

12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: 82105848.4

51 Int. Cl.³: H 05 H 6/00

22 Anmeldetag: 01.07.82

30 Priorität: 03.07.81 DE 3126191

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
 12.01.83 Patentblatt 83/2

84 Benannte Vertragsstaaten:
 CH DE FR GB LI SE

71 Anmelder: Kernforschungsanlage Jülich Gesellschaft
 mit beschränkter Haftung
 Postfach 1913
 D-5170 Jülich(DE)

72 Erfinder: Fassbender, Josef, Dr.
 Haubourdinstrasse 8
 D-5170 Jülich(DE)

72 Erfinder: Meister, Gerhard, Dr.
 Gelderner Strasse 44
 D-5170 Jülich(DE)

64 Flüssigmetall-Target für eine Spallationsneutronenquelle.

57 Gegenstand der Erfindung ist ein Flüssigmetall-Target für eine Spallationsquelle, bestehend aus einem Strömungskanal (1), in dem Flüssigmetall (2) mit hinreichend hoher Geschwindigkeit strömt, wobei der Strömungskanal eine Öffnung (3) für den Eintritt des Protonenstrahls (P) hat und durch geeignete Formgebung des Kanals Trägheitskräfte durch Umlenkung des Flüssigkeitsstroms erzeugt werden, die so beschaffen sind, daß ein Austritt des Flüssigmetalls aus dem Fenster verhindert wird. Dies wird dadurch erreicht, daß die Trägheitskräfte im Zusammenwirken mit den Gravitationskräften im Bereich des Fensters die Ausbildung einer freien, von der Kanalwand losgelösten Flüssigkeitsoberfläche (6) bewirken, die etwa parallel zu der Kanalwand ist, in der sich der Strahlfenster (Öffnung) befindet. Dies kann gemäß der Erfindung durch ein gekrümmtes Kanalstück mit Anordnung des Fensters in der zum Krümmungsmittelpunkt hinweisenden Wand realisiert werden oder durch Einschnürung des Flüssigkeitsstroms vor dem Fenster und nachfolgende Expansion nach dem Fenster. Die Kombination beider Methoden ist gemäß der Erfindung ebenfalls möglich (Fig. 1).

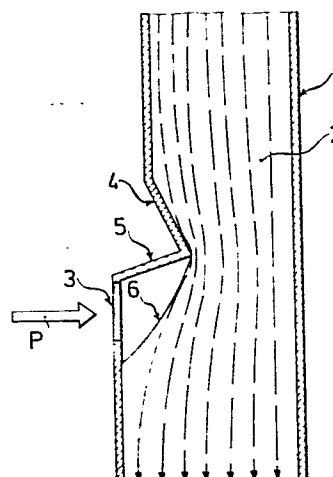


FIG. 1

Kernforschungsanlage Jülich
Gesellschaft mit beschränkter Haftung

Flüssigmetall-Target für eine Spallationsneutronenquelle

Die Erfindung bezieht sich auf ein Target für eine Spallationsneutronenquelle, das unter Verwendung von flüssigem Metall gebildet wird, welches in einem Kanal mit darin angeordneter
5 Umwälzpumpe sowie einem Wärmetauscher umläuft, wobei ein zur Freisetzung energiereicher Neutronen vorgesehener Protonenstrahl hoher Energie durch eine im Kanal angebrachte, unabgedeckte Eintrittsöffnung auf eine freie Oberfläche des
10 flüssigen Metalls auftrifft, und wobei der Kanal mit einer Heizvorrichtung zum Aufheizen des strömenden Metalls auf eine oberhalb seiner Schmelztemperatur liegende Betriebstemperatur vor der Inbetriebnahme der Neutronenquelle in
15 Verbindung steht.

Spallationsneutronenquellen sind Vorrichtungen, bei denen ein Protonenstrahl hoher Energie (Größenordnung: 1 GeV) zur Erzeugung von Neutronen
20 in eine geeignete Substanz eingeschlossen wird. Der Protonenstrahl wird von einem Beschleuniger erzeugt, dessen Beschleunigungsstrecke unter Hochvakuum steht. Um die angestrebten hohen Neutronenquellstärken zu erreichen, werden Protonenenergien und Protonenströme benötigt, bei
25

- 2 -

denen innerhalb eines Volumens von einigen 100 cm^3 des Targetmaterials Leistungen in der Größenordnung von einigen MW erzeugt werden.

5 Targets für Spallationsneutronenquellen sind
in verschiedener Ausführungsform bekannt. Sie
können als Feststoff-Targets, Verdampfungs-
Targets oder Flüssigmetall-Targets ausgebildet
sein. Infolge der hohen Protonen-Energie, die
10 zur Erzeugung von Spallations-Neutronen erforder-
lich ist, liegt eines der Probleme darin, eine
hinreichende Wärmeabfuhr aus dem Bereich der
Wechselwirkung zwischen Protonenstrahl und dem
Target an der Stelle, an der der Protonenstrahl
15 auf das Target auftrifft, zu gewährleisten.
Bei Feststoff-Targets wird die Wärme durch Wärme-
leitung bei unterhalb des Schmelzpunktes des
Targetmaterials liegenden Temperaturen abgeführt.
Das hat zur Folge, daß die abführbare Wärme-
20 menge begrenzt ist. Um diesem Nachteil zu bege-
gen, ist daher auch schon eine Targetanordnung
für Spallationsneutronenquellen vorgeschlagen
worden, bei der kontinuierlich Targetmaterial
dadurch am Auftreffpunkt des Protonenstrahls
25 vorbeigeführt wird, daß das Targetmaterial am
Umfang eines rotierenden, innen gekühlten Rades
angeordnet ist (vgl. DE-OS 28 50 069). Platz-
bedarf und Gewicht einer derartigen Konstruk-
tion sind jedoch erheblich, da der notwendige
30 Raddurchmesser bei etwa 2,5 m liegt. Nachteilig
ist ferner, daß das Kühlmittel zur Kühlung des
Targets über Rotationskupplungen, die an der
Radwelle angeordnet sind, zu- und abgeführt
werden muß.

- 3 -

- 3 -

In Betracht gezogen wurden auch schon sogenannte Verdampfungs-Targets, bei denen die erzeugte Wärme ganz oder zum Teil durch Verdampfung von Targetmaterial abgeführt wird. Problematisch ist hierbei jedoch die Entwicklung von Metaldampf, der vom Protonenbeschleuniger ferngehalten werden muß.

Zur Lösung des Problems der Abführung der beim Betreiben einer Spallationsneutronenquelle entstehenden Wärme hat man daher auch schon vorgeschlagen, Targets aus (bei Betriebstemperatur) flüssigem Metall (wie Blei oder Blei-Wismuth-Entektikum) zu verwenden, weil dabei die Wärme durch (Zwangs)-Konvektion an ein Kühlsystem abgeführt werden kann. So gehört zum bekannten Stande der Technik eine Ausführungsform, bei der ein Flüssigmetall-Strahl durch ein senkrechtes Rohr von oben nach unten strömt. Dabei wird der Protonenstrahl senkrecht von oben in die Flüssigkeitssäule eingeschossen. Targets dieses Typs sind z.B. in den Auslegeschriften Nr. 1 589 431 und 1 289 923 beschrieben. Vorteilhaft ist dabei zwar, daß ein materielles Fenster zwischen Protonenstrahl und Flüssigmetall nicht erforderlich ist, nachteilig ist jedoch, daß der Protonenbeschleuniger entweder vertikal angeordnet oder aber bei horizontaler Anordnung der Strahl des Protonenbeschleunigers um 90° umgelenkt werden muß. Wegen der großen Baulänge des Beschleunigers im einen Falle und wegen der Schwierigkeit der Umlenkung hochenergetischer Strahlen um große Winkel im anderen Falle entstehen dadurch nicht unerhebliche bauliche Probleme.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein im wesentlichen durch einen Flüssigmetallstrom (in einem Strömungskanal) gebildetes Target

für eine Spallationsneutronenquelle zu schaffen, bei dem der Protonenstrahl ohne Umlenkung horizontal oder nahezu horizontal (d.h. bis etwa 45° geneigt) auf das Target auftrifft, ohne
5 daß es notwendig ist, eine die Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl abdeckende Scheibe vorzusehen. Die freie Oberfläche des Flüssigmetallstromes, auf die der Protonenstrahl auftrifft und die im wesentlichen senkrecht zum Protonenstrahl
10 verlaufen soll, muß daher im wesentlichen vertikal verlaufen oder doch eine beachtliche Vertikal-
komponente aufweisen.

Dabei soll die Mächtigkeit des Flüssigmetallstroms
15 in Protonenstrahlrichtung ausreichen, so daß die Protonenenergie vollständig oder zu wesentlichen Teilen innerhalb des flüssigen Metalls absorbiert wird.

Die der Erfindung zugrunde_liegende Aufgabe
20 wird bei einem Target für eine Spallationsneutronenquelle der eingangs bezeichneten Art gemäß der Erfindung dadurch gelöst, daß die Ebene der Protonenstrahl-Eintrittsöffnung senkrecht
25 oder nahezu senkrecht angeordnet ist und der Kanal im Bereich der Eintrittsöffnung eine Formgebung hat, die eine Umlenkung zumindest eines Teils des Flüssigmetallstromes erzwingt, und daß die Leistung der Pumpe für die Herbeiführung
30 einer solchen Strömungsgeschwindigkeit ausreicht, daß ein Austreten von Flüssigmetall aus der Eintrittsöffnung verhindert wird.

Gemäß der Erfindung wird also durch Ausnutzung
35 hydrodynamischer Kräfte eine Vertikalkomponente des Flüssigkeitsspiegels im Bereich der Eintrittsöffnung erzwungen, wobei gleichzeitig die Tatsache ausgenutzt wird, daß der Flüssigmetallstrom im Bereich der Wechselwirkung mit dem Protonenstrahl

ohnehin eine solche Geschwindigkeit haben muß,
daß die durch Energieabsorption bedingte Temperatur-
erhöhung unterhalb von Werten bleibt, bei denen
der Dampfdruck der Flüssigkeit in die Nähe der
5 Hochvakuum-Druckwerte kommt.

Die Erfindung nutzt ferner die Erkenntnis aus,
daß wegen des äußeren Vakuums im Bereich der
Protonenstrahl-Eintrittsöffnung eine Reibung
10 zwischen Flüssigkeitsstrom und umgebendem Gas
entfällt. An der freien Flüssigkeitsoberfläche
kann es daher auch nicht zur Bildung von Wirbeln
kommen, die die Ausbildung einer gleichbleiben-
den freien Oberfläche der metallischen Flüssig-
15 keit im Auftreffbereich des Protonenstrahls
beeinträchtigen könnte.

Unter dem Einfluß der zur Wirkung gebrachten
Kräfte wird hinter der von der Eintrittsebene
20 für den Protonenstrahl gebildeten Ebene eine
ebenfalls senkrechte oder nahezu senkrechte
freie flüssigmetalloberfläche erzeugt. Diese
Oberfläche ist bei dem Target gemäß der Erfin-
dung eine isobare Fläche, auf der überall der
25 Außendruck herrscht. Unter den gegebenen Bedin-
gungen ist dieser Außendruck gleich dem Vakuum-
druck des Protonen-Beschleunigers. Dabei wird
also durch die zur Wirkung kommenden Kräfte
im stationären Betrieb die Differenz zwischen
30 dem Außendruck und dem Druck innerhalb des Flüs-
sigkeitsmetalls aufrechterhalten. Die sich dabei
im Bereich der Eintrittsöffnung für den Pro-
tonenstrahl ausbildende, nahezu senkrechte freie
Oberfläche der flüssigmetall-Strömung ermöglicht
35 den Einschluß eines horizontalen oder nahezu
horizontalen Protonenstrahls, ohne daß es er-
forderlich ist, während des stationären Betriebs
eine Scheibe zur Abdeckung der Eintrittsöffnung

- 6 -

für den Protonenstrahl vorzusehen. Wenn an dieser Stelle ein Druck im Hochvakuumbereich von beispielsweise 10^{-6} Torr herrscht und Blei (F. 327.5°) als Targetflüssigkeit dient, so muß
5 dessen Temperatur (gemäß der Dampfdruckkurve) unter etwa 425 °C gehalten werden. Daraus ergibt sich bei Hochleistungstargets eine Mindest-
Strömungsgeschwindigkeit im Bereich der Wechselwirkung zwischen Protonenstrahl und dem Flüssigkeitsmetall in der Größenordnung von einigen
10 Metern pro Sekunde.

Um beim Betreiben der Spallationsneutronenquelle ständig eine optimale Füllung des in dem Kanal-
15 kreislauf des Targets geführten Flüssigkeitsstroms zu erreichen, besteht eine zweckmäßige Ausführungsform des Targets gemäß der Erfindung darin, daß der Kanal mit einem Vorratsbehälter mit einstellbarem Flüssigkeitspegel verbunden
20 ist.

Es ist ferner zweckmäßig, für die Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl eine fernbedienbare Abdeckung vorzusehen, damit während der Dauer,
25 die benötigt wird, um dem Flüssigmetall die für den Betriebszustand erforderliche Mindestgeschwindigkeit zu erteilen, der Austritt von Flüssigmetall aus der Eintrittsöffnung des Kanals für den Protonenstrahl verhindert wird.
30 Dieser Verschluß wird geöffnet, sobald der vorgesehene Durchsatz erreicht und der Protonenbeschleuniger eingeschaltet wird.

Da während des Betriebes der Spallationsneutronenquelle Störungen des Flüssigkeitsdurchsatzes
35 auftreten können, die dazu führen könnten, daß

aus der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl in unerwünschter Weise Flüssigmetall austritt, besteht eine vorteilhafte Weiterausgestaltung des Targets gemäß der Erfindung darin, daß unterhalb der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl eine mit dem Kreislauf für die metallische Flüssigkeit oder dem gegebenenfalls vorgesehenen Vorratsbehälter in Verbindung stehende Auffangvorrichtung für etwa aus der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl austretendes flüssiges Metall vorgesehen ist. Diese Auffangvorrichtung ist zweckmäßig so ausgestaltet, daß sie mit einer Heizung verbunden ist, durch die das Metall im flüssigen Zustand erhalten bleibt und über eine in einer mit dem Kreislauf oder dem Vorratsbehälter verbundenen Leitung angeordnete Pumpe in den Kreislauf oder den Vorratsbehälter zurückbefördert wird.

Eine sehr vorteilhafte Ausgestaltung des Targets gemäß der Erfindung besteht darin, daß eine Querschnittsverengung des Kanals vorgesehen wird, welche eine Einschnürung der Strömung senkrecht zur Strömungsrichtung bewirkt. Die Querschnittsverengung ist stromaufwärts oberhalb der senkrecht zur Strömungsrichtung verlaufenden Kante der Eintrittsöffnung angebracht und erstreckt sich mindestens über die Breite der Eintrittsöffnung. Die Verengung des Strömungskanals hat eine lokale Vergrößerung der Strömungsgeschwindigkeit und infolgedessen eine Absenkung des lokalen Drucks innerhalb der Flüssigkeit zur Folge. Dabei ist nach einer bevorzugten Weiterausgestaltung dieser Ausführungsform des Targets gemäß der Erfindung der Querschnitt des Kanals etwa von der senkrecht zur Strömungsrichtung

verlaufenden Kante der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl ab, von der das Flüssigmetall von der Eintrittsöffnung abströmt, gegenüber dem stromaufwärts liegenden Teil des Kanals, erweitert. Die Folge der in Strömungsrichtung hinter der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl vorgesehenen Erweiterung des Strömungsquerschnittes ist eine lokale Ablösung des Flüssigmetallstroms von der Wand. Zwar expandiert der Flüssigkeitsstrahl im erweiterten Teil des Strömungsquerschnitts quer zur Strömungsrichtung. Das geschieht jedoch in der Weise, daß der Flüssigkeitsstrahl sich erst nach einer von dem Maße der Erweiterung und der Strömungsgeschwindigkeit abhängigen Strecke wieder an die Wand des Kanals anlegt. Bei dieser Ausführungsform des Targets gemäß der Erfindung entsteht somit hinter der engsten Stelle der Strömung eine Kanalzone, innerhalb derer die Strömung keine sie vollständig umgreifende Wandung benötigt. An dieser Stelle in der Kanalwandung ist also die Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl vorgesehen.

Die Erweiterung des Kanals kann aus strömungstechnischen Gründen bis zu der im Strömungskreislauf liegenden Pumpe reichen. Doch kann sie auch auf eine Strecke begrenzt sein, die zum Auffangen von in Strömungsrichtung aus der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl anderenfalls austretendem flüssigen Metall hinreichend ist.

Bei der Ausführungsform des Targets gemäß der Erfindung, bei der eine Querschnittsverengung des Kanals senkrecht zur Strömungsrichtung vorgesehen ist, kann die Kanalführung entsprechend

- 9 -

dem jeweiligen Bedarfsfalle senkrecht sein,
sie kann auch horizontal verlaufen oder gegenüber
der Horizontalen geneigt sein.

5 Eine andere Ausführungsform des Targets gemäß
der Erfindung besteht darin, daß der Kanal eine
in dem Flüssigkeitsstrom Zentrifugalkräfte her-
vorrufende Krümmung aufweist, durch die sich
10 im Bereich der Eintrittsöffnung für den Proto-
nenstrahl eine stabile freie Oberfläche des
Flüssigkeitsstrahls ausbildet, wobei die Eintritts-
öffnung für den Protonenstrahl in der Innenwan-
dung der Kanalkrümmung vorgesehen ist. Dabei
15 ist also der Kanal für die Flüssigkeitsströmung
im Bereich der Eintrittsöffnung für den Protonen-
strahl ein gekrümmtes Rohrstück, das in Richtung
des Krümmungsradius' nach außen und von der Ein-
trittsöffnung weg gerichtete Zentrifugalkräfte
20 hervorruft. In diesem Falle heben bei hinreichend
großer Strömungsgeschwindigkeit die Zentrifugal-
kräfte im gekrümmten Teil des Kanals die Gra-
vitations- und sonstigen auf die strömende Flüs-
sigkeit einwirkenden Druckkräfte soweit auf,
25 daß die Flüssigkeit aus der Eintrittsöffnung
für den Protonenstrahl nicht austreten kann.
Bemessung und Formgebung der Eintrittsöffnung
für den Protonenstrahl sind unter der Berück-
sichtigung, daß die freie Flüssigkeitsoberfläche
30 eine solche Form annimmt, daß die Resultierende
aus der Gravitations- und der Zentrifugalkraft
in jedem Punkt senkrecht auf der freien Flüssig-
keitsoberfläche steht, so gewählt, daß der Teil
der freien Oberfläche, auf den der Protonenstrahl
auftritt, nahezu senkrecht steht.

Bei einer Kanalanordnung mit vertikaler Krümmungsachse hat die Flüssigkeitsoberfläche die Form einer Parabel wie in Fig. 6 dargestellt, wenn die Flüssigkeit innerhalb des gekrümmten Rohrstücks mit räumlich konstanter Winkelgeschwindigkeit fließt. Wandreibungseffekte können Abweichungen von der Parabelform bewirken, die aber nicht wesentlich sind. Die Steilheit der Parabel ist um so größer, je größer die Strömungsgeschwindigkeit und damit die Zentrifugalkraft im Vergleich zur Gravitationskraft ist. Wie aus der Fig. 6 auch ersichtlich ist, darf die Füllung des Strömungskanals nicht vollständig sein. Ein bestimmtes Leervolumen im Bereich des gekrümmten Rohrstücks ist unerlässlich, damit bei der durch die Strömungsgeschwindigkeit bestimmten Steilheit der freien Oberfläche die Höhe z_0 des Ansatzpunktes der freien Flüssigkeitsoberfläche an der Kanalwand, in der sich das Fenster befindet, niedriger oder allenfalls in gleicher Höhe wie die Unterkante des Fensters liegt. Die Ansatzhöhe z_0 der Flüssigkeitsoberfläche wird bei vorgegebenen lokalen Füllgrad um so kleiner, je höher die Strömungsgeschwindigkeit ist. Umgekehrt ist sie bei vorgegebener Strömungsgeschwindigkeit um so kleiner, je geringer der lokale Füllgrad ist.

Eine ungewollte Überschreitung des Ansatzpunktes z_0 der Flüssigkeitsoberfläche über die untere Fensterkante hinaus, etwa bedingt durch eine unbeabsichtigte Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit, führt dazu, daß Flüssigkeit vor-

- 11 -

5 übergehend aus dem Fenster austritt, bis durch
den dadurch bewirkten geringeren Füllgrad der
Ansatzpunkt z_0 wieder auf die Höhe der unteren
Fensterkante abgesunken ist. Wenn am Fenster
eine geeignete Auffangvorrichtung für austre-
tendes Flüssigmetall vorgesehen wird, kann also
durch Aufrechterhaltung eines geringen Überschus-
ses an Flüssigmetall (der über die Unterkante
des Fensters abfließt) ein stets optimaler Füll-
10 grad erreicht werden.

15 Die Notwendigkeit, daß der Füllgrad des Kanals
im Bereich des gekrümmten Rohrstücks nicht voll-
ständig sein darf, im Rest des Kanals, insbe-
sondere am Pumpeneintritt aber vollständig sein
soll, bedingt, daß das gekrümmte Rohrstück den
höchsten Punkt des Gesamtkreislaufes einnehmen
muß. Der Pumpeneintritt sollte dann zweckmäßi-
gerweise am tiefsten Punkt des Kreislaufs liegen,
20 damit der Druck an dieser Stelle möglichst hoch
ist.

25 Wesentlich erleichtert wird die Ausbildung einer
gleichbleibenden freien Oberfläche der strömen-
den Flüssigkeit im Bereich der Eintrittsöffnung
für den Protonenstrahl im stationären Betrieb,
wenn nach einer zweckmäßigen Weiterausgestal-
tung des Targets gemäß der Erfindung an der
Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl ein
30 sich über die Breite der Kante erstreckendes,
in die Strömung hineinragendes Strömungsleit-
profil vorgesehen ist, durch das zusätzlich
eine Einschnürung des metallischen Flüssigkeits-

- 12 -

stromes hervorgerufen wird. An der stromabwärts
gelegenen, senkrecht zur Strömungsrichtung ver-
laufenden Kante der Eintrittsöffnung für den
Protonenstrahl ist die Kanalwandung zweckmäßig
5 so geformt und/oder ein so geformtes Strömungs-
leitprofil vorgesehen, daß sich die Flüssigkeit
nach Durchlaufen des Bereichs der Eintritts-
öffnung für den Protonenstrahl erst hinter der
stromabwärts gelegenen Kante an die Wandung
10 des Kanals anlegt. Es ist also in vorteilhafter
Weise möglich, beide in den Fig. 1 und 2 dar-
gestellten Ausführungsformen des Targets gemäß
der Erfindung in der Weise miteinander zu kombi-
nieren, daß neben einer Querschnittsverengung
15 des Kanals zugleich auch eine Krümmung im Be-
reich der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl
vorgesehen ist, falls dies gewünscht wird.

Wegen der Haftung der Flüssigkeit an der Wand
20 des Kanals sind dort die Zentrifugalkräfte pa-
rallel und senkrecht zur Wand gleich Null; sie
steigen erst mit zunehmender Entfernung von
der Wandung und zwar in dem Maße an, wie auch
die Strömungsgeschwindigkeit ansteigt. Dieser
25 Bereich entspricht etwa der Dicke der laminaren
Grenzschicht der Strömung. Auftretende Wandeffekte
werden dadurch kompensiert, daß an beiden, pa-
rallel zur Strömungsrichtung verlaufenden Rändern
der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl
30 die Beeinflussung der Strömung im Bereich der
freien Oberfläche ausschließende, ein Mehrfaches
der laminaren Grenzschicht betragende Leitprofile
vorgesehen sind.

35 Dem jeweiligen Bedarfsfall entsprechend ist

- 13 -

es möglich, den Kanal im Bereich der Krümmung so zu führen, daß er gegenüber der Waagerechten eine beliebige Neigung aufweist.

- 5 Es ist ferner zweckmäßig, die Tiefe des Kanals für den Flüssigkeitsstrom in Richtung des Protonenstrahls im Bereich der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl bei dieser Ausführungsform des Targets gemäß der Erfindung mindestens
10 entsprechend der Reichweite der Protonen in dem verwendeten Metall zu wählen. Die Reichweite ist abhängig von der Energie des Strahls. Die infrage kommenden Werte liegen etwa zwischen 30 cm und 50 cm.
- 15 Nun ist aber die lokale Wärmeproduktionsdichte in der strömenden Flüssigkeit nicht konstant; sie nimmt vielmehr innerhalb des Protonenstrahls mit zunehmendem Abstand von der Flüssigkeitsfläche zunächst exponentiell ab und geht nach
20 Erreichen der Reichweite der Protonenstrahlen rasch gegen Null. Im exponentiellen Bereich fällt die Leistungsdichte um mehr als eine Größenordnung. Daher ist die hohe, durch Konvektion bewirkte Wärmeabfuhr rate nur im vorderen, der Protonenstrahlquelle zugewandten Teil des
25 Targets erforderlich. Aus diesem Grunde besteht eine sehr vorteilhafte Ausgestaltung des Targets gemäß der Erfindung darin, daß an der der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl gegenüber-
30 liegenden Wandung des Kanals ein mit einem Kühlsystem in Verbindung stehender, als Target verwendbarer Feststoffkörper mit einer der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl zugekehrten Fläche

von mindestens dem Querschnitt des Protonenstrahls angeordnet ist. Eine andere vorteilhafte Ausführungsform des Targets gemäß der Erfindung besteht darin, daß oben erwähnte Feststoffkörper Teil
5 der Wandung des Kanals an der der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl gegenüberliegenden Stelle ist. Die Abmessungen des Feststoffkörpers sind dabei zweckmäßig so bemessen, daß die bei der Spallation entstehende Wärme durch
10 ein zur Kühlung des Feststoffkörpers vorgesehenes Kühlsystem unterhalb der Temperatur abgeführt wird, bei der das Material des Feststoffkörpers schmilzt und/oder in der Metallflüssigkeit in Lösung geht.

15 Die Kühlung erfolgt durch Gas oder durch eine Flüssigkeit. Zweckmäßig ist es, die Querschnittsabmessung des Kanals in Richtung des Protonenstrahls von der freien Oberfläche des Flüssigkeitsstroms aus gemessen, um den Teil des Feststoffkörpers, der bei der Spallation der Tiefe nach zur Wirkung kommt, zu verringern. Um die Neutronenausbeute der Neutronenquelle zu verstärken,
20 ist es vorteilhaft, als Material für den Feststoffkörper ein neutronenvervielfachendes Material wie Uran, beispielsweise Uran-238, zu verwenden.

In der Zeichnung sind einige Ausführungsbeispiele des Targets gemäß der Erfindung schematisch
30 als Prinzipskizzen wiedergegeben und werden im folgenden näher erläutert. Es zeigen

Fig. 1 ein Target mit Querschnittsverengung des Strömungskanals im
35 Längsschnitt;

Fig. 2 ein Target mit gekrümmter Kanal-

- 15 -

führung in perspektivischer Darstellung;

Fig. 3 eine andere Ausführungsform eines Targets mit gekrümmter Kanalführung im Längsschnitt;

Fig. 4 einen Schnitt durch die Ausführungsform des Targets nach Fig. 3, nach der Linie A-B;

Fig. 5 ein Querschnitt durch eine andere Ausführungsform des Targets unter Verwendung eines Feststoffkörpers;

Fig. 6 eine Skizze zur Veranschaulichung der Flüssigkeitsoberfläche und des "Ansatzpunktes".

Wie aus der Zeichnung hervorgeht, wird bei dem Target gemäß der Erfindung ein Kanal 1 mit rechteckigem Querschnitt von Flüssigmetall 2 durchströmt. Als Flüssigmetall kann dabei beispielsweise Blei oder ein Blei-Wismuth-Eutektikum verwendet werden. Der durch einen Pfeil gekennzeichnete Protonenstrahl P gelangt durch eine in seiner Richtung liegende, senkrecht in der Kanalwandung angeordnete Eintrittsöffnung 3 in das Kanalinnere und trifft dort auf die strömende Metallflüssigkeit auf. Dabei ist bei der in Fig. 1 dargestellten Ausführungsform des Targets gemäß der Erfindung oberhalb der in dem senkrecht geführten Kanal 1 angeordneten Eintrittsöffnung 3 eine Querschnittsverengung 4 vorgesehen. Dadurch wird eine die Eintrittsöffnung 3 übergreifende Einschnürung des Flüssigkeitsstromes 2 hervorgerufen. Wie aus Fig. 1 ferner hervorgeht, ist der sich in Strömungsrichtung der metallischen Flüssigkeit 2 an die

Eintrittsöffnung 3 anschließende Teil des Kanals 1 gegenüber dem oberhalb der Querschnittsverengung 4 liegenden Teil des Kanals 1 erweitert. Querschnittsverengung 4 und Querschnittserweiterung 5 wirken dabei in der Weise zusammen, daß im Bereich der Querschnittsverengung die Strömungsgeschwindigkeit vergrößert wird und infolgedessen eine Absenkung des lokalen Druckes innerhalb der Flüssigkeit eintritt. Die Kanalerweiterung 5 und infolgedessen die Erweiterung des Querschnitts der Strömung führt zu einer lokalen Ablösung des Flüssigmetallstroms von der Wandung des Kanalbereichs 5. Dabei expandiert der Flüssigkeitsstrahl im Bereich der Querschnittserweiterung 5 des Kanals 1 quer zur Strömungsrichtung in der Weise, daß er sich erst nach einer vorbestimmten Strecke hinter der Querschnittserweiterung an die Wandung des Kanals 1 anlegt. Auf diese Weise wird erreicht, daß im Bereich der Eintrittsöffnung 3 für den Protonenstrahl keine begrenzende Wandung erforderlich ist. Gegenüber der Eintrittsöffnung 3 bildet sich eine Flüssigkeitsoberfläche 6 aus, die gegenüber der Senkrechten nur eine geringe Neigung aufweist.

Es ist nicht notwendig, den Kanal 1, wie in Fig. 1 dargestellt, senkrecht zu führen, vielmehr kann der Kanal 1 im Bedarfsfalle auch waagrecht oder geneigt gegenüber der Waagerechten angeordnet sein. Auch in diesen Fällen ist die Eintrittsöffnung 3 für den Protonenstrahl P in einer senkrechten Kanalwandung angeordnet.

In Fig. 2 ist ein anderes Ausführungsbeispiel

- 17 -

des Targets gemäß der Erfindung wiedergegeben.
Dabei ist der einen rechteckigen Querschnitt
aufweisende Kanal 1 für die Flüssigmetall-Strö-
mung im Bereich der Eintrittsöffnung 3 für den
5 Protonenstrahl P gekrümmt geführt. Dabei ist
die Eintrittsöffnung 3 für den Protonenstrahl
P an der senkrechten Innenwandung des Kanals 1
angeordnet. Infolge der Krümmung des Kanals 1
werden auf die darin strömende Flüssigkeit in
10 Richtung des Krümmungsradius' radial nach außen
gerichtete Zentrifugalkräfte ausgeübt. Strömungs-
geschwindigkeit der Flüssigkeit und Krümmung
sind so aufeinander abgestimmt, daß die Zentri-
fugalkräfte im gekrümmten Teil des Kanals 1
15 die Gravitations- und sonstigen Druckkräfte
soweit aufheben, daß die metallische Flüssigkeit 2
nicht aus der Eintrittsöffnung 3 für den Protonen-
strahl P austreten kann.

20 Wie am besten aus Fig. 4 zu entnehmen ist, nimmt
die freie Oberfläche 6 der strömenden metallischen
Flüssigkeit 2 eine solche Form an, daß in jedem
Punkt der Oberfläche 6 die resultierende R aus
der Gravitationskraft G und der Zentrifugalkraft
25 Z auf der Oberfläche senkrecht steht.

Außerdem ist - wie aus Fig. 3 hervorgeht - an
der stromaufwärts liegenden Kante der Eintritts-
öffnung 3 für den Protonenstrahl P ein über
30 die Breite der Fensterabmessung senkrecht zur
Strömungsrichtung sich erstreckendes Strömungs-
leitprofil 7 angeordnet. Dieses Strömungsleitprofil
weist, wie aus Fig. 3 hervorgeht, eine in die
Strömung hineinragende, den Querschnitt der
35 Strömung verengende Kante auf. An der strom-

abwärts gelegenen Kante 8 der Eintrittsöffnung 3 für den Protonenstrahl P ist die Kanalwand so geformt, daß sich die Flüssigkeit nach Durchlaufen des Bereichs der Eintrittsöffnung 3 für den Protonenstrahl P erst hinter der stromabwärts gelegenen und senkrecht zur Strömung geführten Berandung 8 der Eintrittsöffnung 3 an die Wandung des Kanals 1 anlegt.

Um darüberhinaus eine Beeinflussung der Strömung durch Wandreibungseffekte auszuschließen, sind an den beiden einander gegenüberliegenden, parallel zur Strömungsrichtung verlaufenden Rändern der Eintrittsöffnung 3 für den Protonenstrahl P - wie aus Fig. 4 hervorgeht - sich über die Länge der Kanten hinweg erstreckende winkelförmige Leitprofile 9 und 10 so angeordnet, daß der eine Schenkel jeweils senkrecht zu der Kante der Eintrittsöffnung 3 für den Protonenstrahl P verläuft und der andere Schenkel parallel zu der Wandung des Kanals 1 verlaufend, senkrecht zur Eintrittsöffnung 3 für den Protonenstrahl P in das Innere des Kanals 1 hineinragt. Die senkrecht zu den Kanten der Eintrittsöffnung 3 für den Protonenstrahl P angeordneten Schenkel der Leitprofile 9 und 10 weisen eine mindestens ein Mehrfaches der laminaren Grenzschicht an der Wandung des Kanals 1 betragende Breite auf. Durch diese Formgebung wird erreicht, daß alle Flächen, an denen Wandreibung auftritt, so innerhalb des Kanals 1 liegen, daß sie zur Einschnürung der strömenden Flüssigkeit 2 infolge der zur Anwendung gebrachten Zentrifugalkräfte nicht beitragen, so daß an der freien Flüssigkeits-

- 19 -

oberfläche 6 die Strömung durch Wandreibung nicht oder nur unwesentlich beeinflußt wird.

Wie aus Figur 5 hervorgeht, besteht eine weitere Ausführungsform des Targets gemäß der Erfindung darin, daß der Kanal 1 für das Flüssigmetall 2 in Richtung der Verlängerung des Protonenstrahls P im Bereich der Eintrittsöffnung 3 für den Protonenstrahl einen verminderten Querschnitt aufweist, und daß am rückwärtigen Teil des Kanals 1 ein als Feststofftarget geeigneter Feststoffkörper 11 vorgesehen ist. Wie aus der Zeichnung nicht zu entnehmen ist, hat der Feststoffkörper 11 mindestens die Abmessung des Querschnitts des Protonenstrahls P. Zum Abführen der beim Betreiben der Spallationsneutronenquelle in dem Feststoffkörper 11 entstehenden Wärme ist ein Kühlsystem 12, bei dem die Kühlung entweder durch strömendes Gas oder strömende Flüssigkeit erfolgt, vorgesehen. Das Kühlsystem 12 umgibt - wie aus Fig. 5 hervorgeht - die von der Fläche des Kanals 1, mit der der Feststoffkörper 11 in Verbindung steht, abgewandten Flächen. Die Abmessungen sind so gewählt, daß die Wärmeproduktion in dem Feststoffkörper 11 hinreichend klein bleibt und zwar so, daß die dort entstehende Wärme unterhalb der Schmelztemperatur des Targetmaterials abgeführt werden kann.

- 20 -

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Target für eine Spallationsneutronenquelle,
das unter Verwendung von flüssigem Metall gebil-
det wird, welches in einem Kanal mit darin ange-
ordneter Umwälzpumpe sowie einem Wärmetauscher
5 umläuft, wobei ein zur Freisetzung energiereicher
Neutronen vorgesehener Protonenstrahl hoher
Energie durch eine im Kanal angebrachte, unab-
gedeckte Eintrittsöffnung auf eine freie Oberfläche
des flüssigen Metalls auftrifft und wobei der
10 Kanal mit einer Heizvorrichtung zum Aufheizen
des strömenden Metalls auf eine oberhalb seiner
Schmelztemperatur liegende Betriebstemperatur
vor der Inbetriebnahme der Neutronenquelle in
Verbindung steht, d a d u r c h g e k e n n -
15 z e i c h n e t , daß die Ebene der Protonen-
strahl-Eintrittsöffnung (3) senkrecht oder nahe-
zu senkrecht angeordnet ist und der Kanal (1)
im Bereich der Eintrittsöffnung (3) eine Formgebung
hat, die eine Umlenkung zumindest eines Teils
20 des Flüssigmetallstromes (2) erzwingt, und daß
die Leistung der Pumpe für die Herbeiführung
einer solchen Strömungsgeschwindigkeit ausreicht,
daß ein Austreten von Flüssigmetall aus der
Eintrittsöffnung (3) verhindert wird.
25
2. Target nach Anspruch 1, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t , daß der Kanal (1)

in Strömungsrichtung vor der Protonenstrahl-
Eintrittsöffnung (3) eine Querschnittsverengung
(4) aufweist, daß sich der anschließend an die
Einschnürung wieder expandierende Flüssigkeitsstrom
5 (2) erst jenseits der Eintrittsöffnung (3) wieder
an die Kanalwand anlegt.

3. Target nach Anspruch 2, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t , daß der Querschnitt
10 des Kanals jenseits der Eintrittsöffnung (3)
eine Querschnittserweiterung (5) aufweist.

4. Target nach einem der vorangehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
15 daß der Kanal (1) eine Krümmung aufweist, die
derart beschaffen ist, daß sich im Bereich der
Protonenstrahl-Eintrittsöffnung (3) durch Zen-
trifugalkräfte eine stabile freie Oberfläche
des Flüssigkeitsstroms (2) ausbildet, wobei
20 die Eintrittsöffnung (3) in derjenigen Kanalwand
liegt, die der Krümmungsachse zugewandt ist.

5. Target nach Anspruch 4, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t , daß die Krümmungs-
25 achse senkrecht verläuft und der Krümmer am
höchsten Punkt des Kanals (1) liegt.

6. Target nach einem der vorangehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
30 daß der Kanal (1) im Bereich der Protonenstrahl-
Eintrittsöffnung (3) einen Querschnitt hat,
dessen Abmessung in Strahlrichtung größer als
senkrecht dazu ist.

7. Target nach Anspruch 6, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t , daß der Querschnitt
des Kanals (1) rechteckig ist.
- 5 8. Target nach einem der vorangehenden Ansprüche
und insbesondere nach Anspruch 5, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t , daß die untere
in Strömungsrichtung liegende Begrenzungskante
der Eintrittsöffnung (3) gegenüber der unteren
10 Kanalwand so weit angehoben ist, daß ein auf
Wandreibungseffekte zurückgehendes Ausfließen
von Flüssigmetall im stationären Betrieb ver-
mieden wird.
- 15 9. Target nach einem der vorangehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß die Protonenstrahl-Eintrittsöffnung eine
fernbedienbare Abdeckung aufweist.
- 20 10. Target nach einem der vorangehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß unterhalb der Protonenstrahl-Eintrittsöffnung
ein Auffang für gegebenenfalls austretendes
Flüssigmetall vorgesehen ist.
- 25 11. Target nach einem der vorangehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß der Kanal (1) mit einem Vorratsbehälter
mit einstellbarem Flüssigkeitspegel verbunden
30 ist.
12. Target nach einem der Ansprüche 1 bis 11, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß an der der Eintrittsöffnung (3) für den
35 Protonenstrahl (P) gegenüberliegenden Wandung

des Kanals (1) ein ebenfalls als Target verwendbarer, mit einem Kühlsystem in Berührung stehender Feststoffkörper (11) mit einer der Eintrittsöffnung (3) für den Protonenstrahl
5 (P) zugewandten Fläche von mindestens dem Querschnitt des Protonenstrahls (P) angeordnet ist.

13. Target nach einem der Ansprüche 1 bis 11, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
10 daß ein der Eintrittsöffnung (3) für den Protonenstrahl (P) gegenüberliegender Teil der Wandung des Kanals (1) von einem ebenfalls als Target verwendbaren, mit einem Kühlsystem (12) in Berührung stehenden Feststoffkörper (11)
15 mit einer dem Protonenstrahl (P) zugewandten Fläche von mindestens dem Querschnitt des Protonenstrahls (P) gebildet wird.

14. Target nach Anspruch 13, d a d u r c h g e -
20 k e n n z e i c h n e t , daß die Abmessungen des Feststoffkörpers (11) so bemessen sind, daß die bei der Spallation entstehende Wärme durch das zur Kühlung des Feststoffkörpers (11) vorgesehene Kühlsystem (12) bis auf eine Tempera-
25 tur unterhalb der Temperatur abgeführt wird, bei der das Material des Feststoffkörpers (11) schmilzt und/oder in der Metallflüssigkeit (2) in Lösung geht.

30 15. Target nach einem der Ansprüche 12 bis 14, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Querschnittsabmessung des Kanals (1) in Richtung des Protonenstrahls (P) von der freien Oberfläche (6) des Flüssigkeitsstroms
35 (2) aus gemessen um den Teil des Feststoffkör-

- 24 -

pers (11), der bei der Spallation der Tiefe nach zu Wirkung kommt, verringert ist.

- 5 16. Target nach einem der Ansprüche 12 bis 15,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß der Feststoffkörper (11) aus einem neutronvervielfachenden Material wie Uran besteht.

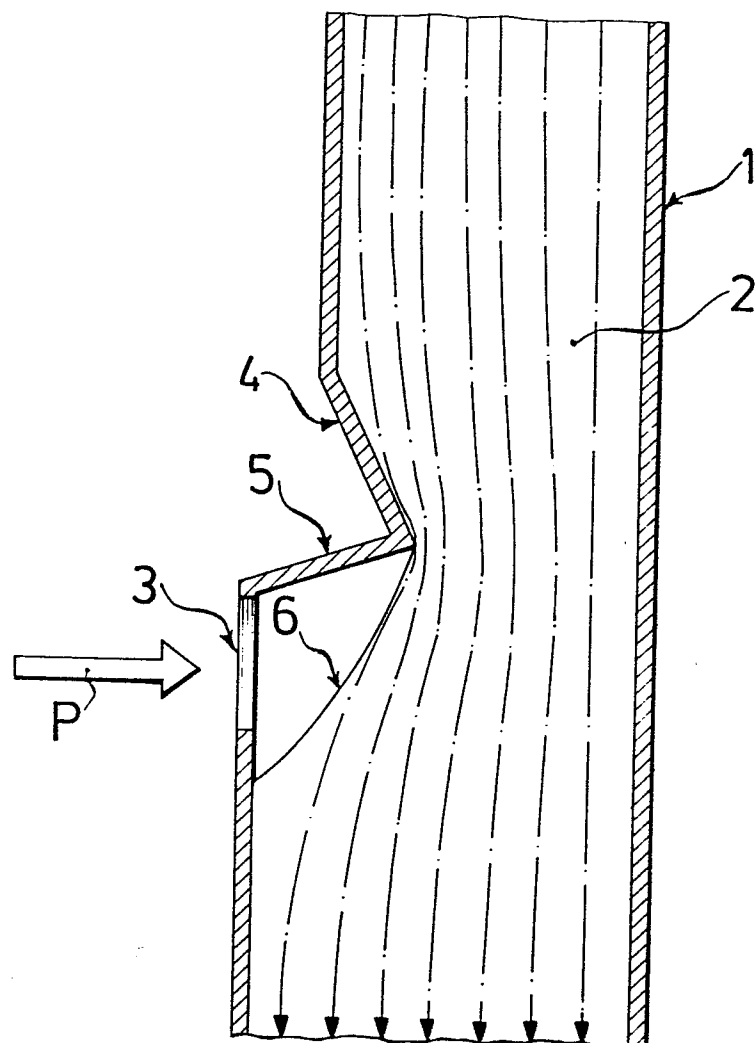


FIG. 1

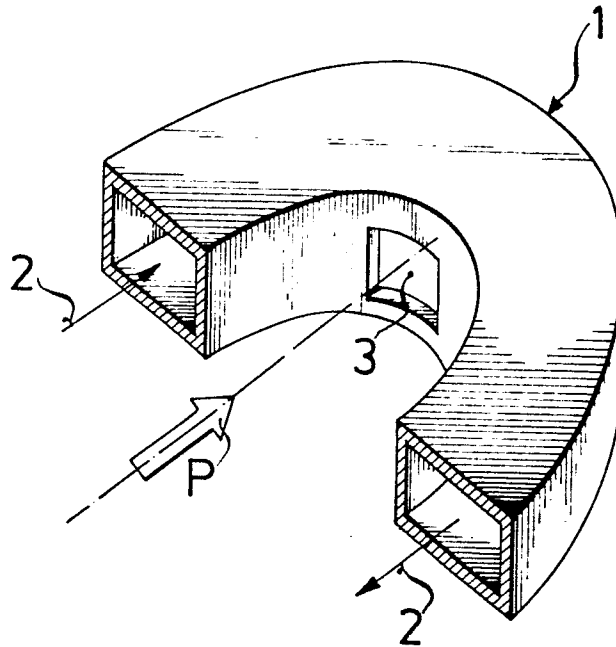
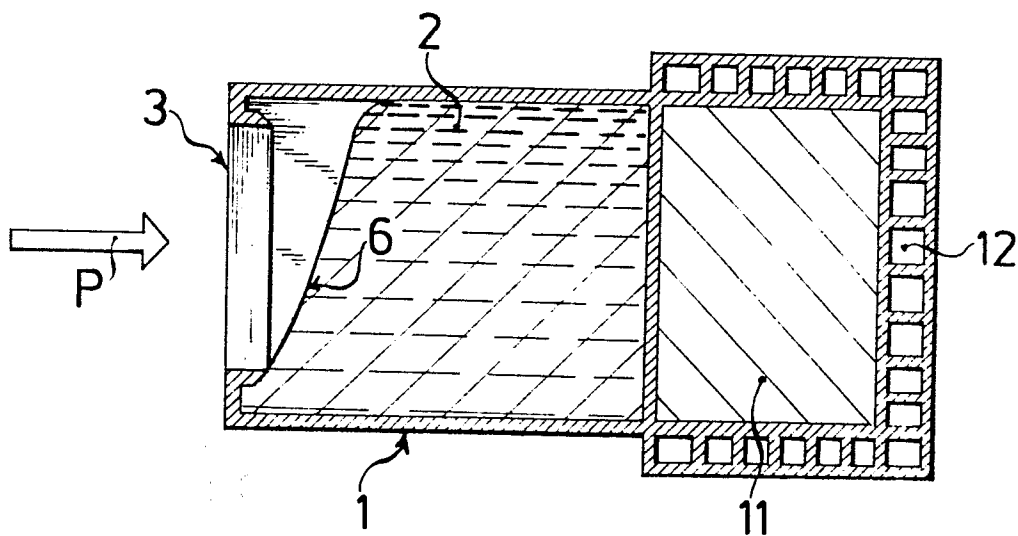


FIG. 2

FIG. 5



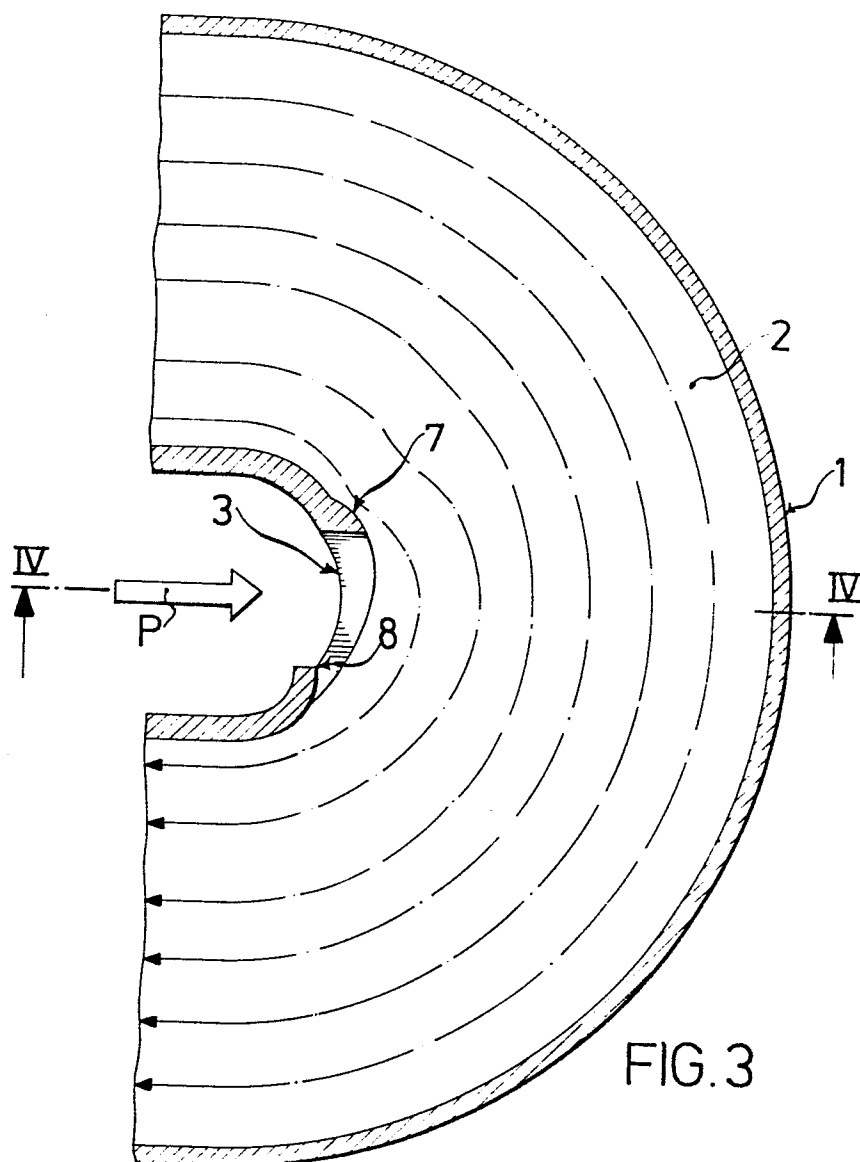


FIG. 3

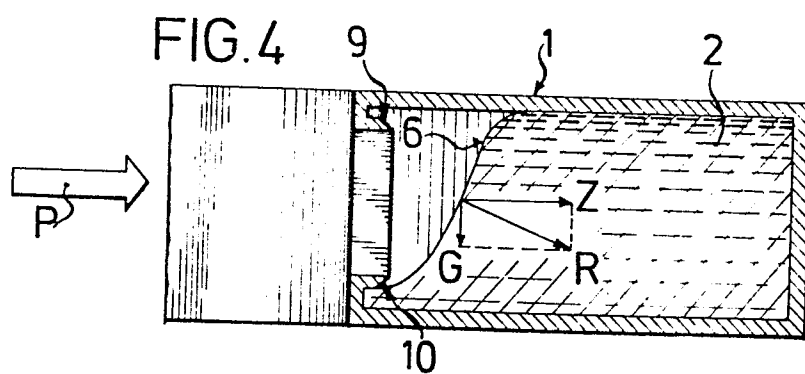
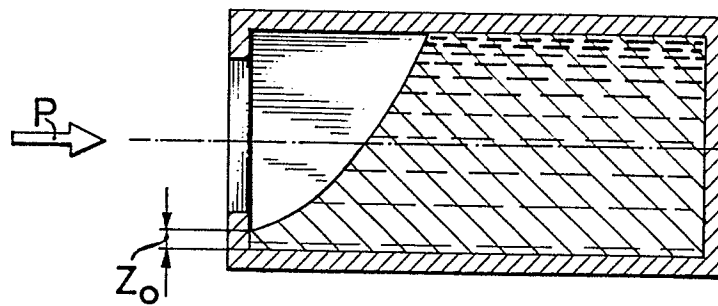


FIG. 4

FIG. 6





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

0069341

Nummer der Anmeldung

EP 82 10 5848

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE																	
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl. 3)														
Y	US-A-3 453 175 (R.I.HODGE) *Zusammenfassung; Figur 1* & DE - A - 1 589 431 (Cat. D)	1	H 05 H 6/00														
Y	US-A-3 993 910 (D.M.PARKIN et al.) *Zusammenfassung; Spalte 4, Zeile 28 - Spalte 5, Zeile 38; Spalte 6, Zeilen 45-49; Figuren 1,2*	1															
A		2,3,7,8,10-12															
Y	NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS, Band 145, Nr. 1, August 1977, Seiten 49-76, Amsterdam (NL); P.GRAND et al.: "An intense neutron source based upon the deuteron-stripping reaction". *Seite 69, Spalte 2, Zeile 17 - Seite 71, Spalte 1, Zeile 28; Figur 21*	1															
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl. 3)														
			H 05 H 6/00 G 21 K 5/08														
A	NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS	2-4															
A	FR-A-2 441 993 (KERNFORSCHUNGSANLAGE JULICH GESELLSCHAFT MIT BESCHRÄNKTER HAFTUNG) *Seite 8, Zeilen 14-30; Figur 1* & DE - A - 2 850 069 (Cat. D)	1,12,16															
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.																	
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 20-10-1982	Prüfer GALANTI M.														
<table border="0"><tr><td>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTEN</td><td>E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</td></tr><tr><td>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet</td><td>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument</td></tr><tr><td>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie</td><td>L : aus andern Gründen angeführtes Dokument</td></tr><tr><td>A : technologischer Hintergrund</td><td></td></tr><tr><td>O : nichtschriftliche Offenbarung</td><td></td></tr><tr><td>P : Zwischenliteratur</td><td>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</td></tr><tr><td>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze</td><td></td></tr></table>				KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTEN	E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist	X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet	D : in der Anmeldung angeführtes Dokument	Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie	L : aus andern Gründen angeführtes Dokument	A : technologischer Hintergrund		O : nichtschriftliche Offenbarung		P : Zwischenliteratur	& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTEN	E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist																
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet	D : in der Anmeldung angeführtes Dokument																
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie	L : aus andern Gründen angeführtes Dokument																
A : technologischer Hintergrund																	
O : nichtschriftliche Offenbarung																	
P : Zwischenliteratur	& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument																
T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze																	