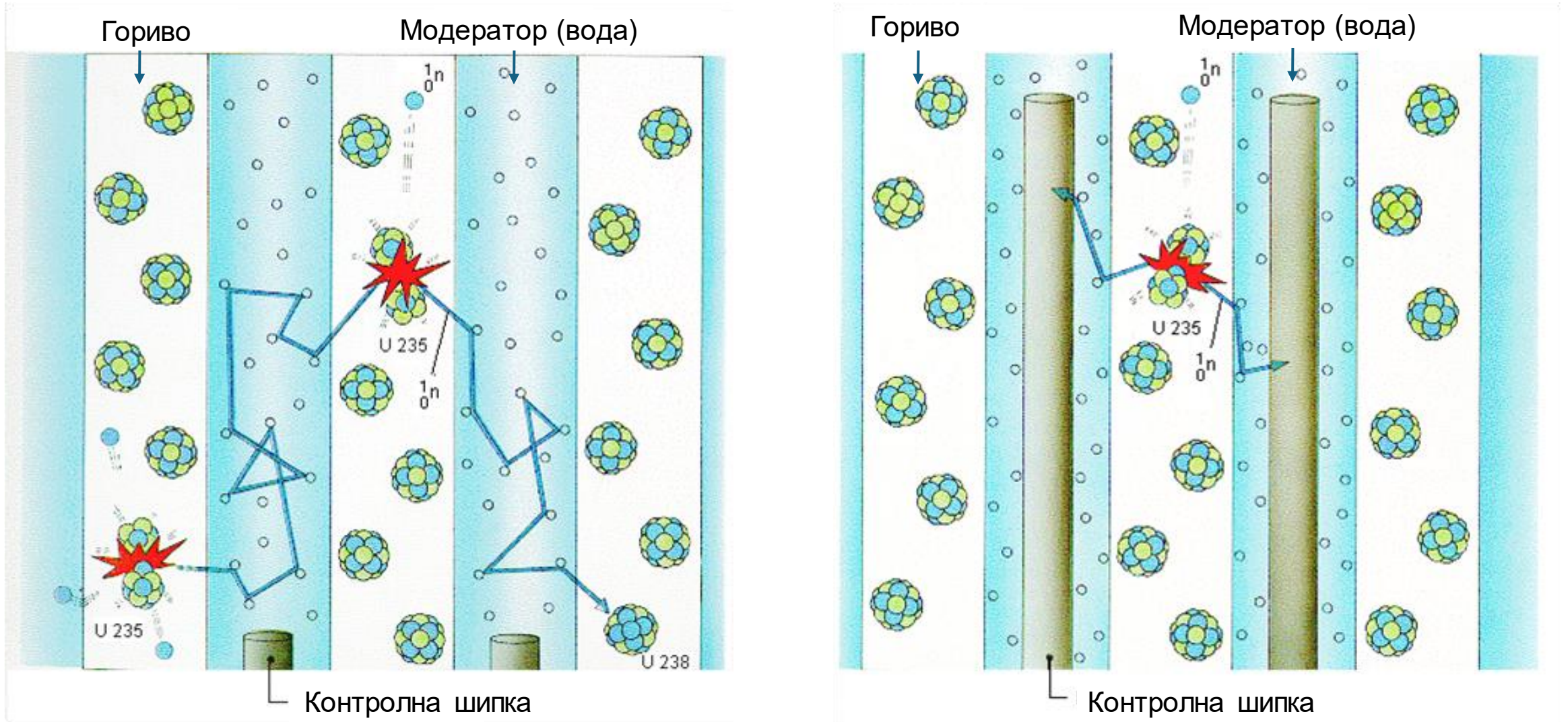
Апсорпција
Неутрона



Произведена
снага реактора



Сигурност уз помоћ Инжењерства



Контролне шипке се најчешће састоје од **бора**, који има велику вероватноћу да апсорбује неутроне

Сигурност уз помоћ Институција

Циљ

Нуклеарна **сигурност** и **безбедност** људи и животне средине од **штетног дејства** јонизујућих зрачења

Опсег делатности

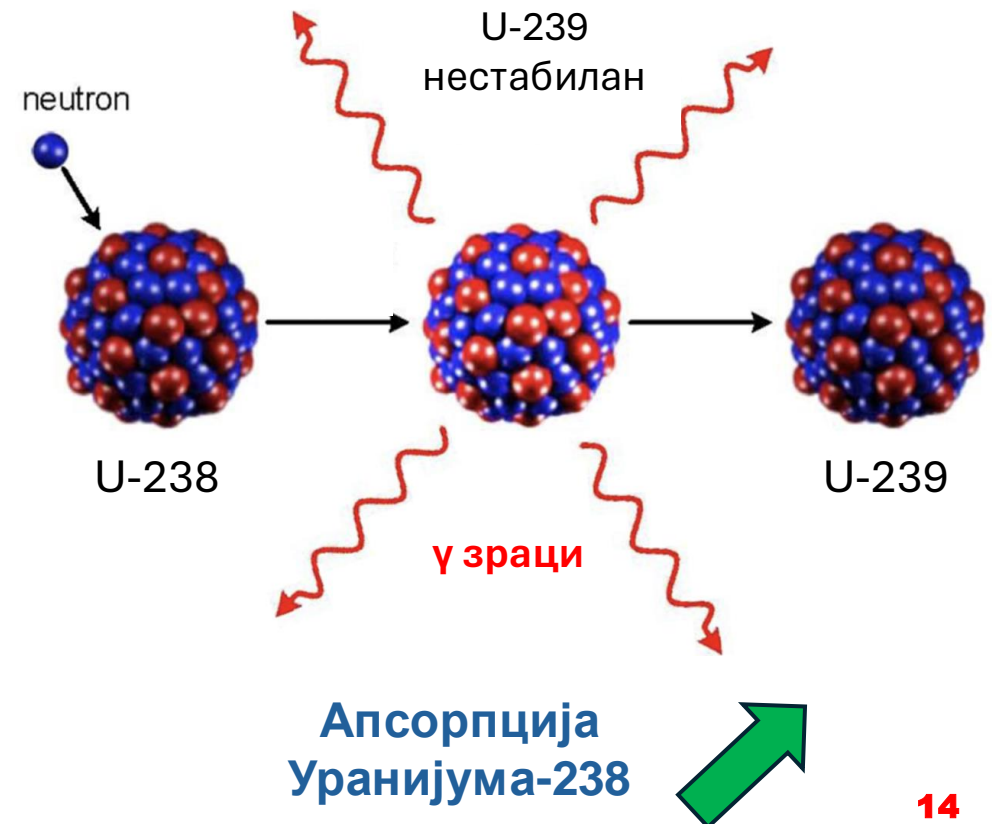
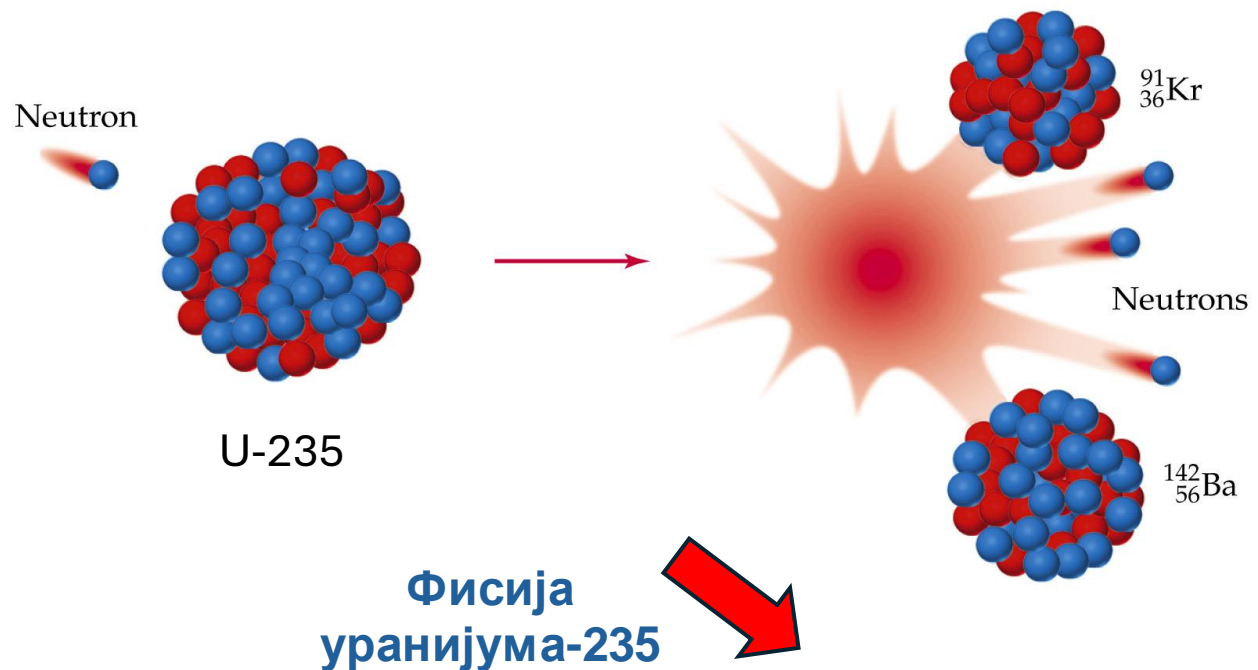
Области које употребљавају радиоактивне материјале (медицина, индустрија, наука)



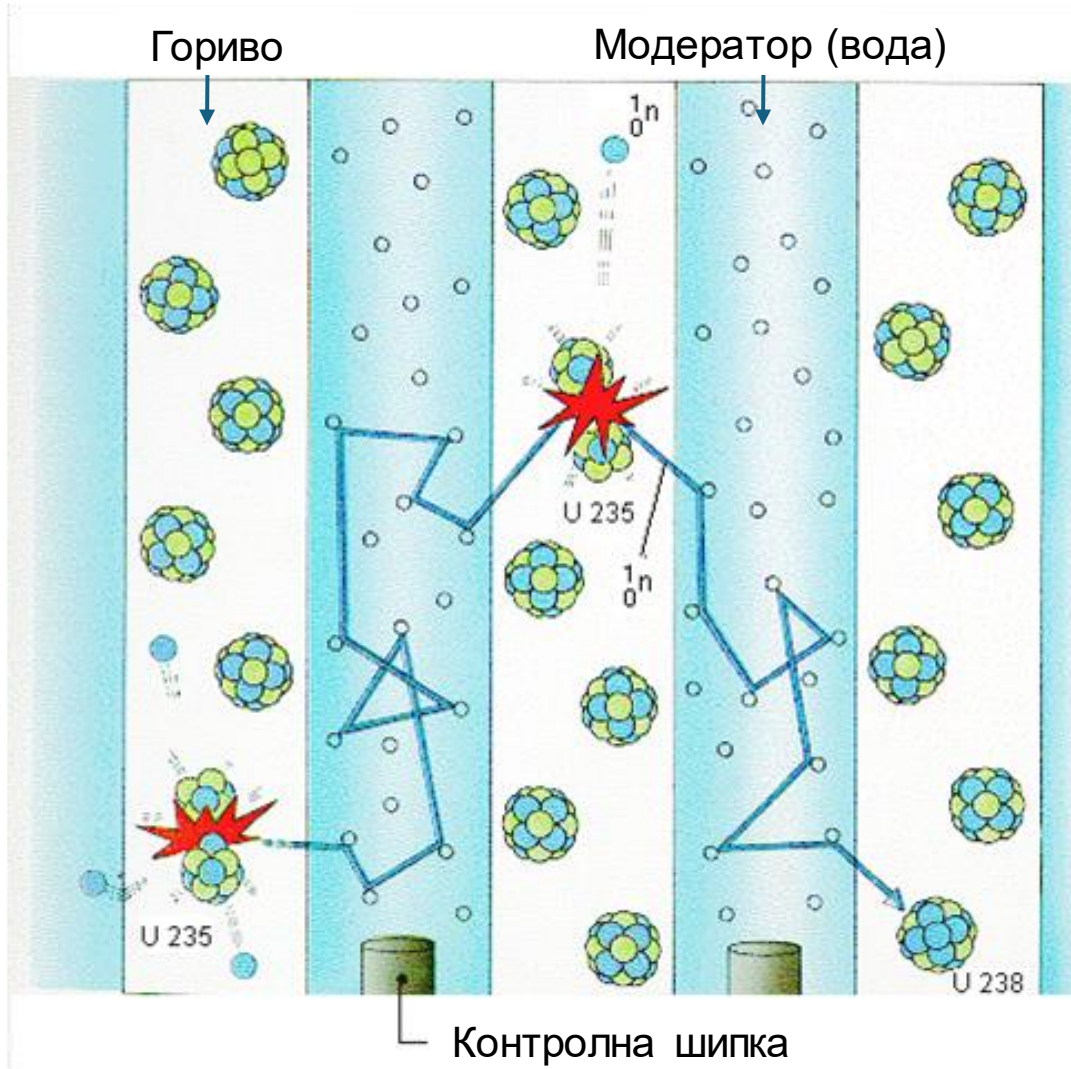
Сигурност уз помоћ Физике

Одређени физички феномени имају способност да **сами регулишу снагу реактора** и тиме га спречавају да уђе у **непожељни/неконтролисани режим рада**.

- **Доплеров ефекат** : Ако се повећа температура горива, онда се **вероватноћа** да се деси **фисија смањује**, што значи да **снага опада**.



Сигурност уз помоћ Физике



Неутрони са малом брзином поседују велику вероватноћу за *фисију* на уранијуму-235

- **Дилатација модератора (воде)** : Густина воде се смањује са повећањем њене температуре. Успоравање неутрона се *смањује* што *смањује* број фисија.

Температура
воде



Успоравање
неутрона



Брзина
неутрона



Фисија
уранијума-235



Реактори у свету већински користе воду као модератор који поседује ту врсту сигурности

3 ■ Нуклеарни отпад



Шта значи нуклеарни отпад ?

Нуклеарни отпад су радиоактивни елементи у искоришћеном гориву из нуклеарних електрана или од озраченог и контаминираног материјала

Главне карактеристике нуклеарног отпада :

- Радиоактивност (Bq) (или *активност*) →
 - Ниска и веома ниска радиоактивност
 - Средња радиоактивност
 - Висока радиоактивност
- Животни век →
 - Веома кратак (< 100 дана)
 - Кратак (< 31 год)
 - Дугачак (> 31 год)

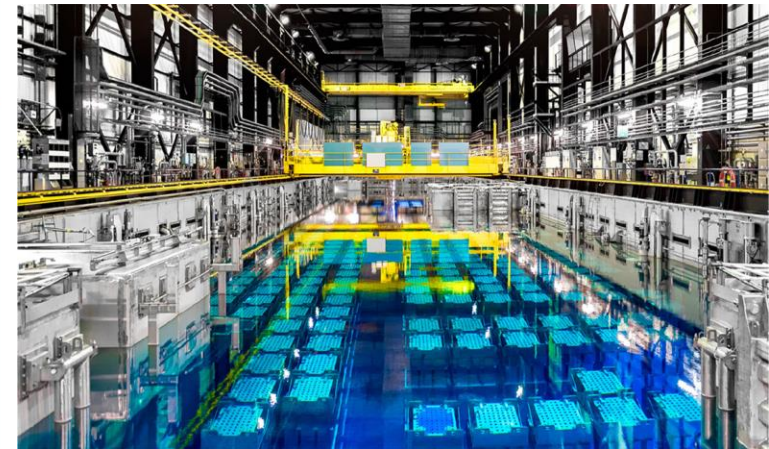
90% отпада кратког животог века чини **само 0,03%** укупне радиоактивности нуклеарног отпада

10% дугорочног отпада чине **99,9%** укупне радиоактивности



Нуклеарни отпад

		Веома краткорочан (< 100 дана)	Краткорочан (< 31 год)	Дугорочан (> 31 год)
100 Bq	Веома ниска активност	Привремено складиштење	Дефинитивно складиштење на површину или рециклажа	
1000000 Bq	Ниска активност	Чекање док радиоактивност не "испари"	Дефинитивно складиштење на површину у специјалним центрима	Дефинитивно складиштење у земљу (15 м)
	Средња активност			Привремено складиштење
1000000000 Bq	Висока активност		Одлагање у хлађене базене (температура отпада 350°C у просеку)	



Геолошко складиштење

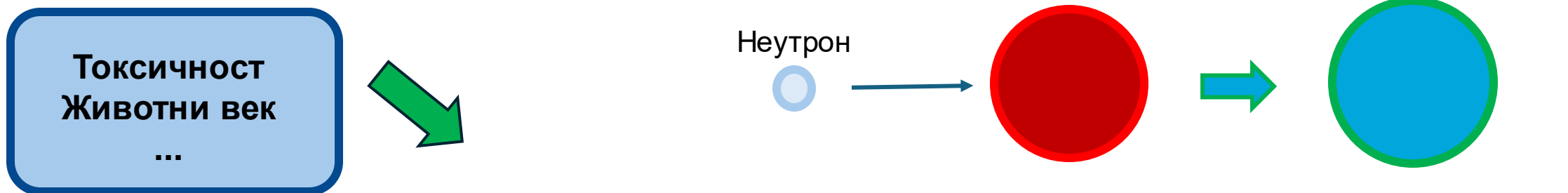
Дефинитивно
складиштење за
дугорочни нуклеарни
отпад који поседује
високу радиоактивност

Стабилан
геолошки слој



Шта ћемо радити "сутра" са отпадом ?

- Трансмутација нуклерног отпада



- Рециклажа (претварање нуклеарног отпада у ново гориво)

Данас Француска има **22 реактора** који користе **плутонијум** као **гориво**

Реактори четврте генерације = решење за отпад

4 ■ **Реактори будућности (генерација 4)**

Реактори Генерације 4 - Коначно решење ?

Технологија брзих неутрона

~~Модератор (вода)~~

Расхладни флуид

- Натријум
- Течно олово
- Топљене соли

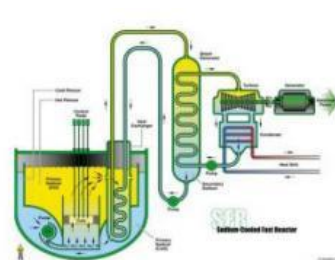
У контексту климатских промена и енергетске транзиције

Обновљиви извори енергије

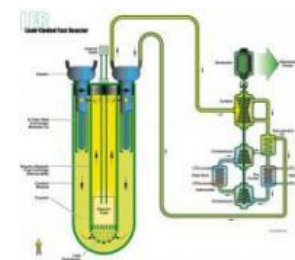


Нуклеарна енергија

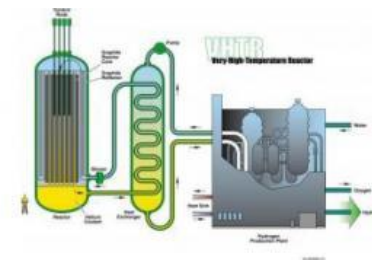
Међународни конгрес за четврту генерацију је 2002. изабрао **6 технологија**



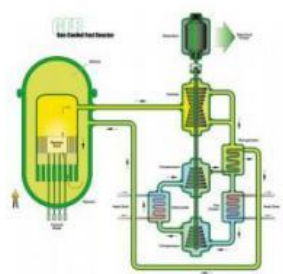
Sodium Fast Reactor



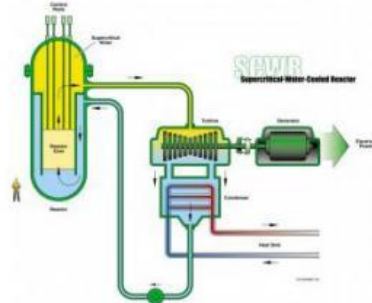
Lead Fast Reactor



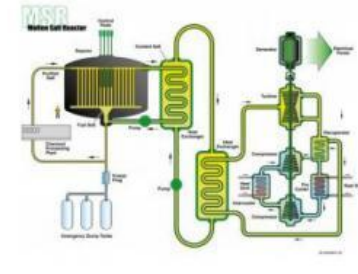
Very High Temperature Reactor



Gas Cooled Fast Reactor



Supercritical Water Cooled Reactor



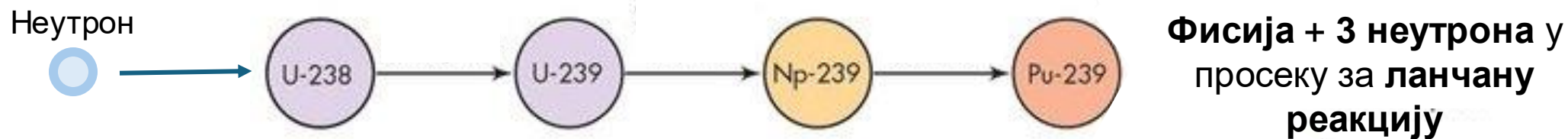
Molten Salt Cooled Reactor

15



Реактори Генерације 4 - Коначно решење ?

Брзи неутрони користе **99%** укупног горива



Иста количина уранијума би могла произвести **50 до 100** пута више струје

Нови реактори би могли да "изгоре" већину дугорочног отпада (Америцијум, Нептунујум, итд.)

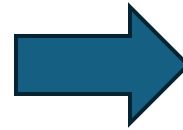


Лакше складиштење

Реактори Генерације 4 - Коначно решење ?

Плутонијум и осиромашени уранијум су отпад тренутних реактора који данас постоје у великим количинама

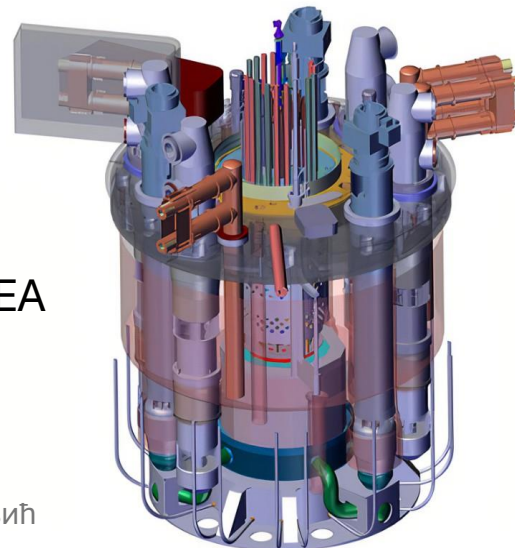
Део нуклеарног отпада



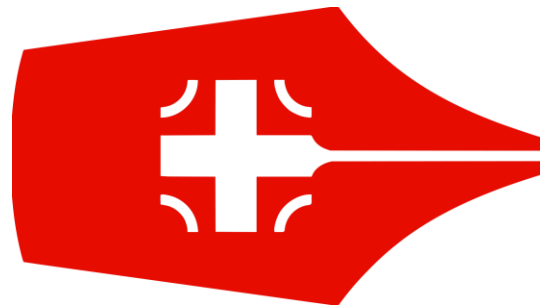
Гориво за реакторе четврте генерације

99% природног уранијума би могло да се искористи

Довољне резерве уранијума и плутонијума за више од 1000 година !



ASTRID, CEA



Хвала вам

ЦЕА ДИФ- Париз

Француска

bstepanovic.lmr@gmail.com

Тел. + 33 6 12 55 76 93

+ 381 69 0278 410

