



(11)

EP 3 668 281 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
17.06.2020 Patentblatt 2020/25

(51) Int Cl.:
H05H 6/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **19000391.3**

(22) Anmeldetag: **02.09.2019**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Forschungszentrum Jülich GmbH**
52425 Jülich (DE)

(72) Erfinder:
• **Mauerhofer, Eric**
52428 Jülich (DE)
• **Zakalek, Paul**
52070 Aachen (DE)
• **Doege, Paul-Emmanuel**
40237 Düsseldorf (DE)
• **Baggemann, Johannes**
52428 Jülich (DE)

(30) Priorität: **01.10.2018 DE 102018007843**

(54) **NEUTRONENQUELLE UND VERFAHREN ZUM AUFFINDEN EINES TARGETMATERIALS**

(57) Die Erfindung betrifft eine Neutronenquelle und ein Verfahren zum Auffinden eines Targetmaterials.
Erfindungsgemäß wird eine Schichtfolge für ein Targetmaterial in einem iterativen Verfahren ermittelt, welches von Formel 1 Gebrauch macht,

$$n(E_i, \Delta E) = N_A \rho M^{-1} \delta(E_i, \Delta E) \sigma(E_i, \Delta E) \quad (1)$$

wobei

$n(E_i, \Delta E)$ die Anzahl der produzierten Neutronen,

i = Index, der die Schicht bezeichnet, nämlich 1,2,3n

N_A die Avogadro-Konstante,

ρ (g cm⁻³) die Dichte des ausgewählten Elements,

M (g) die molare Masse des ausgewählten Elements,

E_i die Eintrittsenergie des Primärions in die Schicht i ,

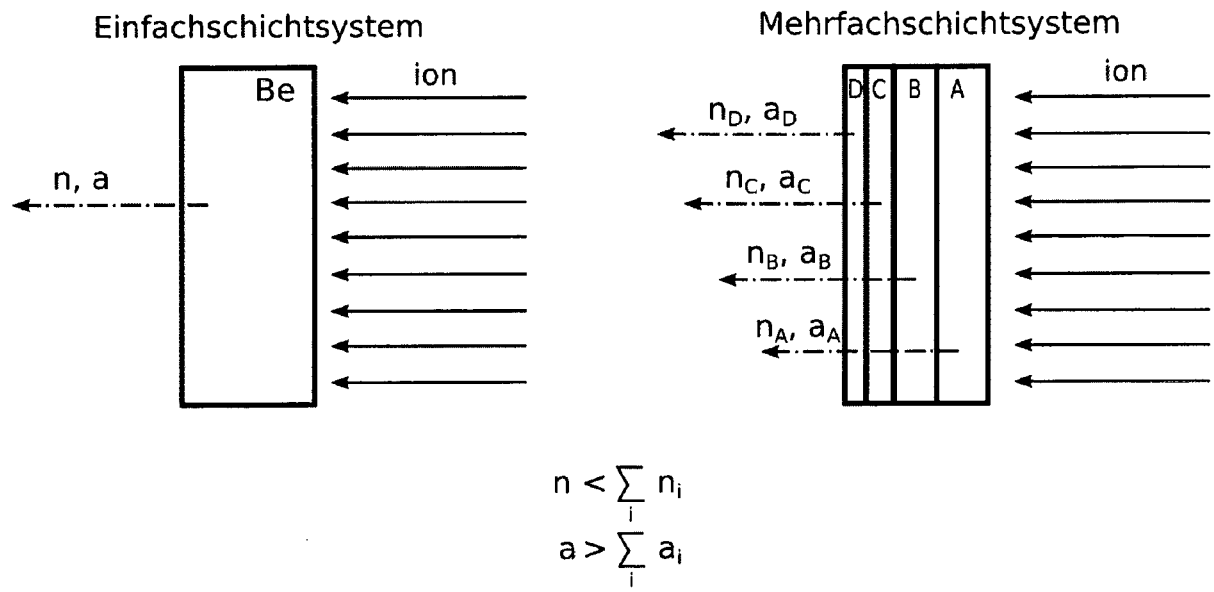
ΔE der Energieverlust des Primärions beim Durchtritt der Schichtdicke δ ,

$\delta(E_i, \Delta E)$ (cm) die Schichtdicke des ausgewählten Elements für einen Energieverlust der Ionen ΔE bei einer Eintrittsenergie von E_i ,

$\sigma(E_i, \Delta E)$ (cm²) der integrale Wirkungsquerschnitt über den Energiebereich ΔE für die Emissionswahrscheinlichkeit von einem oder mehreren Neutronen aus der Wechselwirkung zwischen Ionen und Atomkernen des Elements i ist.

Die so ermittelten Schichten werden zu einem Targetmaterial zusammengefügt.

EP 3 668 281 A1



Figur 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Neutronenquelle und ein Verfahren zum Auffinden eines Targetmaterials.

[0002] Bei ionenbeschleunigerbasierten Neutronenquellen [1] werden Neutronen durch die Wechselwirkung von Ionen, wie zum Beispiel Protonen und Deuteronen mit Atomkernen eines Targets produziert, wobei die Energie der Primärionen unterhalb der notwendigen Energie für eine Freisetzung von Neutronen durch Fragmentierung der Atomkerne des Targets (Prozess in der Neutronen in Spallation-Neutronenquelle) liegt. Bis heute bestehen Targets für ionenbeschleunigerbasierte Neutronenquellen im niedrigen MeV-Bereich aus einem Einzelschichtsystem aus Lithium [2] oder Beryllium [3], je nach Energie der Primärionen.

[0003] Targets aus Lithium oder Beryllium sind nicht auf eine maximale Neutronenproduktion bei gleichzeitiger Minimierung von sicherheitsrelevanten Nebenprodukten, wie z.B. Tritium, hin optimiert. Des Weiteren sind Lithium und Beryllium toxische Elemente und Beryllium wird als kritischer Rohstoff eingestuft. Beryllium wird als kritischer Stoff angesehen, da es beispielsweise Bedeutung für Kernwaffen hat und der Zugang daher begrenzt ist. Außerdem beinhaltet Beryllium Verunreinigungen, welche nach Gebrauch als Target radioaktiv zerfallen und Sondermüll darstellen, welcher schwer zu entsorgen ist.

[0004] Es ist daher die Aufgabe der Erfindung ein Target zur Verfügung zu stellen, welches bei Betrieb von ionenbeschleunigenden Neutronenquellen eine höhere Neutronenausbeute als einelementige Targets wie z.B. Beryllium liefert und das in einer bevorzugten Ausführungsform, bei deren Verwendung keine radioaktiven Nebenprodukte entstehen. Es ist auch die Aufgabe der Erfindung, Ersatzstoffe für Beryllium als Target aufzufinden, welche die mit Beryllium einhergehenden Probleme nicht oder in verringertem Umfang aufweisen.

[0005] Ausgehend vom Oberbegriff des Anspruchs 1 wird die Aufgabe erfindungsgemäß gelöst mit den im kennzeichnenden Teil angegebenen Merkmalen.

[0006] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und dem damit identifizierten Target ist es nunmehr möglich, eine höhere Neutronenausbeute als mit einelementigen Targets zu erzielen und in einer bevorzugten Ausführungsform die Produktion von radioaktiven Nebenprodukten zu verringern oder komplett auszuschalten. Es können Ersatzstoffe für z.B. Beryllium aufgefunden werden, welche leichter verfügbar sind und weniger Probleme bei der Entsorgung mit sich bringen, insbesondere weil nach Gebrauch des Targetmaterials kein oder weniger radioaktiver Zerfall des Targetmaterials zu verzeichnen ist. Die mit der Verwendung von Beryllium einhergehenden Probleme werden vermieden. Beryllium kann als Targetmaterial vollkommen ersetzt werden oder in geringerem Umfang zum Einsatz kommen.

[0007] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0008] Im Folgenden wird die Erfindung in ihrer allgemeinen Form erläutert, ohne dass dies einschränkend auszulegen ist.

[0009] Durch Abbremsung im Targetmaterial verlieren die Primärionen an Energie. Es wurde erkannt, dass die Produktion von Neutronen und Nebenprodukten von der Energie der Ionen, der Nukleonenzahl des Atomkerns und der Dichte des Targetmaterials abhängt, die Optimierung der Neutronenproduktion und die Minimierung der radioaktiven Nebenprodukte durch eine Anpassung des Targetmaterials an die Restenergie der Primärionen vorgenommen werden kann, und dass damit Targets zur Verfügung gestellt werden können, die die gestellten Aufgaben lösen.

[0010] Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur Auswahl von Targetmaterialien aus Schichten und ein Mehrschichtsystem zur Verfügung gestellt, welches aus mindestens zwei Schichten aus vorzugsweise mindestens zwei innerhalb der Schichtfolge nacheinander folgenden Elementen besteht, welche beim Auftreffen von Primärionen Neutronen produzieren. In einer speziellen Ausführungsform können auch zwei oder mehrere Schichten aus dem gleichen Element aufeinanderfolgen, so dass diese Schichten äußerlich als eine Schicht erscheinen, obwohl sie sich durch die Folge von einzelnen Schichten desselben Elements zusammensetzt.

[0011] Erfindungsgemäß besteht das Target aus einem Mehrschichtsystem mit mindestens zwei Schichten, in dem jede Schicht aus einem Element besteht, das bezüglich der in diese Schicht eintretende Primärenergie des Ionenstrahls die größte Ausbeute an Neutronen liefert. Die Schichten können aus 2, 3, 4, 5, ..., 10, beispielsweise 2-4 Schichten bestehen. Die Anzahl der Schichten ist grundsätzlich nicht beschränkt sondern richtet sich nach praktischen Kriterien.

[0012] Die erfindungsgemäße Auswahl der Elemente und deren Schichtdicke für eine optimale Neutronenproduktion erfolgt erfindungsgemäß rechnerisch unter Verwendung von Formel 1. Die Neutronenproduktion $n(E_i, \Delta E)$ (Neutronen pro Ion) für das ausgewählte Element, die Energie E_i der Ionen beim Eintritt in das Element und den Energieverlust der Ionen ΔE (MeV) wird mit

$$n(E_i, \Delta E) = N_A \rho M^{-1} \delta(E_i, \Delta E) \cdot \sigma(E_i, \Delta E) \quad (1)$$

berechnet, wobei

$n(E_i, \Delta E)$ die Anzahl der produzierten Neutronen,

i = Index, der die Schicht bezeichnet, nämlich 1,2,3n

N_A die Avogadro-Konstante,

ρ (g cm⁻³) die Dichte des ausgewählten Elements,

M (g) die molare Masse des ausgewählten Elements,

E_i die Eintrittsenergie des Primärions in die Schicht i ,

ΔE der Energieverlust des Primärions beim Durchtritt der Schichtdicke δ ,

$\delta(E_i, \Delta E)$ (cm) die Schichtdicke des ausgewählten Elements für einen Energieverlust der Ionen ΔE bei einer Eintrittsenergie von E_i ,

$\sigma(E_i, \Delta E)$ (cm²) der integrale Wirkungsquerschnitt über den Energiebereich ΔE für die Emissionswahrscheinlichkeit von einem oder mehreren Neutronen aus der Wechselwirkung zwischen Ionen und Atomkernen des ausgewählten Elements ist.

[0013] Die Werte von $\delta(E_i, \Delta E)$ können mit der Software SRIM (Stopping and Range of ions in Matter) [4] berechnet werden, die öffentlich zugänglich ist. Die Werte von $\sigma(E_i, \Delta E)$ können der Datenbank TENDL-2017 [5] oder TENDL-2015 oder ENDF/B-VII oder jeder anderen Datenbank mit tabulierten Wirkungsquerschnitten entnommen werden, die öffentlich zugänglich ist.

[0014] Für ein ausgewähltes Element wird unter Verwendung der in Formel 1 angegebenen Parameter N_A , ρ , M , die Neutronenproduktion berechnet, indem für E_i , ΔE Werte als Parameter vorgegeben werden.

[0015] ΔE kann frei gewählt werden; beispielsweise können für ΔE 5MeV oder 1 MeV gewählt werden.

[0016] Für das ausgewählte Element, die Eintrittsenergie E_i und den Energieverlust ΔE wird der Wert für die Schichtdicke $\delta(E_i, \Delta E)$ ermittelt und in die Formel 1 eingesetzt.

Letzteres kann unter Verwendung der Software SRIM geschehen, die frei erhältlich ist.

Die Werte von $\sigma(E_i, \Delta E)$ für das ausgewählte Element können der Datenbank TENDL-2017 oder TENDL-2015 oder ENDF/B-VII oder jeder anderen Datenbank mit tabulierten Wirkungsquerschnitten entnommen werden.

[0017] Damit wird für ein Element und eine Schichtdicke die Neutronenproduktion nach Formel 1 berechnet.

[0018] Für jedes ausgewählte Element wird bei festgelegter Startenergie E_1 , wobei $i = 1$ und einem festgelegten Energieverlust, z.B. $\Delta E = 1$ MeV, die Neutronenproduktion bis zur Endenergie E_n mit $i = n$ beim Durchtritt der Ionen durch die Schichten berechnet.

Dies wird folgendermaßen gemacht. Man startet bei der Startenergie E_1 und berechnet die Neutronenproduktion nach Formel 1. Die Ionen haben nach Durchtritt durch die Schicht eine Energie von $E_2 = E_1 - \Delta E$, oder allgemeiner, $E_{i+1} = E_i - \Delta E$. Diese Energie ist die Eintrittsenergie in die nächste Schicht und man kann nach Formel 1 die Neutronenproduktion der weiteren Schichten berechnen, indem die Energien E_1 , E_2 , E_3 , iterativ bis zur Endenergie E_n variiert werden. Für jedes E_i wird dabei der entsprechende Wirkungsquerschnitt $\sigma(E_i, \Delta E)$ eingesetzt.

[0019] Diese iterative Rechnung wird für alle ausgewählten Elemente und sinnvolle Energieparameter durchgeführt, jedoch mindestens für zwei Elemente, beispielsweise 5, 10, 15 oder 20 Elemente.

[0020] Vorzugsweise ist ein ausgewähltes chemisches Element ein Feststoff.

[0021] Jetzt kann bei jedem iterativen Schritt für die i -te Schicht das Element mit der entsprechenden Schichtdicke ausgewählt werden, das die höchste Neutronenproduktion besitzt.

[0022] Hiermit werden die aufeinanderfolgenden Schichten ausgewählt, welche in ihrer Kombination den höchsten Wert für die Neutronenproduktion ergeben. Dabei können zwei aufeinanderfolgende Schichten durchaus aus dem gleichen Material bestehen, so dass diese äußerlich zu einer Schicht zusammenschmelzen.

[0023] Aus den so ermittelten Schichtdicken und der damit verbundenen Neutronenproduktion können Schichtfolgen für Targets zusammengestellt werden, welche eine maximale Neutronenproduktion ergeben.

[0024] Die maximale Gesamtneutronenproduktion des Mehrschichtsystems ist:

$$N_{\text{total}} = \sum_i \text{Max}\{n(E_i, \Delta E)\} \quad (2)$$

[0025] In einer bevorzugten Ausführungsform werden nach Formel 3 Schichten ausgewählt, welche nicht sehr radioaktiv sind, weil sie die geringste Aktivierung aufweisen,

$$a(E_i, \Delta E) = N_A \rho M^{-1} \delta(E_i, \Delta E) \sigma_a(E_i, \Delta E) \quad (3)$$

berechnet, wobei

$a(E_i, \Delta E)$ die Anzahl der radioaktiven Kerne,

i = Index, der die Schicht bezeichnet, nämlich 1,2,3n

N_A die Avogadro-Konstante,

ρ (g cm^{-3}) die Dichte des ausgewählten Elements,

M (g) die molare Masse des ausgewählten Elements,

E_i die Eintrittsenergie des Primärions in die Schicht i ,

ΔE der Energieverlust des Primärions beim Durchtritt der Schichtdicke δ ,

$\delta(E_i, \Delta E)$ (cm) die Schichtdicke des ausgewählten Elements für einen Energieverlust der Ionen ΔE bei einer Eintrittsenergie von E_i ,

$\sigma_a(E_i, \Delta E)$ (cm^2) der integrale Wirkungsquerschnitt über den Energiebereich ΔE für die Erzeugung von radioaktiven Kernen aus der Wechselwirkung zwischen Ionen und Atomkernen des ausgewählten Elements ist.

[0026] Wie für die Berechnung der Neutronenproduktion können die Werte von $\delta(E_i, \Delta E)$ mit dem Software Package SRIM (Stopping and Range of ions in Matter) [4] berechnet werden, das öffentlich zugänglich ist. Die Werte von $\sigma(E_i, \Delta E)$ können der Datenbank TENDL-2017 [5] oder TENDL-2015 oder ENDF/B-VII oder jeder anderen Datenbank mit tabulierten Wirkungsquerschnitten entnommen werden, die öffentlich zugänglich ist.

[0027] Für ein ausgewähltes Element wird unter Verwendung der in Formel 3 angegebenen Parameter N_A , p , M , die Produktion von radioaktiven Kernen berechnet, indem für E_i , ΔE Werte als Parameter vorgegeben werden. ΔE kann frei gewählt werden; beispielsweise können für ΔE 5MeV oder 1 MeV gewählt werden.

Für das ausgewählte Element, die Eintrittsenergie E_i und den Energieverlust ΔE wird der Wert für die Schichtdicke $\delta(E_i, \Delta E)$ ermittelt und in die Formel 3 eingesetzt.

Letzteres kann unter Verwendung der Software SRIM geschehen, die frei erhältlich ist.

Die Werte von $\sigma_a(E_i, \Delta E)$ für das ausgewählte Element können der Datenbank TENDL-2017 oder TENDL-2015 oder ENDF/B-VII oder jeder anderen Datenbank mit tabulierten Wirkungsquerschnitten entnommen werden.

Damit wird für ein Element und eine Schichtdicke die Produktion von radioaktiven Kernen nach Formel 3 berechnet.

[0028] Für jedes ausgewählte Element wird bei festgelegter Startenergie E_1 , wobei $i = 1$, und einem festgelegten Energieverlust, z.B. $\Delta E = 1$ MeV, die Produktion von radioaktiven Kernen bis zur Endenergie E_n mit $i = n$ beim Durchtritt der Ionen durch die Schichten berechnet.

Dies wird folgendermaßen gemacht. Man startet bei der Startenergie E_1 und berechnet die Produktion von radioaktiven Kernen nach Formel 3. Die Ionen haben nach Durchtritt durch die Schicht eine Energie von $E_2 = E_1 - \Delta E$ oder allgemeiner $E_{i+1} = E_i - \Delta E$. Diese Energie ist die Eintrittsenergie in die nächste Schicht, und man kann nach Formel 3 die Produktion von radioaktiven Kernen der weiteren Schichten berechnen, indem die Energien $E_1, E_2, E_3, \dots$ iterativ bis zur Endenergie E_n variiert werden. Für jedes E_i wird dabei der entsprechende Wirkungsquerschnitt $\sigma(E_i, \Delta E)$ eingesetzt.

[0029] Diese iterative Rechnung wird für alle ausgewählten Elemente und sinnvolle Energieparameter durchgeführt, jedoch für mindestens zwei Elemente, beispielsweise 5, 10, 15 oder 20 Elemente.

[0030] Vorzugsweise ist ein ausgewähltes chemisches Element ein Feststoff.

[0031] Jetzt kann bei jedem iterativen Schritt für die i -te Schicht das Element mit der entsprechenden Schichtdicke ausgewählt werden, das die niedrigste Produktion von radioaktiven Kernen besitzt.

[0032] Hiermit werden die aufeinanderfolgenden Schichten ausgewählt, welche in ihrer Kombination den niedrigsten Wert für die Produktion von radioaktiven Kernen ergeben. Dabei können zwei aufeinanderfolgende Schichten durchaus aus dem gleichen Material bestehen, so dass diese äußerlich zur einer Schicht zusammenschmelzen. Aus den so ermittelten Schichtdicken und der damit verbundenen Produktion von radioaktiven Kernen können Schichtfolgen für Targets zusammengestellt werden, welche eine minimale Produktion von radioaktiven Kernen ergeben.

[0033] Die minimale Produktion von radioaktiven Kernen des Mehrschichtsystems ist:

$$A_{\text{total}} = \sum_i \text{Min}\{a(E_i, \Delta E)\} \quad (4)$$

[0034] Die Auswahl der Schichten nach diesen beiden Methoden kann sich widersprechen. Hier kann man Präferenzen angeben, ob eine höhere Neutronenproduktion wichtiger ist oder eine Minimierung der entstehenden Nebenprodukte. Dies kann man mit einer Gewichtungsfunktion machen.

$$G(E_i, \Delta E) = [n(E_i, \Delta E)]^x / [a(E_i, \Delta E)]^y \quad (5)$$

wobei

$G(E_i, \Delta E)$ die Gewichtungsfunktion ist, nach der das Material für die Eintrittsenergie der Ionen von E_i und den Energieverlust von ΔE ausgewählt wird,

$n(E_i, \Delta E)$ die Neutronenproduktion bei Eintrittsenergie der Ionen von E_i und Energieverlust von ΔE ,

$a(E_i, \Delta E)$ die Produktion von radioaktiven Nebenprodukten bei Eintrittsenergie der Ionen von E_i und Energieverlust von ΔE ,

x die Gewichtung der Neutronenproduktion und

y die Gewichtung der Produktion der radioaktiven Nebenprodukte ist.

[0035] x und y können frei gewählt werden, je nachdem ob die Maximierung der Neutronenproduktion oder die Minimierung der radioaktiven Nebenprodukte Priorität haben soll.

Wenn nur die Neutronenproduktion betrachtet werden soll, dann ist $x = 1$ und $y = 0$ auszuwählen und Formel 5 reduziert sich auf Formel 1.

Soll nur eine Minimierung von radioaktiven Nebenprodukten stattfinden, dann wählt man $x = 0$ und $y = 1$. Soll die Maximierung der Neutronenproduktion und die Minimierung der radioaktiven Nebenprodukte gleichwertig sein, wählt man $x = 0.5$ und $y = 0.5$. Alle anderen Werte sind aber auch zulässig.

[0036] Wie für die Bestimmung der Materialien bei der Neutronenproduktion oder der Produktion von radioaktiven Nebenprodukten kann jetzt Formel (5) iterativ benutzt werden, um eine Auswahl der Materialien durchzuführen.

[0037] Dafür wird für jedes Element bei festgelegten Gewichtungsfaktoren x und y , nach Formel (5) unter vorheriger Bestimmung der Neutronenproduktion nach Formel (1) und der Produktion von radioaktiven Nebenprodukten nach Formel (3) die Gewichtung für die jeweilige Eintrittsenergie E_i und den Energieverlust ΔE berechnet. Dies wird iterativ von der Startenergie E_1 , wobei $i = 1$, und einem festgelegten Energieverlust, z.B. $\Delta E = 1$ MeV, bis zur Endenergie E_n mit $i = n$ beim Durchtritt der Ionen durch die Schichten berechnet. Man startet bei der Startenergie E_1 und berechnet den Wert für die Gewichtungsfunktion nach Formel 5. Die Ionen haben nach Durchtritt durch die Schicht eine Energie von $E_2 = E_1 - \Delta E$, allgemeiner $E_{i+1} = E_i - \Delta E$. Diese Energie ist die Eintrittsenergie in die nächste Schicht und man kann nach Formel 5 den Wert der Gewichtungsfunktion der weiteren Schichten berechnen, indem die Energien $E_1, E_2, E_3, \dots$ iterativ bis zur Endenergie E_n variiert werden.

[0038] Diese iterative Rechnung wird für alle ausgewählten Elemente und sinnvolle Energieparameter durchgeführt, jedoch mindestens für 2 Elemente.

[0039] Jetzt kann bei jedem iterativen Schritt gleichbedeutend mit der i -ten Schicht das Element mit der entsprechenden Schichtdicke ausgewählt werden, das das beste Verhältnis von Neutronenproduktion und der Produktion von radioaktiven Nebenprodukten besitzt.

[0040] Hiermit werden die aufeinanderfolgenden Schichten ausgewählt, welche in ihrer Kombination das beste Verhältnis von Neutronenproduktion und der Produktion von radioaktiven Nebenprodukten ergeben. Dabei können zwei aufeinanderfolgende Schichten durchaus aus dem gleichen Material bestehen, so dass diese äußerlich zu einer Schicht zusammen-schmelzen.

[0041] Bestandteil der Erfindung ist jedes Targetmaterial aus Schichten, welches mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ermittelt werden kann.

[0042] Dabei können mindestens zwei aufeinander folgende Schichten aus demselben Element bestehen.

[0043] Vorzugsweise bestehen die Schichten des erfindungsgemäßen Targets aus einem Feststoff.

Konkrete Ausführungsbeispiele:

[0044] In den nachfolgenden Beispielen sind Beispiele für mit dem erfindungsgemäßen Verfahren identifizierte Targets dargestellt.

Die Gliederung der Beispiele ist folgendermaßen gegeben:

Mit der Überschrift wird bezeichnet, für welche Primärenergie die Targets geeignet sind. Je Beispiel werden zwei Tabellen angeführt, die folgende Inhalte haben:

In der ersten Tabelle wird das Target mit seiner Schichtenfolge beschrieben.

In der ersten Spalte wird für jedes Targetmaterial der Energiebereich in MeV angeführt, mit dem die Primärionen in das Material eintreten, und mit welcher Energie sie austreten. Die zweite Spalte bezeichnet das Material der Schicht, die dritte Spalte die Schichtdicke des Materials in mm. Spalte vier bezeichnet das Verhältnis zwischen erzeugten Neutronen pro in die Probe eintretendem Primärion. In Spalte 5 sind die pro Primärion erzeugten Tritiumionen als Nebenprodukt angegeben.

[0045] In der zweiten Tabelle werden Parameter zum erfindungsgemäßen Target angegeben. Spalte 1 listet das erfindungsgemäße Target in der ersten Zeile und Beryllium als Vergleichstarget in der zweiten Zeile. Die nächsten Spalten beinhalten die erzeugten Neutronen pro eingetragenen Primärion, den Gewinnfaktor für Neutronen sowie die Anzahl der erzeugten Tritiumionen pro eingetragenen Primärion in absoluten Zahlen, jeweils als Vergleich zwischen dem Target und Beryllium als Standard, der durch das erfindungsgemäße Target ersetzt werden soll.

EP 3 668 281 A1

1) Im Folgenden wird als Beispiel die Optimierung einer Neutronenquelle für die Neutronenemission und die Minimierung von Nebenprodukten (Tritium) für Protonen mit Wirkungsquerschnitten entnommen, aus der TENDL-2017 Datenbank mit einer Startenergie E_1 der Primärionen von 30, 50 und 70 MeV und einer Endenergie der Ionen von 0 MeV gegeben. Zum Vergleich ist die Neutronen- bzw. Tritium-Produktion aus einem Beryllium-Target in den Tabellen unten gezeigt. Die Neutronenproduktion ist als Funktion der Primärenergie der Protonen in Abbildung 6 gezeigt. Die Tritium-Produktion ist als Funktion der Primärenergie der Protonen in Abbildung 7 gezeigt. Oberhalb einer Protonenenergie von 30 MeV besteht das optimierte Target aus einem Mehrschichtsystem aus Vanadium und Wolfram.

• Für Protonen mit einer Primärenergie von 30 MeV:

Energiebereich (MeV)	Element	Dicke (mm)	Neutronen/ion	Tritium/ion
0 - 20	Vanadium (V)	1.09	0.00735	$2.00 \cdot 10^{-7}$
20 - 30	Wolfram (W)	0.5149	0.0124	$1.076 \cdot 10^{-5}$

Target	Neutronen/ion	Gewinnfaktor Neutronen	Tritium/ion
V + W	0.0198	2.19	$1.096 \cdot 10^{-5}$
Be	0.00906	-	$1.29 \cdot 10^{-3}$

• Für Protonen mit einer Primärenergie von 50 MeV:

Energiebereich (MeV)	Element	Dicke (mm)	Neutronen/ion	Tritium/ion
0 - 20	Vanadium (V)	1.09	0.00735	$2.00 \cdot 10^{-7}$
20 - 50	Wolfram (W)	1.9449	0.06576	$1.17 \cdot 10^{-4}$

Target	Neutronen/ion	Gewinnfaktor Neutronen	Tritium/ion
V + W	0.07311	2.71	$1.17 \cdot 10^{-4}$
Be	0.02695	-	5.5610^{-3}

• Für Protonen mit einer Primärenergie von 70 MeV:

Energiebereich (MeV)	Element	Dicke (mm)	Neutronen/ion	Tritium/ion
0 - 20	Vanadium (V)	1.09	0.00735	$2.00 \cdot 10^{-7}$
20 - 70	Wolfram (W)	3.855	0.15388	$3.44 \cdot 10^{-4}$

Target	Neutronen/ion	Gewinnfaktor Neutronen	Tritium/ion
V + W	0.16123	3.01	$3.48 \cdot 10^{-4}$
Be	0.05361	-	$1.04 \cdot 10^{-2}$

2) Im Folgenden wird als Beispiel die Optimierung einer Neutronenquelle für die Neutronenemission und die Minimierung von Nebenprodukten (Tritium) für Deuteronen mit Wirkungsquerschnitten entnommen aus der TENDL-2017 Datenbank, mit einer Startenergie E_1 der Primärionen von 30, 50 und 70 MeV und einer Endenergie der Ionen von 0 MeV gegeben. Zum Vergleich ist die Neutronen- bzw. Tritium-Produktion aus einem Beryllium-Target in den Tabellen unten gezeigt. Die Neutronenproduktion ist als Funktion der Primärenergie der Deuteronen in Figur 8 gezeigt. Die Tritium-Produktion ist als Funktion der Primärenergie der Deuteronen in Figur 9 gezeigt. Oberhalb einer Deuteronenenergie von 30 MeV besteht das optimierte Target aus einem Mehrschichtsystem aus Bor, Vanadium und Wolfram.

• Für Deuteronen mit einer Primärenergie von 30 MeV:

Energiebereich (MeV)	Element	Dicke (mm)	Neutronen/ion	Tritium/ion
0 - 20	Bor (B)	1.25	0.0116	$4.16 \cdot 10^{-4}$
20 - 30	Vanadium (V)	0.6715	0.0138	$7.33 \cdot 10^{-5}$

Target	Neutronen/ion Total	Gewinnfaktor Neutronen	Tritium/ion Total
B+ V	0.02545	1.10	$4.89 \cdot 10^{-4}$
Be	0.02311	-	$3.86 \cdot 10^{-3}$

• Für Deuteronen mit einer Primärenergie von 50 MeV:

Energiebereich (MeV)	Element	Dicke (mm)	Neutronen/ion	Tritium/ion
0 - 20	Bor (B)	1.25	0.0116	$4.16 \cdot 10^{-4}$
20 - 30	Vanadium (V)	0.6715	0.0138	$7.33 \cdot 10^{-5}$
30 - 50	Wolfram (W)	0.8787	0.05142	$1.77 \cdot 10^{-4}$

Target	Neutronen/ion Total	Gewinnfaktor Neutronen	Tritium/ion Total
B + V + W	0.07687	1.30	$6.66 \cdot 10^{-4}$
Be	0.05903	-	$1.27 \cdot 10^{-2}$

• Für Deuteronen mit einer Primärenergie von 70 MeV:

Energiebereich (MeV)	Element	Dicke (mm)	Neutronen/ion	Tritium/ion
0 - 20	Bor (B)	1.25	0.0116	$4.16 \cdot 10^{-4}$
20 - 30	Vanadium (V)	0.6715	0.0138	$7.33 \cdot 10^{-5}$
30 - 70	Wolfram (W)	2.0587	0.14915	$4.95 \cdot 10^{-4}$

Target	Neutronen/ion Total	Gewinnfaktor Neutronen	Tritium/ion Total
B + V + W	0.17460	1.608	$9.83 \cdot 10^{-4}$
Be	0.10873	-	$2.32 \cdot 10^{-2}$

[0046] Im Folgenden werden die Figuren erläutert.

[0047] Es zeigt:

Fig. 1: Das Prinzip des Mehrschichtsystems zur Maximierung der Neutronenproduktion bei Minimierung der Tritiumproduktion im Vergleich zu einem Einzelschichtsystem bestehend aus Beryllium

Fig. 2: Die Neutronenproduktion (n/ion/MeV) als Funktion der Kernladungszahl des Targetatoms und der Protonenenergie (Energiebereich von 1 bis 70 MeV)

Fig. 3: Die Neutronenproduktion (n/ion/MeV) als Funktion der Kernladungszahl des Targetatoms und der Deuteronenenergie (Energiebereich von 1 bis 70 MeV)

Fig. 4: Die Tritiumproduktion (T/ion/MeV) als Funktion der Kernladungszahl des Targetatoms und der Protonenenergie (Energiebereich 1 bis 70 MeV)

Fig. 5: Die Tritiumproduktion (T/ion/MeV) als Funktion der Kernladungszahl des Targetatoms und der Deuteronenenergie

nergie (Energiebereich 1 bis 70 MeV)

Fig. 6: Die Neutronenproduktion eines optimierten Targets im Vergleich zur Neutronenproduktion eines Beryllium-targets als Funktion der Primärenergie der Protonen

Fig. 7: Die Tritiumproduktion eines optimierten Targets im Vergleich zur Tritiumproduktion eines Beryllium-targets als Funktion der Primärenergie der Protonen

Fig. 8: Die Neutronenproduktion eines optimierten Targets im Vergleich zur Neutronenproduktion eines Beryllium-targets als Funktion der Primärenergie der Deuteronen

Fig. 9: Die Tritiumproduktion eines optimierten Targets im Vergleich zur Tritiumproduktion eines Beryllium-targets als Funktion der Primärenergie der Deuteronen.

[0048] In Figur 1 sind beispielhaft ein Einfeldschichtsystem nach dem Stand der Technik sowie ein erfindungsgemäßes Schichtsystem dargestellt. Die linke Ausführungsform besteht aus Beryllium, die rechte, erfindungsgemäße aus einer Schichtfolge mit den Schichten A, B, C und D. Die Formeln unter den Bildern verdeutlichen, dass das Mehrschichtsystem eine erhöhte Neutronenproduktion, gegeben durch die Summe der Einzelneutronenproduktionen n_i in den Schichten $i = A, B, C$ und D gegenüber einer Einzelschicht, wie z.B. Beryllium, gegeben durch n . Das Mehrschichtsystem hat eine erniedrigte Produktion von radioaktiven Nebenprodukten, gegeben durch die Summe der einzelnen Produktion von Nebenprodukten a_i in den Schichten $i = A, B, C$ und D gegenüber einer Einzelschicht, wie z.B. Beryllium, gegeben durch a .

[0049] In den Teilfiguren zu Figur 2 bedeuten die Grautöne die Neutronenproduktion als Funktion der Kernladungszahl des Targetatoms und der Protonenergie (Primärenergie).

[0050] In den Teilfiguren zu Figur 3 bedeuten die Grautöne die Neutronenproduktion als Funktion der Kernladungszahl des Targetatoms und der Deuteronenergie (Primärenergie).

[0051] In den Teilfiguren 4 bedeuten die Grautöne die Tritiumproduktion als Funktion der Kernladungszahl des Targetatoms und der Protonenergie (Primärenergie).

[0052] In den Teilfiguren 5 bedeuten die Grautöne die Tritiumproduktion als Funktion der Kernladungszahl des Targetatoms und der Deuteronenergie (Primärenergie).

[0053] In Figur 6 bezeichnet die Abszisse die Primärenergie in MeV und die Ordinate die Neutronenproduktion n /Primärion, also den Gewinnfaktor.

[0054] In Figur 7 bezeichnet die Abszisse die Primärenergie in MeV und die Ordinate die Tritiumproduktion.

[0055] In Figur 8 bezeichnet die Abszisse die Primärenergie in MeV und die Ordinate die Neutronenproduktion n /Primärion, also den Gewinnfaktor.

[0056] In Figur 9 bezeichnet die Abszisse die Primärenergie in MeV und die Ordinate die Tritiumproduktion.

Literatur:

[0057]

[1] Use of accelerator based neutron sources, IAEA Vienna 2000, IAEA TECDOC 1153 ISSN 1011-4289

[2] Kamada, S et al. Development of target system for intense neutron source of p-Li reaction, Applied Radiation and isotopes 88 (2014) 195-197

[3] Rinckel T et al. Target performance at the low energy neutron source, Physica procedia 26 (2012) 168-177

[4] SRIM Stopping and Range of Ions in Matter, <https://www.srim.org>

[5] TALYS-based evaluated nuclear data library, TENDL-2017 (release date: December 30, 2017) https://tendl.web.psi.ch/tendl_2017/tendl2017.html

Patentansprüche

1. Verfahren zum Auffinden eines Targetmaterials,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Neutronenproduktion $n(E_i, \Delta E)$ für ein ausgewähltes Element, die Energie E_i der Ionen beim Eintritt in das Element und den Energieverlust der Ionen ΔE (MeV) mit Formel 1

$$n(E_i, \Delta E) = N_A \rho M^{-1} \delta(E_i, \Delta E) \sigma(E_i, \Delta E) \quad (1)$$

berechnet wird, wobei

$n(E_i, \Delta E)$ die Anzahl der produzierten Neutronen,
 i = Index, der die Schicht bezeichnet, nämlich 1,2,3n
 N_A die Avogadro-Konstante,
 ρ (g cm⁻³) die Dichte des ausgewählten Elements,
 M (g) die molare Masse des ausgewählten Elements,
 E_i die Eintrittsenergie des Primärions in die Schicht i ,
 ΔE der Energieverlust des Primärions beim Durchtritt der Schichtdicke δ ,
 $\delta(E_i, \Delta E)$ (cm) die Schichtdicke des ausgewählten Elements für einen Energieverlust der Ionen ΔE bei einer
 Eintrittsenergie von E_i ,
 $\sigma(E_i, \Delta E)$ (cm²) der integrale Wirkungsquerschnitt über den Energiebereich ΔE für die Emissionswahrscheinlichkeit von einem oder mehreren Neutronen aus der Wechselwirkung zwischen Ionen und Atomkernen des ausgewählten Elements ist,

wobei die Neutronenproduktion für ein ausgewähltes Element unter Verwendung der Parameter N_A , ρ , M , berechnet wird, indem für E_i und ΔE Werte als Parameter vorgegeben werden, für das ausgewählte Element sowie die Eintrittsenergie E_i und den Energieverlust ΔE der Wert für die Schichtdicke $\delta(E_i, \Delta E)$ ermittelt und in Formel 1 eingesetzt wird, wobei für das ausgewählte Element bei festgelegter Startenergie E_1 und festgelegtem Energieverlust ΔE beim Durchtritt der Ionen die Neutronenproduktion durch die Schichten berechnet wird, wobei die Austrittsenergie $E_2 = E_1 - \Delta E$ einer Schicht als Eintrittsenergie in die darauffolgende Schicht verwendet und dieser Schritt iterativ für $E_{i+1} = E_i - \Delta E$ ausgeführt wird, wobei für jedes E_i der entsprechende Wirkungsquerschnitt $\sigma(E_i, \Delta E)$ eingesetzt, diese iterative Rechnung für mindestens zwei ausgewählte Elemente durchgeführt und für jede i -te Schicht das Element ausgewählt wird, welches die höchste Neutronenproduktion hat und aufeinanderfolgende Schichten bestimmt werden, welche in ihrer Kombination den höchsten Wert für die Neutronenproduktion haben.

2. Verfahren nach einem der Ansprüche 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass als Element ein Feststoff gewählt wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass für den Wert ΔE ein Wert von 5 MeV oder 1 MeV eingesetzt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine weitere Auswahl durchgeführt wird, um die Schichtfolge des Targetmaterials hinsichtlich einer verminderten Radioaktivität zu optimieren, indem gemäß Formel 3

$$a(E_i, \Delta E) = N_A \rho M^{-1} \delta(E_i, \Delta E) \sigma_a(E_i, \Delta E) \quad (3)$$

die geringste Radioaktivität berechnet wird, wobei

$a(E_i, \Delta E)$ die Anzahl der radioaktiven Kerne,
 i = Index, der die Schicht bezeichnet, nämlich 1,2,3n
 N_A die Avogadro-Konstante,
 ρ (g cm⁻³) die Dichte des ausgewählten Elements,
 M (g) die molare Masse des ausgewählten Elements,
 E_i die Eintrittsenergie des Primärions in die Schicht i ,
 ΔE der Energieverlust des Primärions beim Durchtritt der Schichtdicke δ ,
 $\delta(E_i, \Delta E)$ (cm) die Schichtdicke des ausgewählten Elements für einen Energieverlust der Ionen ΔE bei einer
 Eintrittsenergie von E_i ,

$\sigma_a(E_i, \Delta E)$ (cm²) der integrale Wirkungsquerschnitt über den Energiebereich ΔE für die Erzeugung von radioaktiven Kernen aus der Wechselwirkung zwischen Ionen und Atomkernen des ausgewählten Elements ist, wobei die Anzahl der produzierten radioaktiven Kerne für ein ausgewähltes Element unter Verwendung der Parameter N_A , ρ , M , berechnet werden, indem für E_i und ΔE Werte als Parameter vorgegeben werden, und für das ausgewählte Element sowie die Eintrittsenergie E_i und den Energieverlust ΔE der Wert für die Schichtdicke $\delta(E_i, \Delta E)$ ermittelt und in

Formel 3 eingesetzt wird,

wobei für das ausgewählte Element bei festgelegter Startenergie E_1 und festgelegtem Energieverlust beim Durchtritt der Ionen die Zahl der produzierten radioaktiven Kerne durch die Schichten berechnet wird, wobei die Austrittsenergie $E_2 = E_1 - \Delta E$ einer Schicht als Eintrittsenergie in die darauffolgende Schicht verwendet wird, und dieser Schritt iterativ für $E_{i+1} = E_i - \Delta E$ ausgeführt wird, wobei für jedes E_i der entsprechende Wirkungsquerschnitt $\sigma_a(E_i, \Delta E)$ eingesetzt wird, und diese iterative Rechnung für mindestens zwei ausgewählte Elemente durchgeführt wird und für jede i-te Schicht das Element ausgewählt wird, welches die niedrigste Produktion von radioaktiven Kernen besitzt und aufeinanderfolgende Schichten bestimmt werden, welche in ihrer Kombination die niedrigste Produktion von radioaktiven Kernen besitzt

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

dadurch gekennzeichnet;

dass als Element ein Feststoff gewählt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,

dadurch gekennzeichnet,

dass eine Abwägung zwischen hoher Neutronenproduktion und Minimierung der Entstehung der radioaktiven Kerne vorgenommen wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6,

dadurch gekennzeichnet,

dass eine Gewichtungsfunktion nach Formel 5

$$G(E_i, \Delta E) = [n(E_i, \Delta E)]^x / [a(E_i, \Delta E)]^y \quad (5)$$

eingesetzt wird, wobei

$G(E_i, \Delta E)$ die Gewichtungsfunktion ist, nach der das Material für die Eintrittsenergie der Ionen von E_i und der Energieverlust von ΔE ausgewählt wird,

$n(E_i, \Delta E)$ die Neutronenproduktion ist, bei Eintrittsenergie der Ionen von E_i und Energieverlust von ΔE ,

$a(E_i, \Delta E)$ die Produktion von Nebenprodukten bei Eintrittsenergie der Ionen von E_i und Energieverlust von ΔE ist,

x die Gewichtung der Neutronenproduktion und

y die Gewichtung der Produktion der Nebenprodukte ist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7,

dadurch gekennzeichnet,

dass für jedes Element bei festgelegten Gewichtungsfaktoren x und y , nach Formel (5) unter vorheriger Bestimmung der Neutronenproduktion nach Formel (1) und der Produktion von Nebenprodukten nach Formel (3) die Gewichtung für die jeweilige Eintrittsenergie E_i und den Energieverlust ΔE berechnet wird, was iterativ von der Startenergie E_1 , wobei $i = 1$, und einem festgelegten Energieverlust ΔE bis zu einer Endenergie E_n mit $i = n$ beim Durchtritt der Ionen berechnet wird, wobei die Ionen nach Durchtritt durch eine Schicht eine Energie von $E_2 = E_1 - \Delta E$ aufweisen und diese Energie E_2 als Eintrittsenergie in eine Iteration nach Formel 5 eingesetzt werden, und dieser Schritt iterativ für $E_{i+1} = E_i - \Delta E$ ausgeführt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8,

dadurch gekennzeichnet,

dass x und y frei gewählt werden können, je nachdem ob die Maximierung der Neutronenproduktion oder die Minimierung der radioaktiven Nebenprodukte Priorität haben.

10. Verfahren nach Anspruch 9,

dadurch gekennzeichnet,

dass für $x = 1$ und $y = 0$ eingesetzt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 9,

dadurch gekennzeichnet,

dass für $y = 1$ und $x = 0$ eingesetzt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass für $x = 0,5$ und $y = 0,5$ eingesetzt wird.

5 13. Targetmaterial,
dadurch gekennzeichnet,
dass es nach dem Verfahren von einem der Ansprüche 1 bis 13 aufzufinden ist.

10 14. Targetmaterial nach Anspruch 14,
dadurch gekennzeichnet,
dass es aus mindestens zwei Schichten besteht.

15 15. Targetmaterial nach Anspruch 14 oder 15,
dadurch gekennzeichnet,
15 **dass** mindestens 2 aufeinanderfolgende Schichten aus demselben Element bestehen.

20

25

30

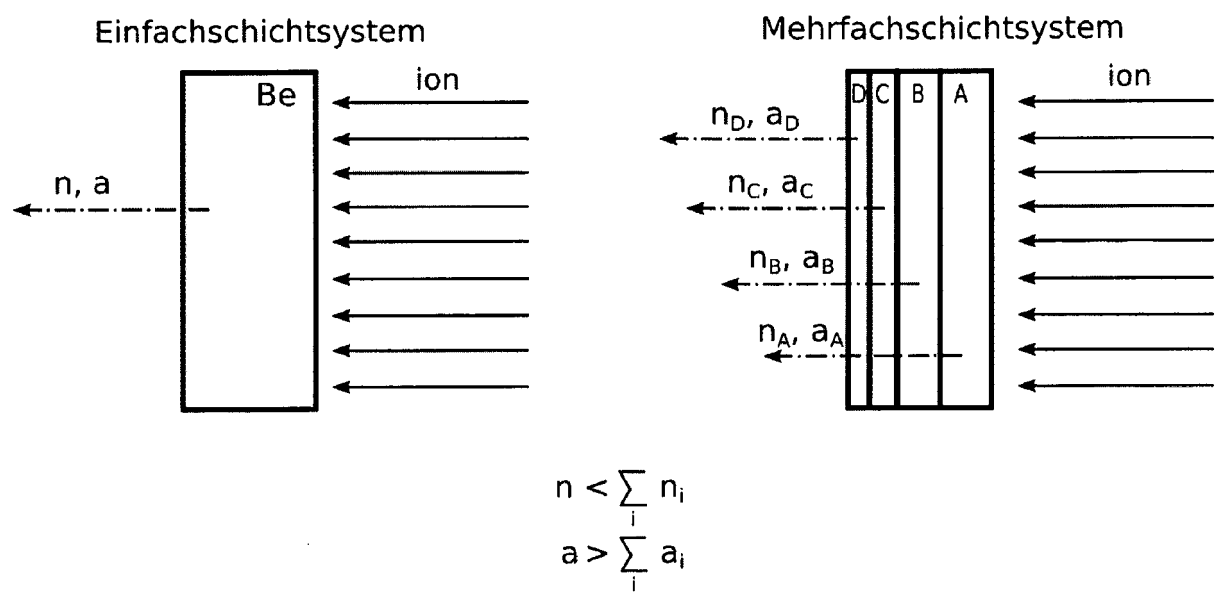
35

40

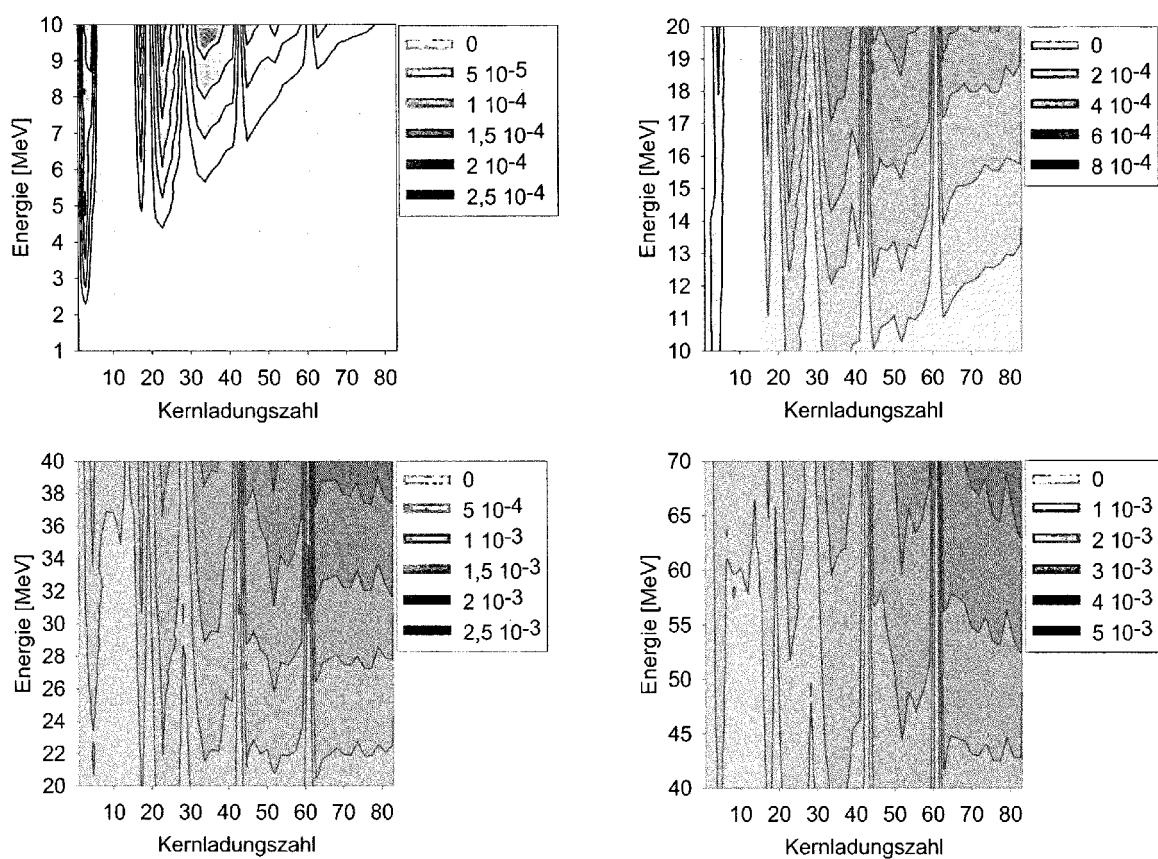
45

50

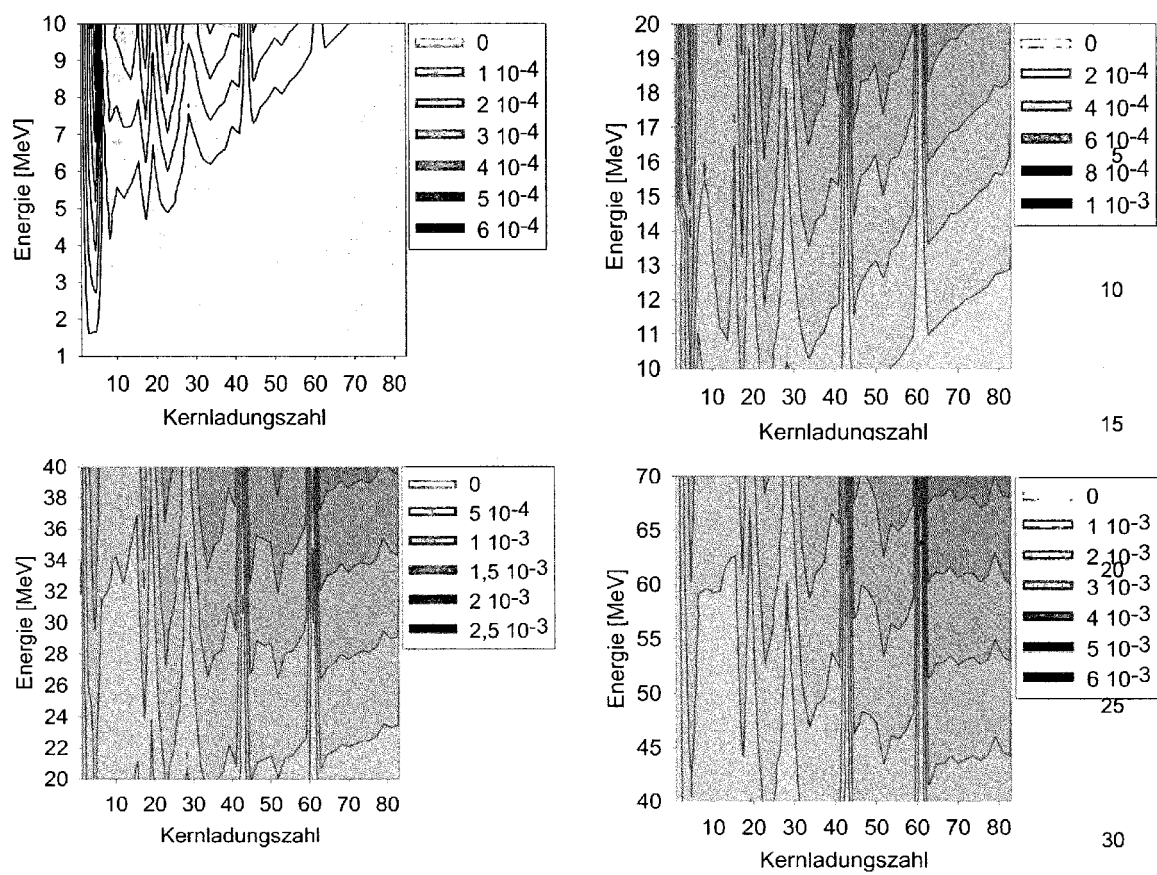
55



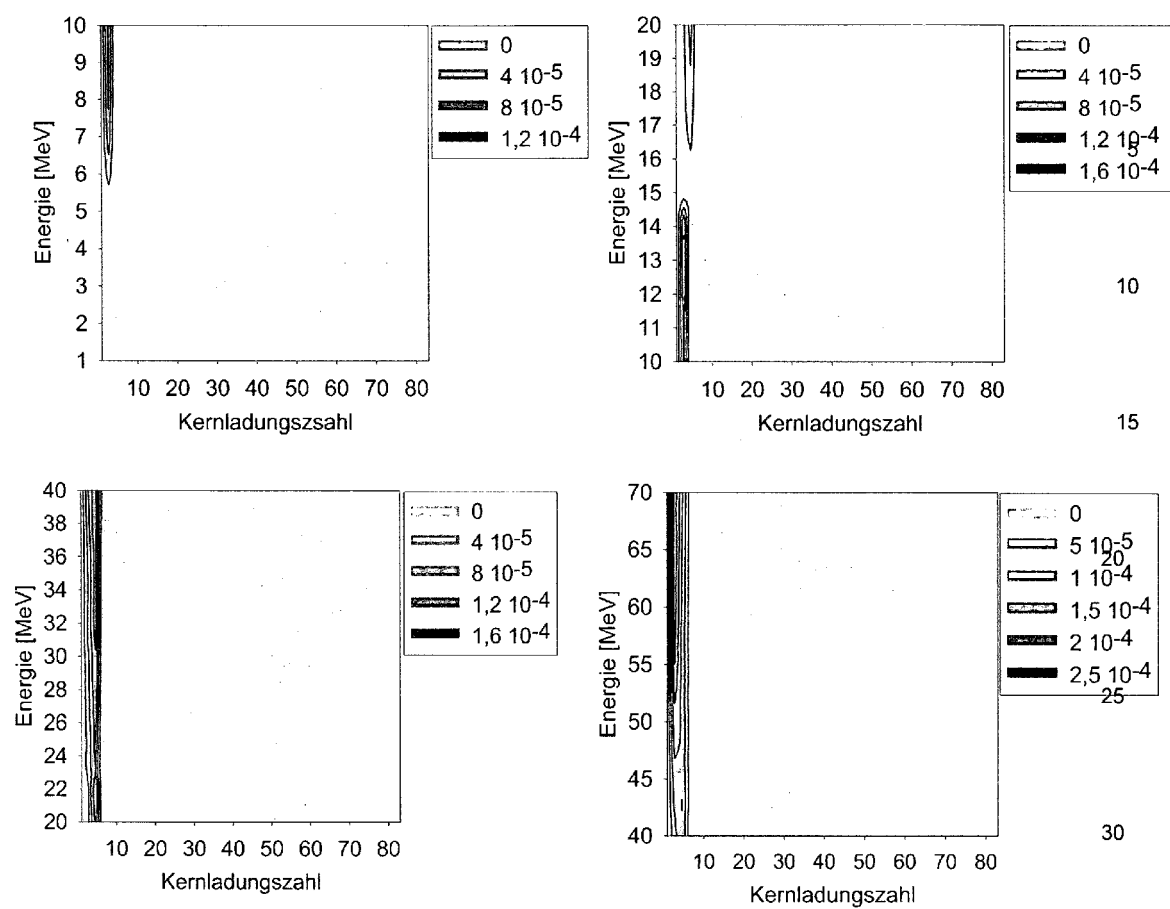
Figur 1



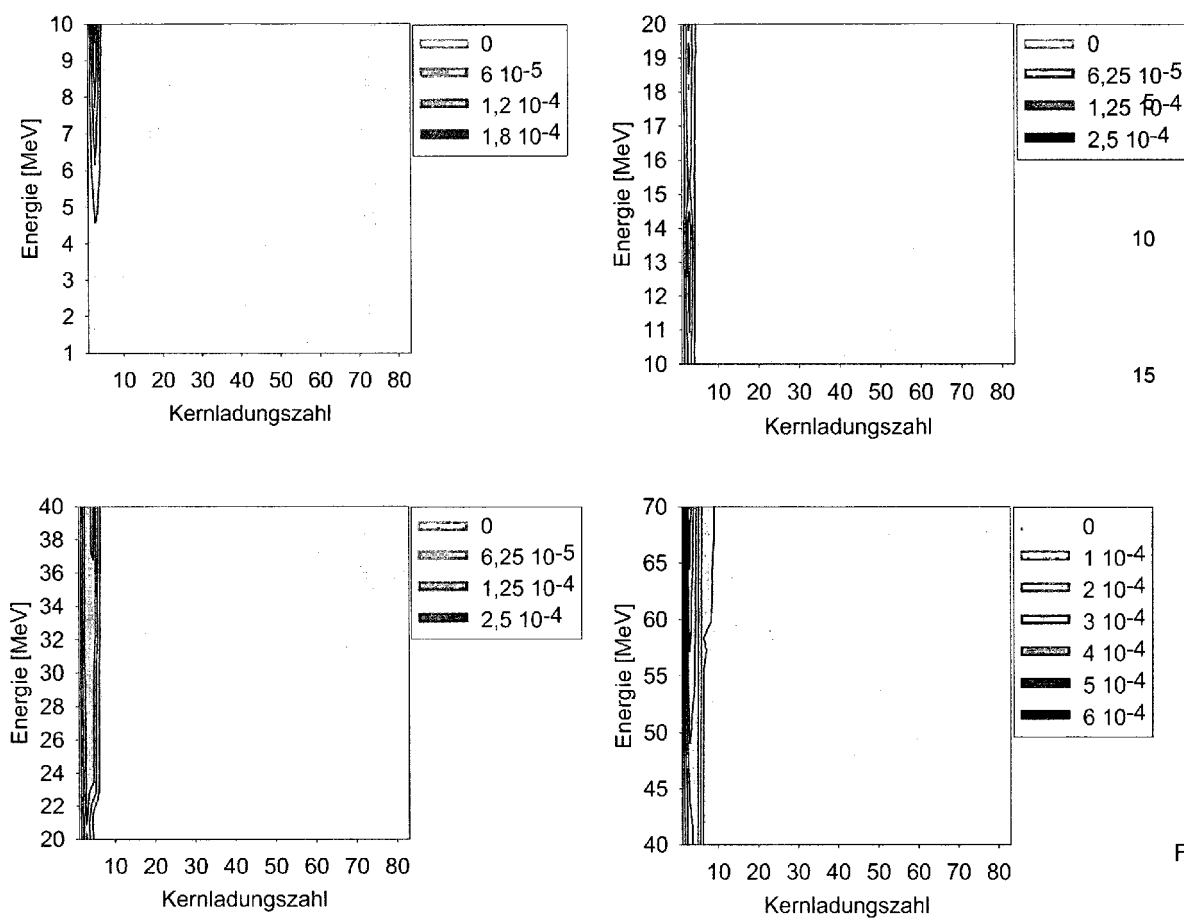
Figur 2



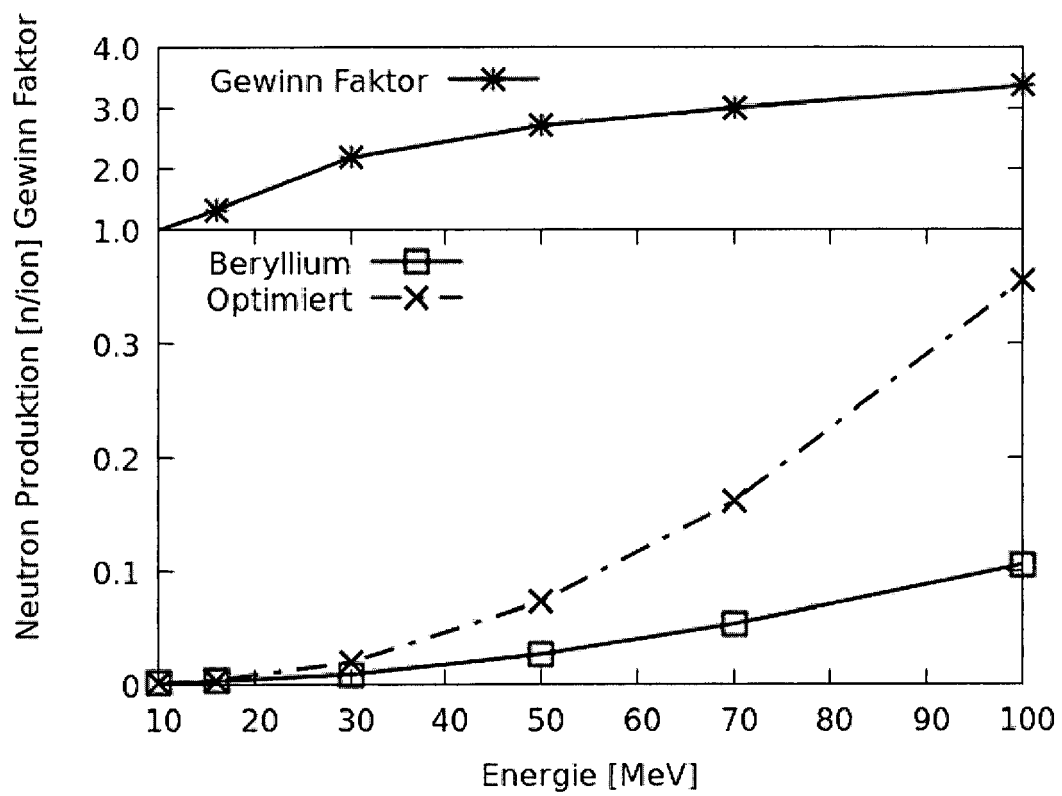
Figur 3



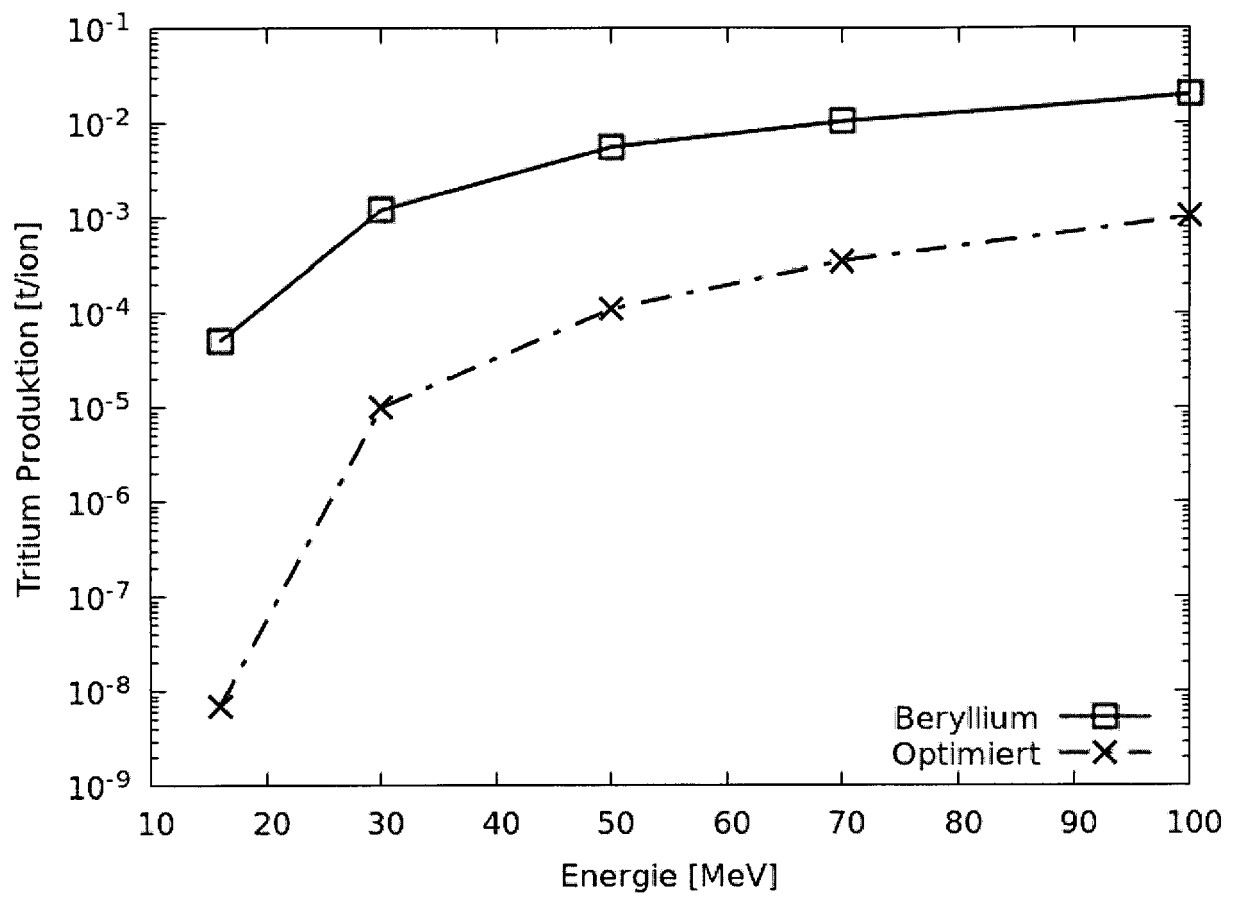
Figur 4



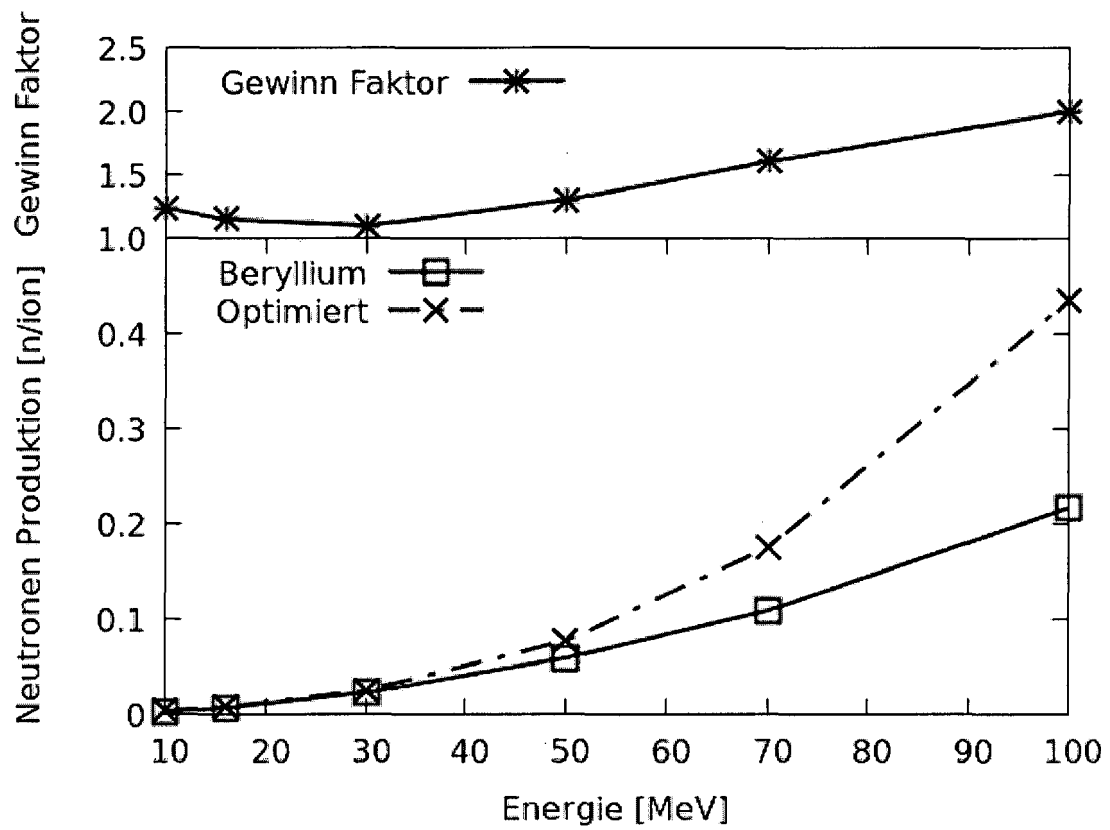
Figur 5



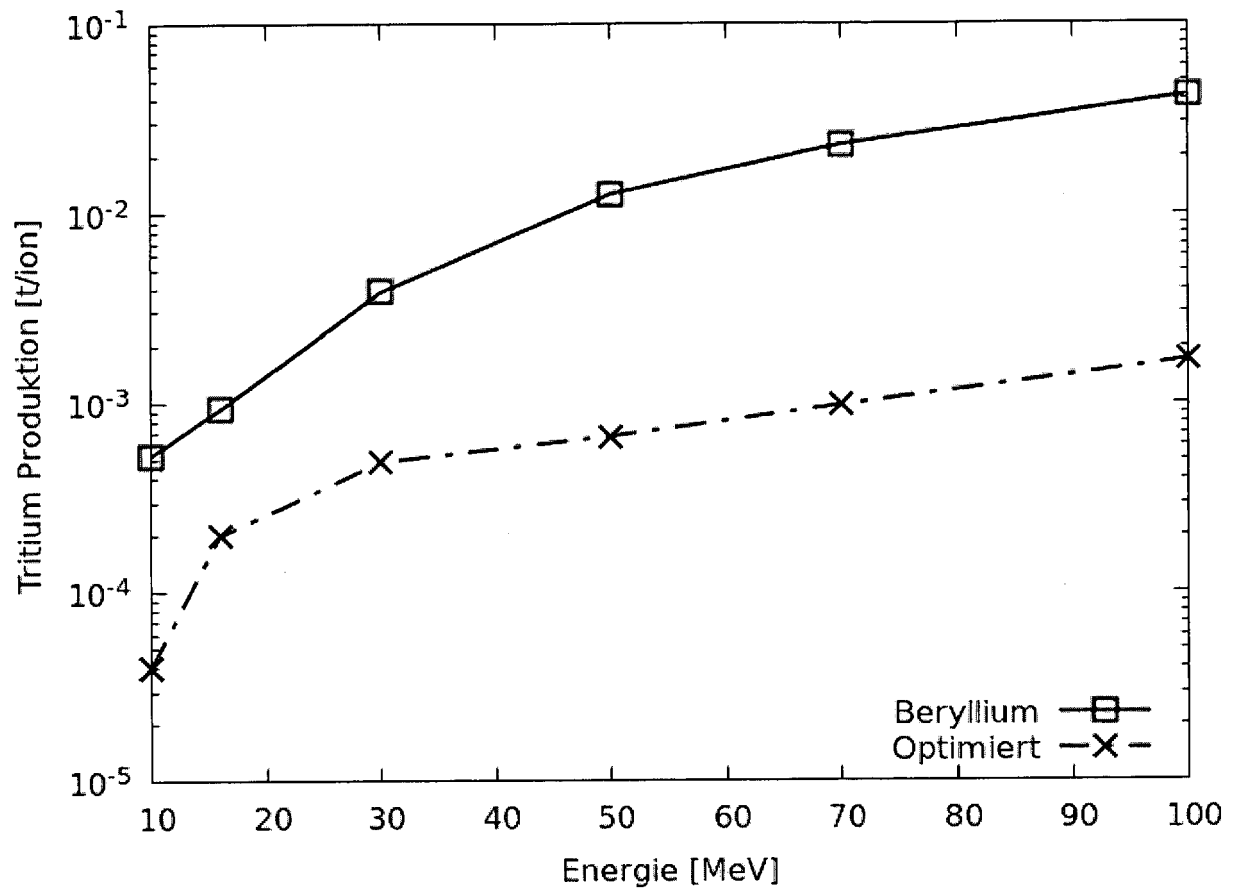
Figur 6



Figur 7



Figur 8



Figur 9



EUROPÄISCHER TEILRECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

nach Regel 62a und/oder 63 des Europäischen Patent-
übereinkommens. Dieser Bericht gilt für das weitere
Verfahren als europäischer Recherchenbericht.

EP 19 00 0391

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	JP 2009 047432 A (UNIV KYOTO) 5. März 2009 (2009-03-05) * Abbildungen 1-3 * * Absatz [0013] - Absatz [0019] * -----	13-15	INV. H05H6/00
X	Eric Mauerhofer ET AL: "Conceptual Design Report NOVA ERA (Neutrons Obtained Via Accelerator for Education and Research Activities) A Jülich High Brilliance Neutron Source project", 1. Januar 2017 (2017-01-01), XP055692849, Gefunden im Internet: URL:https://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Downloads/JCNS/JCNS-2/EN/Conceptual-Design.pdf?__blob=publicationFile [gefunden am 2020-05-07] * Seite 10 - Seite 68 * ----- -/--	13-15	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			H05H
UNVOLLSTÄNDIGE RECHERCHE			
Die Recherchenabteilung ist der Auffassung, daß ein oder mehrere Ansprüche, den Vorschriften des EPU nicht entspricht bzw. entsprechen, so daß nur eine Teilrecherche (R.62a, 63) durchgeführt wurde.			
Vollständig recherchierte Patentansprüche:			
Unvollständig recherchierte Patentansprüche:			
Nicht recherchierte Patentansprüche:			
Grund für die Beschränkung der Recherche: Siehe Ergänzungsblatt C			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 7. Mai 2020	Prüfer Clemente, Gianluigi
KATEGORIE DER GENANNTE DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03/82 (P04E09)


**EUROPÄISCHER
TEILRECHERCHENBERICHT**

 Nummer der Anmeldung
EP 19 00 0391

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EPO FORM 1503 03.02 (P04C12) 2

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	
A	WANG C-K ET AL: "THICK BERYLLIUM TARGET AS AN EPITHERMAL NEUTRON SOURCE FOR NEUTRON CAPTURE THERAPY", MEDICAL PHYSICS, AIP, MELVILLE, NY, US, Bd. 21, Nr. 10, 1. Oktober 1994 (1994-10-01), Seiten 1633-1638, XP000468344, ISSN: 0094-2405, DOI: 10.1118/1.597269 * Seite 1633, linke Spalte, Absatz 1 - Seite 1634, linke Spalte, Absatz 2 * -----	13-15	
A	BAYANOV B ET AL: "Neutron producing target for accelerator based neutron capture therapy", JOURNAL OF PHYSICS: CONFERENCE SERIES, INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING, BRISTOL, GB, Bd. 41, Nr. 1, 1. Mai 2006 (2006-05-01), Seiten 460-465, XP020110118, ISSN: 1742-6596, DOI: 10.1088/1742-6596/41/1/051 * Seite 460, Absatz 1 - Seite 465, Absatz 3 * * Tabelle 1 * -----	13-15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
A	US 4 935 194 A (VERSCHOORE GERARD [FR]) 19. Juni 1990 (1990-06-19) * Abbildung 1b * * Spalte 3, Zeile 6 - Spalte 4, Zeile 54 * -----	13-15	
A	JP 2016 159107 A (SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES; UNIV KYOTO) 5. September 2016 (2016-09-05) * Absatz [0026] * -----	13-15	
	-/--		



UNVOLLSTÄNDIGE RECHERCHE ERGÄNZUNGSBLATT C

Nummer der Anmeldung

EP 19 00 0391

Vollständig recherchierbare Ansprüche:
13-15

Nicht recherchierte Ansprüche:
1-12

Grund für die Beschränkung der Recherche (nicht patentfähige Erfindung(en)):

Das Patentierungsverbot nach Art.52(2)(c) betrifft Anleitungen an den menschlichen Geist, kognitive, konzeptuelle oder intellektuelle Prozesse durchzuführen, wobei das Verbot nur gilt, wenn Verfahren als solche beansprucht werden (Art.52(2)(3) EPÜ).

Im Fall, dass ein Verfahrensanspruch eine reine gedankliche Umsetzung aller Verfahrensschritte umfasst, fällt er unter die Kategorie des Verfahrens für gedankliche Tätigkeiten als solche (siehe G3/08, T471/05 und T914/02).

Dies gilt unabhängig davon, ob der Anspruch auch technische Ausführungsformen umfasst und ob das Verfahren auf technischen Überlegungen beruht.

Im Fall der vorliegenden Anmeldung wird ein Verfahren zum Auffinden eines Targetmaterials beansprucht, wobei das Targetmaterial mehrere Schichten umfasst.

Insbesondere definiert dieser Anspruch ein Verfahren zum Auffinden, bzw. Auswählen, eines Materials, das mit Ionen bestrahlt wird, um die Menge der erzeugten Neutronen zu maximieren. Das Verfahren umfasst die Ermittlung der Neutronproduktion eines Materials für spezifische technische Parameter, und die Wiederholung der Ermittlung für verschiedene Materialien, bis das Maximum der Neutronenproduktion erreicht wird.

Ein solches Verfahren beruht auf technische Überlegungen im Bezug auf das technische Gebiet der Neutronenproduktion, jedoch definiert der Anspruch 1 keinen Schritt zur Durchführung technischer Messungen. Wiederum schließt der Anspruch nicht aus, dass alle Verfahrensschritte gedanklich ausgeführt werden können. Daher bleibt der beanspruchte Gegenstand von der Patentierbarkeit ausgeschlossen.

Folglich kann der Gegenstand des Patentanspruchs 1 nicht als Erfindung im Sinne des Art.52(1) angesehen werden (Art.52(2)(c) EPÜ und RL G-II 3.5.1).

Folglich ist es unmöglich, auf der Grundlage des beanspruchten Gegenstands der Ansprüchen 1-12, eine sinnvolle Ermittlung über den relevanten Stand der Technik durchzuführen.

Es scheint jedoch möglich eine sinnvolle Recherche zu dem in Anspruch 13-15 definierte Gegenstand durchzuführen (siehe RL B-VIII 3.1). Dies weil nach RL. F-IV 4.12 wird in Anspruch 13 ein Targetmaterial und in Anspruch 15 ein Targetmaterial wobei mindestens 2 Schichten aus den demselben Element bestehen (Anspruch 15) beansprucht.

Der Anspruch 14 ist rückbezogen auf sich selbst, und daher wird auch in diesen Anspruch nur ein Targetmaterial definiert.

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 19 00 0391

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

07-05-2020

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	JP 2009047432 A	05-03-2009	KEINE	
15	US 4935194 A	19-06-1990	DE 68923476 D1	24-08-1995
			DE 68923476 T2	14-03-1996
			EP 0338619 A1	25-10-1989
			FR 2630251 A1	20-10-1989
			JP H01312500 A	18-12-1989
			US 4935194 A	19-06-1990
20	JP 2016159107 A	05-09-2016	CN 105938731 A	14-09-2016
			JP 6565113 B2	28-08-2019
			JP 2016159107 A	05-09-2016
			TW 201634075 A	01-10-2016
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Use of accelerator based neutron sources. *IAEA Vienna 2000, IAEA TECDOC 1153*, ISSN 1011-4289 [0057]
- **KAMADA, S et al.** Development of target system for intense neutron source of p-Li reaction. *Applied Radiation and isotopes*, 2014, vol. 88, 195-197 [0057]
- **RINCKEL T et al.** Target performance at the low energy neutron source. *Physica procedia*, 2012, vol. 26, 168-177 [0057]
- *SRIM Stopping and Range of Ions in Matter*, <https://www.srim.org> [0057]
- *TALYS-based evaluated nuclear data library, TENDL-2017*, 30. Dezember 2017, https://tendl.web.psi.ch/tendl_2017/tendl2017.html [0057]