

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(21) Anmeldenummer: **88113604.8**

(51) Int. Cl. 4: **F03H 1/00**

(22) Anmeldetag: **22.08.88**

(30) Priorität: **22.08.87 DE 3728011**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
01.03.89 Patentblatt 89/09

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB

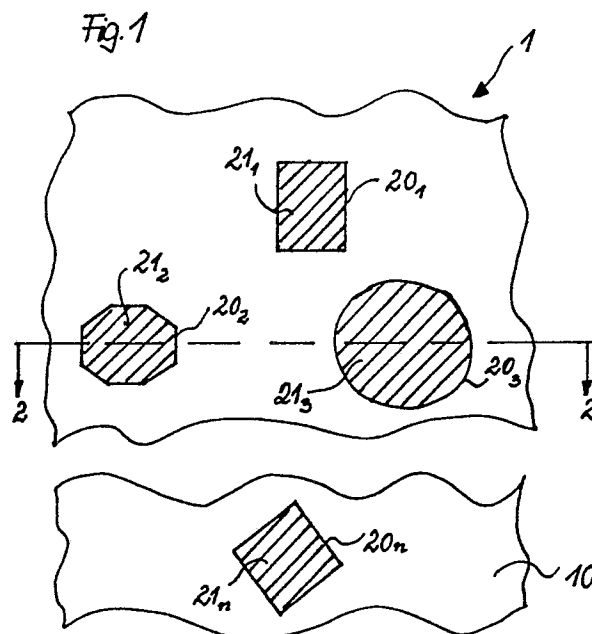
(71) Anmelder: **Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V.**
Linder Höhe Postfach 90 60 58
D-5000 Köln 90(DE)

(72) Erfinder: **Porsche, Herbert, Dr.**
Roseggerstrasse 5
D-8031 Seefeld(DE)

(74) Vertreter: **von Kirschbaum, Albrecht,**
Dipl.-Ing.
Hermann-Ehlers-Strasse 21a
D-8034 Germering(DE)

(54) **Ionentriebwerk.**

(57) Ein Ionentriebwerk für Objekte im Weltraum, vorzugsweise in Form von Raumfahrzeugen (1), weist in einer sonnenbestrahlten Fläche des Raumfahrzeugs Oberflächenzonen (20_1 bis 20_n) mit leicht ablösbarem und ionisierbarem Material (3) in Form von kleinsten Partikeln, wie vorzugsweise Staubpartikeln, oder in Form von entsprechend leicht verdampfbarrem Gas in einer ausreichenden Menge auf. Bei dieser Ausbildung eines Ionentriebwerks werden dann von der sonnenbestrahlten Fläche (10) Photoelektronen freigesetzt, welche vor dieser Fläche (10) eine Raumladung (4) und damit ein Potential zwischen der Fläche (10) und der Raumladung (4) aufbauen, und welche das durch elektrostatische Kraftwirkung aus den Oberflächenzonen positiv ionisierte und durch das Potential abgelöste Material in einer für einen benötigten Schub erforderlichen Menge beschleunigen.



Ionentriebwerk

Die Erfindung betrifft ein Ionentriebwerk für Objekte im Weltraum, vorzugsweise in Form von Raumfahrzeugen. Hierbei müssen sich die Objekte, beispielsweise die Raumfahrzeuge, im Weltraum in Gegenden befinden, in denen sich wegen fehlender atmosphärischer und plasmatischer Einflüsse sonnenbestrahlte Oberflächen positiv aufladen.

Bekanntlich erfahren Kometen beim Ausstoßen von Staub und Gas nichtgravitatische Kräfte, was beispielsweise auch wieder bei der Auswertung von Beobachtungen und zahlreichen Meßdaten am Kometen Halley bestätigt worden ist. Ein derartiger Materialausstoß beispielsweise an einem Kometen wird von elektrostatischen Kräften stark beeinflusst, wenn nicht sogar überhaupt erst ausgelöst. Die Erzeugung von solchen nichtgravitativen Kräften beispielsweise an Raumfahrzeugen kann zu deren Antrieb ausgenutzt werden.

Die Entwicklung und der Bau von elektrischen bzw. elektronischen Triebwerken hat in einer Anzahl Ländern, beispielsweise in den U.S.A., der UdSSR, in Japan, der Bundesrepublik Deutschland und in verschiedenen anderen Ländern zu anwendungsreifen und anwendungsfähigen Produkten geführt. Alle diese Einrichtungen weisen im allgemeinen eine Ionenquelle, ein zwischen der Ionenquelle und einem Beschleunigungsgitter aufgebautes Potential sowie eine Elektronenquelle zur Neutralisation eines Ionenstrahls auf. Als Treibstoff wird hier in vielen Fällen Quecksilber benutzt. Triebwerke dieser Art beziehen ihre Energie aus einem Bordnetz, welches aus leistungsfähigen Stromquellen, beispielsweise in Form von Solarzellen, radiothermischen Generatoren u.ä., gespeist wird. Hierbei hängen die erzielbaren Schübe von der zur Verfügung stehenden und damit anlegbaren Spannung ab. In der Praxis werden mit solchen Triebwerken Schübe bis etwa 1 N erreicht. Hierbei sind die Hauptnachteile der bisher zum Einsatz gekommenen Triebwerke insbesondere deren hohe Erstherstellungskosten, die unter anderem auf die sehr leistungsfähigen Stromquellen zurückzuführen sind.

Ziel der Erfindung ist es daher, ein besonders, kostengünstig herstellbares Ionentriebwerk zu schaffen, das weitgehend wartungsfrei und ausgesprochen zuverlässig arbeitet. Gemäß der Erfindung ist dies bei einem Ionentriebwerk für Objekte im Weltraum, vorzugsweise in Form von Raumfahrzeugen, durch die Merkmale in Anspruch 1 erreicht. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen.

Nachstehend wird die Erfindung anhand einer bevorzugten vorteilhaften Ausführungsform in Bezug auf die anliegenden Zeichnungen im einzelnen beschrieben. Es zeigen:

Fig.1 eine schematische prinzipielle Darstellung einer vorteilhaften Ausbildung eines Teils einer Oberfläche eines Raumfahrzeugs;

Fig. 2 eine Schnittansicht entlang einer Linie II - II in Fig.1, und

Fig.3a bis c Ausführungsformen von verstellbaren Blendenanordnungen.

Bei dem erfindungsgemäßen Ionentriebwerk ist davon ausgegangen, daß die Aufladung eines Raumfahrzeugs durch die - im Weltraum ungestört vorhandene - Bestrahlung durch die Sonne zum Aufbau eines Ionenbeschleunigenden Potentials ausnützbare ist. Wie in Fig.1 schematisch dargestellt, ist beispielsweise eine Fläche 10 eines Raumfahrzeugs 1 einer ständigen Bestrahlung durch eine nur angedeutete Sonne S ausgesetzt. Hierbei ist in Fig.1 die Oberfläche des Raumfahrzeugs 1 hell wiedergegeben, während durch schraffierte, beliebig geformte Bereiche 21₁ bis 21_n von Oberflächenzonen 20₁ bis 20_n für einen Austritt von durch die Sonnenbestrahlung positiv geladenen Materieteilchen bezeichnet sind, welche mit einem leicht ablösbaren und ionisierbaren Material 3 in Form von kleinsten Partikeln, wie vorzugsweise Staubpartikeln, oder in Form von leicht verdampfbarem Gas in einer ausreichenden Menge vorgesehen sind.

Form, Anzahl und Größe der staubführenden Oberflächenzonen 20₁ bis 20_n sind beliebig. Ebenso kann auch die gesamte Oberfläche 10 des Raumfahrzeugs 1 durch Staubträger ausgebildet sein, sofern sichergestellt ist, daß das zur Beschleunigung benötigte Potential nicht durch einen zu großen Teilchenstrom zusammenbricht, sondern aufrechterhalten werden kann. Hierbei eignen sich als Staubteilchen beispielsweise Makromoleküle (Polyvinyl, Polypeptid, usw.) geringer gegenseitiger Adhäsion, welche leicht ionisierbar sind.

Bei einem Kometen bestehen die Staubteilchen überwiegend aus C-H-O-N-Verbindung unterschiedlichen chemischen Aufbaus. Auch Silikatteilchen, Metallpartikel usw. kommen vor. Die meisten dieser Teilchen haben ein Äquivalent-Molekulargewicht von $> 10\,000$, bzw. eine Masse m von $m \leq 10^{-20}$ kg. Obwohl die Verwendung anderer Teilchen bei der Erfindung nicht ausgeschlossen werden soll, wird die Verwendung von Staubteilchen dieser Art bevorzugt.

Bei dieser Ausbildung des erfindungsgemäßen Ionentriebwerks werden dann von der sonnenbestrahlten Fläche 10 sowohl des Fahrzeugs 1 als auch der Staubpartikel Photoelektronen freigesetzt, welche vor dieser Fläche 10 eine Raumladung 4 und damit ein Potential zwischen der Fläche 10 und der Raumladung 4 aufbauen, und welche das

durch elektrostatische Kraftwirkung auf den Oberflächenzonen 20₁ bis 20₄ positiv ionisierte und durch das Potential abgelöste Material 3 in einer für einen benötigten Schub erforderlichen Menge beschleunigen. Hierbei ist in Fig.2 die Richtung beispielsweise von beschleunigtem Staub durch senkrecht zur Oberfläche 10 verlaufende Pfeile 5 angedeutet. In, unter oder über den Oberflächenzonen 20₁ bis 20_n können beispielsweise Staubbehälter 22₁ bis 22_n vorgesehen sein, an welche, falls erforderlich, vorzugsweise vom Inneren des Fahrzeugs 1 aus Staubpartikel u.ä. nachgeliefert werden.

In Fig.2 ist an der Oberseite von zwei schematisch wiedergegebenen Staubbehältern 22₂ und 22₃ eine gestrichelt eingezeichnete strahlungs- und staubdurchlässige Abdeckung der Staubbehälter, beispielsweise in Form von Gittern eingetragen. Eine derartige Abdeckung kann auch beispielsweise als eine in Fig.3a bis 3c schematisch dargestellte, verschließbare Blendenanordnung ausgebildet sein, falls die Schubstärke des erfindungsgemäßen Ionentriebwerks entsprechend steuerbar sein soll.

Solche Blendenanordnungen zur Variation der Schubstärke können beliebig ausgeführt sein. Sie können beispielsweise die Form von Lochblenden haben, wie bei Kameraobjektiven üblich ist. Sie können jedoch beispielsweise auch, wie in Fig.3a schematisch dargestellt ist, die Form von gegenseitig verschiebbaren, beispielsweise rechteckigen Blenden 6₁ haben, deren Verschiebbarkeit bezüglich der Öffnung 21₁ durch oberhalb der Blende 6₁ eingetragene Pfeile angedeutet ist.

Ferner können solche Blendenanordnungen, wie schematisch in Fig.3b angedeutet ist, als halbkreisförmige Blendenteile 6₃ ausgeführt sein, welche zum ganzen oder teilweise Abdecken beispielsweise der Öffnung 21₃ in eine durch die oberhalb und unterhalb der Blendenteil 6₃ angedeuteten Richtungen verschwenkbar sind. Darüber hinaus kann eine Blendenanordnung, wie in Fig.3c angedeutet ist, auch als ein rechteckiges Blendenteil 6₂ ausgebildet sein, das in einer durch einen oberhalb des Blendenteils 6₂ eingetragenen Pfeil angezeigten Richtung über die Öffnung 21₂ schiebbar ist.

Ferner können auch sogenannte Rasterblenden verwendet werden. Falls die Blendenanordnungen 6₁ bis 6₃ Teile darunterliegender staubfreier Bereiche abdecken, wenn sie ganz oder teilweise offen stehen, wird dadurch die Erzeugung von Ladungen nicht beeinflusst, weil auch von der Oberfläche der Blendenanordnungen 6₁ bis 6₃ Selbstladungen abgegeben werden.

Wenn die der Bestrahlung durch die Sonne S ausgesetzte Fläche 10 die Größe F hat, beträgt die erreichbare Bestrahlungsleistung $I = I_0 \cdot F \cdot \cos \alpha$, wobei I_0 die Solarkonstante und α der Einfallswinkel

der Sonnenstrahlung, d.h. die Abweichung von der vertikalen Sonnenbestrahlung auf die Fläche F ist.

Hierbei führt der UV-Anteil η dieser Sonnenstrahlung über den sogenannten äußeren Photoeffekt zur Ablösung von Elektronen, d.h. zur positiven Aufladung der Fläche F und dadurch zur Bildung einer Raumladung 4 vor der sonnenbeschienenen Seite der Fläche F (10). Hierdurch entsteht ein Potential U. Das Potential U hat dann ein Maximum, wenn keine schuberzeugenden Ionen freigesetzt werden. Je mehr Ionen beschleunigt werden, desto stärker nimmt jedoch das Potential ab. Das anzustrebende Optimum hängt nicht nur von dem Flächenverhältnis der Oberflächenzonen 20₁ bis 20_n, beispielsweise in Form von Vertiefungen 2 oder von Erhöhungen 7, zu der gesamten, sonnenbestrahlten Fläche 10 ab, sondern auch von verschiedenen Materialien, wie zum Beispiel der Metalloberfläche, der Staubbeseitigung, usw.. Öffnungen 21₂ in Erhöhungen 7 bieten sogar den Vorteil, daß dort die elektrische Feldstärke etwas höher ist als über der glatten Oberfläche 10. Das heißt, wegen der dort herrschenden größeren Kraftwirkung auf die Staubpartikel erhöht sich entsprechend der Teilchenfluß. Im Extremfall könnte sogar eine Spitze genommen werden, um das elektrische Feld maximal werden zu lassen. Allerdings erhöht sich dadurch die Gesamtleistung des Treibwerks nicht.

Enthält nun die Fläche F eine Anzahl Oberflächenzonen 20₁ bis 20₄ in Form von Vertiefungen 2 oder von Erhöhungen 7, mit einem leicht ablösbar und ionisierbaren Material 3, beispielsweise in Form von kleinsten Staubpartikeln oder mit leicht verdampfbarem Gas, so wird dieses "Material" (3) in Richtung eines Feldes $E = -\text{grad } U$ beschleunigt. Eine erreichbare Geschwindigkeit v eines Teilchens der Masse m ist dann

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = Z \cdot e \cdot U \quad (1)$$

wenn e die Elementarladung und Z die Ladungszahl des Teilchens bedeuten. Durch Auflösen von Gl.(1) ergibt sich für die erreichbare Geschwindigkeit v

$$v = (2 \cdot Z \cdot e \cdot U / m)^{1/2} \quad (2)$$

mit einem Impuls P von

$$P = m \cdot v = (2 \cdot m \cdot Z \cdot e \cdot U)^{1/2} \quad (3)$$

Wenn nun pro Sekunde N Teilchen auf diese Weise beschleunigt werden, so wird auf das Raumfahrzeug 1, welches die sonnenbeschienene Fläche F aufweist, eine beschleunigende Kraft K übertragen, und zwar

$$K = N \cdot m \cdot v = N \cdot (2 \cdot m \cdot Z \cdot e \cdot U)^{1/2} \quad (4)$$

Zur Aufrechterhaltung des Potentials U ist jedoch eine ständige Nachlieferung von Photoelektronen eine notwendige Voraussetzung. Mit einer Austrittsarbeit A für die Photoelektronen ergibt sich dann zur Aufrechterhaltung des Potentials U :

$$I = I_0 \cdot \eta \cdot F \cdot \cos \alpha = N_e \cdot (e \cdot U + A) > N \cdot m \cdot v^2 / 2 \quad (5)$$

Da für die Masse m_e eines Elektrons in Relation zu der Masse m von Material- oder Gaspartikeln die Beziehung gilt $m \gg m_e$, beschleunigen die Ionen beim Durchdringen der Raumladung ihrerseits Elektronen, und es entsteht somit ein quasi-neutraler Plasmastrahl.

Beispielsweise kann durch Einsetzen von entsprechenden Zahlenwerten in die vorstehend wiedergegebenen Gl.'en 1 bis 5, der erreichbare Schub abgeschätzt werden.

Nach Isensee und Maassberg (Adv. Space Res. 1, 413 - 416, (1981) erreicht eine Sonde in einem Abstand von einer Astronomischen Einheit (1AE = 150 Mio km) von der Sonne ein Potential von $U = +3,8V$. Wird nun $Z = 1$ und $m \approx 10^{-20}$ kg (feinster Staub) gewählt, so ergibt sich $v \approx 11$ m.s $^{-1}$.

Ein einzelnes Teilchen hat somit einen Impuls von $P = 1,1 \times 10^{-19}$ N.s. Die Solarkonstante in 1 AE beträgt $1,4 \times 10^3$ W.m $^{-2}$. Bei senkrechter Bestrahlung und mit $\eta = 10^{-2}$ ergibt sich $I = 14$ W. Mit $U_0 = A/e \approx 4V$ wird dann $N_e \approx 10^{19}$ m $^{-2}$.s $^{-1}$ und somit $N \leq 10^{19}$ m $^{-2}$.s $^{-1}$ erhalten. Dabei ist jedoch der Quantenwirkungsgrad η noch nicht berücksichtigt. Er liegt für technische Oberflächen zwischen 1 und 10%.

Wenn das Verhältnis Fläche der Vertiefungen 2_1 bis 2_n für ionisierte Teilchen zu Gesamtfläche zu 10% gewählt wird, ergibt sich -bezogen auf die Gesamtfläche - somit $N \approx 10^{16}$ m $^{-2}$.s $^{-1}$.

Es wird dann bei einem Treibstoffverbrauch (beispielsweise feinsten Staub) von $N \cdot m \approx 0,1$ g.m $^{-2}$.s $^{-1}$ eine beschleunigende Rückstoßkraft von $K \approx 10^{-3}$ N.m $^{-2}$ erhalten. Dem entspricht bei Staub der Dichte $\rho = 1000$ kg.m $^{-3}$ eine Abtragsrate auf einer Fläche von $0,1$ m 2 pro 1 m 2 Grundfläche von 10^{-3} mm.s $^{-1}$. Mit einem weißen Sonnensegel wird dagegen nur ein Schub von ungefähr 10^{-5} N.m $^{-2}$ erreicht.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung läßt sich der Schub eines passiven Ionentriebwerks gemäß der Erfindung in einfacher Weise dadurch verändern, daß über der sonnenbestrahlten Fläche 10 eine in der Neigung verstellbare, jedoch nicht näher dargestellte Blendenanordnung angebracht ist. Durch die Änderung der Neigung der Fläche 10 gegenüber der Richtung der Sonneneinstrahlung (Winkel α) wird eine Rich-

tungssteuerung des Schubs und zwar auf Kosten einer Schubverminderung um den Faktor $\cos \alpha$ erreicht, wobei auch hier der Winkel α die Neigung der bestrahlten Fläche F (10) gegenüber der senkrechten Sonneneinstrahlung angibt.

Bei der praktischen Ausführung passiver Ionentriebwerke gemäß der Erfindung können die die Ionen liefernden Zonen 20_1 bis 20_n in der sonnenbestrahlten Fläche 10 etwa rund oder auch eckig sein, wie in Fig.1 angedeutet ist. Obwohl möglichst ebene Flächen vorzuziehen sind, sind durchaus auch gekrümmte oder gewundene Flächen mit den erforderlichen Abmessungen in Abhängigkeit von dem benötigten bzw. zu erzielenden Schub möglich.

Auch die Farbe der sonnenbestrahlten Flächen 10 spielt insofern eine Rolle, als durch die Farbe der Flächen 10 unmittelbar deren Temperatur bestimmt wird und damit auch die Austrittsarbeit A der Elektronen unmittelbar beeinflusst wird. Ferner spielt für die Verdampfungsrate des als Treibstoff gewählten, ionisierbaren Stoffes 3, beispielsweise feinsten Staub aus organischen oder anorganischen Materialien, die Temperatur eine wichtige Rolle.

Obwohl die Anzahl und die Gestaltung einer oder mehrerer Zonen 20_1 bis 20_n in der sonnenbestrahlten Fläche, welche der Aufnahme des Treibstoffmaterials 3 in Form von leicht ablösbaren und damit ionisierbaren Materialpartikeln oder Gaspartikeln dienen, weitgehend beliebig ist, sollte gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung die kontinuierliche Versorgung oder Beschickung dieser Zonen 20_1 bis 20_n , die beispielsweise die Form von Erhöhungen 7 oder von Vertiefungen 2_1 bis 2_n der sonnenbestrahlten Fläche haben können, vom Inneren des Raumfahrzeugs 1 aus erfolgen.

Genauso sollte die in ihrer Form, Anordnung und Ausführung weitgehend beliebige Gestaltung der Blendenanordnung 6_1 bis 6_3 zur Minderung und Steuerung der Schubkraft des passiven Triebwerks vom Raumfahrzeug 1 aus erfolgen, wobei die entsprechenden Steuerbefehle entweder per Funk übermittelt oder an Bord automatisch ermittelt werden.

Ansprüche

1. Ionentriebwerk für Objekte im Weltraum, vorzugsweise in Form von Raumfahrzeugen, dadurch gekennzeichnet, daß in einer sonnenbestrahlten Fläche (10) des Raumfahrzeugs (1) Oberflächenzonen (20_1 bis 20_n) mit einem leicht ablösbaren und ionisierbaren Material (3) in Form von kleinsten Partikeln, wie vorzugsweise Staubpartikeln, oder in Form von entsprechend leicht verdampfbarem Gas in einer ausreichenden Menge vorgesehen sind, so daß von der sonnenbestrahlten Fläche (10) des

Raumfahrzeugs (1) und von der bestrahlten Oberfläche der Staubpartikel Photoelektronen freigesetzt werden, die vor dieser Fläche (10) eine Raumladung (4) und damit ein Potential zwischen der Fläche (10) und der Raumladung (4) aufbauen, und das durch elektrostatische Kraftwirkung aus den Oberflächenzonen (20_1 bis 20_n) positiv ionisierte und durch das Potential abgelöste Material (3) in einer für einen benötigten Schub erforderliche Menge beschleunigen.

5

10

2. Ionentriebwerk nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, daß eine für den benötigten Schub erforderliche Menge an leicht ablösbaren, ionisierten Staubpartikeln (3) oder leicht verdampfbaren Gasionen (3) den in der sonnenbestrahlten Fläche (10) ausgebildeten Zonen (20_1 bis 20_n) kontinuierlich nachgeliefert wird.

15

3. Ionentriebwerk nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Zonen (20_1 bis 20_n) in der sonnenbestrahlten Fläche (10) in Form von Vertiefungen (2) oder Erhöhungen (7) mit entsprechenden Formen und Abmessungen ausgebildet sind, und daß die Zonen (20_1 bis 20_n) in der sonnenbestrahlten Fläche (10) von Inneren des Raumfahrzeugs (1) aus kontinuierlich mit leicht ablösbaren und ionisierbaren Materialpartikeln (3) oder leicht verdampfbarem und ionisierbarem Gas (3) versorgbar sind.

20

25

4. Ionentriebwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch **gekennzeichnet**, daß zur Änderung und damit Steuerung des Triebwerkschubs die Größe der ionisierte Partikel liefernden Oberflächenzonen (20_1 bis 20_n) durch eine Blendenanordnung (6_1 bis 6_3) variierbar ist.

30

5. Ionentriebwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch **gekennzeichnet**, daß zur Änderung der Schubrichtung des Triebwerks die gesamte sonnenbestrahlte Fläche (10) einschließlich deren ionisierte Partikel liefernden Vertiefungen (2) oder Erhöhungen (7) um einen Winkel $< 90^\circ$ gegenüber der Normalenstellung zur Sonnenstrahlrichtung drehbar ist, wobei die Bestrahlungsstärke und der davon abhängige geringere Schub durch Öffnen von Blenden der Blendenanordnung (6_1 bis 6_3) völlig oder teilweise kompensierbar ist.

35

40

45

50

55

Fig. 1

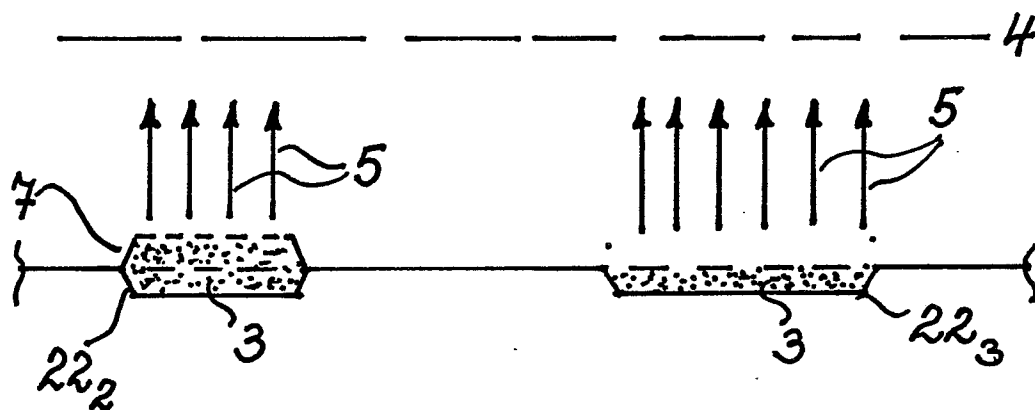
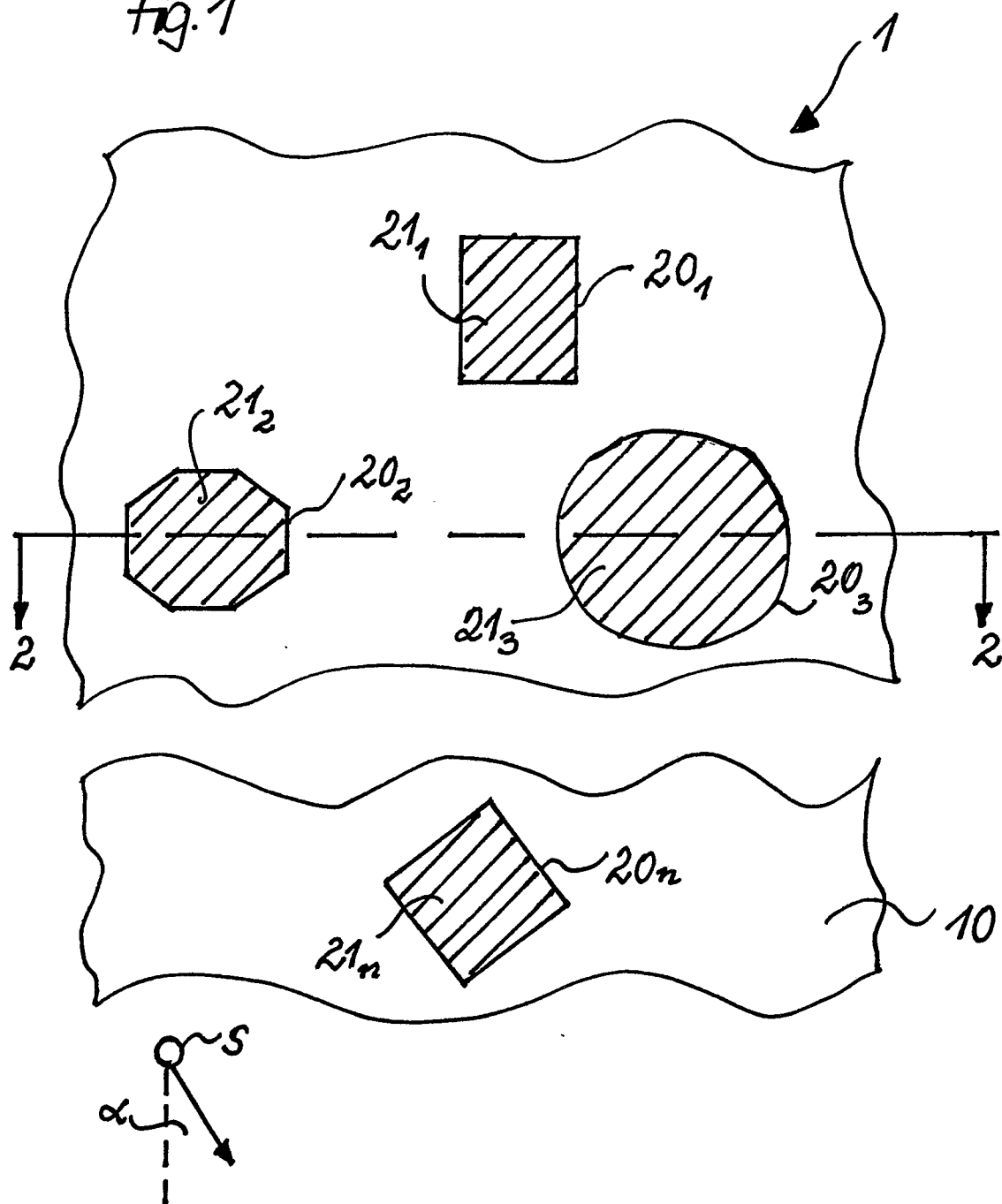


Fig. 2

Fig. 3a

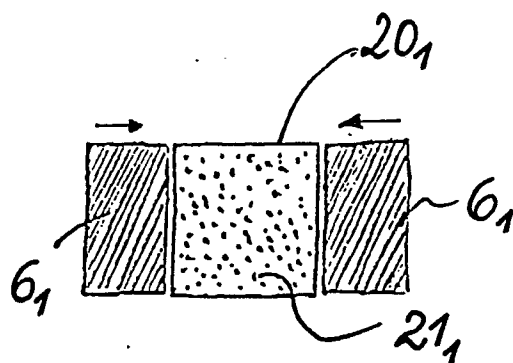


Fig. 3b

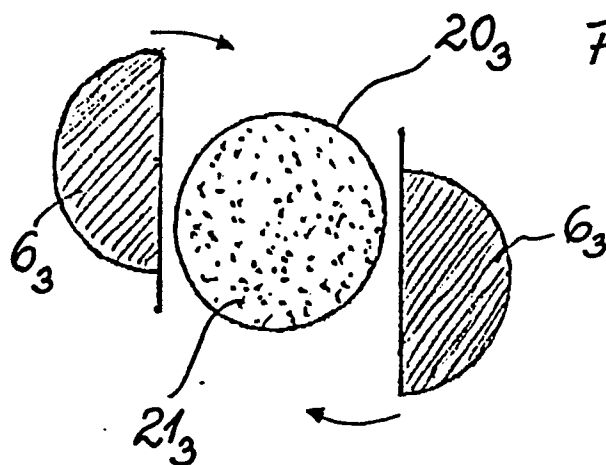


Fig. 3c

