

(12)

**DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(21) Numéro de dépôt: 83400978.9

(51) Int. Cl.<sup>3</sup>: H 05 H 9/04

(22) Date de dépôt: 16.05.83

(30) Priorité: 19.05.82 FR 8208786

(43) Date de publication de la demande:  
23.11.83 Bulletin 83/47

(84) Etats contractants désignés:  
BE DE FR GB NL SE

(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: Mongrédien, André et al,  
c/o BREVATOME 25, rue de Ponthieu  
F-75008 Paris(FR)

(54) Accélérateur linéaire de particules chargées comportant des tubes de glissement.

(57) L'invention a pour objet un accélérateur linéaire de particules chargées comportant des tubes de glissement.

L'accélérateur linéaire comporte, à l'intérieur d'une enveloppe conductrice (26), des tubes de glissement (14, 16) définissant entre eux des intervalles d'accélération (I), de longueur telle que, dans deux intervalles successifs, la composante longitudinale du champ électrique présente un module identique, caractérisé en ce qu'il comprend, dans chaque intervalle, au moins un tube de glissement supplémentaire (22) disposé sensiblement dans l'intervalle entre deux tubes voisins et relié électriquement à ladite enveloppe par une impédance, l'ajout de ces tubes de glissement supplémentaires (22) permettant de diminuer le diamètre des tubes de glissement et de multiplier l'impédance shunt linéique efficace de la structure de l'accélérateur.

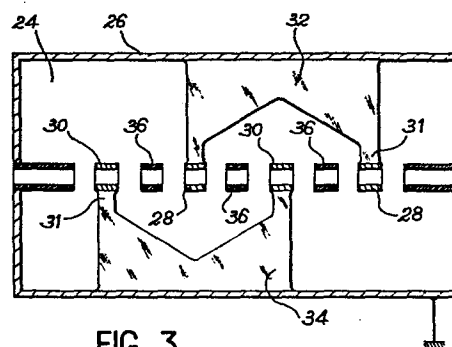


FIG. 3<sub>a</sub>

/...

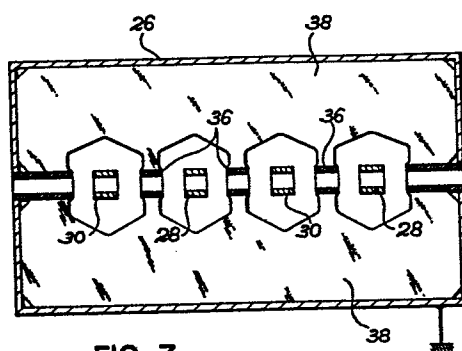


FIG. 3b

La présente invention a pour objet un accélérateur linéaire de particules chargées, notamment d'ions, comportant des tubes de glissement. Cet accélérateur, permettant notamment d'accélérer deux types  
5 d'ions de masse différente, peut être utilisé dans la production de radioéléments à usage médical, dans la réalisation de sondes ioniques, dans la datation isotopique et dans la réalisation d'implanteurs ioniques à haute énergie.

10 Sur la figure 1, on a représenté par exemple le schéma de principe d'un accélérateur linéaire à ondes stationnaires à tubes de glissement du type Wideroe. Cet accélérateur comprend une cavité généralement de forme cylindrique 1 dans laquelle sont dis-  
15 posés, le long de l'axe 2 de la cavité, des tubes 4 et 6, appelés tubes de glissement, définissant entre eux des intervalles I. Ces tubes 4 et 6 sont connectés alternativement aux deux bornes d'un générateur haute fréquence 8. Les ions, injectés par une source 10,  
20 sont accélérés dans les intervalles I, par le champ électrique haute fréquence qui y règne.

On sait que les structures accélératrices ou accélérateurs linéaires à tubes de glissement ne se prêtent bien qu'à l'accélération d'ions dont le rap-  
25 port  $q/A$  de la charge  $q$  à la masse  $A$  s'éloigne très peu de la valeur optimale pour laquelle ils ont été conçus.

En effet dans de tels dispositifs comportant un certain nombre de tubes de glissement, la loi de  
30 vitesse des particules est imposée. Le champ électrique nécessaire pour accélérer les ions est donc inversement proportionnel au rapport  $q/A$ . Un dispositif étudié pour accélérer des particules de rapport  $(q/A)_0$ , avec le champ électrique maximum, sera

incapable d'accélérer des particules telles que  $q/A$  soit inférieur à  $(q/A)_0$ , et des particules pour lesquelles  $q/A$  est supérieur à  $(q/A)_0$  ne pourront pas être accélérées à une énergie par nucléon sensiblement supérieure à celle obtenue avec les particules de rapport  $(q/A)_0$ .

Les différentes méthodes proposées pour pallier à cette difficulté telles que le réglage de la fréquence du champ électrique, la modification de la position des tubes de glissement, etc., présentent l'inconvénient de compliquer de façon assez considérable la réalisation technologique des structures accélératrices et de la rendre, par conséquent, moins fiable et plus coûteuse.

Dans les structures accélératrices à ondes stationnaires, décrites ci-dessus, on sait aussi que la période spatiale  $L$  de la structure (longueur d'un tube plus longueur d'un intervalle) est proportionnelle à la longueur d'onde dans le vide  $\lambda$ , associée au champ électrique, et au rapport, noté  $\beta$ , de la vitesse des ions à celle de la lumière. De façon plus précise, dans les accélérateurs du type Wideroe, tels que schématisés en figure 1, la longueur spatiale  $L$  est régie par l'équation  $L = \beta \lambda/2$ . De même, le diamètre extérieur des tubes de glissement est proportionnel à la longueur d'onde  $\lambda$  et au rapport  $\beta$ .

Afin que la valeur moyenne du champ électrique ne soit pas trop faible, par rapport à sa valeur crête, on est pratiquement conduit à choisir pour la longueur des intervalles d'accélération  $I$  une valeur voisine de celle des tubes de glissement, c'est-à-dire voisine de  $\beta\lambda/4$  dans le cas du type Wideroe.

Par ailleurs, afin que le champ électrique soit suffisamment homogène dans les intervalles d'accélération  $I$ , le diamètre extérieur des tubes ne doit

pas être petit devant la longueur des intervalles d'accélération. En général, ce diamètre présente une valeur voisine de celle de la longueur d'un intervalle  $I$ , donc supérieur à la moitié de  $\beta\lambda/2$ , et voisine  
5 de  $\beta\lambda/4$ .

Il en résulte donc que, pour des valeurs élevées de  $\beta$  (supérieures à 0,15 environ), on est conduit à avoir des tubes de glissement dont le diamètre est inutilement grand par rapport à celui nécessaire  
10 au passage du faisceau.

La charge capacitive représentée par les tubes de glissement devient ainsi très importante. Les courants qui circulent dans les parois des tubes sont alors intenses, entraînant une dissipation d'énergie  
15 prohibitive. En conséquence, l'impédance shunt linéique efficace  $Z$  de ces structures, définie par l'équation  $Z = \bar{E}^2 / P_1$ ,  $\bar{E}$  étant la valeur moyenne du champ électrique et  $P_1$  la puissance dissipée par unité de longueur, devient beaucoup trop faible.

La présente invention a justement pour objet un accélérateur linéaire de particules chargées comportant des tubes de glissement, permettant de pallier aux différents inconvénients mentionnés ci-dessus. Elle permet notamment de diminuer le diamètre des tubes de glissement et d'augmenter l'impédance shunt linéique efficace de la structure des accélérateurs d'ions ; dans le cas des accélérateurs du type Wideroe, elle permet également d'accélérer deux types  
25 d'ions de masses différentes.

De façon plus précise, l'invention a pour objet un accélérateur linéaire de particules chargées du genre de ceux qui comportent, à l'intérieur d'une enveloppe conductrice, des tubes de glissement définissant entre eux des intervalles d'accélération de  
35 longueur telle que, dans deux intervalles successifs,

la composante longitudinale du champ électrique présente un module identique, caractérisé en ce qu'il comprend, dans chaque intervalle, un tube de glissement supplémentaire disposé sensiblement au milieu de l'intervalle entre deux tubes voisins et relié électriquement à ladite enveloppe par une impédance.

L'ajout de ces tubes de glissement supplémentaires permet de diminuer le diamètre des tubes de glissement et d'augmenter l'impédance shunt linéique efficace de la structure de l'accélérateur.

Dans le cas d'un accélérateur linéaire de particules chargées de type Wideroe, la structure décrite ci-dessus peut être utilisée pour permettre à ce type d'accélérateur de fonctionner à volonté sur deux modes différents, l'un rapide, adapté à un premier type d'ions, l'autre lent, adapté à un second type d'ions plus lourds que les premiers.

Selon l'invention, un tel accélérateur linéaire se caractérise en ce que, les tubes de glissement supplémentaires étant reliés à la masse, un sur deux des autres tubes de glissement est reliée à une source de potentiel instantané  $V$ , le suivant est relié à une source de potentiel instantané  $V'$  de même signe, ou à une source de potentiel instantané  $-V'$  de signe contraire.

Selon un premier mode de réalisation d'un accélérateur linéaire de type Wideroe selon l'invention, tous les tubes de glissement présentent une longueur égale à la longueur de l'intervalle, séparant un tube de glissement supplémentaire et un autre tube de glissement.

Selon un deuxième mode de réalisation d'un accélérateur linéaire de type Wideroe selon l'invention, les tubes de glissement supplémentaires présentent une longueur inférieure à la longueur de l'inter-

valle, séparant un tube de glissement supplémentaire et un autre tube de glissement, et les autres tubes de glissement présentent une longueur supérieure à la longueur dudit intervalle.

5 L'accélérateur décrit ci-dessus peut être avantageusement utilisé, lorsque celui-ci comporte un étage d'entrée utilisant la focalisation d'un faisceau d'ions par quadrupôle à radiofréquence.

10 Selon l'invention, dans un tel étage d'entrée, tous les tubes de glissement de cet étage comportent un anneau central sur lequel sont montés, parallèlement à l'axe de l'anneau, deux jeux de deux demi-doigts disposés de part et d'autre de l'anneau, les demi-doigts de chaque jeu étant disposés symétriquement par rapport à l'axe de l'anneau, les demi-  
15 doigts des deux jeux étant décalés entre eux d'un angle de  $\frac{\pi}{2}$ , pour un sur deux des tubes de glissement, et situés dans le prolongement l'un de l'autre, pour les autres tubes de glissement.

20 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description qui suit, donnée à titre explicatif mais nullement limitatif en référence aux figures annexées, sur lesquelles :

- 25 - la figure 1, déjà décrite, représente un schéma de principe d'un accélérateur linéaire d'ions selon l'art antérieur ;
- les figures 2a et 2b représentent un schéma de principe d'un accélérateur linéaire d'ions selon l'in-  
30 vention ;
- les figures 3a et 3b représentent, en coupe longitudinale, une réalisation d'un accélérateur linéaire selon l'invention, la figure 3a est une coupe selon les plaques portant les tubes de glissement portés  
35 aux potentiels V et  $\pm V$  et la figure 3b une coupe selon la plaque portant les tubes de glissement portés au potentiel de la masse ;

- la figure 4 est un schéma électrique correspondant à l'accélérateur linéaire représenté sur les figures 3a et 3b ;
- la figure 5 représente des tubes de glissement à quadrupôle à radiofréquence selon l'art antérieur ;
- la figure 6 représente des tubes de glissement à quadrupôle à radiofréquence selon l'invention ; et
- la figure 7 représente schématiquement en a, b, c, d, des accélérateurs linéaires dans lesquels (a) représente un accélérateur selon l'état de la technique, comportant un seul intervalle d'accélération entre deux demi-tubes de glissement, (b) représente un accélérateur selon l'invention, comportant un tube de glissement supplémentaire divisant l'intervalle d'accélération en deux demi-cellules, (c) représente un accélérateur conforme à l'invention comportant deux tubes de glissement supplémentaires, (d) représente un accélérateur conforme à l'invention comportant trois tubes de glissement supplémentaires.

Sur les figures 2a et 2b, on a représenté le principe d'un accélérateur linéaire de particules chargées, notamment d'ions, conformément à l'invention. Cet accélérateur comprend, comme dans les accélérateurs de l'art antérieur, une cavité 11 de forme généralement cylindrique dans laquelle sont disposés, en alternance le long de l'axe 12 de la cavité, des tubes de glissement 14 et 16 définissant entre eux des intervalles d'accélération. Les tubes 14 sont connectés à une première source alternative de haute fréquence 18, délivrant un premier potentiel  $V_1$  et les tubes 16 à une seconde source alternative de haute fréquence 19, délivrant un deuxième potentiel  $V_2$ . Les ions à accélérer sont injectés dans l'accélérateur au moyen d'un injecteur 20.

Selon l'invention, l'accélérateur linéaire comprend, de plus, des tubes de glissement supplémen-



taires 22, disposés au milieu des intervalles, séparant les tubes 14 et les tubes 16. Ces tubes supplémentaires 22 sont portés à un potentiel  $V_3$  très différent des potentiels  $V_1$  et  $V_2$ . Par exemple, le potentiel  $V_1$  peut présenter une valeur  $V$  et le potentiel  $V_2$  une valeur voisine de  $\pm V$ , le potentiel  $V_3$  pouvant être celui de la masse, comme représenté sur les figures 2a et 2b.

La présence de ces tubes de glissement supplémentaires 22 permet de doubler le nombre d'intervalles d'accélération ainsi que celui des tubes de glissement. Ceci permet de réduire le diamètre extérieur des tubes de glissement d'environ un facteur 2, et donc, de diminuer la charge capacitive de ces tubes.

La diminution de cette charge capacitive entraîne une dissipation d'énergie, plus faible que celle dissipée dans les dispositifs de l'art antérieur, conduisant à une augmentation de l'impédance shunt linéique efficace de l'accélérateur linéaire. Des essais ont montré que cette impédance shunt était multipliée par un facteur de l'ordre de 2 ou 3.

Dans l'application à un accélérateur linéaire de particules chargées du type Wideroe, on porte les tubes de glissement 14 à des potentiels alternatifs voisins de  $V$  et les tubes de glissement 16 soit, à des potentiels alternatifs voisins de  $V$  soit à des potentiels alternatifs voisins de  $-V$ , les tubes de glissement supplémentaires 22 étant alors portés à la masse.

Le fait que les tubes de glissement 16 soient portés soit, à des potentiels alternatifs voisins de  $V$ , soit à des potentiels alternatifs voisins de  $-V$ , permet de faire fonctionner l'accélérateur linéaire sur deux modes différents, étant donné que la période spatiale du champ électrique haute fréquence régnant dans les intervalles  $I'$ , compris entre les tu-

bes de glissement 14 ou 16 et les tubes supplémentaires 22, est deux fois plus grande dans le deuxième cas (-V) que dans le premier cas (V), et notamment en ce qui concerne le premier harmonique dudit champ. En conséquence, lorsque la période de ce champ électrique est la même dans les deux cas, une particule synchrone devra aller deux fois plus vite dans le deuxième cas que dans le premier.

Le premier mode de fonctionnement, appelé mode lent et qui correspond à un type de fonctionnement classique, permettra d'accélérer un premier type d'ions et le second mode, appelé mode rapide, permettra d'accélérer un deuxième type d'ions plus légers que les premiers.

Selon une réalisation particulière de l'accélérateur linéaire de l'invention, tous les tubes de glissement présentent, comme représenté sur la figure 2a, une longueur  $l$  égale à la longueur  $g$  d'un intervalle  $I'$ , séparant les tubes de glissement 14 ou 16 des tubes supplémentaires 22. Dans une telle réalisation, la longueur  $l$  et la longueur  $g$  sont régies par l'équation  $l = g = \beta_L \lambda / 4$  dans laquelle  $\lambda$  est la longueur d'onde dans le vide et  $\beta_L$  le rapport de la vitesse des ions à celle de la lumière, dans le cas d'un fonctionnement en mode lent.

En supposant le champ électrique homogène dans les intervalles d'accélération  $I'$ , des calculs simples montrent que, dans cette réalisation, l'efficacité  $\eta$  du mode rapide par rapport au mode lent est voisine de 0,76, autrement dit, l'énergie acquise par une particule dans un intervalle d'accélération  $I'$ , pour une même valeur de potentiel  $V$ , est 0,76 fois plus faible en mode rapide qu'en mode lent.

Afin d'améliorer le fonctionnement de l'accélérateur linéaire en mode rapide, on peut, selon l'invention, utiliser des tubes de glissement inégaux tout en gardant des intervalles d'accélération  $I'$  de

longueur  $g$  identiques, c'est-à-dire tel que  $g = \beta_L \lambda / 4$ . Ceci est représenté sur la figure 2b. En particulier, les tubes de glissement supplémentaires 22 présentent une longueur  $l_m$  inférieure à la longueur  $g$  d'un intervalle  $I'$ , séparant un tube de glissement 14 ou 16 d'un tube de glissement supplémentaire 22, et les tubes de glissement 14 et 16 une longueur  $l_n$  supérieure à la longueur  $g$  d'un intervalle  $I'$ .

Par exemple, lorsque la longueur  $l_m$  est prise égale à  $1/2g$  et la longueur  $l_n$  égale à  $3/2g$ , on obtient une efficacité  $\eta$  du mode rapide par rapport au mode lent de 0,97, l'efficacité du mode rapide étant accrue d'un facteur égal à 1,18, par rapport au cas où  $l$  est égal à  $g$ , tandis que l'efficacité du mode lent est dégradée d'un facteur égal à 0,92. De même, lorsque la longueur  $l_m$  est prise égale à  $3/4g$  et la longueur  $l_n$  égale à  $5/4g$ , on obtient une efficacité  $\eta$  du mode rapide par rapport au mode lent de 0,85, l'efficacité du mode rapide étant accrue de 9%, par rapport au cas où  $l$  est égal à  $g$ , tandis que l'efficacité du mode lent n'est dégradée que de 2%.

Si on suppose les fréquences de fonctionnement et les impédances shunt linéiques efficaces pratiquement identiques sur les deux modes, il est facile de voir qu'avec une puissance haute fréquence donnée, si l'accélérateur peut accélérer sur le mode lent des ions dits lourds tels que le rapport  $q/A$  soit supérieur au rapport  $(q/A)_L$  à une énergie  $W_L$  par nucléon, cet accélérateur pourra accélérer sur le mode rapide, à l'énergie  $W_R$  égale à  $4W_L$  par nucléon, des ions dits légers tels que le rapport  $(q/A)$  soit supérieur au rapport  $(q/A)_R$ , ce dernier rapport étant défini par la relation  $(q/A)_R = \frac{4}{\eta}$ ; on rappelle que  $q$  représente la charge de l'ion et  $A$  sa masse.

Sur les figures 3a et 3b, on a représenté une réalisation pratique d'un accélérateur linéaire selon l'invention. Cet accélérateur comprend une cavi-

5 té 24, fonctionnant sur le mode transversal, situé à l'intérieur d'une enveloppe cylindrique 26 conductrice. Dans cette cavité 24, sont logés alternativement des tubes de glissement 28 et 30 supportés, par l'intermédiaire de languettes telles que 31, respectivement par deux plaques 32 et 34 (figure 3a). Ces plaques 32 et 34, disposées radialement, sont diamétralement opposées et électriquement solidaires de l'enveloppe 26. L'ensemble constitue une cavité résonnante dans laquelle les tubes de glissement 28 sont portés approximativement à un même potentiel alternatif instantané  $V$  et les tubes 30 approximativement à un même potentiel soit  $V$ , soit  $-V$ .

10 Entre les tubes de glissement 28 et 30 sont intercalés des tubes supplémentaires 36. Ces tubes 36 sont portés par une plaque 38 (figure 3b) disposés dans un plan perpendiculaire à celui contenant les plaques 32 et 34, et reliés électriquement à l'enveloppe 26. Cette plaque 38 est portée au potentiel de la masse.

15 Sur la figure 4, on a représenté le schéma électrique correspondant à la réalisation décrite sur les figures 3a et 3b. Les selfs  $L$  correspondent à l'inductance due aux flux du champ magnétique dans chacun des quadrants de la cavité 26, ces quadrants étant délimités par les plaques 32, 34 et 38. Les condensateurs  $C$  représentent les capacités réparties d'une part, entre la plaque 32 et la masse et, d'autre part, entre la plaque 34 et la masse. Le condensateur  $C'$  représente la capacité répartie entre les plaques 32 et 34.

20 Le schéma électrique représenté sur la figure 4 peut être considéré comme formé de deux circuits a et b, accordés sur la même fréquence et couplés par le condensateur  $C'$ .

25 Les deux modes de fonctionnement de l'accélérateur linéaire correspondent l'un (le mode lent) à

la résonance de l'inductance  $L$  en parallèle avec la capacité  $C/2$ , les potentiels  $V$  étant de même signe, et l'autre (le mode rapide) à la résonance de l'inductance  $L$  en parallèle avec la capacité  $C'+C/2$ , les potentiels  $V$  par rapport à la masse étant opposés.

La présence du condensateur  $C'$  permet de sélectionner le mode de fonctionnement que l'on désire, car la fréquence de résonance  $F_R$  du premier mode est plus faible que la fréquence de résonance  $F_L$  du second mode. La puissance est fournie par un générateur HF unique, accordable sur les fréquences  $F_R$  et  $F_L$ .

Le rapport de ces deux fréquences de résonance  $F_L/F_R$  étant égal à  $\sqrt{1+\frac{2C'}{C}}$ , on peut, dans une certaine mesure, modifier ce rapport en jouant sur la valeur de  $C'$ , c'est-à-dire en jouant par exemple sur la dimension des plaques qui supportent les tubes de glissement. Ceci permet d'optimiser l'accélérateur linéaire de l'invention pour deux familles d'ions dont les rapports des charges massiques sont inférieurs à 4. Par exemple, avec un tel accélérateur on peut accélérer des protons et des deutons, ce qui peut être particulièrement intéressant dans le cadre des applications médicales.

Des mesures électriques, effectuées sur l'accélérateur linéaire décrit ci-dessus et sur un accélérateur linéaire de type classique de mêmes dimensions extérieures ont montré que, pour une cavité fonctionnant sur deux modes selon l'invention, l'impédance shunt linéique efficace de cette cavité, fonctionnant sur le mode lent, est apparue légèrement supérieure à celle d'une cavité fonctionnant sur un seul mode, pour des fréquences de fonctionnement et des coefficients  $\beta_L$  identiques ( $\beta_L$  était voisin de 0,12). Sur le mode rapide, l'impédance shunt linéique efficace, obtenue avec la cavité à deux modes, est environ deux fois supérieure à celle obtenue avec la cavité à un seul mode pour le même coefficient  $\beta_R$  ( $\beta_R$  était

voisin de 0,21).

5 Le bon comportement de l'impédance shunt linéique efficace pour des valeurs de  $\beta$  élevées ( $\beta$  supérieur à 0,15) est dû au fait que l'accélérateur linéaire, selon l'invention, comporte deux fois plus de tubes de glissement et des intervalles d'accélération deux fois plus courts que les accélérateurs linéaires classiques.

10 La réalisation pratique décrite ci-dessus correspond à un accélérateur linéaire dont la cavité fonctionne en mode transversal. Bien entendu, tout autre mode de réalisation pratique peut être envisagé.

15 Selon l'invention, la structure décrite précédemment peut être avantageusement utilisée dans un accélérateur linéaire comportant un étage d'entrée utilisant la focalisation d'un faisceau d'ions par quadrupôle à radiofréquence.

20 On sait que pour des valeurs de  $\beta$  faibles (inférieures à 0,05) la focalisation est difficile à réaliser par les moyens habituels. Or, si les étages à haute énergie utilisent des cavités fonctionnant sur deux modes, conformément à l'invention, il faut que l'étage d'entrée puisse fonctionner sur les deux fréquences de résonance correspondantes ( $F_R$  et  $F_L$ ) et que, sur chacune de ces fréquences, cet étage fournisse un faisceau d'ions ayant des coefficients  $\beta$  différents pour chacune de ces deux fréquences, correspondant aux valeurs acceptées par l'étage suivant.

30 Bien qu'il soit possible d'obtenir ce résultat par exemple en utilisant deux quadrupôles à radiofréquence différents, fonctionnant respectivement aux fréquences  $F_L$  et  $F_R$ , il est néanmoins préférable, pour des raisons de simplicité, d'économie et d'homogénéité de l'accélérateur, de réaliser cet étage d'entrée sous la forme d'une structure à deux modes.

35 On a représenté sur la figure 5 deux tubes de glissement 40a et 40b à quadrupôles à radiofréquen-

ce. Selon l'art antérieur, ces tubes de glissement 40a et 40b, reliés à la structure de l'accélérateur à l'aide des tiges 41, comportent chacun un anneau central 42 sur lequel sont montés deux jeux 44 et 46 de  
5 deux demi-doigts respectivement 48 et 50. Ces jeux, étant disposés parallèlement à l'axe 52 de l'anneau central 42, sont situés de part et d'autre de l'anneau central 42. De plus, les demi-doigts 48 du jeu 44 et les demi-doigts 50 du jeu 46 sont disposés symétriquement par rapport à l'axe de l'anneau, autrement dit  
10 diamétralement opposés.

Par ailleurs, dans un accélérateur linéaire utilisant de tels tubes de glissement, deux tubes de glissement consécutifs, tels que 40a et 40b, sont dis-  
15 posés l'un par rapport à l'autre de façon que la disposition des demi-doigts de l'un des deux tubes, par exemple 40b, se déduise de celle des demi-doigts de l'autre tube, par exemple 40a, par une rotation de  $\frac{\pi}{2}$  autour de l'axe 52 de l'anneau.

20 Dans les accélérateurs linéaires classiques, comportant des tubes de glissement à quadrupôle à radiofréquence, les demi-doigts des deux jeux, c'est-à-dire les demi-doigts 48 et 50 correspondant respectivement aux jeux 44 et 46, sont situés dans le  
25 prolongement l'un de l'autre, (figure 5).

Une telle disposition des demi-doigts peut être utilisée lorsque l'accélérateur fonctionne en mode lent.

30 En ce qui concerne le fonctionnement en mode rapide il n'en est pas de même. En particulier, il n'est pas possible d'obtenir un effet de gradients alternés en ce qui concerne le champ électrique.

Pour remédier à cet inconvénient, on utilise, comme représenté sur la figure 6 et conformément à  
35 l'invention, pour les deux jeux des demi-doigts déca-

lés entre eux d'un angle de  $\frac{\pi}{2}$ , en particulier, les demi-doigts 54 et 60 correspondant respectivement aux deux jeux 56 et 58 forment entre eux un angle de  $\frac{\pi}{2}$ .

5 Selon l'invention, ce décalage d'un angle de  $\frac{\pi}{2}$  est réalisé pour un sur deux des tubes de glissement. Il peut être réalisé soit, sur les tubes de glissement 14 et 16 portés respectivement au potentiel V et au potentiel  $\pm V$ , soit sur les tubes de glissement supplémentaires 22 portés au potentiel de la masse.

10 Sur la figure 6, les demi-doigts décalés sont ceux des tubes de glissement supplémentaires 22. Pour les autres tubes de glissement, les demi-doigts 48, 50 des deux jeux 44 et 46 sont disposés, comme dans l'art antérieur, dans le prolongement l'un de  
15 l'autre, ici les tubes de glissement 14 et 16. Les éléments constituant les tubes de glissement qui restent inchangés par rapport à ceux de l'art antérieur portent les mêmes références que ceux de la figure 5.

Il est à noter qu'une telle disposition des  
20 demi-doigts peut être envisagée dans les accélérateurs classiques, c'est-à-dire ne comportant pas de tubes de glissement supplémentaires, ceci permet d'obtenir une focalisation plus intense du faisceau d'ions en doublant la période spatiale du champ focalisant, ce qui  
25 permet par exemple d'accélérer un faisceau plus intense pour un diamètre donné.

L'invention a été décrite dans son applica-  
tion à l'accélération des ions ; elle n'est toutefois pas limitée à cette application et, en particulier,  
30 elle peut être utilisée pour accélérer des électrons, auquel cas les seuls aménagements à apporter sont des modifications du dimensionnement des différents composants.

On sait que les électrons deviennent relati-  
35 vistes à des énergies relativement faibles. L'impédan-



ce shunt des accélérateurs à ondes stationnaires à tubes de glissement classiques devient alors très faible.

5 C'est pourquoi on utilise habituellement pour accélérer les électrons des accélérateurs à ondes progressives fonctionnant en hyperfréquences, quoique les techniques correspondantes soient relativement coûteuses et d'une mise en oeuvre assez délicate.

10 La technique proposée par l'invention permet d'augmenter de façon très sensible l'impédance shunt des accélérateurs d'électrons à ondes stationnaires et à tubes de glissement, ce qui permet de considérer plus favorablement la réalisation et l'emploi de machines très rustiques, fonctionnant en ondes mé-

15 triques, en vue par exemple de la stérilisation industrielle.

Par ailleurs, l'invention peut être mise en oeuvre dans d'autres structures que la structure du type Wideroe.

20 Par exemple, l'invention présente un intérêt en ce qui concerne les accélérateurs à cavités réentrantes couplées (par trous ou par boucles) : l'adjonction du tube de glissement supplémentaire permet de réduire le diamètre des tubes de glissement.

25 L'avantage est probablement moins grand que pour un accélérateur Wideroe ou un accélérateur à cavité T.E. tel que celui décrit, mais cette solution peut être intéressante pour de fortes valeurs de  $\beta$ , en particulier pour les électrons.

30 Enfin, un accélérateur de type Alvarez peut être considéré comme une série de cavités réentrantes empilées à la suite les unes des autres dans lesquelles les courants sur les deux faces de parois adjacentes sont égaux et opposés, ce qui permet de supprimer

35 lesdites parois.

Il est bien connu que l'impédance shunt de l'Alvarez se dégrade très vite à partir de valeurs de  $\beta$  relativement faibles (0,1 à 0,15), parce que les tubes deviennent alors à la fois très gros et très  
5 longs : le courant au milieu de chaque tube devient alors très important.

L'adjonction de tubes supplémentaires permet certainement d'améliorer très sensiblement l'impédance shunt.

10 Enfin, en ce qui concerne les tubes de glissement supplémentaires ils ne sont pas obligatoirement reliés à la masse. Toutefois, pour des raisons pratiques, on ne peut que les relier à l'enveloppe par une impédance selfique qui peut être soit très faible, au  
15 quel cas le tube supplémentaire est pratiquement au potentiel de l'enveloppe, soit élevée, auquel cas le tube supplémentaire sera porté à un potentiel intermédiaire entre ceux des extrémités des tubes de glissement adjacents. Ces impédances sont pratiquement constituées par les supports conducteurs des tubes de  
20 glissement supplémentaires.

Le cas d'un accélérateur fonctionnant sur le mode  $\pi(L=\frac{\beta\lambda}{2})$ , et plus précisément celui de l'accélérateur du type Wideroe a été donné explicitement à titre  
25 indicatif.

Le nombre de tubes de glissement intermédiaires n'est pas limité à un, mais on peut en disposer un nombre en principe quelconque en vue d'améliorer l'impédance-shunt, tel qu'un nombre impair dans le cas où  
30 on veut se réserver la possibilité de fonctionner sur deux modes, lent et rapide, comme on va le montrer ci-dessous.

Dans un accélérateur linéaire à ondes stationnaires à tubes de glissement, dans l'état présent de l'art, une cellule de longueur  $L=\frac{\beta\lambda}{2}$  ou  $L=\beta\lambda$  selon  
35 que la direction de la composante longitudinale du champ considérée à un instant donné s'inverse ou non

d'une cellule à la suivante, comporte un seul intervalle d'accélération situé entre deux demi-tubes 4,6 de glissement comme le montre la figure 7 en (a).

5 Selon l'invention, l'adjonction d'un tube de glissement intermédiaire 22 divise l'intervalle d'accélération en deux demi-cellules comme le montre la figure 7 en (b), ce qui permet de réduire les dimensions des tubes de glissement, donc leurs capacités, et consécutivement d'augmenter l'impédance-shunt.

10 Le nombre d'éléments en lesquels il est possible de diviser l'intervalle d'accélération n'est évidemment pas limité à deux. On peut par exemple introduire deux tubes de glissement intermédiaires 22 comme le montre la figure 7 en (c). Les supports conducteurs qui les relient aux parois devront toutefois être disposés de façon à répartir le champ de façon adéquate entre les trois intervalles d'accélération ainsi définis.

20 Si on veut conserver la possibilité offerte par la division d'une cellule en deux demi-cellules, permettant de fonctionner sur deux modes, s'il est possible d'avoir un régime de fonctionnement tel que les valeurs instantanées de la composante longitudinale du champ soient opposées dans les deux demi-cellules, le nombre de tubes de glissement intermédiaires  
25 devra être impair comme le montre la figure 7 en (d) où il y a trois tubes intermédiaires 22.

REVENDICATIONS

1. Accélérateur linéaire de particules chargées comportant, à l'intérieur d'une enveloppe conductrice (26), des tubes de glissement (14, 16) définissant entre eux des intervalles d'accélération (I) de longueur telle que, dans deux intervalles successifs, la composante longitudinale du champ électrique présente un module identique, caractérisé en ce qu'il comprend, dans chaque intervalle, au moins un tube de glissement supplémentaire (22) disposé sensiblement dans l'intervalle entre deux tubes voisins et relié électriquement à ladite enveloppe par une impédance, l'ajout de ces tubes de glissement supplémentaires (22) permettant de diminuer le diamètre des tubes de glissement et de multiplier l'impédance shunt linéique efficace de la structure de l'accélérateur.

2. Accélérateur linéaire selon la revendication 1, du type accélérateur linéaire de Wideroe, caractérisé en ce que, les tubes de glissement supplémentaires (22) étant reliés à la masse, un sur deux des autres tubes de glissement (14) est relié à une source de potentiel instantané V, le suivant (16) est relié à une source de potentiel instantané V', de même signe ou à une source de potentiel instantané -V' de signe contraire, de façon à permettre deux modes de fonctionnement, un mode de fonctionnement rapide, adapté à un premier type d'ions, et un mode de fonctionnement lent, adapté à un second type d'ions plus lourds que les premiers.

3. Accélérateur linéaire selon la revendication 2, caractérisé en ce que tous les tubes de glissement (14, 16, 22) présentent une longueur égale à la longueur de l'intervalle (I'), séparant un tube de glissement supplémentaire (22) et un autre tube de glissement (14, 16).

4. Accélérateur linéaire selon la revendication 2, caractérisé en ce que les tubes de glissement supplémentaires (22) présentent une longueur inférieure à la longueur de l'intervalle (I'), séparant un tube de glissement supplémentaire (22) et un autre tube de glissement (14, 16), et en ce que les autres tubes de glissement (14, 16) présentent une longueur supérieure à la longueur dudit intervalle.

5. Accélérateur linéaire comportant un étage d'entrée utilisant la focalisation d'un faisceau d'ions par quadrupôle à radiofréquence, caractérisé en ce que tous les tubes de glissement (14, 16, 22) de l'étage d'entrée comportent un anneau central (42) sur lequel sont montés, parallèlement à l'axe (52) de l'anneau, deux jeux (44, 46, 56, 58) de deux demi-doigts (48, 50, 54, 60) disposés de part et d'autre de l'anneau, les demi-doigts de chaque jeu étant disposés symétriquement par rapport à l'axe de l'anneau, les demi-doigts des deux jeux étant décalés entre eux d'un angle de  $\frac{\pi}{2}$ , pour un sur deux des tubes de glissement, et situés dans le prolongement l'un de l'autre, pour les autres tubes de glissement.

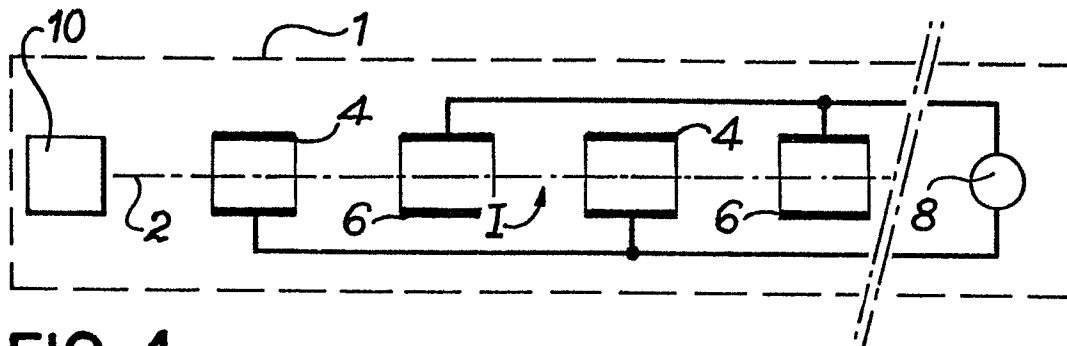
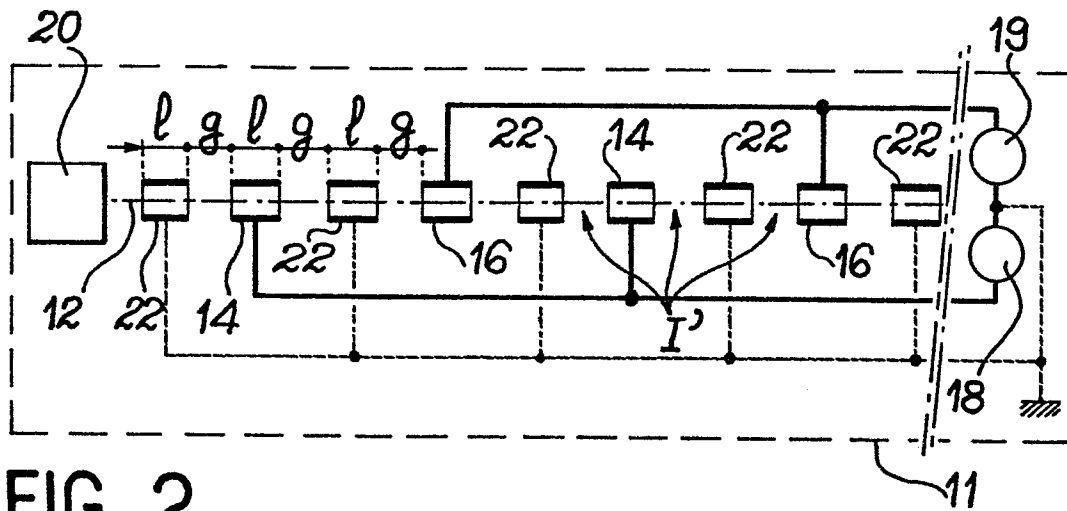
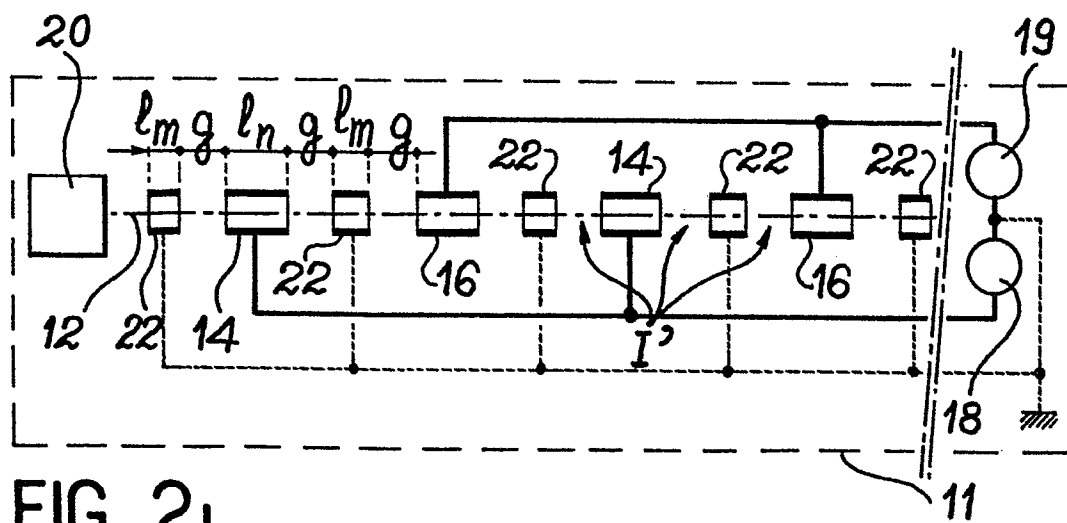
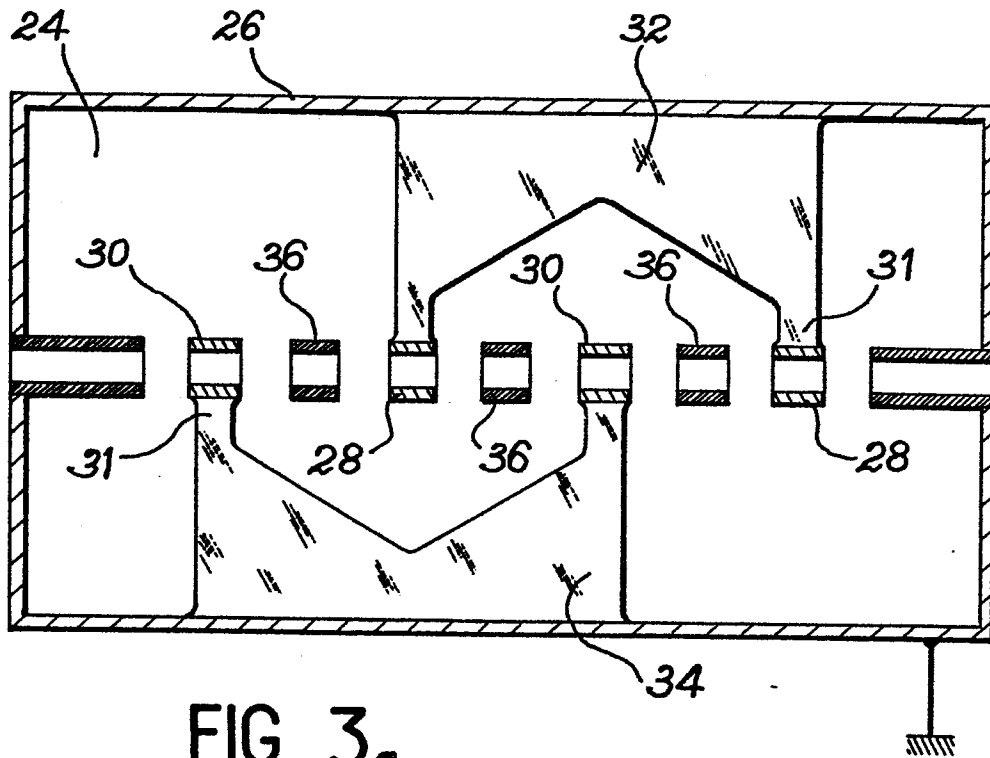
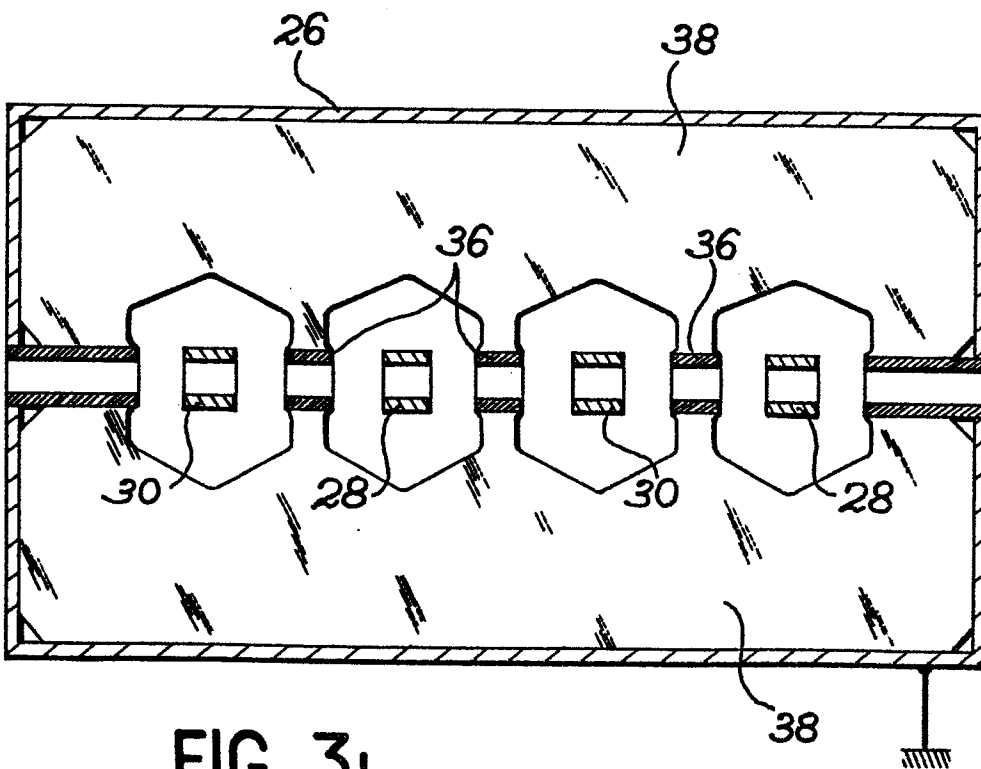


FIG. 1

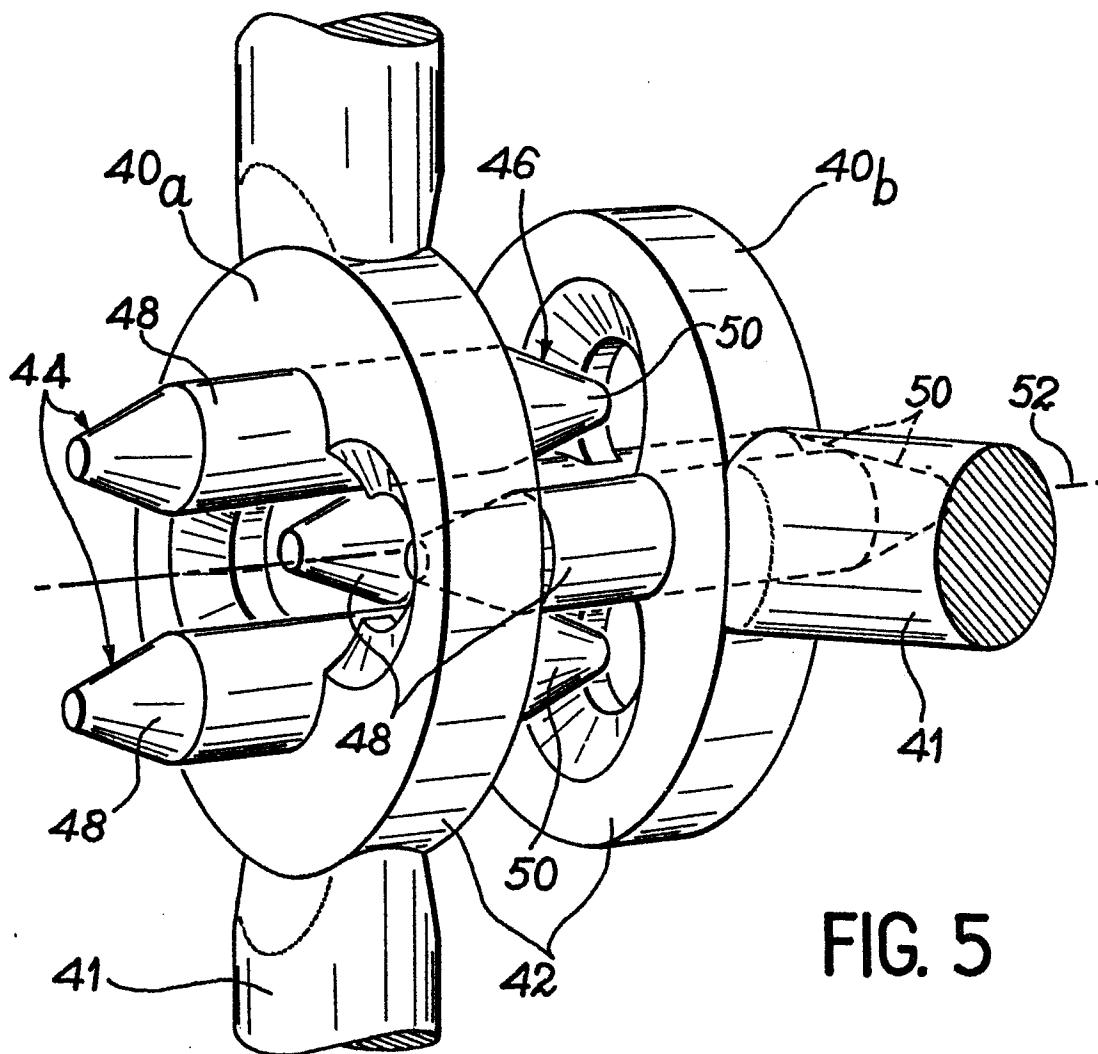
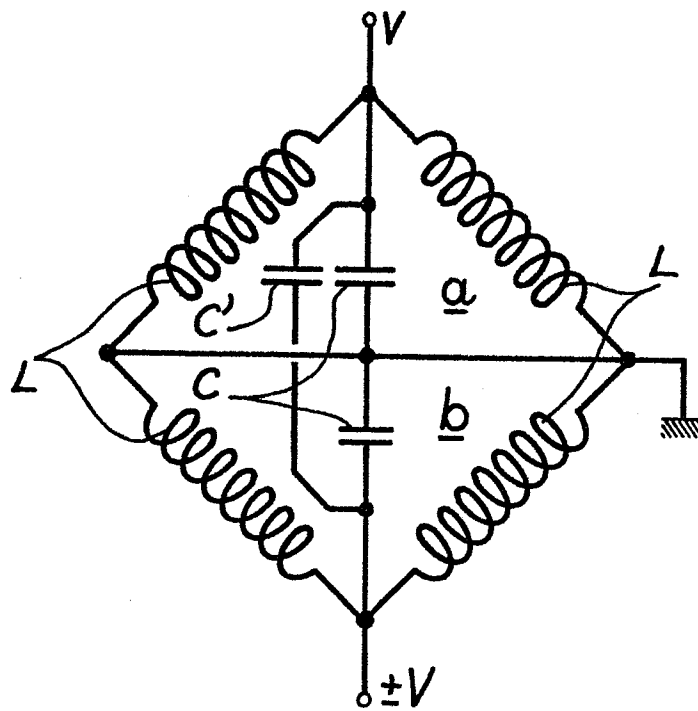
FIG. 2<sub>a</sub>FIG. 2<sub>b</sub>

2/5

FIG. 3<sub>a</sub>FIG. 3<sub>b</sub>

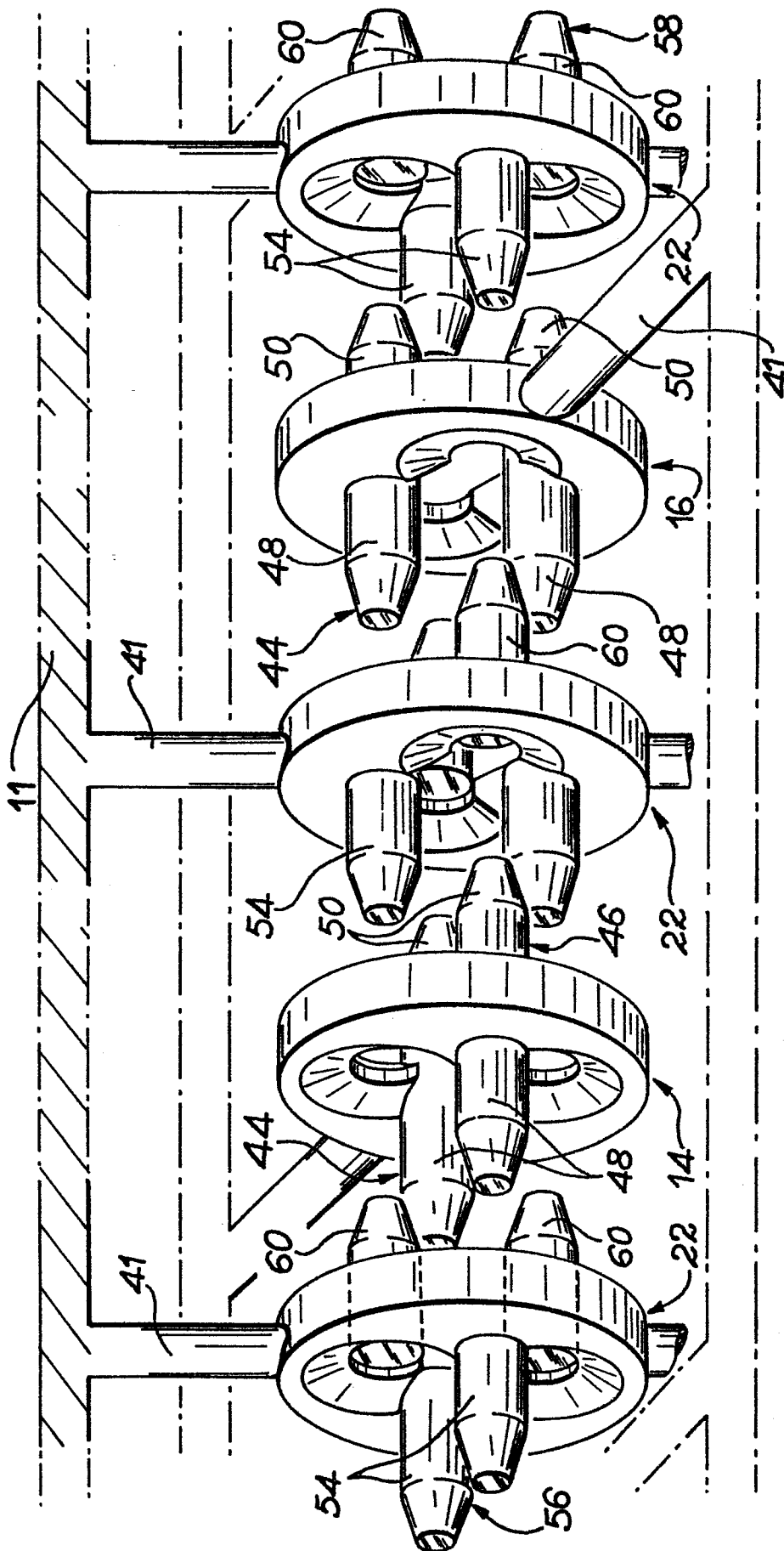
3/5

FIG. 4





4/5



5/5

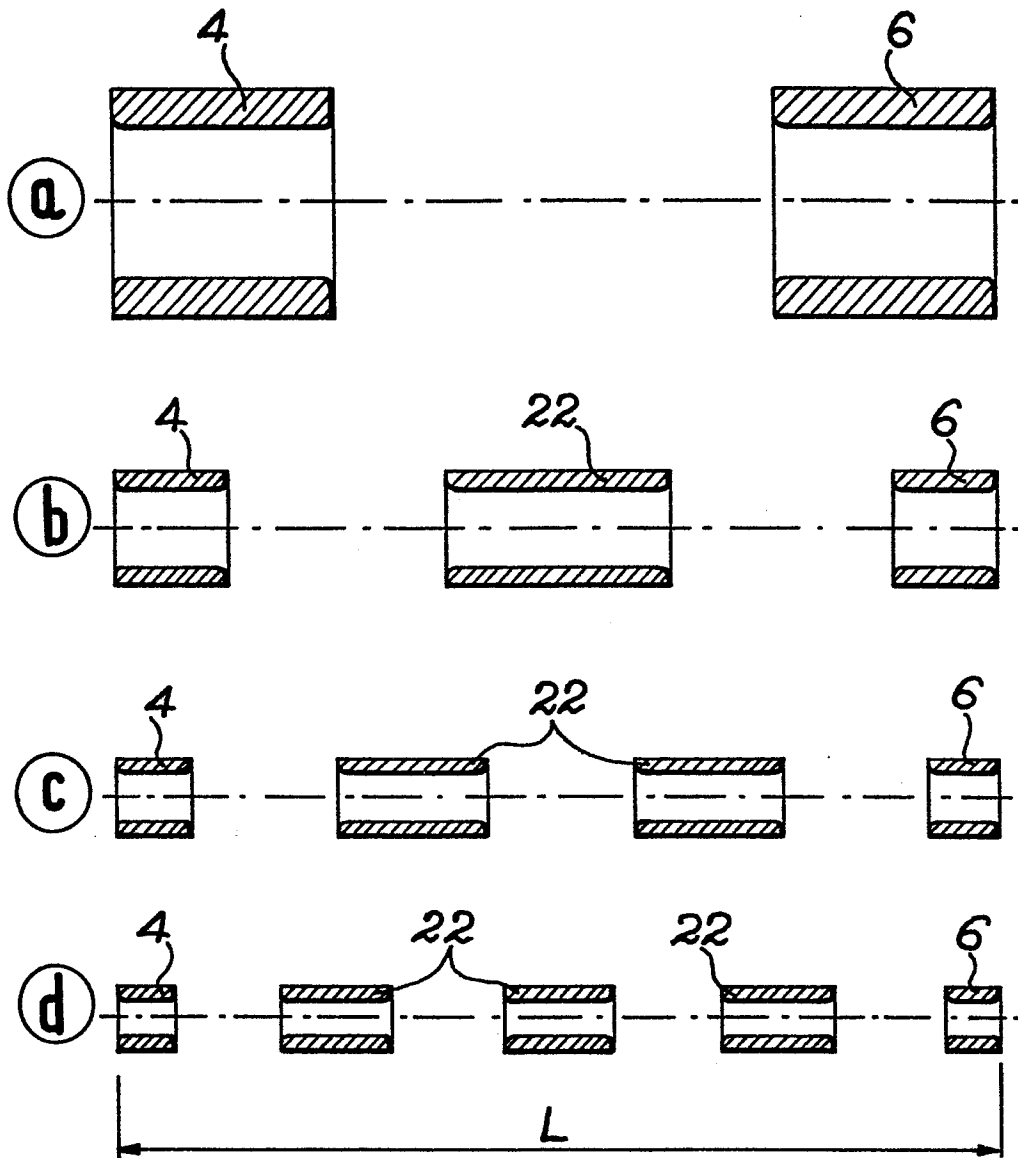


FIG. 7



DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 3)
A	FR-A-1 195 616 (COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE) * Résumé; figures 1-4 *	1-3	H 05 H 9/04
A	US-A-3 403 346 (S.T. GIORDANO) * Colonne 1, ligne 11 - colonne 2, ligne 3; colonne 2, lignes 62-64; revendication 1; figure 6 *	1	
A	IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, vol. NS-28, no. 3, juin 1981, pages 2862-2863, IEEE, New York, USA R.W. MÜLLER et al.: "Proton model of a heavy-ion RFQ linac" * Figure 1 *	1,5	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 3)
			H 05 H
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 11-08-1983	Examineur GALANTI M.
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons</p> <p>&amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>			