

KÖZZÉTÉTELI
PÉLDÁNY

K I V O N A T

Fűtőberendezés és előadás energia kinyerésére kiégett nukleáris hulladékból

Egy, előnyösen monokromatikus lineáris gyorsító elektronokat gyorsít fel mintegy 10 MeV energiaszintig, amelyet egy magas olvadáspontú, pl. wolfram Z céltárgyra irányítunk, gammasugarak előállítása céljából, amelyeket a fűtőanyagra, úgymint U^{238} -ra irányítunk, ami (γf) reakciót eredményez, ily módon 200 MeV energia szabadul fel. Egy ilyen elv alapján felépített, gyorsítót igényelő reaktor 1 MW-tal meghajtva mintegy 20 MW energiát termel. A reakció nem önfenntartó, leáll, amikor a sugarat kikapcsolják. Ez a gyorsító által meghajtott reaktor felhasználható a maghasadásos reaktorokból származó kiégett fűtőanyag kiégetésére, ha egyszerűen 10 MeV energiával működtetik. A foton okozta hasadás tipikusan az olyan kiégett fűtőanyag hulladékoknál lép fel, mint a Cs^{137} és a Sr^{90} , amelyek fotonok hatására (γ, n) reakció által bomlanak le, amely rövid-életű vagy stabil termékeket eredményez.

jellemezés ábra: 1.

Lele...

2003. 06. 26.

10128

Képviselet

DD
Szabadalmi és Védjegy Iroda
dr. Polgár Iván
szabadalmi ügyvivő
1400 Budapest, Pf.: 21. Tel.: 311-4955

P 0301807

A2

**KÖZZÉTÉTELI
PÉLDÁNY**

**FŰTŐBERENDEZÉS ÉS ELJÁRÁS ENERGIA KINYERÉSÉRE KIÉGETT NUKLEÁRIS
HULLADÉKBÓL**

A bejelentés tárgya fűtőberendezés és eljárás energia kinyerésére kiégett nukleáris hulladékból, a fejlesztett hőenergia kinyerésére szolgáló hőcserélő rendszerrel felszerelve.

Egy tipikus 1000 megawatt elektromos (MWe) teljesítményű nyomott vizes (PWR) 75 %-os kapacitáskihasználással dolgozó nukleáris reaktor mintegy 21 tonna kiégett fűtőanyagot termel 43 gigawatt tonnánkénti (GWe/t) kiégetési fok mellett. A 21 tonna kiégett fűtőanyag (amely magában foglal mintegy 11 m^3 összes térfogatú 42 db PWR fűtőelemet) még mintegy 6,6 TWh (6,6 milliárd KWh) elektromos energiát fog termelni. Ugyanez az energia megfelel 2 millió tonna szén elégetésének hagyományos erőművekben, amely, elégetés során 120,000 tonna hamu, 5,4 millió tonna CO és 50,000 tonna SO₂ keletkezik.

A kiégett nukleáris reaktor fűtőanyag uránt tartalmaz (U²³⁸-at) amely mintegy 96 tömeg %-ot tesz ki a kereskedelmi reaktorokból eltávolított kiégett fűtőanyagban. Könnyű vizes reaktorok esetében (LWR a legáltalánosabban használt típus, amely magában foglalja a PWR reaktorokat), a kiégett fűtőanyag mintegy 0,90 % U²³⁵-öt tartalmaz, míg a természetes urán ebből az izotópból csak mintegy 0,70 %-ot tartalmaz. A plutónium a kiégett fűtőanyag mintegy 1 tömeg %-át alkotja. A plutónium hasadásra képes anyag, ami azt jelenti, hogy nukleáris reaktorokban fűtőanyagként felhasználható. A kisebb aktinoidák a kiégett fűtőanyag mintegy 0,1 tömeg %-át alkotják. Ezek az elemek: mintegy 50 % Np, 47 % Am és 3 % Cm, amelyek igen radiotoxikusak. A hasadási termékek (jódt, technécium, neodim, cirkónium, molibdén, cérium, cézium, ruténium, palládium stb.) a kiégett fűtőanyag mintegy 2,9 %-át teszik ki.

A két legfontosabb hasadási termék a Sr⁹⁰ és a Cs¹³⁷, mivel ezek hőhatása a tárolóra lényeges, és az egészséget veszélyeztető tulajdonságaik folytán tárolásuk a legtöbbször ellenzésre tárt. Ez a két radioaktív nukleáris származék járul hozzá a legnagyobb mértékben a kiégett fűtőanyag hőkibocsátásához, legalábbis az első néhány évtizedben. A Cs¹³⁷ a kiégett fűtőanyag által kibocsátott áthatoló sugárzás fő forrása is. Az egészséget potenciálisan veszélyeztető két legfontosabb hasadási termék a Tc⁹⁹ és az I¹²⁹. Ezek a legnagyobb jelentőségűek, mivel hosszú élettartamúak, jelentős mennyiségben termelődnek a maghasadási folyamatban, geológiai feltételek között általában oldhatók és viszonylag gyorsan vándorolnak a szokásos talajvíz viszonyok mellett.

A kiégett fűtőanyag hosszú ideig tartó toxicitását uralkodóan a következő aktinoidák határozzák meg: Np²³⁷, U²³⁴, U²³⁶, Pu²³⁹, Pu²⁴⁰ és Pu²⁴². Az erősen radioaktív hulladékban levő hosszú élettartamú nukleáris származékok átalakítása stabil vagy rövid élettartamú nukleáris származékokká nukleáris reakciók stimulálásával kívánatos alternatíva az erősen radioaktív hulladékok számára.

Mintegy 300 fajta radioaktív izotóp termelődik egy nukleáris reaktor működése során, elsődlegesen neutron befogás vagy neutron okozta hasadás által. A különböző radioaktív nukleáris származékok káros hatása a testben való különböző kémiai viselkedésüktől és az általuk kibocsátott sugárzástól függően különböző. A radioaktív nukleáris származékok okozta veszély a hulladékoknak egy geológiai tárolóban való elhelyezésében összpontosul. A tárolóból való kioldódás és kibúvás leggyakoribb mechanizmusa magában foglalja a hulladéknak a talajvízzel való érintkezését, amelyet lassú oldódás követ, a radioaktív nukleáris származékok átjutását az elérhető környezetbe, szétoszlásukat a bioszférában, és esetleges felvételüket az élelmiszerből vagy a vízből. Bár izotópok százai vannak jelen a kiégett fűtőanyagban vagy a belőlük származó hulladékokban, közülük csak kevésnek az eltakarítása fontos. A könnyű vizes reaktor kiégett fűtőanyagával, vagyis a nukleáris hulladékkal kapcsolatosan négy izotóp, Cs^{137} , Sr^{90} , I^{129} és Tc^{99} elsődleges fontosságú, a nagy hő, a talajvízben való oldhatóság, vagy az egészség veszélyeztetése miatt.

A kiégett fűtőanyag kezelésnek gazdaságilag elfogadható feltételek mellett biztosítani kell, hogy a bioszféra védve legyen, anélkül, hogy kedvezőtlen rövidtávú következményeket vonna maga után, és a nyilvánosságnak biztosnak kell lennie a módszerek hatékonyságában. Mivel a kiégett fűtőanyag igen hosszú élettartamú radioaktív nukleáris származékokat tartalmaz, bizonyos védelem szükséges legalább 100.000 évre. Két út lehetséges:

1. Megvárhatjuk a radioaktív elemek természetes lebomlását, fizikailag elszigetelve őket a bioszférától, egymást követő védőfalak felállításával megfelelő mélységben a talajban.

Ezt a stratégiát mély geológiai eltakarításnak nevezzük.

2. Felhasználhatunk nukleáris reakciókat, amelyek az igen hosszú élettartamú hulladékot kevésbé radioaktív vagy rövidebb élettartamú termékekké alakítják át. Ezt a stratégiát átalakításnak nevezzük.

A nukleáris hulladék föld alatti tárolásával az a probléma, hogy nincs olyan anyag, amely túléli radioaktív tartalmát, és a radioaktív hulladék folytonosan hőt termel, hidrogén és hélium gázt, valamint más, labilis termékeket bocsát ki.

A nemzetvédelem által termelt transzurán hulladékot 23 helyen tárolják az ország területén, miközben a nukleáris és a veszélyes hulladékot vegyesen az országban 40 helyen tárolják.

Az Egyesült Államokban mintegy 114 kereskedelmi nukleáris reaktor, az egész világon pedig mintegy 400 nukleáris erőmű van üzemben, amely magában foglal mintegy 120 GWe működő nukleáris elektromos kapacitást Nyugat-Európában és mintegy 45 GWe kapacitást a volt

Szovjetunióban és a kelet-európai országokban. Egyedül az Egyesült Államokban 34.000 tonna nukleáris hulladékot halmoztunk fel. Az Egyesült Államok jelenlegi erősen radioaktív hulladék (elsődlegesen kiégett fűtőanyag) kibocsátása 3.000 tonna évenként. Egy átlagos kereskedelmi erőműben minden évben 60 használt fűtőelem készletet helyeznek az „ideiglenes” tárolóba, és várhatóan így lesz a 2000. évig, amikor a hulladékot átviszik a DOE-be. Ez a mennyiség nem foglalja magában a kevésbé radioaktív hulladékot, mint a kesztyűk, a szűrők, a szerszámok, a ruházat stb., ami a nukleáris erőművekből, a radioaktív anyagokat használó kutatóközpontokból és a kórházakból kerül ki. Az Egyesült Államokban mintegy 100.000 telephely van, amelyek radioaktív anyagokat használnak. Ezekben 1,6 millió köbláb (mintegy 46.000 m³) gyengén radioaktív hulladék keletkezik évente.

Az Egyesült Államok Környezetgazdálkodási programjának jelenleg tervezett költségei mintegy évi 7,5 milliárd dollárt tesznek ki. A megjelent tanulmányok jelenleg a környezet helyreállítási költségvetés mintegy 20 %-áról számolnak be. A Környezetgazdálkodási alapterv beszámolója szerint a nukleáris fegyver program teljes felszámolási költsége 230 milliárd dollár egy 75 éves időszakon át, beleértve Hanford 50 milliárd dollárosra tervezett felszámolását is.

A legtöbb kereskedelmi üzemű nukleáris reaktor jelenleg nagyteljesítményű könnyű vizes reaktor 400 MWe nagyságrendű elektromos kimenő teljesítménnyel. Egy forralóvizes reaktornak, amely a könnyű vizes reaktor egyik típusaként ismert, van egy nyomásálló tartálya és a nyomásálló tartályban elhelyezett reaktormagja. A reaktormag nagyszámú fűtőelem készletet foglal magában. A reaktor teljesítményének szabályozására szolgáló szabályozó rudak arra vannak kialakítva, hogy beilleszték őket a reaktormagba. A forralóvizes reaktornak van egy keringető rendszere is, amely a hűtőközeget a reaktormagon keresztül keringeti, és a nukleáris reaktor teljesítmény finombeállítására is szolgál. A nyomásálló tartályban előállított gőzt gőzturbinába vezetik, hogy meghajtsák, utána kondenzátorban kondenzálják. A kondenzáció termékét hűtőközegként visszavezetik a nyomásálló tartályba.

A könnyű vizes reaktor másik tipikus példája a nyomott vizes reaktor, amely egy, számos fűtőelem összeállítását tartalmazó reaktormagot magában foglaló nyomásálló tartályból, egy gőzgenerátorból és egy a nyomásálló tartályt és a gőzgenerátort magában foglaló, zárt kört alkotó primer hűtőrendszerből áll. A forró hűtőközeget, miután a reaktor magban felhevült, a primer hűtőrendszer csövén keresztül a gőzgenerátorba vezetik, a gőzgenerátorba táplált vízzel való hőcsere céljából. A hűtőközeget, amelynek a hőmérséklete a hőcsere eredményeképpen csökkent, a

primer rendszer csövén át visszavezetik a gőzgenerátorból a nyomásálló tartályba. A tápvíz elpárolog és a hőcsere eredményeképpen gőzt kapunk. A gőzt gőzturbinába vezetjük, hogy meghajtsa, ezután kondenzátorban kondenzáljuk. A kondenzáció termékét tápvízként visszavezetjük a gőzgenerátorba.

A nehéz elemek elektromágneses sugárzás abszorpcióját követő maghasadását (a foton okozta hasadást) elsőként Bohr és Wheeler 1939-ben megjelent híres tanulmányukban előre jelezték. Haxby, Shoupp, Stephens és Wells (1941) voltak az elsők, akik gammasugarakkal foton okozta hasadást állítottak elő.

Az irodalom áttekintése azt mutatja, hogy az aktinoida magokban fotonok okozta nukleáris reakció tanulmányozása több laboratórium lázas tevékenysége volt a 40-es években, különböző típusú gammasugár források felhasználásával. E tanulmányok fő célkitűzése az volt, hogy információt szerezzenek az atommagról az óriás dipól rezonancia régióban levő gerjesztési energiánál és az alacsony energia régióban, a foton okozta hasadás és a fotoneutron küszöb közelében. Úgy találták, hogy az óriás dipól rezonancia drámaian megnövelte a cél magoknak ütköző beeső fotonoknak mutatott effektív keresztmetszetet.

Bowman, monokromatikus pozitronok repülés közben történő annihilációjából nyert kvázi-monokromatikus foton sugarat használva elsőként figyelte meg a hasadó mag óriás dipól rezonanciájának karakterisztikus két összetevőre való szétválását, azt a jelenséget, amelyet más állandóan deformált atommagoknál ugyancsak megfigyelt. Bár úgy találták, hogy a fotonok által indukált Γ_n/Γ_f arány erősen energiafüggő, az eredmény teljesen eltért a neutronok által indukált hasadásnál, a fékezési sugárzás által indukált hasadásnál és a töltéssel bíró részecskék által indukált hasadásnál nyert adatoktól.

Az óriás dipól rezonancia struktúrája, amely az elektromágneses energia a magok általi elnyelését jellemzi a mintegy 5-től 30 MeV közötti energiasávban, érdeklődés tárgya volt azóta, hogy magát az óriás rezonanciát felfedezték. Éveken át számos laboratóriumban mérték számos mag fotoneutron keresztmetszetét monoenergetikus fotonokkal. Mindezeket az adatokat az Atomic Data Nuclear Data Tables-ben közölték. A legtöbb vizsgált esetben az egyezés feltűnően jó.

A dipól foton abszorpciós folyamat klasszikus leírása előre jelzi, hogy gömb alakú atommagokra a teljes foton abszorpciós keresztmetszetet a Lorentz-féle vonal alakzat jellemzi,

$$\sigma(E_\gamma) = \sigma_m / [1 + (E_\gamma^2 - E_m^2)^2 / E_\gamma^2 \Gamma^2]$$

(Eq. 1)

ahol σ_m a csúcs keresztmetszet, E_m a rezonancia energia és Γ a teljes szélesség a maximum felénél. Deformált (szferoid alakú) magoknál a közös kép előre jelzi az óriás rezonancia két összetevőre való szétválását a mag szimmetria tengelyével párhuzamos és merőleges oszcillációnak megfelelően.

Közepes és nehéz magoknál a Coulomb potenciálját megakadályozza a töltéssel bíró részecskék emisszióját óriás rezonancia energiánál, és a foton szóródási keresztmetszet mindig kicsi a (γ, n) küszöb felett; ennél fogva a teljes fotoneutron keresztmetszet jó közelítése a teljes foton abszorpció keresztmetszetnek.

Egy deformált magra a saját négypólus nyomaték Q_0 az alábbi kifejezéssel számítható ki:

$$Q_0 = 2/5ZR^2 \epsilon = 2/5ZR^2(\eta - 1)\eta^{-2/3}$$

(Eq. 2)

ahol a mag sugara $R=R_0A^{1/3}$, Z és A a protonszám illetve az atomsúly, ϵ a mag excentricitás és az η paraméter a nagy- és a kistengely aránya (a megnyúlt magra), amelyet az alábbi formula ad meg:

$$E_m(2)/E_m(1) = 0,911\eta + 0,089$$

(Eq. 3)

ahol $E_m(1)$ és $E_m(2)$ egy az óriás rezonanciához illeszkedő Lorentz görbe alsó és felső rezonancia energiái.

A dipól rezonancia energiája olyan alacsony, hogy a legtöbbször eléggé egyszerű folyamatok, úgymint (γ, n) , (γ, p) , $(\gamma, 2n)$ és foton okozta hasadási reakció megy végbe az óriás rezonancia régióban. Ezeket a konkurensen lefolyó folyamatokat a kompaund magok legerjesztésének szokásos statisztikai tényezői irányítják, úgy, hogy általában a neutron kibocsátás az uralkodó.

Az óriás dipól rezonancia jellemzői aktinoida magok esetében különösen érdekesek. Az ilyen, magas Z - és Coulomb potenciáljátú magoknál a teljes foton abszorpció keresztmetszet egyenlő a fotoneutron- és a foton okozta hasadási keresztmetszet összegével. A teljes fotoneutron keresztmetszet az alábbi reakció keresztmetszetek összege.

$$\sigma(\gamma, n_{tot}) = \sigma(\gamma, n) + 2\sigma(\gamma, 2n) + \nu\sigma(\gamma, f) \quad (\text{Eq. 4})$$

ahol ν a neutron sokszorozás egy hasadás esetében. A neutronokat termelő teljes keresztmetszet eszerint:

$$\sigma_{\gamma, N} = \sigma_{\gamma, n} + \nu\sigma_{\gamma, f} \quad (\text{Eq. 5})$$

A neutron emisszió és a hasadás közötti konkurencia az alábbi képlettel fejezhető ki:

$$\Gamma_n / \Gamma_f(E) = \sigma(\gamma, n) / \sigma(\gamma, f)(E) \quad (\text{Eq. 6})$$

A Γ_n / Γ_f érték a magok hasadóképességével exponenciálisan csökken. Az elméleti kifejezés Γ_n / Γ_f -ra, amely megmagyarázza ezt a viselkedést a neutron kibocsátás és a hasadás konkurenciájára az az energiaszint sűrűsége vonatkozó állandó mag hőmérsékletből (Constant Nuclear Temperature) vezettük le, és így fejezzük ki:

$$\Gamma_n / \Gamma_f = 2TA^{2/3} / 10 \exp\{(Ef' - Bn') / T\} \quad (\text{Eq. 7})$$

ahol $(Ef' - Bn')$ a megfelelő fotonukleáris folyamatok effektív küszöbértékek és T a maghőmérséklet.

Az a tény, hogy az olyan izotópoknál, mint Th^{232} , U^{233} , U^{235} , U^{238} és Pu^{239} hasadásonként egynél több neutron kibocsátása történik, láncreakciót tesz lehetővé a hasadó anyag tömegében. Az, hogy a láncreakció állandó marad, felerősödik, vagy lecsökken, függ az egyidejűleg lejátszódó hasadásból eredő neutrontermeléstől és számos folyamatból eredő neutronveszteségtől, úgy mint a neutronok hasadás nélküli befogásától, elsődlegesen a rendszerben lefolyó (n, γ) reakcióktól és a neutronok elszivárgásától a rendszer felületén.

Az energia felszabadulás mértéke 200 MeV maghasadásonként, vagyis mintegy 23×10^6 kWh egy kilogramm U^{235} hasadásakor. Az energia 82 %-át kinetikus energia alakjában a hasadási

termékek viszik el. A prompt neutronok további 2,5 %-ot, a prompt gammák 3,5 %-ot, a béta bomlás 4 %-ban, a késleltetett gammák 3 %-ban részesednek és a neutrínók a maradék 5 %-ot viszik el. A neutrínók és energiájuk elvész, mivel a velük való kölcsönhatás valószínűsége túlságosan csekély. Néhány hasadás akkor történik, amikor egy gyors neutron ütközik egy U^{238} atommal. Ahogy a fűtőanyag kiég, plutónium termelődik, és az energia nagy százalékban ténylegesen a Pu^{239} atomok hasadásából adódik. Az U^{235} -ben a neutron abszorpció mintegy 80 %-ban hasadást eredményez. A többi 20 % (n,γ) reakció, A Th^{232} foton okozta hasadás által felszabadított átlagos kinetikus energia mintegy 80 %-a az U^{235} lassú neutron által előidézett hasadása energiájának, vagyis mintegy 160 MeV.

Jelen találmány célkitűzése a nukleáris reaktorok kimerült töltőanyagának gazdaságos hasznosítása, a radioaktív izotópok sok veszéllyel járó "geológiai" elhelyezésének kiküszöbölése.

A jelen találmány egyik célkitűzése tehát, hogy egy nukleáris reaktort nyújtson, amelynek a fűtőanyaga kimerült vagy nem hasadó radioaktív anyag, mint pl. a hagyományos nukleáris reaktorok kiégett fűtőanyaga.

A találmány további célkitűzése, hogy fokozott biztonságú nukleáris reaktort nyújtson a kritikus tömegnél kisebb fűtőanyag tömeggel.

A találmány további célkitűzése, hogy kis méretű és teljesítményű nukleáris reaktort nyújtson.

A fenti célkitűzések elérésére készült jelen találmány szerint egy rendszert állítunk fel, amelyben egy gyorsítóval elektronokat gyorsítunk fel legalább 6 MeV energiáig, és a felgyorsított elektronok vagy a céltárgyba csapódó elektronok által kiváltott gamma-fotonokat a nukleáris reaktor fűtőanyagába vezetik, ezáltal a fűtőanyag foton okozta hasadás néven ismert nukleáris reakcióját idézzük elő. A fűtőanyag foton okozta hasadása hőt és neutronokat termel, mint a hagyományos reaktorokban, a maghasadás azonban nem önfenntartó, a fűtőanyag kritikusnál kisebb tömege, vagy a fűtőanyagban levő nem hasadó elemek miatt. A foton okozta hasadás ily módon az elektronsugár kikapcsolásakor azonnal leáll. A termelt hő és neutronok ugyanúgy használhatók fel, mint egy hagyományos reaktorban, úgymint elektromos energia termelésére.

A feltárt találmány egy módszer és eszköz elektromos energia előállítására nehéz, de nem hasadó elemekből. A reakció nem az U^{235} jól ismert önfenntartó láncreakciója, hanem egy gyorsító által megy végbe. Az ilyen típusú, gyorsítóval működtetett reaktor fűtőanyaga a maghasadá-

sos reaktorok kiégett fűtőanyaga lehet. A mechanizmus, amely által a nem hasadó anyagból nukleáris energiát szabadítanak fel, foton okozta hasadás néven ismert, amelyben a megcélzott atommagba vezetett foton vagy gammasugár energiája nagyobb, mint a foton okozta hasadás energiaküszöbe, ami a cél atommag hasadását okozza. Az U^{238} -ra például a foton okozta hasadás energiaküszöbe mintegy 6 MeV és az U^{238} mag hasadását okozza, mintegy 200 MeV energiát szabadítva fel.

A találmány alapja az a felismerés, hogy olyan radioaktív hulladékoknál, melyek lebomlása már lassú, és nem alkalmasak önfenntartó nukleáris folyamat fenntartására, még gazdaságos mennyiségű energia nyerhető ki olyan gyorsított elektron-nyaláb besugárással, melyek nukleáris bomlást idéznek elő az radioaktív izotópokban.

A mondott felismeréshez kapcsolódik, hogy a gyorsított elektronokkal besugárázott nukleáris reaktor, ha a nukleáris töltet a láncreakciót előidéző kritikus tömegnél kevesebb, teljesen biztonságos, mert amint az elektron-sugárzás megszakad, a nukleáris folyamat leáll.

A találmányt megalapozó felismerés, hogy a veszélyes hulladékot képező kiégett nukleáris töltet a találmány szerinti eljárással és berendezésben gazdaságosan veszélyteleníthető, elkerülve így a geológiai ártalmatlanítás semmiképpen se jó módszerét.

A találmányi megoldás megvalósítását megalapozza az a felismerés, hogy számos izotópnak a fotonukleáris keresztmetszete hasonló spektrumot mutat, s így az elektron-sugárral stimulált reaktor töltete vegyes izotóp összetételű lehet.

Ugyancsak a találmányt megalapozó felismerés, hogy a töltetbe megfelelő sugárzás-átalakító konverterek beépítésével az elektronsugárással indított neutron emisszió gamma-sugárássá alakítható.

A találmányi megoldás fűtőberendezés energia kinyerésére kiégett nukleáris hulladékból, a fejlesztett hőenergia kinyerésére szolgáló hőcserélő rendszerrel felszerelve, mely azzal jellemezhető, hogy fő részei egy, a kritikus nukleáris tömeg alatti töltettel működő nukleáris reaktor, melynek radioaktív izotópok képezik a töltetét, továbbá az elektronokat 5 -30 MeV energiaszintre gyorsító elektrongyorsító, melynek elektronsugárása a nukleáris reaktor izotóp töltetére van irányítva.

A találmány szerinti fűtőberendezés előnyösen azzal jellemezhető, hogy a töltetet alkotó izotópok nukleáris tüzelőanyagból származnak.

A találmány szerinti fűtőberendezés előnyösen azzal is jellemezhető, hogy az izotópok a következő izotópok: Np^{237} , Np^{238} , Pa^{231} , Pa^{232} , Pu^{238} , Pu^{239} , Pu^{241} , Th^{232} , Th^{227} , U^{231} , U^{233} , U^{235} , U^{238} , tetszés szerinti csoportjai.

A találmány szerinti fűtőberendezés előnyösen még azzal jellemezhető, hogy a töltet tartalmaz olyan csökkent atommag tömegű izotópokat, melyek izotóp magoknak a besugárzás hatására bekövetkező emissziója következtében keletkeztek.

A találmány szerinti fűtőberendezés előnyösen még azzal is jellemezhető, hogy a besugárzás következtében a fotóhasadt fregmentumok emissziója is jelen van a rendszerben.

Ugyancsak előnyösen azzal is jellemezhető a találmány szerinti fűtőberendezés, hogy a töltet izotópjainak besugárzása következtében fellépő gyors neutronok, (γ , β) reakcióval, gamma sugárra konvertálására a reaktor konvertáló anyagokat tartalmaz.

Végül a találmány szerinti fűtőberendezés előnyösen azzal is jellemezhető, hogy a konvertáló anyag az alábbi anyagok: nikkel, kén, diszprózium, ittrium, kalcium, titán, berillium, mangán, ólom, vas, alumínium, és réz, valamelyike.

Tárgya továbbá a találmánynak egy eljárás energia kinyerésére kiégett nukleáris hulladékból az abban maradt hasadóképes komponensek energiájának kinyerésével és az így fejlesztett hőenergia hőcserélő rendszerrel történő továbbításával. A találmányi eljárás azzal jellemezhető, hogy nukleáris reaktorba radioaktív izotópok a kritikus határ alatti mennyiségét helyezzük el, elektronokat elektron-gyorsítóval az 5-30 MeV energiaszintre gyorsítunk és a felgyorsított elektronok sugárnyalábjával a reaktor töltetét képező izotópokat besugározzuk s ezáltal hőenergiát termelünk, majd utóbbit hőcserélő rendszerben nyerjük vissza hasznosításra

A találmányi eljárás előnyösen azzal jellemezhető, hogy a reaktor töltetének nukleáris tüzelőanyagból származó izotópokat használunk.

A találmányi eljárás előnyösen azzal is jellemezhető, hogy a radioaktív izotópoknak a következő izotópok: Np237, Np238, Pa231, Pa232, Pu238 a Pu239, Pu241, Th232, Th227, U231, U233, U235, U238, tetszés szerinti csoportját alkalmazzuk

A találmányi eljárás előnyösen még azzal jellemezhető, hogy a gyorsított elektronokkal besugárzott izotópok atommagjaiban emissziót idézünk elő, ezáltal új, kisebb atomsúlyú izotópokat állítunk elő.

A találmányi eljárás előnyösen még azzal is jellemezhető, hogy a gyorsított elektronokkal besugározzuk az izotópokat, és így azokban "photofission", fotonhasadási, fotonbomlási emissziót idézünk elő.

Ugyancsak előnyösen jellemezhető a találmányi eljárás azzal is, hogy a gyorsított elektronokkal besugározzuk az izotópokat, a töltet izotópjainak besugárzása következtében fellépő gyors neutronokat (γ , β) reakcióval gamma sugárra konvertáljuk a reaktorban elhelyezett konvertáló anyagok segítségével

gével.

Végül a találmányi eljárás jellemezhető előnyösen azzal is, hogy a konvertáló anyagként az aláb bi anyagok: nikkel, kén, diszprózium, ittrium, kalcium, titán, berillium, mangán, ólom, vas, alumínium, és réz, valamelyikét alkalmazzuk.

A találmányt részletesen a csatolt ábrák segítségével mutatjuk be, nem korlátozva azonban a találmány alkalmazhatóságát, sem az igényelt oltalmi kört a bemutatott példákra.

Ábrák

1. ábra A találmány szerinti eljárás folyamatábrájának sematikus ábrázolása.
2. ábra A találmány szerinti elektrongyorsító előnyös kialakításának sematikus ábrázolása.
3. ábra Az U238 részleges és teljes fotonukleáris keresztmetszeteinek diagramja a (γ, n) , $(\gamma, 2n)$, (γ, f) reakciókat, és a teljes (γ, total) keresztmetszeteivel.
4. ábra A Th232, az U238 és a Np237 fotonukleáris keresztmetszetének diagramja.
5. ábra A Pu239 fotonukleáris keresztmetszetének diagramja.
6. ábra Az U238 30 MeV energiájú foton okozta hasadásból származó termék gamma spektroszkópos elemzésének diagramja.

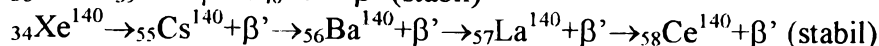
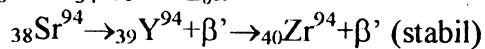
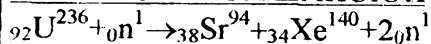
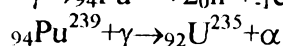
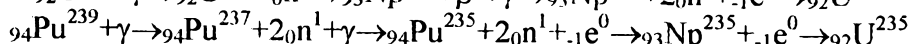
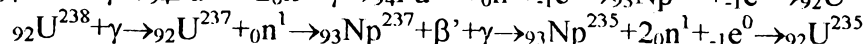
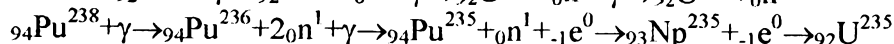
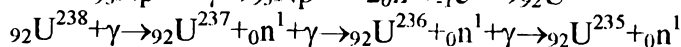
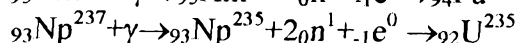
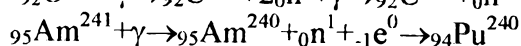
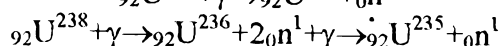
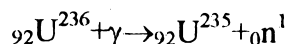
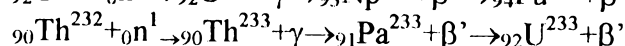
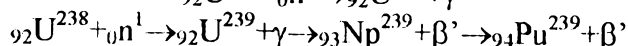
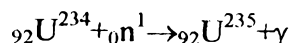
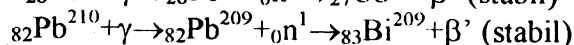
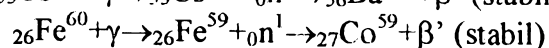
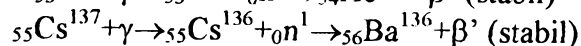
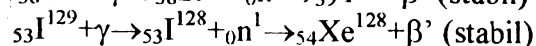
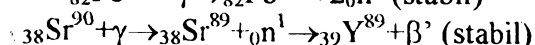
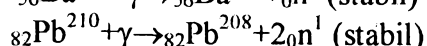
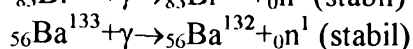
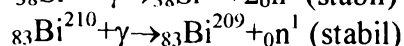
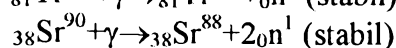
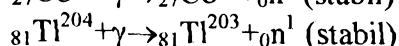
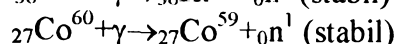
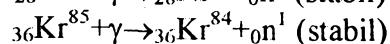
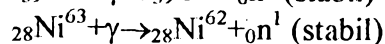
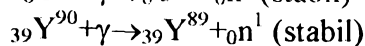
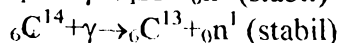
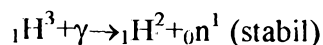
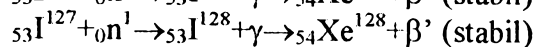
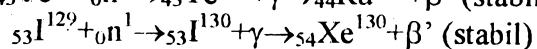
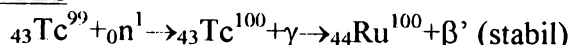
Az 1. ábrán a találmány egy kiviteli példája látható, amelyben egy 1 előnyösen monokromatikus lineáris gyorsító elektronokat gyorsít fel mintegy 5-30 MeV közötti energiaszintre, előnyösen mintegy 10 MeV-re, amelyek egy magas olvadáspontú, előnyösen wolfram Z konverterbe ütköznek, gamma sugarak előállítása céljából, a sugarakat a fűtőanyagra, úgymint U^{238} -ra irányítják egy 2 reaktorban, ami foton okozta hasadás néven is ismert (γ, f) reakciót eredményez, ily módon mintegy 200 MeV energia szabadul fel. A 2 reaktoron hűtőközeget szivattyúznak át a 3 primer szivattyúval a hőnek a reaktorból a 4 hőcserélőbe való átvitele céljából, ahol a hőt az 5 szekunder hűtőközeg szivattyúval meghajtott szekunder hűtő rendszerbe továbbítják. A szekunder hűtő rendszerben szállított hőt egy 6 turbina hajtására használják fel, miután a hűtőközeget egy 8 kondenzátoron vezetik keresztül és visszatáplálják. A 6 turbina egy 7 generátort hajt meg, hogy elektromos energiát állítson elő.

A jelen találmány szerinti 1 gyorsítót igénylő reaktor 1 MW sugár teljesítménnyel mintegy 20 MW teljesítményt állít elő. A 2 reaktorban létrejövő foton által okozott maghasadás nem önfenntartó és leáll, amikor az 1 gyorsító sugarát kikapcsolják. A jelen találmány felhasználható a hagyományos könnyű vizes maghasadási reaktorok kiegészített fűtőanyagának „elégetésére”, ha egy-

szerűen 10-20 MeV energiával működtetik. A találmánynak a tipikus kiégett fűtőanyag hulladékkal való működtetése során az olyan elemek, mint a Cs^{137} és a Sr^{90} , amelyek foton okozta lebomláson mennek át (γ, n) folyamat által a 2 reaktorban, ami stabil, vagy rövid élettartamú termékeket eredményez. A kimerült fűtőanyag izotópjainak kémiai szétválasztása nem szükséges. Nagyobb teljesítmény elérése vagy gyorsabb elégetés céljából természetesen egynél több 1 gyorsítót lehet felhasználni. Ideális esetben négy, egymástól bizonyos távolságra elhelyezett gyorsító 4,8 MW energiát igényel az üzemeltetéshez és mintegy 100 MW, a reaktorból kimenő teljesítményt eredményez. Az a tény, hogy a reakció nem önfenntartó, biztonsági jellemző, amely lehetővé teszi az azonnali leállítást probléma esetén.

Az I. táblázatban feltüntettük a 2 reaktorban létrejövő fontos elsődleges reakciókat.

I. táblázat: A gyorsító által működtetett reaktorban lefolyó reakciók

FOTON ÁLTAL OKOZOTT MAGHASADÁSI REAKCIÓK: (γ, f) : U^{238} , Th^{232} , Pa^{231} , Np^{237} , Np^{238} , Pa^{232} , Pu^{239} , Pu^{241} , Th^{227} , U^{231} , U^{233} , U^{235} .**MAGHASADÁSI REAKCIÓK (csak egy a sok közül)** **(γ, n) FELDÚSULÁS:****NEUTRON FELDÚSULÁS** **(γ, n) SEMLEGESÍTÉS****NEUTRONSEMLEGESÍTÉS**

A releváns izotópok foton által és neutron által okozott hasadási küszöbei a II. táblázatban láthatók.

II. táblázat. A kiválasztott izotópok foton, illetve neutron által okozott hasadási energiaküszöbei

NUKLEÁRIS SZÁRMAZÉK	FOTON ÁLTAL OKOZOTT HASADÁSI KÜSZÖB (MeV)	NEUTRON ÁLTAL OKOZOTT HASADÁSI KÜSZÖB (MeV)
Am ²⁴¹	6,0	---
Am ²⁴²	---	6,4
Th ²³²	5,8	1,3
Np ²³⁷	5,6	0,4
Np ²³⁸	---	6,0
U ²³³	5,7	0,025
U ²³⁴	6,0	0,4
U ²³⁵	5,3	0,025
U ²³⁶	---	0,8
U ²³⁷	---	6,3
U ²³⁸	5,8	1,2
Pu ²³⁹	5,8	0,025

A találmány egy nagyteljesítményű, alacsony energiaszintű (10 MeV) 1 elektrongyorsítót vagy lineáris gyorsítót igényel a gamma sugarak előállításához, hogy meghajtsa a reakciókat a 2 reaktorban, amelynek egy előnyös kiviteli alakja a 2. ábrán látható. A jelen technológia egy haladóhullámú rezonancia gyűrűs (TWRR) típusú 1 elektrongyorsítót ajánl, amelyet két, 1,2 MW-os folytonos hullámú (CW) deciméteres hullámsávú 11 klisztron lát el energiával, amelyek előnyösen 1249 MHz rádiófrekvencián működnek, 10 MeV energiájú és 100 mA áramú elektronnyaláb előállításához.

A TWRR-t azért választottuk ki, hogy fokozza az elektronsugár indulási küszöbáramát és a gyorsító nagy hatékonyságát érje el, ami a csillapítási állandó alacsony értékéből és a magas megszokszorozási tényezőből ered, és ez csak a TWRR-nél megengedett. A TWRR használatának előnyei az állóhullámú gyorsítókkal szemben a következők: az üreg struktúra egyszerűsége, a nagyobb apertúra méret, a gyártás egyszerűsége, egyszerű különválasztás a visszakeringető hullámvezetőtől, mindezek könnyűvé teszik kezelését egy erősen sugárzó térben.

A 11 klisztronokat előnyösen egy 90 KVDC áramellátó működteti 1,2 MW rádiófrekvenciás teljesítmény előállításához. Az 1,2 MW rádiófrekvenciás teljesítményt a TWRR-be tápláljuk a 12 iránycsatolókon keresztül. Az injektor egy 13 200 KVDC elektronágyúból, két mágneses lencséből, egy 14 rádiófrekvenciás szaggatóból, egy 15 előzetes csomósítóból és egy 16 csomósítóból áll. Az elektronágyú számára 200 KeV sugár energiájú 400 mA csúcsáram szükséges a 14

szaggatóból és a 16 csomósító rendszer tervezéséből.

Az 1 gyorsító hét 18 gyorsító vezetőből áll. A gyorsító szakasz minden egyes egysége egy TWRR-t alakít ki. Minden egyes 18 gyorsító vezető, amelyek hossza 1,2 m, 13 $2\pi/3$ módú üregeket és két csatoló üreget tartalmaz. Az összes 18 gyorsító vezető konstans gradiens struktúra típusú 100 mA sugárterhelés feltétele mellett.

Az első klisztron energiát táplál egy csomósítóba és három gyorsító vezetőbe, míg a második klisztron a megmaradó négy gyorsító vezetőbe táplál energiát. A csomósítóba és minden egyes gyorsító vezetőbe vezetett rádiófrekvenciás energia külön-külön 220-250 kW.

Az U^{238} izotóp mind a gamma konverter, mind a foton okozta hasadás célmagjaként felhasználható, vagyis eliminál egy a gamma-konverter, úgymint wolfram felé haladó különálló elektront, és az U^{238} cél anyag önmagában felhasználható röntgensugár forrásként. Ennek előnye abban áll, hogy a konverterben általában disszipált hőenergiát visszanyerjük, ami nagyságrendben a sugár energiájának 70 %-a.

Fontos megjegyezni, hogy bár a reaktor szubkritikus és gamma sugarak által működik, a termelt neutronok mégis mind gyors, mind lassú neutron okozta hasadásokat indukálnak, ugyanúgy, mint bármelyik hagyományos reaktorban. Ezek a neutron reakciók további energiatermelést eredményeznek, ezáltal megemelik a tervezés során 1/20 értéken megállapított input/output arányt.

A 3. ábra az U^{238} fotonukleáris keresztmetszetét és a konkurens (γ, n) , $(\gamma, 2n)$, (γ, f) és (γ, total) reakciókat mutatja. Jegyezzük meg, hogy az előnyben részesített energiaszintnél, 10 MeV-nál a két fotonukleáris reakció a (γ, n) és a (γ, f) .

A 4. ábra az Np^{237} , az U^{238} és a Th^{232} , míg az 5. ábra a Pu^{239} teljes fotonukleáris keresztmetszetét mutatja. Hasonlítsák össze a 4. és az 5. ábrán bemutatott keresztmetszeteket, és jegyezzék meg, hogy a keresztmetszetek csaknem azonosak; mindössze mintegy 10 % az eltérés. Ez igen fontos, mivel a foton forrás nem képes különbséget tenni a négy fűtőanyagforrás között. A teljesítmény tehát ugyanaz, akár U^{238} , Th^{232} , Np^{237} , Pu^{239} vagy bármely más foton általi hasadásra alkalmas anyaggal fűtjük.

A 6. ábra az U^{238} izotóp tényleges foton okozta hasadással előállított termékeinek gamma spektroszkópos elemzésének elemzését mutatja. Csak a Na^{22} , Kr^{85} és a Cs^{135} izotópok hosszú élettartamúak, amelyek a fotonok hatására lebomlottak, amikor folyamatos 10 MeV-os fotonáramnak tették ki őket.

A számítások azt mutatják, hogy a hasadási hulladékok hatékony (γ, n) elhamvasztása 10^{18} γ/cm^2 gamma fluxust igényel azért, hogy a lebomlási időt 180-szorosan meggyorsítsuk.

A besugárzás közben a (γ, n) reakcióban résztvevő atommagok számát az alábbi differenciálegyenlettel határozhatjuk meg:

$$\frac{dN_i}{dt} = -(\lambda_i + \sigma_i \phi) N_i + \sum_{j \neq i}^{N_a} (\lambda_{ji} + \sigma_{ji} \phi) N_j,$$

$i=1, 2, \dots, N_a$

(Eq. 8)

ahol

N_i = az i -edik atommag száma,

λ_i = az i -edik atommag lebomlási állandója,

σ_i = az i -edik atommag teljes fotonukleáris keresztmetszete,

λ_{ji} = a j -eikből az i -edikbe átalakuló atommag lebomlási állandója,

ϕ = a γ -sugárzás fluxusa,

N_a = a modellben tekintetbe vett atommagok száma.

Mátrix ábrázolást felhasználva a (8) egyenlet az alábbi módon is írható:

$$\frac{dN}{dt} = A \cdot N$$

(Eq. 9)

ahol

$$-(\lambda_i + \sigma_{ji} \phi) \quad (i = j)$$

$$A_{ji} = \{\lambda_{ji} + \sigma_{ji} \phi\} \quad (i \neq j)$$

Az atommagok N mátrixa $t = \Delta t$ időpontban megkapható Taylor-sorfejtéssel:

$$N(t + \Delta t) = N(t) + \sum_{r=1} (\Delta t)^r / r! dN^{(r)}(t) / dt,$$

(Eq. 10)

ahol

$dN^{(n)}(t)/dt$ - $N(t)$ r -edik deriváltja

A (9) és (10) egyenlet kombinálásával megkaphatjuk $N(t+\Delta t)$ -t, az alábbiak szerint:

$$N(t + \Delta t) = N(t) + \sum_{r=1} (\Delta t)^r / r! A^r N(t)$$

(Eq. 11)

Az A mátrix kétféle adatot foglal magában: a lebomlási állandókat és a fotonukleáris keresztmetszeteket.

A nikkelle jutó gyors neutronok a $Ni^{58} (n, \gamma) Ni^{59}$ reakcióból eredő 5 – 9 MeV energiájú Compton-féle szétszórt gamma-sugarakat eredményeznek. Alkalmazásunkban, ha a reaktor olyan konverter anyagot tartalmaz, mint a nikkelle, ez olyan, mintha minden alkalommal, amikor nikkellel történik ütközés, egy-egy „ismétlő állomást” helyeznénk el. Például, ha a reaktor nikkelle rétegeket és U^{238} -at tartalmaz:

1. A gyorsító 10 MeV energiájú, az urán céltárgyat besugárzó gamma-sugarakat állít elő, gyors neutronokat eredményező foton által okozott hasadás létrehozására;
2. A gamma-sugarak gyengülése, amikor áthaladnak az első uránrétegen, energiájukat a (γ, n) reakcióhoz szükséges küszöbérték alá csökkenti; és
3. a gyors neutronok abszorpciója az első nikkelle rétegben 5–9 MeV energiájú gamma-sugarakat állít elő, amelyek a következő uránium rétegben foton okozta hasadást eredményez.

Ennek a rétegzett megközelítésnek felhasználásával nincs korlátozása annak, hogy milyen vastag lehet a reaktor magja, mivel a gyorsító sugár minden egyes nikkelle rétegben folytonosan erősödik.

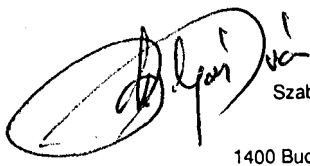
A fent leírt módon „ismétlő állomásként” használt nikkelle mellett, vagy helyette más elemek vagy azok vegyületei, vagy keverékei is felhasználhatók, például kén, diszprózium, yttrium, kalcium, titán, berillium, mangán, ólom, vas, alumínium vagy réz.

Bár a jelen találmányt a fentiekben konkrét eszközökre, anyagokra és kiviteli példákra utalva írtuk le, magától értetődik, hogy a találmány nem korlátozódik az itt feltárt részletekre, hanem ehelyett kiterjed minden ekvivalens megoldásra az alább következő igénypontok által meghatározott terjedelemben.

Szabadalmi igénypontok

- 1.) Fűtőberendezés energia kinyerésére kiegészített nukleáris hulladékból, a fejlesztett hőenergia kinyerésére szolgáló hőcserélő rendszerrel felszerelve, **azzal jellemezve**, hogy fő részei egy, a kritikus nukleáris tömeg alatti töltettel működő nukleáris reaktor /2/, melynek radioaktív izotópok képezik a töltetét, továbbá az elektronokat 5 -30 MeV energiaszintre gyorsító elektrongyorsító/1/, melynek elektronsugárzása a nukleáris reaktor izotóp töltetére van irányítva.
- 2.) Az 1.igénypont szerinti fűtőberendezés azzal jellemezve, hogy a töltetet alkotó izotópok nukleáris tüzelőanyagból származnak.
- 3.) Az 1 vagy 2.igénypont szerinti fűtőberendezés azzal jellemezve, hogy az izotópok a következő izotópok: Np237, Np238, Pa231, Pa232, Pu238, Pu239, Pu241, Th232, Th227, U231, U233, U235, U238, tetszés szerinti csoportjai.
- 4.) Az 1.-3.igénypontok bármelyike szerinti fűtőberendezés azzal jellemezve, hogy a töltet tartalmaz olyan csökkent atommag tömegű izotópokat, melyek izotóp magoknak a besugárzás hatására bekövetkező emissziója következtében keletkeztek.
- 5.) Az 1.-4.igénypontok bármelyike szerinti fűtőberendezés azzal jellemezve, hogy a besugárzás következtében a fotóhasadt fregmentumok emissziója is jelen van a rendszerben.
- 6.) Az 1.-5.igénypontok bármelyike szerinti fűtőberendezés azzal jellemezve, hogy a töltet izotópjainak besugárzása következtében fellépő gyors neutronok, (γ , α) reakcióval, gamma sugárrá konvertálására a reaktor konvertáló anyagokat tartalmaz.
- 7.) A 6.igénypont szerinti fűtőberendezés azzal jellemezve, hogy a konvertáló anyag az alábbi anyagok: nikkel, kén, diszprózium, ittrium, kalcium, titán, berillium, mangán, ólom, vas, alumínium, és réz, valamelyike.
- 8.) Eljárás energia kinyerésére kiegészített nukleáris hulladékból az abban maradt hasadóképes komponensek energiájának kinyerésével és az így fejlesztett hőenergia hőcserélő rendszerrel történő továbbításával, azzal jellemezve, hogy nukleáris reaktorba /2/ radioaktív izotópok a kritikus határ alatti mennyiségét helyezzük el, elektronokat elektrongyorsítóval /1/ az 5-30 MeV energiaszintre gyorsítunk és a felgyorsított elektronok sugárnyalábjával a reaktor töltetét képező izotópokat besugározzuk s ezáltal hőenergiát termelünk, majd utóbbit hőcserélő rendszerben nyerjük vissza hasznosításra.
- 9.) A 8.igénypont szerinti eljárás azzal jellemezve, hogy a reaktor töltetének nukleáris tüzelőanyagból származó izotópokat használunk.

- 10.) A 8 vagy 9.igénypontok szerinti eljárás azzal jellemezve, hogy a radioaktív izotópoknak a következő izotópok: Np237, Np238, Pa231, Pa232, Pu238 a Pu239, Pu241, Th232, Th227, U231, U233, U235, U238, tetszés szerinti csoportját alkalmazzuk
- 11.) A 8 - 10.igénypontok bármelyike szerinti eljárás azzal jellemezve, hogy a gyorsított elektronokkal besugárzott izotópok atommagjaiban emissziót idézünk elő, ezáltal új, kisebb atomsúlyú izotópokat állítunk elő.
- 12.) A 8 - 11.igénypontok bármelyike szerinti eljárás azzal jellemezve, hogy a gyorsított elektronokkal besugározzuk az izotópokat, és így azokban "photofission", fotonhasadási, fotonbomlási emissziót idézünk elő.
- 13.) A 8 - 12.igénypontok bármelyike szerinti eljárás azzal jellemezve, hogy a gyorsított elektronokkal besugározzuk az izotópokat, a töltet izotópjainak besugárzása következtében fellépő gyors neutronokat (γ , α) reakcióval gamma sugárrá konvertáljuk a reaktorban elhelyezett konvertáló anyagok segítségével.
- 14.) A 13.igénypont szerinti eljárás azzal jellemezve, hogy a konvertáló anyagként az alábbi anyagok: nikkel, kén, diszprózium, ittrium, kalcium, titán, berillium, mangán, ólom, vas, alumínium, és réz, valamelyikét alkalmazzuk.

 **Dr. Polgár Iván**
Szabadalmi és Védjegy Iroda
szabadalmi ügyvivő
1400 Budapest, Pf.: 21. Tel.: 311-4955


2003. 06. 16.



KÖZZÉTÉTELI PÉLDÁNY

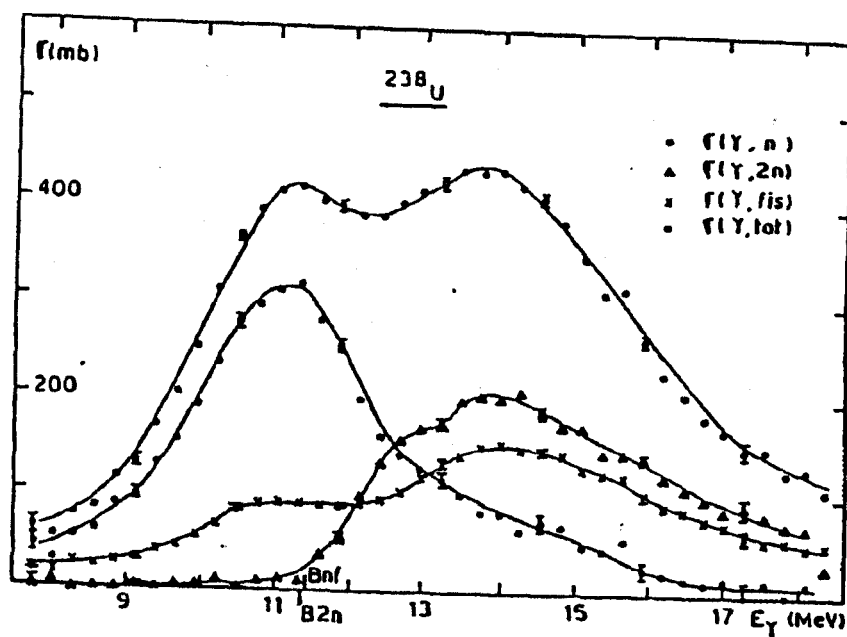


FIG. 3

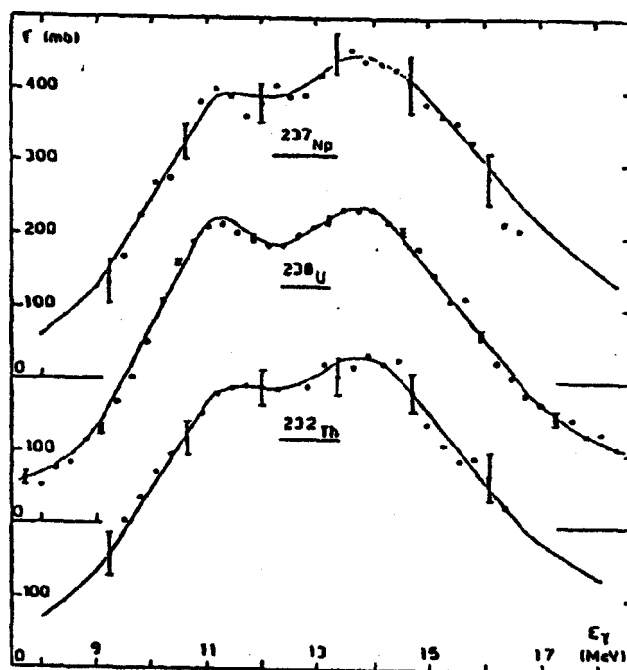


FIG. 4

KÖZZÉTÉTELI PÉLDÁNY

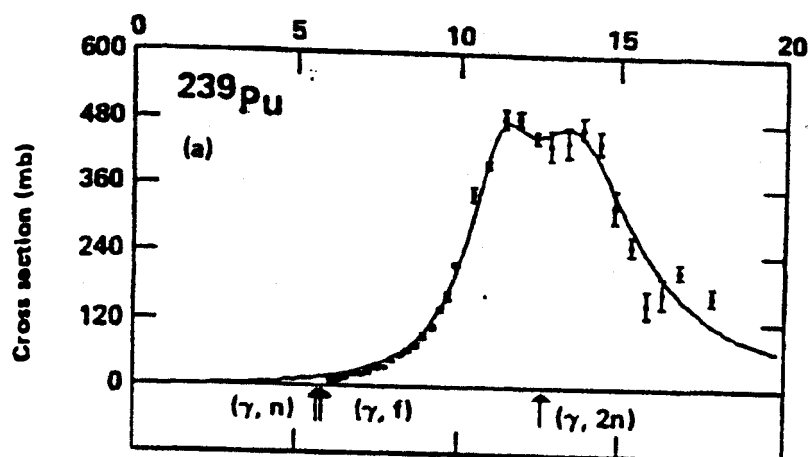


FIG. 5

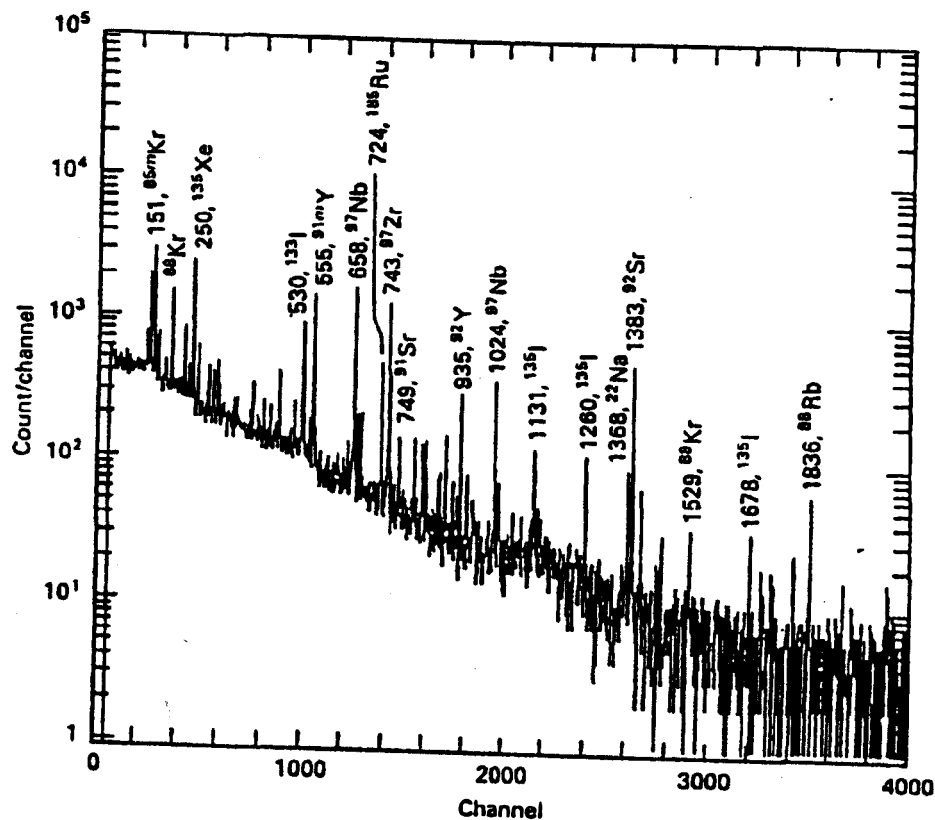


FIG. 6