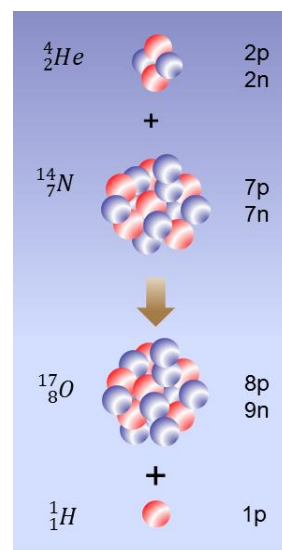
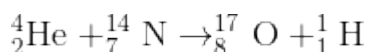


Делене на урана. Ядрени реактори

1. Ядрени реакции

При α - и β - разпадането става спонтанно превръщане на един химичен елемент в друг. Съставът на ядрата обаче може да се измени и по друг начин: при удар на атомно ядро с протон, неутрон, α - частица или друго ядро. **Взаимодействия, които предизвикват изменения в състава на атомните ядра, се наричат ядрени реакции.** Първата ядрена реакция в лабораторни условия е осъществена от Ръдърфорд през 1919 година. Той насочва сноп от α - частици към газова среда от азот и наблюдава отделянето на протони (ядра на водорода). Ръдърфорд стига до извода, че за да се изпълни законът за запазване на електричния заряд, ядрата на азота трябва да се превръщат в ядра на кислорода чрез реакцията (фиг. 7-1)



Фиг.7-1.

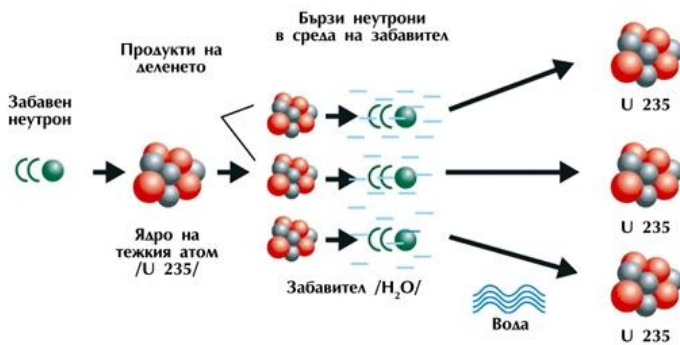
И при ядрената реакция, както при радиоактивното разпадане, също се запазва електричният заряд и броят на нуклоните (масовото число). В случая електричният заряд се определя само от броя на протоните: той е $Z = 2 + 7 = 9$ преди реакцията и $Z = 8 + 1 = 9$ след реакцията. Масовото число е $A = 4 + 14 = 18$ преди реакцията и остава същото ($A = 17 + 1 = 18$) след нея. Тъй като при всяка ядрена реакция се запазват електричният заряд и масовото число, тези закономерности се използват за определяне вида на получените ядра.

2. Делене на ядрата на урана

Ядрени реакции, при които тежки ядра се разцепват на две по- леки ядра и се отделя енергия, се наричат реакции на делене. Деленето на ядрата на урана е открито в края на 1938 година от германските физици **Ото Хан** и **Фриц Щрасман**. Чрез химичен анализ те установяват, че при облъчване на урана ($Z = 92$) с неутрони се образуват елементи от средата на периодичната система. Това откритие, направено в Берлин в навечерието на Втората световна война, поставя началото на ядрената ера в историята на човечеството. По време на войната в САЩ се събира цяла плеяда блестящи физици, повечето емигранти от Европа, която усилено разработва ядрените технологии. През 1942 година под ръководството на италианския физик **Енрико Ферми** в Чикаго е пуснат в действие **първият ядрен реактор**. На 16 юли 1945 година на полигона в щата Ню Мексико, САЩ, е взривена атомна бомба. Следват трагедията при атомните бомбандировки на японските градове Хирошима и Нагасаки, надпреварата в ядреното въоръжаване и мирното използване на атомната енергия в наши дни.

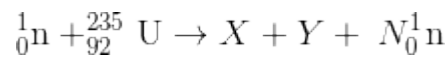
Деленето на урана се предизвиква от неутрони с малка конетична енергия (по- малка

от 1 eV). Такива нейтрони се наричат **бавни** или **топлинни**, защото кинетичната им енергия е сравнима с енергията на хаотичното топлинно движение на молекулите на газовете. Ядрото поглъща един нейтрон и преминава във възбудено състояние (фиг. 7-2). В това състояние то е крайно нестабилно и след много кратко време (около $10^{-2} s$) се разцепва на две приблизително еднакви части (продукти на деленето), при което се отделят два или три нейтрона.



Фиг.7-2.

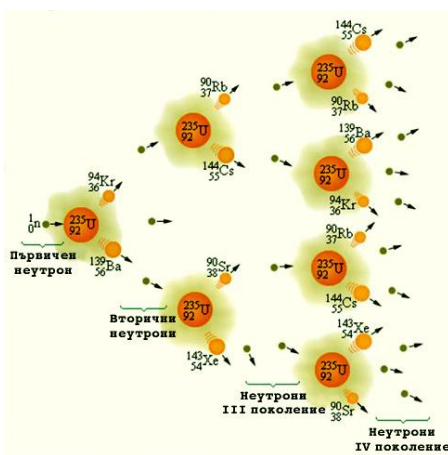
Деленето на изотопа ${}_{92}^{235}\text{U}$ се записва така:



където с ${}_0^1\text{n}$ е означен нейтронът, предизвикващ деленето, а X и Y са продуктите на деленето- изотопи на химични елементи от средата на Менделеевата таблица (барий, криптон, ксенон, стронций и др.), а N- брой на нейтроните след деленето ($N = 2,3,4$). Тези по- леки ядра имат с около 1 MeV по- голяма специфична енергия на връзката в сравнение с тежкото изходно ядро на урана. Това означава, че в тях нуклоните са по- здраво свързани и имат по- малка маса на покой. Следователно масата и енергията на покой намаляват: част от енергията на покой на урана се превръща в кинетична енергия на продуктите на деленето. При деленето на едно ядро се отделя около 200 MeV енергия, което е огромна енергия. За сравнение при делене на всички ядра, съдържащи се в 1 kg от изотопа ${}_{92}^{235}\text{U}$, се освобождава толкова енергия, колкото при изгарянето на 3 000 000 kg въглища!

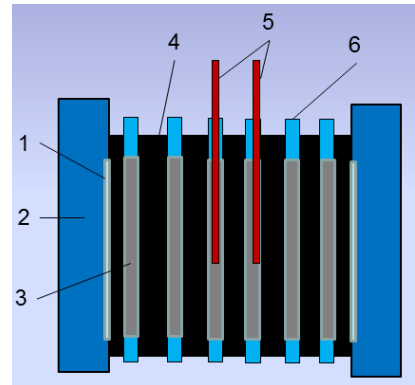
3. Ядрени реактори

Деленето на урана се предизвиква от един нейтрон, а поражда средно 2,5 нейтрона (в зависимост от вида на ядрата продукти X и Y в някои случаи се отделят 2 нейтрона, а в други- 3 нейтрона). Ако уранът е само малко късче, тези нейтрони излитат от повърността му и процесът се прекратява. Когато масата на урана обаче надхвърля определена стойност, наречена **критична маса**, нейтроните не излитат навън, а предизвикват делене на нови ядра, при което пак се отделят нейтрони и т.н.- протича **верижна реакция** (фиг. 7-3). Ако не се контролира, верижната реакция на делене за кратко време обхваща много голям брой ядра и води до ядрен взрив, като се отделя огромна енергия. Подобни реакции протичат при взривяване на атомна бомба.

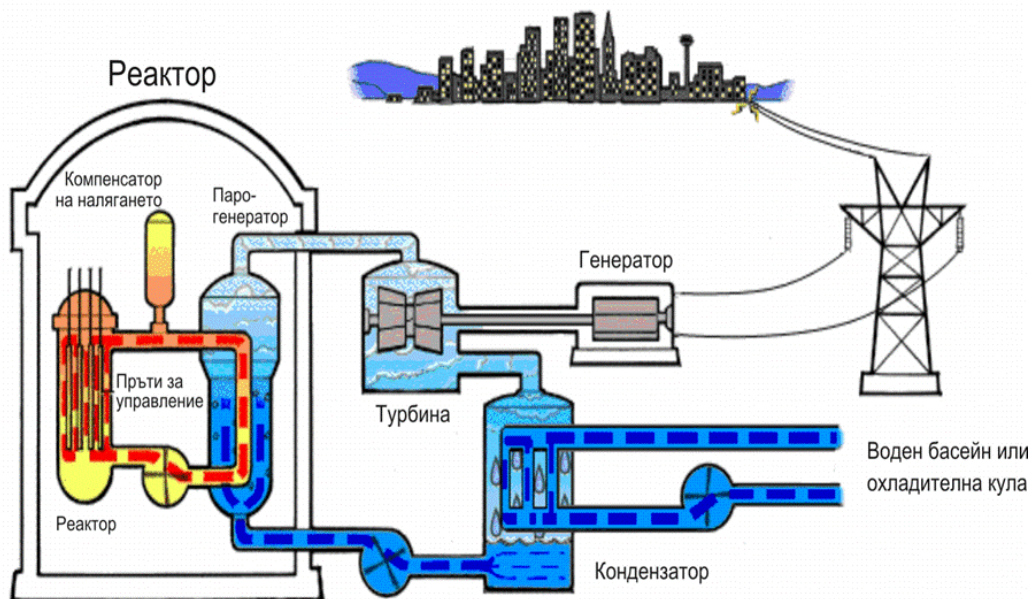


Фиг.7-3.

Устройствата, в които се осъществяват управляеми реакции на делене на ядрата, се наричат ядрени реакции. Природният уран съдържа само около 0,7% от изотопа ^{235}U , а останалите 99,3% са от изотопа ^{238}U , при който ядрена реакция на делене се осъществява много рядко. Вместо да се дели, той поглъща неутрони и се превръща в изотоп на химичния елемент плутоний. Затова реакторите използват за ядрено гориво **обогащен уран**, в който концентрацията на изотопа ^{235}U е няколко процента. В реакторите от типа ВВЕР, с каквито е снабдена атомната електроцентрала (АЕЦ) в Козлодуй, ядреното гориво е пресован уранов диоксид, поставен в специални цилиндрични касети. Касетите се разполагат в т.нар. **активна зона** на реактора (фиг. 7-4). В около 1/3 от тях се вкарват подвижни регулиращи пръчки, съдържащи химичния елемент бор (В). Борът поглъща част от неутроните и по този начин се контролира скоростта на верижната реакция. Реакторът се охлажда от течаща под голямо налягане (около 160 atm) вода, която поглъща отделеното при верижната реакция количество топлина и го извежда извън реактора. След това топлината се използва за производство на електроенергия. Този тип реактори се наричат **водно-водни** (фиг. 7-5), защото водата изпълнява още една функция- забавя неутроните.



Фиг.7-4.



Фиг. 7- 5. ВВЕР

Неутроните, получени при деленето на урана, имат голяма кинетична енергия (около 2 MeV). Вероятността ядро ^{235}U да захване такъв бърз неутрон е много малка. Колкото по- малка е енергията на неутроните, толкова по- лесно те се захващат от ядрата. Затова неутроните трябва да бъдат забавени преди да предизвикат делене на други ядра. Това става в резултат на ударите с леките ядра на водорода от водните молекули: при ударите неутроните отдават на водорода по- голяма част от енергията си.

Деленето на ядрата на урана е съпроводено с мощно γ - излъчване. Освен това голяма част от продуктите на делене са радиоактивни. Затова е много важно да се осигури надеждна радиационна защита около активната зона на реактора. Тази защита включва прегради от стомана, вода и бетон, които поглъщат радиоактивните лъчения. При реакторите на АЕЦ- Козлодуй са предвидени три последователни защитни бариери за околната среда от радиоактивните продукти. Въведена е автоматична система за контрол на радиоактивните лъчения, както в самата централа, така и в 110-километровата зона около нея. След аварията в атомната електроцентрала в Чернобил (Украйна) (фиг. 7- 6) през 1986 година се обръща изключително голямо внимание на безопасността на ядрените реактори.

Освен при авария опасност за околната среда може да възникне при неправилно съхраняване на радиоактивните отпадъци. Ядрените реактори периодично се зареждат със свежо гориво. Вече използваното гориво съдържа голямо количество радиоактивни вещества. То се подлага на преработка, а получените радиоактивни отпадъци се "погребват" в специално построени за тази цел хранилища. Вземат се мерки, за да се изключи възможността радиоактивни отпадъци да попаднат в почвата и водата.