

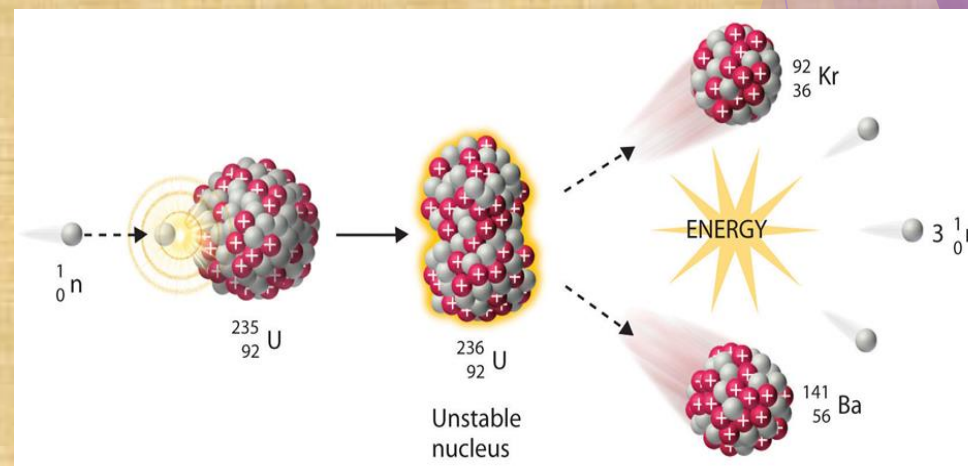
# ЕКОЛОГИЈА И АЛТЕРНАТИВНИ ИЗВОРИ ЕНЕРГИЈЕ

Катедра за инжењерство за енергетику  
Факултет за производњу и менаџмент Требиње

ВЕЛИНКА ТОМИЋ  
vtomic2020@gmail.com

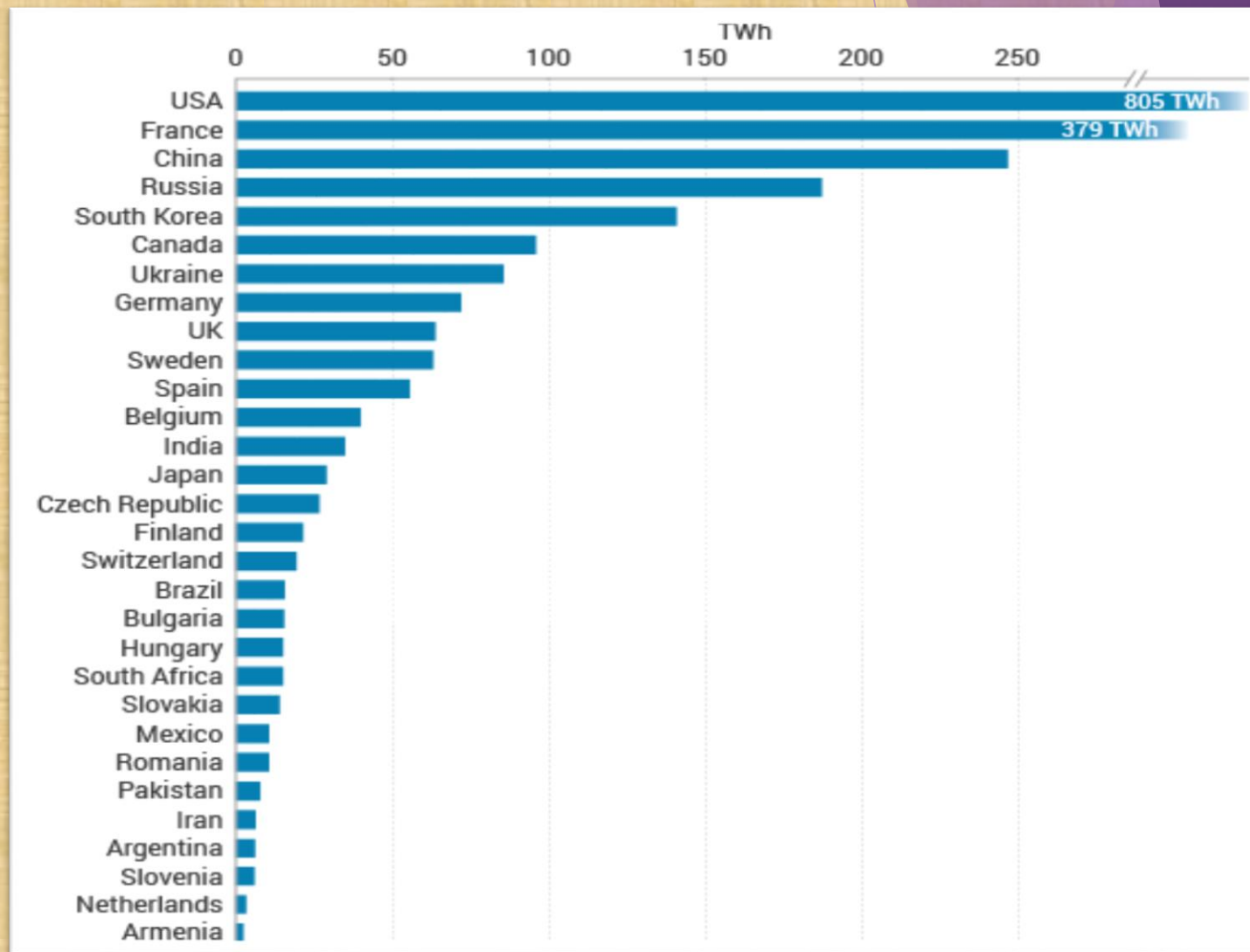
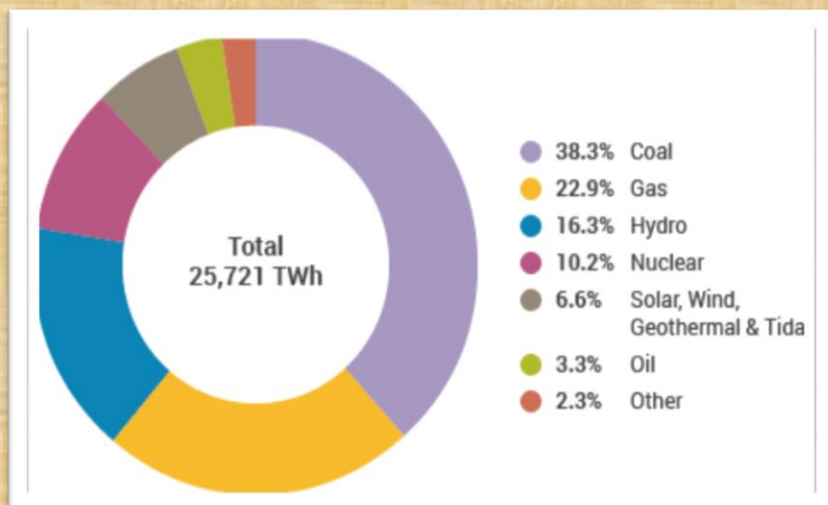
# Садржај

- ▶ Нуклеарна енергија
- ▶ Нуклеарна енергија у свијету
- ▶ Нуклеарна електрана
- ▶ Нуклеарне реакције, Фисија и Фузија
- ▶ Принцип рада нуклеарне електране
- ▶ Процес производње нуклеарног горива
- ▶ Нуклеарни реактори
- ▶ Остале примјене нуклеарне енергије
- ▶ Анализа утицаја на животну средину
- ▶ Нуклеарни акциденти



# Нуклеарна енергија у свијету

Производња ел. енергије према извору 2018. год. у свијету



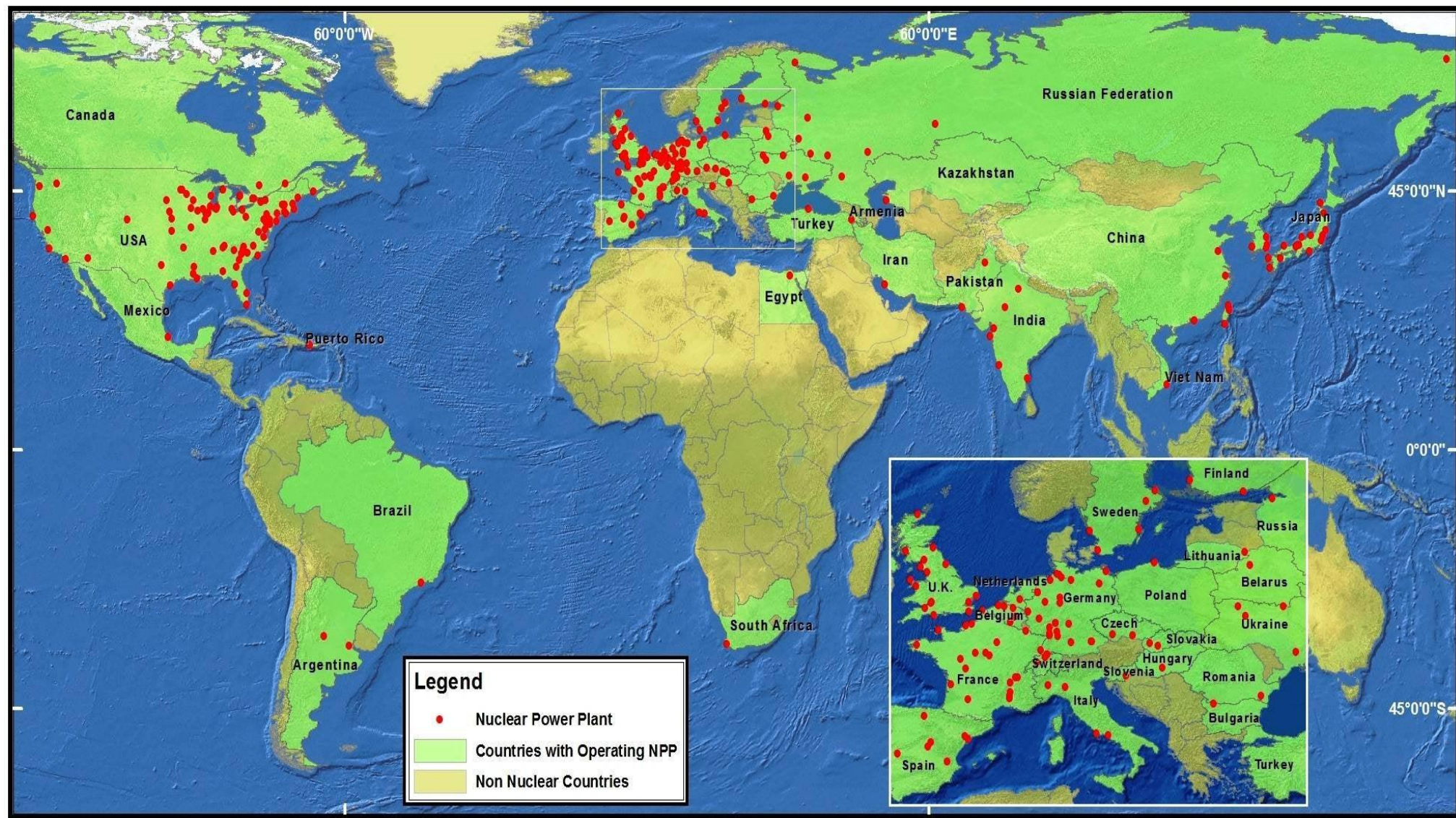
# Нуклеарне електране



ЗЕМЉА	Реактори		Капацитет (MWh)	Произведена енергија (kWh)	% Укупне пр. ен.
	у раду	у изградњи			
САД	99	2	99,680	808,028	19.3%
Француска	58	1	63,130	395,908	71.7%
Кина	46	11	42,858	277,056	4.2%
Јапан	42	2	39,752	49,330	6.2%
Русија	37	6	28,177	191,340	17.9%
Јужна Кореја	24	4	22,444	127,077	23.7%
Канада	19	0	13,554	94,450	14.9%
Украјина	15	2	13,107	79,532	53.0%
Уједињено Краљевство	15	2	8,923	59,112	17.7%
Њемачка	6	0	8,215	71,866	10.1%
Шпанија	7	0	7,121	53,364	20.4%
Шведска	7	0	6,950	65,868	40.3%
Индија	22	7	6,780	37,813	3.2%
Белгија	7	0	5,918	27,251	39.0%

- ▶ У 2018. у свијету је угашено 7 реактора,, четири у Јапану и нису произвела струју од 2012. године.
- ▶ У Тајвану је угашен Chinshan 1 упркос чињеници да се томе противило јавно мњење (изјаснили се на референдуму против гашења).
- ▶ Немачка је након случаја Фукушима, угасила 7 нуклеарних електрана под притиском.
- ▶ Белгија, и Швајцарска планирају гашење нуклеарних електрана.
- ▶ У јапану су тренутно многе нуклеарне електране у застоју.

# Локације нуклеарних електрана у свијету



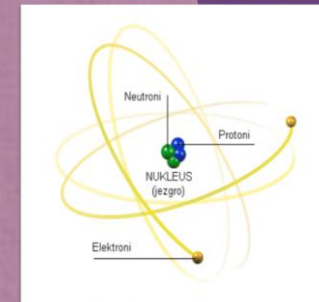
# Нуклеарна електрана

- ▶ Нуклеарна електрана је врста термоелектране која као извор енергије користи топлоту добијену фисијама нуклеарног горива у нуклеарном реактору.
- ▶ Топлота која се добија овим поступком служи за производњу паре која покреће парну турбину спојену на електрични генератор.
- ▶ Нуклеарна енергија се скоро у потпуности користи за производњу електричне енергије, у неким случајевима се користи и као погонско гориво.
- ▶ Килограм урана-235 ( $U-235$ ), који је промијењен путем нуклеарних реакција, ослобађа отприлике три милиона пута више енергије него килограм угља који је изгорио на конвенционалан начин ( $7,2 \times 10^{13}$  J/kg  $U-235$ , у односу на  $2,4 \times 10^7$  J/kg угља).
- ▶ Фактор капацитета нуклеарне електране је 90%, тј. однос количине електричне енергије реално произведене у односу на могућу производњу ако ради 365 дана у години, 24х дневно.
- ▶ Прва нуклеарна електрана је направљена и отворена у Совјетском Савезу, 1954. године.
- ▶ Нуклеарна енергија обезбјеђује око 11% од укупне количине електричне енергије произведене у свијету.

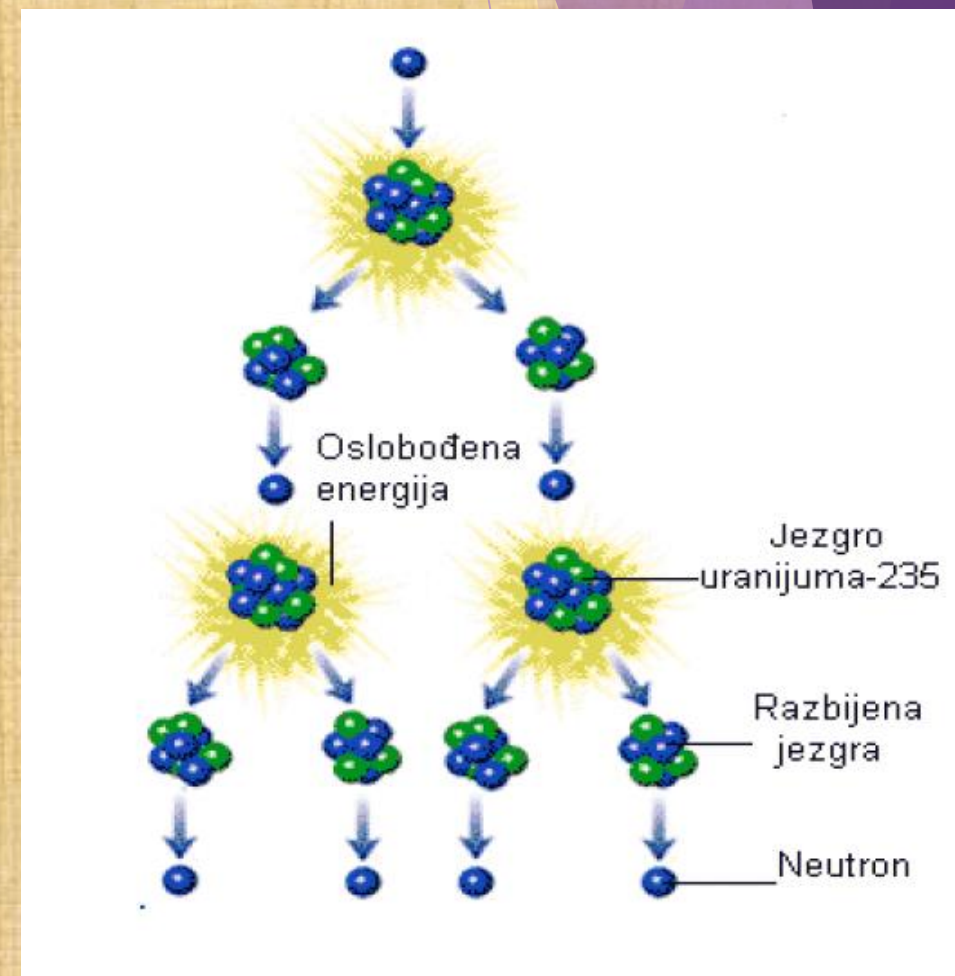


Нуклеарна електрана Кршко, Словенија

# Нуклеарна енергија

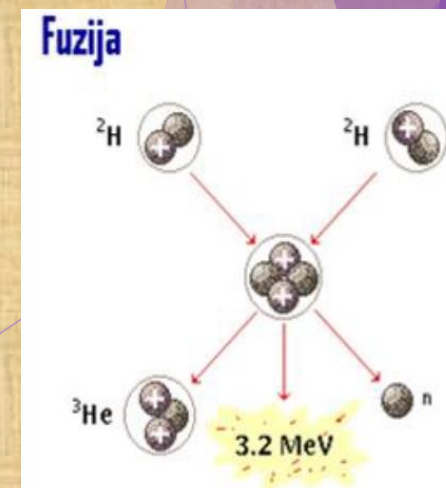
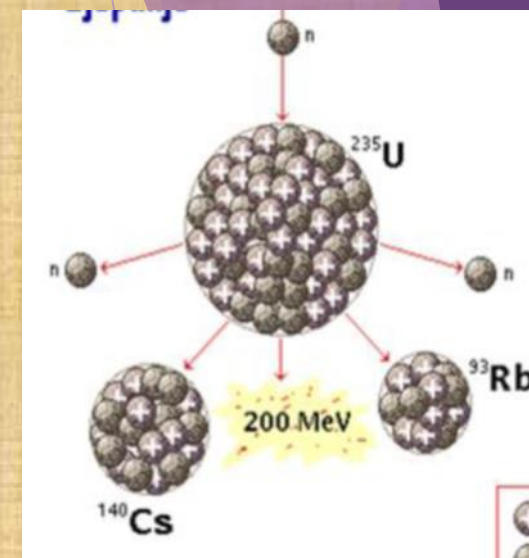


- ▶ Нуклеарна енергија, или другачије атомска енергија, је енергија која се ослобађа или троши у нуклеарним реакцијама.
- ▶ У ужем енергетском смислу, под нуклеарном енергијом подразумевамо енергију која се ослобађа у реакцијама:
  - спајања лаких језгара, фузији, и
  - цијепању тешких језгара, фисији.
- ▶ Фисија (lat. fissio, раздвајање, дијељење) је једна од врста нуклеарних реакција којом се језгро атома цијепа на два фисијска прооизвода или фисијска фрагмента сличних маса уз емисију једног или више неутрона.
- ▶ Током процеса фисије долази до ослобађања енергије, јер је мање енергије потребно за формирање два лакша језгра него једног тежег језгра.
- ▶ Спонтана фисија језгра догађа се врло споро, код неких тешких језгра могуће је иницирати бржу реакцију фисије интеракцијом спорих неутрона с тим језгром. Таква језгра која су подложна фисији спорим неутронима називамо фисибилним језграма.



# Фисија и Фузија

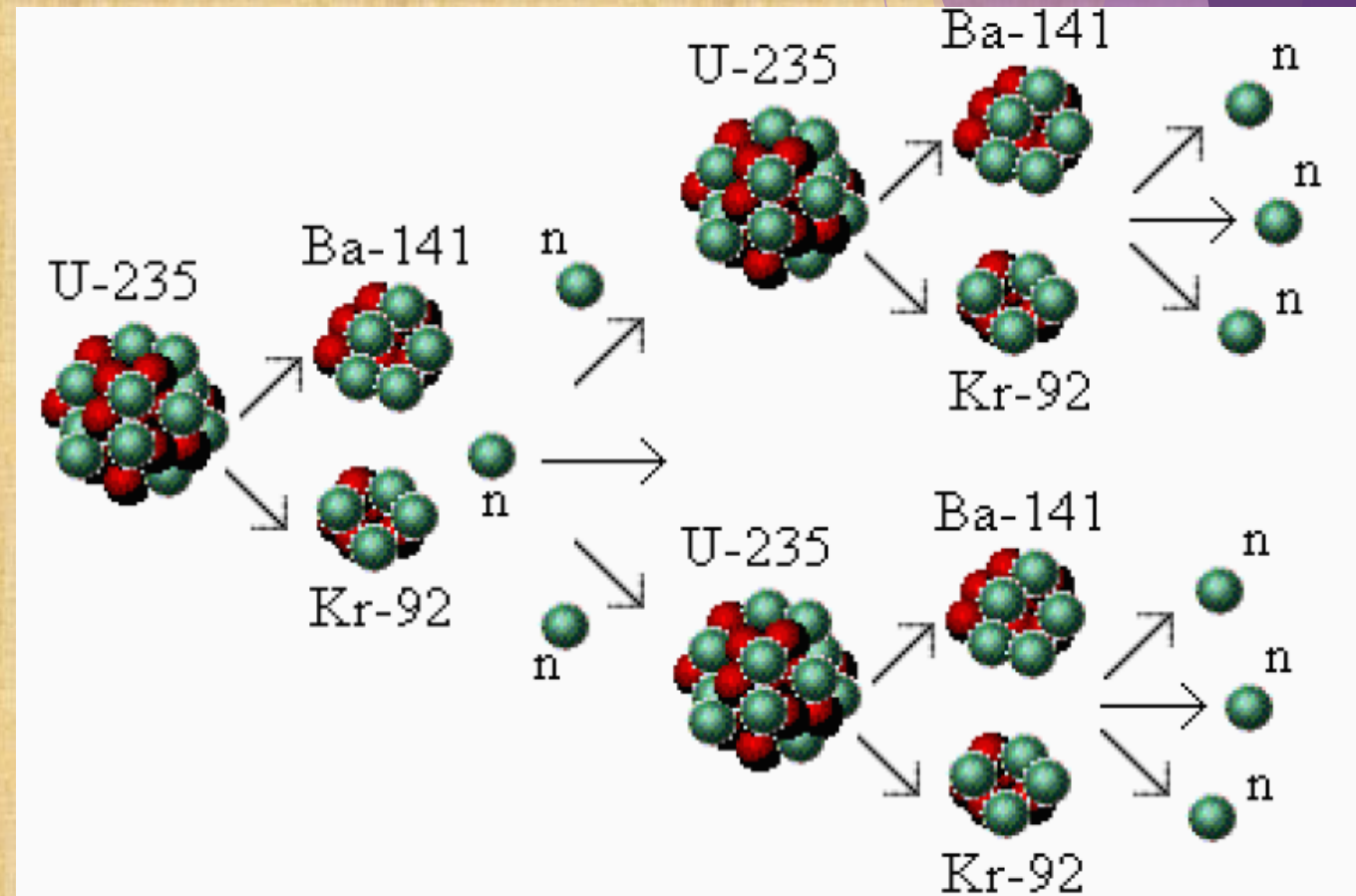
	ФИСИЈА	ФУЗИЈА
Дефиниција	Фисија је цијепање већег атомског језгра на два или више мањих.	Фузија је стапање двау или више лакших језгра у једно веће.
Природна појава процеса	Обично се не појављују у природи.	Догађа се у звијездама, попут Сунца
Нуспроизводи реакције	Производи многе високо радиоактивне честице	Производи мало радиоактивних честица, али ако се фисија користи као "окидач", резултат тога су радиоактивне честице.
Услови	Потребна је критична маса твари и брзи неутрони.	Потребна је висока густоћа и висока температура околине.
Енергетски услови	Потребно је мало енергије како би у фисијској реакцији подијелили језгро.	Изузетно велика енергија је потребна да би два или више протона била довољно близу и превладала електрост. отпор.
Ослобођена енергија	Милион пута већа од енергије у хемијским реакцијама, али мања од енергије нуклеарне фузије.	Три до четири пута већа од енергије коју ослобађа фисија.
Нуклеарно оружје	Фисијска бомба, позната као атомска бомба.	Хидрогенска бомба, која користи реакцију фисије као покретач фузијске реакције
Производња енергије	Фисија се користи у нуклеарним електранама	Фузија је експериментална технологија за производњу енергије
Гориво	Уран је примарно гориво које се користи у електранама.	Изотопи водоника (деутериј и трициј)





# Нуклеарна реакција фисије

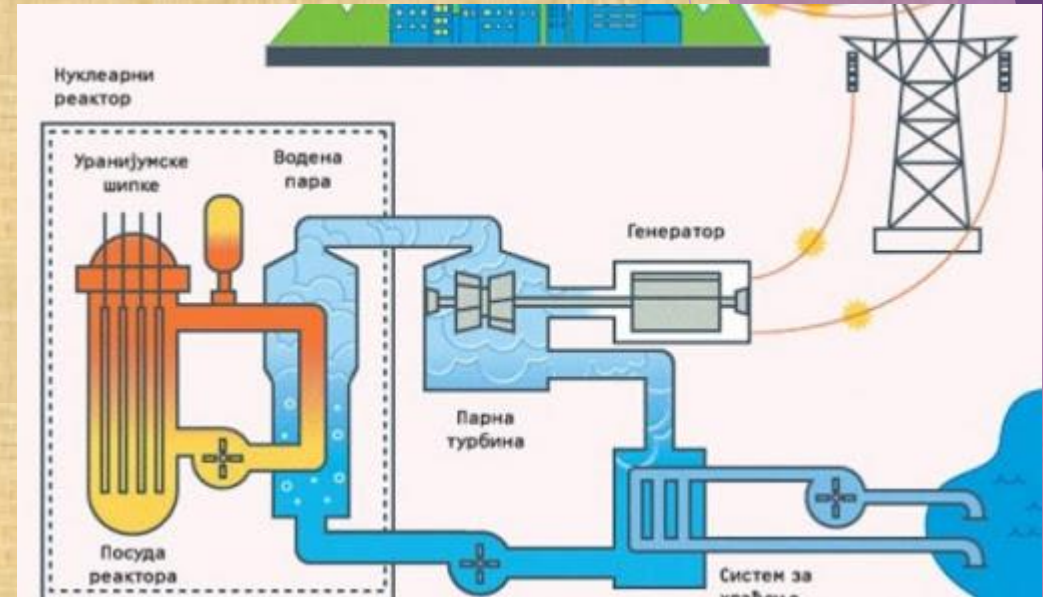
- ▶ У нуклеарним електранама као ресурс за добивање електричне енергије користе се уранијум, торијум или плутонијум.
- ▶ Нуклеарне електране користе хемијске елементе који се лако распадају, то јесте оне код којих се нуклеуси у процесу фисије лако раздвајају на лакша језгра.
- ▶ Нуклеарне електране најчешће као гориво употребљавају изотоп уранијума U-235. У природи се може наћи уранијум са више од 99% U-238 и само око 0,7% U-235.
- ▶ Док U-238 апсорбује брзе неутроне, U-235 се у сударима са спорим неутронима распада на врло радиоактивне, фисијске продукте, а при том се ослобађа још 2 до 3 брзих неутрона.
- ▶ Успоравањем тих брзих неутрона у сударима с молекулама тешке воде која се при томе загријава, остварује се ланчана реакција.



Приказ ланчане реакције

# Принцип рада нуклеарне електране

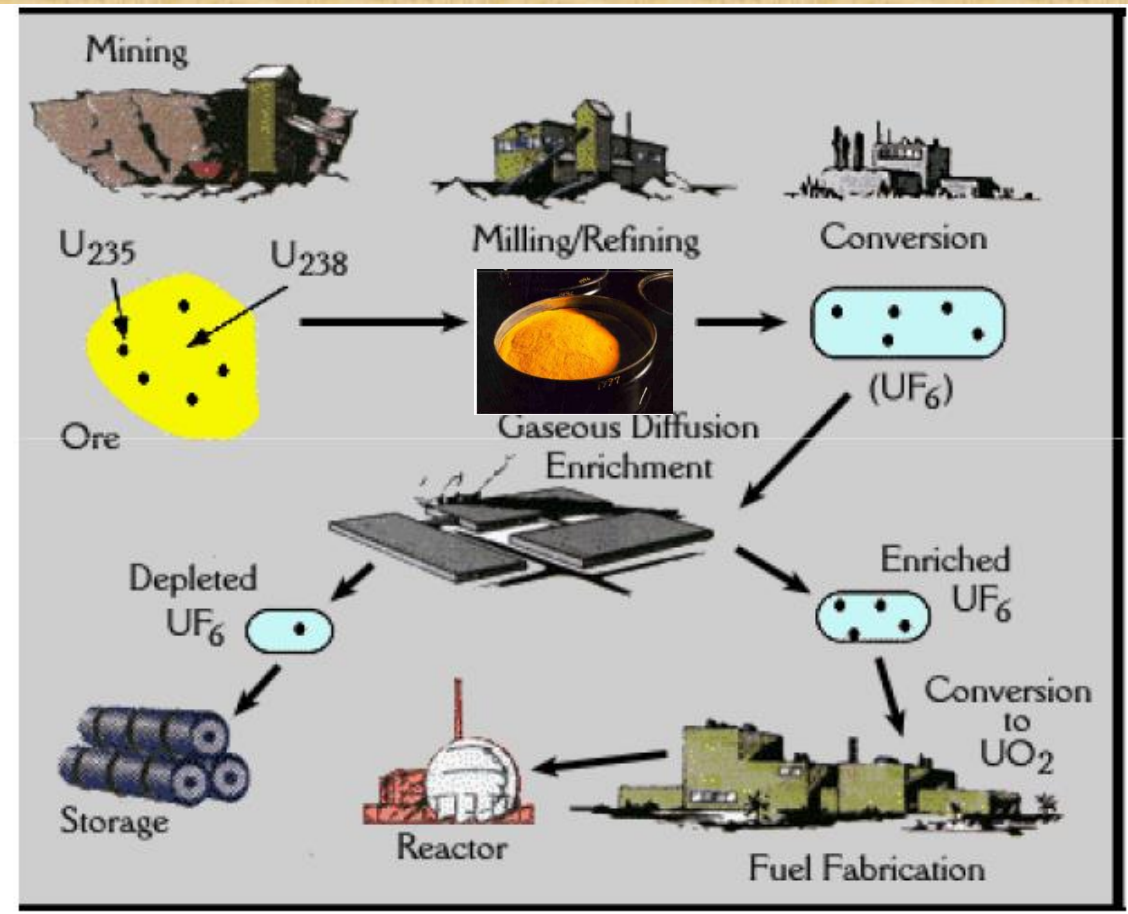
- ✓ Ланчана реакција се за коришћење у нуклеарним електранама мора превести у реакцију са контролисаном брзином фисије.
- ✓ То се постиже увођењем у реакторски систем материјала који апсорбују одређену количину неутрона, па се процес у реактору, одвија контролисаном брзином, а не ланчано.
- ✓ Као модератор се најчешће користи тешка вода (може и обична вода или графит) садржи већу концентрацију деутерија, изотопа атома водика.
- ✓ У тренутку судара слободног неутрона и атома урана  $U - 235$  долази до цијепања атома  $U - 235$  на два мања атома и неколико слободних честица уз ослобађање огромне количине енергије.



Основни дијелови у једној нуклеарној електрани

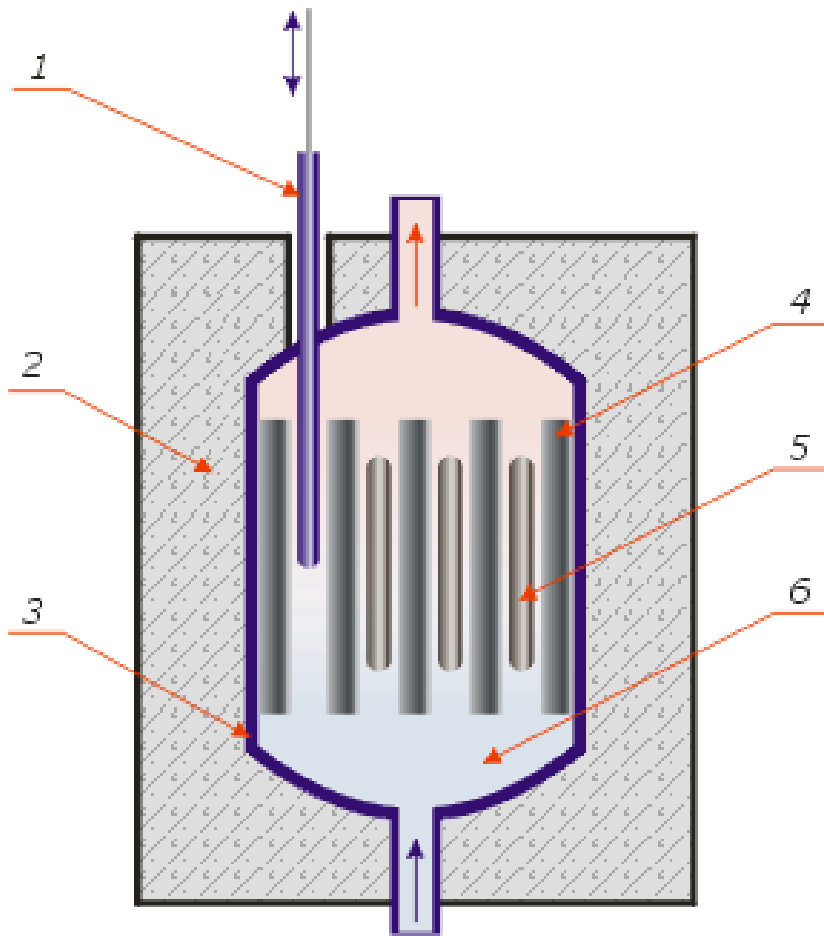
- ✓ Тешка вода која се налази унутар реактора скупља ту енергију у облику топлоте и преноси је до резервоара који садржи обичну воду.
- ✓ Обична вода том се приликом претвара у пару која покреће турбине ротора генератора електричне енергије.

# Процес производње нуклеарног горива



- ▶ У нуклеарним електранама, хемијски елементи се стављају у реактор, и након сагоријевања се уклањају и мијењају са новима.
- ▶ Искориштени елементи, који се састоје од радиоактивних материја хладе се водом током одређеног временског периода.
- ▶ Затим се тај нуклеарни отпад транспортује специјалним контејнерима у складишта нуклеарног отпада.
- ▶ У тим складиштима се врши одвајање урана и плутонијума, гдје уран постаје ново гориво а плутонијум се складишти на специјалан начин.
- ▶ Оно што остаје је високо радиоактиван отпад, који се складишти у резервоаре од нерђајућег челика. Овај отпад је веома опасан и потребно је хиљаде година да би се разградио.

# Нуклеарни реактори



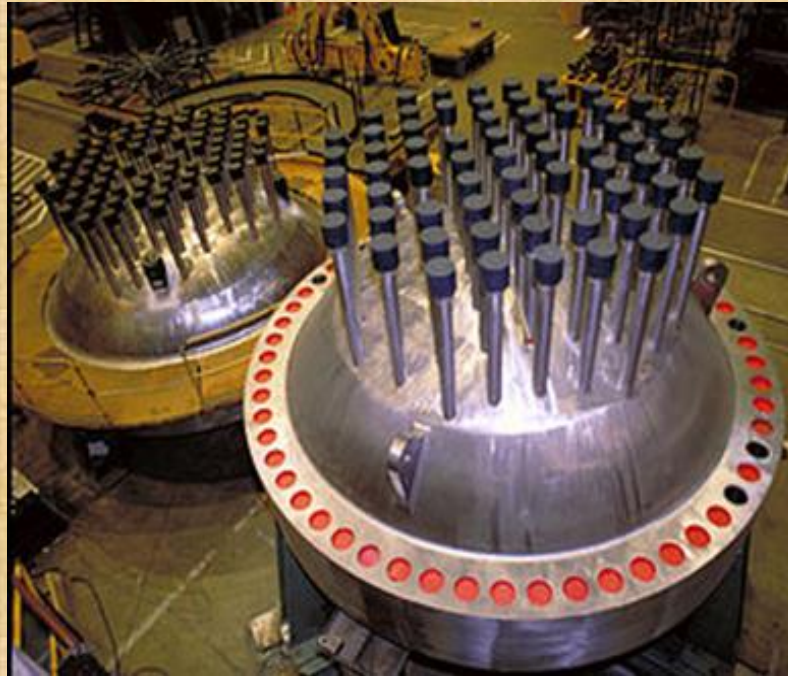
► Хетерогени нуклеарни реактор са термичким неутронима.

- 1 — Контролне шипке
- 2 — Биолошка заштита
- 3 — Зашита
- 4 — Модератор неутрона
- 5 — Нуклеарно гориво
- 6 — Преводаилац топлоте

# Нуклеарни реактори - врсте

► Класификација реактора може се направити према:

- енергији неутрона који изазивају фисије;
- материјалу модератора;
- материјалу расхладног средства;
- према развојним категоријама;
- намјени и
- фази горива.



Нуклеарни реактори I генерације  
Нуклеарни реактори II генерације  
Нуклеарни реактори III генерације  
Нуклеарни реактори IV генерације

► Према својој намени нуклеарни реактори се деле на:

1. Нуклеарне реакторе за производњу електричне енергије,
2. Нуклеарни реактори за научноистраживачке и образовне сврхе и
3. Нуклеарни реактори за производњу радиоактивних изотопа

# Нуклеарни реактори

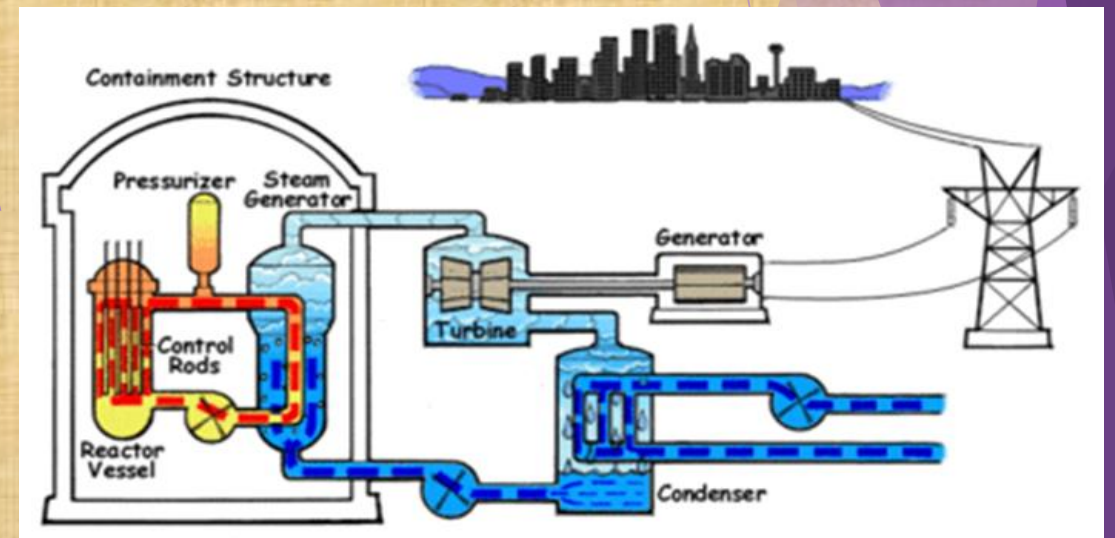
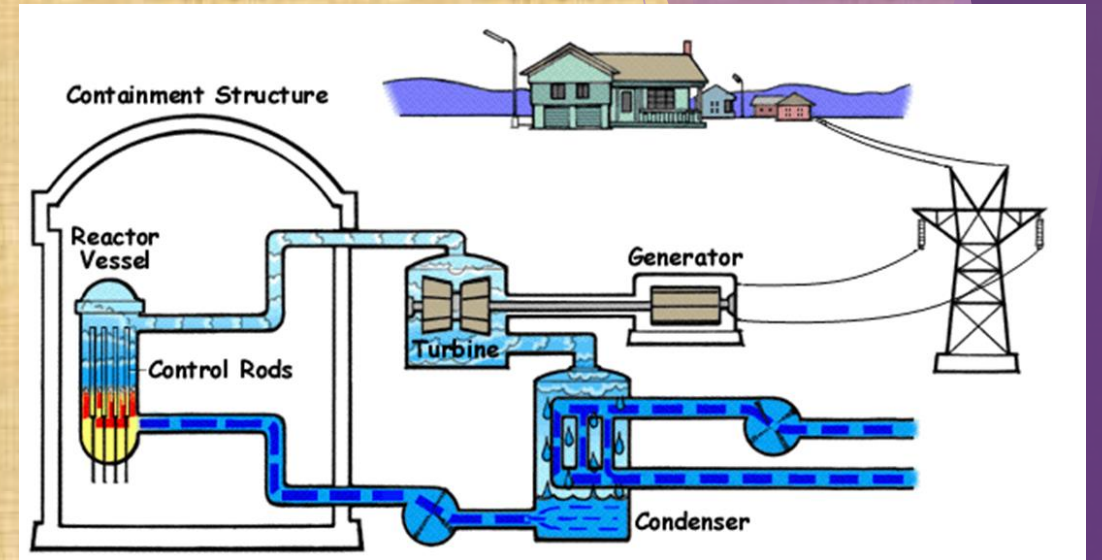
Нуклеарни реактори за производњу електричне енергије:

(а) нуклеарни реактори са урановим пуњењем и са кључајућом водом,

(б) нуклеарни реактори са урановим пуњењем и са водом под притиском,

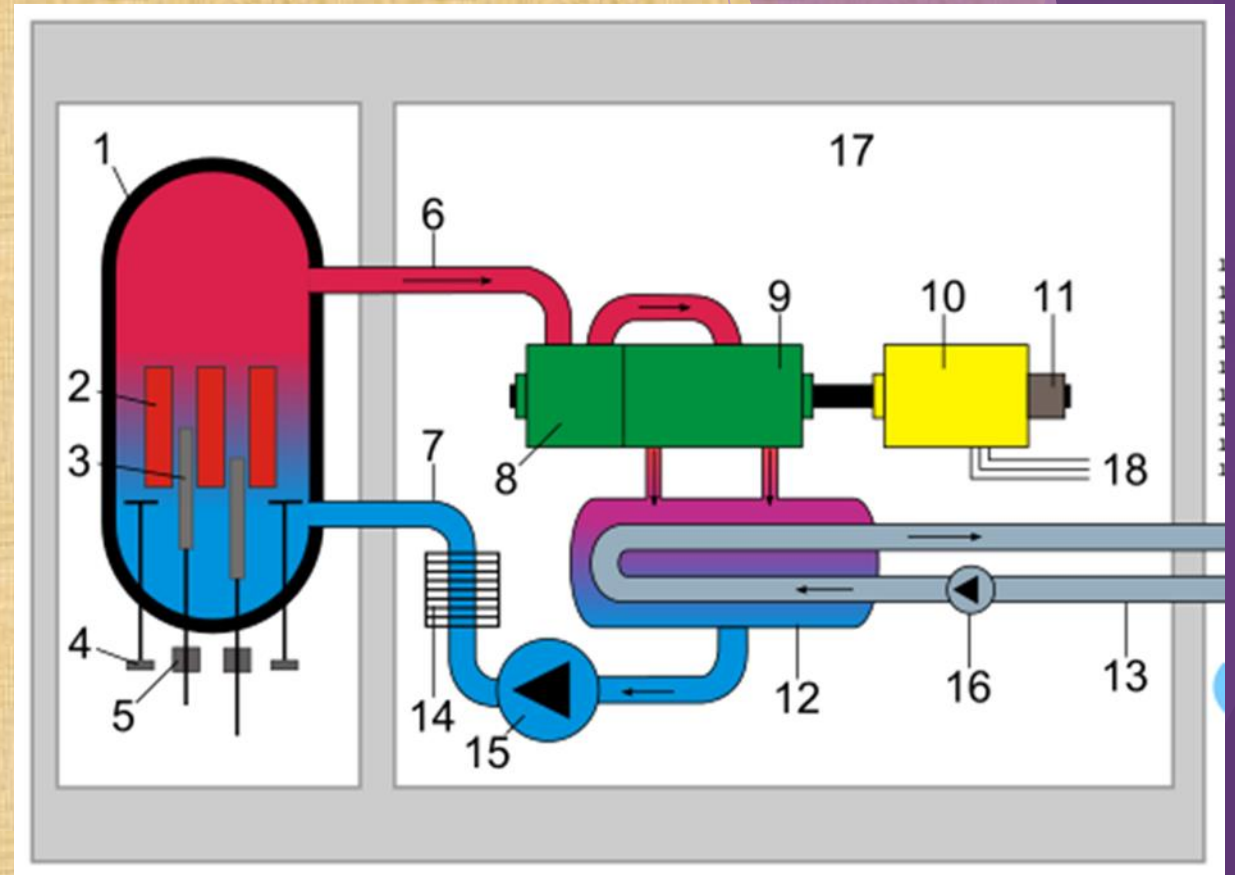
(в) нуклеарни реактори са урановим пуњењем и са упоредном производњом плутонијума и

(г) торијумови нуклеарни реактори;



# Нуклеарни реактори са кључајућом водом (Boiling water reactor - BWR)

- ▶ Реактори са кључалом водом су застарели реактори - најпримитивније су грађени.
- ▶ Реактор користи обичну воду за хлађење.
- ▶ Вода и водена пара у кругу за хлађење су у непосредној вези са реакторском посудом и турбинама у електрани.
- ▶ радиоактивне супстанце релативно лако при хаварији могу да се пробију изван реакторског суда, што је пре свега омогућено конструкцијом оваквих реактора.
- ▶ То значи да су овакви реактори самим тим и најопаснији по човјека и животну средину.

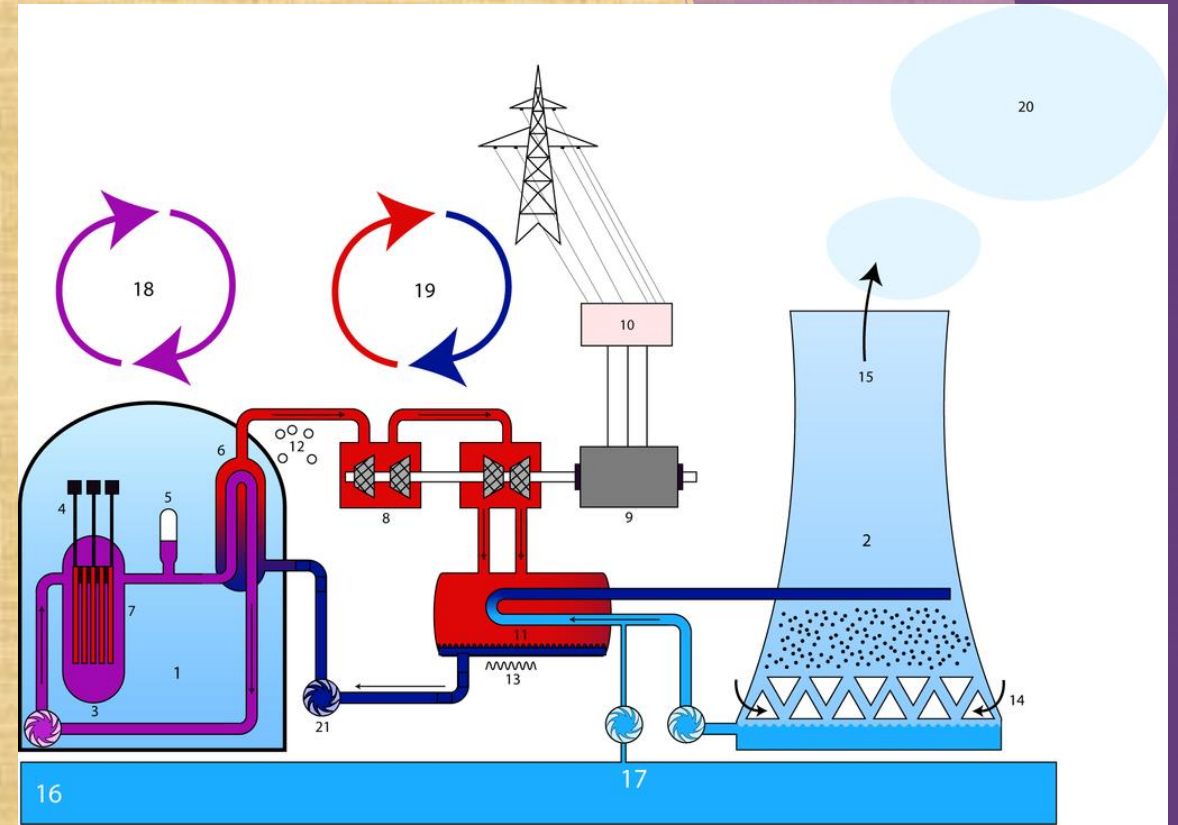


Пресјек кроз реактор са кључајућом водом

1. реакторска посуда, 2. горивни штапови нуклеарног горива, 3. контролни штапови, 4. циркулацијска пумпа воде, 5. мотори контролних штапова, 6. прегријана пара, 7. напојна вода, 8. парна турбина високог тлака, 9. парна турбина ниског тлака, 10. електрични генератор, 11. побуда генератора, 12. кондензатор, 13. расхладна текућина, 14. предгријач, 15. пумпа напојне воде, 16. пумпа расхладне текућине, 17. бетонско кућиште, 18. спој према електроенергетском систему.

# Нуклеарни реактори са водом под притиском- (*Pressurized Water Reactor -PWR*)

- ▶ Користе се само за производњу топлотне и електричне енергије.
- ▶ Конструкционо су тако направљени да се примарни расхладни систем за реактор налази, заједно са реакторском посудом, у бетонској грађевини у којој је смештен реактор.
- ▶ Уз помоћ топлотног измјењивача повезују се примарни и секундарни систем са водом, чиме се физички раздвајају систем за хлађење реактора и систем за покретање парних турбина.
- ▶ Замјена горива у већини реактора је након 18-24 мјесеци, обично се замјењује само трећина горива са новим горивним елементима.
- ▶ Користе обичну воду за хлађење и модерирање, што је много јефтиније од употребе скупе, тешке воде.
- ▶ По питању безбједности и заштите животне средине ови реактори спадају у групу најприхватљивијих.



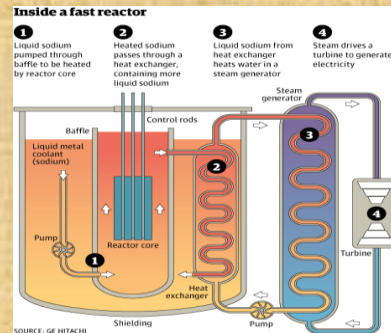
Пресјек кроз реактор PWR:

1. заштитна зграда, 2. расхладни торањ, 3. горивни штапови нуклеарног горива, 4. контролни штапови, 5. посуда за притисак, 6. парогенератор, 7. заштитна реакторска посуда, 8. парна турбина, 9. електрични генератор, 10. трансформатор и спој на електроенергетски систем, 11. кондензаторска расхладна вода, 12. паровод, 13. измјењивач топлоте, 14. кондензатор расхладног торња, 16. циркулацијска пумпа, 17. пумпа напојне воде.



# Брзи реактори (Fast Neutron Reactors - FNR)

- ▶ Нуклеарни реактори са урановим пуњењем и са упоредном производњом плутонијума:
- првенствено се користе за производњу плутонијума који се употребљава за производњу нуклеарног наоружања,
- скупи реактори,
- производе енергију као секундарни производ,
- основни разлог зашто ови реактори раде су нехумани па су самим тим штетни за природу и човека.



# Торијумови нуклеарни реактори

- ▶ Торијум као гориво циклус има неколико предности у односу на уран:
  - Већа заступљеност торијума у природи,
  - Боља физичка и нуклеарна својства,
  - Мања опасност од ширења нуклеарног наоружања,
  - Мања токсичност радиоактивног отпада,
  - Мања производња трансуранијских елемената
- ▶ Ториј се као нуклеарно гориво може користити у седам типова реактора, пет су већ реактори у погону, а два су још у фази истраживања:
  - Тешководни реактори - PHWR,
  - Високотемпературни гасом хлађени реактори - HTRs,
  - Реактори с кључајућом водом- BWR,
  - Реактори с водом под притиском - PWR,
  - Брзи реактори - FNR.

# Остале примјене нуклеарне енергије

- ▶ У медицини: за откривање и лијечење болести и за стерилизацију медицинског прибора и опреме.
- ▶ У индустрији за откривање оштећења и пукотина у моторима или цјевоводима без разарања.
- ▶ У пољопривреди, нуклеарне и биотехнологије обезбјеђују много боље приносе, за смањење броја штетних инсеката путем употребе ГМ култура .
- ▶ За провјеру аутентичности умјетничких дјела.
- ▶ За одређивање старости геолошких и археолошких налазишта.
- ▶ За одређивање старости стијена и минерала на Земљи на основу садржаја појединих радионуклида, чија су времена полураспада веома дуга.
- ▶ У транспорту, за свемирске летјелице, возила на водоник, за гријање на водоник.
- ▶ За бројне уобичајене потрошачке производе користе се радиоизотопи....



# Анализа утицаја на животну средину

- ▶ Производња електричне енергије у нуклеарној електрани резултира продукцијом ниско, средње и високо радиоактивног отпада.
- ▶ Велика количина јаловине у рудницима
- ▶ Нуклеарни акциденти, тј загађење у случају нуклеарне катастрофе
- ▶ Употреба нуклеарног наоружања
- ▶ Опасности које су везане за мирнодопску употребу нуклеарне енергије Ослобађање малих количина радиоактивних изотопа током рада

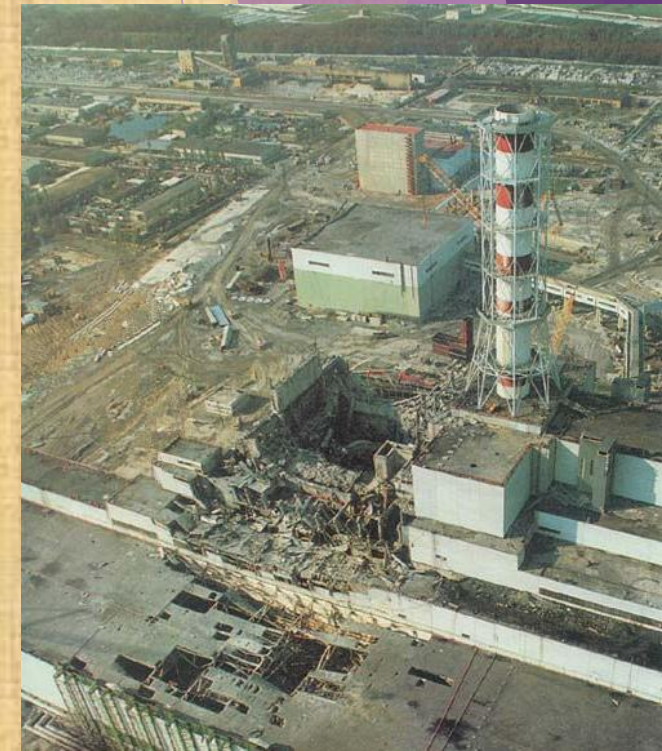
Неконтролисано бацање осиромашеног уранијума у животну средину је прворазредни злочин раван геноциду.

Нуклеарна енергија представља најјефтинији и најчистији извор енергије али уз максималну безбједност и висок ниво радиоактивне заштите.



# Нуклеарни акциденти

Мјесто	Врста	Посљедица
Виндскејл (Велика Британија) 1957. године	V Несрећа са ризиком изван реактора	Неконтролисано ослобађање радиоактивног материјала због тешког оштећења већег дела реактора.
Винча (Србија), 1958. године	II Инцидент на нуклеарном реактору	озрачено шест особа дозама између 2,07 и 4,36.
Острво Три Миље (САД) 1979. године	V Несрећа са ризиком изван реактора	Неконтролисано ослобанање радиоактивног материјала због тешког оштећења већег дела реактора.
Сен Лорен (Француска) 1980. године	IV Несрећа у главном постројењу	Појава веће дозе радиоактивности.
Чернобил (СССР) 1986. године	VII Велика несрећа	Због искакања ситема из контроле ослобађају се велике количине радиоактивног материјала.
Вандељос (Шпанија) 1989. године	VI Тежак инцидент	Појава радиоактивности која превазилази дозвољену границу.
Сенкт Петерсбург (Русија) 1992. године	VI Тежак инцидент	Појава радиоактивности која превазилази дозвољену границу.
Фукушима (Јапан) од 11. Марта 2011 до 12. Априла 2011. године	V Несрећа са ризиком изван реактора	Појава радиоактивности која превазилази дозвољену границу.



Чернобил (СССР)  
26.04.1986. године