



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2017 01157**

(22) Data de depozit: **16/06/2016**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **29/04/2021** BOPI nr. **4/2021**

(30) Prioritate:

22/06/2015 DE 2,895,622

(41) Data publicării cererii:

30/07/2018 BOPI nr. **7/2018**

(86) Cerere internațională PCT:

Nr. **EP 2016/063880** **16/06/2016**

(87) Publicare internațională:

Nr. **WO 2016/207054** **29/12/2016**

(73) Titular:

• **FRAMATOME GmbH, PAUL GOSSEN**
STRASSE 100, ERLANGEN, DE

(72) Inventatori:

• **COOPER WILLIAM HENRY, 925 BROCK**
ROAD., L1W 2X9, PICKERING, ONTARIO,
CA

(74) Mandatar:

PETOSEVIC S.R.L., STR.DIONISIE LUPU
NR.54, ET.2, SECTOR 1, BUCUREȘTI

(56) Documente din stadiul tehnicii:

EP 2093772 A2; US 2013/0170927 A1

(54) **PROCEDEU DE REALIZARE A RADIOIZOTOPILOR
UTILIZÂND O CENTRALĂ NUCLEARĂ DE TIPUL CU APĂ
GREA**



1 Prezenta dezvăluire se referă, în general, la radioizotopi și, mai specific, la un proce-
deu de realizare a surselor de radioizotopi utilizând o centrală nucleară de tipul cu apă grea.

3 Radioizotopii sunt utilizați în diverse domenii, cum ar fi industrie, cercetare, agricul-
tură și medicină. Radioizotopii artificiali sunt produși în mod obișnuit prin expunerea unui
5 material țintă adecvat la fluxul de neutroni într-un ciclotron sau într-un reactor nuclear de
cercetare pentru un timp adecvat. Locațiile de iradiere din reactoarele nucleare de cercetare
7 sunt costisitoare și vor deveni și mai limitate în viitor datorită închiderii reactoarelor datorită
vechimii. Molibdenul-99 (Mo-99) este deosebit de util în domeniul medical și se dorește să
9 se ofere locații de producție alternative pentru Mo-99 și alți radioizotopi.

EP 2 093 773 A2 prezintă un sistem de generare a radionuclizilor, în care radio-
11 izotopii pe termen scurt având aplicații medicale sunt generați prin fisiune nucleară într-un
reactor nuclear cu apă ușoară, comercial. Tuburile de instrumentație existente, din interiorul
13 limitei de presiune a vasului reactor și din bucla cu agent de răcire primar, utilizate în mod
convențional pentru găzduirea detectoarelor de neutroni, sunt utilizate pentru generarea
15 radionuclizilor în timpul funcționării normale a reactorului. Țintele sferice sunt împinse liniar
în și scoase din tuburile de instrumentație. În timp ce profilul axial al fluxului de neutroni al
17 miezului reactorului este considerat a fi cunoscut sau calculabil, poziția optimă și cantitatea
de timp de expunere a țintelor în miezul reactorului sunt determinate pe baza cel puțin a
19 acestui parametru. Pentru deplasarea și menținerea țintelor poate fi utilizat un sistem de
antrenare cu roți dințate, un acționator sau o transmisie pneumatică. Un sistem automat de
21 control al fluxului menține sincronizarea între toate subsistemele acestui sistem de măsurare
cu bilă.

23 Sisteme similare sunt cunoscute, de asemenea, din brevetele **US 8 842 798 B2** și
US 2013/0170927 A1, care descriu în mod specific mai multe exemple de realizare a siste-
25 mului de antrenare (trasee și mecanisme de transport pentru ținte), de exemplu, bazate pe
un sistem TIP existent (sondă traversând miezul la interior) în interiorul limitei de presiune
27 a vasului reactor cu apă ușoară. O componentă, precum o supapă opritor sau o supapă de
închidere, poate fi utilizată în legătură cu distribuirea țintelor în anumite momente de timp și
29 într-o manieră particulară. **US 2013/0315361 A1** sugerează o supapă pentru etanșarea unei
baze a unui tub de instrumentație. Sunt prevăzute trasee alternative pentru a păstra accesul
31 la mecanismele de indexare a tuburilor TIP existente sau pentru a oferi direcționarea
alternativă către destinațiile dorite din interiorul limitei de presiune a vasului reactorului. În
33 **US 2013/0177126 A1** este prezentat un ansamblu de reținere care include o structură de
restricționare ca o furcă pentru mișcarea selectivă de blocare a țintelor de iradiere pe un
35 traseu și/sau în/din tuburile de instrumentație.

Densitatea fluxului de neutroni din miezul unor reactoare nucleare comerciale este
37 măsurată, printre altele, prin introducerea unor sonde sferice solide ("aero-bile") ale unui sis-
tem de măsurare cu bilă în tuburi de instrumentație care trec prin miezul reactorului, folosind
39 gaz sub presiune pentru antrenarea aero-bilelor. Acest sistem de măsurare cu bilă este
descriș, de exemplu, în brevetul **US 3263081**.

41 Este prevăzut un procedeu de realizare a radioizotopilor utilizând un reactor cu apa
grea sau o centrală nucleară de tipul cu apă grea. Invenția se bazează pe descoperirea că
43 centralele nucleare existente sau viitoare, al căror scop principal este/va fi generarea de
energie electrică, pot fi utilizate pentru producerea radioizotopilor. Exemplul de realizare
45 preferat utilizează un reactor cu apă grea sub presiune de tip CANDU (CANada Deuteriu
Uraniu).

Acest procedeu include introducerea țintelor într-un moderator de apă grea al reactorului cu apă grea printr-un tub de ghidare într-o gură din puntea cu mecanism de reactivitate a reactorului cu apă grea. Reactorul cu apă grea funcționează pentru iradierea țintelor pentru a transforma țintele într-un radioizotop. Procedeu include apoi îndepărtarea radioizotopului prin puntea cu mecanism de reactivitate.

De asemenea, este prevăzut un reactor nuclear cu apă grea. Reactorul nuclear cu apă grea include o incintă a miezului de reactor; o multitudine de tuburi de presiune în incinta miezului de reactor, incluzând fascicule de combustibil, agent de răcire primar pentru apa grea care curge din exteriorul incintei miezului de reactor prin multitudinea de tuburi de presiune, incinta miezului de reactor incluzând moderatorul de apă grea separat de multitudinea de tuburi de presiune; și o punte cu mecanism de reactivitate poziționată deasupra incintei miezului de reactor, puntea cu mecanismul de reactivitate incluzând o gură care se extinde prin aceasta, gura găzduind un tub de ghidare care include ținte configurat pentru a transforma țintele într-un radioizotop după expunerea la radiația emisă de fasciculele de combustibil. Reactorul nuclear cu apă grea poate include un reactor cu tub de presiune care este limita de presiune a buclei de agent de răcire primar cu o multitudine de tuburi de presiune (denumite și canale de combustibil) în miez incluzând fascicule de combustibil. Agentul de răcire primar al apei grele curge din conductele de alimentare prin tuburile de presiune. Vasul calandria conține moderatorul de apă grea și se află în afara limitei de presiune a buclei de agent de răcire primar. Centrala nucleară include, de asemenea, o punte cu mecanism de reactivitate poziționată deasupra incintei miezului reactorului cu tuburi de presiune. Puntea cu mecanism de reactivitate include o gură care se extinde prin aceasta. Gura găzduiește un nou tub de ghidare care include ținte configurate pentru a transforma țintele într-un radioizotop după expunerea la radiația emisă de fasciculele de combustibil. Noul tub de ghidare formează o limită de presiune cu sistemul moderator cu temperatură și presiune mai scăzute și nu cu bucla cu agent de răcire primar cu presiune și temperatură ridicate care conține fasciculele de combustibil.

Problema tehnică pe care o rezolvă prezenta invenție constă în producerea unei cantități semnificative de radioizotopi în timpul funcționării normale a unui reactor cu apă grea, fără impact semnificativ asupra riscului operațional.

Soluția oferită de prezenta invenție la această problemă se realizează prin oferirea unui procedeu de realizare a surselor de radioizotopi utilizând un reactor cu apă grea și respectiv, printr-un reactor nuclear cu apă grea. Se oferă o modalitate de introducere și extragere a țintelor într-o centrală nucleară de tipul cu apă grea care poate fi realizată în timpul funcționării centralei. Un tub de ghidaj este prevăzut în moderator, o zonă care este în afara tuburilor de presiune ale buclei de agent de răcire primar, care este separat de fasciculele de combustibil.

Avantajele invenției în raport cu stadiul tehnicii sunt:

- procedeul și reactorul conform invenției permit producerea unei cantități semnificative de radioizotopi utilizând un reactor cu apă grea sau un reactor nuclear de tipul cu apă grea, ce poate înlocui producția prin reactoarele de cercetare costisitoare sau limitată din cauza închiderii reactoarelor învechite;
- producerea de radioizotopi are loc în timpul funcționării normale a centralelor nucleare; iradierea țintelor se face cu un flux de neutroni generat de reactorul cu apă grea în funcționare, fără impact semnificativ asupra riscului operațional;
- reactorul nuclear cu apă grea conține cel puțin o gură de moderator, care la rândul ei găzduiește un tub de ghidare incluzând ținte configurate pentru a transforma țintele într-un radioizotop după expunerea la radiația emisă de fasciculele de combustibil;

1 - ca un avantaj suplimentar, utilizarea gurilor de vizitare existente sau a altor guri de
rezervă pentru a furniza ținte nu necesită îndepărtarea vreunui echipament care este
3 frecvent utilizat în timpul funcționării centralei și, astfel, nu necesită modificări semnificative
ale reactorului pentru a produce radioizotopi.

5 Prezenta invenție este descrisă mai jos cu referire la următoarele desene, în care:

7 - fig. 1, prezintă un ansamblu reactor CANDU6 obișnuit care ar iradia țintele în conformitate
cu un exemplu de realizare a prezentei invenții;

9 - fig. 2, prezintă o vedere laterală în secțiune transversală parțială a unui vas
calandria al reactorului cu apă grea prezentat în fig. 1;

11 - fig. 3, prezintă o vedere de sus a unui CANDU6 obișnuit al reactorului cu apă grea
prezentat în fig. 1, care prezintă locațiile gurilor de vizitare, ilustrând schematic locațiile
unităților de control al reactivității dintr-o punte de mecanisme de reactivitate poziționată
13 deasupra vasului calandria;

15 - fig. 4, prezintă o vedere de capăt a unui CANDU6 obișnuit al reactorului cu apă grea
prezentat în fig. 1, care prezintă locația gurii de vizitare;

17 - fig. 5, prezintă o punte cu mecanismele de reactivitate ale unui CANDU6 obișnuit
al reactorului cu apă grea prezentat în fig. 1, care prezintă locația gurii de vizitare;

19 - fig. 6, prezintă o vedere de capăt a unui CANDU6 obișnuit al reactorului cu apă grea
prezentat în fig. 1, arătând locația gurii de vizitare cu un nou tub de ghidare a producției de
radioizotopi pe poziție, în conformitate cu un exemplu de realizare a prezentei invenții;

21 - fig. 7, prezintă noul ansamblu de tub de ghidare a radioizotopilor prezentat în fig.
6, cu vederi mărite ale porțiunilor acestuia;

23 - fig. 8, prezintă secțiuni ale distribuitorului, tubului cu bilă și detaliile tubului de
limitare a presiunii ale noului ansamblu de tuburi de ghidare a radioizotopilor, prezentat în
25 fig. 7;

27 - fig. 9, prezintă o vedere în secțiune a porțiunii inferioare de pe noul ansamblu de
tub de ghidare a producției de radioizotopi, prezentat în fig. 7;

29 - fig. 10, prezintă o densitate tipică a fluxului de neutroni a miezului CANDU;

- fig. 11, prezintă o secțiune transversală pentru capturarea de neutroni în Mo-98
prezentând vârfuri de rezonanță.

31 Centralele nucleare de tipul cu apă grea, în special reactoarele cu apă grea sub
presiune CANDU, au un flux foarte ridicat de neutroni termici și un flux de neutroni epi-termici
33 de nivel ridicat pe o gamă largă de rezonanță care este capabilă să activeze ținte non-uraniu
cu captură de neutroni. O astfel de captură de neutroni reduce considerabil deșeurile creat
35 pentru obținerea radioizotopilor și are capacitatea de a produce cantități semnificative de
radioizotopi, cum ar fi Mo-99, pentru a înlocui producția de la reactoarele de cercetare
37 îmbătrânite atunci când acestea sunt retrase.

Au fost realizate mai multe studii privind modificarea fasciculelor de combustibil
39 CANDU conținute în tuburile de presiune ale buclei de agent de răcire primar, în primul rând
pentru a include țintele de iradiere care permit producerea de izotopi. Aceasta implică utili-
41 zarea mașinilor de alimentare cu combustibil în linie pentru a introduce și a extrage fascicu-
lele de combustibil modificat, care creează riscuri operaționale pentru reactor, deoarece
43 funcțiile de alimentare cu combustibil prevăd restricții asupra unităților de operare și pot
crește riscul unei declanșări a reactorului din cauza unor evenimente inadecvate. Utilizarea
45 fasciculelor de combustibil modificate necesită, de asemenea, modificări substanțiale în
proiectarea centralei pentru a aborda fasciculul de combustibil modificat și pentru a scoate
47 fasciculul de combustibil din baia de combustibil consumat pentru extracția izotopilor.

Fig.1 prezintă un ansamblu tipic de reactor CANDU6 în conformitate cu un exemplu de realizare a prezentei invenții. În acest exemplu de realizare, acesta este un reactor cu apă grea sub presiune CANDU, dar în alte exemple de realizare poate fi un alt tip de reactor cu apă grea. Ansamblul tipic de reactor CANDU6 are limite de presiune separate clasificate drept bucla de răcire primară în care este conținut combustibilul, moderatorul care încetinește neutronii, care este un sistem separat, izolat de bucla de răcire primară și scutul de capăt care asigură ecranarea radiației și susține canale de combustibil ale buclei de răcire primare. Componentele buclei de răcire primare prezentate în fig.1 constau din racordurile de capăt ale canalelor de combustibil 10 și conductele de alimentare 11. Componentele sistemului moderator prezentate în fig.1 sunt vasul calandria 1, carcasa vasului calandria 2, tuburile calandria 3, filtrul de admisie-evacuare 8, ieșirea moderatorului 12, conducta de admisie a moderatorului 13, conducta până la rezervorul capului de expansiune al moderatorului 18, conductele de descărcare din moderator 20, discul de rupere 21, duzele vasului calandria pentru unitățile de control al reactivității 22 și placa de tuburi calandria 29. Scutul de capăt include inelul încorporat în scutul de capăt 4, placa de tuburi de alimentare 5, tubul grătarului scutului de capăt 6, țevile de răcire ale scutului de capăt 7 și protecția bilei din oțel 9. Gurile care penetrează sistemul moderator includ gurile pentru unitățile de detectare a fluxului orizontal și unitățile de injecție a lichidului 14, camerele de ioni 15, gurile de vizitare 23, unitatea de oprire 24, unitatea de reglare 25, unitatea absorbitor de control 26, unitatea de control a zonei de lichid 27 și unitatea detector de flux vertical 28. Ansamblul este găzduit într-un perete boltă al reactorului din beton 17, cu plăci de ecranare 19, iar întregul ansamblu este protejat împotriva evenimentelor seismice cu elemente de fixare la cutremur 16.

Carcasa miezului de reactor prezentată în fig.1 este sub forma unui vas calandria 1, care este delimitat de o carcasă cilindrică orizontală 2. O multitudine de tuburi calandria 3 sunt găzduite în interiorul carcasei vasului calandria 2. Apa grea din moderator curge în și din volumul interior al vasului calandria 1 prin conductele 12, 13 delimitate între suprafața interioară a carcasei 2 a vasului calandria, suprafețele exterioare ale tuburilor calandria 3 și placa de tuburi calandria 29. Bucla cu agent de răcire primar, care conține fasciculele de combustibil, este separată fizic și curge de la conductele de alimentare 11, prin racordul de capăt al canalului de combustibil 10 și în jos la tubul de presiune (cunoscut și drept canalul de combustibil care conține fasciculul de combustibil) și în afara racordului de capăt opus al canalului de combustibil 10 și în conducta de alimentare 11 opusă. Așa cum este prezentat schematic în vederea în secțiune transversală parțială din fig.2, moderatorul de apă grea este conținut în interiorul volumului delimitat între suprafața interioară a carcasei 2 a vasului calandria, suprafețele exterioare ale tuburilor calandria 3 și placa de tuburi calandria 29. Fiecare tub calandria 3 înconjoară un tub de presiune (cunoscut și drept canal de combustibil) 44 care găzduiește o multitudine de fascicule de combustibil 51 în acesta. Tuburile calandria 3, împreună cu un spațiu inelar umplut cu gaz 48 menținut de distanțierele elastice cu manșetă 46, asigură un tampon între tuburile de presiune 44 și apa grea din moderator astfel încât agentul de răcire primar al apei grele încălzite în tuburile de presiune 44 nu fierbe în moderatorul de apă grea. Agentul de răcire primar curge în tuburile de presiune 44 dintr-o ramură rece al unei bucle de agent de răcire primar dintr-o conductă de alimentare 11 într-un racord de capăt 10 și curge pentru a primi căldură de la fasciculele de combustibil 51, apoi iese din tuburile de presiune 44 la racordul de capăt opus 10 și în afara conductei de alimentare 1 la o ramură fierbinte a buclei de agent de răcire primar pentru a curge printr-un generator de abur situat în aval în ramura fierbinte. Dopurile de închidere 52 se află pe fiecare racord de capăt 10 pentru a permite alimentarea directă.

Referindu-ne din nou la fig. 1, aceasta include suplimentar conducte de admisie de la moderatorul **13** pentru furnizarea de apă răcită de la un circuit principal moderator, conducte de evacuare din moderator **12** pentru furnizarea de apă încălzită în moderator înapoi la circuitul principal moderator pentru conductele de răcire și descărcare de presiune **20** pentru reducerea presiunii din interiorul carcasei vasului calandria **2**. O multitudine de unități de detectare a fluxului de neutroni **14**, care se extind orizontal, se extind orizontal prin vasul calandria **1** pentru a monitoriza fluxul de neutroni în vasul calandria **1** în timpul funcționării reactorului. Prin miez se extind vertical o multitudine de unități de control al reactivității.

Fig. 3 prezintă o vedere plană de sus care ilustrează schematic locațiile unităților de control al reactivității într-o punte de mecanisme de reactivitate **45** poziționată deasupra vasului calandria **1**. Puntea de mecanisme de reactivitate cuprinde toate unitățile de control al reactivității care se extind sub puntea mecanismului de reactivitate și penetrează vasul calandria **1** pe deasupra. Din fig. 1, unitățile de control al reactivității includ unitățile de detectare a fluxului de neutroni **28** care se extind vertical, unitățile de control al zonei de lichid **27**, unitățile de reglare **25**, unitățile absorbitor de control **26** și unitățile de oprire a reactorului **24**, care toate trebuie să fie disponibile și capabile să funcționeze în timpul operațiunii. Pe lângă unitățile de control al reactivității, puntea mecanismului de reactivitate **45** include de asemenea două guri de vizitare **23** care se extind prin aceasta. O primă gură de vizitare **49**, adică o gură de inspectare a fluxului ridicat, este aliniată cu o regiune de flux ridicat a miezului reactorului, iar o a doua gură de vizitare **50**, adică o gură de inspectare a fluxului redus, este aliniată cu o regiune de flux scăzut a miezului de reactor. Gurile de vizitare **49**, **50** sunt utilizate în timpul inspectării periodice pentru a monitoriza coroziunea și uzura reactorului în două regiuni expuse unor niveluri diferite de flux neutronic.

Fig. 4 prezintă o vedere laterală în secțiune transversală, care ilustrează poziționarea punții mecanismelor de reactivitate **45** deasupra vasului calandria **1** cu locația gurii de vizitare **23**. O mufă existentă **53** este pe poziție în gura de vizitare pentru a permite introducerea unui tub de ghidare pentru a monitoriza fluxul de neutroni în timpul pornirii inițiale a reactorului atunci când este introdus combustibil nou în reactor. Un tub de ghidare din aluminiu este prevăzut în mod obișnuit cu detectoare de fluorură de bariu care au o sensibilitate foarte ridicată la fluxul de neutroni. Odată ce reactorul este pornit și fluxul de neutroni este detectat de către detectorul de fluorură de bariu, tubul de ghidare din aluminiu este îndepărtat. Lăsarea tubului de ghidare din aluminiu în timpul funcționării normale ar conduce la deteriorarea permanentă. După pornirea inițială, sunt disponibile gurile de vizitare pentru introducerea tuburilor de ghidare pentru producția de radioizotopi.

Fig. 5 prezintă puntea cu mecanismele de reactivitate **45** cu locația gurii de vizitare **23**, precum și locația relativă față de unitatea de închidere **24**, unitatea de reglare **25**, unitatea absorbitor de control **26**, unitatea de control a zonei de lichid **27** și unitățile detector de flux vertical **28**.

Fig. 6 prezintă o vedere laterală în secțiune transversală, care ilustrează poziționarea punții mecanismelor de reactivitate deasupra vasului calandria cu poziția gurii de vizitare **23**. O mufă **53** existentă este pe poziție în gura de vizitare pentru a permite introducerea unui tub de ghidare, iar noul tub de ghidare a producției de radioizotopi **30** este prezentat inserat.

Fig. 7 prezintă întregul ansamblu de tub de ghidare a producției de radioizotopi **30**, incluzând distribuitoarele **36**, peretele despărțitor **31** și flanșa superioară **32**. Secțiunea superioară este un tub gol solid **33** cu un manșon de susținere **34** poziționat la mijloc. În acest exemplu de realizare, secțiunea de fund este perforată cu o multitudine de orificii **35** care se extind radial, pentru a permite apei din moderator să curgă în și din tubul de ghidare **30** de-a

lungul tuburilor de limitare a presiunii **39** (fig.8 și 9), însă poate fi fără orificii și/sau poate forma tubul de limitare a presiunii dacă este folosit un sistem alternativ de livrare. Fundul are un vârf de ghidare **40** pentru a permite poziționarea în interiorul vasului calandria. Tubul de ghidare **30** are aproximativ 46 picioare (14 metri) în lungime și 3,5 inch (9 centimetri) în diametru.

Fig. 8 prezintă secțiuni ale unuia dintre ansamblurile de tuburi de limitare a presiunii **39** completat cu distribuitorul **36** prezentat în fig.7. Distribuitorul **36** include un tub cu bilă **38** care formează o suprafață radială interioară a acestuia și un tub de limitare a presiunii **39** care formează o suprafață radială exterioară a acestuia. Distribuitorul **36** asigură capacitatea de a avea țintele **37** livrate în și din tubul cu bilă **38** prin acționarea pneumatică **41** și **42** din sistemul de livrare. Vederea din stânga arată o porțiune superioară a tubului de limitare a presiunii **39** completată cu distribuitorul **36**, iar vederea din dreapta arată fundul tubului de limitare a presiunii **39**. Țintele **37** sunt livrate prin sistemul de livrare propus în brevetul U.S. **3,263,081**, prin intermediul distribuitorului **36**. Țintele **37** merg în jos în gura **55** pe distribuitorul **36** și în tubul cu bilă **38** prin presiunea pneumatică **41** care împinge țintele **37** în jos până când acestea se opresc la fundul tubului cu bilă **38** prin lovirea opritorului cu bilă **54**. Opritorul cu bilă **54** are goluri pentru a permite presiunii pneumatice să treacă cu ușurință prin opritorul cu bilă **54** atât în direcția ascendentă, cât și cea descendentă. După perioada de iradiere, presiunea pneumatică este inversată prin aplicarea presiunii pneumatice **42** pe gura alternativă **56** de pe distribuitorul **36** în jos pe tubul de limitare a presiunii **39** și apoi revine în sus până la tubul cu bilă **38** de la fund, peste opritorul cu bilă **54** și împinge țintele **37** prin tubul cu bilă **38** și în sus și în afara distribuitorului **36**. Tubul individual de limitare a presiunii **39** este etanșat față de limita de presiune a sistemului de moderare și găzduiește tubul cu bilă **38** și opritorul cu bilă **54** în el. În acest exemplu de realizare, așa cum este prezentat în fig. 7, pot exista multe tuburi de limitare a presiunii **39** în interiorul unui tub de ghidare **30**, în funcție de producția cerută anticipat de radioizotopi. Diametrul țintelor este în mod normal de 2 mm, dar poate varia în funcție de radioizotopul în cauză până la câțiva centimetri. Diametrele exterioare ale țintelor **37** definesc diametrul interior al tubului cu bilă **38** cu un spațiu mic pentru a permite ușurința mișcării țintelor **37**. Diametrul exterior al tuburilor cu bilă **38** definește în schimb diametrul interior al tubului de limitare a presiunii **39**, cu un spațiu radial prezent între tuburile cu bilă **38** și tubul de limitare a presiunii **39** pentru a permite aerului să circule în jos în direcția axială între tuburile cu bilă **38** și tubul de limitare a presiunii **39**. Prin urmare, diametrul țintelor **37** limitează, în cele din urmă, valoarea maximă a tuburilor de limitare a presiunii **39** per tub de ghidare **30** (vezi fig. 7) sau că tubul de ghidare **30** formează el însuși tubul de limitare a presiunii **39**.

Fig. 9 prezintă o vedere în secțiune a porțiunii inferioare a tubului de ghidare a producției de radioizotopi, prezentând mai multe, cinci în acest exemplu, tuburi de limitare a presiunii **39**, fiecare cuprinzând un tub cu bilă **38** în acesta având un diametru exterior suficient de distanțat față de diametrul interior al respectivei limite de presiune înconjurătoare **39**. Două dintre tuburile de limitare a presiunii **39** sunt prezentate din exterior și două dintre tuburile de limitare a presiunii sunt prezentate în secțiune transversală completă. Cel de-al cincilea tub de limitare a presiunii **39** este prezentat în secțiune transversală parțială, ilustrând o secțiune transversală interioară a tubului cu bilă **38** respectiv cu opritorul cu bilă **54** care susține țintele **37**. De asemenea, este prezentată o placă de distanțare **43** pentru proiectare seismică care va fi distanțată corespunzător de-a lungul lungimii tubului de ghidare **30**. Vârful de ghidare **40** este, de asemenea, prezentat.

Fig. 10 prezintă o densitate tipică a fluxului de neutroni al unui miez CANDU. Acesta are un flux foarte mare de neutroni termici și un flux constant de neutroni termici epi-termici pe o gamă largă de rezonanță care este capabilă să activeze ținte non-uraniu cu captură de neutroni.

Fig. 11 prezintă secțiunea transversală pentru captarea neutronilor în Mo-98, prezentând vârfurile de rezonanță bine în interiorul din domeniul larg al fluxului de neutroni al unui reactor cu apă grea sub presiune de tip CANDU.

Prezenta dezvăluire poate fi utilizată pentru producerea unei surse de radioizotop, care, într-o formă de realizare preferată este Mo-99 pentru utilizare în domeniul medical, prin introducerea țintelor care, în exemplul de realizare preferat, sunt formate din Mo-98, în vasul calandria 1 utilizând gura de vizitare cu flux ridicat 49. Oricând după operațiile inițiale de pornire, atunci când instalația funcționează și un tub de ghidare de producere a radioizotopilor 30 este pe poziție, lucru care este prezentat în fig. 6 și 7, atunci țintele 37 pot fi livrate în tubul de ghidare 30 și îndepărtate din tubul de ghidare 30 printr-un sistem de livrare. Într-un exemplu de realizare preferat, tubul de ghidare 30 este format dintr-un aliaj de zirconiu. Într-un alt exemplu de realizare, tubul de ghidare 30 poate fi format din oțel inoxidabil.

Un sistem de livrare a țintelor poate fi, de asemenea, adăugat detașabil la zona de punte a mecanismelor de reactivitate pentru inserarea țintelor, de exemplu Mo-98. Într-un exemplu de realizare, sistemul de livrare a țintelor este sistemul de livrare aeroball descris în brevetul US 3.263.081. Sistemul de livrare aeroball utilizează energie pneumatică de la distribuitorul 36 pentru a trimite țintele 37 în tubul de ghidare 30 și pentru a extrage țintele iradiate 37 către în sus din tubul de ghidare 30 după ce au fost iradiate și transformate în Mo-99. Într-un exemplu de realizare alternativ, țintele pot fi coborâte în tubul de ghidare 30 prin gravitație și îndepărtate către în sus, afară din tubul de ghidare 30, printr-un sistem de antrenare mecanic. Sistemul de livrare mecanic este caracterizat prin aceea că sistemul de antrenare mecanic cuprinde un dispozitiv poartă pentru descărcarea țintelor iradiate într-un container colector după iradiere. Într-un alt exemplu de realizare alternativ, sistemul de livrare poate fi portabil și atașabil la distribuitorul 36 pe o bază după cum este necesar, prin simpla alimentare cu mână, cu o pâlnie disponibilă comercial, a țintelor 37 în gura 55 a tubului cu bilă 38 al distribuitorului 36. Apoi, un rezervor pneumatic standard disponibil comercial cu racordurile disponibile comercial poate fi conectat la gura 55 a tubului cu bilă 38 al distribuitorului 36 și utilizat pentru a furniza gaz de transport în tubul cu bilă 38 pentru a se asigura că țintele 37 sunt complet introduse. După timpul de iradiere, poate fi atașată o butelie de transport disponibilă comercial standard pe gura 55 a tubului cu bilă 38 al distribuitorului 36 și rezervorul pneumatic standard disponibil comercial cu racordurile disponibile comercial poate fi atașat la gura 56 al tubului de limitare a presiunii 39 al distribuitorului 36. Rezervorul pneumatic disponibil comercial poate fi apoi operat pentru a evacua țintele 37 din tubul cu bilă 38 și din distribuitorul 36 și în interiorul buteliei de transport standard disponibilă comercial.

Utilizarea unei guri de vizitare cu flux ridicat 49 pentru a furniza țintele 37 sub formă de Mo-98 în vasul calandria 1 al reactorului cu apă grea sub presiune CANDU, permite în mod avantajos ca țintele 37 să fie expuse la suficientă radiație pentru a le transforma în Mo-99 în aproximativ 6-12 zile. Într-un exemplu de realizare alternativ, țintele 37 pot fi furnizate în alte forme pentru a produce alți radioizotopi, cum ar fi Lutetiu-177 (Lu-177), prin sisteme de livrare alternative și în alte guri de moderator și alte perioade de timp. În exemplele de realizare preferate, gurile de moderator utilizate pentru țintele 37 sunt guri de rezervă, în mod specific guri de vizitare 23, 49. În alte exemple de realizare pot fi utilizate și

alte guri de rezervă, cum ar fi guri detector de flux care nu sunt utilizate sau alte guri care nu
includ echipament, de exemplu, oricare dintre gurile prezentate în fig.1 dacă, din anumite
motive, acestea nu găzduiau respectivele unități de injecție a lichidului **14**, camerele de ioni **3**
15, gurile de vizitare **23**, unitatea de închidere **24**, unitatea de reglare **25**, unitatea absorbitor
de control **26**, unitatea de control a zonei de lichid **27** sau unitatea detector de flux vertical **5**
28. Ca un avantaj suplimentar, utilizarea gurilor de vizitare **23** existente sau a altor guri de
rezervă pentru a furniza ținte **37** nu necesită îndepărtarea vreunui echipament care este **7**
frecvent utilizat în timpul funcționării centralei și astfel nu necesită modificări semnificative
ale reactorului pentru a produce radioizotopi. **9**

În descrierea de mai sus, invenția a fost descrisă cu referire la implementările ilustra-
tive specifice și exemplele acestora. Totuși, va fi evident că pot fi făcute diverse modificări **11**
și schimbări fără a ne îndepărta de la scopul mai larg al invenției, așa cum este prezentat în
revendicările care urmează. Descrierea și desenele trebuie să fie privite, în consecință, într-o **13**
manieră ilustrativă și nu într-un sens restrictiv.

Revendicări

1. Procedeu de realizare a surselor de radioizotopi utilizând un reactor cu apă grea, cuprinzând:

- introducerea țintelor (37) într-un moderator de apă grea al reactorului cu apă grea, printr-un tub de ghidare (30), într-o gură (55) de moderator a reactorului cu apă grea;

- iradierea țintelor (37) pentru a transforma țintele (37) într-un radioizotop utilizând un flux de neutroni generat de reactorul cu apă grea în funcționare; și

- îndepărtarea radioizotopului din reactorul cu apă grea prin intermediul gurii (55) de moderator.

2. Procedeu conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** gura de moderator este o gură situată într-o punte (45) cu mecanisme de reactivitate ale reactorului cu apă grea sau o gură de echipament al reactorului cu apă grea, cum ar fi o gură de echipament dedicată unei unități (14) de injecție a lichidului în reactor, o cameră de ioni (15), o gură de vizitare (23), o unitate de oprire (24), o unitate de reglare (25), o unitate absorbitor de control (26), o unitate de control al zonei de lichid (27) sau o unitate detector de flux vertical (28).

3. Procedeu conform revendicării 1 sau 2, **caracterizat prin aceea că** suplimentar cuprinde modificarea gurii pentru a include un sistem de livrare.

4. Procedeu conform revendicării 3, **caracterizat prin aceea că** sistemul de livrare este un sistem de livrare pneumatic.

5. Procedeu conform revendicării 4, **caracterizat prin aceea că** îndepărtarea radioizotopului din reactorul cu apă grea include forțarea radioizotopului din tubul de ghidare (30) utilizând sistemul de livrare pneumatic.

6. Procedeu conform revendicării 4 sau 5, **caracterizat prin aceea că** introducerea țintei (37) în moderatorul de apă grea include introducerea țintei (37) în tubul de ghidare (30) utilizând sistemul de livrare pneumatic.

7. Procedeu conform oricăreia dintre revendicările 4 sau 5, **caracterizat prin aceea că** sistemul de livrare pneumatic este un sistemul de livrare aeroball.

8. Procedeu conform oricăreia dintre revendicările 1 la 7, **caracterizat prin aceea că** tubul de ghidare (30) este un tub de ghidare din zirconiu.

9. Procedeu conform oricăreia dintre revendicările 1 la 8, **caracterizat prin aceea că** reactorul cu apă grea este un reactor CANDU.

10. Procedeu conform revendicării 9, **caracterizat prin aceea că** reactorul CANDU include o multitudine de tuburi de presiune (44) incluzând elemente de combustibil în acestea și un agent de răcire primar prin multitudinea de tuburi de presiune (44), moderatorul de apă grea fiind separat de agentul de răcire primar pentru apa grea.

11. Procedeu conform oricăreia dintre revendicările 1 la 10, **caracterizat prin aceea că** gura este o gură de rezervă sau gură neechipată.

12. Procedeu conform oricăreia dintre revendicările 1 la 11, **caracterizat prin aceea că** îndepărtarea radioizotopului din reactorul de apă grea este realizată în timpul generării de energie de către reactorul cu apă grea.

13. Procedeu conform oricăreia dintre revendicările 1 la 12, **caracterizat prin aceea că** tubul de ghidare (30) găzduiește cel puțin un tub cu bilă (38) pentru primirea țintelor (37).

14. Procedeu conform revendicării 13, **caracterizat prin aceea că** acel sau fiecare tub cu bilă (38) are un opritor cu bilă (54) pentru susținerea țintelor (37) în respectivul tub cu bilă (38), cel puțin una dintre introducerea țintelor (37) în moderatorul de apă grea și îndepărtarea radioizotopului din reactorul cu apă grea incluzând trecerea gazului de transport prin acel unul sau fiecare opritor cu bilă (54).

15. Procedeu conform revendicării 13 sau 14, **caracterizat prin aceea că** tubul de ghidare (30) găzduiește sau formează cel puțin un tub de limitare a presiunii (39) care înconjoară acel unu sau fiecare tub cu bilă (38), o suprafață exterioară a tubului de limitare a presiunii venind în contact cu moderatorul de apă grea. 1
3
16. Procedeu conform revendicării 13 sau 14, **caracterizat prin aceea că** tubul de ghidare (30) găzduiește o multitudine de tuburi cu bilă (38), fiecare din multitudinea de tuburi cu bilă (38) fiind înconjurat de un tub de limitare a presiunii (39) asociat, tubul de ghidare (30) incluzând o multitudine de orificii în interiorul acestuia permițând apei grele din moderator să curgă în și din tubul de ghidare (30) și de-a lungul multitudinii de tuburi de limitare a presiunii (39). 5
7
9
17. Reactor nuclear cu apă grea, cuprinzând: 11
- o incintă pentru miezul reactorului; 13
 - o multitudine de tuburi de presiune (44) în incinta pentru miezul reactorului, incluzând fascicule de combustibil (51), agentul de răcire primar pentru apa grea curgând din exteriorul incintei miezului de reactor prin multitudinea de tuburi de presiune (44), incinta miezului reactorului incluzând moderatorul de apă grea separat de multitudinea de tuburi de presiune (44); și 15
17
 - cel puțin o gură (55) de moderator, gura de moderator menționată găzduind un tub de ghidare (30) care include ținte (37) configurate pentru a transforma țintele (37) într-un radioizotop după expunerea la radiația emisă de fasciculele de combustibil (51). 19
18. Reactor nuclear cu apă grea conform revendicării 17, **caracterizat prin aceea că** gura de moderator este o gură situată într-o punte (45) cu mecanisme de reactivitate ale reactorului cu apă grea, sau orice gură de echipament echivalent al reactorului cu apă grea, cum ar fi o gură de echipament dedicată unei unități de injecție a lichidului în reactor (14), o cameră de ioni (15), o gură de vizitare (23), o unitate de oprire (24), o unitate de reglare (25), o unitate absorbitor de control (26), o unitate de control al zonei de lichid (27) sau o unitate detector de flux vertical (28). 21
23
25
27
19. Reactor nuclear cu apă grea conform revendicării 17, **caracterizat prin aceea că** suplimentar cuprinde un sistem de livrare configurat pentru introducerea țintelor (37) în tubul de ghidare (30) și forțarea radioizotopului în afara tubului de ghidare (30). 29
20. Reactor nuclear cu apă grea conform revendicării 19, **caracterizat prin aceea că** sistemul de livrare este un sistem de livrare pneumatic. 31
21. Reactor nuclear cu apă grea conform revendicării 20, **caracterizat prin aceea că** sistemul de livrare pneumatic este un sistemul de încărcare aeroball. 33
22. Reactor nuclear cu apă grea conform oricăreia dintre revendicările 17 la 21, **caracterizat prin aceea că** reactorul cu apă grea este un reactor CANDU. 35
23. Reactor nuclear cu apă grea conform oricăreia dintre revendicările 17 la 21, **caracterizat prin aceea că** gura este o gură de rezervă sau gură neechipată. 37
24. Reactor nuclear cu apă grea conform oricăreia dintre revendicările 17 la 23, **caracterizat prin aceea că** tubul de ghidare (30) găzduiește cel puțin un tub cu bilă (38) pentru primirea țintelor (37). 39
41
25. Reactor nuclear cu apă grea conform revendicării 24, **caracterizat prin aceea că** acel sau fiecare tub cu bilă (38) are un opritor cu bilă (54) pentru susținerea țintelor (37) în respectivul tub cu bilă (38), cel puțin una dintre introducerea țintelor (37) în moderatorul de apă grea și îndepărtarea radioizotopului din reactorul cu apă grea incluzând trecerea gazului de transport prin acel unul sau fiecare opritor cu bilă (54). 43
45

1 26. Reactor nuclear cu apă grea conform revendicării 24 sau 25, **caracterizat prin**
aceea că tubul de ghidare (30) găzduiește sau formează cel puțin un tub de limitare a
3 presiunii (39) care înconjoară acel unu sau fiecare tub cu bilă (38), o suprafață exterioară a
tubului de limitare a presiunii venind în contact cu moderatorul de apă grea.

5 27. Reactor nuclear cu apă grea conform revendicării 24 sau 25, **caracterizat prin**
aceea că tubul de ghidare (30) găzduiește o multitudine de tuburi cu bilă (38), fiecare din
7 multitudine de tuburi cu bilă (38) fiind înconjurat de un tub de limitare a presiunii (39) aso-
ciat, tubul de ghidare (30) incluzând o multitudine de orificii (35) în interiorul acestuia per-
9 mițând apei grele din moderator să curgă în și din tubul de ghidare (30) și de-a lungul
multitudinii de tuburi de limitare a presiunii (39).

(51) Int.Cl.

G21G 1/02 (2006.01),

G21C 23/00 (2006.01)

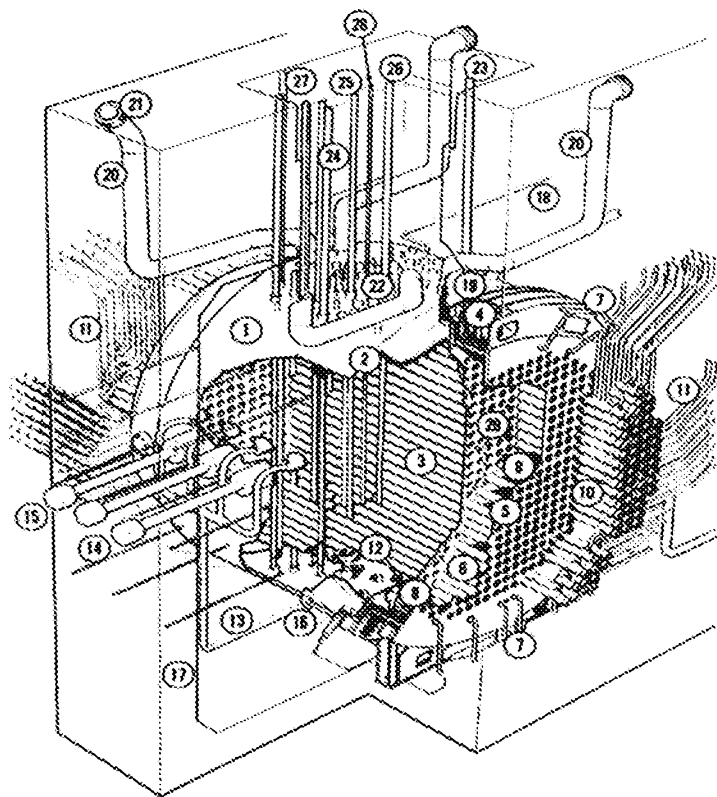


Fig. 1

(51) Int.Cl.

G21G 1/02 (2006.01),

G21C 23/00 (2006.01)

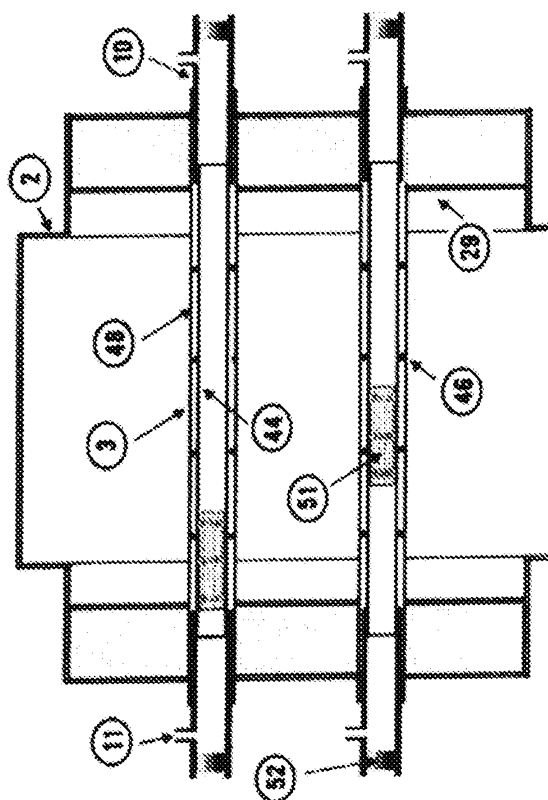


Fig. 2

(51) Int.Cl.

G21G 1/02 (2006.01),

G21C 23/00 (2006.01)

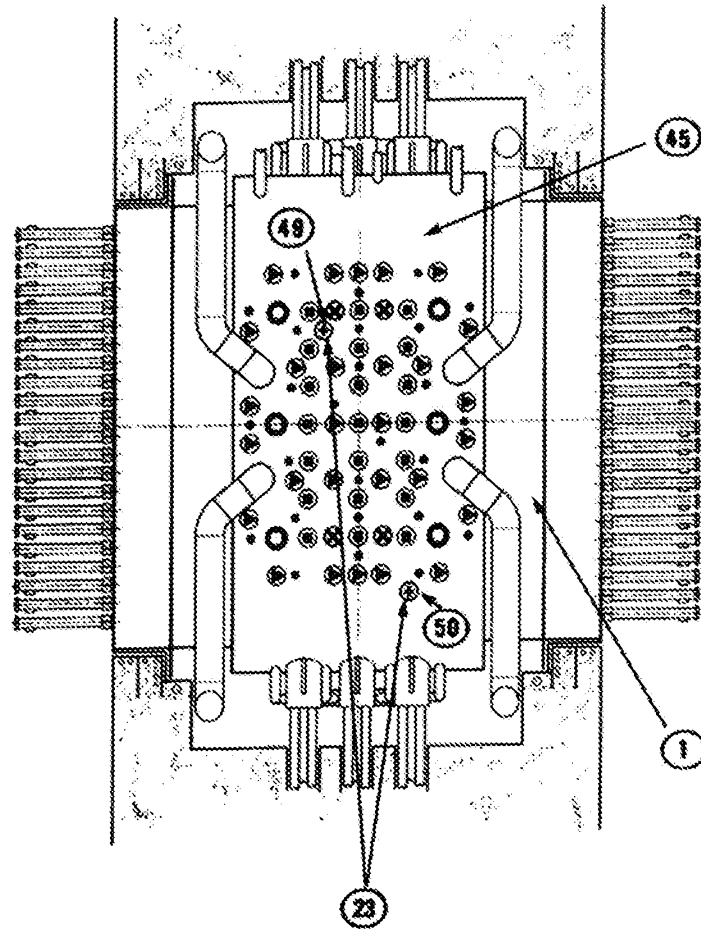


Fig. 3

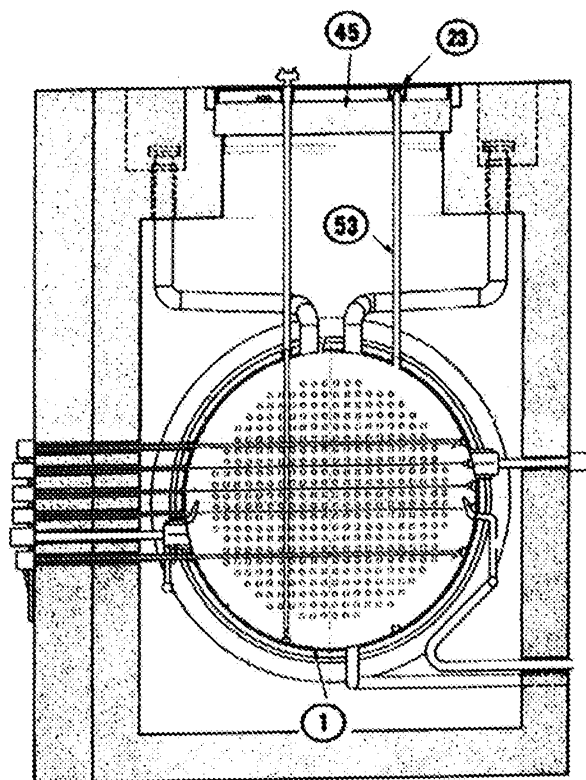


Fig. 4

(51) Int.Cl.

G21G 1/02 (2006.01),

G21C 23/00 (2006.01)

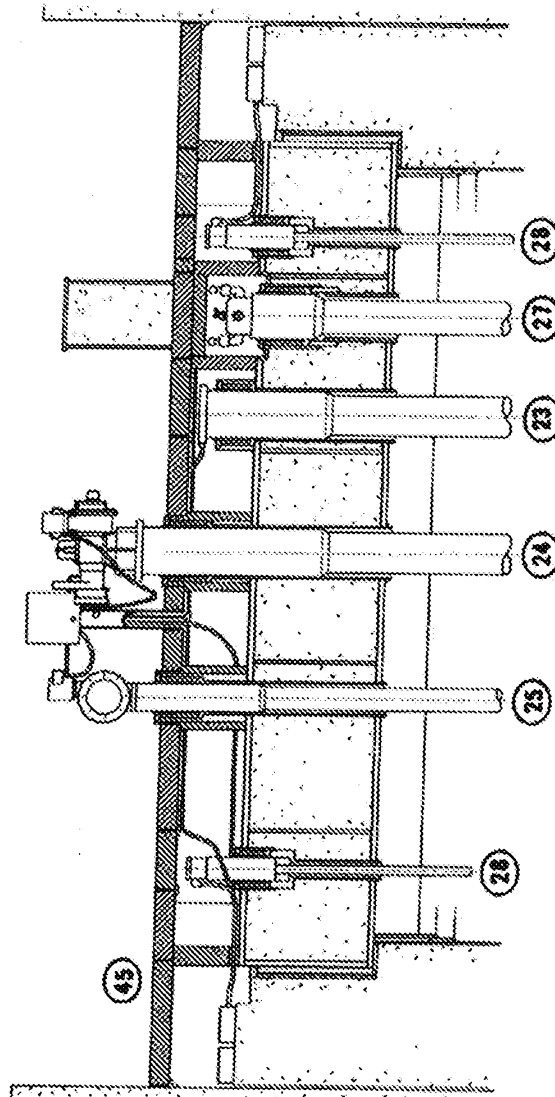


Fig. 5

(51) Int.Cl.

G21G 1/02 (2006.01);

G21C 23/00 (2006.01)

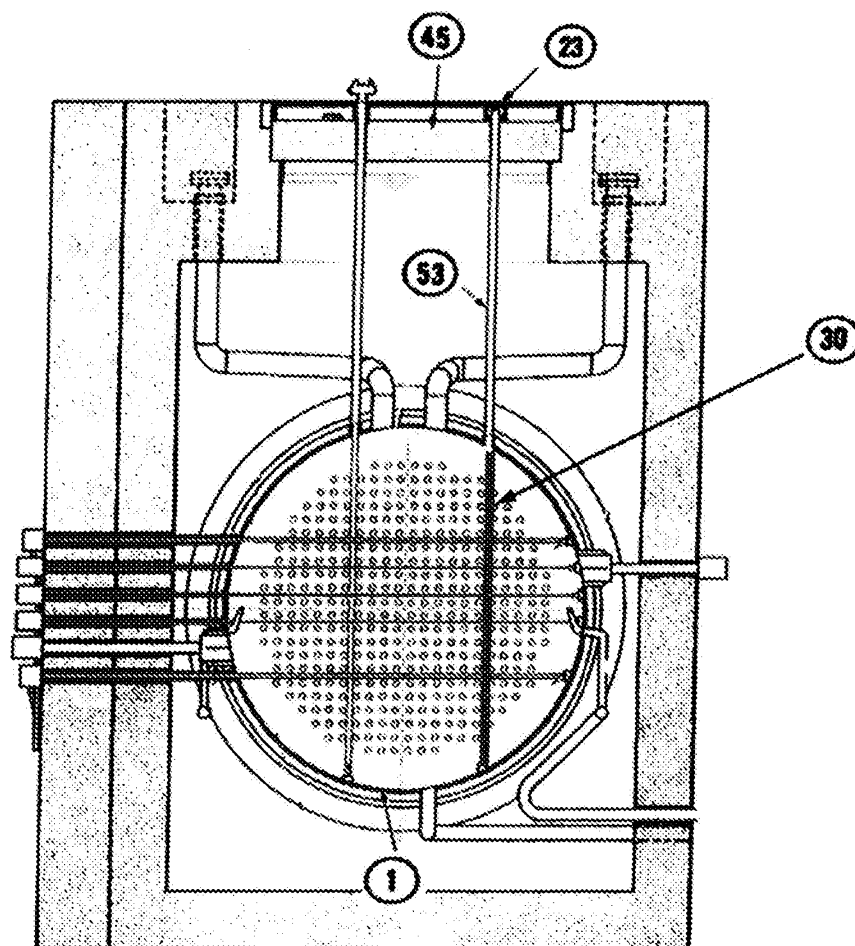


Fig. 6

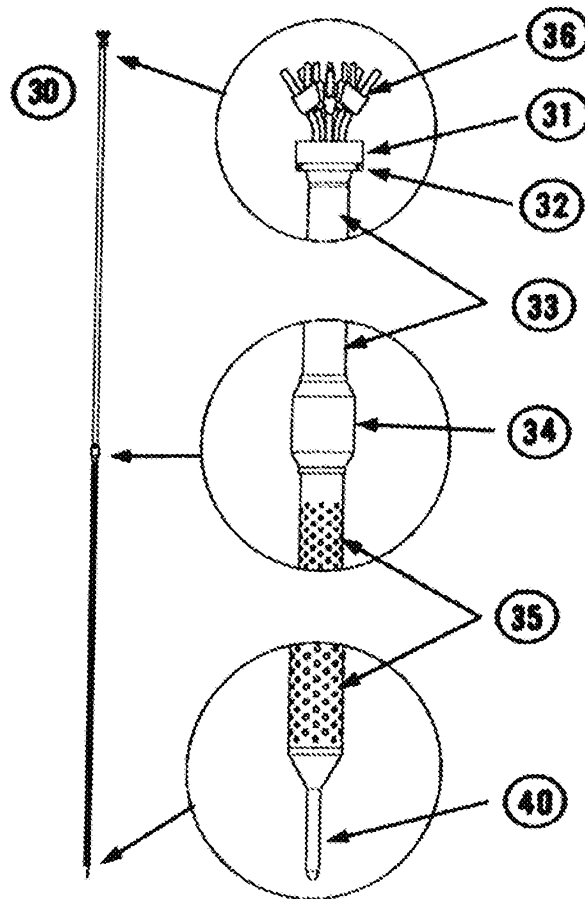


Fig. 7

(51) Int.Cl.

G21G 1/02 (2006.01).

G21C 23/00 (2006.01)

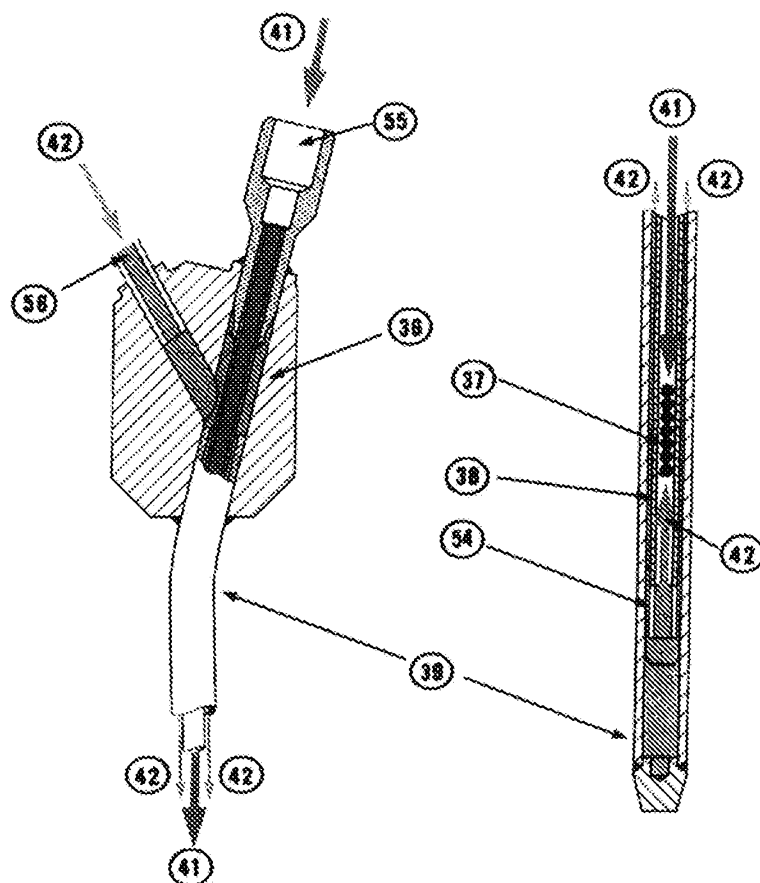


Fig. 8

(51) Int.Cl.

G21G 1/02 (2006.01),

G21C 23/00 (2006.01)

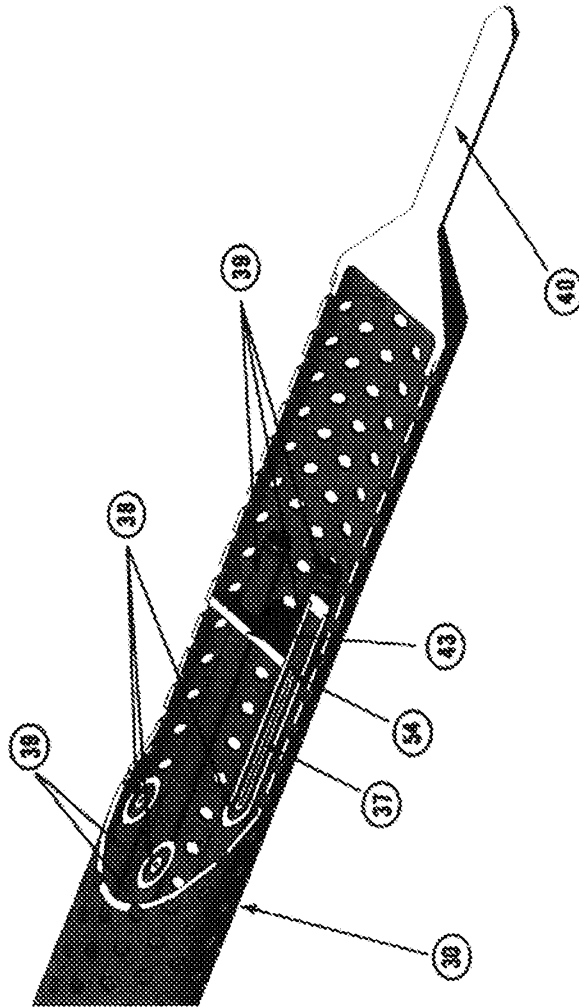


Fig. 9

(51) Int.Cl.
G21G 1/02 (2006.01),
G21C 23/00 (2006.01)

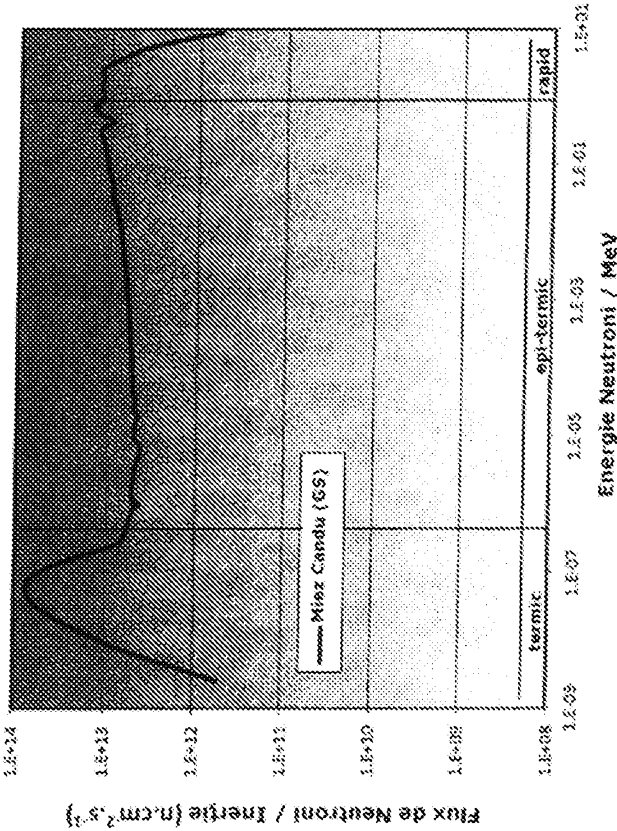


Fig. 10

(51) Int.Cl.

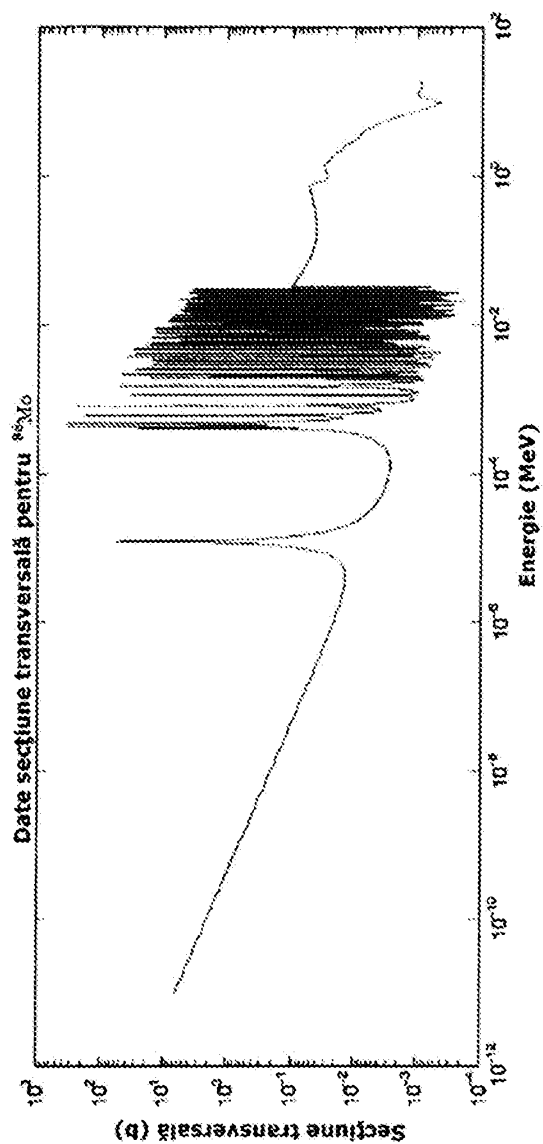
G21G 1/02 (2006.01),**G21C 23/00** (2006.01)

Fig. 11



Editare și tehnoredactare computerizată - OSIM
Tipărit la Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci
sub comanda nr. 182/2021