

51

Int. Cl. 2:

**H 01 J 37/00**

19 **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

G 21 G 4/02

**DEUTSCHES PATENTAMT**



**DE 23 63 490 C 3**

11

# Patentschrift **23 63 490**

21

Aktenzeichen: P 23 63 490 4-33

22

Anmeldetag: 20. 12. 73

43

Offenlegungstag: 3. 7. 75

44

Bekanntmachungstag: 9. 8. 79

45

Ausgabetag: 17. 4. 80

Patentschrift stimmt mit der Auslegeschrift überein

30

Unionspriorität

32 33 31

54

Bezeichnung: Neutronenquelle zur Erzeugung schneller Neutronen

73

Patentiert für: Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, 8000 München

72

Erfinder: Schraube, Hans, Dipl.-Ing., 8051 Neufahrn; Morhart, Alois, Dipl.-Phys., 8044 Unterschleißheim

56

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

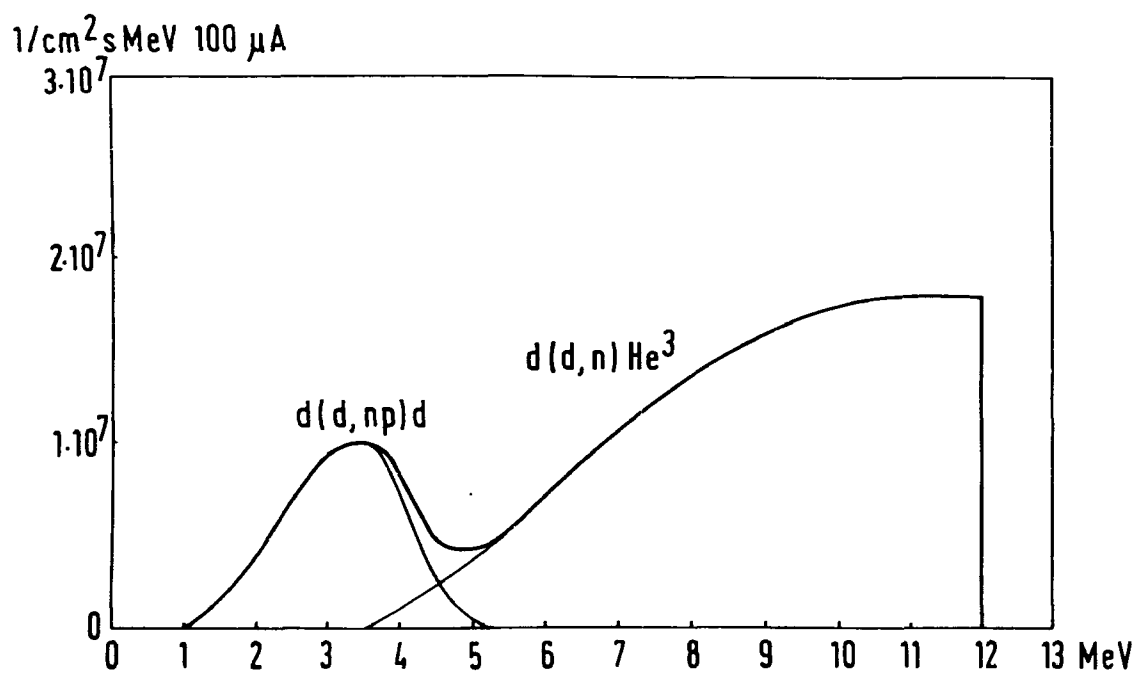
AT 1 13 188

The Review of Scientific Instruments, Bd. 27,  
1956, Nr. 3, S. 132-134

The Review of Scientific Instruments, Bd. 24,  
1953, Nr. 6, S. 424-427

**DE 23 63 490 C 3**

Fig. 1



## Patentansprüche:

1. Neutronenquelle zur Erzeugung schneller Neutronen hoher Flußdichte mit Hilfe von Kernreaktionen, die elektrisch beschleunigte Deuteronen in einem Targetkern hervorrufen, bestehend aus einer von einem Targetgas durchströmten Druckkammer, die mit einem für die Deuteronen durchlässigen Strahleintrittsfenster ausgestattet ist, das die Druckkammer von dem Vakuumraum des Beschleunigersystems trennt, dadurch gekennzeichnet, daß das Strahleintrittsfenster (22) durch Anblasen mit einem in die Druckkammer eintretenden Deuteriumgasstrahl von der Druckkammerseite her gekühlt ist, wobei das Deuterium gleichzeitig als Targetmaterial dient, und daß in der Druckkammer (1) eine mit einer Gasabführungsleitung (40, 41) in thermischem Kontakt stehende Kühlvorrichtung (32, 36) angeordnet ist, die die im Targetgas erzeugte Wärme nach außen abführt.

2. Neutronenquelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Strahleintrittsfenster (22) aus Wolfram, Molybdän, einer NiCo- oder NiFe-Legierung von einer Dicke zwischen 10 und 30  $\mu\text{m}$  besteht.

3. Neutronenquelle nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine Düse (39), die mit einer Gasversorgungsanlage (38) verbunden ist, das Deuteriumgas auf das Strahleintrittsfenster (22) bläst.

4. Neutronenquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlvorrichtung einen in der Druckkammer (1) angeordneten einseitig verschlossenen, gekühlten Zylinder (32) umfaßt, dessen offene Stirnseite (31) zum Eintrittsfenster (22) weist und dessen Achse (21) in Strahlrichtung des durch das Fenster eintretenden Deuteronenstrahls liegt.

5. Neutronenquelle nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß auf die Außenummantelung des Zylinders (32) eine Kühlschlange (36) für Wasser oder ein Flüssiggas zur Abführung der Wärme aufgelegt ist und daß zusätzlich auf die Außenummantelung des Zylinders (32) eine Rohrschlange (40) gelegt ist, die mit dem Innenraum (42) des Zylinders (32) über eine Gasabführungsöffnung (41) und mit einer Gasauslaßleitung verbunden ist.

6. Neutronenquelle nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlschlange (36) und die Rohrschlange (40) in engem Kontakt nebeneinander auf dem Zylinder (32) liegen.

7. Neutronenquelle nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der einseitige Verschuß des Zylinders (32) aus einer Goldplatte besteht.

8. Neutronenquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Druck des Deuteriumgases in der Druckkammer (1) in der Größenordnung von 11 at liegt.

hend aus einer von einem Targetgas durchströmten Druckkammer, die mit einem für die Deuteronen durchlässigen Strahleintrittsfenster ausgestattet ist, das die Druckkammer von dem Vakuumraum des Beschleunigersystems trennt. Eine derartige Neutronenquelle ist aus »The Rev. of Sc. Instr.«, Vol. 27, 1956, Nr. 3, Seiten 132 bis 134 bekannt.

Die Einsatzmöglichkeiten von Neutronenquellen liegen im Gebiet der Strahlenbiologie, der Tiefentherapie, der Aktivierungsanalyse, der Lebensmittelchemie und der Sterilisierungstechnik, wo hohe Dosisleistungen und hohe Energie der Neutronen gefordert werden. Physikalische Voraussetzungen für die Anwendbarkeit von schnellen Neutronen z. B. in der Tiefentherapie jedoch sind eine hinreichend hohe Dosisleistung am Ort des Tumors und eine möglichst geringe Abnahme der Dosisleistung im Gewebe mit der Tiefe in Strahlrichtung. Beide Forderungen sind aber nur zu erfüllen, wenn eine möglichst hohe Flußdichte und eine möglichst hohe Energie des Neutronenfeldes vorliegt. Die Mindestforderung, die der Therapeut an eine Bestrahlungseinrichtung mit schnellen Neutronen stellt, ist eine Dosisleistung in der Größenordnung von 10 rad/min. in 1 m Fokus-Hautabstand und eine Dosisleistung von 50% der Oberflächendosis in etwa 10 cm Tiefe. Aus Gründen hinreichender Kollimierung des Strahlenbündels, genügender Abschirmung außerhalb des Strahlenbündels und des Einflusses des Abstandes auf den Tiefendosisverlauf kann der Fokus-Hautabstand nicht mehr wesentlich verringert werden.

Es ist bekannt, daß zur Erzeugung schneller Neutronen hoher Dosisleistung an z. B. Teilchenbeschleunigern bisher zwei Wege beschritten worden sind. So werden erstens Deuteronen auf eine Energie von einigen hundert keV beschleunigt und in ein Target aus einem Schwermetall eingeschossen, in welchem Tritium adsorbiert ist. Die Deuteronen reagieren mit den Tritiumatomen und erzeugen nahezu monoenergetische Neutronen von etwa 15 MeV. Wegen der starken Abbremsung der Deuteronen im Targetmaterial ist die Ausbeute für viele Zwecke jedoch nicht ausreichend. Zweitens können die Deuteronen auf ein festes Target aus Beryllium, aufzutreffen. Die resultierende spektrale Verteilung hat hohe Anteile niederenergetischer Neutronen, was für viele Anwendungen unerwünscht ist. Weiterhin sind die Neutronenausbeuten für Deuteronenenergien unterhalb etwa 15 MeV unzureichend. Ein Vorteil liegt allerdings in der einfachen Wärmeabfuhr und der Verschleißfreiheit der Targets.

Auch bei der eingangs angeführten bekannten Neutronenquelle, bei der Tritium als Targetgas dient, kann die Neutronenausbeute nicht beliebig durch die Erhöhung des Deuteronenstromes gesteigert werden, da die verwendeten Eintrittsfenster schon bei einem Strom aus 2 MeV-Deuteronen bei 3  $\mu\text{amp}$  platzen.

Der Erfindung liegt nunmehr die Aufgabe zugrunde, die eingangs genannte Neutronenquelle so zu gestalten, daß die thermische Belastbarkeit des Strahleintrittsfensters bei Beschuß mit Deuteronenenergien von etwa 10 bis 20 MeV wesentlich erhöht ist.

Die Lösung dieser Aufgabe ist erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, daß das Strahleintrittsfenster durch Anblasen mit einem in die Druckkammer eintretenden Deuteriumgasstrahl von der Druckkammerseite her gekühlt ist, wobei das Deuterium gleichzeitig als Targetmaterial dient, und daß in der Druckkammer eine mit einer Gasabführungsleitung in thermischem Kontakt stehende Kühlvorrichtung an-

Die Erfindung betrifft eine Neutronenquelle zur Erzeugung schneller Neutronen hoher Flußdichte mit Hilfe von Kernreaktionen, die elektrisch beschleunigte Deuteronen in einem Targetkern hervorrufen, beste-

geordnet ist, die die im Targetgas erzeugte Wärme nach außen abführt.

Durch die gleichzeitige Wärmeabfuhr sowohl von dem Strahleintrittsfenster als auch aus dem Targetgas kann die Strahlenbelastung und damit Neutronenflußdichte wesentlich erhöht werden. Die Vorteile der Verwendung eines Targetgases aus Deuterium liegen darin, daß der Wirkungsquerschnitt der Reaktion  $D(d,n)He^3$  im Bereich  $E_d > 2$  MeV um etwa den Faktor 4 höher ist als derjenige der Reaktion  $T(d,n)He^4$ . Die Tritiumreaktion besitzt zwar eine hohe Wärmetönung und bei  $E_d = 100$  KeV eine hohe Resonanz, weshalb diese Reaktion an Niederenergiebeschleunigern mit hohen Deuteronenströmen bevorzugt wird. Stehen jedoch höhere Deuteronenenergien von z. B.  $E_d = 10$  MeV zur Verfügung, so verliert der Resonanzanteil gegen den höherenergetischen Neutronenanteil an Bedeutung, da im Resonanzgebiet die Funktionaldeterminante  $dE/dE_n$  vergleichsweise klein wird. Hinsichtlich der erzielbaren Ausbeute sind also Targets auf der Grundlage der  $D(d,n)He^3$  Reaktion vorzuziehen, von Strahlenschutzproblemen ganz abgesehen.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, daß das Strahleintrittsfenster aus Wolfram, Molybdän oder einer NiCo- oder NiFe-Legierung von einer Dicke zwischen 10 bis 30  $\mu$ m besteht.

Eine weitere Ausführungsform der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß auf die Außenummantelung des in der Druckkammer angeordneten Zylinders eine Kühlschlange für Wasser oder ein Flüssiggas zur Abführung der Wärme aufgelegt ist und daß zusätzlich auf die Außenummantelung des Zylinders eine Rohrschlange gelegt ist, die mit dem Innenraum des Zylinders über Abführöffnung und mit einer Abführleitung verbunden ist. Die Kühlschlange und die Rohrschlange können weiterhin in engem Kontakt nebeneinander auf dem Zylinder liegen, so daß die Kühlschlange außer dem Zylinder auch noch die Rohrschlange und damit das abzuführende Gas aus der Druckkammer kühlt.

Eine andere Ausgestaltungsform der Erfindung kann vorsehen, daß der einseitige Verschuß des Zylinders aus einer Goldplatte besteht. Auch kann der Druck des Deuteriumgases in der Druckkammer in der Größenordnung von 11 at liegen.

Die Erfindung wird im folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels mittels der Fig. 1 bis 4 näher erläutert.

Die Fig. 1 stellt ein Diagramm dar, in dem die Neutronenflußdichte in Abhängigkeit von der Neutronenenergie (Abszisse) aufgetragen ist.

die Fig. 2 zeigt die prinzipielle Anordnung des Targets in einem Kollimator für medizinische Zwecke,

die Fig. 3 zeigt einen schematisierten Schnitt durch das Druckgastarget und

die Fig. 4 stellt einen Schaltplan für die Versorgungsanlage dar.

Die Neutronenerzeugung erfolgt im Deuterium-Gas nur über die beiden Reaktionen  $D(d,n,p)D$  und  $D(d,n)He^3$ . Wird als Gasdruck ca. 11 at gewählt, so beträgt die Reichweite der Deuteronen von etwa 10 MeV etwa 30 cm. Die spektrale Verteilung der Neutronen ist vom Abstand des betrachteten exponierten Targetgas-Volumens vom Strahleintrittsfenster abhängig. Für einen Abstand von 1 m sieht die erwartete spektrale Flußdichteverteilung so aus wie in Fig. 1 wiedergegeben, wobei die Neutronenflußdichte ( $1/\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{MeV} \cdot 100 \mu\text{A}$ ) in Abhängigkeit von der Neutronenenergie (MeV) aufgetragen ist.

In Fig. 2 ist eine Anordnung des Targets in einem Kollimator 3 dargestellt. Eine solche Anordnung ist für medizinische und radiobiologische Aufgabenstellungen besonders gut geeignet. Der Aufbau des Kollimators 3 und der übrigen Abschirmungen ist nicht näher beschrieben. Die schnellen Neutronen gelangen durch die Öffnung 2 des Kollimators 3 auf das zu bestrahlende Objekt.

Die Druckkammer 1 des Targets (s. a. Fig. 3) ist über ein Zwischenrohr 4 und ein Strahlrohr 5 an ein zu einem Kompaktzyklotron (nicht näher dargestellt) führendes Verbindungsrohr 6 angeschlossen. Dieses Kompaktzyklotron erzeugt Deuteronen einer Energie von etwa  $E_d \leq 20$  MeV, welche durch das Strahlrohr 5, das Zwischenrohr 4 und eine Öffnung 7 in einer Flanschverbindung 8 in die Druckkammer 1 eingeschossen werden.

Im Strahlrohr 5 selbst ist eine Blendenanordnung 9 mit Blendenöffnung 10 und einer Kühlvorrichtung 11 aufgestellt, welche den nicht näher dargestellten Deuteronenstrahl begrenzt. Sie wirkt als Faraday-Behälter. Der Blendenring besteht aus hochschmelzendem Material mit hoher Ordnungszahl; letzteres um die unerwünschte Neutronenerzeugung an der Blende gering zu halten. Die Kühlung erfolgt über eine Rohrzuleitung 12, die durch eine Flanschverbindung 13 zwischen Zwischenrohr 4 und Strahlrohr 5 mittels des Isolierstückchens 14 hindurchgeführt ist. Über die Stromdurchführung 45 kann der Blendenstrom aufgenommen und gemessen werden. Die Flanschverbindung 13 weist ebenfalls Isolierteile 15 und 16 für die beiden Flanschteile 17 und 18 als auch die Schrauben 19 auf. Daher wirkt das Zwischenrohr 4 ebenfalls als Faraday-Behälter. Der Deuteronenstrom kann also an irgend einer Stelle der Flanschverbindung 8 aufgenommen werden.

Im Flanschteil 18 ist eine Öffnung 20 angeordnet, welche genau wie die Öffnung 10 in der Blendenanordnung 9 und die Öffnung 7 in der Flanschverbindung 8 auf der Achse 21 der Strahlrichtung liegt. Das Zwischenrohr 4 ist also das tragende Element, an welchem einerseits die Blendenanordnung zur Strahlbegrenzung und andererseits die Druckkammer befestigt ist.

Die Deuteronen treten durch die Öffnung 7 und das Strahleintrittsfenster 22 in den Targetraum 23 der Druckkammer 1 ein und erzeugen in dem Deuteriumgas innerhalb der Druckkammer über die Kernreaktion  $D(d,n)He^3$  Neutronen. Die Wärmetönung beträgt  $Q = 3,27$  MeV. Der Druck in der Druckkammer 1 ist so gewählt, daß die Deuteronen vollkommen abgebremst werden, so daß sie mit jeder Energie zwischen der maximalen und der Energie Null zur Reaktion kommen. Dies kann z. B. bei einer Länge von 300 mm der Kammer 1 mit 11 at Druck und 10 MeV Deuteronenenergie erfolgen.

Das Deuterium befindet sich im Targetraum 23 der Druckkammer 1, welcher vom Vakuumsystem im Zwischenrohr 4 und Strahlrohr 5 über das Fenster 22 getrennt ist. Dieses Fenster besteht aus einer dünnen Folie von ca. 10–30  $\mu$ m Dicke aus Wolfram, Molybdän, einer NiCo- oder NiFe-Legierung. Es ist an der Flanschverbindung 8 angeschlossen. Die Flanschverbindung 8 besteht aus den beiden Einzelflanschen 24 und 25, welche über die Schraubverbindungen 26 und eine Kupferdichtung 27 dicht und fest miteinander verbunden sind. Die Öffnung 7 ist durch die Fensterfolie 22 dicht verschlossen. Die Kanten der Öffnung 7 sind auf der Seite der Druckkammer 1 abgerundet, um die Belastung der Folie 22 an der Einspannstelle zu verringern. Mit Hilfe des Ringes 28 und der Schraube 29

wird die Folie gegen den Flanschteil 24 gedrückt. Die Vakuumdichtung wird durch einen weichen Metall-dichtring 30 (Gold oder Indium) gewährleistet. Übliche Kunststoffdichtungen sind hier wegen der möglichen Strahlenschädigung ungeeignet.

Die Wärme, welche im Deuteriumgas in der Druckkammer 1 erzeugt wird, wird über einen gekühlten Zylinder 32 abgeführt. Dieser Zylinder besitzt eine offene Stirnseite 33, welche zum Strahleintrittsfenster 22 hinweist. Die andere Stirnseite ist mit einer Goldplatte 34 abgeschlossen. Der Zylinder 32 weist Abmessungen auf, die bei gegebenem Druck die totale Abbremsung der Deuteronen im Gasraum erlauben.

Es kann jedoch von Vorteil sein, bei sonst gleichen Abmessungen, den Druck zu verringern oder die Teilchenenergie zu erhöhen. Die Deuteronen werden dann nicht mehr ganz im Targetraum abgebremst, sondern teilweise in der Goldplatte 34.

Verglichen mit dem Fall der totalen Abbremsung der Deuteronen im Gas wird dadurch die mittlere Energie der reagierenden Neutronen ein wenig höher, die im Gasraum freigesetzte Wärme geringer, die Neutronenausbeute jedoch nicht im selben Maße geringer. Beispielsweise führt eine Verkürzung des Targets auf  $\frac{2}{3}$  der Reichweite der Deuteronen zu einer Verringerung der thermischen Leistung im Gasraum um 35%; die Neutronenausbeute in Vorwärtsrichtung verringert sich jedoch nur um rund 13%. Dies kann insbesondere für höhere Deuteronenenergien hinsichtlich der Lebensdauer der Fensterfolie 22 von Vorteil sein.

Die Abfuhr der im Targetgas erzeugten Wärme erfolgt über die Wandung des Zylinders 32 und eine um den Zylinder herumgewickelte Kühlschlange 36, die über eine Zu- und Ableitung 35 und 37 mit Wasser beaufschlagt wird. Die Wasserumwälzung (s. a. Fig. 4) erfolgt in einem Primärkreislauf 60 mittels einer Umwälzpumpe 61, die als Kühlmittel destilliertes Wasser von ca. 20 l/Min. zur Verfügung stellt. Dieser Primärkreislauf 60 kann über einen äußeren Wärmeaustauscher 65 mit Leitungswasser gekühlt werden. Die Konstruktion läßt auch die Kühlung mit flüssigem Stickstoff oder einem anderen Flüssiggas zu, wodurch bei gleichem Druck die notwendige Kammerlänge von ca. 300 mm auf ca. 100 mm verkürzt werden könnte. Die Zu- und Abfuhrung 35, 37 (s. wieder Fig. 3) für das Kühlwasser wird durch die Flanschverbindung 8 und die Wandung des Zuführungsrohres 6 in den Außenraum geführt.

Ein wichtiges, durch die Einrichtung zu lösendes Problem ist die thermische Belastbarkeit der Fensterfolie des Strahleintrittsfensters 22. Damit diese Folie vor Zerstörung geschützt wird, wird sie mit dem Gasstrom des Deuteriumgases angeblasen. Dieser Gasstrom wird über eine Zuführungsleitung 38 durch die Flanschverbindung 8 in den Targetraum 23 eingeführt. Die Austrittsöffnung der Leitung 38 ist zu einer Düse ausgebildet, welche einen Öffnungsdurchmesser von 3 mm aufweisen kann. Die Düse 39 ist derart ausgerichtet, daß der aus ihr austretende Gasstrahl von etwa 8 l/min auf die Rückseite der Fensterfolie auftrifft. Das Deuteriumgas, welches durch die Düse 39 austritt, ist gleichzeitig das Targetmaterial.

Die Gasrückführung und Kühlung erfolgt über eine Rohrschlange 40, die an ihrem einen Ende eine Eintrittsöffnung 41 zum Innenraum 42 des Zylinders 32 aufweist. Durch diese Öffnung 41 strömt das Deuteriumgas in die Rohrschlange 40 ein. Die Kühlung erfolgt dadurch, daß die Rohrschlange 40 parallel und im engen

Kontakt zur Kühlschlange 36 für die Kühlung des Zylinders 32 auf die Außenummantelung des Zylinders 32 aufgelegt ist. Die Abfuhrung erfolgt über ein Abfuhrrohr (nicht dargestellt), welches wiederum durch die Flanschverbindung 8 eine nicht näher dargestellte Rohrdurchführung durch das Zuführrohr 6 hindurchgeführt wird. Auch die Gaszuführungsleitung 38 ist über ein nicht näher dargestelltes Koppelstück durch die Wandung 44 des Zuführrohres 6 hindurchgeführt.

Flanschteil 25, Druckkammer 1 und Deckel 46 der Druckkammer bilden eine verschweißte Einheit. Nach Lösen der Schrauben 26 kann diese abgenommen werden, wodurch ein einfaches Auswechseln der Fensterfolie möglich wird. Ferner kann eine zweite solche Einheit existieren, welche in ihrem Deckel eine axiale Bohrung von etwa 20 mm besitzt, sowie eine Nut für einen Vakuumdichtring. Mit einer auf den Dichtring geeigneten aufgedrückten Quarzglasplatte kann dann bei niedrigem Strahlstrom die Strahljustierung überprüft werden, was für den praktischen Betrieb sehr wichtig ist. Ferner kann die gesamte Konstruktion (Druckkammer 1, Zwischenrohr 4, Führungsrohr 6 und Strahlrohr 5 [vergl. Fig. 2]) nach Entfernung des äußeren Kollimatoraufbaues 3a und Lösen der Flanschverbindung 6a in einen geeigneten Abschirmbehälter gezogen werden. Das kann von Vorteil sein, wenn nämlich nach längerer Bestrahlungszeit die Bauteile der Druckkammer hoch aktiviert worden sind und zum Schutze des Personals eine längere Abklingpause einzulegen ist, bevor eine Reparatur der Fensterfolie oder von Dichtungen vorgenommen werden kann.

Die Gaszu- und -abfuhrung 38, 48 für die Kühlung des Eintrittsfensters 22 ist mit einer Umwälzpumpe 47, Kontrollinstrumenten 49, 55 und einer Gasfüllvorrichtung 56—59 verbunden (Fig. 4).

Eine Ausführungsform kann dabei so aussehen, daß diese Geräte in einer kompakten Versorgungseinheit zusammengefaßt werden mit einem Schnellkupplungsfeld zum Anschluß der Kühl- und Gaskreisläufe an die Neutronenquelle einerseits und einer elektrischen Verbindung zum Anschluß einer Logik im Schaltschrank des Beschleunigers andererseits.

In Fig. 4 ist in der oberen Hälfte des Bildes die Druckkammer 1 stark schematisiert gezeichnet, im unteren Teil sind die wesentlichen Elemente der Versorgungseinheit schematisch dargestellt. Der Gasumlauf wird durch die Gaspumpe 47 erreicht, die in einem Vorlauf-Rücklauf-Leitungssystem 38, 39 und 48 liegt. Das gesamte Gassystem befindet sich auf einem Druck von 11 at. Die Druckkontrolle erfolgt über einen Druckmeßwertgeber 49; eine Entleerung des Systems kann mit Hilfe des Magnetventils 50 über eine Drossel 51 und einen Auspuff 52 ins Freie durchgeführt werden. Vor einer Füllung des Gassystems mit Deuteriumgas muß das System evakuiert werden, was durch die Vakuumpumpe 53 über das Magnetventil 54 geschehen kann. Der pneumatisch-elektrische Wandler 55 erlaubt eine Kontrolle darüber, ob vor Befüllen das System ausreichend evakuiert ist.

Die Gaszuführung erfolgt von der Druckgasflasche 56 über ein Reduzierventil 57, ein Magnetventil 58 und ein Drosselventil 59. Letzteres bewirkt ein langsames Befüllen des Systems, so daß eine Zerstörung der Fensterfolie vermieden werden kann.

Der Primärkühlkreislauf 60 mit destilliertem Wasser wird durch die im Vorlauf 35 befindliche Wasserpumpe 61 bewirkt, eine Funktionskontrolle wird durch den Strömungswächter 62 durchgeführt. Der Sekundär-

kreislauf 63 mit Zu- und Abflußleitungen 66, 67 wird durch den Strömungswächter 64 kontrolliert. Mit Hilfe einer nicht näher dargestellten elektrischen Schaltung lassen sich Meßgrößen und Stellgrößen so verknüpfen, daß eine sichere Befüllung des Systems gewährleistet ist. Ferner kann der Beschleuniger automatisch abgeschaltet werden, wenn an irgend einer Stelle ein unzulässiger Meßwert auftritt (Überdruck, Kühlwasserausfall). Primär- und Sekundärkreislauf sind über den Wärmetauscher 65 gekoppelt.

Die mit dieser Neutronenquelle erzeugten Neutronen haben bei einer Energie  $E_n = 9$  MeV der eintreffenden Deuteronen (nach Abbremsung in der Fensterfolie) in

Vorwärtsrichtung eine maximale Energie  $E_n$  von etwa 12 MeV und unterhalb 2 MeV nur einen geringen spektralen Anteil (vergl. Fig. 1). Die mittlere Energie liegt bei etwa 8 MeV und das Maximum der Energieverteilung bei der maximalen Energie. Die Neutronenflußdichte in 1 m Abstand vom Strahleneintrittsfenster 22 in Strahlrichtung 21 beträgt etwa  $10^8/\text{cm}^2 \cdot \text{Sekunde}$ , die maximale Dosisleistung in einem gewebeäquivalenten Phantom etwa 40 rad/Min. Der Vorteil liegt also in der vergleichsweise hohen mittleren Energie und der hohen erzeugbaren Neutronenausbeute in Deuteronenstrahlrichtung 21.

Hierzu 4 Blatt Zeichnungen

Fig. 2

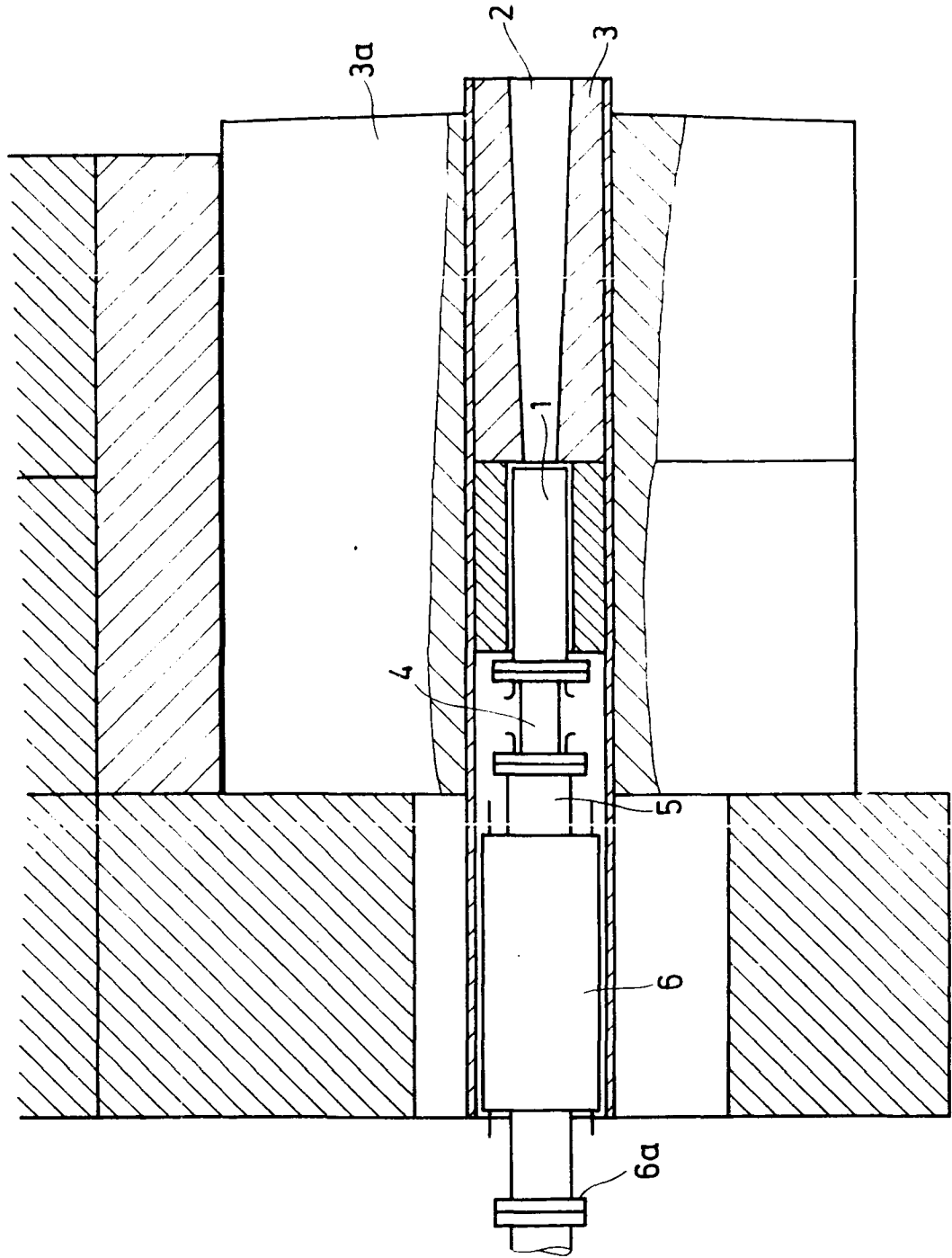


Fig. 3

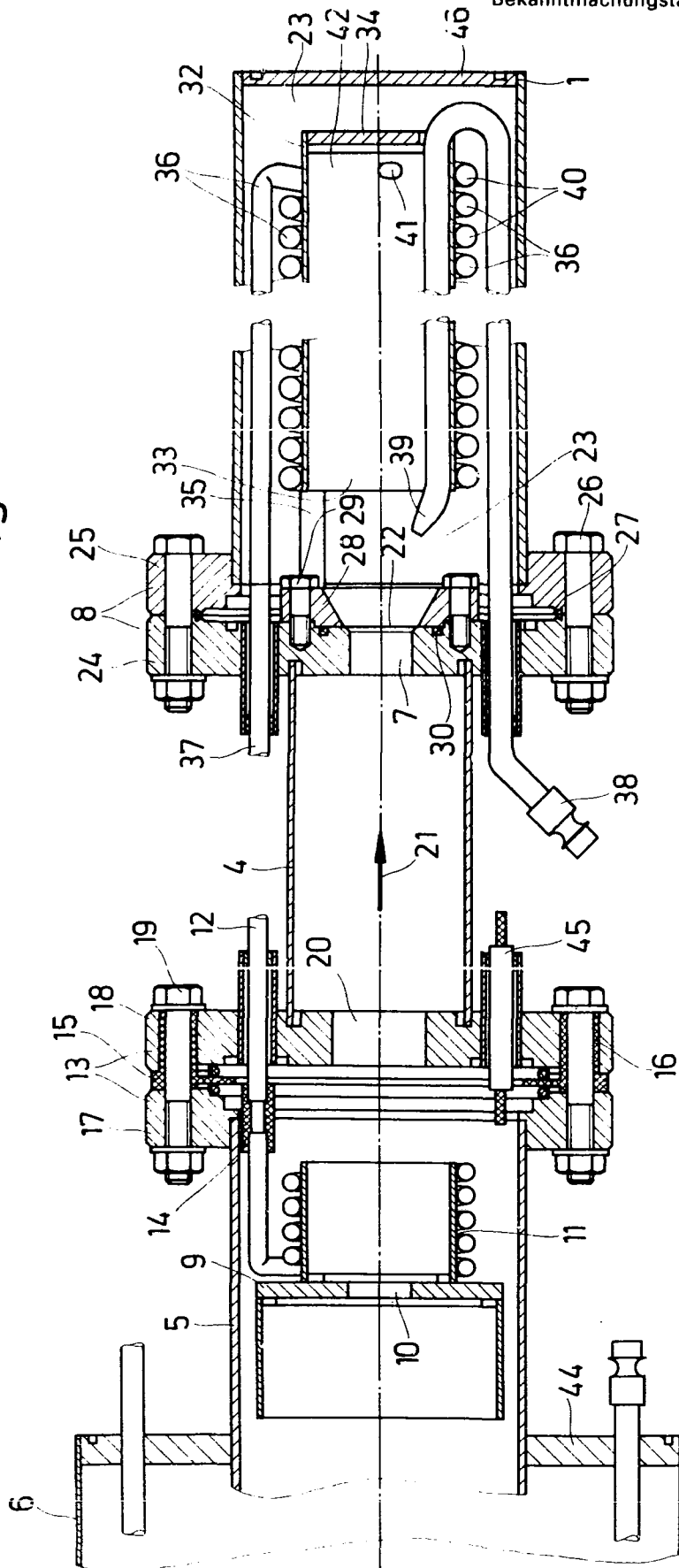




Fig. 4

