

12

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: 86102069.1

51 Int. Cl.: **H 05 H 7/04, H 01 F 7/22**

22 Anmeldetag: 18.02.86

30 Priorität: 28.03.85 DE 3511282

71 Anmelder: **BROWN, BOVERI & CIE Aktiengesellschaft, Kallstadterstrasse 1, D-6800 Mannheim (DE)**
Anmelder: **Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Weberstrasse 5, D-7500 Karlsruhe 1 (DE)**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung: 01.10.86
Patentblatt 86/40

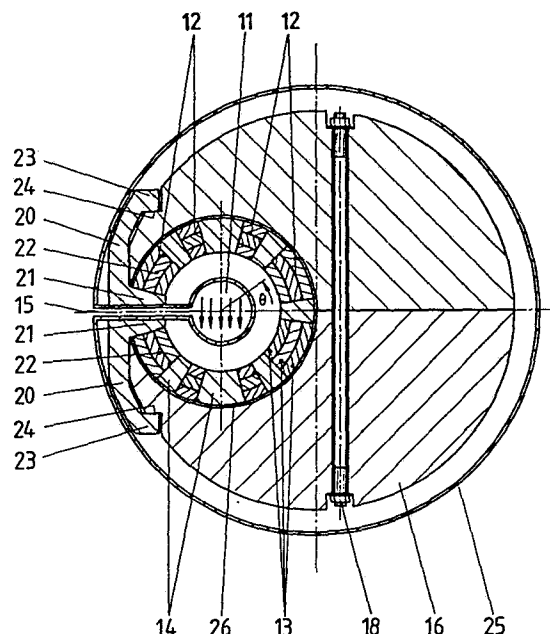
72 Erfinder: **Dustmann, Cord-Henrich, Dr., Dipl.-Phys., Dlemstrasse 10, D-6940 Weinheim (DE)**
Erfinder: **Keiber, Hubert, Dr.Dipl.-Phys., Friedrich Ebert Ring 11, D-6940 Weinheim (DE)**
Erfinder: **Krevet, Bernd, Dr.Dipl.-Phys., Stromorgen 5, D-7521 Dettlenheim (DE)**

84 Benannte Vertragsstaaten: **AT CH DE FR GB IT LI NL SE**

74 Vertreter: **Kempe, Wolfgang, Dr. et al, c/o Brown, Boveri & Cie AG Postfach 351, D-6800 Mannheim 1 (DE)**

54 **Supraleitendes Magnetsystem für Teilchenbeschleuniger einer Synchrotron-Strahlungsquelle.**

57 Es wird ein supraleitendes Magnetsystem für Teilchenbeschleuniger einer Synchrotron-Strahlungsquelle angegeben, deren Wicklungsanordnung so ausgebildet ist, daß sie eine im wesentlichen $\cos \theta$ -förmige Stromverteilung aufweist. Es wird eine schalenförmige Wicklungsanordnung bevorzugt. Die supraleitende Wicklung (12) wird durch Klammerelemente (16) abgestützt. Sie weist einen seitlichen Schlitz (15) auf, durch den das Synchrotronlicht austreten kann. Im Bereich des Schlitzes (15) wird die Wicklung (12) durch Spannelemente (20) abgestützt, die mit den Klammerelementen (16) zusammenwirken.



5

B R O W N, B O V E R I & C I E
Mannheim
Mp.Nr. 528/85

AKTIENGESELLSCHAFT
12. Febr. 1986
ZPT/P2-La/Fo

10

15 Supraleitendes Magnetsystem für Teilchenbeschleuniger
einer Synchrotron-Strahlungsquelle

Die Erfindung betrifft ein supraleitendes Magnetsystem
für Teilchenbeschleuniger einer Synchrotron-Strahlungs-
quelle mit einem in etwa in der Teilchenbahnebene lie-
20 genden, tangential oder radial offenen Schlitz zum Aus-
tritt der Synchrotronstrahlung und mit einer mechani-
schen Abstützvorrichtung für die supraleitende Wicklung.

Ein derartiges Magnetsystem ist aus der DE-OS 31 48 100
25 bzw. aus "Nuclear Instruments and Methods", Vol. 200,
1982, S. 475 bis S. 479 bekannt.

Um einen Beschleuniger für eine kompakte Synchro-
ton-Strahlungsquelle zu bauen, ist es notwendig, von
30 normalleitenden Biegemagneten zur Ablenkung des Strahls
geladener Teilchen (z.B. Elektronen) auf supraleitende
Magnetsysteme überzugehen, mit denen die erforderlichen
Magnetfeldstärken erreichbar sind. Die Anforderungen an
ein solches Magnetsystem, wie sie bei dem bekannten Mag-
35 netsystem erfüllt sind, lassen sich wie folgt zusammen-

fassen:

a.) Erzeugung eines Magnetfeldes mit dem Feldgradienten n

5
$$n = - \frac{r_0}{B_0} \cdot \left. \frac{\partial B}{\partial r} \right|_{r_0}$$

Der Feldindex n ist dabei kleiner als 1.

r_0 ist der Sollradius der Teilchenbahn.

B ist die magnetische Induktion.

10 $\left. \frac{\partial B}{\partial r} \right|_{r_0}$ ist die Ableitung der Induktion nach dem Teilchenradius am Ort des Sollradius r_0 .

b.) Die Wicklungen des Magnetsystems müssen so angeordnet sein, daß die erzeugte Synchrotronstrahlung in der Ebene der Umlaufbahn der Teilchen tangential aus dem Magnetsystem austreten kann.

15

Die verwendete Spulenkonfiguration des bekannten Magnetsystems hat einen rechtwinkligen Wicklungsquerschnitt und ermöglicht den tangentialen Strahlungsaus-

20 tritt. Die im Magnetfeld gespeicherte Energie liegt für solche Konfigurationen höher als bei einer vergleichbaren Schalenanordnung. Diese hohe gespeicherte Energie muß im Quenchfall, d.h. beim ungewollten Übergang von der supraleitenden in die normalleitende Phase, aus der

25 Spule ausgekoppelt werden, um eine Zerstörung der Spule aufgrund der starken Erwärmung und den damit verbundenen mechanischen Spannungen zu verhindern. Ferner erfordert die erwähnte Spulenkonfiguration vergleichsweise viel

30 Leitermaterial, um das erforderliche Magnetfeld zu realisieren.

Supraleitende Ablenkmagnete werden auch beim Bau großer Ring-Beschleuniger (z.B. HERA) eingesetzt. In Arbeiten von G. Horlitz et al "Superconducting Prototype Dipole

35

- Coils for HERA" und "Alternatives and Improvements for Superconducting Dipole Coils for HERA", Journal de Physique, Colloque C1, supplement au n° 1, Tome 45, Januar 1984, Seiten C1-255 bis C1-262 werden wesentliche Details dieser Magnete beschrieben. Die dabei verwendete Spulenkonfiguration hat einen schalenförmigen Wicklungsquerschnitt und eine im wesentlichen $\cos \theta$ -förmige Stromverteilung. Die Stromverteilung ist für die Erzeugung eines Dipolfeldes innerhalb der Wicklungsanordnung ausgelegt.
- Das entscheidende Element dieser Konfiguration ist eine Klammer, die auf die supraleitende Spule eine Vorspannung aufbringt. Der Grundgedanke des Vorspannungsprinzips besteht darin, im stromlosen Zustand das Spulenpaket soweit durch Klammerelemente zusammenzudrücken, daß bei voll auferregter Spule die supraleitende Wicklung mit der Steifigkeit des Klammerelements abgestützt wird. Dieses ist notwendig, um eine Leiterbewegung und damit einen Quench zu verhindern. Eine derartige schalenförmige Spulenkonfiguration mit Klammerelementen erlaubt jedoch keinen bezüglich der Teilchenbahnkrümmung tangentialen Austritt der Synchrotronstrahlung, da die Teilchenbahn allseitig durch ein Vakuumrohr und die umliegende Spulenordnung mit Klammerelementen umgeben ist.
- Ein Verzicht der Klammerelemente kann hier auch nicht Abhilfe schaffen. Man könnte zwar einen supraleitenden Umlenkmagneten mit Vakuum-Druck-Imprägnierung verwenden, der eine ausreichende mechanische Festigkeit besitzt. Derartige Magnete zeigen jedoch das unerwünschte Trainingsverhalten, d.h. die Spule kann nicht sofort auf Maximallast hochgefahren werden, sie muß vielmehr trainiert werden, in dem sie jeweils bis zu einem Quench, der anfänglich weit unterhalb der Maximallast auftritt, erregt wird. Beim Trainieren rücken die Leiter in mechanisch stabile Lagen, so daß bei nachfolgenden Erregungen

die Quenches bei immer höheren Stromwerten auftreten.

- Der Erfindung, liegt die Aufgabe zugrunde, ein supraleitendes Magnetsystem der eingangs genannten Art anzugeben, das einen geringen magnetischen Energieinhalt aufweist, wenig Leitermaterial erfordert und bei dessen Ausbildung eine bezüglich des Trainingsverhaltens ungünstige Vakuum-Druck-Imprägnierung vermieden werden kann.

Diese Aufgabe wird bei einem Magnetsystem der eingangs genannten Art durch die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 angegebenen Merkmale gelöst.

Das wenigstens eine Klammerelement kann mit wenigstens einem Spannelement, welches die supraleitende Wicklung im Bereich des Schlitzes abstützt, eine Baueinheit bilden. Zweckmäßigerweise werden jedoch aus Montagegründen die Klammerelemente und die Spannelemente getrennte, miteinander kraftschlüssig verbundene Bauteile sein.

Die durch die Erfindung erreichten Vorteile sind im wesentlichen darin zu sehen, daß sich das beim Bau von Dipolspulen verwendete Vorspannungsprinzip auf C-Magnete übertragen läßt, indem der zur Öffnung des Magnetsystems weisende Teil der Wicklung gespannt werden kann. Eine Vakuum-Druck-Imprägnierung der supraleitenden Spulen läßt sich hierdurch vermeiden.

Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, daß die supraleitende Wicklung eine Schalenstruktur aufweist, bei der die Spule aus mehreren konzentrischen Zylinderschalen gefertigt ist. Innerhalb jeder Schale werden zwischen zwei Azimutwinkeln Θ Wickelpakete untergebracht. Der Vorteil dieser Konfiguration ist die geringe magnetische Energie im Vergleich zur rechteckigen Wicklungskonfiguration.

Gemäß einer alternativen, vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung, die ebenfalls die Vorteile der Schalenstruktur aufweist, ist die supraleitende Wicklung als Blockstruktur ausgebildet. Eine prinzipiell geeignete Blockstruktur ist in H. Brechna: "Superconducting Magnet Systems" Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York (1973) Seite 40, Fig. 2.1.6a angegeben. Allerdings wäre es für die Ausführungsform gemäß der Erfindung erforderlich, einen in der Teilchenbahnebene (x-Achse) radial außenliegenden Schlitz vorzusehen.

Das Spannelement kann in vorteilhafter Weise hakenförmig ausgebildet sein, wobei es mit einem ersten Schenkel die supraleitende Wicklung im Bereich des Schlitzes abstützt und mit einem zweiten Schenkel in der Klammer, die im wesentlichen die gesamte Wicklungsanordnung umfaßt, eingehängt ist.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung des Spannelementes ist darin zu sehen, daß es in seinem Querschnitt U-förmig ausgebildet ist. Der Basisschenkel stützt mit seiner Innenseite die zum Schlitz gerichteten Wicklungsteile ab und die beiden freien Schenkel sind mit der Klammer verspannt und bringen die erforderliche Andruckkraft auf. Zum Verspannen können Zugbolzen an den freien Schenkeln befestigt sein. Ferner kann es aus konstruktiven Gründen zweckmäßig sein, das U-förmige Spannelement mit einem weiteren Schenkel zu versehen, der das U-Profil teilweise zu einem W-Profil ergänzt, wobei jedoch der dritte freie Schenkel nicht, oder nur ansatzweise verwirklicht ist. Der zweite freie Basischenkel greift unter den Wicklungsteil, der in der Ebene der gekrümmten Teilchenbahn und auf der Seite des Bahnkrümmungsmittelpunktes liegt.

Das Spannelement wird so ausgelegt, daß es bei eingeschaltetem Magnetfeld die zur Teilchenbahnebene gerichteten Anziehungskräfte der sich gegenüberstehenden Spulenhälften aufzunehmen vermag und gleichzeitig die erforderliche Vorspannung auf die Wicklungsteile überträgt, um Leiterbewegungen auszuschließen.

Vorzugsweise können die Spannelemente so ausgebildet sein, daß sie neben der Übertragung der Vorspannung Teil des Heliumbehälters, in dem sich die supraleitende Spule befindet, sind. Insbesondere im Bereich des Schlitzes kann auf diese Weise Material eingespart werden, was die konstruktive Gestaltung im Schlitzbereich erleichtert.

Sofern eine Spulenkonfiguration verwendet werden soll, die als Luftspule betrieben werden kann, werden die Klammerelemente und/oder die Spannelemente vorzugsweise aus nicht magnetischem Material, z.B. nicht magnetischem Stahl, gefertigt. Es kann jedoch für das Magnetsystem auch von Vorteil sein, die Klammerelemente und/oder die Spannelemente als Magnetjoch auszubilden. Für schnell gepulste Magnete ist dabei eine lamellierte Ausbildung der Klammerelemente und/oder Spannelemente vorzuziehen. Für Magnetsysteme mit konstanter oder nur sich langsam ändernder Magnetfeldstärke können die Klammerelemente und die Spannelemente als massives Joch ausgebildet werden. Hier ist eine bauliche Einheit von Spannelementen und Kryobehälter besonders vorteilhaft.

Vorzugsweise werden die Schlitzbreite und die Anordnung der Wicklungen derart aufeinander abgestimmt, daß zusätzlich zum Dipolfeld ein Quadrupolfeld, das einen fokussierenden Einfluß auf den Teilchenstrahl hat, im Teilchenkanal erzeugt wird. Durch eine diesbezügliche Optimierung läßt sich der Schlitz vergrößern, so daß mehr Raum für die Spannelemente zur Verfügung steht.

Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, daß die supraleitende Wicklung als heliumtransparente Wicklung ausgebildet ist, d.h., daß die Isolation so ausgelegt ist, daß Helium in die Wicklung zwischen die Leiter eindringen und eine intensive Leiterkühlung bewirken kann.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind den weiteren Unteransprüchen zu entnehmen.

10 Anhand der Zeichnung, die zwei Ausführungsbeispiele der Erfindung zeigt, werden die Erfindung sowie weitere vorteilhafte Weiterbildungen näher beschrieben und erläutert.

15 Es zeigt in schematischer Darstellung:

Fig. 1 den Querschnitt eines ersten Ausführungsbeispiels des Magnetsystems mit hakenförmigen Spannelementen,

20

Fig. 2 die Aufsicht auf ein Magnetsystem gemäß Fig. 1 und

Fig. 3 den Querschnitt eines zweiten Ausführungsbeispiels des Magnetsystems mit Spannelementen, die einen im wesentlichen W-förmigen Querschnitt aufweisen.

25

30 In Figur 1 ist im Querschnitt ein supraleitendes Magnetsystem dargestellt, welches in einem Teilchenkanal 11 ein Magnetfeld erzeugt, das im wesentlichen ein Dipolfeld darstellt, wobei die Feldlinien in Richtung $\theta = 270^\circ$ verlaufen.

35

Die supraleitende Wicklung 12 ist aus mehreren konzen-
trischen Zylinderschalen 13 gefertigt. Innerhalb jeder
Schale 13 sind jeweils zwischen zwei Azimutwinkeln θ
Wickelpakete untergebracht. Zwischen den Wickelpaketen,
die aus einzelnen senkrecht zur Darstellungsebene ver-
laufenden Leitern bestehen, befindet sich unmagnetisches
5 Füllmaterial 14. Diese Wicklungskonfiguration ergibt
eine im wesentlichen $\cos \theta$ -förmige Stromverteilung und
ist für die Erzeugung eines Dipolfeldes geeignet. Sie
hat den Vorteil einer geringeren magnetischen Energie im
10 Vergleich zu einer rechteckigen Wicklungskonfiguration.

Elektronen, die sich längs des Teilchenkanals 11, der
senkrecht zur Darstellungsebene verläuft, bewegen, werden
infolge der Lorentz-Kraft abgelenkt und auf eine Kreis-
bahn 19 gezwungen. Sie geben dabei tangential nach außen
15 (in Fig. 1 nach links) Synchrotronstrahlung ab. Die Syn-
chrotronstrahlung kann durch einen Schlitz 15 seitlich
aus dem Teilchenkanal 11 austreten und steht für physi-
kalische Experimente oder technische Anwendungen zu Ver-
fügung.
20

Innerhalb der supraleitenden Wicklung 12 treten bei er-
regter Spule Kräfte auf, die zu Leiterbewegungen führen
können. Daher wird die Wicklungsanordnung durch Klam-
merelemente 16 zusammengedrückt und soweit vorgespannt,
25 daß auch bei voll auferregter Spule die supraleitende
Wicklung 12 mit der Steifigkeit der Klammerelemente 16
abgestützt ist.

30 Die Klammerelemente 16 bestehen, wie der Fig. 2 zu ent-
nehmen ist, aus gestanzten Magnetblechen, die zu einem
Magnetjoch gestapelt sind. Das Magnetjoch hat die Form
eines aus zwei Hälften zusammengesetzten kreisförmig

- gebogenen Zylinders, der einen 90°-Bogen bildet. Für das Stapeln der Magnetbleche sind, um die Krümmung der Anordnung auszugleichen, Bleche mit unterschiedlichen Abmessungen erforderlich, zwischen denen sich Zwischenräume 17, die mit dem Kühlmedium Helium gefüllt sind, ergeben. Zur Vermeidung der Zwischenräume 17 können auch
- 5 keilförmig gestanzte Bleche verwendet werden, diese sind jedoch in ihrer Herstellung wesentlich teurer als Bleche aus gleichstarkem Material, wie dargestellt. Die Bleche sind miteinander zu einer Einheit verschweißt.
- 10 Die beiden Jochhälften sind durch Zuganker 18 miteinander verbunden. Durch die Spannkraft der Zuganker 18, welche unter Zuhilfenahme von hydraulischen Preßvorrichtungen aufgebracht werden kann, wird der erforderliche Druck zum Vorspannen der supraleitenden Wicklung 12 erzeugt.
- 15

- Im Bereich des Schlitzes 15 wird die supraleitende Wicklung 12 durch Spannelemente 20 abgestützt. Die Spannelemente 20 sind ebenfalls lamelliert ausgebildet und ergänzen die Jochwirkung der Klammerelemente 16. Die
- 20 Spannelemente 20 sind im wesentlichen U-förmig ausgebildet. Der eine freie Schenkel 21 greift unter den freien, dem Schlitz 15 zugewandten Teil 22 der Wicklung 12 mit schalenförmigen Wicklungsquerschnitt 13. Der andere
- 25 freie Schenkel 23 greift hinter eine stufenförmige Ausnehmung 24 des Klammerelementes 16. Beim Einsetzen werden die Spannelemente 30 vorgespannt. Sie erfüllen damit ihre Aufgabe, die Kräfte der Spule auf das Joch zu übertragen.

30

Die supraleitende Wicklung 12, die Klammerelemente 16 und die Spannelemente 20 sind von einer Behälterwandung 25 umgeben, innerhalb derer sich flüssiges Helium befin-

35

det. Der Teilchenkanal 11, der Schlitz 15 und der außerhalb der Behälterwandung 25 liegende Bereich sind evakuiert. Die außenliegenden Kälteschilde und der äußere Vakuummantel wurden in Fig. 1 nicht dargestellt. Die dem Schlitz 15 zugewandten Schenkel 21 der Spannelemente 20 sind mit der Behälterwandung 25 verschweißt. Sie dienen somit der Versteifung der Behälterwandung 25 im Bereich des Schlitzes 15.

Zwischen der Wicklung 12 und den Klammerelementen 16 ist eine Isolationsschicht 26 angeordnet, deren Dicke anhand Magnetfeldberechnungen so ausgewählt wird, daß die Feldhomogenität im Teilchenkanal 11 nicht durch Sättigungserscheinungen im Material der Klammerelemente 16 oder der Spannelemente 20 beeinträchtigt wird. Die Isolationsschicht 26 ist ein nicht magnetisches Zwischenmaterial, beispielsweise aus gefülltem Kunststoff.

In Figur 3 ist eine weitere Ausführungsform der Erfindung dargestellt, wobei gleiche oder sich entsprechende Teile mit denselben Bezugsziffern wie die aus Fig. 1 und 2 belegt wurden.

Die supraleitende Wicklung 12 ist der in Fig. 1 dargestellten vergleichbar. Sie umschließt einen Teilchenkanal 11. Die einzelnen Wicklungspakete 12 sind durch unmagnetische Füllstücke 14 voneinander getrennt. Die Wicklung 12 ist durch eine Isolationsschicht 26 umgeben, an deren Auslegung die gleichen Anforderungen gestellt werden, wie sie in der Beschreibung zu Fig. 1 und 2 erläutert wurden.

Die Wicklung mit Schalenstruktur 13 ist durch ein zweiteilig ausgebildetes Klammerelement 30 aus nicht magnetischem Material umgeben, deren beide Teile durch Zugan-

- ker 31 miteinander verbunden sind. Die äußere Form des Klammerelementes 30 gleicht im wesentlichen einem Ringausschnitt mit rechteckigem Querschnitt. Es kann
- sich dabei z.B. um einen $1/4$ -Kreis, wie in Fig. 2 dargestellt, oder um einen Halbkreis des Ringes handeln.

- 5 Im Bereich des Schlitzes 32 und im Inneren der Wicklungsanordnung befinden sich zwei zu dem Schlitz 32 symmetrisch angeordnete Spannelemente 33 aus nicht magnetischem Material mit einem im wesentlichen W-förmigem Querschnitt. Die Spannelemente 33 sind Drehteile, deren
- 10 Drehachse mit dem Krümmungsmittelpunkt der Teilchenbahn 19 zusammenfällt. Mit dem äußeren freien Schenkel 34 und dem mittleren freien Schenkel 35 des W-Profils sind Zugbolzen 37 verschweißt, durch die das Spannelement 33 mit dem Klammerelement 30 verbunden und verspannt ist. Beim
- 15 Verspannen wird der zwischen den freien Schenkel 34 und 35 liegende Basisschenkel 36 gegen die zum Schlitz 32 gerichteten Wicklungsteile 38 gedrückt, so daß die erforderliche Vorspannung auf die supraleitende Wicklung 12 übertragen wird.

20

- Der Querschnitt des Spannelementes 33 weist einen weiteren freien Schenkel 39 auf, durch den der Spannelementquerschnitt in etwa zu einer W-Form ergänzt wird, wobei der dritte freie Schenkel 39, der bezüglich der Teilchenbahn 19 innenliegt, nicht symmetrisch zum äußeren freien Schenkel 34 ausgebildet ist, sondern unter das
- 25 zum Krümmungsmittelpunkt der Teilchenbahn 19 weisende Teil 40 der Wicklung 12 greift. Eine derartige Ausbildung der Spannelemente 33 ergibt eine vorteilhafte Auf-
- 30 teilung der Kräfte.

Das Magnetsystem ist durch eine Behälterwandung 41 umgeben, in deren Inneren wiederum das Kühlmedium einge-

Mp.Nr.528/85

12

- geschlossen ist. Die Behälterwandung 41 ist mit den Spannelementen 33 verschweißt, so daß die Spannelemente auch hier als Teil des Kryomantels dienen. Auch in Fig. 3 sind äußere Kälteschilde und der Vakuummantel nicht dargestellt.

5

10

15

20

25

30

35

A n s p r ü c h e

1. Supraleitendes Magnetsystem für Teilchenbe-
5 schleuniger einer Synchrotron-Strahlungsquelle mit ei-
nem in etwa in der Teilchenbahnebene liegenden, tangen-
tial oder radial offenen Schlitz zum Austritt der Syn-
chrotronstrahlung und mit einer mechanischen Abstütz-
vorrichtung für die supraleitende Wicklung, dadurch ge-
10 kennzeichnet, daß das Magnetsystem eine die Teilchenbahn
(19) umgebende Wicklungsanordnung mit $\cos \theta$ -förmiger
Stromverteilung enthält, wobei θ der Azimutwinkel ist,
und daß die supraleitende Wicklung (12) durch wenigstens
ein Klammerelement (16,30) und im Bereich des Schlitzes
15 (15,32) durch mit dem Klammerelement (16,30) zusammen-
wirkende Spannelemente (20,33) vorgespannt ist.

2. Magnetsystem nach Anspruch 1, dadurch gekenn-
zeichnet, daß die supraleitende Wicklung (12) eine Scha-
20 lenstruktur (13) oder eine Blockstruktur aufweist.

3. Magnetsystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch
gekennzeichnet, daß wenigstens ein Spannelement (20) an
wenigstens einem Klammerelement (16) befestigt ist und
25 einen freien Schenkel (21) aufweist, der in den Bereich
des Schlitzes (15) eingreift und die im Bereich des
Schlitzes (15) liegenden Wicklungsteile (22) abstützt.

4. Magnetsystem nach Anspruch 3, dadurch gekenn-
30 zeichnet, daß das Spannelement (20) im wesentlichen U-
förmig ausgebildet und zwischen seinen beiden freien
Schenkeln (21,23) das Klammerelement (16) und die dem
Schlitz (15) zugewandten Teile (22) der supraleitenden
Wicklung (12) miteinander verspannt.

5. Magnetsystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Querschnitt des Spannelementes (33) im wesentlichen U-förmig ausgebildet ist, daß der Basisschenkel (36) des Spannelementes (33) im Bereich des Schlitzes (32) verläuft und mit seinem inneren Teil
5 gegen die zum Schlitz (32) gerichteten Wicklungsteile (38) angedrückt ist, indem die beiden freien Schenkel (34,35) mit dem Klammerelement (30) verspannt sind.

6. Magnetsystem nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Verspannung des Spannelementes (33)
10 durch an den freien Schenkelenden (34,35) angebrachte Zugbolzen (37) erfolgt.

7. Magnetsystem nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Spannelement (33) einen weiteren, dem Basisschenkel (36) entsprechenden Schenkel (39)
15 aufweist, der die Wicklungsteile (40) der supraleitenden Wicklung (12) unterstützt, die bezüglich der Teilchenbahn (19) den am Schlitz (32) angeordneten Wicklungsteilen gegenüberliegen.
20

8. Magnetsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannelemente (20,33)
25 Teil des Heliumbehälters (25,41) der supraleitenden Wicklung (12) sind.

9. Magnetsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Klammerelemente (16,30)
30 und/oder die Spannelemente (20,33) als Magnetjoch ausgebildet sind.

10. Magnetsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Schlitzbreite und die

- Anordnung der supraleitenden Wicklungen (12) derart aufeinander abgestimmt sind, daß zusätzlich zum Dipolfeld
- ein Quadrupolfeld, das einen fokussierenden Einfluß auf den Teilchenstrahl hat, im Teilchenkanal (11) erzeugt wird.

5

10

15

20

25

30

35



Fig. 1

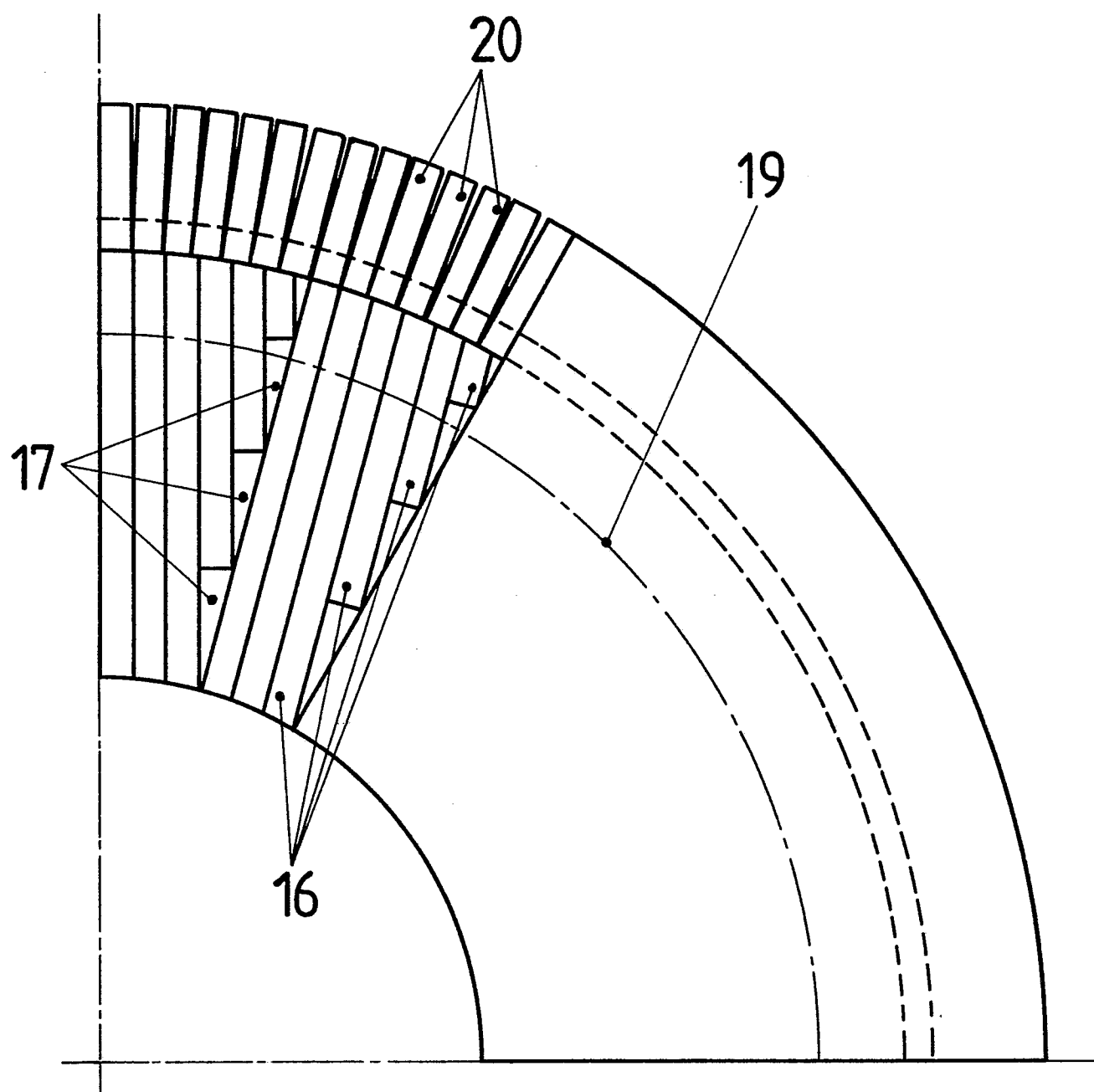


Fig. 2

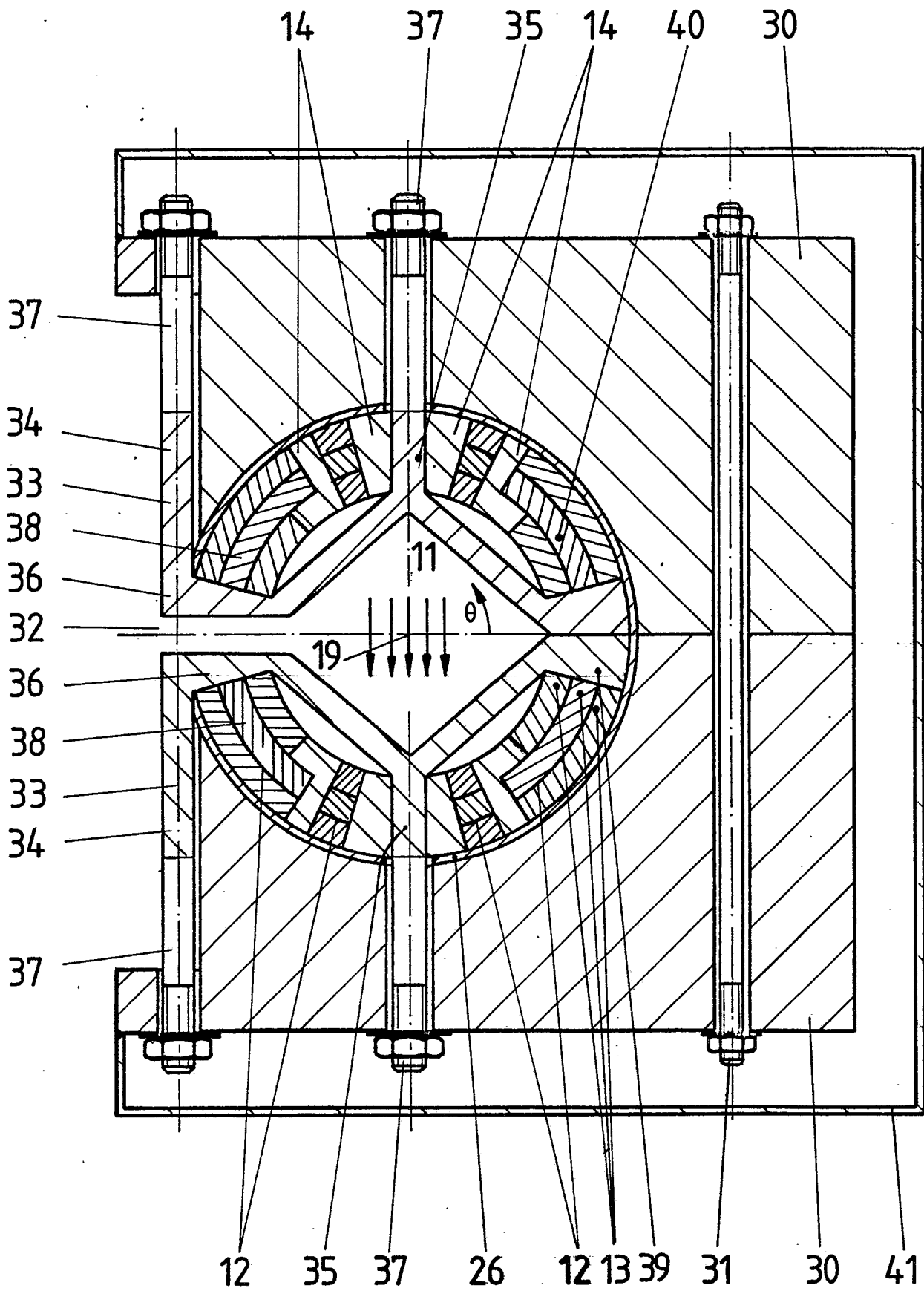


Fig. 3