

⑫ **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

④⑤ Veröffentlichungstag der Patentschrift:  
**17.05.89**

⑤① Int. Cl.⁴: **H01F 7/20, H05H 7/04,**  
**G21K 1/08**

②① Anmeldenummer: **86101853.9**

②② Anmeldetag: **13.02.86**

⑤④ **Magnetfeldeinrichtung für eine Teilchenbeschleuniger-Anlage.**

③⑩ Priorität: **25.02.85 DE 3506562**

④③ Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**03.09.86 Patentblatt 86/36**

④⑤ Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**17.05.89 Patentblatt 89/20**

⑧④ Benannte Vertragsstaaten:  
**CH DE FR GB IT LI**

⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
**DE-A- 3 148 100**  
**US-A- 4 481 475**

**PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL  
CONFERENCE ON HIGH-ENERGY ACCELERATORS,  
Konferenz 8, 20.-24. September 1971, Geneve, CH,  
Seiten 468-470; L. JACKSON LASLETT et al.: "The  
enhancement of Landau-damping coefficients for  
collective radial instabilities in an electron-ring  
accelerator by an ancillary B-field" 000  
NUCLEAR INSTRUMENTS AND METHODS,  
Band 203, 1982, Seiten 1-5, Amsterdam, NL; M.  
ERIKSSON: "A 550 MeV injector microtron for MAX"  
IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, Band  
NS-30, Nr. 4, August 1983, Seiten 2531-2533, IEEE, New  
York, US; B.B. GODFREY et al.: "Beam breakup  
instabilities in high current electron beam racetrack  
induction accelerators"**

⑦③ Patentinhaber: **Siemens Aktiengesellschaft Berlin und  
München, Wittelsbacherplatz 2, D-8000 München 2(DE)**

⑦② Erfinder: **Jahnke, Andreas, Dr., Tannenweg 4,  
D-8550 Forchheim(DE)**

**EP 0 193 038 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Magnetfeld-einrichtung für eine Teilchenbeschleuniger-Anlage, deren Teilchenbahn zumindest gekrümmte Abschnitte aufweist, mit mehreren magnetfelderzeugenden Wicklungen, wobei mindestens eine Zusatzwicklung zur Fokussierung der elektrisch geladenen Teilchen vorgesehen ist. Eine derartige Einrichtung ist z.B. aus der Veröffentlichung "Nuclear Instruments and Methods", Vol. 203, 1982, Seiten 1 bis 5 bekannt.

Mit bekannten kleineren, kreisförmig gestalteten Elektronenbeschleuniger-Anlagen, die auch als "Mikrotrons" bezeichnet werden, lassen sich Teilchenenergien bis etwa 100 MeV erreichen. Diese Anlagen können insbesondere auch als sogenannte Rennbahn-(englisch: "race-track") Mikrotrons realisiert werden. Die Teilchenbahnen dieses Typs von Beschleuniger-Anlagen setzen sich dabei aus zwei Halbkreisen mit jeweils einem entsprechenden 180°-Ablenkmagneten und aus zwei geraden Bahnabschnitten zusammen (vgl. "Nucl.Instr. and Meth.", Vol. 177, 1980, Seiten 411 bis 416 oder Vol. 204, 1982, Seiten 1 bis 20).

Soll die angestrebte Endenergie der Elektronen von 100 MeV auf beispielsweise 700 MeV gesteigert werden, so bietet sich bei unveränderten Abmessungen die Erhöhung des Magnetfeldes an. Derartige Magnetfelder können insbesondere mit supraleitenden Magneten erzeugt werden.

Injiziert man jedoch bei sehr geringem Magnetfeld niederenergetische Elektronen in ein Mikrotron, das zudem noch supraleitende Magnetwicklungen aufweisen kann, so sind eine Reihe von möglichen Feldfehlerquellen zu beachten, um die Elektronenverluste während der Beschleunigungsphase klein zu halten. Zu Beginn dieser Phase liegt nämlich das Feldniveau für niederenergetisch eingeschossene Elektronen von z.B. 100 keV bei einem Krümmungsradius der Beschleuniger-Anlage von beispielsweise 0,5 m bei nur etwa 2,2 mT. Bei derartig niedrigen Magnetfeldstärken oder bei hohen Feldänderungsgeschwindigkeiten besteht dann aber die Gefahr, daß aufgrund feldverzerrender Störquellen die einzuhaltenden Feldfehlerschranken gegebenenfalls überschritten werden. Um nämlich durch schwache Fokussierung einen Elektronenstrahl führen zu können, wäre eine Feldgenauigkeit  $\Delta B/B_0$  von etwa  $10^{-3}$  erforderlich; was bedeutet, daß das Feld am Anfang der Beschleunigungsphase auf etwa 0,002 mT genau einstellbar sein müßte. Dann können jedoch Ursache unerwünschter Feldverzerrungen äußere Felder wie z.B. das Erdfeld mit 0,06 mT oder die Felder von magnetisierbaren, d.h. para-, ferri- bzw. ferromagnetischen Teilen einer Magneteinrichtung sein. Auch Wirbelströme in metallischen Teilen des Magneten selbst bzw. in seinen Leitern können zu entsprechenden Störungen führen. Außerdem stellen gegebenenfalls Abschirmströme in den Leitern einer supraleitenden Wicklung oder sogenannte eingefrorene magnetische Flüsse in diesen Leitern derartige Störquellen dar.

Die sich aufgrund derartiger Störfeldquellen er-

gebenden Schwierigkeiten versucht man z.B. durch Abschirmung oder Kompensation der Störfelder zu beseitigen. So wird bei bekannten Elektronenbeschleuniger-Anlagen mit normalleitenden Kupferspulen eine abschirmende Wirkung mittels einer Flußrückführung aus Eisen versucht. Darüber hinaus ist auch eine Lamellierung der Eisenjoche der felderzeugenden Magnete zur Unterdrückung der Ausbildung von Wirbelströmen bekannt. Gegebenenfalls kann auch eine Feldumkehr vorgenommen werden, um reproduzierbar die Hysteresekurve des Eisens der Magneteinrichtung zu durchfahren.

Eine weitere Schwierigkeit ergibt sich, wenn verhältnismäßig hohe Teilchenströme zu erzeugen sind und die Teilchen mit verhältnismäßig niedriger Energie in die Beschleunigerbahn eingeschossen werden. Dann sind nämlich die zwischen den einzelnen Teilchen wirkenden Abstoßungskräfte verhältnismäßig dominant; d.h., der Teilchenstrom versucht in entsprechendem Maße zu divergieren. Man sieht sich deshalb gezwungen, zusätzliche Maßnahmen zur Fokussierung des Teilchenstrahles vorzusehen. Bei der aus der eingangs genannten Literaturstelle "Nucl. Instr. and Meth." zu entnehmenden Elektronenbeschleuniger-Anlage weisen deshalb die 180°-Ablenkmagnete mit einer ein Dipolfeld erzeugenden Hauptwicklung noch eine die Teilchen auf die Teilchenbahn fokussierende Zusatzwicklung auf. Außerdem ist im Bereich der geraden Bahnabschnitte noch ein fokussierendes Solenoidsystem vorgesehen. Bei der bekannten Magneteinrichtung umschließen jedoch die Ablenkmagnete den entsprechenden gekrümmten Abschnitt der Teilchenbahn, so daß die dort auftretende Synchrotronstrahlung nicht genutzt werden kann.

Aufgrund der sich insbesondere bei Verwendung von supraleitenden Ablenkmagneten ergebenden Störeffekte auf niederenergetische Teilchenstrahlen werden die Teilchen im allgemeinen erst auf einem höheren Feldniveau, d.h. mit höherer Energie, eingeschossen. Dann sind nämlich die erwähnten Störeffekte nur noch von geringerer bzw. untergeordneter Bedeutung. Eine derartige Betriebsweise der Beschleuniger-Anlagen bedingt jedoch entsprechende Vorbeschleuniger und ist deshalb entsprechend aufwendig.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die eingangs genannte Magnetfeld-einrichtung einer Beschleuniger-Anlage dahingehend auszugestalten, daß mit ihr verhältnismäßig große Ströme geladener Teilchen auf verhältnismäßig hohe Energieniveaus, im Falle von Elektronen auf beispielsweise mehrere hundert MeV, zu beschleunigen sind, ohne daß besondere Vorbeschleuniger erforderlich werden.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß mit der Zusatzwicklung im Bereich mindestens eines der gekrümmten Abschnitte der Teilchenbahn ein azimuthales Führungsfeld für die Teilchen während deren Beschleunigungsphase zu erzeugen ist, indem diese Wicklung als eine entsprechend gekrümmte, die Teilchenbahn teilweise umschließende elektrische Leiteranordnung ausgebildet ist, die hohlrinnenartig, nach außen hin offen gestaltet ist, zur Unterdrückung von Wirbelströmen entsprechend strukturiert ist und von

einem Strom quer zur Teilchenbahn durchflossen ist.

Aufgrund dieser Ausgestaltung der Magneteinrichtung können vorteilhaft auch supraleitende Ablenkmagnete für Felder zwischen etwa 2 mT und 100 mT bei der Beschleunigung von insbesondere Elektronen genutzt werden, indem eine azimutale Komponente des die Teilchen führenden Feldes erzeugt wird. Wegen der hohlrippenartigen Ausgestaltung der hierfür dienenden Leiteranordnung wird dabei die Emission von Synchrotronstrahlung seitlich nach außen hin nicht behindert. Mit der außerdem in bekannter Weise durchzuführenden Strukturierung dieser Leiteranordnung werden darüber hinaus von den Magnetwicklungen in ihr angefachte Wirbelströme wirksam unterdrückt.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Magneteinrichtung gehen aus den Unteransprüchen hervor.

Zur weiteren Erläuterung der Erfindung und deren Ausgestaltungen gemäß den Unteransprüchen wird nachfolgend auf die Zeichnung Bezug genommen, in deren Figur 1 schematisch eine erfindungsgemäße Magnetfeldeinrichtung angedeutet ist. Figur 2 zeigt eine derartige Magnetfeldeinrichtung als Teil einer Elektronenbeschleuniger-Anlage. Dabei sind in den Figuren gleiche Teile mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

Aus der perspektiven Darstellung der Figur 1 geht die Leiteranordnung einer erfindungsgemäßen Magnetfeldeinrichtung hervor. Diese Einrichtung soll insbesondere für an sich bekannte Elektronenbeschleuniger-Anlagen vom Rennbahn-Typ ("race track microtrons") vorgesehen sein. Die hierzu erforderlichen Dipolablenkmagnete sind dabei entsprechend der gekrümmten Teilchenbahn halbkreisförmig gebogen (vgl. z.B. "IEEE Trans. Nucl.Sci.", Vol. NS-30, No. 4, August 1983, Seiten 2531 bis 2533). Da insbesondere Endenergien der Teilchen von einigen 100 MeV angestrebt werden, sind dann wegen der erforderlichen hohen Feldstärken bevorzugt die Wicklungen der Magnete mit supraleitendem Material erstellt.

Mit der erfindungsgemäßen Ausgestaltung der Magnetfeldeinrichtung soll eine umlaufende azimutale Komponente des Magnetfeldes bei gleichzeitig ungestörtem Auslaß der Synchrotronstrahlung zu gewährleisten sein. Aufgrund einer derartigen Komponente läßt sich vorteilhaft eine zusätzliche Fokussierung des Elektronenstrahles während der noch niederenergetischen Beschleunigungsphase auch bei Verwendung von supraleitenden Ablenkmagneten erreichen. Dann können Elektronen mit verhältnismäßig niedriger Einschubenergie von z.B. einigen 100 keV und mit verhältnismäßig großer Teilchendichte, d.h. einem Pulsstrom von beispielsweise mindestens 20 mA bei Pulslängen im  $\mu\text{sec}$ -Bereich direkt in die Teilchenbahn eingeschossen werden; d.h., auf Vorbeschleuniger zum Injizieren von Elektronen mit höherer Energie kann dann vorteilhaft verzichtet werden. Die supraleitenden Ablenkmagnete können also auch für Felder zwischen etwa 2 mT und 100 mT bei der Elektronenbeschleunigung genutzt werden. Die hierzu erforderliche Leiteranordnung zur Erzeugung der entsprechen-

den azimutalen Komponente der Induktion  $B_\theta$  bzw. des Magnetfeldes  $H_\theta$  im Bereich eines Ablenkmagneten sowie der Magnetfeldkomponente  $H'$  in den geraden Bereichen der Teilchenbahn geht aus Figur 1 näher hervor.  $\theta$  ist dabei der Öffnungswinkel der in der Figur durch eine punktierte Linie angedeuteten und mit 2 bezeichneten Teilchenbahn der Elektronen  $e^-$ .

Diese Leiteranordnung ist also entlang der gesamten Umlaufbahn der Elektronen  $e^-$  vorgesehen. Dabei wird die Magnetfeldkomponente  $H'$  in den geraden Bahnabschnitten  $A_1$  bzw.  $A_2$  durch zwei Solenoidspulen 3 bzw. 4 erzeugt, welche eine die Elektronen  $e^-$  aufnehmende, in der Figur nicht weiter ausgeführte Elektronenstrahlkammer 5 umgeben. Derartige Solenoide werden z.B. in Hochstrom-Betatröns zur Strahlfokussierung eingesetzt (vgl. "IEEE Trans. Nucl. Sci.", Vol. NS-30, No. 4, August 1983, Seiten 3162 bis 3164). Im Bereich  $A_3$  der in der Figur nicht dargestellten supraleitenden  $180^\circ$ -Ablenkmagnete, die im allgemeinen Dipolwicklungen aufweisen, ist erfindungsgemäß jeweils eine die halbkreisförmige Elektronenbahn teilweise umschließende, entsprechend gekrümmte elektrische Leiteranordnung  $\underline{6}$  vorgesehen. Diese Leiteranordnung ist hohlrippenartig gestaltet, d.h. sie ist nach außen hin offen, um so die durch gefeilte Linien 7 veranschaulichte Synchrotronstrahlung ungestört nach außen dringen zu lassen. Außerdem soll die Leiteranordnung  $\underline{6}$  so strukturiert sein, daß in ihr durch die Wicklungen des jeweiligen Ablenkmagneten erzeugte Wirbelströme wirksam unterdrückt werden. Gemäß dem in der Figur dargestellten Ausführungsbeispiel setzt sich deshalb die Leiteranordnung  $\underline{6}$  aus einer Vielzahl von einzelnen, in Strahlführungsrichtung hintereinandergereihten Elementen 8a bis 8i zusammen. Jedes dieser beispielsweise neun Elemente ist in einem Schnitt quer zur Strahlführungsrichtung gesehen etwa U-förmig gestaltet, indem es ein etwa rechteckiges oder kreisringsektorförmiges Oberteil 9 und ein entsprechendes Unterteil 10 aufweist, die über ein Seitenteil 11 miteinander verbunden sind. Die Teile 9 und 10 liegen dabei in parallelen Ebenen oberhalb bzw. unterhalb der Teilchenbahn 2, während die Seitenteile 11 auf der Innenseite dieser Teilchenbahn angeordnet sind. Um das geforderte zusätzliche azimutale Magnetfeld  $H_\theta$  zu erzeugen, sind alle Elemente 8a bis 8i untereinander elektrisch verbunden und werden von einem Strom I mit in der Figur durch Pfeile angedeuteter Stromflußrichtung quer zur Teilchenbahn und in Umfangsrichtung um den Teilchenstrom herum durchflossen.

Die Leiteranordnung  $\underline{6}$  stellt somit quasi ein geschlitztes Solenoid mit mindestens einer Windung dar, das jeweils innerhalb eines  $180^\circ$ -Ablenkmagneten anzuordnen ist. Dabei läßt sich für die Leiteranordnung  $\underline{6}$  sowohl normalleitendes als auch supraleitendes Leitermaterial wählen. Selbstverständlich kann diese somit hohlrippenartige oder röhrenförmige, an ihrer Außenseite in Führungsrichtung der Teilchen geschlitzte Leiteranordnung abweichend von der in Figur 1 dargestellten Ausführungsform auch eine entsprechend andere Gestalt haben. So sind für die Leiteranordnung z.B. auch kreisförmige

oder ovale Querschnittsformen geeignet. Auch ist ein hohlrinnenartiger Aufbau aus einem elektrisch nicht-leitenden Material denkbar, der als Trägerkörper für die einzelnen Leiterbahnen der Leiteranordnung dient. Gegebenenfalls kann dieser Trägerkörper sogar die Strahlführungskammer selbst sein.

Darüber hinaus brauchen die Seitenteile 11 der Elemente 8a bis 8i auch nicht unmittelbar in der Nähe der Teilchenbahn 2 zu verlaufen. Vielmehr können diese Teile 11 auch nahe des Mittelpunktes M des jeweiligen 180°-Ablenkmagneten liegen, wobei dann die Ober- und Unterteile 9 bzw. 10 in entsprechend größerem Abstand bzgl. der Teilchenbahn 2 anzuordnen sind.

Gemäß dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel wurde ferner davon ausgegangen, daß alle Elemente 8a bis 8i lediglich über zwei Stromzuführungsleiter 20 bzw. 21 unmittelbar untereinander elektrisch parallelgeschaltet sind. Diese Stromzuführungsleiter sind dabei so angeordnet, daß sie den Austritt der Synchrotronstrahlung 7 nicht behindern. Gegebenenfalls können jedoch die Elemente 8a bis 8i auch mehrere Teilgruppen bilden, zu denen jeweils eigene Stromzuführungen führen. Die Leiteranordnung 6 würde dann ein Solenoid mit einer entsprechenden Anzahl von Windungen darstellen.

Bei der so ausgestalteten erfindungsgemäßen Magnetfeldeinrichtung wird nach der Injektion von Elektronen, beispielsweise mit einer Einschubenergie von 100 keV, zusätzlich eine  $B_\theta$ -Komponente von etwa 20 mT zur Strahlführung eingeschaltet. Für dieses Feld benötigt man eine elektrische Durchflutung von etwa 25 kA durch die U-förmigen Leiterelemente 8a bis 8i. Im Gegensatz zum Aufbau der mindestens eine Leiterwindung aufweisenden Leiteranordnung 6 können die gerade ausgestalteten Solenoidspulen 3 bzw. 4 mit vielen Windungen ausgelegt sein und werden dann mit entsprechend kleinerer Stromstärke betrieben.

In Figur 2 ist in Schrägansicht ein gekrümmter 180°-Dipolmagnet einer Elektronenbeschleuniger-Anlage in teilweise aufgerissener Darstellung schematisch wiedergegeben. Dieser Magnet weist zwei große gekrümmte Dipolwicklungen 13 und 14 auf, die beiderseits einer die Teilchenbahn 2 umschließenden Elektronenstrahlkammer 17 in parallelen Ebenen liegend angeordnet sind. Längs der gekrümmten Innenseite des Magneten bzw. der Elektronenstrahlkammer 17 befindet sich noch eine zusätzliche Gradientenwicklung 16. Da die Leiter dieser Wicklungen 13, 14 und 16 aus supraleitendem Material bestehen, befinden sich diese Wicklungen in einem Gehäuse 18, das das zur Kühlung der Supraleiter erforderliche kryogene Kühlmittel aufnimmt. Die Elektronenstrahlkammer, an die im Übergangsbereich zwischen geraden und gekrümmten Abschnitten der Teilchenbahn das Strahlführungsrohr 5 angeflanscht ist, wird zwischen den Wicklungen als U-förmige, nach außen hin offene Strahlkammer 17 ausgebildet, um so die Herausführung der Synchrotronstrahlung zu ermöglichen. Die Kammer 17 ist mit dem Gehäuse 18 verbunden, und beide Teile stellen so einen geschlossenen Behälter für das Kühlmittel dar. Wie aus dem Aufriß der Figur ferner hervorgeht, ist die Elektronenstrahlkammer 17 von

der Innenseite her von der aus einzelnen Elementen 8 ausgebildeten, hohlrinnenartigen Leiteranordnung 6 umschlossen, d.h., die Kammer dient als Trägerkörper für die Elemente 8.

Das mit der erfindungsgemäßen Ausgestaltung der Magnetfeldeinrichtung zu erzeugende azimutale Führungsfeld ist im wesentlichen bei kleinen Feldern und hohen Feldänderungsgeschwindigkeiten wirksam. Bei höheren Feldern mit  $B > 1$  T und kleineren Feldänderungsgeschwindigkeiten B ist ein derartiges Führungsfeld weitgehend überflüssig, da dann in bekannter Weise die Hauptwicklungen der magnetfelderzeugenden Einrichtung allein die Teilchenführung übernehmen können.

## Patentansprüche

1. Magnetfeldeinrichtung für eine Teilchenbeschleuniger-Anlage, deren Teilchenbahn zumindest gekrümmte Abschnitte ( $A_3$ ) aufweist, mit mehreren magnetfelderzeugenden Wicklungen, (13, 14, 16) wobei mindestens eine Zusatzwicklung (6) zur Fokussierung der elektrisch geladenen Teilchen vorgesehen ist, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Zusatzwicklung im Bereich mindestens eines der gekrümmten Abschnitte ( $A_3$ ) der Teilchenbahn (2) ein azimutales Führungsfeld ( $H_\theta$ ) für die Teilchen ( $e^-$ ) während deren Beschleunigungsphase zu erzeugen ist, indem diese Wicklung als eine entsprechend gekrümmte, die Teilchenbahn teilweise umschließende elektrische Leiteranordnung (6) ausgebildet ist, die

a) hohlrinnenartig, nach außen hin offen gestaltet ist,

b) zur Unterdrückung von Wirbelströmen entsprechend strukturiert ist und

c) von einem Strom (I) quer zur Teilchenbahn (2) durchflossen ist.

2. Magnetfeldeinrichtung für eine Teilchenbeschleuniger-Anlage mit zusätzlich geraden Abschnitten der Teilchenbahn nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß im Bereich der geraden Abschnitte ( $A_1, A_2$ ) der Teilchenbahn (2) ein azimutales Führungsfeld ( $H'$ ) für die Teilchen ( $e^-$ ) während der Beschleunigungsphase zu erzeugen ist.

3. Magnetfeldeinrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzeugung des azimutalen Führungsfeldes ( $H'$ ) für die Teilchen ( $e^-$ ) im Bereich der geraden Abschnitte ( $A_1, A_2$ ) jeweils mindestens eine Solenoid-Wicklung (3, 4) vorgesehen ist.

4. Magnetfeldeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die magnetfelderzeugenden Wicklungen (13, 14, 16) und/oder die Leiteranordnung (6) zumindest teilweise supraleitende Leiter enthalten.

5. Magnetfeldeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Leiteranordnung (2) gesehen U-förmig gestaltete Einzelelementen (8a bis 8i) gebildet ist.

6. Magnetfeldeinrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die U-förmig gestalteten Einzelelemente (8a bis 8i) mittels mindestens eines Paares von Stromzuführungen (20, 21) unter-

einander elektrisch parallelgeschaltet sind.

7. Magnetfeldeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Leiteranordnung (6) auf einem entsprechend gestalteten Trägerkörper aus elektrisch isolierendem Material angeordnet ist.

8. Magnetfeldeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß als elektrisch geladene Teilchen Elektronen ( $e^-$ ) zu beschleunigen sind.

## Revendications

1. Dispositif à champ magnétique pour une installation à accélérateur de particules, dont la trajectoire des particules présente pour le moins des sections ( $A_3$ ) cintrées, avec plusieurs enroulements (13, 14, 16) produisant un champ magnétique, du type dans lequel au moins un enroulement supplémentaire (6) est prévu pour la concentration des particules chargées électriquement, caractérisé par le fait qu'à l'aide de l'enroulement supplémentaire, et dans zone d'au moins l'une des sections cintrées ( $A_3$ ) de la trajectoire des particules (2), un champ directeur azimutal ( $H_0$ ) est à produire pour les particules ( $e^-$ ) pendant leur phase d'accélération, en réalisant cet enroulement sous la forme d'un agencement (6) cintré de façon correspondante, de conducteurs électriques et qui entoure partiellement la trajectoire des particules, ledit agencement étant

- a) conformé en goulotte creuse, ouverte vers l'extérieur,
- b) structuré pour supprimer les courants de Foucault, et
- c) traversé par un courant (I) passant transversalement par rapport à la trajectoire des particules.

2. Dispositif à champ magnétique pour une installation à accélérateur de particules avec des sections supplémentaires et droites de la trajectoire des particules, suivant la revendication 1, caractérisé par le fait que dans la zone des sections droites ( $A_1, A_2$ ) de la trajectoire des particules (2), est à établir, pendant la phase d'accélération, un champ directeur azimutal ( $H'$ ) pour les particules ( $e^-$ ).

3. Dispositif à champ magnétique selon la revendication 2, caractérisé par le fait que pour produire le champ directeur azimutal ( $H'$ ) pour les particules ( $e^-$ ), il est prévu dans la zone de chaque section droite ( $A_1, A_2$ ) au moins un solénoïde (3, 4).

4. Dispositif à champ magnétique selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé par le fait que les enroulements (13, 14, 16) qui produisent le champ magnétique et/ou l'agencement de conducteurs (6) comportent, au moins partiellement des conducteurs à supraconduction.

5. Dispositif à champ magnétique selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé par le fait que l'agencement de conducteurs (6) est formé par plusieurs éléments individuels (8a à 8i) qui sont conformés en U, si l'on regarde transversalement par rapport à la trajectoire des particules (2).

6. Dispositif à champ magnétique selon la revendication 5, caractérisé par le fait que les éléments individuels (8a à 8i) qui sont conformés en U, sont

reliés électriquement en parallèles entre eux, à l'aide d'au moins une paire d'amenées du courant (20, 21).

7. Dispositif à champ magnétique selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé par le fait que l'agencement de conducteurs (6) est disposé sur un corps de support conformé de façon correspondante et réalisé avec un matériau électriquement isolant.

8. Dispositif à champ magnétique selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé par le fait qu'en tant que particules chargées électriquement, des électrons ( $e^-$ ) sont à accélérer.

## Claims

1. Magnetic field equipment for a particle acceleration installation, the particle path of which has at least curved sections ( $A_3$ ), with several magnetic-field producing windings (13, 14, 16), at least one additional winding (6) being provided for the focusing of the electrically charged particles, characterized in that, with the additional winding in the region of at least one of the curved sections ( $A_3$ ) of the particle path (2), an azimuthal control field ( $H_0$ ) is to be produced for the particles ( $e^-$ ) during their acceleration phase, whereby this winding is formed as an electric conductor arrangement (6), partially surrounding the particle path and curved correspondingly, which

- a) is groove-like, shaped so that it opens to the outside,
- b) is structured appropriately for the suppression of eddy currents, and
- c) is flowed through by a current (I) at right angles to the particle path (2).

2. Magnetic field equipment for a particle acceleration installation with additional straight sections of the particle path according to claim 1, characterized in that, in the region of the straight sections ( $A_1, A_2$ ) of the particle path (2), an azimuthal control field ( $H'$ ) is to be produced for the particles ( $e^-$ ) during the acceleration phase.

3. Magnetic field equipment according to claim 2, characterized in that, for the production of the azimuthal control field ( $H'$ ) for the particles ( $e^-$ ) in the region of the straight sections ( $A_1, A_2$ ), at least one solenoid winding (3, 4) is provided in each case.

4. Magnetic field equipment according to one of claims 1 to 3, characterized in that the magnetic-field producing windings (13, 14, 16) and/or the conductor arrangement (6) contain, at least partially, superconducting conductors.

5. Magnetic field equipment according to one of claims 1 to 4, characterized in that the conductor arrangement (6) is formed out of several single elements (8a to 8i), seen at right angles to the particle path (2) and formed in a U-shape.

6. Magnetic field equipment according to claim 5, characterized in that the single elements (8a to 8i), formed in a U-shape, are electrically connected in parallel with one another by means of at least one pair of power leads (20, 21).

7. Magnetic field equipment according to one of claims 1 to 6, characterized in that the conductor ar-

rangement (6) is arranged on a correspondingly shaped carrier body of electrically insulating material.

8. Magnetic field equipment according to one of claims 1 to 7, characterized in that electrons ( $e^-$ ) are to be accelerated as electrically charged particles.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

6

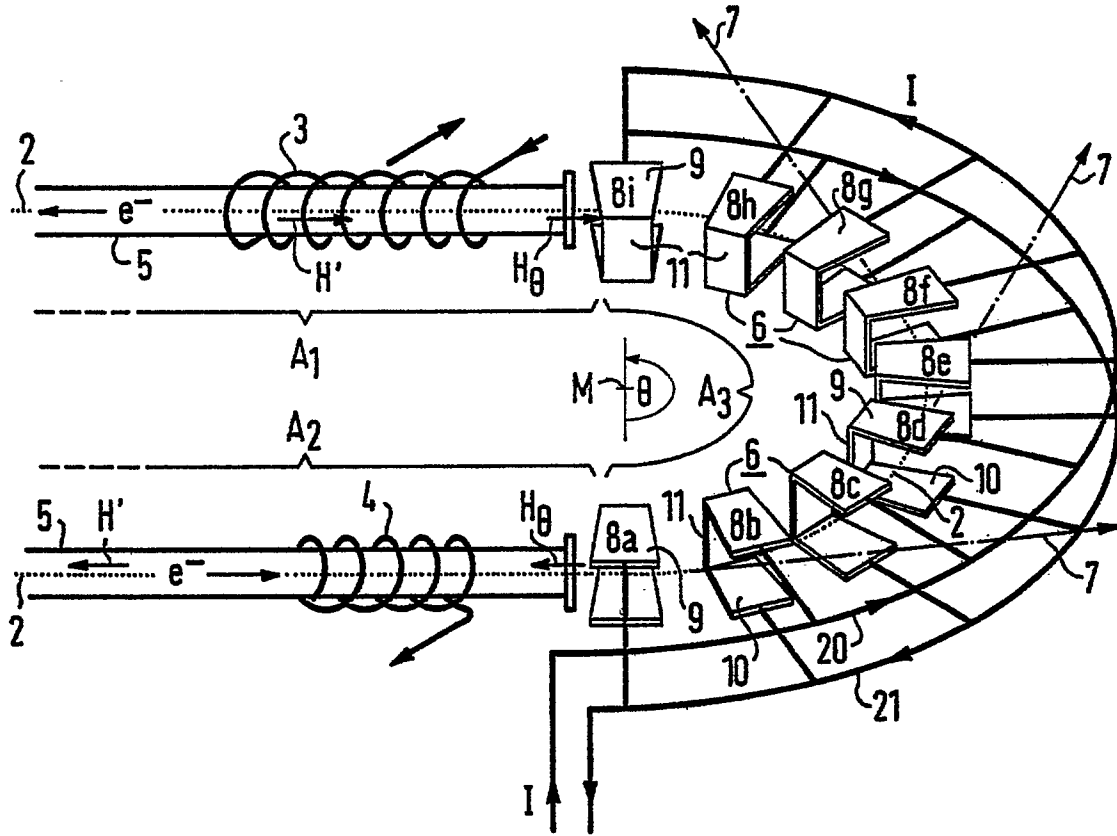


FIG 1

