

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
 INSTITUT NATIONAL
 DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
 PARIS

①1 N° de publication :
 (à n'utiliser que pour les
 commandes de reproduction)

2 551 617

②1 N° d'enregistrement national :

83 14090

⑤1 Int Cl⁴ : H 05 H 7/00, 9/00.

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 2 septembre 1983.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la
 demande : BOPI « Brevets » n° 10 du 8 mars 1985.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
 rentés :

⑦1 Demandeur(s) : Société dite : C.G.R. MeV, société ano-
 nyme. — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Dominique Tronc.

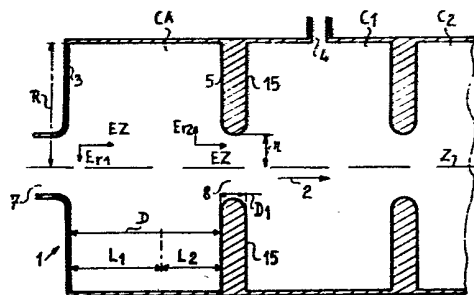
⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Philippe Guilguet, Thomson-CSF.

⑤4 Structure accélératrice linéaire autofocalisante de particules chargées.

⑤7 L'invention concerne une structure accélératrice linéaire autofocalisante de particules chargées dans laquelle est évité un effet de défocalisation radiale du faisceau de particules, notamment à la sortie d'une première cavité accélératrice CA qui comporte cette structure 1. La première cavité accélératrice CA comporte une face d'entrée 3 et une face de sortie 5 dont l'écartement D est formé d'une longueur accélératrice L₁ plus une longueur supplémentaire L₂ destinée à retarder l'arrivée des particules à la face de sortie 5.

Une structure selon l'invention permet d'augmenter le rendement d'un accélérateur linéaire de particules chargées, grâce à un agencement simple et peu coûteux de la première cavité CA de cette structure.



FR 2 551 617 - A1

STRUCTURE ACCELERATRICE LINEAIRE AUTOFOCALISANTE DE PARTICULES CHARGEES

L'invention concerne une structure accélératrice linéaire auto-focalisante de particules chargées, destinée à équiper un accélérateur linéaire d'électrons.

5 Des accélérateurs linéaires de particules chargées sont utilisés dans de nombreux domaines tels que, scientifiques, médicaux, et même industriels. Selon leur application, ces accélérateurs produisent des faisceaux de particules, d'électrons par exemple, ayant des énergies souvent comprises entre un et plusieurs dizaines de MeV.

10 La puissance électrique consommée par ces accélérateurs est considérable, elle peut atteindre par exemple 130 Kw dont seulement 20 Kw se retrouvent dans le faisceau accéléré ; aussi le rendement global d'un tel accélérateur a une répercussion directe et importante sur le coût d'utilisation de cet accélérateur, et une
15 amélioration de son rendement par l'optimisation des éléments qui le constitue, est un souci constant des spécialistes, l'amélioration du rendement étant également souvent liée à l'amélioration des qualités du faisceau obtenu.

20 Les structures accélératrices linéaires d'électrons sont généralement formées par une succession de cavités résonantes, dont les dimensions sont liées à la fréquence d'une onde électromagnétique injectée dans la structure pour accélérer les électrons, et à la vitesse des électrons.

25 Traditionnellement, les structures accélératrices sont optimisées en ce qui concerne la dynamique longitudinale : on choisit les longueurs des cavités résonantes, qui constituent des cavités accélératrices, de façon à accélérer constamment dans chacune d'elles les électrons.

30 La partie accélératrice de l'onde électromagnétique est au maximum égale à sa demie période, et pour bénéficier d'un maxi-

mum d'énergie cédée par cette onde aux électrons, c'est-à-dire d'une
 valeur élevée du coefficient dit "d'angle de transit", ces cavités ont
 couramment une longueur l sensiblement égale au produit du quart
 au tiers de la longueur λ_0 de l'onde électromagnétique par la
 5 vitesse relative β des électrons, selon la relation suivante :

$$l \simeq \beta \frac{\lambda_0}{n} ;$$

où β est le quotient de la vitesse V moyenne des électrons par la
 vitesse C de la lumière ($\beta = \frac{V}{C}$), et n est compris entre 3 et 4.
 Cette longueur, définie dans le cadre du calcul d'une cavité clas-
 10 sique, est appelée longueur accélératrice.

Ainsi par exemple, dans le cas d'une structure accélératrice
 fonctionnant à 3000 MHz, soit une longueur d'onde λ_0 égale à 100
 mm et pour $\beta = 0,5$, les cavités accélératrices ont une longueur de
 l'ordre de 12 à 16 mm environ, augmentant progressivement pour
 15 atteindre 25 à 33 mm lorsque $\beta = 1$.

Cette approche traditionnelle où l'optimisation est limitée à la
 dynamique longitudinale, est imparfaite notamment par ce qu'elle ne
 prend pas en compte un effet de défocalisation radiale du faisceau
 le long de la structure accélératrice, cet effet s'affirmant particu-
 20 lièrement dans la première partie de cette structure où l'énergie des
 électrons est encore faible.

Cette défocalisation du faisceau est généralement compensée
 en ajoutant des solénoïdes disposés concentriquement autour de la
 structure accélératrice, pour créer un champ magnétique cor-
 25 recteur, ce qui augmente le coût et la complexité.

La présente invention concerne une structure accélératrice de
 particules chargées autofocalisante, dans laquelle l'effet de défoca-
 lisation du faisceau est évité par l'annulation de l'une de ses causes,
 contrairement aux structures selon l'art antérieur où cet effet est
 30 seulement compensé.

Dans la structure accélératrice selon l'invention, ceci est
 obtenu grâce à un agencement simple et peu coûteux de l'unique ou
 de la première cavité accélératrice de cette structure, et particu-

lièrement applicable dans le cas où, dans cette cavité, le trou de sortie du faisceau a un diamètre inférieur à la longueur accélératrice précédemment mentionnée ; cet agencement est remarquable en ce qu'il permet, dans ce dernier cas, de tenir compte de ce que la

5 composante radiale du champ électrique dans la cavité accélératrice constitue une des causes principales de la divergence de particules chargées périphériques du faisceau, et que cette composante radiale est localisée à proximité des faces d'entrée et de sortie de la cavité et a des effets contraires à l'entrée et à la sortie de cette cavité.

10 Selon l'invention, une structure accélératrice linéaire autofocalisante de particules chargées, comportant une première cavité accélératrice d'une succession de cavités accélératrices, permettant d'accélérer un faisceau de particules chargées sous l'effet d'une onde électromagnétique de fréquence F donnée injectée dans ladite

15 structure, ladite première cavité ayant un axe confondu avec un axe longitudinal de ladite structure et l'axe dudit faisceau, et comportant une face d'entrée et une face de sortie munies respectivement d'un trou d'entrée et d'un trou de sortie dudit faisceau, est caractérisée en ce que la distance entre les faces d'entrée et de sortie de

20 ladite première cavité est formée par une longueur accélératrice, plus une longueur supplémentaire destinée à retarder l'instant d'arrivée des particules à la face de sortie.

Nous entendons par longueur accélératrice, une longueur sur laquelle les électrons sont accélérés ainsi qu'il a été expliqué ci-dessus, cette longueur accélératrice étant définie par la relation qui

25 suit :

$$\begin{aligned} \text{- longueur accélératrice} &= \beta \frac{\lambda_0}{n}, \text{ où :} \\ \text{- } \beta &= \frac{v}{c} ; \\ \text{- } n &= 3 \text{ à } 4 . \end{aligned}$$

30 Du fait de la longueur supplémentaire entre la face d'entrée et la face de sortie de cette première cavité de la structure accélératrice selon l'invention, les particules ne sont pas soumises à l'action défocalisante de la composante radiale localisée près de la face de sortie, cette composante radiale étant soit en cours de disparition,

soit même devenue focalisante ; le seul inconvénient mineur consiste en une légère décélération de ces particules, avant qu'elles n'aient franchi le trou de sortie.

L'invention sera mieux comprise à la lumière de la description qui va suivre d'un mode de réalisation d'une structure accélératrice selon son principe, faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique partielle en coupe de la structure accélératrice selon l'invention ;
- la figure 2 illustre l'onde électromagnétique injectée dans cette structure ;
- la figure 3 illustre la trajectoire d'un électron accéléré.

La figure 1 montre partiellement une structure accélératrice linéaire 1 conforme à l'invention, comportant une première cavité accélératrice CA suivie de n cavités accélératrices C_1, \dots, C_n , n étant dans l'exemple décrit égal à 2. On n'a pas fait figurer d'éventuelles cellules dites de couplage, lesquelles constituent des éléments classiques disposés entre les cavités C_1, \dots, C_n d'une manière connue.

La structure 1 comporte un axe longitudinal Z, confondu avec l'axe de la première cavité CA, et qui constitue également l'axe d'un faisceau de particules (non représenté) se propageant dans le sens de la flèche 2 ; ce faisceau de particules est accéléré grâce à l'énergie d'une onde électromagnétique (non représentée sur la figure 1) injectée de manière classique dans la structure 1 par un trou de couplage 4.

La première cavité CA, de forme cylindrique, comporte une face d'entrée 3 et une face de sortie 5 normales à l'axe du faisceau Z, et écartées l'une de l'autre d'une distance D ; la face d'entrée 3 est munie d'un trou d'entrée 7, la face de sortie 5 est munie d'un trou de sortie 8, ces deux trous étant centrés sur l'axe Z du faisceau. Le faisceau de particules, provenant par exemple, d'une manière connue, d'un canon à électrons suivi d'un élément de glissement (non représentés), pénètre dans la première cavité accélératrice CA par

le trou d'entrée 7, et ressort de cette cavité CA par le trou de sortie 8, se propageant dans la structure I dans le sens montré par la flèche 2.

Compte tenu de la vitesse des particules, elles sont accélérées sur un trajet tel que par exemple la longueur accélératrice L_1 qui, dans l'invention correspond à une fraction de la distance D entre la face d'entrée 3 et la face sortie 5 de la première cavité CA ; dans l'exemple non limitatif décrit, la longueur accélératrice L_1 correspond à une longueur sensiblement égale à la relation $\beta \frac{\lambda_0}{n}$ où : $n = 3$ à 4 , λ_0 est la longueur d'onde de l'onde électromagnétique, et où β correspond à la vitesse relative des électrons. Cette vitesse relative des électrons est calculée en prenant la moyenne entre la vitesse d'entrée dans la première cavité CA, et la vitesse maximum atteinte dans cette cavité à la sortie de la longueur accélératrice L_1 . Il est à remarquer que certains électrons sont décélérés au tout début de leur trajectoire, ce dont on ne tient pas compte dans l'approximation de la longueur accélératrice L_1 .

L'onde électromagnétique injectée dans la structure I détermine un champ électrique ayant une composante longitudinale E_z et des composantes radiales Er_1 , Er_2 , et la distribution et l'intensité de ces composantes radiales est influencée par la dimension des trous d'entrée et de sortie 7,8. Aussi, dans l'exemple non limitatif de la description où les rayons r de ces trous sont égaux, on obtient une localisation des composantes radiales Er_1 , Er_2 , le rayon r des trous 7,8 étant suffisamment faible par rapport à la longueur accélératrice L_1 pour que le rapport $\frac{2r}{L_1}$ soit inférieur à 1. De ce fait :

- une première composante radiale Er_1 est localisée à proximité de la face d'entrée 3 et a une action globalement convergente. Pour certains électrons, elle peut se décomposer en une action divergente suivie d'une action convergente ;
- une seconde composante radiale Er_2 est localisée à proximité de la face de sortie 5, et a une action divergente sur les électrons.

Ainsi, en supposant que la distance D entre la face d'entrée 3 et la face de sortie 5 soit uniquement formée par la longueur

accélératrice L_1 , des particules périphériques (non représentées) ayant franchi cette distance D et parvenant à proximité du trou de sortie 8 et de la face de sortie 5, subiraient l'influence défocalisante de la composante radiale Er_2 du champ.

5 Au contraire, dans la structure 1 selon l'invention, ces mêmes particules chargées ayant franchi la première longueur accélératrice L_1 , ne subissent pas l'influence de cette composante radiale Er_2 divergente, dont elles sont encore séparées par une longueur supplémentaire L_2 ; la distance D entre les faces d'entrée et de sortie
10 étant formées par l'addition de ces deux longueurs $L_1 + L_2$, et la longueur supplémentaire L_2 étant égale ou supérieure à deux fois le rayon \underline{r} du trou de sortie 8 ($L_2 \geq 2r$). Il est à noter que les trous d'entrée et de sortie 7,8 comportent en général des becs, non représentés sur la figure 1 qui est schématique, et le rayon \underline{r}
15 représente un rayon approximatif moyen du trou de sortie 8.

La longueur supplémentaire L_2 est telle que l'onde électromagnétique est annulée, voire même inversée quand ces particules ont franchi la distance D , elles sortent de la première cavité CA par le trou de sortie 8 sans diverger ; elles peuvent même, si la phase de
20 l'onde électromagnétique est inversée, subir une action convergente et une faible décélération, la composante radiale étant alors inversée également. On note que cette longueur supplémentaire L_2 , de la première cavité CA, favorise aussi l'action convergente à l'entrée de la cavité accélératrice suivante C_1 qui constitue la seconde cavité.
25 Dans l'exemple non limitatif décrit, la distance D_1 entre la face de sortie 5 de la première cavité CA et le plan d'entrée 15 de la seconde cavité C_1 est inférieure à la longueur accélératrice L_1 , et assure ainsi une convergence sensible à l'entrée de cette seconde cavité C_1 , compte tenu du déphasage de l'onde électromagnétique
30 entre cavités CA, C_1 , C_2 . Ainsi l'effet combiné de l'entrée de la première cavité CA, de la sortie de cette première cavité et de l'entrée de la seconde cavité C_1 est optimisé ; ensuite le gain en énergie est tel que l'effet de la sortie de la seconde cavité C_1 est (presque) négligeable. Par souci de simplicité on ne parle pas de cet

effet de convergence à l'entrée de la seconde cavité C_1 dans ce qui suit.

La longueur supplémentaire L_2 est définie par la relation suivante : $L_2 = L_1 \cdot K$, où K est un coefficient compris entre 0,5 et 1.

5 Dans une réalisation de la structure accélératrice 1 conforme à l'invention, indiquée à titre d'exemple non limitatif, la première cavité accélératrice CA comporte des dimensions suivantes :

- un rayon R de la cavité CA est de 40 mm ;
- la distance D entre la face d'entrée 3 et la face sortie 5 est de 10 25 mm ; cette distance D étant constituée d'une longueur accélératrice L_1 de 15 mm, à laquelle s'ajoute la longueur supplémentaire L_2 de 10 mm ;
- le rayon r du trou de sortie 8 est de 3 mm ;
- la différence de potentiel entre la face d'entrée 3 et la face de 15 sortie 5 est de l'ordre de 500 KV, et la fréquence de l'onde électromagnétique est de 3000 MHZ.

La distribution du champ électrique étant symétrique par rapport à l'axe Z du faisceau, elle n'est pas représentée dans la partie inférieure de la première cavité CA.

20 Cette distribution du champ électrique dans la première cavité accélératrice CA, correspond à l'existence dans cette dernière d'un champ accélérateur.

La figure 2 montre l'onde électromagnétique OE dont une demie période $\frac{P}{2}$ détermine ce champ accélérateur et dont la partie 25 de l'onde OE comprise d'une part entre un instant t_0 et l'instant t_1 , et d'autre part entre un instant t_3 et un instant t_4 détermine un champ décélérateur ; l'instant t_2 correspondant à la valeur crête de la demie période $\frac{P}{2}$ où le champ accélérateur Z_0 est maximum.

30 En prenant comme référence l'instant t_2 où le champ accélérateur est maximum (Z_0), des électrons peuvent arriver dans la première cavité accélératrice CA avec des phases d'arrivées ϕ_0 de valeurs quelconques. Mais pour éviter l'effet de défocalisation dû à la composante radiale E_r localisée près de la face de sortie 5, ces électrons devront franchir la distance D et parvenir à proximité de

cette face de sortie, sensiblement à l'instant t_3 où le champ accélérateur s'annule, grâce à la longueur supplémentaire L_2 .

En prenant pour exemple un électron (non représenté) dont la phase d'arrivée Φ_0 dans la première cavité CA est en avance de
 5 170° par rapport à Z_0 ou instant t_2 : cet électron subit un champ
 décélérateur à proximité de la face d'entrée 3 jusqu'à l'instant t_1 où
 l'onde OE s'inverse et où le champ devient accélérateur ; l'action de
 la composante radiale E_{r_1} , localisée près de la face d'entrée 3, est
 de ce fait d'abord divergente puis convergente quand le champ
 10 devient accélérateur, et son action est globalement convergente.
 Cet électron ralenti est rejoint par des électrons entrés dans la
 cavité CA après lui. Aussi l'agencement de la première cavité CA de
 la structure 1 selon l'invention permet d'éviter l'effet de défoca-
 lisation en sortie pour une large gamme de valeurs de phase
 15 d'arrivée Φ_0 , par exemple comprises entre - 45° et - 190° par
 rapport à Z_0 ou l'instant t_1 .

La figure 3 illustre la trajectoire d'un électron périphérique du faisceau, et montre les composantes de champ E_r , E_z vues à des instants différents, compte tenu de la vitesse finie de l'électron.

20 La cavité accélératrice est symbolisée par ses parois d'entrée
 et de sortie 3, 5. La courbe 10 montre la trajectoire d'un électron
 pénétrant dans la première cavité CA avec une phase d'arrivée Φ_0
 égale à - 170°, et à une distance d de l'axe Z du faisceau :
 - à l'instant Φ_0 le champ est décélérateur comme montré par la
 25 composante longitudinale E_{z_1} , et la composante radiale E_{r_1} est
 défocalisante ;
 - à l'instant Φ_1 le champ est accélérateur (composante longitudinale
 E_{z_2}) et la composante radiale E_{r_1} est focalisante ; il est à remarquer
 qu'à cet instant la trajectoire 10 est très proche de la face d'entrée
 30 3, l'électron ayant subi préalablement une décélération, et s'est
 davantage écarté de l'axe Z du faisceau ;
 - à l'instant Φ_3 le champ est nul, l'électron sort de la première
 cavité CA et tend à converger vers l'axe Z du faisceau.

En supposant que la distance D entre la face d'entrée 3 et la face de sortie 5 ait été constituée uniquement par la longueur accélératrice L_1 , la face de sortie 5 aurait occupée la position de la ligne 11 en traits pointillés et, le champ auquel aurait alors été soumis l'électron à sa sortie de la première cavité CA est représenté en traits pointillés par les composantes E_{r2} et E_z ; la trajectoire de l'électron aurait été modifiée selon la flèche 12 représentée en traits pointillés, laquelle tend à diverger de l'axe Z du faisceau.

Cette description montre que la structure accélératrice 1 conforme à l'invention, élimine l'effet de défocalisation des particules chargées périphériques du faisceau, à la sortie d'une cavité accélératrice. Cette élimination de l'effet de divergence est obtenue par un agencement simple, économique, qui permet d'augmenter le rendement d'un accélérateur linéaire de particules chargées.

REVENDEICATIONS

5 1. Structure accélératrice linéaire autofocalisante de particules chargées, comportant une première cavité accélératrice (CA) d'une succession de cavités accélératrices (CA, C₁, C₂), permettant d'accélérer un faisceau de particules chargées sous l'effet d'une onde électromagnétique (O.E) de fréquence F donnée injectée dans ladite structure (1), ladite première cavité (CA) ayant un axe confondu avec un axe longitudinal (Z) de ladite structure (1) et l'axe dudit faisceau, et comportant une face d'entrée (3) et une face de sortie (5) munies respectivement pour le passage dudit faisceau d'un trou d'entrée (7) et d'un trou de sortie (8) ayant un rayon (\underline{r}) donné, caractérisée en ce que la distance (D) entre les faces d'entrée et de sortie (3, 5) de ladite première cavité (CA) est formée par une longueur accélératrice (L₁), plus une longueur supplémentaire (L₂) destinée à retarder l'instant (\emptyset 3) d'arrivée des particules à la face de sortie (5).
10
15

2. Structure accélératrice selon la revendication 1, caractérisée en ce que la longueur supplémentaire (L₂) est liée à la longueur accélératrice (L₁) par la relation : $L_2 = L_1 \times K$, K étant un coefficient compris entre 0,5 et 1.

20 3. Structure accélératrice selon la revendication 1, caractérisée en ce que la longueur supplémentaire (L₂) est égale ou supérieure à deux rayons (\underline{r}) du trou de sortie (8) : $L_2 \geq 2 \underline{r}$.

4. Structure accélératrice selon la revendication 1, caractérisée en ce que la première cavité accélératrice (CA) est suivie d'une seconde cavité accélératrice (C₁) comportant un plan d'entrée (15) dont la distance (D₁) à la face de sortie (5) de la première cavité (CA) est inférieure à la longueur accélératrice (L₁).
25

