

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt: 79400855.7

(51) Int. Cl.³: **G 21 K 1/08**
H 05 H 7/00, H 01 J 23/18

(22) Date de dépôt: 13.11.79

(30) Priorité: 23.11.78 FR 7833103

(43) Date de publication de la demande:
11.06.80 Bulletin 80/12

(84) Etats Contractants Désignés:
CH DE GB NL

(71) Demandeur: COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE Etablissement de Caractère Scientifique
Technique et Industriel
31/33, rue de la Fédération
F-75015 Paris(FR)

(72) Inventeur: Pottier, Jacques
50 rue de Châteaufort
F-91400 Orsay(FR)

(74) Mandataire: Mongredien, André et al,
c/o Brevatome 25, rue de Ponthieu
F-75008 Paris(FR)

(54) **Groupeur-dégroupeur de faisceaux d'ions à intervalles dissymétriques et fonctionnant dans une large gamme de vitesse.**

(57) Groupeur-dégroupeur de faisceau d'ions, comprenant deux intervalles (I_1 , I_2) d'interaction définis par un tube de glissement (22) et des conduits d'entrée (20) et de sortie (24), fortement dissymétriques, l'un des deux intervalles offrant au faisceau d'ions un champ électrique très inférieur à ce qu'offre l'autre intervalle, l'action exercée dans ledit intervalle par le champ électrique sur les ions étant alors négligeable devant celle qui est exercée dans l'autre intervalle.

Application aux installations d'accélération d'ions.

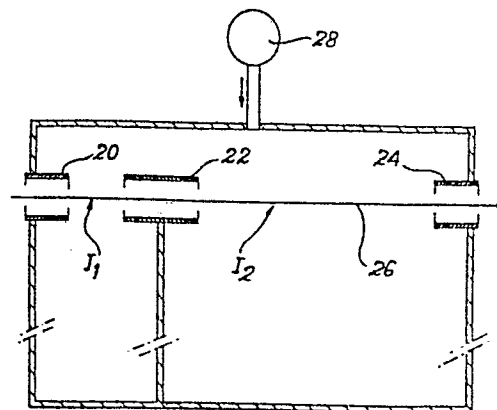


FIG. 4

La présente invention a pour objet un groupeur-dégroupeur de faisceau d'ions, à intervalles dissymétriques, et fonctionnant dans une large gamme de vitesse. Elle trouve une application dans les installations d'accélération d'ions.

On sait qu'un groupeur ou un dégroupéur de faisceau d'ions est constitué par une structure résonnante alimentée par une source haute fréquence ou hyperfréquence, et traversée par un faisceau d'ions de telle sorte que le champ électrique établi dans la structure module la vitesse des ions de manière appropriée.

Dans un groupeur, la modulation sur la vitesse a pour effet d'accélérer davantage les ions lents que les ions rapides, ce qui permet un regroupement en paquet de faible étendue spatiale à une distance déterminée du groupeur ; les vitesses des différents ions constituant un paquet sont alors distribuées dans une plage élargie. Les groupeurs sont utilisés dans les systèmes d'accélération d'ions lorsqu'on veut procéder, par exemple, à des expériences de temps de vol ou à toute injection dans un accélérateur haute fréquence.

Dans un dégroupéur, la modulation a pour effet d'augmenter les vitesses faibles et de réduire les vitesses élevées, ce qui permet de diminuer la dispersion en vitesse des ions. Un tel appareil est utilisé lorsqu'on désire utiliser des ions monoénergétiques, sans préoccupation particulière sur la largeur du paquet d'ions.

Les figures 1 et 2 rappellent, dans leurs grandes lignes, les principes de construction et de fonctionnement de ces deux appareils.

Sur la partie (a) de la figure 1 est représentée une structure résonnante constituée par une paroi 2 fermée à ses deux extrémités par des faces latérales 4 et 6 traversées respectivement par des conduits d'entrée 8 et de sortie 10 d'un faisceau d'ions 12. La structure représentée comprend en outre un tube de glissement 14 relié à la paroi 2 par un support conducteur 16. Ce tube de

glissement est séparé des conduits 8 et 10 par deux intervalles I_1 et I_2 identiques. Toutes ces pièces sont conductrices et par exemple métalliques.

La partie (b) de cette même figure 1 illustre le schéma électrique de la structure représentée sur la partie (a). Ces deux conduits 8 et 10 sont reliés à la masse (ou plus généralement à un potentiel de référence) et le tube de glissement 14 est porté à une tension alternative V du fait du champ haute fréquence (ou hyperfréquence) qui règne dans la structure (cette tension V étant comptée à partir dudit potentiel de référence). Les intervalles I_1 et I_2 présentent chacun une longueur l et leurs centres sont distants de la longueur L . Un même champ électrique moyen V/l règne donc dans ces deux intervalles.

Les schémas de la figure 2 illustrent le fonctionnement du dispositif de la figure 1. Les ions de vitesse moyenne pénètrent dans l'intervalle I_1 à l'instant t_0 (partie a), la distance z qu'ils parcourent est portée en ordonnées en fonction des temps figurant en abscisse. Ces ions sont soumis (b) à un champ électrique E_0 pendant leur traversée de l'intervalle I_1 , ce champ modifiant légèrement leur vitesse, (cette modification de vitesse est en général faible devant la vitesse proprement dite). Des ions plus rapides que les précédents ont atteint l'intervalle I_1 à l'instant t_1 antérieur à t_0 . Ils sont soumis à un champ E_1 plus faible que E_0 . Inversement, des ions plus lents n'atteignent l'intervalle I_1 qu'à l'instant $t_2 > t_0$ et ces derniers voient un champ E_2 plus intense que E_0 . Les grandeurs relatives des champs sont donc telles que les ions les plus lents vont pouvoir rejoindre les ions les plus rapides : c'est le fonctionnement en groupeur.

Ce mécanisme suppose évidemment que le champ électrique croisse dans le temps de façon appropriée. En pratique, on n'utilise que rarement la modulation idéale qui serait linéaire, mais plutôt une modulation sinusoïdale ou une somme de modulations sinusoïdales beaucoup

plus facile à obtenir, cette modulation n'étant utilisée que sur une partie sensiblement linéaire. Les ions qui pénètrent dans l'intervalle I_1 à des périodes où le champ ne présente pas la variation appropriée ne sont évidemment pas regroupés. Mais, pour les autres, on observe un regroupement à une distance z_0 de l'intervalle I_1 .

Dans un dégroupueur d'ions, le mécanisme est analogue à cette différence qu'il tend à réduire le déficit en énergie des ions lents et à réduire l'excès d'énergie des ions rapides. Un dégroupueur placé à une distance z reçoit des ions à l'instant t'_0 et leur applique un champ E'_0 . Des ions plus rapides ont atteint l'intervalle d'interaction du dégroupueur à l'instant t'_1 antérieur à t'_0 . Ils sont soumis à un champ E'_1 plus faible que E'_0 . Quant aux ions plus lents, qui atteignent le dégroupueur en t'_2 , ils voient dans l'intervalle d'interaction un champ E'_2 supérieur à E'_0 . A la sortie du dégroupueur, les ions sont animés de vitesses sensiblement égales, mais corrélativement, ils occupent une partie étendue de l'espace.

Aussi bien dans un groupeur que dans un dégroupueur, les intervalles où les ions subissent l'action du champ électrique doivent être suffisamment courts pour que le temps de transit des ions soit inférieur à la demi-période du champ. Si v est la vitesse des ions et T la période, on doit donc avoir : $1/v < \frac{T}{2}$.

A titre explicatif, on peut indiquer que les tensions que l'on rencontre habituellement dans les groupeurs de faisceaux d'ions sont définies par deux impératifs : la modulation de vitesse apportée au faisceau doit être faible devant la vitesse dudit faisceau, et la tension d'accélération doit être grande devant les fluctuations naturelles du faisceau. En pratique, on utilise des tensions de l'ordre de quelques dizaines de kilovolts ou moins.

Quant aux tensions utilisées dans les dégroupueurs, elles sont de l'ordre de grandeur de la dispersion en

énergie du faisceau et peuvent être comprises entre 10 kV et 100 kV environ.

Au sujet de ces appareils, on pourra consulter l'article de E.L. HUBBARD et al intitulé "Heavy-Ion Linear Accelerator" publié dans la revue "The Review of Scientific Instruments", vol. 32, N° 6, juin 1961, page 621 et l'article de J.S. SOKOLOWSKI et al intitulé "Status Report on Stanford's Superconducting Heavy Ion Linear Project" publié dans la revue "IEEE Transactions on Nuclear Science", vol NS-24, N°3, juin 1977, page 1141, et enfin l'article de B. CORK intitulé "Proton Linear Accelerator Injector for the Bevatron" et publié dans la revue "The Review of Scientific Instruments" vol. 26, N° 2, février 1955, page 210.

Ces généralités ayant été rappelées, il est possible de définir l'invention par rapport à l'art antérieur. La structure représentée sur la figure 1 est, parmi les structures connues, celle qui se rapproche le plus de l'invention. On peut considérer qu'elle est formée d'une première partie constituée par le tube 16, les faces 4 et 6 et la paroi 2, cette partie étant équivalente à une ligne résonnante en $\lambda/4$, si λ est la longueur d'onde du champ électromagnétique introduit dans la structure et d'une seconde partie constituée par les intervalles I_1 et I_2 qui sont des zones de nature capacitive.

L'intérêt d'une telle structure est de présenter un encombrement faible (inférieur à $\lambda/4$) alors que pour les structures à un seul intervalle d'interaction, les dimensions sont de l'ordre de $\lambda/2$, ce qui devient prohibitif pour des fréquences de travail inférieures à 100 MHz (la demi-longueur d'onde est alors égale à 1,5m).

Cette structure de l'art antérieur nécessite que les actions exercées par le champ électrique sur les ions dans les deux intervalles d'interaction soient cumulatives. Cela implique que les ions parcourent la distance L séparant ces deux intervalles en un temps qui est un

multiple impair de la demi-période T du champ. Cette structure de l'art antérieur ne fonctionne donc correctement que si les ions sont animés d'une vitesse voisine de $2L/T$ (ou d'un multiple de cette vitesse).

5 Cette contrainte imposée à la vitesse des ions est gênante dans la plupart des applications des groupeurs et dégroupesurs. En effet, ces appareils sont utilisés en général dans des installations comprenant, par exemple et successivement, une source d'ions, un injecteur,
10 un premier accélérateur (de type Van de Graaf par exemple), un second accélérateur (de type linéaire par exemple). Or, dans de telles installations, il est fréquent d'avoir à faire varier l'énergie des ions, ce qui revient à modifier leur vitesse, ou de passer d'un type d'ions à un
15 autre à énergie constante, ce qui entraîne encore une modification de leur vitesse.

 Il n'est donc pas possible d'utiliser les appareils décrits dans tous les cas et ils doivent être modifiés dans leur dimension en fonction des besoins,
20 ce qui est peu commode.

 Certes, on connaît des dispositifs à un seul intervalle d'accélération qui ne présentent pas cet inconvénient du fait même de l'unicité de cet intervalle. Mais comme cela a déjà été souligné plus haut, ces dispositifs présentent un inconvénient majeur du fait de leur encombrement qui est d'autant plus grand que la fréquence est basse.
25

 L'invention a justement pour objet un groupeur-dégroupeur qui remédie simultanément à ces deux inconvénients. A cette fin, le groupeur-dégroupeur de l'invention est du genre de ceux qui comprennent deux intervalles et, à ce titre, il bénéficie de l'avantage offert par cette famille de dispositifs, à savoir un encombrement faible. Par ailleurs, le groupeur-dégroupeur de l'invention ne
30 présente pas l'inconvénient d'avoir une plage de vitesse
35

étroite et cela grâce à une disposition originale des deux intervalles d'interaction.

Le groupeur-dégroupeur de l'invention peut donc fonctionner dans une large gamme de vitesses tout en présentant un faible encombrement.

Ce double but est atteint par l'utilisation de deux intervalles qui ne sont plus symétriques, comme dans l'art antérieur, mais au contraire très dissymétriques, l'un d'eux étant le siège d'un champ électrique qui est faible par rapport au champ qui règne dans l'autre. La contribution de cet intervalle dans le processus de modulation de vitesse est alors négligeable devant celle de l'autre intervalle. Il en résulte que la condition sur le caractère cumulatif des deux actions exercées par le champ dans les deux intervalles disparaît et avec elle, la contrainte sur le temps de parcours des ions d'un intervalle à l'autre.

De façon plus précise, la présente invention a pour objet un groupeur-dégroupeur de faisceau d'ions, du genre de ceux qui comprennent une structure résonnante alimentée par un générateur haute fréquence ou hyperfréquence, cette structure comportant une paroi cylindrique fermée par deux faces latérales traversées respectivement par un conduit d'entrée et un conduit de sortie du faisceau, et comportant un tube de glissement disposé entre lesdits conduits et définissant avec le conduit d'entrée un premier intervalle et avec le conduit de sortie un second intervalle, le faisceau d'ions étant introduit dans cette structure par le conduit d'entrée, subissant d'abord, dans le premier intervalle, une première action de la part du champ électrique qui y règne, puis parcourant le tube de glissement et subissant enfin dans le second intervalle une seconde action de la part du champ électrique qui y règne et quittant la structure par le conduit de sortie; ce groupeur-dégroupeur

est caractérisé en ce que les deux intervalles définis par le tube de glissement et les conduits d'entrée et de sortie sont fortement dissymétriques, l'un des
5 électrique très inférieur à ce qu'offre l'autre intervalle, l'action exercée dans ledit intervalle par le champ électrique sur les ions, étant alors négligeable devant celle qui est exercée dans l'autre intervalle.

Selon une première variante, le groupeur-
10 dégroupeur de l'invention est caractérisé en ce que l'intervalle à action faible présente une longueur telle qu'il est parcouru par le faisceau d'ions en un temps grand devant la demi-période de résonance de la structure.

Selon une seconde variante, le groupeur-
15 dégroupeur de l'invention est caractérisé en ce que les conduits d'entrée et de sortie ont des sections différentes, le tube de glissement présentant une forme évasée passant d'une section faible égale à celle de l'un des conduits à une section forte égale à celle de
20 l'autre conduit.

Selon une troisième variante, les deux dispositions précédentes sont combinées.

De toute façon, les caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront mieux après la description qui va suivre, d'exemples de réalisation donnés
25 à titre explicatif et nullement limitatif. Cette description se réfère à des dessins sur lesquels :

- la figure 1 représente une structure résonnante de groupeur-dégroupeur selon l'art antérieur,
- 30 - la figure 2 est un schéma explicatif du fonctionnement d'un groupeur-dégroupeur,
- la figure 3 représente un schéma électrique d'une structure résonnante de groupeur-dégroupeur selon une première variante de l'invention,
- 35 - la figure 4 représente, en coupe, une structure correspondant à ce schéma,

- la figure 5 représente schématiquement une structure résonnante de groupeur-dégroupeur selon une seconde variante de l'invention,

5 - la figure 6 représente schématiquement une structure résonnante du groupeur-dégroupeur selon une troisième variante de l'invention,

- la figure 7 représente un mode particulier de réalisation d'un groupeur-dégroupeur conforme à l'invention.

10 Les figures 1 et 2 sont relatives à l'art antérieur et ont déjà été décrites. Sur les autres figures relatives à la présente invention, il est supposé, à titre illustratif, que le premier intervalle traversé par le faisceau d'ions est l'intervalle à action prépondérante, le second intervalle intervenant de façon négligeable. Mais il va de soi que cet ordre pourrait être
15 inversé, le faisceau pouvant pénétrer d'abord dans l'intervalle à action négligeable. Par ailleurs, dans la description qui suit, il est question d'un "groupeur",
20 mais il va de soi que les structures décrites peuvent aussi bien fonctionner en dégroupueur.

Les figures 3 et 4 tout d'abord illustrent une première variante de l'invention. Sur le schéma de la figure 3, on trouve un conduit d'entrée 20, un
25 tube de glissement 22 et enfin, un tube de sortie 24. Un faisceau d'ions 26 traverse successivement ces trois éléments qui sont portés à des potentiels respectivement égaux à 0, V et 0. La structure réelle est représentée sur la figure 4. Elle est alimentée par une source 28,
30 haute fréquence ou hyperfréquence, les moyens de couplage de cette source à la structure résonnante n'étant pas représentés explicitement, car ils sont bien connus de l'homme de l'art.

Le conduit d'entrée 20 et le tube de glissement
35 22 définissent un premier intervalle I_1 , de longueur l_1

qui est le siège d'un champ électrique de valeur moyenne V/l_1 . La longueur l_1 est choisie suffisamment courte pour que le temps de transit des ions soit inférieur à la demi-période $T/2$ du champ. On a donc : $l_1 < \frac{T}{2} V$ comme dans l'art
 5 antérieur.

Le tube de glissement 22 et le conduit de sortie 24 définissent un second intervalle I_2 , de longueur l_2 beaucoup plus grande que l_1 .

Cet écart entre les longueurs l_1 et l_2 entraîne
 10 deux conséquences : la première est que le champ électrique moyen V/l_2 qui règne dans le second intervalle est beaucoup plus faible que le champ moyen V/l_1 qui règne dans le premier ; la seconde est que la longueur l_2 n'est plus petite devant $\frac{T}{2} V$ comme l'est l_1 , de sorte que le temps de transit
 15 des ions à travers cet intervalle peut atteindre ou même dépasser la période T du champ. Celui-ci change donc de direction au cours de ce transit, de sorte que son action nette sur les ions est très faible.

Ces deux particularités du champ - faiblesse de
 20 son intensité et alternance pendant la traversée des ions - contribuent à rendre son action négligeable devant celle qui est exercée dans le premier intervalle. Il en résulte que, dans un tel groupeur, la vitesse des ions n'est plus soumise à la condition évoquée plus haut à propos de l'art
 25 antérieur et qui porte sur le temps mis par les ions pour passer d'un intervalle à l'autre, l'instant où les ions pénètrent dans l'intervalle I_2 devenant en effet indifférent.

La figure 5 illustre une seconde variante de l'invention. Le dispositif représenté comprend encore un
 30 conduit d'entrée 30, un tube de glissement 32 et un conduit de sortie 34. Mais ce conduit de sortie possède une section plus grande que le conduit d'entrée. Le tube de glissement présente alors une forme évasée qui constitue une transition entre les conduits d'entrée et de sortie.

35 Sur la variante représentée, les intervalles I_1 et I_2 ont même longueur $l_1 = l_2$. Le champ électrique moyen

V/l_2 qui règne entre le tube de glissement 32 et le conduit de sortie 34 est donc le même que celui qui règne entre le conduit d'entrée 30 et le tube de glissement 32. Mais il s'agit du champ qui règne dans une zone éloignée de celle qui est traversée par le faisceau d'ions. Le champ qui agit sur les ions est en fait différent de celui qui règne au niveau du conduit de sortie. Si l'on suppose que la structure est de révolution autour de l'axe du faisceau, le champ E_0 sur cet axe est relié au champ E_a au rayon a , par la relation classique : $E_0 = E_a / I_0 \left(\frac{2\pi a}{\beta \lambda} \right)$ où I_0 est la fonction de Bessel modifiée de première espèce et d'ordre 0 et β le rapport de la vitesse v des ions à celle de la lumière et λ la longueur d'onde du champ dans le vide. Si l'on désigne par x la quantité $\frac{2\pi a}{\beta \lambda}$, le développement en série de I_0 est : $1 + \frac{x^2}{4} + \frac{x^4}{64} + \dots$

Le champ E_0 sur l'axe est donc inférieur au champ E_a (lequel est en moyenne égal à V/l_2) et peut être nettement inférieur à ce champ. Par exemple pour $\beta = 0,01$, $\lambda = 6m$ ($f = 50MHz$) et $a = 10cm$, on a $I_0 \approx 23$.

Dans cette variante, le second intervalle I_2 joue donc bien un rôle négligeable devant celui joué par I_1 , parce que le champ sur l'axe y est beaucoup plus faible que dans le premier. Ce rôle déjà effacé joué par l'intervalle I_2 peut encore être réduit dans une troisième variante, si cet intervalle est allongé, comme représenté sur la figure 6, jusqu'à présenter une longueur l_2 grande devant vT . Alors, comme dans la variante illustrée par les figures 3 et 4, le champ agit selon des directions qui varient pendant la traversée des ions, ce qui réduit son action nette.

Il va de soi que les structures qui viennent d'être décrites peuvent être de révolution ou présenter des formes autres, parallélépipédiques par exemple.

Il va également de soi qu'on peut adopter pour la cavité résonnante proprement dite, une grande variété

de formes. Elle peut être du type à ligne en $\lambda/4$ comme sur la figure 4, mais aussi à support en hélice ou en spirale, cette dernière variété étant illustrée sur la figure 7.

- 5 La structure représentée sur cette figure comprend une cavité 40, des conduits d'entrée 42 et de sortie 44, un tube de glissement 46, un conducteur spiralé 48 formant self-inductance ; les espaces compris entre le tube 46 et les conduits 42 et 44 constituent des zones capacitatives.
- 10 Cette disposition permet de diminuer sensiblement l'encombrement de la structure.

Dans tous les cas, la cavité peut être accordable par variations de certaines dimensions.

REVENDECATIONS

1. Groupeur-dégroupeur de faisceau d'ions, du genre de ceux qui comprennent une structure résonnante alimentée par un générateur haute-fréquence ou hyper-fréquence, cette structure comportant une paroi cylindrique fermée
5 par deux faces latérales traversées respectivement par un conduit d'entrée et un conduit de sortie du faisceau, et comportant un tube de glissement disposé entre lesdits conduits et définissant avec le conduit d'entrée un premier intervalle et avec le conduit de sortie un second intervalle, le faisceau d'ions étant introduit dans cette structure
10 par le conduit d'entrée, subissant d'abord dans le premier intervalle une première action de la part du champ électrique qui y règne, puis parcourant le tube de glissement et subissant, dans le second intervalle, une seconde action de la part du champ électrique qui y règne et quittant la
15 structure par le conduit de sortie, caractérisé en ce que les deux intervalles définis par le tube de glissement et les conduits d'entrée et de sortie sont fortement dissymétriques, l'un des deux intervalles offrant au faisceau d'ions un champ électrique très inférieur à ce qu'offre l'autre intervalle, l'action exercée dans ledit intervalle par le champ électrique sur les ions étant alors négligeable devant celle qui est exercée dans l'autre intervalle.

2. Groupeur-dégroupeur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les conduits d'entrée et de sortie
25 ont des sections différentes, le tube de glissement présentant une forme évasée passant d'une section faible égale à celle de l'un des conduits à une section forte égale à celle de l'autre conduit.

3. Groupeur-dégroupeur selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que l'intervalle à action faible présente une longueur telle qu'il est parcouru par le faisceau d'ions en un temps grand devant la
30 demi-période de résonance de la structure.

35 4. Groupeur-dégroupeur selon l'une quelconque

des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la structure est du type en ligne quart d'onde, ou à spirale, ou à hélice, ou à self-inductance localisée.

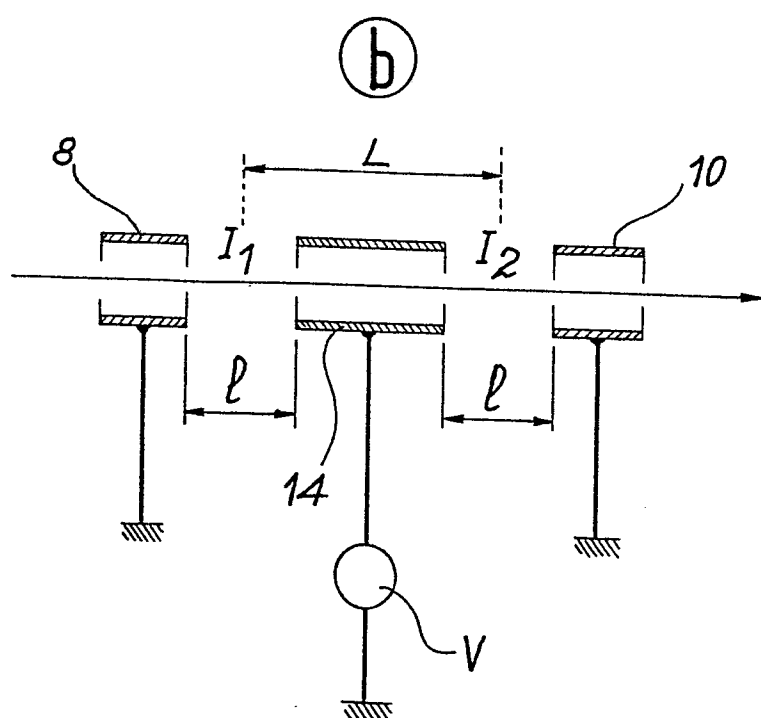
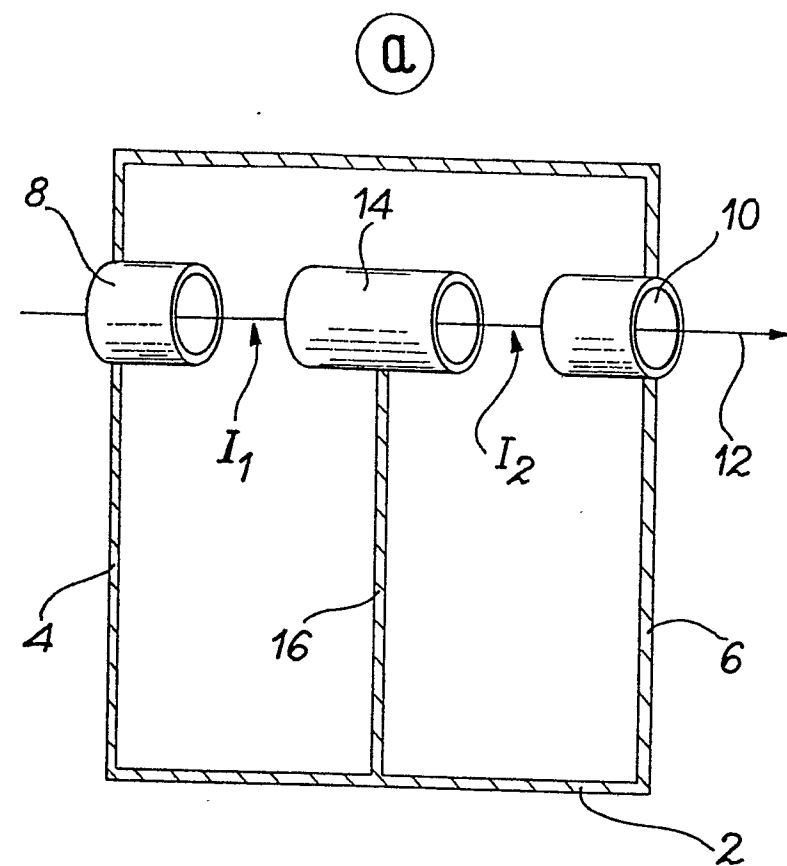


FIG. 1

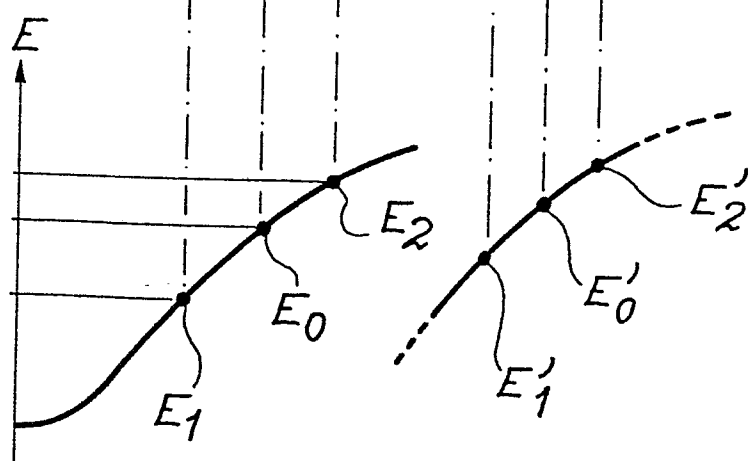
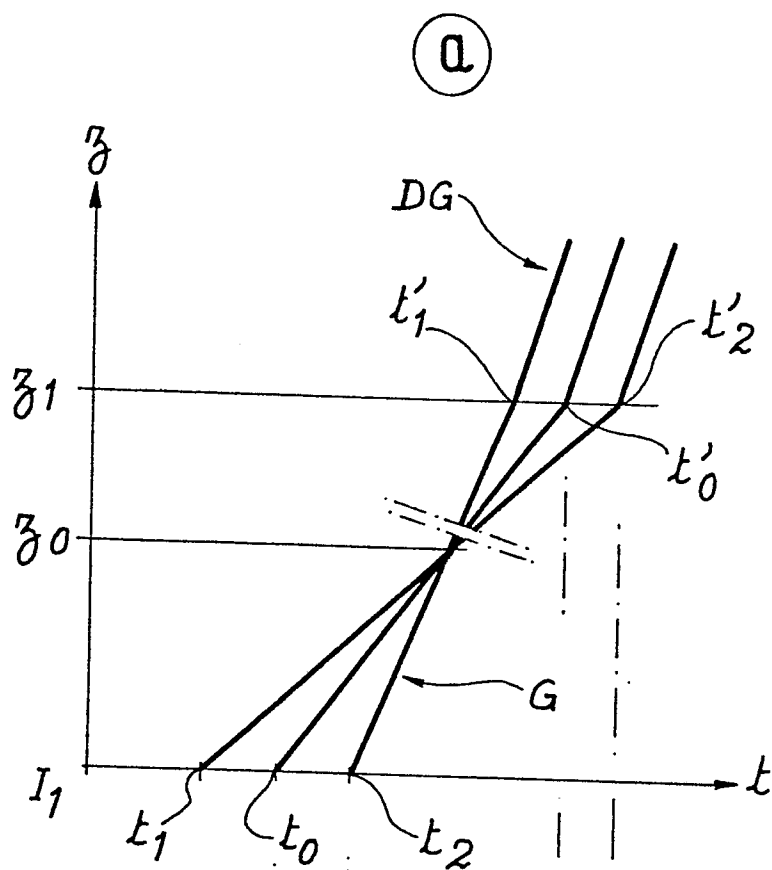


FIG. 2

(b)

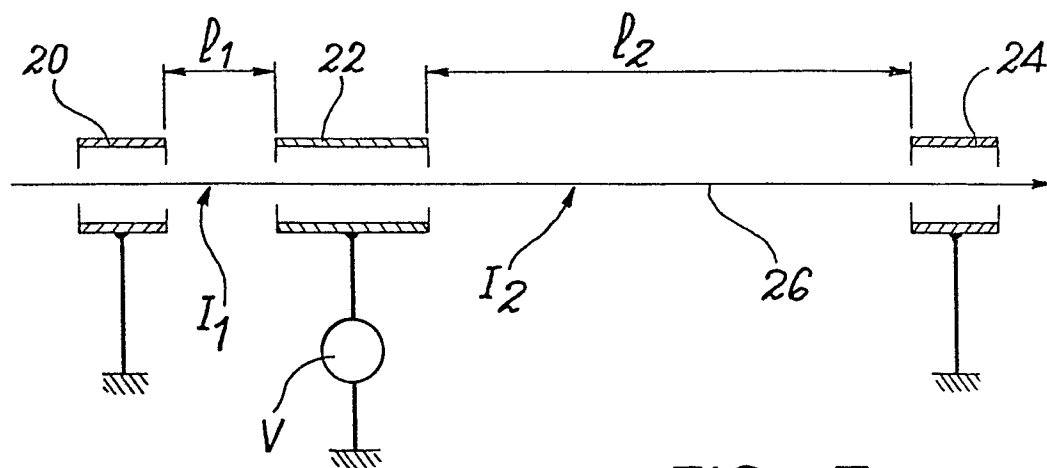


FIG. 3

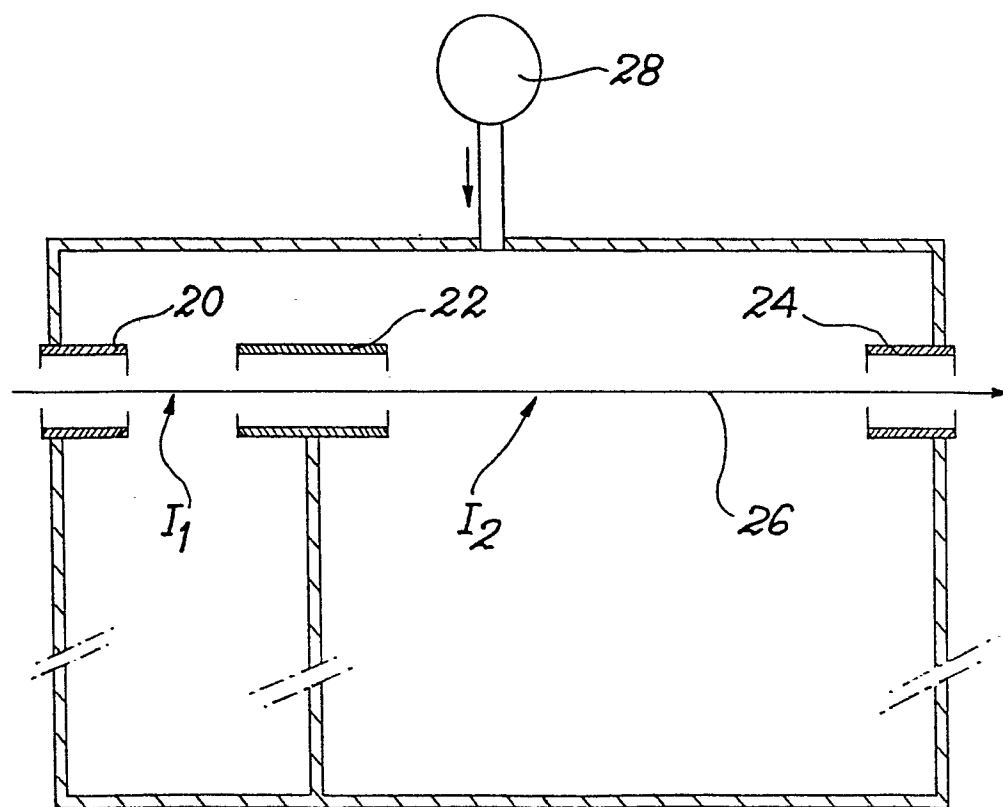


FIG. 4

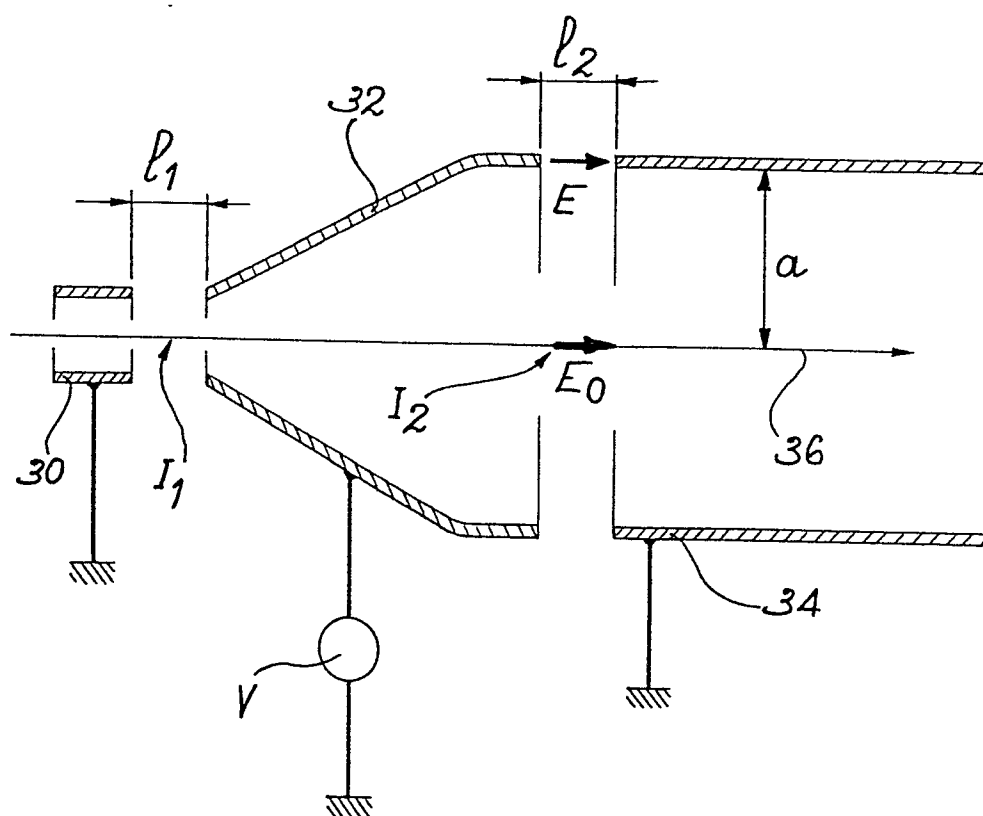


FIG. 5

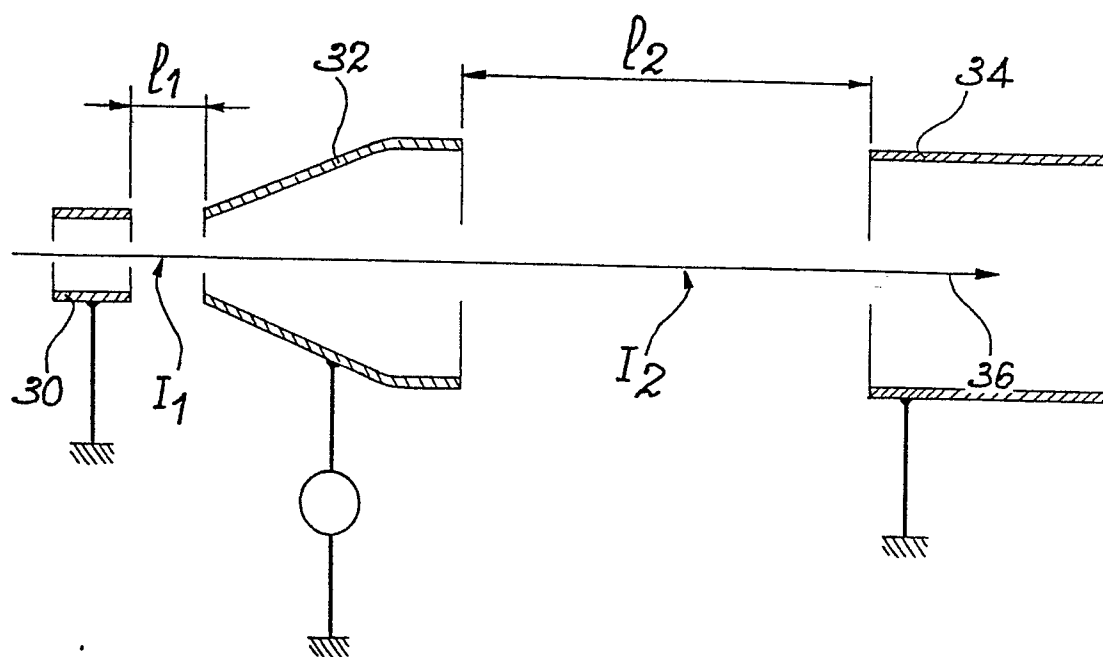


FIG. 6

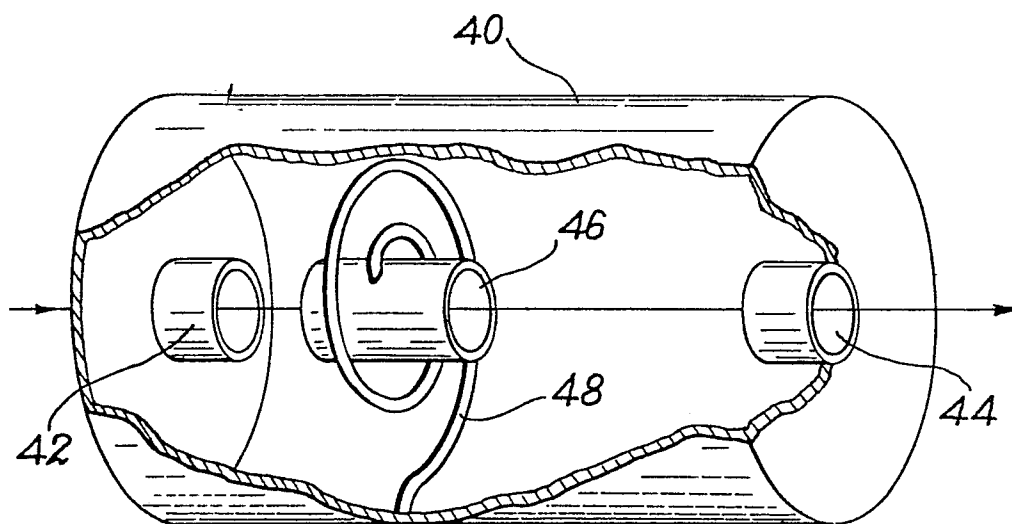


FIG. 7.



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

0012054

Numéro de la demande

EP 79 40 0855

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. ³)
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	
D	REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, vol. 32, no. 6, 1961, pages 621-634 * Page 624, colonne de droite; figure 7 * -----	1	G 21 K 1/08 H 05 H 7/00 H 01 J 23/18
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. ³)
			H 05 H 9/00 9/02 9/04 G 21 K 1/08 H 05 H 7/00 H 01 J 25/02 25/34
			CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES
			X: particulièrement pertinent A: arrière-plan technologique O: divulgation non-écrite P: document intercalaire T: théorie ou principe à la base de l'invention E: demande faisant interférence D: document cité dans la demande L: document cité pour d'autres raisons
			&: membre de la même famille. document correspondant
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 09-01-1980	Examineur CENTMAYER