



(12) **SØKNAD**

(19) NO

(21) **20120281**

(13) **A1**

NORGE

(51) Int Cl.
G01V 5/10 (2006.01)

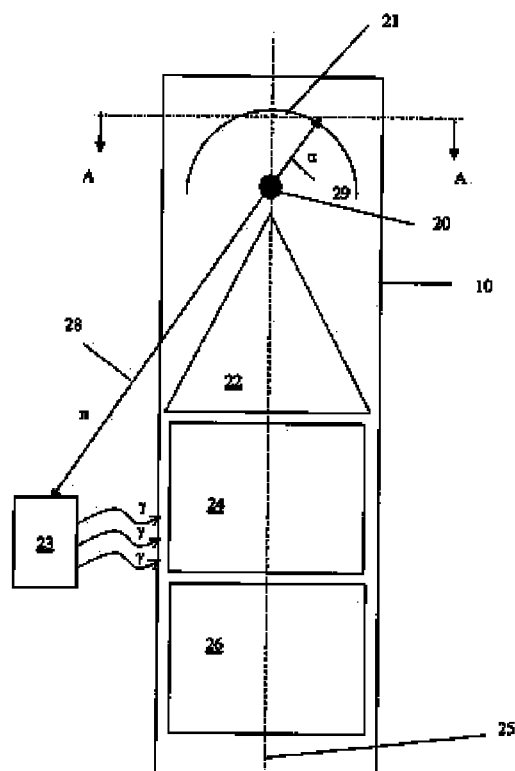
Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20120281	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2010.09.09 PCT/US2010/048233
(22)	Inng.dag	2012.03.12	(85)	Videreføringsdag	2012.03.12
(24)	Løpedag	2010.09.09	(30)	Prioritet	2009.09.09, US, 61/240,852
(41)	Alm.tilgj	2012.04.24			
(73)	Innehaver	Baker Hughes Inc, P O Box 4740, US-TX77210-4740 HOUSTON, USA			
(72)	Oppfinner	Anton Nikitin, 555 Butterfield Road, Apt. 216, US-TX77090 HOUSTON, USA			
		Alexandr A Vinokurov, 23 Ilichev Street, Street 38, RU-630090 NOVOSIBIRSK, Russland			
(74)	Fullmektig	Bryn Aarflot AS, Postboks 449 Sentrum, 0104 OSLO, Norge			

(54) **Benevnelse** **Apparat og fremgangsmåte for brønnlogging ved bruk av avbildning av assosierte partikler**

(57) **Sammendrag**

Et apparat for å utføre en operasjon i et borehull som strekker seg inn i jorden omfatter et borehullsverktøy og en nøytronkilde inne i borehullsverktøyet som sender ut nøytron/alfapartikkel-par som resultat av en kjernereaksjon. Apparatet omfatter også en alfapartikkeldetektor inne i borehullsverktøyet anordnet for å detektere når en alfapartikkel utsendt av nøytronkilden treffer den, og en gammastråledetektor for å detektere gammastråler generert som følge av vekselvirkninger mellom nøytroner generert av nøytronkilden og minst ett materiale i et område av interesse utenfor borehullet. Apparatet omfatter også et prosesseringssystem som bestemmer et trekk ved området av interesse basert på en tidsdifferanse mellom tidspunktet alfapartikkelen treffer alfapartikkeldetektoren og tidspunktet én eller flere gammastråler treffer gammastråledetektoren.



KRYSSREFERANSE

Denne søknaden tar prioritet, i medhold av 35 U.S.C. § 119(e), fra US-patent-søknad 61/240,852 med tittelen APPARATUS AND METHOD FOR WELL LOGGING UTILIZING ASSOCIATE PARTICLE IMAGING, som ble innlevert 9. september 2009 og som med dette inntas som referanse i sin helhet.

BAKGRUNN

[0001] Oppfinnelsen som presenteres her vedrører brønnlogging, og spesielt systemer og teknikk for bruk ved brønnlogging.

[0002] Forskjellige operasjoner kan bli utført i et borehull som strekker seg inn i jorden i søking eller leting etter hydrokarboner. Operasjonene kan være knyttet til leting etter og produksjon av hydrokarboner. Én type operasjon er kjent som brønnlogging.

[0003] Brønnlogging er en teknikk som blir anvendt for å utføre målinger i en grunnformasjon, som kan inneholde et reservoar for hydrokarbonene, innenfra borehullet. Ved brønnlogging blir et loggeverktøy, innrettet for å gjøre en måling i grunnformasjonen, fraktet gjennom et borehull som strekker seg inn i grunnformasjonen. En armert kabel (wireline) blir anvendt for å holde og frakte loggeverktøyet gjennom borehullet. I alminnelighet inneholder kabelen ledninger for å forsyne kraft til loggeverktøyet og kommunisere data til og fra loggeverktøyet.

[0004] Loggeverktøyet kan være innrettet for å gjøre forskjellige typer målinger i grunnformasjonen. Noen av målingene, så som grunnstoffutbytte og porøsitet, krever bestråling av en andel av grunnformasjonen med nøytroner. Målingene av resultatene av vekselvirkninger mellom nøytronene og grunnformasjonen kan bli relatert til en egenskap ved grunnformasjonen, så som grunnformasjonens sammensetning eller porøsitet.

OPPSUMMERING

[0005] Ifølge én utførelsesform tilveiebringes et apparat for å utføre en operasjon i et borehull som krysser gjennom jordgrunnen. Apparatet ifølge denne utførelsesformen omfatter et borehullsverktøy og en nøytronkilde inne i borehullsverktøyet som sender ut nøytron/alfapartikkel-par som resultat av en kjernereaksjon. Apparatet omfatter også en alfapartikkeldetektor inne i borehullsverktøyet anordnet for å detektere når en alfapartikkel utsendt av nøytronkilden treffer det, og en gammastråledetektor for å detektere gammastråler generert som følge av vekselvirkninger mellom nøytroner generert av

nøytronkilden og minst ett materiale i et område av interesse utenfor borehullet.

Apparatet omfatter også et prosesseringssystem som bestemmer et trekk ved området av interesse basert på tidsdifferansen mellom tidspunktet der alfapartikkelen treffer alfapartikkeldetektoren og tidspunktet der én eller flere gammastråler treffer gammastråledetektoren.

[0006] Ifølge en annen utførelsesform tilveiebringes en fremgangsmåte for å måle en parameter for en formasjon. Fremgangsmåten ifølge denne utførelsesform omfatter å: senke et borehullsverktøy inn i et borehull som krysser gjennom jordgrunnen, der borehullsverktøyet omfatter en nøytronkilde, en gammastråledetektor og en alfapartikkeldetektor; bestemme et første tidspunkt en første alfapartikkel treffer alfapartikkeldetektoren; assosiere en gammastråle, detektert på et andre tidspunkt av en gammastråledetektor med den første alfapartikkelen; og bestemme parameteren basert på det andre tidspunktet og energien i den detekterte gammastrålen.

[0007] Ifølge en annen utførelsesform tilveiebringes en fremgangsmåte for å måle en parameter for en formasjon. Fremgangsmåten ifølge denne utførelsesformen omfatter å: bestråle formasjonen med en strømming av nøytroner fra en nøytronkilde anordnet inne i et borehullsverktøy som befinner seg under jordoverflaten; måle alfapartikler med flere alfapartikkeldetektorer; assosiere gammastråler detektert av en gammastråledetektor med de målte alfapartiklene; og bestemme en vertikal komponent av et element i formasjonen basert på en relasjon mellom partikler målt av forskjellige alfapartikkeldetektorer og de assosierte gammastrålene.

KORT BESKRIVELSE AV TEGNINGENE

[0008] Gjenstanden, som anses som oppfinnelsen, er spesifikt angitt og krevet beskyttelse for i kravene som følger beskrivelsen. De foregående og andre trekk og fordeler med oppfinnelsen vil tydeliggjøres av den følgende detaljerte beskrivelsen sett sammen med de vedlagte tegningene, der like elementer er gitt like henvisningstall og der:

[0009] Figur 1 illustrerer et eksempel på utførelse av et loggeverktøy anordnet i et borehull som strekker seg inn i en grunnformasjon;

[0010] Figur 2 illustrerer et eksempel på utførelse av et loggeverktøy ifølge én utførelsesform;

[0011] Figur 3 illustrerer en konseptuell representasjon av et miljø for å illustrere generelle prinsipper ved avbildning av assosierte partikler;

[0012] Figur 4 er et tverrsnitt sett ovenfra av et loggeverktøy ifølge én utførelsesform anordnet inne i et borehull;

5 [0013] Figur 5 illustrerer en perspektivbetragtning, delvis i tverrsnitt, av en alfadetektor ifølge én utførelsesform;

[0014] Figur 6 er en perspektivbetragtning av en alternativ utførelsesform av en alfa-detektor;

[0015] Figur 7 illustrerer et loggeverktøy anordnet i et borehull uten en slamfortrenger;

10 [0016] Figur 8 er en betraktning ovenfra av et verktøy ifølge en utførelsesform som omfatter en gjennomgående slamkanal;

[0017] Figur 9 er en betraktning ovenfra av et verktøy ifølge en annen utførelsesform som omfatter en gjennomgående slamkanal;

15 [0018] Figur 10 illustrerer en utførelsesform av et verktøy som omfatter en slamfortrenger med gjennomgående slamkanaler; og

[0019] Figur 11 viser et flytdiagram av en fremgangsmåte ifølge én utførelsesform.

DETALJERT BESKRIVELSE

20 [0020] For å lette forståelsen vil det bli gitt noen definisjoner. Betegnelsen "smeltbar" vedrører atomkjerener som kan forbindes eller smelte sammen i en kjernefusjonsreaksjon.

[0021] En anordning kalt en nøytrongenerator blir anvendt for å sette i gang og inneholde kjernefusjonsreaksjonen mellom deuterium-(D)-kjerener og tritium-(T)-kjerener med et hurtig nøytron (n)/alfa-(α)-partikkel-par som reaksjonsprodukter. Ioner av disse grunnstoffene blir akselerert inne i nøytrongeneratoren og vekselvirker med hverandre gjennom kollisjoner. Kollisjonen mellom D- og T-ionene setter i gang fusjonsreaksjonen av interesse. I en utførelsesform er nøytrongeneratoren konstruert slik at D-T-kollisjoner og fusjonsreaksjoner mellom dem finner sted innenfor et begrenset område. Som følge av dette kan utsendingen av nøytroner med opphav i denne reaksjonen tilnærmes som en nøytron-punktkilde.

30 [0022] Nøytronene som sendes ut av en nøytrongenerator som beskrevet over blir anvendt for å utføre en operasjon nede i et brønnhull, så som brønnlogging. Selv om utførelsesformer med brønnlogging er beskrevet for forklaringsformål, kan de utsendte nøytronene bli anvendt i en hvilken som helst operasjon som fordrer vekselvirkning

mellom nøytronene og et materiale. Ved brønnlogging vekselvirker nøytronene med en grunnformasjon eller et materiale i et borehull.

[0023] Figur 1 illustrerer et eksempel på utførelse av et loggeverktøy 10 anordnet i et borehull 2 som krysser gjennom jordgrunnen 3. Ethvert element som befinner seg under overflaten av jorden 3 vil her bli omtalt som "nedihulls". Jordgrunnen 3 omfatter en grunnformasjon 4, som kan omfatte forskjellige lag 4A-4C. Loggeverktøyet 10 omfatter en nøytronkilde 5. Nøytronkilden 5 er innrettet for å sende ut nøytroner generert fra en kjernefusjonsreaksjon som angitt over. Nøytronene vandrer inn i formasjonen 4 og vekselvirker med grunnstoffene i formasjonen 4. Loggeverktøyet 10 omfatter også et instrument 6 innrettet for å detektere og måle resultater av vekselvirkningene.

[0024] I ett eksempel på en vekselvirkning blir en gammastråle sendt ut fra en vekselvirkning mellom et nøytron og et grunnstoff i formasjonen 4. Instrumentet 6 kan derfor være innrettet for å detektere gammastrålen og måle mengden energi forbundet med gammastrålen. I en utførelse som en gammastråledetektor omfatter instrumentet 6 i alminnelighet en scintillator 7 og en fotodetektor 8. Scintillatoren 7 vekselvirker med gammastrålen og genererer en mengde lys. Fotodetektoren 8 måler lysmengden for å bestemme mengden energi forbundet med gammastrålen. Ikke-begrensede eksempler på egenskaper ved formasjonen 4 som kan bli bestemt med loggeverktøyet 10 omfatter porøsitet, grunnstoffutbytte, tetthet / densitet og en grense mellom lagene 4A-4C.

[0025] I figur 1 omfatter loggeverktøyet 10 en elektronikkenhet 9. Elektronikkenheten 9 kan bli anvendt for å betjene loggeverktøyet 10 og/eller lagre data fra målinger utført av loggeverktøyet 10. For eksempel kan elektronikkenheten 9 overvåke komponenter i nøytronkilden 5 og sette parametere, så som spenningsnivåer, for å muliggjøre drift av nøytronkilden 5. Når elektronikkenheten 9 lagrer data, kan dataene bli hentet ut når loggeverktøyet 10 fjernes fra borehullet 2. Alternativt kan dataene bli sendt til et prosesseringssystem 11 på overflaten av jorden 3 ved hjelp av et telemetrisystem, for eksempel kabeltrukne rør eller pulset slam. Prosesseringsenheten 11 kan også være innrettet for å sende kommandoer til loggeverktøyet 10.

[0026] En kabel 12 blir anvendt for å holde loggeverktøyet 10 og for å frakte loggeverktøyet 10 gjennom borehullet 2. Som et alternativ kan en glattline, kveilrør eller en borestreng bli anvendt for å frakte loggeverktøyet 10 gjennom borehullet 2.

[0027] For formålet med denne beskrivelsen er borehullet 2 vertikalt og lagene 4A-4C er horisontale. Idéene her kan imidlertid like gjerne bli anvendt i avvikende eller horisontale

brønner eller med formasjonslag 4A-4C med en hvilken som helst vilkårlig vinkling. Idéene er like godt egnet for bruk i logging-under-boring-(LWD)-anvendelser og i anvendelser i åpne borehull og i fôrede borehull. I LWD-operasjoner kan loggeverktøyet 10 være anordnet i et vektrør festet til borestrengen. Når det blir anvendt i LWD-operasjoner kan boringen bli stanset midlertidig for å unngå vibrasjon mens loggeverktøyet 10 utfører en måling.

[0028] Figur 2 viser én utførelsesform av et loggeverktøy 10. Loggeverktøyet 10 i denne utførelsesformen er innrettet for å muliggjøre bruk av en teknikk for avbildning av assosierte partikler (API - Associated Particle Imaging) for å bestemme egenskaper ved en grunnformasjon. Loggeverktøyet 10 omfatter en nøytronkilde 20.

[0029] I en utførelsesform er nøytronkilden 20 en nøytrongenerator som anvender en Deuterium/Tritium-(D-T)-fusjonsreaksjon for å generere nøytroner. Naturligvis kan andre typer nøytronkilder bli anvendt.

[0030] Nøytronkilden 20 er konstruert for å inneholde en kjernefusjonsreaksjon, så som en D-T-fusjonsreaksjon. I alminnelighet blir parametrene i tilvirkningen av nøytronkilden 20 valgt for å oppnå en bestemt type eller et bestemt mønster av nøytronavgivelse. For eksempel kan faktorene bli valgt for å oppnå en nøytronavgivelse fra en tilnærmet punktkilde. Alternativt kan faktorene bli valgt for å oppnå en nøytronavgivelse fra en linjekilde med en bestemt form eller fra et område med en bestemt form.

[0031] Noen prosesser for å generere nøytroner ved kjernefusjonsreaksjoner kan også bli optimalisert ved å anvende et automatisk styresystem. I slike systemer sender en styringsenhet styresignaler til et gassreservoar og en kraftforsyning og styrer driften av begge.

[0032] I operasjon forårsaker genereringen av et nøytron fra nøytronkilden 20 også at det blir generert en alfa-(α)-partikkel. I figur 2 er retningen til nøytronet vilkårlig vist av en vektor 28 og retningen til partikkelen er vist av en vektor 29. Vektoren 28 peker i en retning 180 grader fra retningen til vektoren 29.

[0033] Loggeverktøyet 10 vist i figur 2 omfatter også en alfapartikkeldetektor 21. Som vist er alfapartikkeldetektoren 21 et halvkuleformet legeme. Naturligvis, og som vist mer detaljert nedenfor, kan alfapartikkeldetektoren 21 ha andre former og utførelser avhengig av omstendighetene. For eksempel kan alfapartikkeldetektoren 21 være dannet av én eller flere flate plater i en utførelsesform.

[0034] Generelt detekterer alfapartikkeldetektoren 21 når en α -partikkel treffer den. I en utførelsesform omfatter loggeverktøyet 10 vist i figur 2 også en første og en andre gammastråledetektor 24, 26. Gammastråledetektorene 24, 26 detekterer gammastråler generert fra uelastisk spredning ved kollisjon av det hurtige nøytronet med materiale utenfor loggeverktøyet 10. Generelt kan loggeverktøyet 10 ha én eller flere enn 2 gammastråledetektorer anordnet inne i verktøyet relativt til nøytronkilden avhengig av behovene i den aktuelle måleanvendelsen.

[0035] Med "uelastisk kollisjon", "uelastisk nøytronspredning" eller "uelastisk spredning" menes en kollisjon der et innkommende nøytron vekselvirker med en målkjerne og gjør at kjernen blir eksitert og dermed frigjør en gammastråle før den returnerer til grunn-tilstanden. I uelastiske kollisjoner smelter ikke det innkommende nøytronet inn i målkjernen, men overfører noe av sin energi til målkjernen før denne energien blir frigjort i form av en gammastråle.

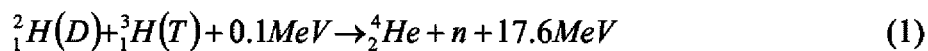
[0036] Forskjellige typer vekselvirkninger innebærer enten absorpsjon eller avgivelse av gammastråling. Dominerende typer (som funksjon av økende energi) omfatter fotoelektrisk effekt, Compton-spredning og pardannelse. Som en konvensjon vedrører "fotoelektrisk effekt" vekselvirkninger der elektroner blir sendt ut fra materie etter absorpsjon av en gammastråle. De utsendte elektronene kan omtales som "fotoelektroner". Den fotoelektriske effekten kan opptre med fotoner med en energi fra omtrent noen få eV eller høyere. Dersom et foton har høy nok energi, kan det oppstå Compton-spredning eller pardannelse. Compton-spredning vedrører generelt en reduksjon av energien (økning av bølgelengden) til et gammastrålefoton når fotonet vekselvirker med materie. Ved pardannelse kan fotoer med høyere energi vekselvirke med et mål og gjøre at det dannes et elektron og positronpar. I ethvert tilfelle er gammastråledetektorene 24, 26 valgt slik at de er i stand til å detektere de genererte gammastrålene. Selvfølgelig kan loggingen 10 omfatte flere eller færre enn to gammastråledetektorer avhengig av anvendelsen.

[0037] I en utførelsesform omfatter loggeverktøyet 10 et nøytronskjold 22 anordnet mellom nøytronkilden 20 og gammastråledetektorene 24, 26. Nøytronskjoldet 22 bidrar til å hindre at nøytroner vekselvirker med elementer i loggeverktøyet 10. De fleste av de detekterte gammastrålene er således primært generert av mål utenfor loggeverktøyet 10.

[0038] Loggeverktøyet 10 vist i figur 2 muliggjør bruk av API-teknikker i et nedihullsmiljø. API-teknikker er basert på bruk av α -partikkelen utsendt i D-T-reaksjonen som en markør som blir anvendt for å spore retningen til n utsendt i samme fusjonsreaksjon. API-

teknikker gjør det også mulig å bestemme avstanden fra nøytronkilden 20 til det punktet i rommet hvor nøytronet vekselvirker uelastisk med kjernene i målet. Denne "sporingsmekanismen" tilveiebringes av utformingen av α -partikkeldetektoren 21 (for retningen) og koincidensdeteksjonsskjemaet for α -partikler og gammastråler utsendt som følge av uelastisk nøytronspredning (for avstanden). I eksempelet vist i figur 2 er det bestrålte området vist ved et område 23. Loggeverktøyet 10 vist i figur 2 har elementene (21, 22, 24 og 26) som blir anvendt i API-teknikker anordnet langs senteraksen 25 til verktøyet 10. En slik utførelse vil her bli omtalt som et "aksielt" API-loggeverktøy. Naturligvis, og som vil bli beskrevet nærmere nedenfor, kan disse elementene være anordnet på den ene eller den andre siden av senteraksen 25. Det vil også forstås at selv om to gammastråledetektorer 24, 26 er vist, kun én detektor er nødvendig for et hvilket som helst loggeverktøy innenfor rammen til foreliggende oppfinnelse. Selvfølgelig kan flere gammastråledetektorer være tilveiebragt i noen utførelsesformer.

[0039] Beskrivelsen som følger henviser til figurene 2 og 3 og vedrører API-teknikker. Det må forstås at API-teknikkene omtalt her er anvendelige for alle loggeverktøy omtalt her eller i andre typer loggeverktøy. I én utførelsesform er nøytronkilden 20 en nøytronkilde som anvender D-T-fusjonsreaksjonen, og reaksjonen er beskrevet ved:



og skaper en fluks av hurtige nøytroner med energi 14,1 MeV. Den romlige fordelingen av den utsendte nøytronfluksen avhenger av den konkrete utførelsen av nøytronkilden 20, og defineres av den geometriske formen til kilden for deuterium- og/eller tritium-ioner og målet som inneholder deuterium- og/eller tritiumatomer. I henhold til lovene for bevaring av energi og bevegelsesmengde gjelder følgende uttrykk for et nøytron og en α -partikkel (4_2He) dannet i reaksjonen i likning (1):

$$E_{kin}(\alpha) + E_{kin}(n) \approx 17,6MeV \quad \text{og} \quad (2)$$

$$\vec{p}(\alpha) + \vec{p}(n) \approx 0 \quad (3)$$

der den kinetiske energien og bevegelsesmengden til D- og/eller T-ioner til stede i systemet før reaksjonen er sett bort i fra fordi $0,1 \text{ MeV} \ll 17,6 \text{ MeV}$ (energien som frigjøres i reaksjonen) og fordi $17,6 \text{ MeV}$ er mye mindre enn nøytronrestmassen ($m_n c^2$). Det kan også antas med en høy grad av nøyaktighet at systemets tyngdepunkt ikke beveger seg.

[0040] To konsekvenser følger av likning 3. Den første er knyttet til hvordan energi dannet i reaksjonen blir fordelt mellom nøytronet og α -partikkelen. I en klassisk mekanikk betraktning kan likning 3 omskrives til:

$$\frac{m_{\alpha} v_{\alpha}^2}{2} + \frac{m_n v_n^2}{2} = 17.6 \text{ MeV} \quad (4)$$

der $m_{\alpha} v_{\alpha} = m_n v_n$. Siden $m_{\alpha} = 4m_n$ kan likning 2 omskrives til $4E_{\text{kin}}(\alpha) = E_{\text{kin}}(n)$ og en har derfor $E_{\text{kin}}(n) = 14,1 \text{ MeV}$ og $E_{\text{kin}}(\alpha) = 3,5 \text{ MeV}$.

[0041] Den andre konsekvensen er basert på bevaring av bevegelsesmengde. For eksempel har en at $\vec{p}(\alpha) = -\vec{p}(n)$. Nøytronet n og α -partikkelen vil derfor alltid bevege seg i eksakt motsatt retning ($\theta_1 + \pi = \theta_2$). Ved å måle retningen til α -partikkelen med alfa-detektoren 21 kan en avlede informasjon om retningen til nøytronet (n).

[0042] API baserer seg på de motsatte bevegelsesretningene til nøytronene og α -partiklene. I API generelt, og som vist i figur 3 spesielt, er en nøytron-punktkilde 30 anordnet i origo i et koordinatsystem. Det vil bli antatt at det er mulig å måle tidspunktet når en α -partikkel 31 som er dannet i kilden 30 og har en bane med vinkel $\vec{\theta}$ som passerer gjennom en α -partikkel-deteksjonssone 33, kommer inn i denne sonen. Det må forstås at α -partikkel-deteksjonssonen 33 kan være alfadetektoren 21 vist i figur 2. For hver detekterte α -partikkel vil et hurtig nøytron 34 dannet som resultat av samme reaksjonshendelse bevege seg i en motsatt bane med vinkel $-\vec{\theta}$. Det hurtige nøytronet 34 vekselvirker med materiale i en "hurtignøytron-vekselvirkningssone" (FNIZ - Fast Neutron Interaction Zone) 35. FNIZ-sonen 35 er i én utførelsesform et område av interesse i et borehull. Vekselvirkningen mellom det hurtige nøytronet 34 og et materiale i FNIZ-sonen 35 er atskilt fra α -partikkeldeteksjonshendelsen i α -partikkel-deteksjonssonen 33 med tiden τ , definert ved:

$$\tau = d_2/v_n - d_1/v_{\alpha} \quad (5)$$

der $v_n = 5 \text{ cm/ns}$ og $v_{\alpha} = 1/16 v_n$.

[0043] Den uelastiske vekselvirkningen mellom det hurtige nøytronet 34 og kjernen til materialet i FNIZ-sonen 35 forårsaker utsending av en gammastråle 36 med energi E som bestemmes av materialet. Denne gammastrålen 36 kan bli sendt ut i alle retninger med lik sannsynlighet. I dette eksempelet er en gammastråledetektor 37 atskilt med en avstand d_y fra FNIZ-sonen 35. Følgelig er tiden mellom tidspunktet en gammastråle 36

generert som følge av uelastisk spredning av det hurtige nøytronet 34 i FNIZ-sonen 35 eventuelt blir detektert (forutsatt at den treffer detektoren 37), og tidspunktet en alfa-partikkel blir detektert i α -partikkel-deteksjonssonen 33 lik τ' , der τ' er lik $\tau + dy/c$. Det kan således antas at en gammastråle 36 detektert ved tiden τ' etter at en alfapartikkel 33 er

[0044] I figur 2 er det antatt at det er mulig å måle tidspunktet alfapartikler treffer alfa-detektoren 21 og tidspunktet gammastråler treffer én av gammastråledetektorene 24, 26. I så fall kan en for hver alfapartikkel som treffer alfadetektoren 21, detektere et tilhørende signal fra gammastråledetektorene 24, 26 ved tiden τ' senere. Som følge av dette, der-

10 som et gammastrålespektrum blir akkumulert med bruk kun av pulser i gammastråle-detektorsignalet som er atskilt med tidsintervallet τ' fra α -partikkelpulsene, vil det resulterende spekteret bestå av de uelastiske gammastrålene som ankommer til detektoren fra målet og inneholder tilhørende elementkonsentrasjonsinformasjon relatert til målet. Følgelig vil posisjonen til α -partikkeldetektoren 21 i forhold til nøytronkilden 20 definere

15 retningen (vinkelen $\bar{\theta}$), og tidsintervallet i α -partikkel/gammastråle-deteksjonsrelasjonen vil definere lengden (avstanden d_2) til vektoren som identifiserer posisjonen til målet ved verdiene for $\bar{\theta}$ og d_2 . Ved å variere denne vektorens retning og lengde kan en avsøke området utenfor verktøyet 10 for å bygge opp et bilde ved hjelp av uelastisk spektroskopi-informasjon.

20 [0045] Det må forstås at det i eksempelet over er en sannsynlighet for at observerte pulser i α -partikkelsignalet og gammastråledetektorsignalet atskilt av tidsintervallet τ' og svarende til gammastrålen og α -partikkelen er uavhengig av hverandre. Nærmere bestemt trenger ikke den detekterte gammastrålen være sendt ut som følge av vekselvirkning mellom et hurtig nøytron med opphav i den samme D-T-reaksjonshendelsen

25 som en detektert α -partikkel. Imidlertid er tidsfordelingen av de detekterte gammastrålene ukorrelert med α -partikkel-deteksjonshendelser uniform. Som følge av dette er sannsynligheten for å detektere en ukorrelert gammastrålepuls proporsjonal med $\delta\tau/\tau'$, der $\delta\tau$ er størrelsen til et tidsvindu i koincidensdeteksjonsskjemaet som definerer dypet til FNIZ-sonen (størrelsen til FNIZ-sonen i d_2 -retning) og den romlige oppløsningen for API-målinger. I det ideelle tilfellet er dette vinduet definert av oppløsningen til signal-

30 behandlingssystemet som blir anvendt for å analysere α -partikkeldetektorens signaler og gammastråledetektorens signaler (det korteste tidsintervallet mellom to pulser som kan oppløses av signalbehandlingssystemet). I virkeligheten kan $\delta\tau$ være større enn opp-

løsningsgrensen siden den er proporsjonal med den uelastiske signaltelleraten, og som følge av dette er valgt basert på en avveining mellom akseptabel tidsbruk for målingene og kvaliteten til det målte spekteret (forholdet mellom signal og statistisk støy).

[0046] Figur 4 viser et tverrsnitt sett ovenfra av loggeverktøyet 10 vist i figur 2 tatt langs linjen A-A. I figur 4 er loggeverktøyet 10 anordnet inne i et borehull 42. Loggeverktøyet 10 i denne utførelsesformen er omgitt av en slamfortrenger 45. Slamfortrenger 45 er atskilt fra borehullet 42 av en kanal 43. Kanalen 43 er i én utførelsesform fylt med borehullsslam. Borehullet 42 er omgitt av formasjon 44. Formasjonen 44 omfatter i en utførelsesform en FNIZ-sone. Som vist blir loggeverktøyet 10 beveget aksielt inne i borehullet 42.

[0047] Loggeverktøyet omfatter en alfadetektor 21. Som illustrert er alfadetektoren 21 en hul halvkule. I en utførelsesform omgir alfadetektoren 21, i hvert fall delvis, nøytronkilden 20.

[0048] Figur 5 illustrerer en perspektivbetraktning, delvis i tverrsnitt, av en alfadetektor 21 ifølge én utførelsesform. I denne utførelsesformen dannes alfadetektoren 21 av flere konsentriske, sirkulære partier. Spesielt er alfadetektoren 21 utformet med et nedre parti 52, et midtparti 54 og et øvre parti 56. Hvert parti 52, 54, 56 er i en utførelsesform et konisk parti med dimensjoner i alle tre retninger. I operasjon, avhengig av alfapartikkelens bevegelsesretning, kan ett av partiene 52, 54, 56 bli truffet av alfapartikler som kommer fra nøytronkilden 20 med forskjellige baner. Avhengig av hvilket detektorparti 52, 54, 56 som blir truffet kan det bli bestemt hvilken retning nøytronet vandret. Denne informasjonen kan bli anvendt for å øke den romlige oppløsningen til målinger gjort av et verktøy 10, herunder en flerdelt alfadetektor 21 som vist i figur 2. Antallet segmenter kan naturligvis økes for å øke oppløsningen. Videre skal det bemerkes at alfadetektoren 21 kan omfatte kun ett enkelt segment, eller to segmenter, og trenger i noen utførelsesformer ikke danne en fullstendig sirkel.

[0049] Figur 6 illustrerer en perspektivbetraktning av en alternativ utførelsesform av en alfadetektor 21. Alfadetektoren 21 ifølge denne utførelsesformen kan muliggjøre asimut-oppløsning i API-målinger. Spesielt omfatter alfapartikkeldetektoren 21 et flertall polare segmenter 52, 54, 56 dannet av individuelle asimutsegmenter 21a-21n. I én utførelsesform tjener noen av eller alle asimutsegmentene 21a-21n som separate alfadetektorer. På denne måten kan en ikke bare bestemme vertikalretningen, men også asimutvinkelen. I én utførelsesform kan fotodioder bli anvendt som fotodetektorer for å danne en

scintillasjonstype alfapartikkeldetektor utformet som vist i figur 6. Videre kan oppstillingen av flate halvlederbaserte alfapartikkeldetektorer eller diamantpartikkeldetektorer av en form tilsvarende formen vist i figur 6 bli anvendt for å detektere alfapartikler i dette tilfellet. [0050] Verktøyene vist i figurene 2 og 4 kan bli anvendt med eller uten en slamfortrenger.

5 I noen tilfeller kan borehullsfluidet (slam) spille en viktig rolle i termaliseringen av de hurtige nøytronene der dannelse av en sky av termiske nøytroner tjener som en "forsterker" for gammastrålesignalet. For API-målingene er den nyttige informasjonen inneholdt i gammastrålene utsendt som følge av uelastisk spredning av de hurtige nøytronene. For å styrke nyttesignalet bør dempningen av fluksen av hurtige nøytroner som kommer inn i området 23 og fluksen av uelastiske gammastråler som kommer fra området 23 minimeres. Dette kan i én utførelsesform oppnås ved å fortrenge borehullinnhold med et materiale med lav tetthet/lav hydrogenindeks (f.eks. vil et "tomt volum" være ideelt). Denne fortrengningen kan oppnås ved å anvende en slamfortrenger som kan bedre ytelsen til noen av de API-baserte måleskjemaene.

15 [0051] For en "aksiell" API-utførelse blir det uelastiske gammastrålesignalet fanget opp fra hurtignøytron-vekselvirkningssoner med en torusform, der formen er basert på forsinkelsestiden τ' og alfadetektorens geometri. Nærmere bestemt er den vertikale komponenten av torusformen relatert til høyden og avstanden til alfadetektoren 21 eller dens flere deler når den betraktes som en helhet. Videre bestemmes beliggenheten til hver hurtigenøytron-vekselvirkningssone (FNIZ) av to karakteristiske avstander, d_2 og d_y , begge vist i figur 3. Selvfølgelig trenger ikke komponentene (nøytronkilden 20 og gammastråledetektorene 24, 26) (figur 2) være aksielt forskjøvet inne i verktøyet 10 eller borehullet 42. Begge disse tilfellene vil bli omtalt som "ikke-aksielle" her. I slike tilfeller er ikke torusen konsentrisk hverken om verktøyet på den ene siden eller borehullet på den andre.

25 [0052] Figur 7 illustrerer at verktøyet 10 ifølge en hvilken som helst utførelsesform vist her kan bli utplassert i et borehull 42 uten en slamfortrenger. I en slik utførelsesform er ikke verktøyet nødvendigvis sentrert i borehullet 42. I det illustrerte eksempelet blir verktøyet 10 presset mot veggen i borehullet 42 og er parallell med borehullets akse. Nøytronkilden 20 og den flerdelte alfapartikkeldetektoren 21 med en ikke-sfærisk form kan være innrettet på en slik måte at FNIZ-sonen 72 befinner seg i formasjonen i retningen som vist av vektoren 70. Vektoren 70 går generelt utover vekk fra senteraksen til borehullsverktøyet 10. Alfapartikkeldetektoren 21 illustrert i figur 7 har en geometri som

bestemmes beliggenheten til alle FNIZ-sonene i formasjonen 44 samtidig som den reduserer bidraget fra borehullsignalet til signalet målt av gammastråledetektoren (ikke vist). Den eksakte verdien for asimutvinkelen θ for API-målingen bestemmes av den anvendte verktøyutførelsen. I noen tilfeller omfatter loggeverktøyet 10 ifølge denne

5 utførelsesform ytterligere posisjonsavfølingsanordninger (ikke vist) som muliggjør måling av verktøyets orientering i borehullet. I en utførelsesform, og som vist i figur 7, kan retningen til vektor 72 være styrt slik at nøytroner kun blir rettet i en retning som ikke går gjennom senteraksen til borehullet 42.

[0053] I en annen utførelsesform kan idéene her bli anvendt i en logging-under-boring-
 10 anvendelse. I en slik anvendelse, og som illustrert i figur 8, omfatter verktøyet 10 én eller flere gjennomgående slamkanaler 80 og kan være del av en borestreng. I et slikt verktøy kan komponentene i figur 2 være innlemmet, men er som følge av plassbegrensninger ikke nødvendigvis aksielt anordnet i verktøyet 10. I én utførelsesform, siden verktøyet 10 roterer under bruk, kan det være tilstrekkelig å overvåke kun nøytroner som beveger seg

15 vekk fra slamkanalen 80. Overvåkning av kun slike nøytroner reduserer også innvirkningen av slamkanalen 80 på en hvilken som helst gitt måling. Følgelig, og som illustrert i figur 8, er alfadetektoren 21 dannet kun av en delvis halvkule 82 i motsetning til den fulle halvkulen vist i tidligere eksempler. Den delvise halvkulen 82 befinner seg mellom nøytronkilden 20 og slamkanalen 80. I en slik utførelse vil nøytroner som blir sendt ut mot

20 området av interesse 82 (f.eks. en FNIZ-sone) generere alfapartikler som treffer den delvise halvkulen 82. Den radielle utstrekningen til den delvise halvkulen 82 kan varieres avhengig av omstendighetene. I én utførelsesform har den delvise halvkulen en radiell utstrekning som varierer fra alt mellom 180 grader og omtrent 15 grader.

[0054] Figur 9 viser en betraktning ovenfra av en annen utførelsesform av verktøyet 10.
 25 Denne utførelsesformen omfatter en slamkanal 80. I denne utførelsesformen er minst tre gammastråledetektorer 91a, 91b og 91c innlemmet. Gammastråledetektorene 91a, 91b og 91c er radielt forskjøvet fra midten av verktøyet 10 i den illustrerte utførelsesformen. Hver gammastråledetektor 91a, 91b og 91c er orientert for å motta gammastråler, for eksempel fra områder ved forskjellige steder utenfor borehullet (f.eks. FNIZ-soner 92a,

30 92b og 92c). Hver gammastråledetektor 91a, 91b, og 91c er forbundet med en respektiv alfadetektor(an)del 21a, 21b og 21c. Andelene eller delene 21a, 21b og 21c danner sammen en alfadetektor 21, og hver andel eller del er i en utførelsesform dannet som en

delvis halvkule. Hver delvise halvkule(an)del 21a, 21b og 21c detekterer alfapartikler relatert til nøytronene rettet mot de respektive FNIZ-sonene 92a, 92b og 92c.

[0055] Figur 10 viser en betraktning ovenfra av en annen utførelsesform av verktøyet 10.

I denne utførelsesformen er verktøyet 10 omgitt av en slamfortrenger 100. Slamfortrenger 100 omfatter slamkanaler 103. Slamkanalene 103 er i dette eksempelet anordnet rundt utsiden av fortrenger 100. Slamkanalene 103 kan naturligvis være anordnet andre steder.

[0056] I denne utførelsesformen omfatter alfadetektoren 21 indre rom 102. Beliggenheten til disse rommene er valgt slik at de er motstående slamkanalene 103. Nærmere bestemt er de resterende (an)delene av alfadetektoren 21 anordnet slik at de overser (dvs. ikke detekterer) alfapartikler relatert til nøytroner som treffer slamkanalene 103.

[0057] Hvilke som helst av de overfor angitte verktøy og API-teknikker kan bli anvendt for å utføre gitte målinger. For eksempel kan API-teknikkene bli anvendt for å: utføre uelastiske spektermålinger med høy vertikal oppløsning, herunder brønnloggingsmåling av C/O og Si/Ca med høy oppløsning; måle hurtignøytron-dempningskoeffisienten for formasjonen ("kildeløse" porositetsmålinger); og måle gammastråledempningskoeffisienten for formasjonen ("kildeløs" tetthetsmåling).

[0058] Spesielt, i eksisterende verktøy som blir anvendt for målinger av uelastiske spektre eller av forholdene C/O og Ca/Si, er den vertikale oppløsningen definert av gammastråledetektorens signalinnfangningsareal med vertikal størrelse w_{det} som avhenger av mange parametere for "verktøy-borehull-formasjon"-systemet. Verktøyutførelsene beskrevet over muliggjør forbedret styring av den vertikale oppløsningen til alle målinger basert på uelastiske spektre uten alvorlig forringelse av den målte signalstyrken og tilhørende reduksjon av brønnloggehastigheten. Spesielt kan hver $FNIZ_y^x$ -sone være kjennetegnet ved et skifte i vertikal retning i forhold til nøytronkilden Δz_y^x . Som følge av dette, for det uelastiske signalet målt for en gitt $FNIZ_y^x$, beskriver følgende likning relasjonen mellom verktøyets posisjon, tidspunktet for målingene og posisjonen til området som sender ut det detekterte signalet:

$$z_y^x = z_{ns} + \Delta z_y^x = v_l t + \Delta z_y^x \quad (6)$$

der v_l er loggehastigheten.

[0059] Ved å legge sammen signaler $I_y^x(t)$ målt for forskjellige $FNIZ_y^x$ med passende tidsforskyvninger svarende til Δz_y^x og multiplisere med normaliseringskoeffisienter A_y^x i henhold til:

$$I(t) = \sum_{x,y} A_y^x I_y^x \left(t - \frac{\Delta z_y^x}{v_l} \right) \quad (7)$$

5 svarer den resulterende summen $I(t)$ til signalet utsendt av/som kommer fra området med en størrelse lik den gjennomsnittlige størrelsen til hurtignøytron-vekselvirkningssonene ($\bar{w}_y^x$) ved dypet $z = v_l t$. En brønnlogg basert på tolkningen av signalet $I(t)$ vil således ha en vertikal oppløsning lik $\bar{w}_y^x$ og $\bar{w}_y^x < w_{\text{det}}$. Det skal bemerkes at formen til $FNIZ_y^x$ -sonene og verdiene for A_y^x er valgt i henhold til ønsket verdi for den vertikale oppløs-

10 ningen til målingene definert av $\bar{w}_y^x$ og likning 7 gjør det mulig å unngå den dramatiske reduksjonen av den resulterende telleraten for det målte signalet $I(t)$ og en tilhørende reduksjon av brønnloggehastigheten.

[0060] Utførelsesformene over kan også bli anvendt for direkte måling av formasjonens dempningskoeffisient for hurtige nøytroner L_{fn} (f.eks. "kildeløse" porøsitetmålinger). For

15 eksempel er den integrerte intensiteten til den målte gammastrålefluksen $I_{\text{int}}^{\text{int}}$ proporsjonal med tettheten / densiteten til fluksen av hurtige nøytroner i $FNIZ_y^x$ -sonen og definert ved:

$$I_{\text{int}} \sim A \frac{\exp(-L_f \bar{l}^r) \exp(-L_{fn} \bar{l}^n)}{(\bar{l}^r)^2 (\bar{l}^n)^2} \quad (8)$$

der A er en proporsjonalitetskoeffisient som tar hensyn til størrelsen til $FNIZ_y^x$ -sonen og

$\bar{l}^n$ er lik d_2 og $\bar{l}^r$ er lik d_y fra figur 3 over. Dersom I_{int} er målt for to forskjellige $FNIZ_y^x$ -

20 områder slik at $|\bar{l}_1^r| = |\bar{l}_2^r|$ og $|\bar{l}_1^n| \neq |\bar{l}_2^n|$ (en slik måling kan gjøres ved hjelp av to gammastråledetektorer), kan L_{fn} finnes fra likning 9 nedenfor:

$$\frac{I_1^{\text{int}}}{I_2^{\text{int}}} \sim \frac{A_1}{A_2} \frac{\exp(-L_{fn} \bar{l}_1^n)}{(\bar{l}_1^n)^2} \frac{(\bar{l}_2^n)^2}{\exp(-L_{fn} \bar{l}_2^n)} \quad (9)$$

der A og $\bar{l}^n$ defineres av geometrien til $FNIZ$ -sonene valgt for målingene. Den beregnede L_{fn} inneholder informasjon om formasjonens evne til å dempe hurtige nøytroner. L_{fn} er

25 proporsjonal med hydrogenkonsentrasjonen n_H i formasjonen (hydrogenindeksen) fordi

den dominerende mekanismen fra hvilken hurtige nøytroner taper sin energi under vekselvirkning med formasjonen er elastisk spredning på H-kjerner. n_H er proporsjonal med formasjonens klassiske nøytronporøsitet.

[0061] I tillegg kan utførelsesformene over muliggjøre måling av gammastråledempningskoeffisienten L_γ for formasjonen (f.eks. "kildeløse" formasjonstetthetsmålinger). Flere mekanismer påvirker et mediums evne til gammastrålespredning (som defineres av elektrontettheten for mediet og som er proporsjonal med formasjonens tetthet eller densitet) på spekteret til gammastrålefluks som går gjennom dette mediet. Disse mekanismene omfatter:

reduksjon av absoluttverdien til den totale gammastrålefluksen ($I_{\text{int}} = \int I_d(E) dE$),

der E er gammagruppens energi og $I_d(E)$ er gammastrålespekteret detektert av verktøyet gammagruppedetektor;

reduksjon av intensiteten i fototoppene i gammastrålefluksspekteret

$$(I_{ph}(h\nu) = \int_{h\nu-\Delta}^{h\nu+\Delta} I_d(E) dE);$$

endringene i formen til gammastrålefluksspekteret $I_d(E)$ som kan beskrives ved forholdet mellom fototoppen og Compton-halestyrken

$$r_{phoC} = \frac{I_{ph}(h\nu)}{I_c(h\nu \rightarrow 0)}.$$

[0062] Alle disse fenomenene kan bli anvendt for å måle gammastråledempningskoeffisienten L_γ for mediet, som er proporsjonal med mediets tetthet eller densitet:

$L_\gamma = \sum \sigma_i n_i \sim \sum Z_i n_i \sim \rho$. I laboratoriemålinger blir en gammastrålefluks med et kjent spektrum sendt gjennom en plate av et bestemt materiale ("mediet") med kjent tykkelse. Spekteret til den innsendte gammastrålefluks blir målt og behandlet og verdien for L_γ blir bestemt.

[0063] Oppsett basert på "aksielle" og "ikke-aksielle" API-utførelser for borehulls-målingene kan bli anvendt for å utføre målinger tilsvarende laboratoriemålingene over:

$FNIZ_y^x$ -soner beliggende ved forskjellige dyp i formasjonen kan bli anvendt som kvaskilder for gammastrålefluks. I dette tilfellet blir de uelastiske spektrene målt for flere $FNIZ_y^x$ -soner med forskjellige $\tilde{l}^r$ - og $\tilde{l}^n$ -parametere analysert fra de absolutte intensitetene, og spektralformavhengigheter av $\tilde{l}^r$ og $\tilde{l}^n$ L_γ kan bli identifisert.

[0064] Forskjellen mellom det laboratoriemålingsskjemaet og API-målingene er relatert til gammastrålekildens karakter. For laboratoriemålinger avhenger ikke gammastrålefluksen som blir anvendt for å undersøke prøven av selve prøven og eksperimentgeometrien. I motsetning, for de API-baserte målingene, påvirkes formasjonen, som spiller rollen som prøven, av mengden gammastråler med opphav i forskjellige $FNIZ_y^x$ -soner gjennom spredning/adsorpsjon av hurtige nøytroner (for samme FNIZ-geometri), og disse gammastrålene tjener som undersøkelsesfluksen.

[0065] Flere skjemaer for forskjellige API-baserte målinger og dataanalyse kan bli anvendt for å identifisere L_y og ρ for formasjonen. Disse omfatter et "3 FNIZ-måling"-skjema, et "lik $\tilde{l}^n$ -avstand"-skjema og et "spektralformanalyse"-skjema.

[0066] For "3 FNIZ-måling"-skjemaet blir de uelastiske spektrene målt for 3 $FNIZ_y^x$ -soner med forskjellige verdier for $\tilde{l}^r$ og $\tilde{l}^n$. Den integrerte gammastrålefluksen I_{int} er definert i likning 8 over. Tre verdier for $I_{int}(\tilde{l}^r, \tilde{l}^n)$ gir 2 likninger av typen (9), som gjør det mulig å beregne L_{fn} og L_y .

[0067] "Lik $\tilde{l}^n$ -avstand"-skjemaet er basert på API-målingene utført for to $FNIZ_y^x$ -soner med forskjellige verdier for $\tilde{l}^r$, men samme verdi for $\tilde{l}^n$. Denne målingen kan gjøres ved hjelp av et verktøy med 2 gammastråledetektorer, som vist for eksempel i figur 2. I dette tilfellet kan intensiteten til oksygen-fototoppen $I_{ph}(hv)$ ved 6,14 MeV bli anvendt for å identifisere L_y i henhold til likning 8 over. Gammastråler med energi 6,14 MeV har et forholdsvis stort inntrengningsdyp i de fleste formasjoner. Denne gode inntrengningsevnen og tilstedeværelsen av oksygen i nesten alle typer formasjoner gjør denne uelastiske fototoppen egnet for det foreslåtte måleskjemaet. Naturligvis vil andre fototopper observert i det uelastiske gammastrålespekteret kunne bli anvendt for samme formål.

[0068] Bruk av fototopp-intensiteten i stedet for den integrerte intensiteten til spekteret gjør det mulig å ekskludere påvirkningen av gammastråle-spredningstverrsnittets avhengighet av gammastråleenergien på de oppnådde resultatene. Som følge av dette kan systematiske feil i den beregnede verdien for L_y reduseres.

[0069] "Spektralformanalyse"-skjemaet anvender spektrene målt for to $FNIZ_y^x$ -soner med forskjellige verdier for $\tilde{l}^r$ og $\tilde{l}^n$. I dette tilfellet blir forholdene mellom fototoppene og tilhørende Compton-halestyrker, $r_{ph\to C}$, anvendt for å identifisere L_y . Spektralformene avhenger av gammastrålespredningsevnen til mediet mellom kilden og detektoren og er

ikke påvirket av den absolutte intensiteten til fluksen fra kilden. Som følge av dette vil ikke de foreslåtte forholdene avhenge av $\vec{I}^n$ og L_m som definerer nøytronfluksintensiteten i $FNIZ_y^x$ -sonene og er funksjoner av $\vec{I}^r$ og L_y og en koeffisient C som definerer geometrien til begge $FNIZ_y^x$ -sonene. Naturligvis kan kunnskap om den eksakte funksjonsformen

5 til $r_{\text{photo}}(L_y, \vec{I}^r, C, hv)$ være nødvendig for gjennomføring av dette skjemaet, og kan finnes fra resultater av Monte Carlo-modellering av gammastråletransport i forskjellige medier.

[0070] Asimutoppløsningen som tilveiebringes av API-målinger kan muliggjøre uelastisk avbildning. Slike avbildninger kan bli anvendt både for LWD- og kabeloperasjoner for å finne $I_{in}(hv, r, \varphi, z)$ -data og konvertere dem til formasjonsavbildninger (fordelinger i formasjonen) av de "uelastiske" elementkonsentrasjonene, forholdene C/O og Si/Ca og andre parametere som kan avledes fra uelastiske spektre (prompte gammaspektre).

10 [0071] Endelig kan foreliggende oppfinnelse bli anvendt for et "foran borkronen"-målesystem basert på deteksjon av uelastiske gammastrålesignaler. Spesielt kan det uelastiske gammastrålesignalet dannet som et resultat av vekselvirkning mellom de hurtige nøytronene og formasjonen foran borkronen (uelastiske signalmålinger "foran borkronen"). Dette kan imidlertid kreve at gammastråledetektoren(e) befinner seg i selve borkronen. Den hurtige nøytrongeneratoren med alfapartikkeldetektoren kan være anordnet i forskjellige avstander fra detektoren (i borkronen eller i vektør). Alle deteksjonsskjemaer og algoritmer for å tolke måledata beskrevet over kan bli anvendt for

20 denne API-baserte måleanordningen.

[0072] Selv om konkrete fremgangsmåter for å bestemme spesifikke verdier vist over er beskrevet, må det forstås at alle disse anvender, i en eller annen grad, en grunnleggende metode. Figur 11 viser et eksempel på en fremgangsmåte som kan bli praktisert av et hvilket som helst av systemene eller som del av en hvilken som helst av fremgangsmåtene vist her. Fremgangsmåteeksempelet begynner i trinn 120 der et alfa-partikkel/nøytron-par blir dannet som et resultat av en fusjonsreaksjon. Som angitt over beveger nøytronet og alfapartikkelen seg i motsatt retning. I et trinn 122 blir alfapartikkelen detektert. Alfapartikkelen kan bli detektert ved et første tidspunkt som beskrevet over. I trinn 124 blir en gammapartikkel detektert på et andre tidspunkt. Der-

30 som det andre tidspunktet er atskilt fra det første tidspunktet av en tidsperiode τ' (som definert over), antas gammapartikkelen å være assosiert med den detekterte alfapartikkelen. Basert på energien i gammastrålene mottatt ved tiden τ' kan således

materialbestanddelene i en formasjon bli bestemt som angitt i trinn 126. Ved å variere tiden t' kan en naturligvis bestemme materialene i forskjellige avstander.

[0073] I støtte for idéene her kan forskjellige analysekomponenter bli anvendt, herunder et digitalt og/eller et analogt system. For eksempel kan prosesseringssystemet 11 (figur 1) omfatte det digitale og/eller analoge systemet. Systemet kan ha komponenter så som en prosessor, lagringsmedier, minne, innmating, utmating, kommunikasjonsforbindelser (kabelbaserte, trådløse, pulset slam, optiske eller andre), brukergrensesnitt, data-programmer, signalprosessorer (digitale eller analoge) og andre slike komponenter (så som resistorer, kondensatorer, induktorer og annet) for å muliggjøre bruk av og analyse med anordningene og fremgangsmåtene vist her på en hvilken som helst av flere mulige måter velkjent for fagmannen. Det anses at disse idéene kan, men ikke trenger å bli realisert i forbindelse med et sett av datamaskinekksekverbare instruksjoner lagret på et datamaskinlesbart medium, herunder minne (ROM, RAM), optiske (CD-ROM), eller magnetiske (platelagre, harddisker), eller en hvilken som helst annen type som når de blir eksekvert, bevirker en datamaskin til å utføre fremgangsmåten ifølge foreliggende oppfinnelse. Disse instruksjonene kan sørge for aktivering av utstyr, styring, innsamling og analyse av data og andre funksjoner som anses som relevante av en utvikler, eier eller bruker av systemet og annet slikt personell, i tillegg til funksjonene beskrevet i denne beskrivelsen.

[0074] Videre kan forskjellige andre komponenter innlemmes og bli anvendt for å muliggjøre aspekter ved idéene her. For eksempel kan en prøvelinje, prøvelagre, prøvekammer, prøveutmater, pumpe, stempel, kraftforsyning (f.eks. minst én av en generator, en fjernforsyning og et batteri), spenningsforsyning, vakuumforsyning, trykkforsyning, kjølekomponent, oppvarmingskomponent, drivkraft (så som en translatorisk kraft, fremdriftskraft eller en rotasjonskraft), magnet, elektromagnet, føler, elektrode, sender, mottaker, sender/mottaker-enhet, antenne, styringsenhet, optisk enhet, kjemisk analyseenhet, elektrisk enhet eller elektromekanisk enhet bli innlemmet i støtte for de forskjellige aspektene omtalt her eller i støtte for andre funksjoner utover denne beskrivelsen.

[0075] Elementer i utførelsesformene har blitt presentert med bruk av ubestemte entallsformer. Entallsformen er ment å forstås som at det kan være ett eller flere av elementene. Betegnelsene "inkluderer", "omfatter", "herunder", "har" og "med" er ment inkluderende, slik at det kan være ytterligere elementer utover de angitte elementene. Konjunksjonen "eller", når den blir anvendt med en opplisting av minst to elementer, er ment å

bety et hvilket som helst element eller enhver kombinasjon av elementer. Betegnelsene "første" og "andre" anvendes for å skille elementer og anvendes ikke for å angi en bestemt rekkefølge.

[0076] Det vil forstås at de forskjellige komponenter eller teknologier kan muliggjøre

5 bestemte nødvendige eller nyttige funksjoner eller trekk. Følgelig skal disse funksjonene og trekkene, som kan være nødvendige i støtte for de vedføyde kravene og variasjoner av disse, forstås å være naturlig innlemmet som en del av idéene her og en del av den viste oppfinnelsen.

[0077] Selv om oppfinnelsen har blitt beskrevet med støtte i eksempler på utførelser, vil

10 det forstås at forskjellige endringer kan gjøres og at ekvivalenter kan bli anvendt i stedet for elementer i disse uten å fjerne seg fra oppfinnelsens ramme. I tillegg vil mange modifikasjoner sees for å tilpasse et gitt instrument, scenario eller materiale til idéene i oppfinnelsen uten å fjerne seg fra dennes ramme. Det er derfor meningen at oppfinnelsen ikke skal begrenses til den konkrete utførelsesformen omtalt som den forventet
15 beste måte å realisere denne oppfinnelsen, men at oppfinnelsen skal omfatte alle utførelsesformer som faller innenfor rammen til de vedføyde kravene.

P A T E N T K R A V

1. Apparat for utføring av en operasjon i et borehull som penetrerer eller strekker seg
5 inn i jorden, der apparatet omfatter:
 et borehullsverktøy;
 en nøytronkilde inne i borehullsverktøyet som sender ut nøytron/alfapartikkel-par
 som resultat av en kjernereaksjon;
 en alfapartikkeldetektor inne i borehullsverktøyet anordnet for å detektere når en
10 alfapartikkel utsendt av nøytronkilden treffer den;
 en gammastråledetektor for detektering av gammastråler generert som et resultat
 av vekselvirkninger mellom nøytroner generert av nøytronkilden og minst ett materiale i
 et område av interesse utenfor borehullet; og
 et prosesseringssystem som bestemmer et trekk ved området av interesse basert
15 på en tidsdifferanse mellom et tidspunkt når alfapartikkelen treffer alfapartikkeldetektoren
 og et tidspunkt når én eller flere gammastråler treffer gammastråledektoren.
2. Apparat ifølge krav 1, der trekket eller karakteristikken er porøsitet.
- 20 3. Apparat ifølge krav 1, der trekket eller karakteristikken er densitet eller tetthet.
4. Apparat ifølge krav 1, der prosesseringssystemet er innrettet for anvendelse av
 teknikker for avbildning av assosierte partikler (API) for bestemmelse av trekket.
- 25 5. Apparat ifølge krav 1, der alfapartikkeldetektoren har en hul halvkuleform.
6. Apparat ifølge krav 1, der alfapartikkeldetektoren er dannet av to eller flere deler.
7. Apparat ifølge krav 6, der minst to eller flere deler er sirkulære.
- 30 8. Apparat ifølge krav 7, der de minst to eller flere delene er konsentriske.

9. Apparat ifølge krav 6, der minst to eller flere deler er dannet av et flertall asimut-segmenter.

10. Apparat ifølge krav 6, der de to eller flere delene omfatter fotodioder innrettet for å fungere som fotodetektorer.

11. Apparat ifølge krav 6, der alfapartikkeldetektoren har en hul halvkuleform.

12. Apparat ifølge krav 6, der alfapartikkeldetektoren har en hul, ikke-sfærisk form.

13. Apparat ifølge krav 6, der alfapartikkeldetektoren er dannet av én enkelt flat plate eller en oppstilling av flere flate plater.

14. Apparat ifølge krav 1, der alfapartikkeldetektoren og nøytronkilden begge er aksielt anordnet inne i borehullsverktøyet.

15. Apparat ifølge krav 1, der alfapartikkeldetektoren og nøytronkilden begge er ikke-aksielt anordnet inne i borehullsverktøyet.

16. Apparat ifølge krav 15, der alfapartikkeldetektoren har en delvis halvkuleform.

17. Apparat ifølge krav 15, der alfapartikkeldetektoren kun detekterer alfapartikler assosiert med nøytroner rettet utover fra borehullsverktøyets senterakse.

18. Apparat ifølge krav 1, videre omfattende en slamkanal anordnet inne i borehullsverktøyet.

19. Apparat ifølge krav 1, der prosesseringssystemet bestemmer trekket mens borehullsverktøyet er involvert i en boreoperasjon.

20. Apparat ifølge krav 1, videre omfattende flere slamkanaler anordnet inne i borehullsverktøyet og rundt borehullsverktøyets senterakse.

21. Apparat ifølge krav 20, der alfapartikkeldetektoren er dannet av flere deler anordnet for detektering av alfapartikler relatert til nøytroner som ikke vandrer gjennom noen av de flere slamkanalene.

5 22. Apparat ifølge krav 1, i kombinasjon med eller videre omfattende en borkrone innrettet for å bore inn i borehullet.

23. Apparat ifølge krav 22, der gammastråledektoren befinner seg inne i borkronen.

10 24. Fremgangsmåte for å måle en parameter for en formasjon, der fremgangsmåten omfatter trinn med å:

senke et borehulls- eller nedihullsverktøy inn i et borehull som penetrerer eller strekker seg inn i jorden, der borehullsverktøyet omfatter en nøytronkilde, en gammastråledetektor og en alfapartikkeldetektor;

15 bestemme et første tidspunkt der en første alfapartikkel treffer alfapartikkeldetektoren;

assosiere en gammastråle, detektert på et andre tidspunkt av en gammastråledetektor, med den første alfapartikkelen; og

20 bestemme parameteren basert på det andre tidspunktet og energien i den detekterte gammastrålen.

25. Fremgangsmåte ifølge krav 24, der parameteren er densitet eller tetthet.

26. Fremgangsmåte ifølge krav 24, der parameteren er porøsitet.

25

27. Fremgangsmåte ifølge krav 24, der parameteren er konsentrasjoner av ett eller flere elementer i formasjonen.

28. Fremgangsmåte ifølge krav 24, der det andre tidspunktet er innenfor et tidsvindu.

30

29. Fremgangsmåte ifølge krav 28, der det andre tidspunktet relateres til en første avstand fra nedihullsverktøyet.

30. Fremgangsmåte ifølge krav 28, der trinnet med å bestemme omfatter bestemmelse av den første avstanden.

31. Fremgangsmåte for å måle en parameter for en formasjon, der fremgangsmåten omfatter trinn med å:

bestråle formasjonen med en strøm eller strømming av nøytroner fra en nøytronkilde anordnet inne i et borehullsverktøy som befinner seg under jordoverflaten;

måle alfapartikler med et flertall alfapartikkeldetektorer;

assosiere gammastråler, detektert av en gammastråledetektor, med de målte alfapartiklene; og

bestemme en vertikal komponent for et element i formasjonen basert på en relasjon mellom partikler målt av forskjellige alfapartikkeldetektorer.

32. Fremgangsmåte ifølge krav 31, der alfapartikkeldetektorene dannes av sirkulære ringer.

33. Fremgangsmåte ifølge krav 32, der alfapartikkeldetektorene dannes av konsentriske sirkulære ringer.

34. Fremgangsmåte ifølge krav 31, der alfapartikkeldetektorene dannes av asimutiske partier.

35. Fremgangsmåte ifølge krav 31, der alfapartikkeldetektorene dannes av én eller flere flate plater.

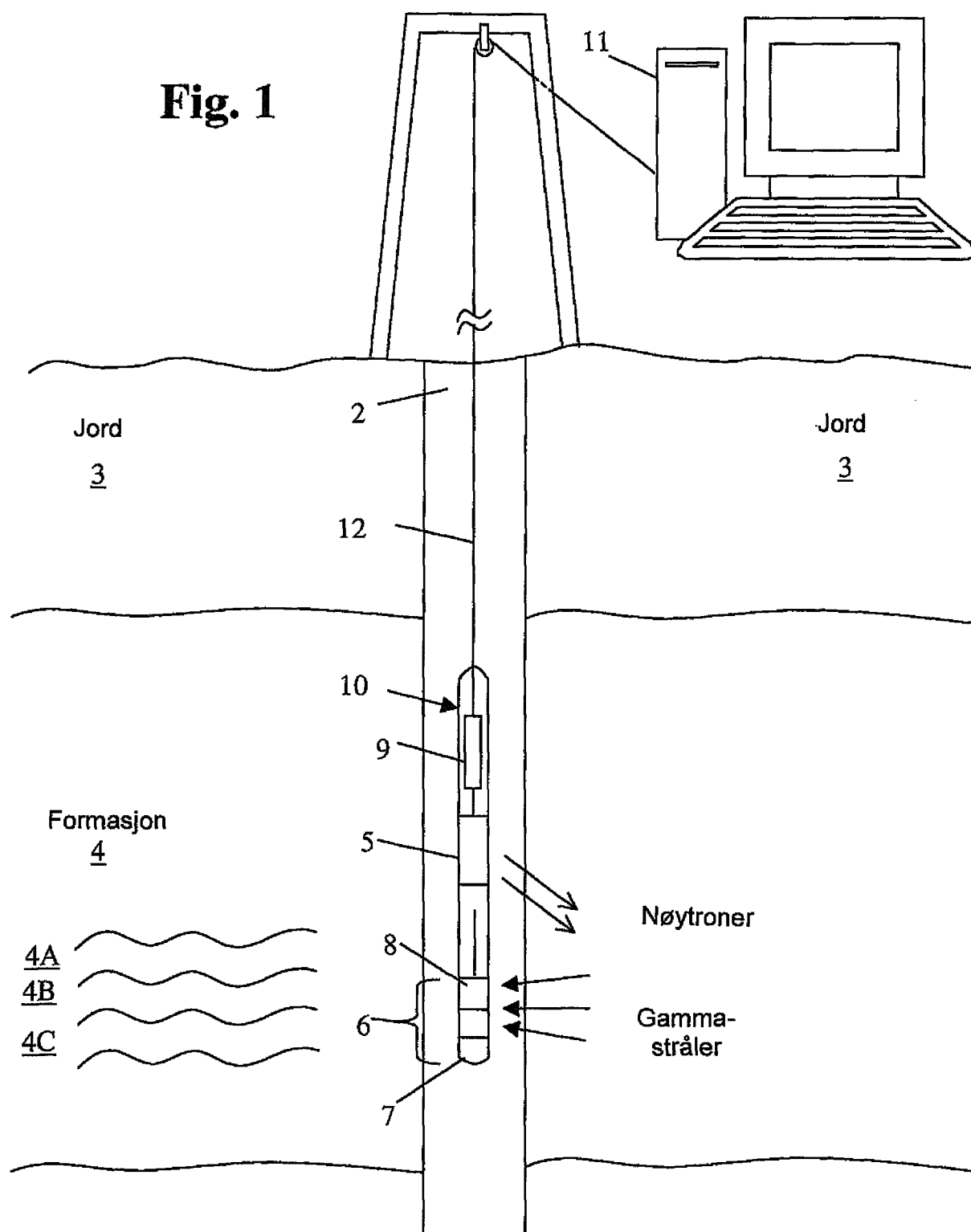
Fig. 1

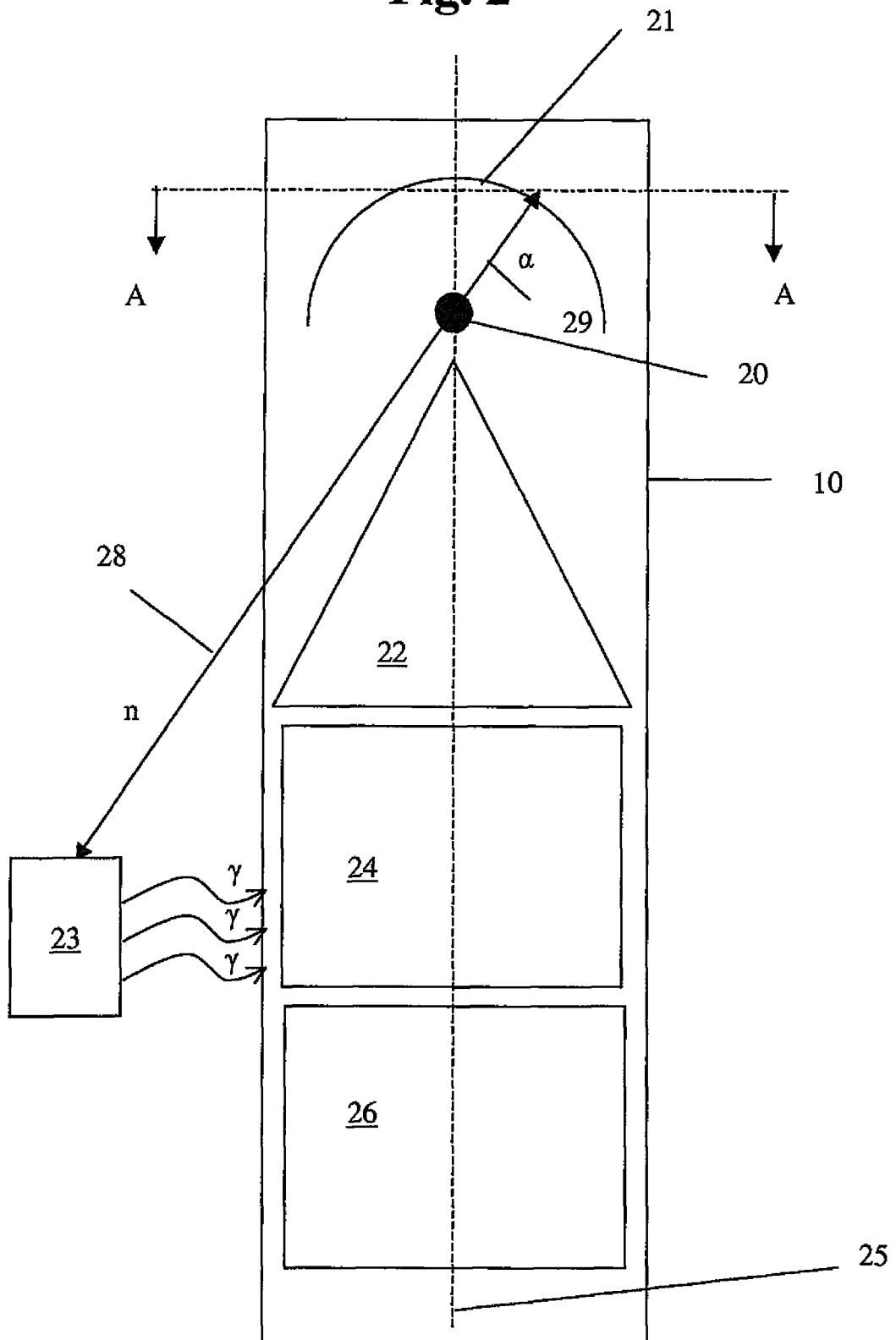
Fig. 2

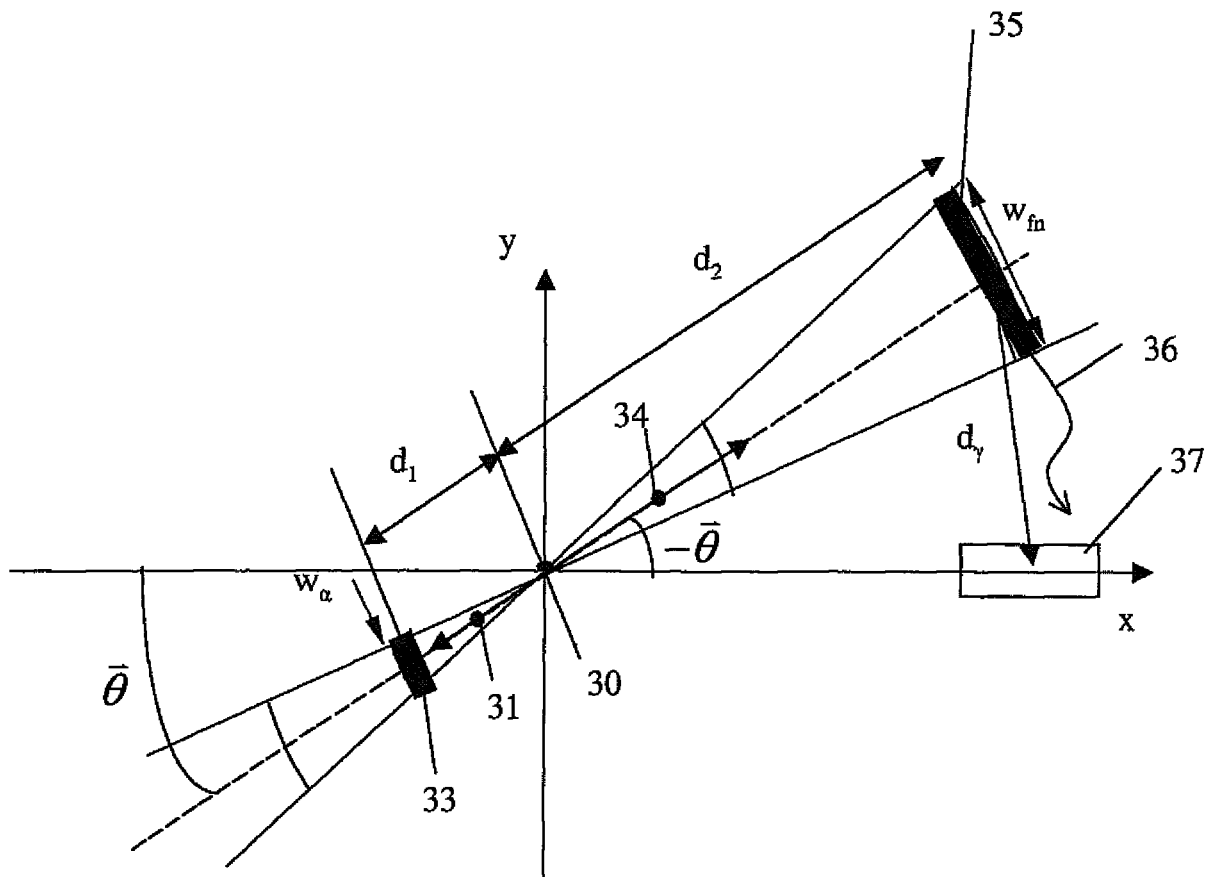
Fig. 3

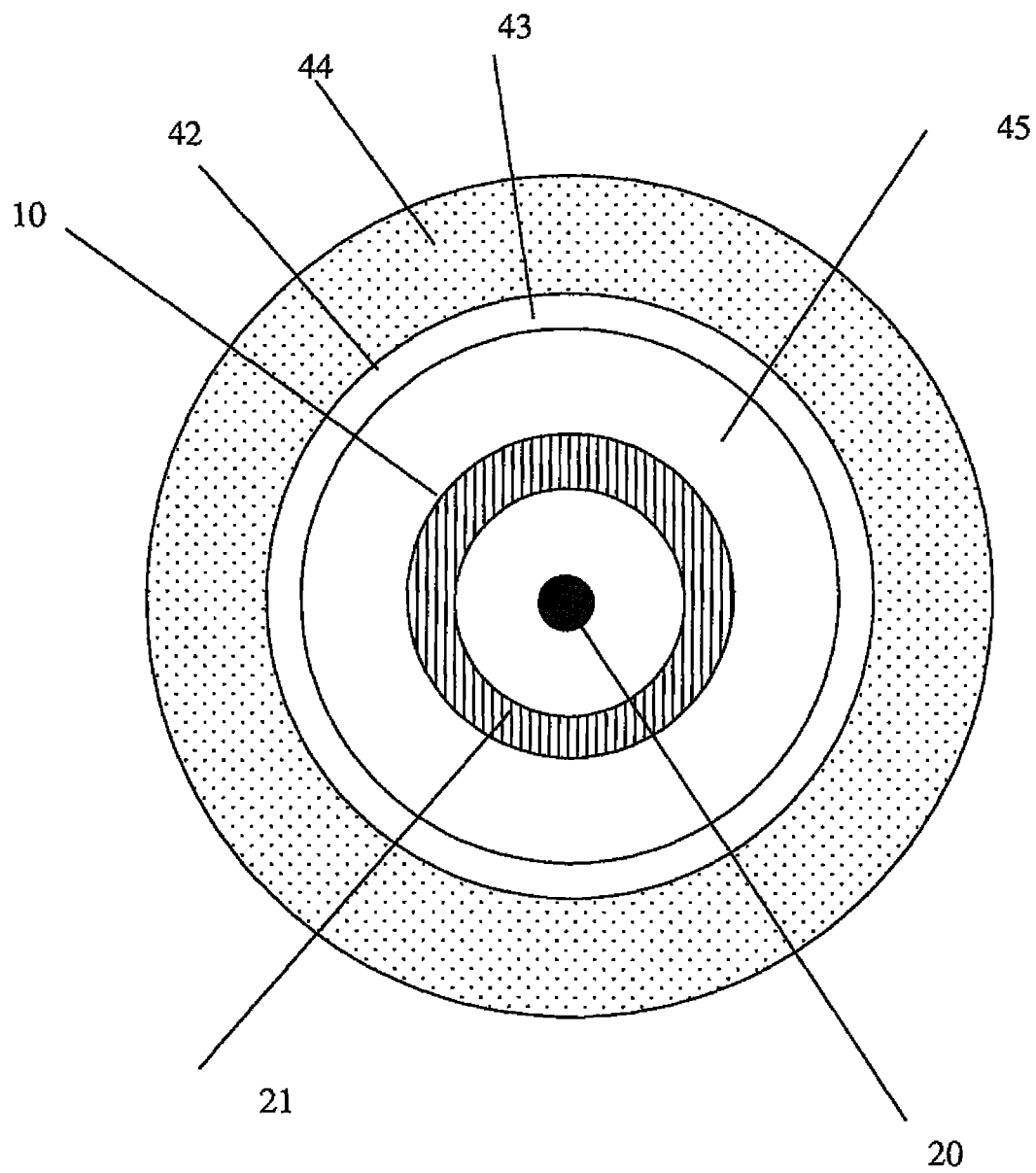
Fig. 4

Fig. 5

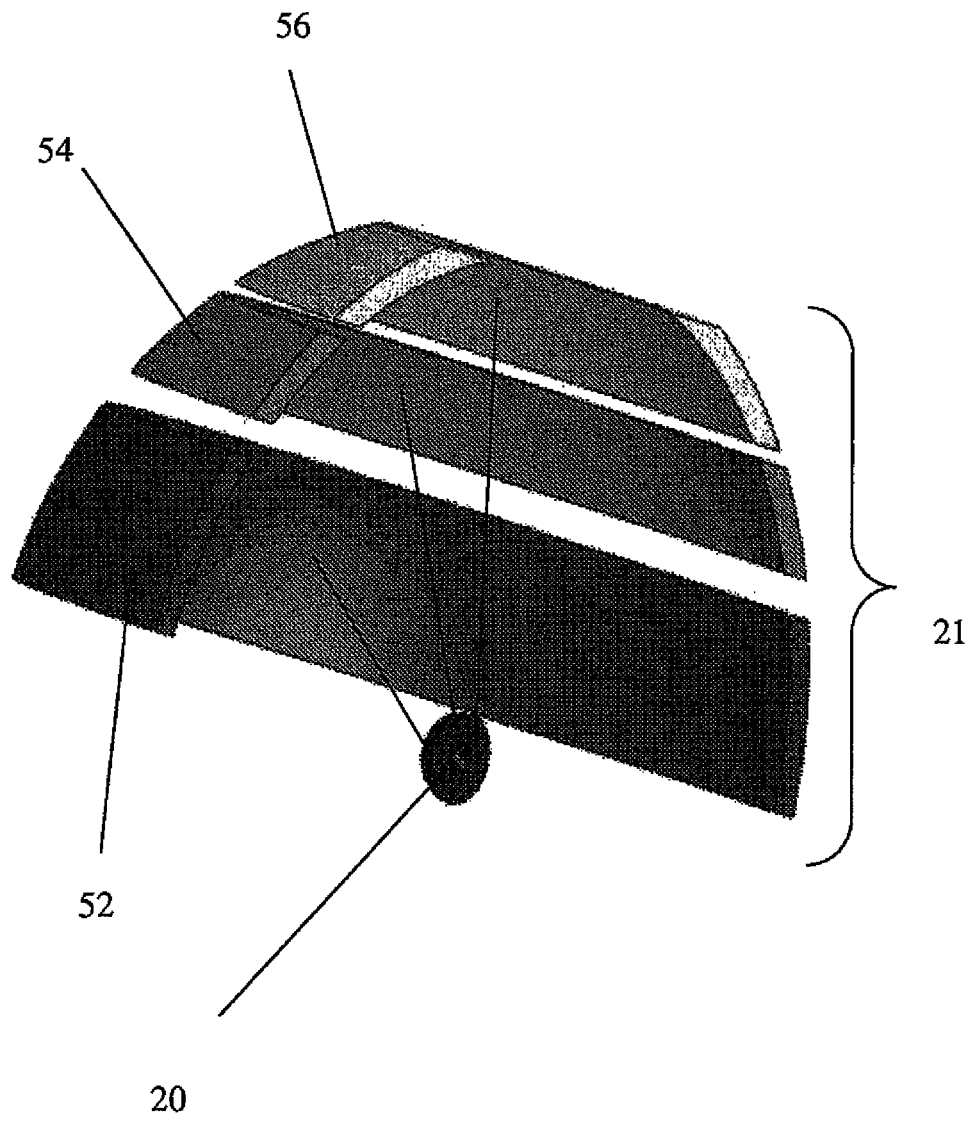


Fig. 6

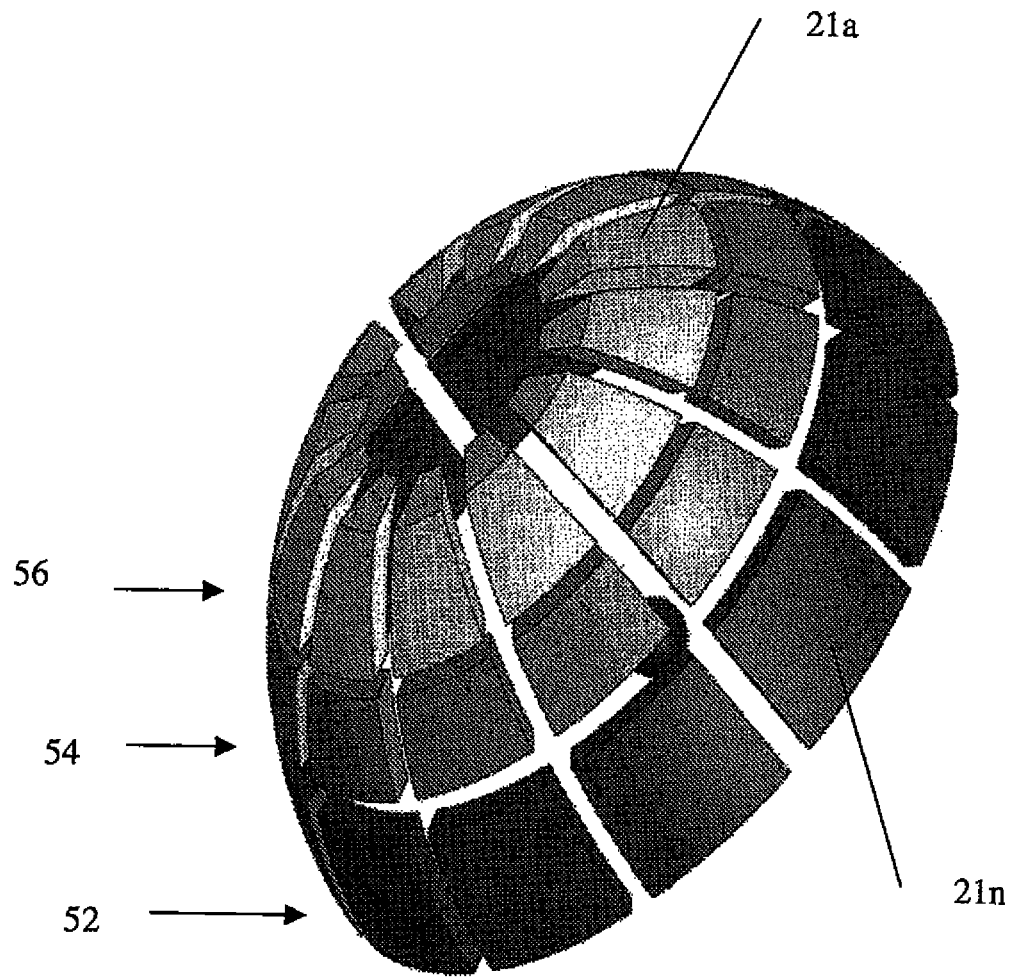


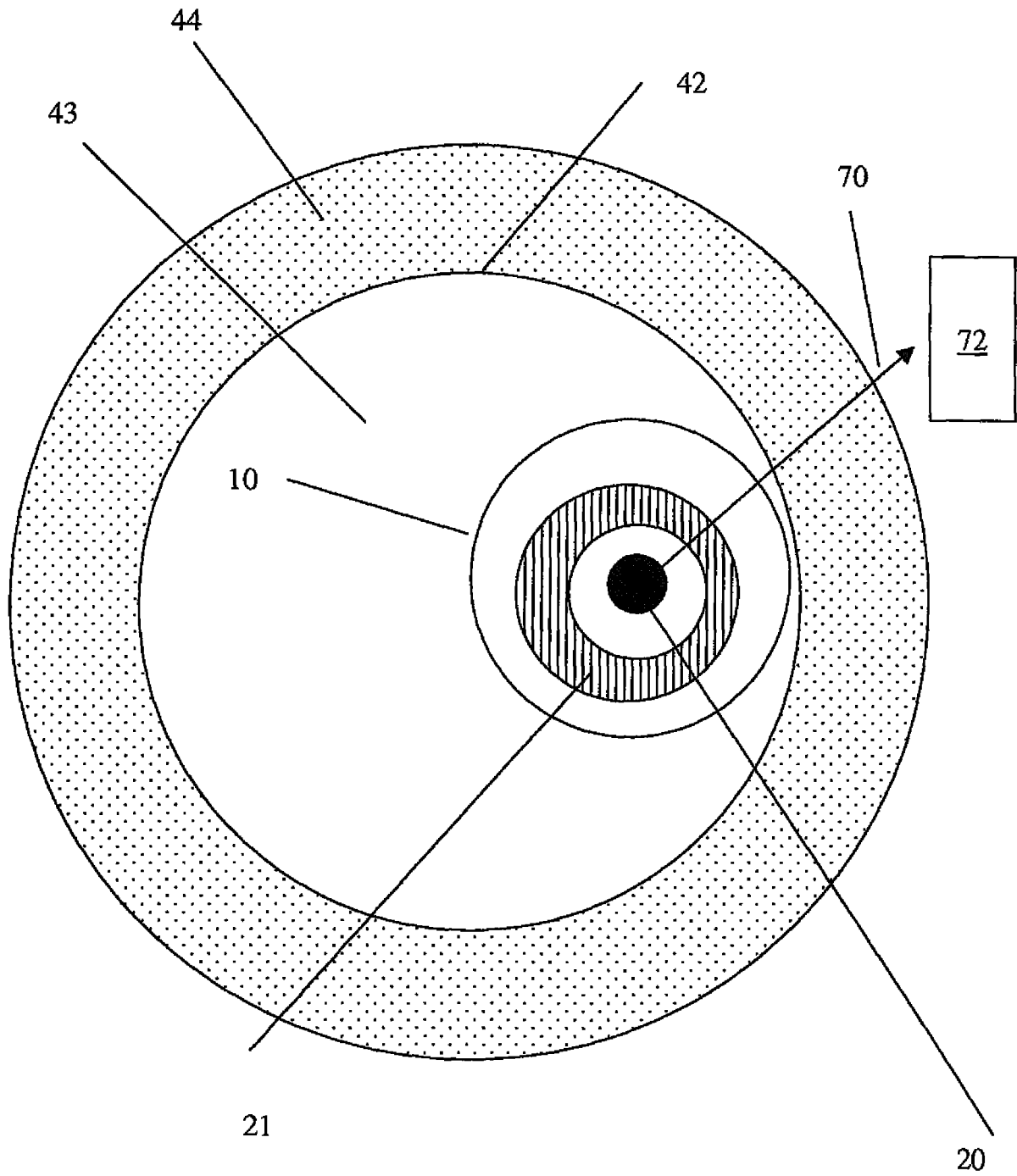
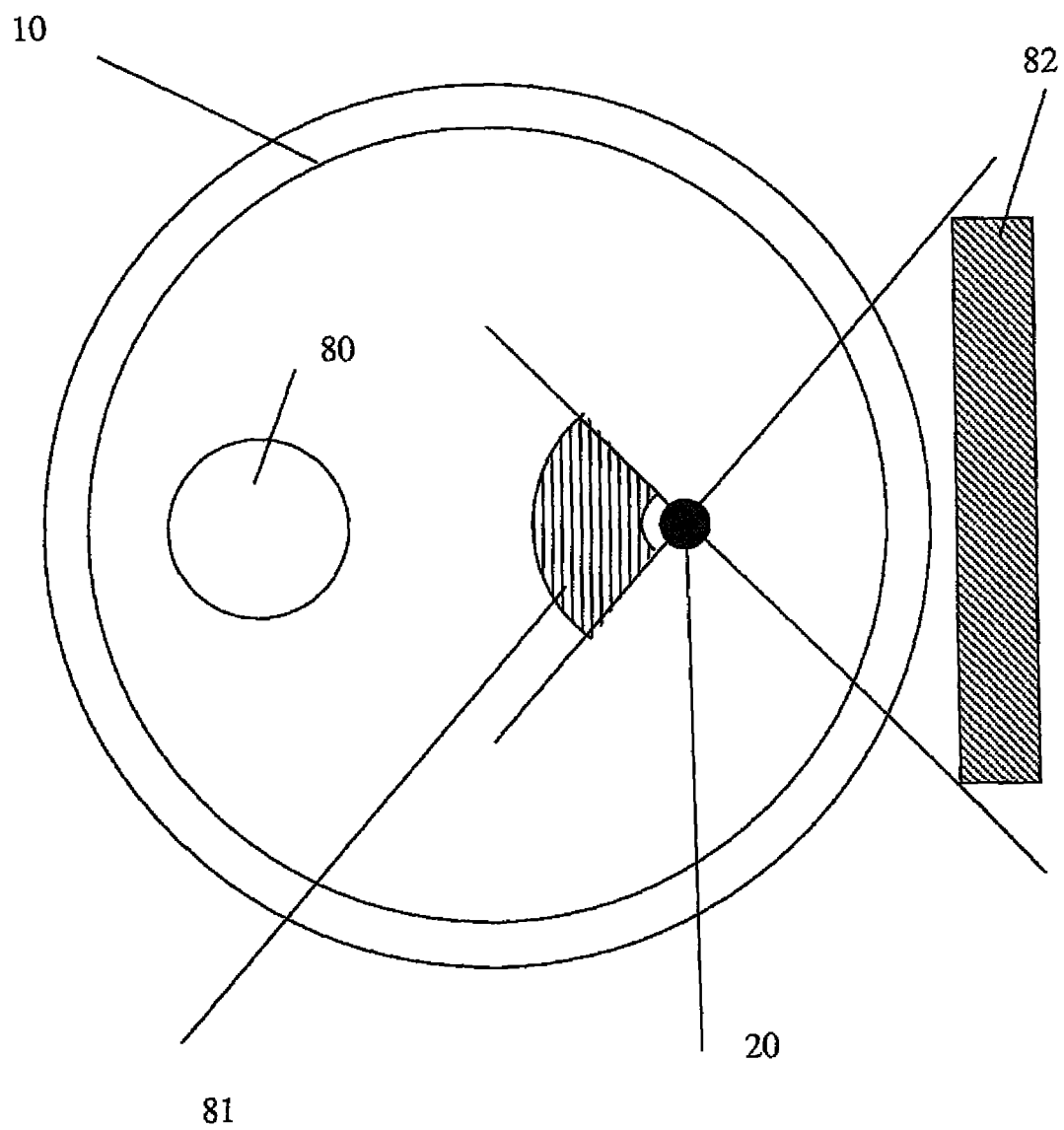
Fig. 7

Fig. 8

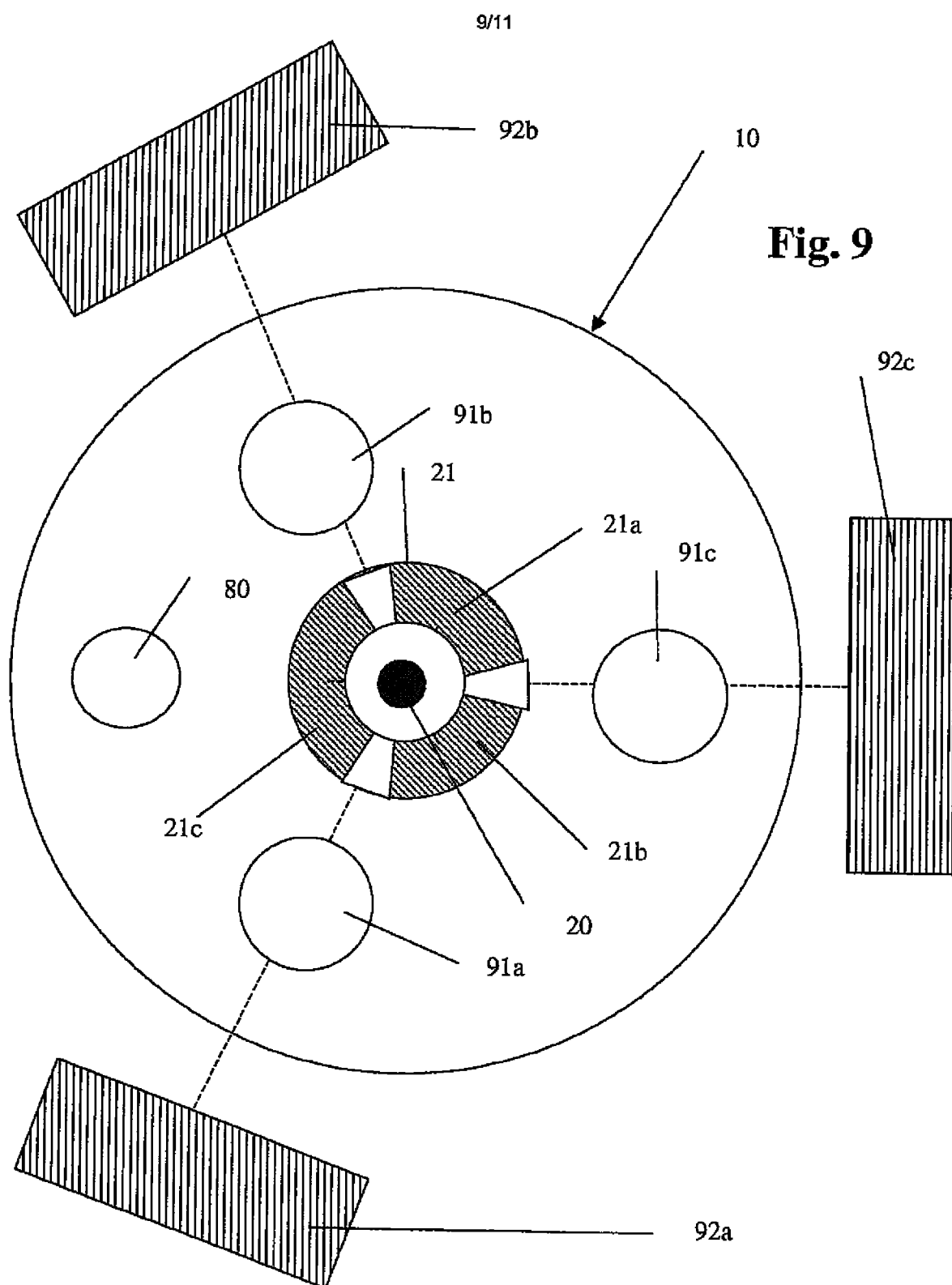


Fig. 9

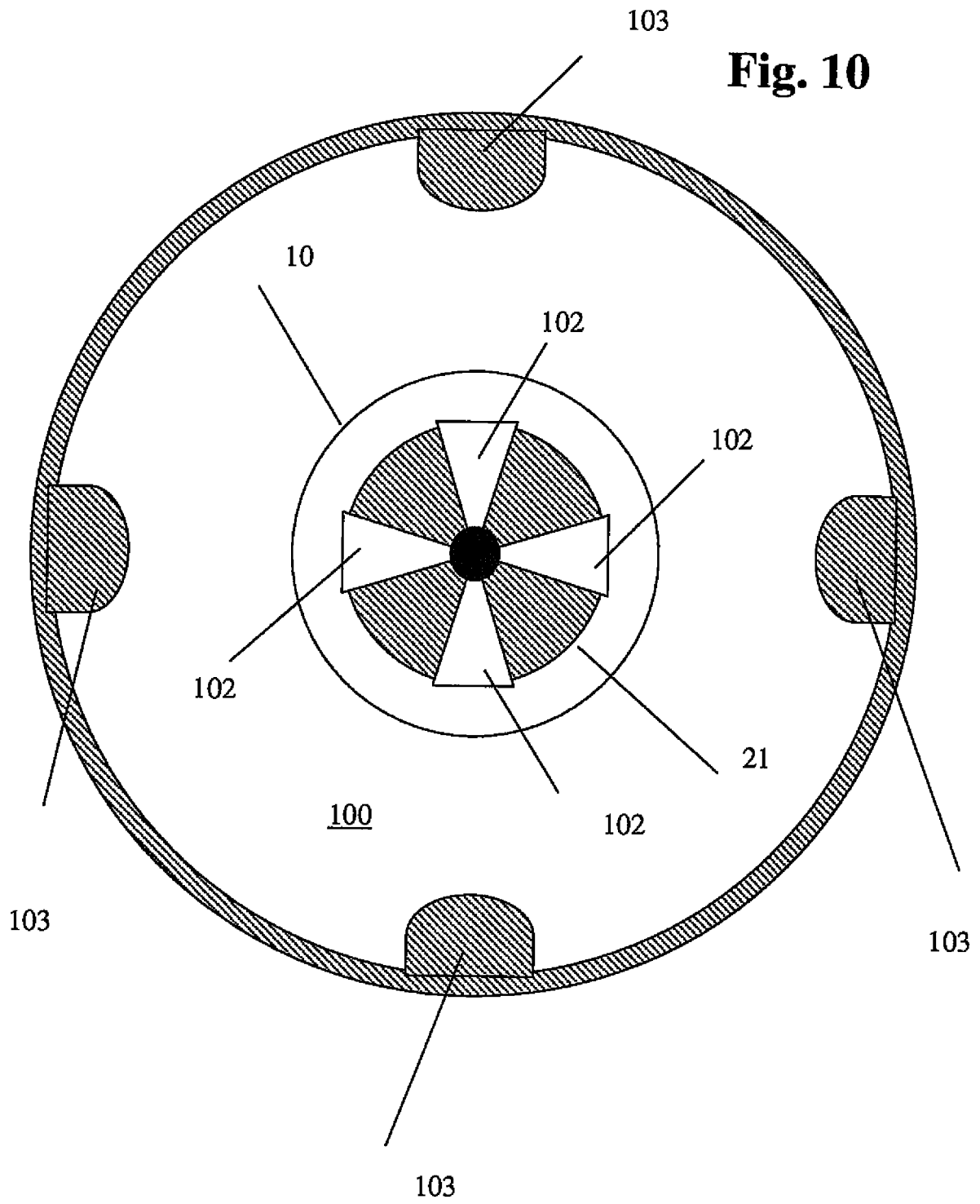
Fig. 10

Fig. 11