

⑫ **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

- ④⑤ Date de publication du fascicule du brevet: **11.07.90** ⑤① Int. Cl.⁵: **H 05 H 13/00**
⑦① Numéro de dépôt: **86902291.3**
⑦② Date de dépôt: **30.04.86**
⑧⑥ Numéro de dépôt international:
PCT/BE86/00014
⑧⑦ Numéro de publication internationale:
WO 86/06924 20.11.86 Gazette 86/25

⑤④ **CYCLOTRON.**

- | | |
|--|---|
| <p>③③ Priorité: 10.05.85 LU 85895</p> <p>④③ Date de publication de la demande:
27.05.87 Bulletin 87/22</p> <p>④⑤ Mention de la délivrance du brevet:
11.07.90 Bulletin 90/28</p> <p>④④ Etats contractants désignés:
AT BE CH DE FR GB IT LI LU NL SE</p> <p>⑤⑥ Documents cités:
FR-A-2 176 485
FR-A-2 234 733
US-A-3 175 131
US-A-3 925 676</p> <p>Nuclear Instruments & Methods in physics
Research, vol.220, Nr.1, February
1984, Amsterdam, (NL), V.Trinks: "Superconducting
cyclotrons as boosters for tandems", pages 186-
193, see figures 3,7</p> <p>Le dossier contient des informations techniques
présentées postérieurement au dépôt de la
demande et ne figurant pas dans le présent
fascicule.</p> | <p>⑦③ Titulaire: UNIVERSITE CATHOLIQUE DE
LOUVAIN
Place de l'Université, 1
B-1348 Louvain la Neuve (BE)</p> <p>⑦② Inventeur: JONGEN, Yves
Rue du Castinia, 13/302
B-1348 Louvain-la-Neuve (BE)
Inventeur: RYCKEWAERT, Guido
Middelweg, 164
B-3030 Heverlee (BE)</p> <p>⑦④ Mandataire: Van Malderen, Michel et al
p.a. Freylinger & Associés 22 avenue J.S. Bach
(bte 43)
B-1080 Bruxelles (BE)</p> <p>⑤⑥ References cited:
IEEE Transactions on Nuclear Science, vol.NS-
30, Nr.4, part 1, August 1983, New York
(US), E.Acerbi et al.: Status of the Milan
superconducting cyclotron project", pages 2126-
2128, see figure 1</p> |
|--|---|

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

La présente invention est relative à un cyclotron classique de conception nouvelle qui permet de réduire de manière sensible les besoins en énergie.

Les cyclotrons connus sont de deux types: les cyclotrons utilisant des bobinages supraconducteurs (cyclotrons supraconducteurs) et les cyclotrons utilisant des bobinages non supraconducteurs (cyclotrons classiques).

Les cyclotrons supraconducteurs n'utilisent pas de puissance électrique pour entretenir le champ magnétique nécessaire à l'accélération des particules. Toutefois, la technologie des bobines supraconductrices et de la cryogénie associée restent complexes et coûteuses. De plus, ces bobines requièrent de l'hélium liquide comme fluide réfrigérant. Ces considérations restreignent fortement l'usage des cyclotrons supraconducteurs.

Par contre, dans le cas des cyclotrons classiques, une part importante de la puissance est utilisée pour produire et profiler le champ magnétique nécessaire à l'accélération des particules.

Il existe actuellement des cyclotrons classiques dits "compacts" qui ne comportent qu'un seul pôle. Dans ce cas, les électrodes d'accélération, généralement appelées "dés" sont disposées dans l'entrefer. Par conséquent, la puissance fournie au cyclotron doit être relativement élevée pour établir le champ magnétique dans un entrefer de taille accrue. En revanche, la boîte à vide est très simple et peu coûteuse.

On connaît également des cyclotrons classiques dits "à secteurs séparés", dans lesquels la structure magnétique est divisée en unités séparées, entièrement autonomes, en forme de secteurs. Dans les espaces libres laissés entre ces "secteurs séparés" on a installé les dispositifs d'accélération. Dès lors, l'entrefer des secteurs magnétiques peut être réduit et, par conséquent, le nombre d'ampères/tour requis pour produire le champ magnétique est moins important.

Toutefois, ces cyclotrons présentent une série d'inconvénients. Tout d'abord chaque secteur séparé est équipé d'une paire de bobines. Ces bobines sont de forme complexe (en forme de secteur) et, pour dégager l'espace libre entre les secteurs, elles doivent être de section minimale.

Ceci entraîne que la densité de courant doit être élevée dans ces bobines et, en conséquence, la puissance électrique requise pour produire le champ magnétique reste élevée bien que le nombre d'ampères/tour soit plus faible.

Enfin, les secteurs étant mécaniquement indépendants, la conception mécanique du cyclotron en notament de la boîte à vide est complexe et coûteuse.

Un cyclotron classique du type compact correspondant au préambule de la revendication 1 est connu de la Demande de Brevet français FR—A—2 176 485.

Le but de la présente invention est de fournir un nouveau type de cyclotron non supraconducteur

où la puissance électrique requise pour produire le champ magnétique est beaucoup plus faible que dans les cyclotrons classiques précités à savoir le cyclotron "compact" et le cyclotron "à secteurs séparés".

Ce but peut être atteint par un cyclotron selon la revendication 1, comportant une structure magnétique nouvelle où l'on trouve un faible entrefer, ce qui réduit le nombre d'ampères/tour requis, mais aussi une paire de bobines essentiellement circulaires et avantageusement de section importante, ce qui permet de diminuer la densité de courant et donc la puissance électrique requise pour produire le nombre d'ampères/tour requis.

Un autre but de l'invention est d'éviter dans la nouvelle structure la complexité mécanique inhérente aux cyclotrons dits "à secteurs séparés".

Cette nouvelle structure propre au cyclotron classique selon l'invention est caractérisée par ce qu'elle comporte au moins trois secteurs appelés "collines" où l'entrefer est réduit à une dimension voisine de celle du faisceau accéléré et où le flux magnétique est essentiellement concentré, séparés par des espacements en forme de secteur dénommés "vallées", où l'entrefer est de dimension très grande (par exemple, mais de façon non limitative, où l'entrefer est de l'ordre de 30 fois supérieur à celui des collines), pour que le flux magnétique soit essentiellement nul et par une seule paire de bobines essentiellement circulaires entourant essentiellement les "collines" et les "vallées", des retours de flux étant avantageusement disposés à l'extérieur de la bobine en face des "collines", en vue de la fermeture du circuit magnétique.

Une autre caractéristique avantageuse du cyclotron selon l'invention est que les secteurs appelés "collines" sont assemblés de façon rigide sur deux plaques appelées "culasse" formant couvercles pour la boîte à vide et canalisant le flux magnétique vers les retours de flux précités.

Selon l'invention, le cyclotron comporte de préférence quatre secteurs en un matériau magnétique classique.

Un grand avantage du dispositif selon l'invention réside dans le fait que les électrodes d'accélération peuvent être disposées dans les "vallées" et que, par conséquent, l'entrefer peut être réduit à un minimum, c'est-à-dire à l'emplacement nécessaire pour la circulation des particules à accélérer. Il en résulte une notable économie de l'énergie consommée.

Un autre avantage du cyclotron selon le principe de conception de l'invention, réside dans la simplicité des bobines qui fournissent le champ d'induction magnétique.

Des géométries présentant des similitudes ont déjà été décrites pour des cyclotrons supraconducteurs par les documents US—A—3 925 676; FR—A—2 234 733; IEEE Transactions on Nuclear Science Vol. NS-30 (1983) Aug., No. 4, Part 1, New York, USA p 2126—2128 E. Acerbi; et Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, vol. 220 (1984) Febr., No. 1, Amsterdam, Netherlands, p 186—193 U. Trinks.

Toutefois la similitude entre les cyclotrons supraconducteurs cités ci-dessus et le cyclotron non supraconducteur selon l'invention est limitée à la géométrie. Le fonctionnement magnétique est fondamentalement différent.

Pour obtenir un faible nombre d'ampères/tour dans le cyclotron selon l'invention, le flux magnétique est concentré dans les "collines" où l'entrefer est minimum et essentiellement nul dans les "vallées" où l'entrefer est grand.

Dans les cyclotrons supraconducteurs de géométrie similaire, au contraire l'acier est complètement saturé et le flux magnétique est très élevé dans les "vallées" comme dans les "collines" (voir ref. Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, vol. 220 (1984) Febr., No. 1, page 187, tableau 1) et l'effet recherché à savoir réduire le nombre d'ampère tours n'est pas atteint.

Par ailleurs, contrairement aux cyclotrons classiques existants, la structure a une symétrie de révolution, avec des retours de flux disposés avantageusement dans l'alignement de chacun des secteurs, ce qui élimine complètement les dissymétries néfastes du champ magnétique associées aux conceptions classiques.

En outre, la conception du cyclotron selon l'invention permet de loger les électrodes accélératrices à poutre verticale ainsi que l'étage final de l'amplificateur de puissance directement dans les "vallées". Avantageusement, la plaque de l'électrode est couplée inductivement à la cavité du cyclotron. La stabilité du système n'en est qu'améliorée.

Bien qu'un tel couplage inductif ait déjà été utilisé dans les cyclotrons classiques, il n'a jamais été utilisé pour résoudre les problèmes de charge variable dans les cyclotrons à haute intensité.

Les cyclotrons classiques font également appel à des montages des électrodes d'accélération sur une poutre verticale résonnant à demi-longueur d'onde. Ces cavités sont généralement excitées à partir d'un générateur de puissance à haute fréquence, situé à une certaine distance.

Par ailleurs, dans le cas des cyclotrons classiques, si l'intensité du faisceau accéléré par le cyclotron est telle que la puissance d'accélération devient comparable à la puissance dissipée par effet Joule dans les cavités, l'impédance shunt apparente de la cavité est diminuée, et le système de couplage est désaccordé, entraînant l'apparition de puissance réfléchie sur la ligne de transmission. Cet effet peut être à l'origine d'instabilités dans le système interactif faisceau-tension accélératrice.

D'autres détails et avantages apparaîtront plus clairement dans la description qui suit accompagnée dans figures dans lesquelles:

la figure 1 représente une coupe schématique selon le plan médian d'un cyclotron selon l'invention; et

la figure 2 représente une coupe selon la ligne II—II de la figure 1.

Il est bien évident que la présente description

n'est donnée qu'à titre d'exemple et qu'elle ne vise pas à limiter la portée de la présente invention.

Des dispositifs accessoires tels que les conduits de sortie, le support du cyclotron, les pompes à vide, sont mentionnés à titre d'illustration mais ne sont pas spécifiques au cyclotron selon l'invention. Dans les figures, des repères identiques représentent des éléments identiques ou analogues.

La structure magnétique du cyclotron présente une symétrie par rapport au plan dans lequel les particules sont accélérées, dit "plan médian" 17, par exemple placé horizontalement et par rapport à un axe 26 perpendiculaire à ce plan.

Cette structure magnétique se compose d'un certain nombre d'éléments réalisés dans un matériau ferromagnétique (3, 5, 11, 13, 13') et d'une paire de bobines réalisées dans un matériau conducteur (21, 23).

La structure ferromagnétique se compose de:

1) Deux plaques de base 3 et 5, appelées culasses, par exemple en forme de disques situées essentiellement de façon coaxiale par rapport à l'axe 26, parallèle et symétrique par rapport au plan médian 17, l'une étant au-dessus du plan médian, l'autre étant en-dessous de celui-ci.

2) D'au moins trois secteurs supérieurs 13 et d'un nombre égal de secteurs inférieurs 13' situés l'un en face de l'autre symétriquement par rapport au plan médian 17, séparés par un entrefer 19 minimum, c'est-à-dire réduit à une dimension voisine de la dimension axiale du faisceau accéléré et juste suffisant pour le passage du faisceau de particules, le flux magnétique étant de cette manière essentiellement concentré à cet endroit. Les secteurs 13 et 13' sont fixés rigidement à la culasse supérieure 3 et inférieure 5 et sont appelés collines.

3) D'au moins trois retours de flux 11 réunissent de façon rigide la culasse inférieure 3 et supérieure 5, situés à l'extérieur, en face des secteurs 13 et 13' et séparés de ceux-ci par un espace de forme annulaire dans lequel est située la paire de bobines 21, 23. Outre la fonction mécanique précitée, ces "retours de flux" 11 assurent le retour du flux magnétique tout en laissant accessibles les espaces angulaires 15 et 15' situés entre les collines.

Les bobines 21 et 23 sont de forme essentiellement circulaires et sont localisées dans l'espace annulaire laissé entre les secteurs 13 et 13' et les retours de flux 11. Avantageusement, ces bobines ont une section importante, ce qui entraîne une faible densité de courant et donc une faible puissance électrique dissipée pour produire le champ magnétique.

Les espaces angulaires 15 et 15', situés respectivement entre les secteurs 13 et 13', sont appelés "vallées". L'entrefer y est important, c'est-à-dire de dimension très grande par rapport à celle de l'entrefer des collines car il s'étend de la culasse supérieure 3 à la culasse

inférieure 5. Cet entrefer y est, par exemple, de l'ordre de 30 fois supérieur à l'entrefer 19. Le flux magnétique dans les vallées est essentiellement nul.

Les divers éléments constitutifs sont assemblés par des moyens connus en soi comme des boulons.

Le conduit central 25 est destiné à recevoir, au moins en partie, la source de particules à accélérer qui sont injectées au centre de l'appareil par des moyens connus en soi.

Dans le cas représenté d'un cyclotron à quatre secteurs ou à quatre "collines", l'angle d'un secteur est avantageusement de l'ordre de 54°.

Un cyclotron selon l'invention comporte avantageusement les étages finals de deux amplificateurs de puissance à haute fréquence 27 couplés inductivement par une boucle aux électrodes d'accélération 28 à poutre verticale 29, qui sont logés dans les "vallées" entre les secteurs 13, 13'.

Dans le cyclotron selon l'invention, la chambre à vide (31) peut avantageusement être très simple. Elle se compose d'un anneau en matériau non magnétique, s'étendant de la culasse supérieure 3 à la culasse inférieure 5 dans l'espace laissé entre les secteurs 13, 13' et les bobines 21, 23.

On notera l'avantage de la simplicité d'une paire de grosses bobines et de l'entrefer réduit à un minimum, qui permet d'obtenir des économies d'énergie importantes.

À titre d'exemple, on peut mentionner que, dans le cas d'un cyclotron d'une énergie de l'ordre de 30 MeV, l'entrefer dans les collines est de 3 cm et le champ magnétique 1.8 T (18 kGs), tandis que dans les vallées l'entrefer est de 106 cm et le champ magnétique 0.04 T (0,4 kGs). Dans ce cas le nombre d'ampère tours requis est de 33.000 At par bobine, ce qui, avec une densité de courant de 50 A/cm² dans les bobines donne une puissance consommée de 7 kW pour le cyclotron selon l'invention contre 100 kW pour un cyclotron normal.

Notons par exemple que pour un cyclotron supraconducteur selon US—A—3 925 676, le nombre d'ampère tours requis est de 1,8 10⁶ At par bobine (col. 4, ligne 33 à 43).

Revendications

1. Cyclotron non supraconducteur du type compact destiné à l'accélération d'un faisceau de particules, cyclotron comportant une structure magnétique qui présente une symétrie par rapport à un plan médian (17) dans lequel les particules sont accélérées au moyen d'électrodes d'accélération (28) et par rapport à un axe (26) perpendiculaire à ce plan;

ladite structure magnétique comportant:

deux plaques de base (3, 5) situées essentiellement de façon coaxiale par rapport à l'axe (26) parallèle et symétrique par rapport au plan médian (17), l'une (3) étant au-dessus du plan médian, l'autre (5) étant en dessous de celui-ci;

au moins trois secteurs supérieurs (13) et un nombre égal de secteurs inférieurs (13') fixés rigidement aux plaques respectives (3, 5) et situés l'un en face de l'autre symétriquement par rapport au plan médian (17) et séparés axialement, les secteurs opposés étant disposés symétriquement par rapport à l'axe (26) de manière à définir des régions alternées appelées "collines" (13, 13') et vallées (15, 15'), la séparation axiale des secteurs (13, 13') définissant un entrefer (19) des collines et celle des plaques de base (3, 5) définissant un entrefer des vallées;

des retours de flux (11) réunissant de façon rigide les plaques de base (3, 5);

les plaques de base (3, 5), les secteurs (13, 13') et les retours de flux (11) étant réalisés dans des matériaux ferromagnétiques;

et une paire de bobines (21, 23) essentiellement circulaire entourant essentiellement les collines (13, 13') et les vallées (15, 15');

lequel cyclotron est caractérisé en ce que

l'entrefer (19) des collines est réduit à une dimension voisine de la dimension axiale du faisceau accéléré et en ce que le flux magnétique y est essentiellement concentré, tandis que l'entrefer des vallées est de dimension très grande par rapport à celle de l'entrefer des collines, pour que le flux magnétique dans les vallées soit essentiellement nul.

2. Cyclotron selon la revendication 1 caractérisé en ce que les secteurs appelés "collines" sont rigidement fixés à une pièce unique en matériau ferromagnétique.

3. Cyclotron selon la revendication 1 caractérisé en ce que l'entrefer des vallées (15, 15') est de l'ordre de 30 fois supérieure à l'entrefer (19) des collines (13, 13').

4. Cyclotron selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'il comporte des retours de flux agencés (11) à l'extérieur de la paire de bobines annulaires (21, 23), en face des collines (13, 13'), pour former le circuit magnétique.

5. Cyclotron selon la revendication 1 caractérisé en ce que les secteurs (13, 13') dénommés collines présentent un angle de l'ordre de 54°.

6. Cyclotron selon la revendication 1 caractérisé en ce que les électrodes d'accélération (28) sont logées dans les vallées (15, 15').

7. Cyclotron selon la revendication 1 caractérisé en ce que l'étage final d'un amplificateur de puissance (27) est monté dans les vallées (15, 15').

8. Cyclotron selon la revendication 1 caractérisé en ce que l'étage final d'un amplificateur de puissance (27) est couplé inductivement aux électrodes d'accélération (28).

Patentansprüche

1. Nicht supraleitendes Zyklotron vom kompakten Typ, das für die Beschleunigung eines Teilchenbündels bestimmt ist, und das eine magnetische Struktur aufweist, die symmetrisch ist bezüglich einer Mittelebene (17), in der die Teilchen mittels Beschleunigungselektroden (28)

beschleunigt werden, und bezüglich einer zu dieser Mittelebene senkrechten Achse (26);

wobei die besagte magnetische Struktur besteht aus:

zwei Grundplatten (3, 5), die im wesentlichen koaxial zu der Achse (26), und parallel und symmetrisch zu der Mittelebene (17) angeordnet sind, wobei die eine Platte (3) über dieser Mittelebene, und die andere Platte (5) unter dieser Mittelebene gelegen ist;

mindestens drei oberen Segmenten (13) und einer gleichen Anzahl von unteren Segmenten (13'), die an den Platten (3) bzw. (5) starr befestigt sind und symmetrisch zu der Mittelebene (17) in einem gewissen axialen Abstand einander gegenüber gelegen sind, wobei die diametral einander gegenüberliegenden Segmente symmetrisch zu der Achse (26) angeordnet sind und abwechselnde Gebiete bilden, die "Berge" (13, 13') und Täler (15, 15') genannt werden, und wobei der axiale Abstand der Segmente (13, 13') einen Zwischenraum (19) der Berge, und der axiale Abstand der Grundplatten (3, 5) einen Zwischenraum der Täler bildet;

Magnetfluß-Rückleitungssegmenten (11), über die die Grundplatten (3, 5) starr miteinander verbunden sind, wobei die Grundplatten (3, 5), die Segmente (13, 13'), und die Magnetfluß-Rückleitungssegmente (11) aus ferromagnetischen Materialien verwirklicht sind;

und einem Paar im wesentlichen kreisförmigen Spulen (21, 23), die im wesentlichen die Berge (13, 13') und die Täler (15, 15') umgeben; dadurch gekennzeichnet, daß

der Zwischenraum (19) der Berge ungefähr der axialen Ausdehnung des beschleunigten Teilchenbündels entspricht, und daß der Magnetfluß im wesentlichen darin konzentriert ist, während der Zwischenraum der Täler gegenüber dem Zwischenraum der Berge sehr groß ist, damit der Magnetfluß in den Tälern im wesentlichen Null ist.

2. Zyklotron gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die "Berge" genannten Segmente an einem einzelnen Teil aus ferromagnetischem Material befestigt sind.

3. Zyklotron gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Zwischenraum der Täler (15, 15') ungefähr 30 mal so groß wie der Zwischenraum (19) der Berge (13, 13') ist.

4. Zyklotron gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es Magnetfluß-Rückleitungssegmente (11) aufweist, die außerhalb des Paares ringförmiger Spulen (21, 23), gegenüber den Bergen (13, 13') angeordnet sind, um den magnetischen Kreis herzustellen.

5. Zyklotron gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Berge genannten Segmente (13, 13') einen Winkel von ungefähr 54° aufweisen.

6. Zyklotron gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschleunigungselektroden (28) in den Tälern (15, 15') angeordnet sind.

7. Zyklotron gemäß Anspruch 1, dadurch

gekennzeichnet, daß die Endstufe eines Leistungsverstärkers (27) in den Tälern (15, 15') angebracht ist.

8. Zyklotron gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Endstufe eines Leistungsverstärkers (27) an die Beschleunigungselektroden (28) induktiv angekoppelt ist.

Claims

1. Non-superconductive cyclotron of the compact type intended for the acceleration of a beam of particles, comprising a magnetic structure which exhibits a symmetry with respect to a median plane (17) in which the particles are accelerated by means of accelerating electrodes (28) and with respect to an axis (26) perpendicular to this plane; said magnetic structure comprising:

two base plates (3, 5) situated substantially in a configuration which is coaxial with respect to the axis (26) parallel and symmetrical with respect to the median plane (17), one (3) being above the median plane and the other one (5) being below the latter;

at least three upper sectors (13) and an equal number of lower sectors (13'), rigidly fixed to the respective plates situated one opposite the other, symmetrically with respect to the median plane (17), and axially separated, the opposite sectors being disposed symmetrically with respect to the axis (26) to form alternated regions called "hills" (13, 13') and "valleys" (15, 15'), the axial separation of the sectors defining an air gap (19) of the "hills" and the axial separation of the base plate (3, 5) defining an air gap of the valleys;

flux returns connecting together rigidly the base plates (3, 5);

the base plates (3, 5), the sectors (13, 13') and the flux returns (11) being carried out in a ferromagnetic material;

and a substantially circular pair of windings (21, 23) substantially surrounding the hills (13, 13') and the valleys (15, 15');

the said cyclotron being characterized in that: the air gap (19) of the hills is reduced to a dimension close to the axial dimension of the accelerated beam and in that the magnetic flux is substantially concentrated therein, while the air gap of the valleys is of a very large dimension with respect to that of the air gap of the hills, in order that the magnetic flux in the valleys should be substantially zero.

2. Cyclotron according to Claim 1, characterized in that the sectors called "hills" are rigidly fixed to a single component constructed of ferromagnetic material.

3. Cyclotron according to Claim 1, characterized in that the air gap of the valleys (15, 15') is of the order of 30 times greater than the air gap (19) of the hills (13, 13').

4. Cyclotron according to Claim 1, characterized in that it includes flux returns fitted (11) outside the pair of annular windings (21, 23),

opposite the hills (13, 13'), to form the magnetic circuit.

5. Cyclotron according to Claim 1, characterized in that the sectors (13, 13') designated as hills exhibit an angle of the order of 54°.

6. Cyclotron according to Claim 1, characterized in that the accelerating electrodes (28) are accommodated to the valleys (15, 15').

7. Cyclotron according to Claim 1, characterized in that the final stage of a power amplifier (27) is mounted in the valleys (15, 15').

5 8. Cyclotron according to Claim 1, characterized in that the final stage of a power amplifier (27) is inductively coupled with the accelerating electrodes (28).

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

