

(19)



(11)

EP 2 082 626 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
09.07.2014 Patentblatt 2014/28

(51) Int Cl.:
H05H 11/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **07802171.4**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2007/007768

(22) Anmeldetag: **06.09.2007**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2008/052616 (08.05.2008 Gazette 2008/19)

(54) **BETATRON MIT HERAUSNEHMBAREN BESCHLEUNIGERBLOCK**

BETATRON COMPRISING A REMOVABLE ACCELERATOR BLOCK

BETATRON COMPRENANT UN BLOC ACCELERATEUR AMOVIBLE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL PL PT RO SE SI SK TR

- **HESS, Gregor**
65205 Wiesbaden (DE)
- **VIEHBÖCK, Urs**
64297 Darmstadt (DE)

(30) Priorität: **28.10.2006 DE 102006050950**

(74) Vertreter: **Greif, Thomas et al**
Thul Patentanwaltsgesellschaft mbH
Rheinmetall Platz 1
40476 Düsseldorf (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
29.07.2009 Patentblatt 2009/31

(73) Patentinhaber: **Smiths Heimann GmbH**
65205 Wiesbaden (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 412 190 WO-A-00/19450
GB-A- 689 542 GB-A- 863 272
US-A- 2 695 978 US-A- 2 822 490
US-A- 3 009 083 US-A- 3 921 019
US-A1- 2005 218 347

(72) Erfinder:

- **BERMUTH, Jörg**
55122 Mainz (DE)
- **GEUS, Georg**
65201 Wiesbaden (DE)

EP 2 082 626 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Betatron mit einem herausnehmbaren Beschleunigerblock, insbesondere zur Erzeugung von Röntgenstrahlung in einer Röntgenprüfanlage.

[0002] Bei der Überprüfung von großvolumigen Gegenständen wie Containern und Fahrzeugen auf unzulässige Inhalte wie Waffen, Sprengstoff oder Schmuggelware werden bekannterweise Röntgenprüfanlagen eingesetzt. Dabei wird Röntgenstrahlung erzeugt und auf den Gegenstand gerichtet. Die von dem Gegenstand abgeschwächte Röntgenstrahlung wird mittels eines Detektors gemessen und von einer Auswerteeinheit analysiert. Somit kann auf die Beschaffenheit des Gegenstandes geschlossen werden. Eine solche Röntgenprüfanlage ist beispielsweise aus der Europäischen Patentschrift EP 0 412 190 B1 bekannt.

[0003] Zur Erzeugung von Röntgenstrahlung mit der für die Überprüfung notwendigen Energie von mehr als 1 MeV werden Betatrons eingesetzt. Dabei handelt es sich um Kreisbeschleuniger, in denen Elektronen durch ein Magnetfeld auf einer Kreisbahn gehalten werden. Eine Veränderung dieses Magnetfeldes erzeugt ein elektrisches Feld, das die Elektronen auf ihrer Kreisbahn beschleunigt. Aus der so genannten Wideröe-Bedingung bestimmt sich ein stabiler Sollbahnradius in Abhängigkeit vom Verlauf des Magnetfeldes und dessen zeitlicher Änderung. Die beschleunigten Elektronen werden auf ein Target gelenkt, wo sie beim Auftreffen eine Bremsstrahlung erzeugen, deren Spektrum unter anderem abhängig ist von der Energie der Elektronen.

[0004] Ein aus der Offenlegungsschrift DE 23 57 126 A1 bekanntes Betatron besteht aus einem zweiteiligen Innenjoch, bei dem sich die Stirnseiten der beiden Innenjochteile beabstandet gegenüberstehen. Mittels zweier Hauptfeldspulen wird ein magnetisches Feld im Innenjoch erzeugt. Ein Außenjoch verbindet die beiden voneinander entfernten Enden der Innenjochteile und schließt den magnetischen Kreis.

[0005] Zwischen den Stirnseiten der beiden Innenjochteile ist eine evakuierte Betatronröhre angeordnet, in der die zu beschleunigenden Elektronen kreisen. Die Stirnseiten der Innenjochteile sind derart ausgeformt, dass das von der Hauptfeldspule erzeugte Magnetfeld die Elektronen auf eine Kreisbahn zwingt und sie darüber hinaus auf die Ebene, in der diese Kreisbahn liegt, fokussiert. Zur Steuerung des magnetischen Flusses ist es bekannt, zwischen den Stirnseiten der Innenjochteile innerhalb der Betatronröhre einen ferromagnetischen Einsatz anzuordnen.

[0006] Aufgrund der erzeugten Röntgenstrahlung werden Betatrons mit einer Bleiabschirmung versehen, die einen Austritt der Strahlung nur an definierten Stellen ermöglicht. Bei den bisher bekannten Betatrons muss zur Wartung des Beschleunigerblocks ein Teil der Bleiabschirmung gelöst und entfernt werden. Danach wird der aus dem Beschleunigerblock und dem Außenjoch

bestehende Innenteil herausgehoben. Dies hat den Nachteil, dass jeweils große Massen bewegt werden müssen und dazu entsprechende Vorrichtungen notwendig sind.

[0007] Das Dokument US 2,695,978 beschreibt ein Betatron mit einem Beschleunigerblock und einem Außenjoch aus zwei U-förmigen Teilen, sodass sich zwei seitliche Öffnungen ergeben. Die Außenjochteile sind gegeneinander verschiebbar, um bei der Montage Zwischenstücke einfügen zu können.

[0008] Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Betatron bereitzustellen, das eine vereinfachte Wartung und Reparatur des Beschleunigers ermöglicht.

[0009] Gelöst wird diese Aufgabe erfindungsgemäß durch die Merkmale des Patentanspruches 1. Vorteilhafte Ausgestaltungsformen sind den abhängigen Patentansprüchen 2 bis 9 zu entnehmen. Patentanspruch 10 betrifft eine Röntgenprüfanlage unter Verwendung eines erfindungsgemäßen Betatrons.

[0010] Den Kern des Betatrons bildet ein Beschleunigerblock mit einem rotationssymmetrischen Innenjoch aus zwei beabstandet angeordneten Teilen, mindestens einer Hauptfeldspule und einer zwischen den Innenjochteilen angeordneten, Torus-förmigen Betatronröhre. Das Betatron weist ferner ein den Beschleunigerblock umgreifendes, die beiden Innenjochteile verbindendes Außenjoch mit mindestens einer seitlichen Öffnung und eine den Beschleunigerblock und das Außenjoch aufnehmende Bleiabschirmung auf. Dabei besteht das Außenjoch aus zumindest zwei Teilen. Die das Außenjoch bildenden Teile sind relativ zueinander zwischen einer offenen und einer geschlossenen Position bewegbar und der Beschleunigerblock ist seitlich aus der Öffnung des in offener Position befindlichen Außenjochs herausnehmbar.

[0011] Die relative Bewegung zwischen den Teilen des Außenjochs ist translatorisch, rotatorisch oder eine Kombination daraus. Bei einer translatorischen Bewegung werden die Teile des Außenjochs gegeneinander verschoben, beispielsweise entlang einer Führung. Bei einer rotatorischen Bewegung werden die Teile des Außenjochs gegeneinander verschwenkt, beispielsweise unter Verwendung eines Scharniers.

[0012] Befindet sich das Außenjoch in geschlossener Position, so fixiert es das Innenjoch in einer für den Betrieb des Betatrons geeigneten Position und schließt den magnetischen Kreis, indem es die beiden Innenjochteile verbindet. In offener Position des Außenjochs wird der Beschleunigerblock nicht vom Außenjoch fixiert und kann durch dessen seitliche Öffnung herausgenommen werden.

[0013] Bevorzugt sind die gegenüberliegenden Stirnseiten der Innenjochteile zueinander spiegelsymmetrisch ausgestaltet und angeordnet. Die Symmetrieebene ist dabei vorteilhaft so orientiert, dass die Rotationssymmetrieachse des Innenjochs senkrecht auf ihr steht. Dies führt zu einer vorteilhaften Feldverteilung im Luftspalt zwischen den Stirnseiten, durch die die Elektronen in der

Betatronröhre auf einer Kreisbahn gehalten werden.

[0014] Weiterhin bevorzugt ist mindestens eine Hauptfeldspule auf dem Innenjoch angeordnet, insbesondere auf einer Verjüngung oder einem Absatz des Innenjochs. Dies führt dazu, dass im Wesentlichen der gesamte von der Hauptfeldspule erzeugte magnetische Fluss durch das Innenjoch geführt wird. In vorteilhafter Weise weist das Betatron zwei Hauptfeldspulen auf, wobei auf jedem der Innenjochteile eine Hauptfeldspule angeordnet ist. Dies führt zu einer vorteilhaften Verteilung des magnetischen Flusses auf die Innenjochteile.

[0015] In einer Ausgestaltungsform der Erfindung weist das Betatron eine Führungsschiene und/oder einen Anschlag für den Beschleunigerblock auf. Die Führungsschiene ermöglicht eine exakte Positionierung des Beschleunigerblocks innerhalb des Außenjochs. Der Anschlag legt dabei die Endposition des Beschleunigerblocks fest. Andererseits vereinfacht die Führungsschiene das Herausnehmen oder Einbringen des Beschleunigerblocks, beispielsweise in dem der Beschleunigerblock über die Führungsschiene rollt oder gleitet.

[0016] Das Betatron von der Erfindung weist Mittel zum Fixieren der Teile des Außenjoch in der geschlossenen Position auf. Diese Mittel, bei denen es sich beispielsweise um Schrauben oder Muttern handelt, verhindern, dass sich das Außenjoch insbesondere im Betrieb des Betatrons öffnet. Die Mittel sind zum Fixieren der Teile des Außenjochs durch die Bleiabschirmung hindurch zugänglich. Dadurch ist es möglich, die Fixierung zu lösen oder wieder herzustellen, ohne die Bleiabschirmung zu entfernen.

[0017] In einer Ausgestaltungsform der Erfindung verfügt das Betatron über mindestens ein elastisches Element zur Bewegung des Außenjochs aus der geschlossenen in die offene Position. Bei dem elastischen Element handelt es sich bevorzugt um eine Feder, insbesondere eine Druckfeder. Durch das elastische Element wird gewährleistet, dass das Außenjoch die offene Position einnimmt, sobald die Mittel zum Fixieren des Außenjochs gelöst werden. Somit wird das Außenjoch beim Herausnehmen oder Einbringen des Beschleunigerblocks automatisch in der offenen Position gehalten, ohne dass ein zusätzlicher Eingriff des Wartungspersonals notwendig ist. Bei der Verwendung eines elastischen Elements kann die offene Position des Außenjochs auch als entspannte Position und die geschlossene Position des Außenjochs als gespannte Position bezeichnet werden.

[0018] Bevorzugt weist die Bleiabschirmung eine verschließbare Öffnung, insbesondere eine Tür, zur Herausnahme des Beschleunigerblocks aus. Dabei ist die Größe und Position der Öffnung so gewählt, dass der Beschleunigerblock durch die Öffnung aus dem Außenjoch herausnehmbar beziehungsweise in das Außenjoch einbringbar ist. Durch die Öffnung wird erreicht, dass eine zumindest teilweise Demontage der Bleiabschirmung zum Zugriff auf den Beschleunigerblock entfällt.

[0019] Optional weist das Betatron mindestens eine

Ronde zwischen den Innenjochteilen auf, wobei die Ronde so angeordnet ist, dass ihre Längsachse mit der Rotationssymmetrieachse des Innenjochs zusammenfällt. Aufgrund der Permeabilität des Rondenwerkstoffes ist das Magnetfeld im Bereich der Ronden stärker als im rondenfreien Luftspalt zwischen den Stirnseiten der Innenjochteile. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, durch die Ausgestaltung der Ronde(n) die Wideröe-Bedingung und damit den Bahnradius des beschleunigten Elektrons innerhalb der Betatronröhre zu beeinflussen.

[0020] Das erfindungsgemäße Betatron wird vorteilhaft in einer Röntgenprüfanlage zur Sicherheitsüberprüfung von Objekten eingesetzt. Es werden Elektronen in das Betatron injiziert und beschleunigt, bevor sie auf ein beispielsweise aus Tantal bestehendes Target gelenkt werden. Dort erzeugen die Elektronen Röntgenstrahlung mit einem bekannten Spektrum. Die Röntgenstrahlung wird auf das Objekt, vorzugsweise einen Container und/oder ein Fahrzeug, gerichtet und dort beispielsweise durch Streuung oder Transmissionsdämpfung modifiziert. Die modifizierte Röntgenstrahlung wird von einem Röntgendetektor gemessen und mittels einer Auswertereinheit analysiert. Aus dem Ergebnis wird auf die Beschaffenheit oder den Inhalt des Objekts geschlossen.

[0021] Die vorliegende Erfindung soll anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert werden. Dabei zeigen

Figur 1 eine schematische Schnittdarstellung eines erfindungsgemäßen Betatrons mit dem Außenjoch in geschlossener Position,

Figur 2 eine schematische Seitenansicht des erfindungsgemäßen Betatrons aus Figur 1 mit dem Außenjoch in geschlossener Position und

Figur 3 eine schematische Seitenansicht des erfindungsgemäßen Betatrons aus Figur 1 mit dem Außenjoch in offener Position.

[0022] Figur 1 zeigt den schematischen Aufbau eines bevorzugten Betatrons 1 im Querschnitt. Der Beschleunigerblock besteht aus einem rotationssymmetrischen Innenjoch aus zwei beabstandet angeordneten Teilen 2a, 2b, einer zwischen den Innenjochteilen 2a, 2b angeordneten, Torus-förmigen Betatronröhre 5 sowie zwei Hauptfeldspulen 6a und 6b.

[0023] Die Hauptfeldspulen 6a und 6b sind auf Absätzen der Innenjochteile 2a beziehungsweise 2b angeordnet. Das von ihnen erzeugte Magnetfeld durchsetzt die Innenjochteile 2a und 2b, wobei der magnetische Kreis durch ein zweiteiliges Außenjoch 4 geschlossen wird, das die Innenjochteile 2a und 2b verbindet. Die Form des Innen- und/oder Außenjochs kann vom Fachmann je nach Anwendungsfall gewählt werden und von der in Figur 1 angegebenen Form abweichen. Auch können nur eine oder mehr als zwei Hauptfeldspulen vorhanden sein.

[0024] Das Betatron 1 weist weiterhin optionale Ronden 3 zwischen den Innenjochteilen 2a, 2b auf, wobei die Längsachse der Ronden 3 der Rotationssymmetrieachse des Innenjochs entspricht. Durch die Ausgestaltung Ronden 3 lässt sich das Magnetfeld zwischen den Stirnseiten der Innenjochteile und damit die Wideröe-Bedingung beeinflussen. Die Anzahl und/oder Form der Ronden ist dem implementierenden Fachmann überlassen.

[0025] Zwischen den Stirnseiten der Innenjochteile 2a und 2b verläuft das Magnetfeld teilweise durch die Ronden 3 und ansonsten durch einen Luftspalt. In diesem Luftspalt ist die Betatronröhre 5 angeordnet. Dabei handelt es sich um eine evakuierte Röhre, in der die Elektronen beschleunigt werden. Die Stirnseiten der Innenjochteile 2a und 2b weisen eine Form auf, die so gewählt ist, dass das Magnetfeld zwischen ihnen die Elektronen auf eine Kreisbahn fokussiert. Die Ausgestaltung der Stirnflächen ist dem Fachmann bekannt und wird daher nicht näher erläutert. Die Elektronen treffen am Ende des Beschleunigungsvorgangs auf ein Target und erzeugen dadurch eine Röntgenstrahlung, deren Spektrum unter anderem von der Endenergie der Elektronen und dem Material des Targets abhängt.

[0026] Zur Beschleunigung werden die Elektronen mit einer Anfangsenergie in die Betatronröhre 5 eingeschossen. Während der Beschleunigungsphase wird das Magnetfeld im Betatron 1 durch die Hauptfeldspulen 6a und 6b fortlaufend erhöht. Dadurch wird ein elektrisches Feld erzeugt, das eine beschleunigende Kraft auf die Elektronen ausübt. Gleichzeitig werden die Elektronen auf Grund der Lorentzkraft auf eine Sollkreisbahn innerhalb der Betatronröhre 5 gezwungen.

[0027] Die Beschleunigung der Elektronen erfolgt periodisch wiederholt, wodurch sich eine gepulste Röntgenstrahlung ergibt. In jeder Periode werden in einem ersten Schritt die Elektronen in die Betatronröhre 5 injiziert. In einem zweiten Schritt werden die Elektronen durch einen steigenden Strom in den Hauptfeldspule 6a und 6b und somit ein ansteigendes Magnetfeld im Luftspalt zwischen den Innenjochteilen 2a und 2b in Umfangsrichtung ihrer Kreisbahn beschleunigt. In einem dritten Schritt werden die beschleunigten Elektronen zur Erzeugung der Röntgenstrahlung auf das Target ausgeschleust. Anschließend erfolgt eine optionale Pause, bevor erneut Elektronen in die Betatronröhre 5 injiziert werden.

[0028] Figur 2 zeigt die Seitenansicht des Betatrons aus Figur 1. Das Außenjoch 4 weist eine seitliche Öffnung 11 auf, die in den sichtbaren Richtungen mindestens die Größe des Beschleunigerblocks hat. Im geschlossenen Zustand des Außenjochs 4, der in den Figuren 1 und 2 dargestellt ist, wird der Beschleunigerblock im Außenjoch 4 eingeklemmt und in seiner Position gehalten.

[0029] Das Außenjoch 4 besteht aus den beiden Teilen 4a und 4b, die translatorisch gegeneinander bewegbar sind. Das Außenjoch 4a wird durch Gewindestangen 8 geführt, die durch Ausnehmungen im Außenjochteil 4a

verlaufen und mit dem Außenjochteil 4b verbunden sind. Muttern 9 auf den Gewindestangen 8 dienen der Fixierung des Außenjochteils 4a in der in den Figuren 1 und 2 dargestellten geschlossenen Position des Außenjochs 4.

[0030] In der in Figur 3 dargestellten Seitenansicht des Betatrons 1 sind die Muttern 9 angelöst und das Außenjoch 4 befindet sich in einer offenen Position. Druckfedern 10 schieben die Außenjochteile 4a und 4b auseinander, so dass zwischen ihnen ein Spalt entsteht. Zur Verdeutlichung ist dieser Spalt in der Figur 3 größer dargestellt, als es zur Erfüllung der erfindungsgemäßen Funktion in der Praxis notwendig ist. In diesem entspannten Zustand des Außenjochs 4 kann der Beschleunigerblock des Betatrons 1 einfach durch die seitliche Öffnung 11 im Außenjoch 4 aus diesem herausgenommen oder in diese eingebracht werden. Die Führungsschienen 7 stützen einerseits das Gewicht des Beschleunigerblocks beim Herausnehmen oder Einbringen und sorgen andererseits für eine exakte Positionierung des Beschleunigerblocks innerhalb des Außenjochs 4.

[0031] Zur Wartung des Beschleunigerblocks wird also zunächst das Außenjoch 4 durch Öffnen der Muttern 9 entspannt und der Beschleunigerblock durch die seitliche Öffnung 11 aus dem Innenjoch 4 herausgenommen. Nach der Wartung oder Reparatur des Beschleunigerblocks wird dieser wieder in das Innenjoch 4 eingebracht und dieses durch Anziehen der Muttern 9 wieder gespannt. Dabei sind die Muttern 9 mit einem Werkzeug durch die in den Figuren nicht dargestellte, das Betatron 1 einhüllende Bleiabschirmung zugänglich. Die Bleiabschirmung weist weiterhin eine Tür auf, die die seitliche Öffnung 11 des Außenjochs 4 verdeckt und so bemessen ist, dass der Beschleuniger Block durch sie aus dem Außenjoch 4 herausgenommen oder in das Außenjoch 4 eingebracht werden kann.

Patentansprüche

1. Betatron (1), insbesondere in einer Röntgenprüfanlage, mit einem Beschleunigerblock aufweisend

- ein rotationssymmetrisches Innenjoch aus zwei beabstandet angeordneten Teilen (2a, 2b),
- mindestens eine Hauptfeldspule (6a, 6b) und
- eine zwischen den Innenjochteilen (2a, 2b) angeordnete, Torus-förmige Betatronröhre (5),

einem den Beschleunigerblock umgreifenden, die beiden Innenjochteile (2a, 2b) verbindenden Außenjoch (4) mit mindestens einer seitlichen Öffnung sowie einer den Beschleunigerblock und das Außenjoch aufnehmenden Bleiabschirmung, wobei das Außenjoch aus zumindest zwei Teilen besteht, die das Außenjoch bildenden Teile relativ zueinander zwischen einer offenen und einer geschlossenen Position bewegbar sind und der Beschleunigerblock

seitlich aus der Öffnung des in offener Position befindlichen Außenjochs herausnehmbar ist, und Mittel zum Fixieren der Teile des Außenjochs in der geschlossenen Position vorgesehen sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel zum Fixieren der Teile des Außenjochs durch die Bleiabschirmung hindurch zugänglich sind.

2. Betatron (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die gegenüberliegenden Stirnseiten der Innenjochteile (2a, 2b) zueinander spiegelsymmetrisch ausgestaltet und angeordnet sind. 10
3. Betatron (1) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eine Hauptfeldspule (6a, 6b) auf dem Innenjoch angeordnet ist, Insbesondere auf einer Verjüngung oder einem Absatz des Innenjochs. 15
4. Betatron (1) nach Anspruch 3, **gekennzeichnet durch** zwei Hauptfeldspulen (6a, 6b), wobei auf jedem der Innenjochteile (2a, 2b) eine Hauptfeldspule (6a, 6b) angeordnet ist. 20
5. Betatron (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **gekennzeichnet durch** eine Führungsschiene und/oder einen Anschlag für den Beschleunigerblock. 25
6. Betatron (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **gekennzeichnet durch** mindestens ein elastisches Element zur Bewegung des Außenjochs aus der geschlossenen in die offene Position. 30
7. Betatron nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** es sich bei dem elastischen Element um eine Feder, insbesondere eine Druckfeder handelt. 35
8. Betatron (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** es sich bei den Mitteln zum Fixieren der Teile des Außenjochs um Schrauben oder Muttern handelt. 40
9. Betatron (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **gekennzeichnet durch** eine verschließbare Öffnung, insbesondere eine Tür, in der Bleiabschirmung zur Herausnahme des Beschleunigerblocks. 45
10. Röntgeripröfenlage zur Sicherheitsüberprüfung von Objekten, aufweisend ein Betatron (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9 und ein Target zur Erzeugung von Röntgenstrahlung sowie einen Röntgendetektor und eine Auswerteeinheit. 50

Claims

1. Betatron (1), in particular in an X-ray inspection ap-

paratus, comprising an accelerator block with

- a rotationally symmetric inner yoke made of two parts (2a, 2b) arranged apart from one another,
 - at least one main field coil (6a, 6b) and
 - a toroidal betatron tube (5) arranged between the inner yoke parts (2a, 2b),
- an outer yoke (4), reaching around the accelerator block and connecting the two inner yoke parts (2a, 2b), comprising at least one lateral opening and a lead shield receiving the accelerator block and the outer yoke, wherein the outer yoke consists of at least two parts, the parts forming the outer yoke are movable relative to one another between an open and a closed position and the accelerator block is removable laterally from the opening of the outer yoke situated in the open position, and means are provided for fixing the parts of the outer yoke in the closed position, **characterized in that** the means for fixing the parts of the outer yoke are accessible through the lead shield.

2. Betatron (1) according to Claim 1, **characterized in that** the opposite end faces of the inner yoke parts (2a, 2b) are configured and arranged in a mirror symmetric manner with respect to one another.
3. Betatron (1) according to either of Claims 1 and 2, **characterized in that** at least one main field coil (6a, 6b) is arranged on the inner yoke, in particular on a taper or a ledge of the inner yoke.
4. Betatron (1) according to Claim 3, **characterized by** two main field coils (6a, 6b), wherein a main field coil (6a, 6b) is arranged on each one of the inner yoke parts (2a, 2b).
5. Betatron (1) according to one of Claims 1 to 4, **characterized by** a guide rail and/or a stop for the accelerator block.
6. Betatron (1) according to one of Claims 1 to 5, **characterized by** at least one elastic element for moving the outer yoke from the closed into the open position.
7. Betatron according to Claim 6, **characterized in that** the elastic element is a spring, in particular a compression spring.
8. Betatron (1) according to one of Claims 1 to 7, **characterized in that** the means for fixing the parts of the outer yoke are screws or nuts.
9. Betatron (1) according to one of Claims 1 to 8, **characterized by** a sealable opening, in particular a door, in the lead shield for removing the accelerator block.

10. X-ray inspection apparatus for performing a safety check on objects, comprising a betatron (1) according to one of Claims 1 to 9 and a target for generating X-ray radiation, and also an X-ray detector and an evaluation unit.

5

Revendications

1. Bêtatron (1), notamment dans un système d'inspection par rayons X comportant un bloc accélérateur comprenant :

- une culasse interne symétrique de révolution constituée de deux parties espacées (2a, 2b),
- au moins une bobine de champ principale (6a, 6b), et
- un tube de bêtatron en forme de tore (5) disposé entre les parties de culasse interne (2a, 2b),

une culasse externe (4) s'engageant autour du bloc accélérateur et reliant entre elles les deux parties de culasse interne (2a, 2b), présentant au moins une ouverture latérale ainsi qu'un blindage de plomb recevant le bloc accélérateur et la culasse externe, dans lequel la culasse externe est constituée d'au moins deux parties, les parties formant la culasse externe sont mobiles l'une par rapport à l'autre entre une position ouverte et une position fermée et le bloc accélérateur peut être extrait latéralement de l'ouverture de la culasse lorsqu'elle se trouve à la position ouverte, et des moyens sont prévus pour fixer les parties de la culasse externe à la position fermée, **caractérisé en ce que** les moyens destinés à fixer les parties de la culasse externe sont accessibles à travers le blindage de plomb.

2. Bêtatron (1) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les faces opposées des parties de culasse interne (2a, 2b) sont réalisées et agencées de manière symétrique l'une de l'autre dans un miroir.

3. Bêtatron (1) selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce qu'**au moins une bobine de champ principale (6a, 6b) est disposée sur la culasse interne, notamment sur un col ou un épaulement de la culasse interne.

4. Bêtatron (1) selon la revendication 3, **caractérisé par** deux bobines de champ principales (6a, 6b), dans lequel une bobine de champ principale (6a, 6b) est disposée sur chacune des parties de culasse interne (2a, 2b).

55

5. Bêtatron (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé par** un rail de guidage et/ou une butée pour le bloc accélérateur.

6. Bêtatron (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé par** au moins un élément élastique destiné à déplacer la culasse externe de la position fermée à la position ouverte.

7. Bêtatron selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** l'élément élastique est un ressort, notamment un ressort de compression.

8. Bêtatron (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** les moyens destinés à fixer les parties de la culasse externe sont des boulons ou des écrous.

9. Bêtatron (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé par** une ouverture pouvant être fermée, notamment une porte, dans le blindage de plomb pour l'extraction du bloc accélérateur.

10. Système d'inspection par rayons X destiné à l'inspection de la sécurité d'objets, comprenant un bêtatron (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 et une cible destinée à générer des rayons X ainsi qu'un détecteur de rayons X et une unité d'évaluation.

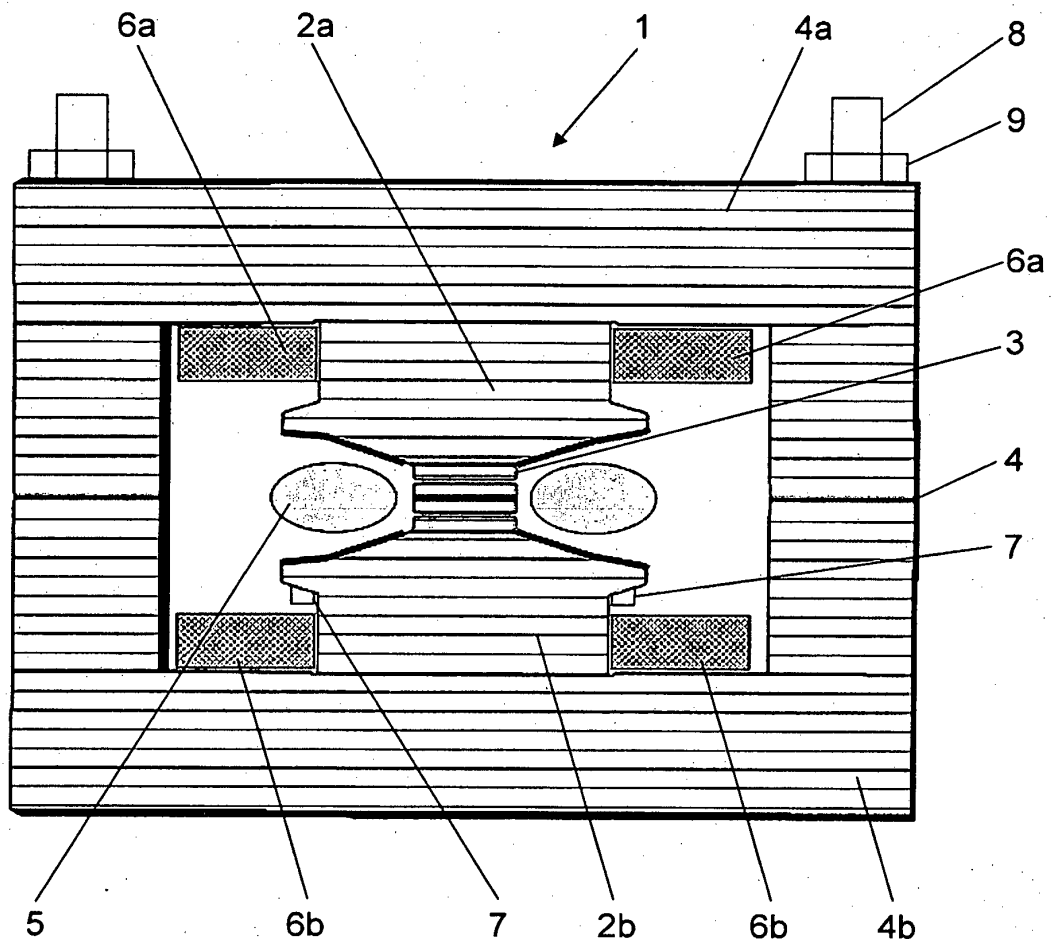


Fig. 1

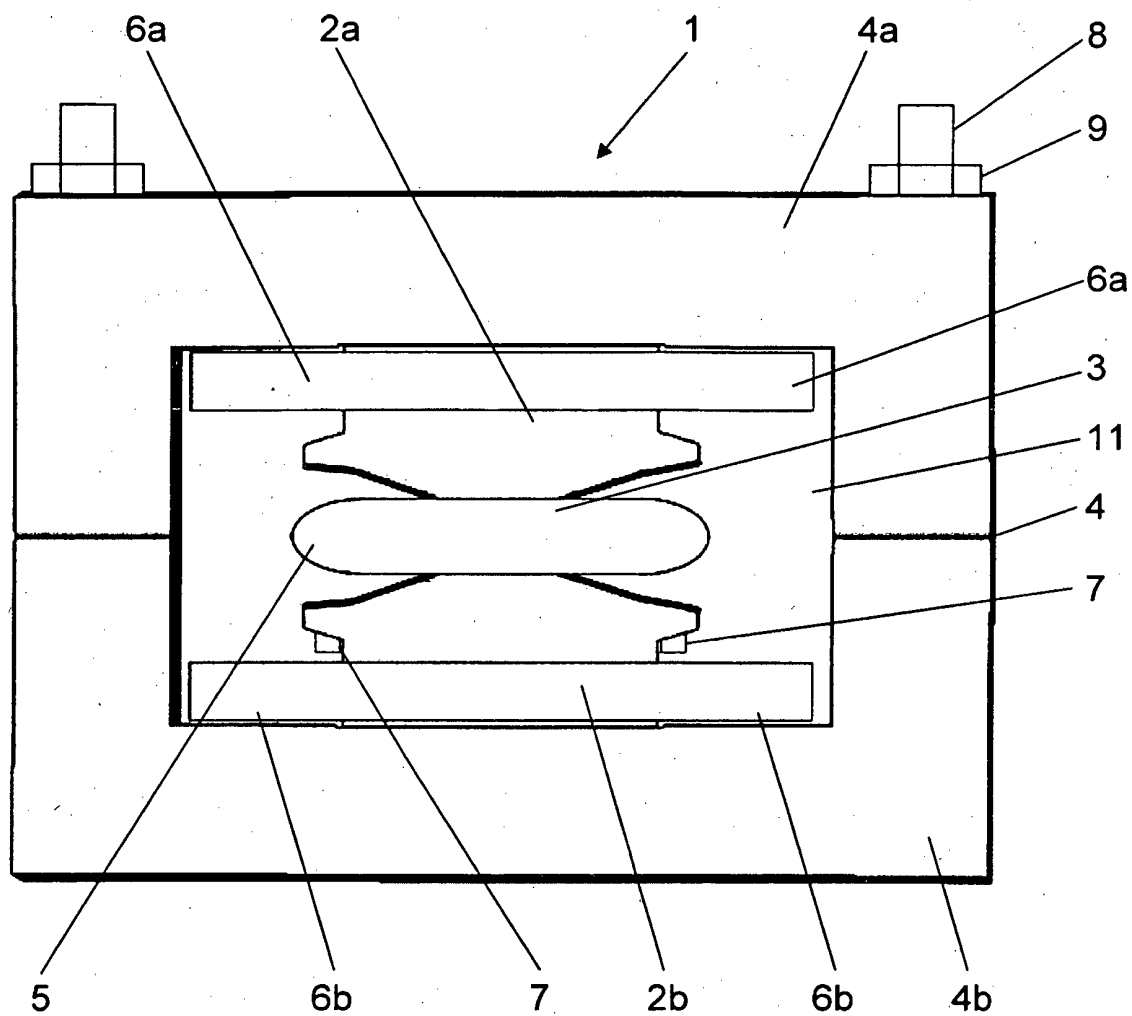


Fig. 2

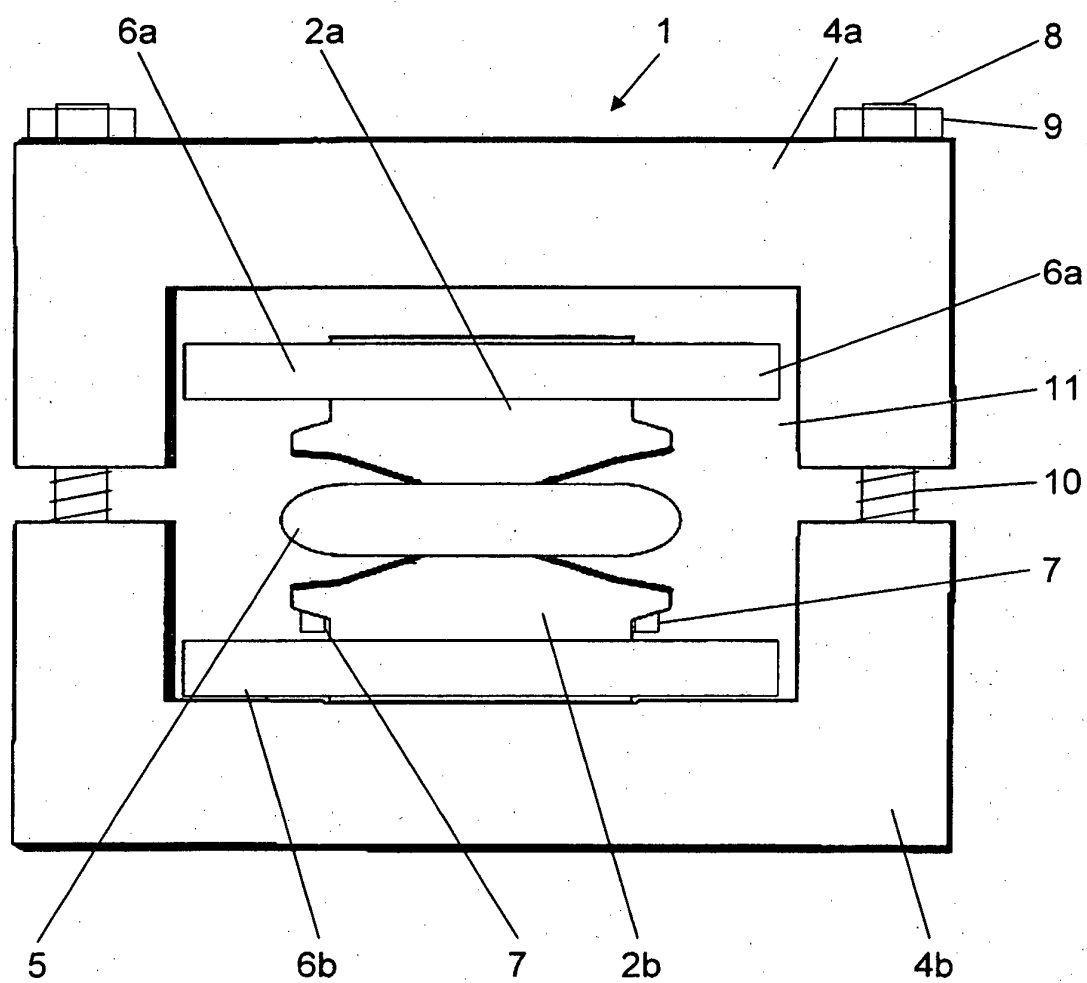


Fig. 3

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 Patentdokumente

- EP 0412190 B1 [0002]
- DE 2357126 A1 [0004]
- US 2695978 A [0007]