

①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑪ **DE 31 26 191 A 1**

⑤① Int. Cl. 3:  
**G 21 G 4/02**

⑳ Aktenzeichen:  
㉔ Anmeldetag:  
㉕ Offenlegungstag:

P 31 26 191.4-33  
3. 7. 81  
20. 1. 83

⑦① Anmelder:  
Kernforschungsanlage Jülich GmbH, 5170 Jülich, DE

⑦② Erfinder:  
Fassbender, Josef, Dr.; Meister, Gerhard, Dr., 5170 Jülich,  
DE

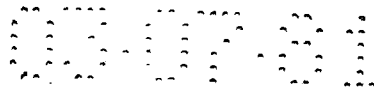
DE 31 26 191 A 1

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ **Target für eine Spallationsneutronenquelle**

Gegenstand der Erfindung ist ein Flüssigmetall-Target für eine Spallationsquelle, bestehend aus einem Strömungskanal, in dem Flüssigmetall mit hinreichend hoher Geschwindigkeit strömt, wobei der Strömungskanal eine Öffnung für den Eintritt des Protonenstrahls 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 bewirken, die etwa parallel zu der Kanalwand ist, in der sich das Strahlfenster 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.  
(31 26 191)

DE 31 26 191 A 1



3126191

Kernforschungsanlage Jülich  
Gesellschaft mit beschränkter Haftung

### Patentansprüche

- ① Target für eine Spallationsneutronenquelle, das von einem von flüssigem Metall durchströmten, im Kreislauf mit darin angeordneter Umwälzpumpe sowie einem Wärmetauscher geführten Kanal mit einer darin angebrachten Eintrittsöffnung für einen zur Freisetzung energiereicher Neutronen vorgesehenen Protonenstrahl hoher Energie gebildet wird, wobei der Kanal mit einer Heizvorrichtung zum Aufheizen des den Kanal durchströmenden Metalls auf die oberhalb der Schmelztemperatur liegende Betriebstemperatur vor der Inbetriebnahme der Spallationsneutronenquelle in Verbindung steht, 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) im Bereich der senkrecht oder nahezu senkrecht angeordneten Eintrittsöffnung (3) für den Protonenstrahl (P) eine Formgebung aufweist, die infolge erzwungener Umlenkung im stationären Betrieb auf den Flüssigkeitsstrom (2) für den Protonenstrahl eine eine freie nahezu parallel zur Eintrittsöffnung verlaufende Oberfläche (6) des Flüssigkeitsstroms (2) erzeugende Kraft ausübt.
2. Target nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Kanal (1) mit einem Vorratsbehälter mit einstellbarem Flüssigkeitspegel verbunden ist.
3. Target nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine den Austritt von metallischer Flüssigkeit aus der Eintrittsöffnung (3) für den Protonenstrahl (P) beim nicht-stationären Betrieb verhindernde fernbedienbare Abdeckung der Eintrittsöffnung vorgesehen ist.

4. Target nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß unterhalb der Eintrittsöffnung (3) für den Protonenstrahl (P) eine mit dem Kreislauf für die metallische Flüssigkeit (2) oder dem Vorratsbehälter in Verbindung stehende Auffangvorrichtung für etwa aus der Eintrittsöffnung (3) für den Protonenstrahl (P) austretendes flüssiges Metall (2) vorgesehen ist.
  
5. Target nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß oberhalb der senkrecht zur Strömungsrichtung verlaufenden Kante der Eintrittsöffnung (3) für den Protonenstrahl (P), die von der Strömung angeströmt wird, eine sich mindestens über die Länge der Kante erstreckende, eine Einschnürung der Strömung (2) von senkrecht zur Strömungsrichtung mindestens der Breite und parallel zur Strömungsrichtung mindestens der Länge der Eintrittsöffnung (3) für den Protonenstrahl (P) entsprechenden Abmessungen hervorrufende Querschnittsverengung (4) des Kanals (1) vorgesehen ist.
  
6. Target nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Querschnitt des Kanals (1) etwa von der senkrecht zur Strömungsrichtung verlaufenden Kante der Eintrittsöffnung (3) für den Protonenstrahl (P) ab, von der das Flüssigmetall (2) abströmt, gegenüber dem Querschnitt des Teils des Kanals (1), in dem das Flüssigmetall auf den Bereich des Kanals (1), in dem sich die Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl (P) befindet, zuströmt, erweitert ist.
  
7. Target nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbreiterung des Kanals (1) bis zu der in dem Strömungskreislauf liegenden Pumpe reicht.

8. Target nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbreiterung des Kanals (1) auf eine Strecke begrenzt ist, die zum Auffangen von in Strömungsrichtung aus der Eintrittsöffnung (3) für den Protonenstrahl (P) andernfalls austretendem flüssigem Metall (2) hinreichend ist.
  
9. Target nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Kanal (1) eine auf den Flüssigkeitsstrom (2) Zentrifugalkräfte hervorrufende Krümmung aufweist, durch die sich im Bereich der Eintrittsöffnung (3) für den Protonenstrahl (P) eine stabile freie Oberfläche des Flüssigkeitsstrahls ausbildet, wobei die Eintrittsöffnung (3) für den Protonenstrahl (P) an der Innenwandung der Kanalkrümmung vorgesehen ist.
  
10. Target nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß an beiden, parallel zur Strömungsrichtung verlaufenden Rändern der Eintrittsöffnung (3) für den Protonenstrahl (P) die Beeinflussung der Strömung im Bereich der freien Oberfläche ausschließende, ein Mehrfaches der laminaren Grenzschicht betragende Leitprofile (9, 10) vorgesehen sind.
  
11. Target nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Kanal (1) im Bereich der Krümmung gegenüber der Waagerechten eine Neigung aufweist.
  
12. Target nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß an der der Eintrittsöffnung (3) für den Protonenstrahl (P) gegenüberliegenden Wandung des Kanals (1) ein als Target verwendbarer, mit einem Kühlsystem in Berührung stehender Feststoffkörper (11) mit einer der Eintrittsöffnung (3) für den Protonenstrahl (P) zugewandten

Fläche von mindestens dem Querschnitt des Protonenstrahls (P) angeordnet ist.

13. Target nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß ein der Eintrittsöffnung (3) für den Protonenstrahl (P) gegenüberliegender Teil der Wandung des Kanals (1) von einem als Target verwendbaren, mit einem Kühlsystem (12) in Berührung stehenden Feststoffkörper (11) mit einer dem Protonenstrahl (P) zugewandten Fläche von mindestens dem Querschnitt des Protonenstrahls (P) gebildet wird.
14. Target nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, 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) unterhalb der Temperatur abgeführt wird, bei der das Material des Feststoffkörpers (11) schmilzt und/oder in der Metallflüssigkeit (2) in Lösung geht.
15. Target nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Querschnittsabmessung des Kanals (1) in Richtung des Protonenstrahls (P) von der freien Oberfläche (6) des Flüssigkeitsstroms (2) aus gemessen um den Teil des Feststoffkörpers (11), der bei der Spallation der Tiefe nach zu Wirkung kommt, verringert ist.
16. Target nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Feststoffkörper (11) aus einem neutronenvervielfachenden Material wie Uran besteht.

## Target für eine Spallationsneutronenquelle

Die Erfindung bezieht sich auf ein Target für eine Spallationsneutronenquelle, das von einem von flüssigem Metall durchströmten, im Kreislauf mit darin angeordneter Umwälzpumpe sowie einem Wärmetauscher geführten Kanal mit einer darin angebrachten Eintrittsöffnung für einen zur Freisetzung energiereicher Neutronen vorgesehenen Protonenstrahl hoher Energie gebildet wird, wobei der Kanal mit einer Heizvorrichtung zum Aufheizen des den Kanal durchströmenden Metalls auf die oberhalb der Schmelztemperatur liegende Betriebstemperatur vor der Inbetriebnahme der Spallationsneutronenquelle in Verbindung steht.

Spallationsneutronenquellen sind Vorrichtungen, bei denen ein Protonenstrahl hoher Energie zur Erzeugung von Neutronen in eine geeignete Substanz eingeschossen wird. Soweit es sich um Targets handelt, bei denen es sich bei dem Material, aus dem die Neutronen freigesetzt werden, um flüssiges Metall handelt, ist die Verwendung von Blei oder eines Blei-Wismuth-Eutektikums zweckmäßig. Dabei werden, um die angestrebten Neutronenquellstärken zu erreichen, Protonenenergien und Protonenströme benötigt, bei denen innerhalb eines Volumens von einigen hundert ccm Leistungen in der Größenordnung von einigen MW erzeugt werden. Der Protonenstrahl wird in einem Beschleuniger erzeugt, dessen Beschleunigungsstrecke unter Hochvakuum steht.

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 zur Erzeugung von Spallations-Neutronen erforderlich 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 auf das Target auftrifft, zu gewährleisten. Bei Feststoff-Targets wird die Wärme durch Wärmeleitung bei unterhalb des Schmelzpunktes des Targetmaterials liegenden Temperaturen abgeführt. Das hat zur Folge, daß die abführbare Wärmemenge begrenzt ist. Um diesem Nachteil zu begegnen ist daher auch schon eine Targetanordnung für Spallationsneutronenquellen vorgeschlagen worden, bei der kontinuierlich Targetmaterial dadurch am Auftreffpunkt des Protonenstrahls vorbeigeführt wird, daß das Targetmaterial am Umfang eines rotierenden, innen gekühlten Rades angeordnet ist (vgl. DE-SO 28 50 069). Platzbedarf und Gewicht einer derartigen Konstruktion sind jedoch erheblich, da der notwendige 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.

In Betracht gezogen wurden auch schon sogenannte Verdampfungs-Targets, bei denen die erzeugte Wärme ganz oder zum Teil durch Verdampfung von Targetmaterial abgeführt wird. Nachteilig hierbei ist jedoch, daß in jedem Fall ein Strahlfenster vorgesehen werden muß, um den Metaldampf von dem Protonenbeschleuniger fernzuhalten, infolgedessen ist das für das Strahlfenster eingesetzte Material hohen Beanspruchungen ausgesetzt.

Um den Nachteilen, die sich aus der Abführung der beim Betreiben einer Spallationsneutronenquelle entstehenden Wärme zu begegnen, hat man daher auch schon vorgeschlagen, Targets aus Flüssig-

metall zu verwenden, weil dabei die Wärme durch Konvektion an ein Kühlsystem abgeführt werden kann. So gehört zum bekannten Stande der Technik eine Ausführungsform, bei der ein Flüssigmetall-Strahl senkrecht nach oben gepumpt und parallel dazu wieder nach unten geleitet wird. Dabei wird der Protonenstrahl senkrecht von oben auf die Umlenkstelle der Flüssigkeitssäule geschossen. Vorteilhaft ist dabei zwar, daß es gegenüber dem Protonenstrahl einer Abdeckung nicht bedarf. Nachteilig ist jedoch, daß der Protonenbeschleuniger entweder vertikal angeordnet oder aber bei horizontaler Anordnung der Strahl des Protonenbeschleunigers um  $90^\circ$  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.

Eine andere Ausgestaltung eines Targets unter Verwendung von Flüssigmetall besteht darin, ein rotierendes Rad vorzusehen, bei dem die metallische Flüssigkeit während des Betriebes der Spallationsneutronenquelle durch Gravitationskräfte und infolge der Rotation durch Zentrifugalkräfte in den peripheren Teil des Rades gedrückt wird. Vorteilhaft ist zwar auch hierbei, daß es keiner Abdeckung der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl bedarf. Doch sind Platzbedarf und Gewicht erheblich, weil bei einem Raddurchmesser von 2,5 m das Gewicht des rotierenden Teils mehr als 2 t beträgt. Bei diesem bekannten Vorschlag bedarf es ferner zusätzlicher konstruktiver Maßnahmen, um das zur Kühlung des Targets erforderliche Kühlmittel über die Welle, an der das Targetrad angebracht ist, zu- und abzuführen.

Ein anderer Vorschlag zur Verwirklichung eines Targes für eine Neutronenquelle unter Verwendung eines Deuteronenstrahls zur Freisetzung von Neutronen aus flüssigem Lithium besteht darin, daß



aus dem Flüssigmetall ein längs einer senkrechten Platte von oben nach unten strömender Film gebildet wird. Die Filmdicke beträgt dabei etwa 1 cm. Die Strömungsgeschwindigkeit ist so bemessen, daß der Film aufgrund von Oberflächenspannungs- und Adhäsionskräften hydrodynamisch stabil ist. Dabei soll eine Flüssigkeitsoberfläche erzeugt werden, die eine Abdeckung der Eintrittsöffnung für den Deuteronenstrahl nicht erforderlich macht. Eine solche Ausgestaltung eines Targets ist jedoch bei Verwendung eines Protonenstrahls zur Freisetzung von Neutronen wegen der großen Eindringtiefe der Protonen nicht möglich, weil hydrodynamisch stabile Flüssigkeitsfilme mit der in diesem Falle notwendigen Dicke von etwa 20 bis 30 cm nicht verwirklichtbar sind.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Target für eine Spallationsneutronenquelle zu schaffen, bei dem der Protonenstrahl ohne Umlenkung horizontal oder nahezu horizontal auf das Target auftrifft, ohne das es notwendig ist, eine die Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl abdeckende Scheibe vorzusehen, obwohl die bei der Wechselwirkung zwischen Protonenstrahl und Target entstehende Wärme durch Flüssigkeitskonvektion abgeführt wird.

Zur Lösung dieser Aufgabe geht die Erfindung von der Erkenntnis aus, daß es unter Anwendung entsprechender Kräfte möglich ist, im Bereich der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl im Strömungskanal für die mit dem Protonenstrahl in Wechselwirkung tretende metallische Flüssigkeit eine freie Flüssigmetall-Oberfläche zu erzeugen, die derart stabilisierbar ist, daß das Flüssigmetall während des Betriebes nicht durch die Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl austreten kann.

Der Erfindung liegt die weitere Erkenntnis zugrunde, daß wegen des äußeren Vakuums im Bereich der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl keine Reibung zwischen Flüssigkeitsstrahl und einem in der Umgebung vorhandenen Gas stattfinden kann. An der freien Flüssigkeitsoberfläche kann es daher auch nicht zur Bildung von Wirbeln kommen, die die Ausbildung einer gleichbleibenden freien Oberfläche der metallischen Flüssigkeit im Auftreffbereich des Protonenstrahls beeinträchtigen könnte.

Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe wird bei einem Target für eine Spallationsneutronenquelle der eingangs bezeichneten Art gemäß der Erfindung dadurch gelöst, daß der Kanal im Bereich der senkrecht oder nahezu senkrecht angeordneten Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl eine Formgebung aufweist, die infolge erzwungener Umlenkung im stationären Betrieb auf den Flüssigkeitsstrom eine freie, nahezu parallel zur Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl verlaufende Oberfläche des Flüssigkeitsstroms erzeugende Kraft ausübt.

Unter dem Einfluß der zur Wirkung gebrachten Kräfte wird hinter der von der Eintrittsebene für den Protonenstrahl gebildeten Ebene eine ebenfalls senkrechte oder nahezu senkrechte freie Flüssigmetalloberfläche erzeugt. Diese Oberfläche ist bei dem Target gemäß der Erfindung eine isobare Fläche, auf der überall der Außendruck herrscht. Unter den gegebenen Bedingungen ist dieser Außendruck gleich dem Vakuumdruck des Protonen-Beschleunigers. Dabei wird also durch die zur Wirkung kommenden Kräfte im stationären Betrieb die Differenz zwischen dem Außendruck und dem Druck innerhalb des Flüssigkeitsmetalls aufrechterhalten. Die sich dabei im Bereich der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl ausbildende, nahezu senkrechte freie Oberfläche der Flüssigmetall-Strömung ermöglicht den Einschluß eines horizontalen oder nahezu horizontalen Protonenstrahls, ohne daß es erforderlich ist, während des stationären Betriebs eine Scheibe

zur Abdeckung der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl vorzusehen. Beim Betreiben des Targets gemäß der Erfindung muß dafür Sorge getragen werden, daß die Strömungsgeschwindigkeit im Kanal so groß ist, daß im Bereich der Wechselwirkung zwischen Protonenstrahl und dem Flüssigkeitsmetall die Temperatur des Flüssigmetalls die Verdampfungstemperatur nicht erreicht. Bei einem Druck von  $10^{-6}$  torr beträgt beispielsweise, wenn Blei als Flüssigmetall verwendet wird, die Spanne zwischen Verdampfungs- und Schmelztemperatur etwa 100 K. Daraus ergibt sich, daß bei Hochleistungstargets die Mindest-Strömungsgeschwindigkeit in der Größenordnung von einigen Metern pro Sekunde liegen muß.

Um beim Betreiben der Spallationsneutronenquelle ständig eine optimale Füllung des in dem Kanalkreislauf 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 ist.

Es ist ferner zweckmäßig, für die Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl eine fernbedienbare Abdeckung vorzusehen, damit während der Dauer, 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. Dieser Verschuß wird geöffnet, sobald der vorgesehene Durchsatz erreicht und der Protonenbeschleuniger eingeschaltet wird.

Da während des Betriebens der Spallationsneutronenquelle Störungen des Flüssigkeitsdurchsatzes auftreten können, die dazu führen könnten, daß aus der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl in unerwünschter Weise Flüssigmetall austritt, besteht

- 7 -  
M

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 angeordneten Pumpe in den Kreislauf oder den Vorratsbehälter zurückbefördert wird.

Eine sehr vorteilhafte Ausgestaltung des Targets gemäß der Erfindung besteht darin, daß oberhalb der senkrecht zur Strömungsrichtung verlaufenden Kante der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl, die von der Strömung angeströmt wird, eine sich mindestens über die Länge der Kante erstreckende, eine Einschnürung der Strömung von senkrecht zur Strömungsrichtung mindestens der Breite und parallel zur Strömungsrichtung mindestens der Länge der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl entsprechenden Abmessungen hervorgerufene Querschnittsverengung des Kanals vorgesehen ist. Die Verengung des Strömungskanals hat eine lokale Vergrößerung der Strömungsgeschwindigkeit mindestens über den Bereich der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl hinweg und infolgedessen eine Absenkung des lokalen Drucks innerhalb der Flüssigkeit in diesem Bereich 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 den das Flüssigmetall von der Eintrittsöffnung abströmt, gegenüber dem stromaufwärts liegenden Teil des Kanals, erweitert. Die Folge der

durch die in Strömungsrichtung hinter der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl vorgesehene Erweiterung des Strömungsquerschnittes ist eine lokale Ablösung des Flüssigmetall-Stroms 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 eine Strecke begrenzt sein, die zum Auffangen von in Strömungsrichtung aus der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl anderenfalls austretendem flüssigem 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 dem jeweiligen Bedarfsfalle senkrecht sein, sie kann auch horizontal verlaufen oder gegenüber der Horizontalen geneigt sein.

Eine andere Ausführungsform des Targets gemäß der Erfindung besteht darin, daß der Kanal eine in dem Flüssigkeitsstrom Zentrifugalkräfte hervorrufende Krümmung aufweist, durch die sich im Bereich der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl eine stabile freie Oberfläche des Flüssigkeitsstrahls ausbildet, wobei die

Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl in der Innenwandung der Kanalkrümmung vorgesehen ist. Dabei ist also der Kanal für die Flüssigkeitsströmung im Bereich der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl ein gekrümmtes Rohrstück, das in Richtung des Krümmungsradius nach außen und von der Eintrittsöffnung weg gerichtete Zentrifugalkräfte hervorruft. In diesem Falle heben bei hinreichend großer Strömungsgeschwindigkeit die Zentrifugalkräfte im gekrümmten Teil des Kanals die Gravitations- und sonstigen auf die strömende Flüssigkeit einwirkenden Druckkräfte soweit auf, daß die Flüssigkeit aus der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl nicht austreten kann. Bemessung und Formgebung der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl sind unter der Berücksichtigung, daß die freie Flüssigkeitsoberfläche eine solche Form annimmt, daß die Resultierende aus der Gravitations- und der Zentrifugalkraft in jedem Punkt senkrecht auf der freien Flüssigkeitsoberfläche steht, so gewählt, daß der Teil der freien Oberfläche, auf den der Protonenstrahl auftritt, nahezu senkrecht steht.

Wesentlich erleichtert wird die Ausbildung einer gleichbleibenden freien Oberfläche der strömenden Flüssigkeit im Bereich der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl im stationären Betrieb, wenn nach einer zweckmäßigen Weiterausgestaltung des Targets gemäß der Erfindung an der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl ein sich über die Breite der Kante erstreckendes, in die Strömung hineinragendes Strömungsleitprofil vorgesehen ist, durch das zusätzlich eine Einschnürung des metallischen Flüssigkeitsstromes hervorgerufen wird. An der stromabwärts gelegenen, senkrecht zur Strömungsrichtung verlaufenden Kante der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl ist die Kanalwandung zweckmäßig so geformt und/oder ein so geformtes Strömungsleitprofil vorgesehen, daß sich die Flüssigkeit nach Durchlaufen des Bereichs

der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl erst hinter der stromabwärts gelegenen Kante an die Wandung des Kanals anlegt. Dadurch wird zugleich der Tatsache Rechnung getragen, daß sich neben den infolge der Krümmung des Kanals hervorgerufenen Zentrifugalkräften auch Wandreibungseffekte einstellen. Es ist also in vorteilhafter Weise möglich, beide in den Figuren 1 und 2 dargestellten Ausführungsformen des Targets gemäß der Erfindung in der Weise miteinander zu kombinieren, daß neben einer Querschnittsverengung des Kanals zugleich auch eine Krümmung im Bereich der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl vorgesehen ist, falls dies gewünscht wird.

Wegen der Haftung der Flüssigkeit an der Wand des Kanals sind dort die Zentrifugalkräfte parallel 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 Bereich entspricht etwa der Dicke der laminaren Grenzschicht der Strömung. Auftretende Wandeffekte werden dadurch kompensiert, daß an beiden, parallel zur Strömungsrichtung verlaufenden Rändern der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl die Beeinflussung der Strömung im Bereich der freien Oberfläche ausschließende, ein Mehrfaches der laminaren Grenzschicht betragende Leitprofile vorgesehen sind.

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

Wird der Kreislauf des Flüssigmetalls nicht ausschließlich in einer horizontalen Ebene geführt, so ist es zweckmäßig, die Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl an oder nahe der höchsten Stelle des Kreislaufs anzuordnen, um den hydrostatischen Druck

in der Flüssigkeit an dieser Stelle möglichst klein zu halten.

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 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.

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 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 Targets erforderlich. Aus diesem Grunde besteht eine sehr vorteilhafte Ausgestaltung des Targets gemäß der Erfindung darin, daß an der der Eintrittsöffnung für den Protonenstrahl gegenüberliegenden 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 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 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.

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, 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 als Prinzipskizzen wiedergegeben und werden im folgenden näher erläutert. Es zeigen

- Figur 1, ein Target mit Querschnittsverengung des Strömungskanals im Längsschnitt;
- Figur 2, ein Target mit gekrümmter Kanalführung in perspektivischer Darstellung;
- Figur 3, eine andere Ausführungsform eines Targets mit gekrümmter Kanalführung im Längsschnitt;
- Figur 4, einen Schnitt durch die Ausführungsform des Targets nach Figur 3, nach der Linie A-B;
- Figur 5, ein Querschnitt durch eine andere Ausführungsform des Targets unter Verwendung eines Feststoffkörpers.

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 Figur 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 Figur 1 ferner hervorgeht, ist der sich in Strömungsrichtung der metallischen Flüssigkeit 2 an die Eintrittsöffnung 2 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. Hinter 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 Figur 1 dargestellt, senkrecht zu führen, vielmehr kann der Kanal 2 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 Kanalwendung angeordnet.

In Figur 2 ist ein anderes Ausführungsbeispiel des Targets gemäß der Erfindung wiedergegeben. Dabei ist der einen rechteckigen Querschnitt aufweisende Kanal 1 für die Flüssigmetall-Strömung im Bereich der Eintrittsöffnung 3 für den 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 Richtung des Krümmungsradius radial nach außen gerichtete Zentrifugalkräfte ausgeübt. Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit und Krümmung sind so aufeinander abgestimmt, daß die Zentrifugalkräfte im gekrümmten Teil des Kanals 1 die Gravitations- und sonstigen Druckkräfte soweit aufheben, daß die metallische Flüssigkeit 2 nicht aus der Eintrittsöffnung 3 für den Protonenstrahl P austreten kann.

Wie am besten aus Figur 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 Z auf der Oberfläche steht.

Außerdem ist - wie aus Figur 3 hervorgeht - an der stromaufwärts liegenden Kante der Eintrittsöffnung 3 für den Protonenstrahl P ein über die Breite der Fensterabmessung senkrecht zur Strömungs-

richtung sich erstreckendes Strömungsleitprofil 7 angeordnet. Dieses Strömungsleitprofil weist, wie aus Figur 3 hervorgeht, eine in die Strömung hineinragende, den Querschnitt der Strömung verengende Kante auf. An der stromabwärts 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 darüber hinaus 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 Figur 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 Flüssigkeitsoberfläche 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 das 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 Figur 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.

21-  
Leerseite

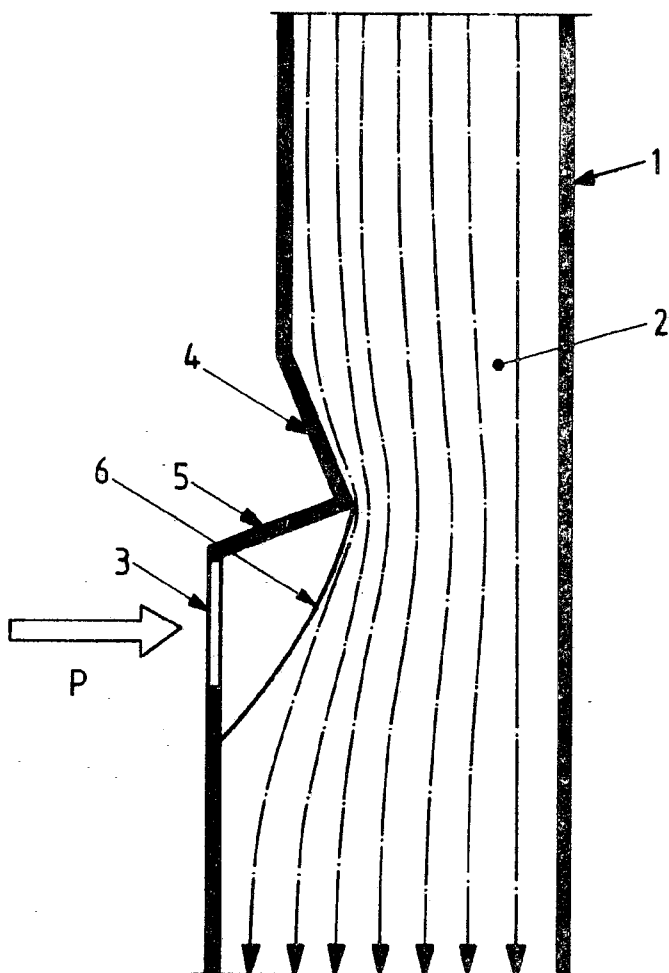


Fig.1

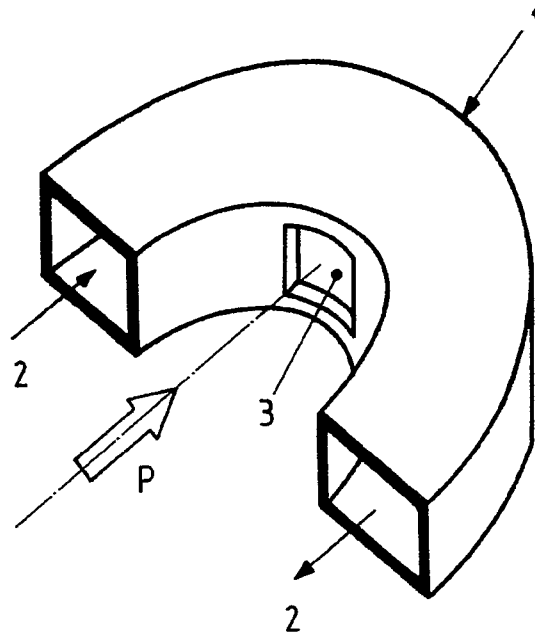


Fig. 2



3126191

-23-

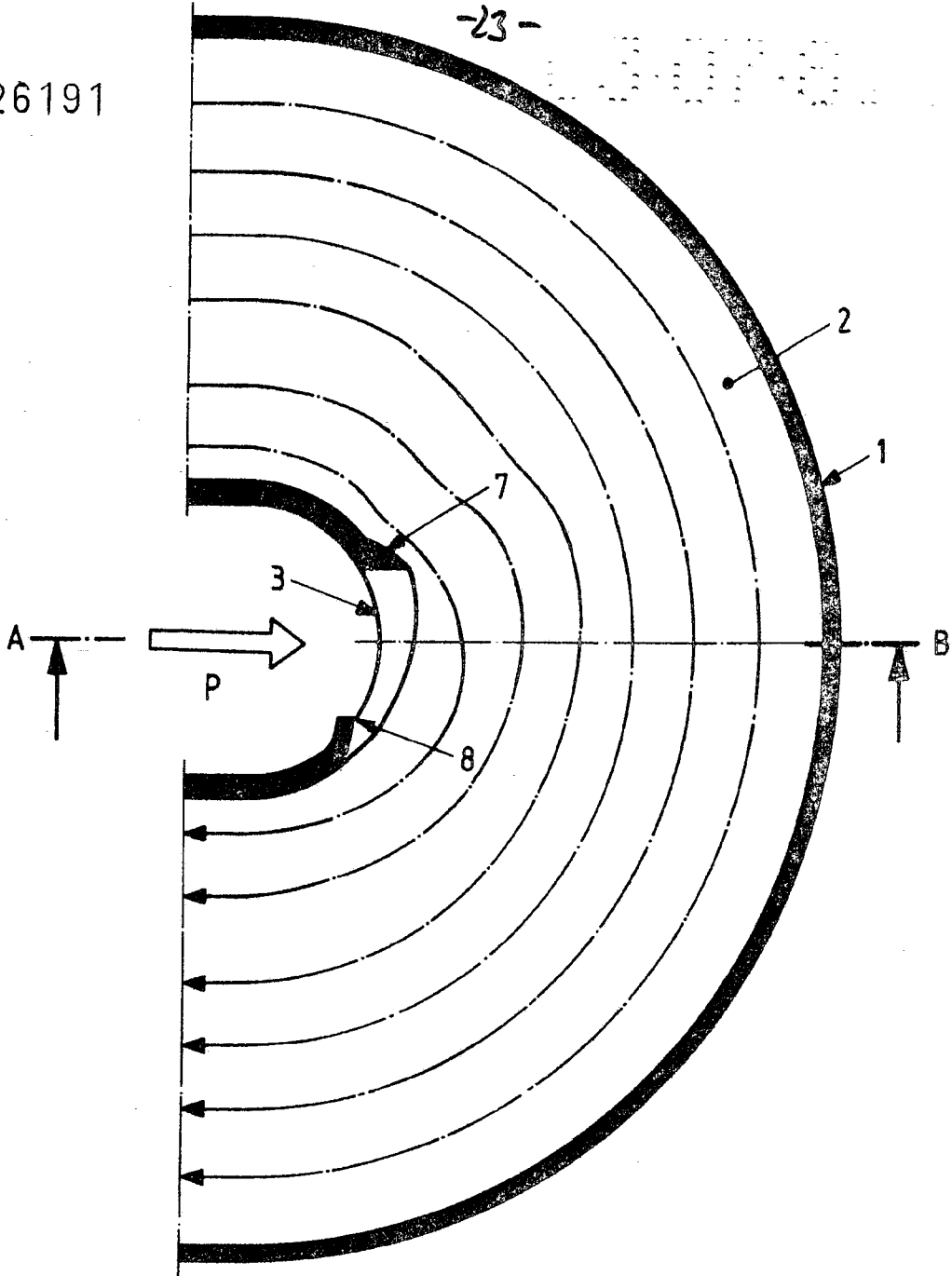


Fig. 3

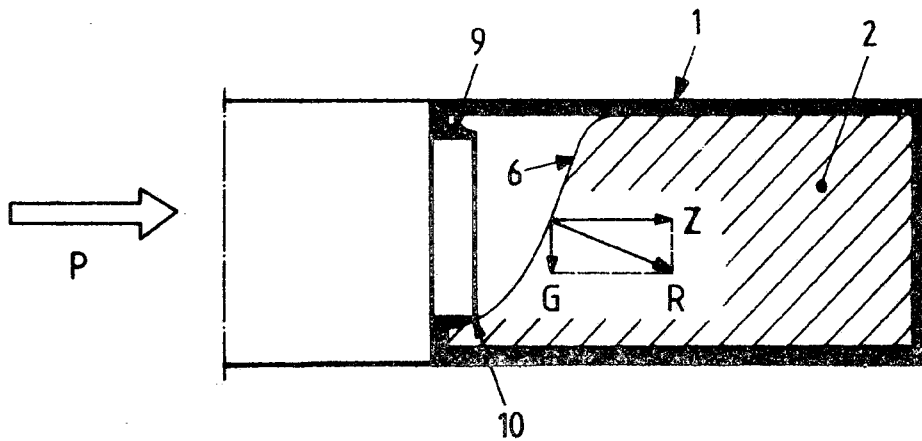


Fig. 4

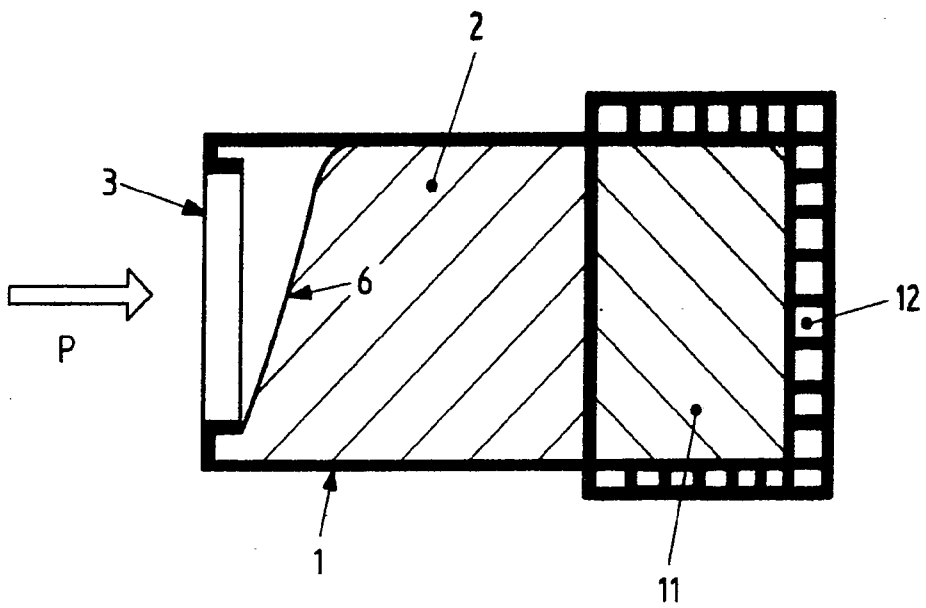


Fig.5