

INSTITUT DE PHYSIQUE DES HAUTES ENERGIES, SERPUKHOV
Rapport IFVE SKU 68-57

CERN LIBRARIES, GENEVA



CM-P00100585

SCHEMA GENERAL D'EJECTION DES PROTONS DE
L'ACCELERATEUR DE L'IFVE

K.P. Myznikov, Yu.M. Sapunov, V.M. Tatarenko,
Yu.S. Fedotov, A.M. Frolov

Serpukhov, 1968

Traduit au CERN par A. Golovanoff
(Original : russe)

(CERN Trans. 69-30)

Genève
Novembre 1969

Le schéma de disposition des faisceaux de protons extraits de l'accélérateur de l'IFVE permet de mettre en oeuvre un large ensemble d'études physiques, réalisées à l'aide de différentes méthodes expérimentales dans le hall et la galerie. Ce schéma constitue un développement du plan de construction des faisceaux de particules négatives formées sur des cibles internes, qui est en cours de réalisation actuellement. On a tenu compte dans ce schéma des particularités de l'accélérateur de 70 GeV. L'une d'elles réside dans la complexité des canaux existants de particules négatives et des installations destinées à leur étude. Leur mise au point exige de grands efforts : c'est pourquoi le démontage des canaux et le déplacement des installations de physique entraînent d'énormes dépenses de temps et de moyens. D'autre part, lorsqu'on travaille avec des particules engendrées par des cibles internes, l'extraction des particules positives d'énergie élevée dans la partie extérieure du hall expérimental où se trouve la majeure partie des installations devient difficile, si bien qu'il est surtout possible de travailler avec des particules négatives. Aussi, le schéma d'éjection des protons est conçu en tenant compte des canaux de particules secondaires existants. La partie ouverte de l'anneau (entre les unités 23 et 33) est utilisée au maximum pour l'éjection des protons accélérés vers la partie extérieure du hall expérimental et la galerie. Cela élargit considérablement les possibilités des expérimentateurs, en permettant d'effectuer des

expériences sur des installations opérationnelles ou nouvellement montées avec des particules de différentes natures et signes, formées sur les cibles externes.

Le schéma des faisceaux de protons extraits est représenté sur la Fig. 1. Il prévoit une éjection rapide suivant trois directions et une éjection lente suivant deux directions. L'éjection rapide A est destinée à travailler avec le séparateur HF et les chambres à bulles "Mirabelle" et "Skat", placées à la fin de la galerie. On prévoit d'utiliser l'éjection rapide B pour une expérience neutrino et le faisceau C pour la chambre à hydrogène de 2 m^3 . Suivant la direction B, l'éjection rapide sera conjuguée avec une éjection lente. Cela permet de donner une grande extension aux expériences de compteurs dans la partie de tête de la galerie. L'éjection lente dans la direction D permettra d'alimenter en protons et en particules positives les installations expérimentales placées dans le canal existant N° 2.

1. Ejection rapide

L'éjection rapide des protons dans la direction indiquée se fera selon le schéma suivant $\left[1 \right]$. Dans les s.d. 14 et 16 (Fig. 2) se trouveront les kickers KM 14 et KM 16 ^{*)}, dont le temps de montée

^{*)} le numéro de l'aimant correspond au numéro de la s.d. où il se trouve

du champ est inférieur à l'intervalle entre deux paquets successifs (100 nsec). Le faisceau de protons, dévié par ces aimants, tombe dans l'entrefer de l'aimant mobile OM 24, qui est utilisé pour l'éjection suivant les trois directions. Lors de l'éjection dans les directions A et C, le faisceau est envoyé par cet aimant dans l'entrefer de l'aimant OM 26 qui le dévie, selon la valeur du champ, dans l'une ou l'autre de ces directions. Pour l'éjection suivant B, l'aimant OM 26 est débranché et les champs dans les aimants OM 24 et OM 28 sont choisis de telle sorte que le faisceau, après avoir traversé l'entrefer de OM 26, soit éjecté en évitant les non-linéarités des unités 25, 27 et 30. Le champ dans les aimants à septum OM 24, OM 26 et OM 28 peut monter lentement pour atteindre la valeur exigée seulement à l'instant de l'éjection. Afin de réduire au minimum la déviation que doivent introduire les kickers, l'aimant 24 doit se trouver en position de travail au voisinage de l'orbite d'équilibre. Comme le diamètre du faisceau en fin d'accélération est de 1 cm, le bord de l'aimant OM 24 peut se trouver à 1 cm de l'orbite d'équilibre. Dans ce cas, la déviation du faisceau à l'entrée de cet aimant doit être de 2,5 cm. Cette déviation peut être obtenue le plus simplement en branchant ensemble les deux kickers KM 14 et KM 16 en tandem. Leur position, par rapport à la s.d. 24, est telle que les déviations introduites par chaque aimant s'additionnent. De plus, la valeur du champ dans chaque aimant peut ne pas dépasser 600 oersted, ce qui facilite leur réalisation technique. L'utilisation d'un couple d'aimants, disposés dans les intervalles indiquées, permettra aussi

avec un choix judicieux de la valeur et du signe de leurs champs, d'extraire plus tard le faisceau de pratiquement n'importe laquelle des sections droites moyennes ou longues de l'accélérateur; toutefois, en régime d'impulsion multiple du système au cours d'un même cycle d'accélération, il peut s'avérer préférable de faire fonctionner indépendamment chacun des aimants KM 14 et KM 16. A ce régime, le champ dans chacun d'eux doit être porté à 1100 oersted.

L'utilisation d'un aimant intermédiaire OM 24 permet de rendre les aimants OM 26 et OM 28 fixes et à petite ouverture. Ils sont disposés dans la partie interne de l'anneau hors de l'ouverture efficace de l'accélérateur à l'extérieur de l'enveloppe du faisceau à l'injection. Cela permet de faire varier dans de larges limites la direction de l'éjection, en évitant la pénétration du faisceau dans les zones de forte non-linéarité du champ magnétique. En outre, l'espace à l'extérieur de l'anneau reste libre pour l'extraction d'autres faisceaux, puisqu'à l'extérieur des sections droites il se trouve un minimum d'équipements d'éjection. Pour régler la direction de l'éjection, on a prévu dans les s.d. 28 et 30 des aimants de correction MKG 1-A et MKG 1-BC. Pour une variation du champ dans leurs entrefers de ± 15 Koersted, la direction de l'éjection du canal A peut varier dans les limites ± 6 mrad, et celle des canaux B et C dans les limites ± 12 mrad. Les valeurs des champs dans les autres aimants du système d'éjection sont données au Tableau 1. Comme on prévoit d'élever l'énergie du faisceau à 85 GeV, les champs sont aussi donnés pour cette valeur.

Actuellement, l'étude du projet technique du système d'éjection rapide se poursuit conjointement avec l'Organisation européenne CERN [2] pour le canal A, et avec l'Institut d'Etudes de l'Appareillage électrophysique pour l'équipement des canaux B et C.

Comme on prévoit d'utiliser les faisceaux éjectés de protons pour des séparateurs HF et pour une expérience neutrino, les conditions que doit satisfaire la localisation sont extrêmement sévères. Dans tous les cas, la dimension verticale du faisceau sur la cible ne doit pas dépasser 1 mm, et la dimension horizontale 1,5-2 mm pour une divergence angulaire de $\pm 2,5$ mrad au plus. Les systèmes de focalisation des éjections A, B et C sont conçus de façon analogue [3]. Ils sont calculés en fonction d'une émittance horizontale et verticale du faisceau en fin d'accélération de 1 mm.mrad.

Chaque canal de focalisation (Fig. 3) comprend une lentille de préfocalisation L_1 , disposée dans la s.d. qui précède l'entrée de la trajectoire d'éjection dans le champ de fuite des aimants. La lentille L_1 permet de compenser la défocalisation horizontale du faisceau due à ces champs. La focalisation du faisceau éjecté dans l'espace libre s'effectue par un triplet de quadrupôles L_2 , L_3 et L_4 . Pour obtenir les dimensions indiquées du faisceau, l'arrangement des lentilles du triplet dans l'ordre DFD (plan horizontal) est préférable.

La correction de la position du faisceau au voisinage de la cible M est assurée dans le plan horizontal par les aimants MKG1 et MKG2, et dans le plan vertical par MB MKB1. On corrige l'angle du faisceau sur la cible M au moyen des aimants MKG3 et MKG2 respectivement dans les plans horizontal et vertical. Par manque de place dans la s.d. 30, la lentille L_1 et l'aimant de correction MKG1 des éjections B et C sont réunis. Les paramètres calculés des lentilles et des aimants pour les trois canaux sont donnés au Tableau 1.

L'étude des possibilités de réalisation technique du système [4] a montré que pour les valeurs indiquées des gradients et des longueurs, le diamètre de l'ouverture des lentilles du triplet et de la lentille L_1 devrait être respectivement de 7 cm et 3 cm.

2. Ejection lente

L'éjection lente des protons se fera à l'aide de l'aimant à septum OM 20. Le faisceau est envoyé dans l'entrefer de ce dernier par résonance des oscillations bétatroniques horizontales. Cet aimant peut dévier le faisceau, soit dans l'entrefer de l'aimant OM 28 et dirigé dans le canal B utilisé aussi pour l'éjection rapide, soit dans l'entrefer de l'aimant OM 22 et dirigé dans le canal D. Comme l'aimant OM 20 est commun aux deux canaux, on utilise seulement un système d'excitation de résonance des oscillations bétatroniques, qui induit une résonance non linéaire de troisième ordre à la fréquence $Q_r = 9 \frac{2}{3}$.

L'éjection lente est prévue pour fonctionner dans l'intervalle d'énergies 20-70 GeV. Dans cet intervalle, la résonance $Q_r = 9 \frac{2}{3}$ est facile à obtenir en pratique, puisque les valeurs calculées de la grandeur Q_r sont dans les limites 9,65 - 9,73 [5-7]. Cette résonance se manifestera à l'état "pur", car elle dépend dans une moindre mesure des inhomogénéités du champ magnétique et du gradient dans l'accélérateur que la résonance simple et la résonance paramétrique. L'émittance du faisceau envoyé dans l'entrefer de l'aimant OM 20 s'élève à 1 mm.mrad et elle est approximativement égale à l'émittance du faisceau interne accéléré. La disposition

mutuelle

/des aimants OM 20 et OM 28 est choisie de telle sorte que la dimension du faisceau à l'entrée de OM 28 soit voisine de 1 cm, comme pour l'éjection rapide. Ainsi, les caractéristiques optiques du faisceau à l'entrée du système de transport du canal B sont à peu près identiques pour l'éjection lente et l'éjection rapide, ce qui permet d'utiliser dans les deux cas le même système de focalisation. Le Tableau 1 indique les paramètres des lentilles et des aimants, pour lesquels on parvient à focaliser le faisceau extrait par éjection lente dans la direction B en une tache de 1,5 mm de diamètre et de ± 2 mrad de divergence angulaire. La durée de l'éjection lente sera de 0,5 à 1 sec, c'est pourquoi les aimants et les lentilles du canal B - à la différence des éléments du système de transport des canaux A et C - doivent être calculés pour des impulsions de courant prolongées.

On prévoit plusieurs variantes d'utilisation du faisceau de protons, éjecté dans la direction D. Avec un champ de 12 koe, dans l'aimant à septum OM 22, la direction d'éjection est telle qu'il est possible de former un canal de protons parallèle au canal N° 2 existant (trajectoire 1, Fig. 4). Le faisceau de protons éjecté peut être aussi utilisé pour obtenir des particules positives allant dans le canal N° 2. Dans ce cas, à l'aide de l'aimant OM 22, les protons sont déviés sur la cible installée à la fin de l'unité N° 25 (trajectoires 2 et 3, Fig. 4). L'angle de formation des particules destinées au canal N° 2, avec une cible placée en T_1 , est

de 39 mrad, et avec une cible en T_2 de 49 mrad (intensité du champ dans l'aimant OM 22 respectivement 5 koe et 4 koe).

La focalisation des faisceaux de particules positives et leur transport vers les équipements expérimentaux peuvent être réalisés à l'aide des lentilles et des aimants du canal N° 2. L'angle de capture du canal est $\sim 100 \mu\text{ster}$. On trouvera au Tableau 2 les flux de particules positives de diverses impulsions et leurs compositions, calculées pour les deux positions indiquées de la cible, dans le cas d'une cible en béryllium de 5 cm de longueur et d'une dispersion relative des impulsions de $\pm 1 \%$. Afin d'obtenir une telle dispersion des impulsions sans pertes d'intensité, il faut focaliser le faisceau éjecté sur la cible ou une tache de 6 mm de diamètre au plus. A cet effet, on peut utiliser les lentilles L_1 -D et L_2 -D disposées dans la s.d. 24. C'est là que l'on prévoit de placer l'aimant MKB1-D qui corrigera la position verticale du faisceau sur la cible. Le faisceau de protons n'ayant pas eu d'interaction avec la cible peut être absorbé par un piège, placé dans la s.d. 26 à l'entrée du canal 2. La réalisation du schéma décrit permettra d'éjecter dans le canal N° 2 des faisceaux de mésons π des deux signes, avec une intensité acceptable dans le diapason d'énergies de 10 à 40 GeV.

3. Extraction des protons diffusés élastiquement

Les faisceaux de protons diffusés élastiquement sur les cibles internes de l'accélérateur peuvent être utilisés dans le canal N° 2 et dans d'autres canaux pendant la période où les systèmes d'éjection ne fonctionnent pas encore. Aussi, on a estimé l'intensité prévue des faisceaux de protons formés de la sorte. La figure 4 montre la trajectoire des protons diffusés d'impulsion 70 GeV/c extraits dans le canal N° 2 (trajectoire 4). La position de la cible T_3 et la direction de la trajectoire d'extraction sont choisies de telle sorte que le faisceau extrait passe par le centre de l'aimant analyseur M1 du canal N° 2. Pour cela, la position des lentilles de l'objectif en tête du canal doit être un peu modifiée. A l'aide de l'aimant M1, le faisceau de protons peut être dirigé exactement suivant l'axe du canal N° 2. Lorsque l'on place la cible T_3 à l'entrée de la s.d. 23, au voisinage de l'orbite d'équilibre, le centre de l'aimant M1 reçoit les protons diffusés sous un angle de ± 9 mrad. Le faisceau diffusé de protons subit l'action focalisante du champ de fuite des aimants de l'accélérateur. Compte tenu de cet effet, l'angle solide de capture du canal N° 2 est de 3,2 μ stérad.

La focalisation ultérieure du faisceau peut être assurée par les lentilles existantes du canal N° 2. Pour une intensité du faisceau accéléré de 10^{12} protons par impulsion, on peut prévoir que

le faisceau de protons d'impulsion 70 GeV/c dans le canal N° 2 aura une intensité d'au moins 10^6 . En modifiant l'énergie du faisceau accéléré, on peut effectuer l'éjection dans le canal N° 2 de protons dans un large intervalle d'impulsions avec à peu près la même intensité. On a également étudié la possibilité de l'éjection des protons diffusés élastiquement dans le canal A. Ce faisceau de protons purs peut être utilisé pour les expériences avec les chambres "Mirabelle" et SKAT. La figure 5 représente la trajectoire des protons diffusés élastiquement, d'impulsion 70 GeV/c, éjectés dans le canal A. La cible est placée à l'intérieur de l'unité 26 (paquet N° 5) au voisinage de l'orbite d'équilibre. On éjecte alors dans le canal des protons diffusés élastiquement sous un angle de + 13 mrad. Pour focaliser le faisceau extrait, on peut utiliser les lentilles du système d'éjection rapide du canal A. Dans ce cas, l'angle solide de capture est d'environ 3 μ stérad. Pour une intensité du faisceau accéléré de 10^{12} protons par impulsion, on peut prévoir que le faisceau de protons dans le canal, avec une impulsion de 70 GeV/c, sera d'environ 10^5 . Cette estimation correspond par l'ordre de grandeur aux résultats obtenus parallèlement au CERN [6]. Il est probable qu'une certaine augmentation ultérieure des flux des protons diffusés élastiquement pourra être atteinte par le choix de la position optimale de la cible, en se plaçant dans les conditions d'efficacité maximale d'interactions avec le faisceau de protons accéléré.

4. Impulsion multiple du système d'éjection

Il est extrêmement important, du point de vue de l'utilisation de l'accélérateur de l'IFVE, fonctionnant à une fréquence de 9 impulsions à la minute, de prévoir la possibilité d'éjecter à plusieurs reprises les protons au cours de chaque cycle. Cela est surtout valable pour les systèmes d'éjection rapide, destinés à alimenter des chambres à bulles. Il est probable que les chambres en cours de réalisation actuellement pourront travailler 2 fois par cycle à un intervalle de 0,5 sec. La durée du plateau du cycle magnétique de l'accélérateur sera portée à 1,5 sec. Afin de l'utiliser au mieux, il faut mettre en action dans l'intervalle entre deux détentes des chambres un autre canal d'éjection rapide. Pour réaliser un tel régime, la possibilité d'une opération multiple des kickers, à intervalles de 250 μ sec, doit être prévue. A chaque enclenchement, la durée de l'impulsion du champ magnétique des kickers doit pouvoir être fixée à une valeur quelconque de la gamme 20 nsec - 5 μ sec, permettant ainsi d'éjecter n'importe quel nombre de paquets entre 1 et 30. Il est aussi nécessaire de réaliser une opération multiple des aimants à septum OM 24, OM 26, OM 28 et une modification de leurs champs, une opération multiple des systèmes de transport pulsés des canaux A et C, à intervalle de 0,5 sec. Il est aussi indispensable de disposer d'un système rationnel de synchronisation et de commande des équipements d'éjection. Ce problème peut être résolu à l'aide d'une technique semblable à celle élaborée actuellement au CERN [7].

REFERENCES

1. K.P. Myznikov, V.M. Tatarenko: "Sur les possibilités d'éjection rapide des protons d'une énergie de 85 GeV de l'accélérateur de l'IFVE" SKU 68-10 (traduit au CERN par A. Golovanoff)
2. B. Kuiper: "Draft report on the design study of fast ejection system serving channel A of the Serpukhov 70 GeV proton synchrotron", 1967
3. K.P. Myznikov, V.M. Tatarenko: "Calcul du système d'éjection rapide des protons de l'accélérateur de l'IFVE", SKU 67-34K
4. -B. Langeseth, J.M. Maugain, F. Volker: "Project study and technical proposal for the external proton beam transport channel for the CERN-Serpukhov collaboration", CERN/NPA/Int.68-6

-B. Langeseth: "Progress report on the external proton beam transport system for the CERN-Serpukhov collaboration", CERN/NPA/Int. 68-17
5. V.I. Balbekov, I.A. Shukejlo: "Caractéristiques dynamiques du synchrotron à protons de 70 GeV d'après les mesures magnétiques", IHEP 67-58K (traduit au CERN par A. Golovanoff)
6. B. Langeseth, P. Lazeyras, J.M. Maugain, W. Venus: CERN/Int. 68-14
7. H. van Breugel, H. Dijkhuizen, I. Kamber, B. Kuiper, S. Milner: "Operation Straight Flush", CERN/NPA/Int. 67-11.

LEGENDES DES FIGURES

1. Plan des faisceaux de protons extraits
2. Schéma général d'éjection des protons de l'accélérateur de l'IFVE
3. Schéma des systèmes de transport des faisceaux éjectés A, B et C
4. Schéma des possibilités d'utilisation du faisceau de protons éjecté dans la direction D. a - piège; b - lentilles du canal 2
5. Trajectoire d'extraction des protons diffusés élastiquement dans le canal A
6. Exemple de régime d'impulsion multiple du système d'éjection au cours d'un même cycle d'accélération.

TABLEAU 1

| Eléments du système d'éjection et de focalisation | Unité | Energie 70 GeV éjection canal | | | | | Energie 85 GeV éjection canal | | |
|---|-------|-------------------------------|--------|-------|-------|------|-------------------------------|--------|-------|
| | | A | B | B | C | D | A | B | C |
| | | | rapide | lent | | | | rapide | |
| KM 14 | koe | 0,45 | 0,45 | - | 0,45 | - | 0,55 | 0,55 | 0,55 |
| KM 16 | koe | 0,45 | 0,45 | - | 0,45 | - | 0,55 | 0,55 | 0,55 |
| OM 20 | koe | - | - | 6,55 | - | 6,55 | - | - | - |
| OM 22 | koe | - | - | - | - | 12 | - | - | - |
| OM 24 | koe | -3,5 | -3,5 | - | -3,5 | - | -4,25 | -4,25 | -4,25 |
| OM 26 | koe | 12,15 | - | - | 5,15 | - | 14,75 | - | 6,25 |
| OM 28 | koe | - | 10,5 | 15,15 | - | - | - | 12,75 | - |
| L 1 | be/cm | 8400 | 7323 | 9500 | 6809 | 9000 | 10200 | 8892 | 8268 |
| L 2 | oe/cm | 1458 | 1458 | 1320 | 1345 | - | 1771 | 1633 | 1633 |
| L 3 | oe/cm | 3246 | 3172 | 3172 | 3085 | - | 3942 | 3852 | 3746 |
| L 4 | be/cm | 2852 | 3312 | 3452 | 3138 | - | 3463 | 4022 | 3810 |
| MKG 1 | koe | 0 | -10,5 | -16 | -12,8 | - | 0 | -13 | -15,5 |

Principaux paramètres des éléments du système
d'éjection et de focalisation du faisceau

TABLEAU 2

| Position de la cible | Angle de formation (mrad) | Impulsion des particules (GeV) | Flux des protons secondaires pour 10^{12} protons accélérés | Flux des π^+ pour 10^{12} protons accélérés |
|----------------------|---------------------------|--------------------------------|---|---|
| I | 39 | 10 | 1.10^6 | 2.10^6 |
| | | 20 | 2.10^6 | 5.10^5 |
| | | 30 | 6.10^5 | 5.10^4 |
| | | 40 | 8.10^4 | $2,5.10^3$ |
| | | 50 | 6.10^3 | 1.10^2 |
| II | 49 | 10 | 1.10^6 | 2.10^6 |
| | | 20 | 1.10^6 | 2.10^5 |
| | | 30 | 2.10^5 | 2.10^4 |
| | | 40 | 6.10^3 | 8.10^2 |
| | | 50 | 1.10^2 | 20 |

Flux des particules secondaires positives
avec une cible en béryllium pour $E_0 = 70$ GeV.

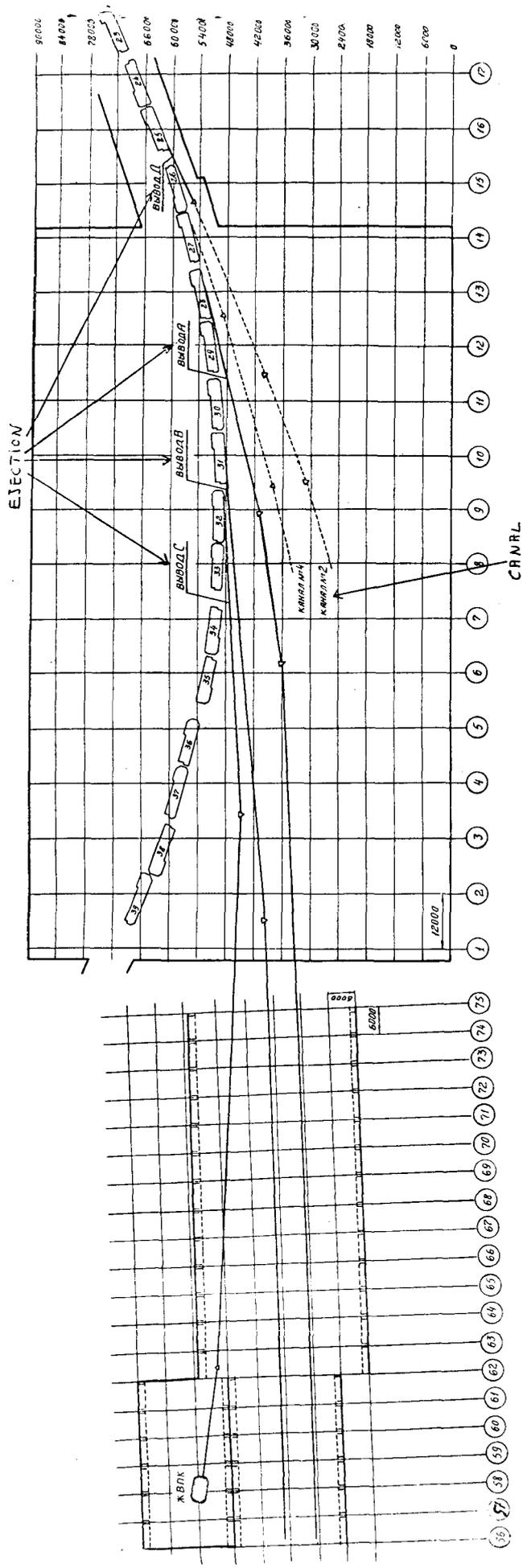


Figure 1

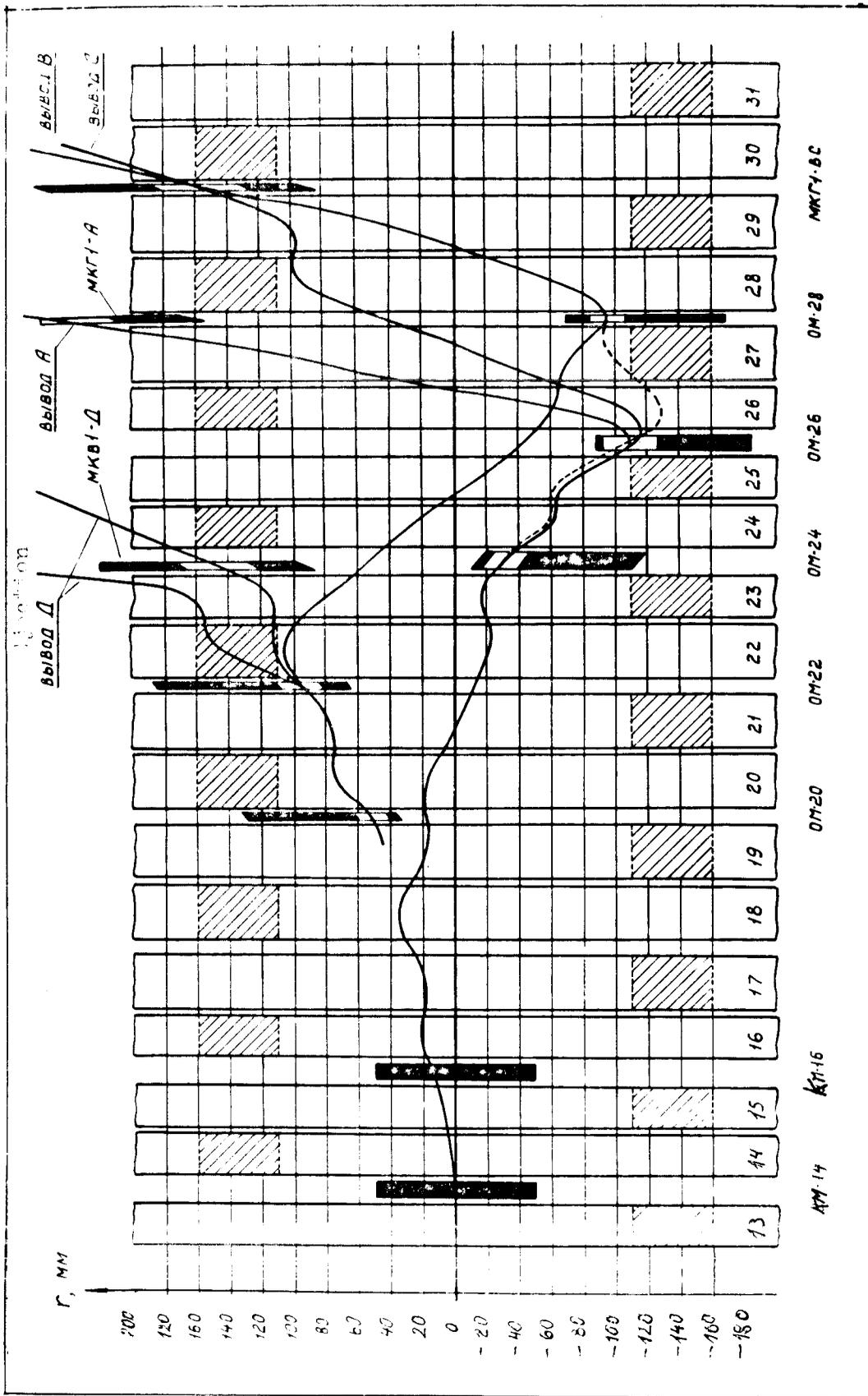


Figure 2

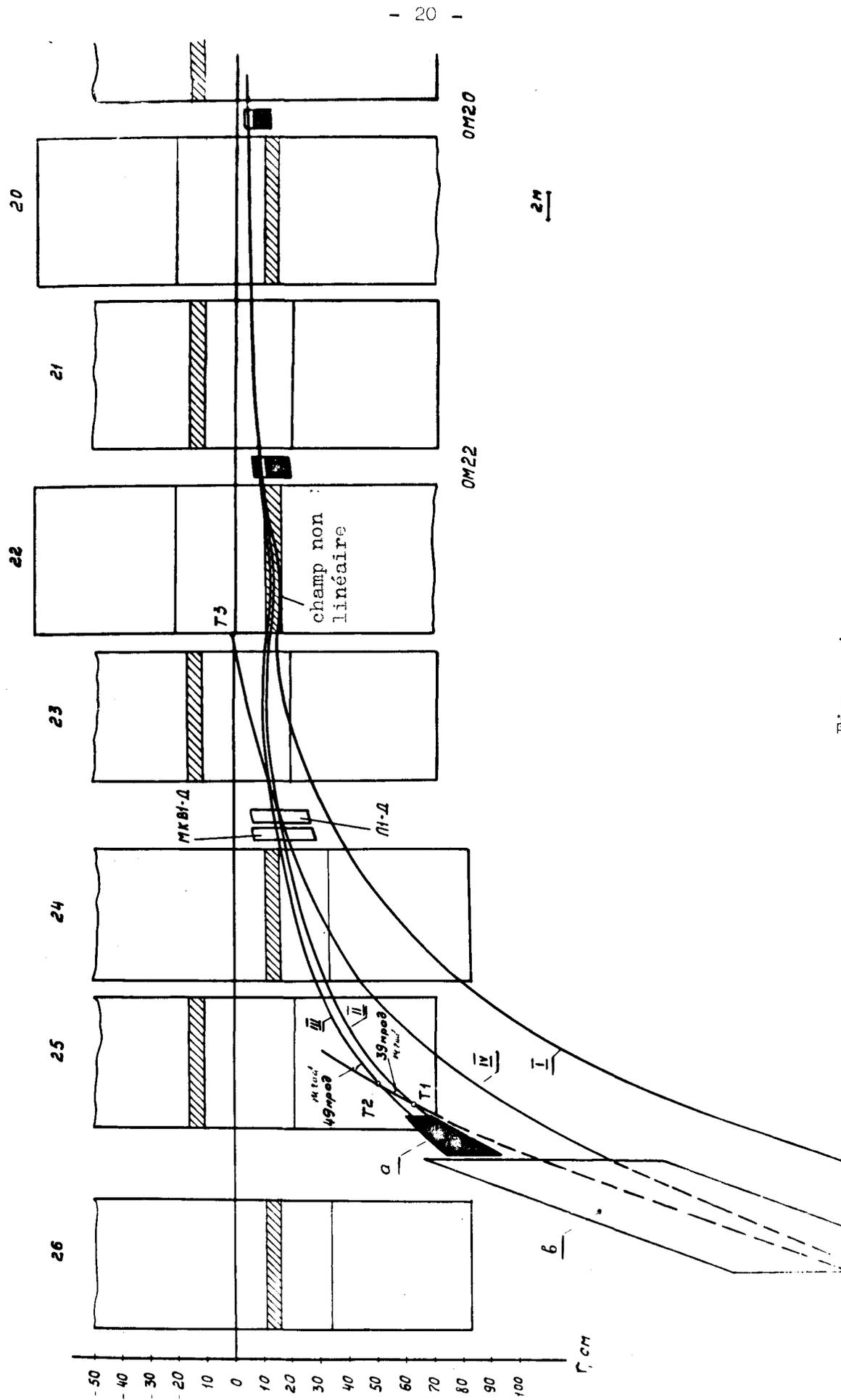


Figure 4

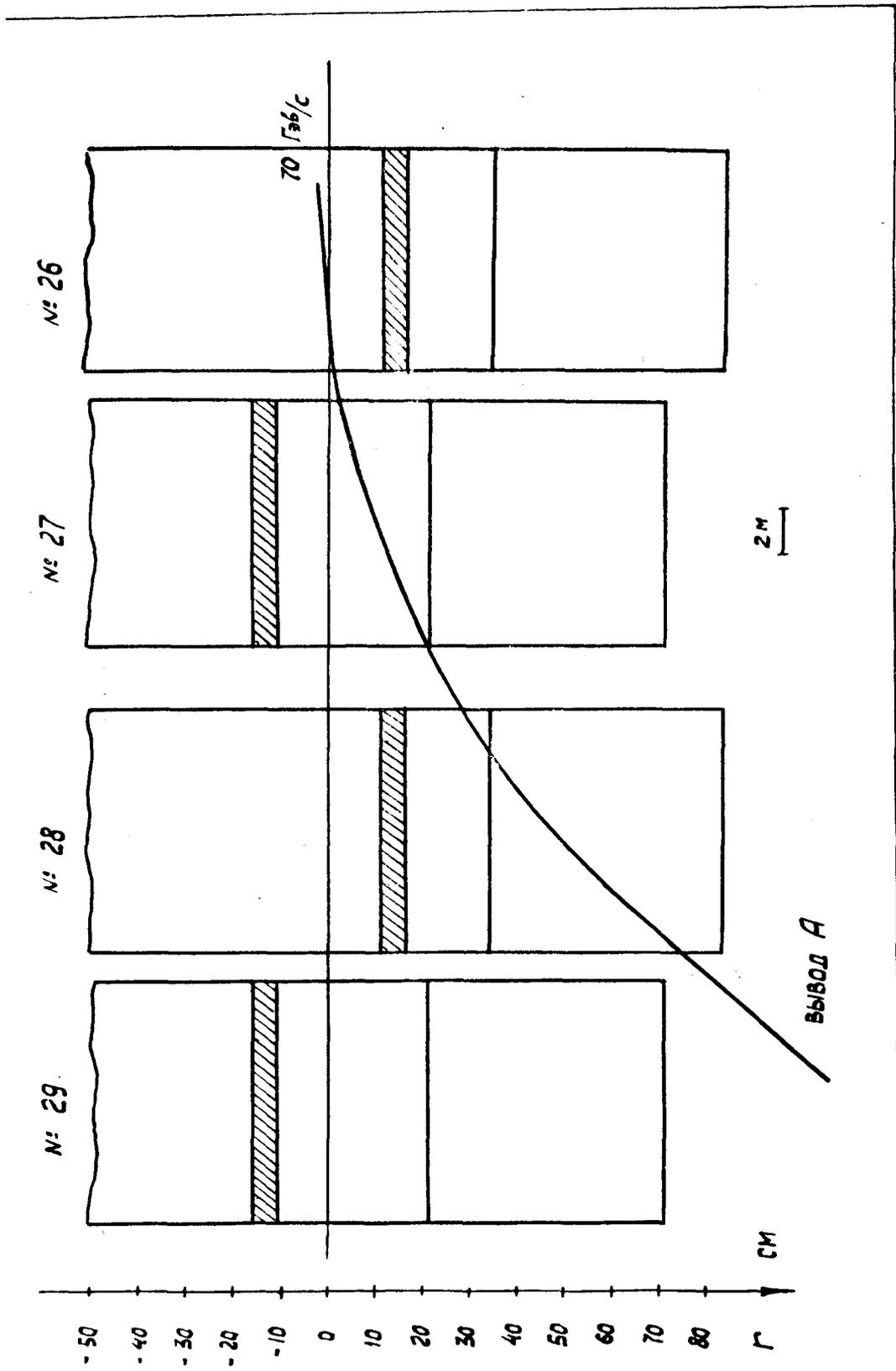


Figure 5

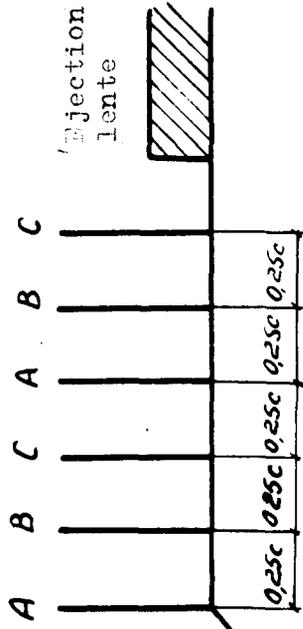


Figure 6