

CERN LIBRARIES, GENEVA



CM-P00052509

PH I/COM-72/9
25 février 1972

M E M O I R E

AU COMITE DES EXPERIENCES ELECTRONIQUES

BISPECTROMETRE SYMETRIQUE POUR LA RECHERCHE
SYSTEMATIQUE DE MASSES LOURDES

F. Binon, P. Duteil, M. Gouanère, L. Hugon,
J. Jansen, J.P. Lagnaux, J.P. Peigneux, M. Spighel
et J.P. Stroot

Collaboration IISN (Belgique) - IPN (Orsay)

Le but de ce mémoire est de traiter :

- a) du bispectromètre symétrique,
- b) des problèmes d'implantation dans la zone d'expériences occidentale ("zone Ouest"),
- c) du bispectromètre comme transport secondaire de faisceaux de particules identifiées,
- d) des charges et du coût de l'expérience.

Le contenu physique de notre lettre d'intention du 6 avril 1971 (PH I/COM-71/17) reste entièrement valable à ce jour si l'on remplace processus périphérique par production dans la région de fragmentation, et processus central par production dans la région de pionisation. Nous n'abordons pas ici l'ensemble des phénomènes dont le bispectromètre permet l'étude : corrélations dans les productions inclusives à deux corps; réactions exclusives à trois corps ou bispectromètre à masse manquante. En plus des hadrons chargés, nous détectons simultanément les électrons et les muons, ce qui nous permet d'aborder les modes de désintégrations e^+e^- des mésons vectoriels lourds et la recherche de dimuons lourds.

Nous désirons cependant souligner les résultats de comparaisons avec d'autres dispositifs.

1. Comparaison avec la spectrométrie par masse manquante. Le fond continu des spectres de masse manquante augmente à mesure que croît la masse recherchée. Au contraire, le fond continu des spectres mesurés avec le bispectromètre décroît exponentiellement à mesure que la masse recherchée augmente.

2. Comparaison avec le spectromètre Ω . Une comparaison détaillée montre que la sensibilité du bispectromètre pour la recherche des masses lourdes qui se désintègrent en deux particules chargées est 10^3 fois plus élevée que celle du spectromètre Ω , grâce au fait que le bispectromètre fonctionne normalement avec un faisceau incident de 10^{12} protons par burst.

3. Comparaison avec la spectrométrie aux ISR. Dans le domaine de masses qui lui est accessible (deux à cinq GeV) le bispectromètre offre un gain de sensibilité de plus de 10^4 vis-à-vis de celle de recherches similaires auprès des ISR.

a. Bispectromètre symétrique

Chaque bras du bispectromètre est constitué par un double spectromètre achromatique. Les enveloppes horizontales et verticales des trajectoires des particules dans un bras sont représentées sur la figure 1 pour une bande de quantité de mouvement de $\pm 4\%$. L'étude est faite au troisième ordre près.

Par rotation autour de la cible chaque bras accepte les particules d'une quantité de mouvement maximum de 9,5 GeV/c, émises à un angle entre 110 et 280 mrad (fig. 2).

La présence d'un foyer intermédiaire permet de disposer un blindage important entre les deux déflexions. Celui-ci isole la zone "chaude" de la cible de la zone "froide" où se trouvent les compteurs Cerenkov d'identification et les hodoscopes pour la mesure des angles. Il permet de travailler effectivement avec un flux incident sur la cible de quelques 10^{11} à quelques 10^{12} protons par burst. Le blindage étant fixe, les deux ensembles d'aimant et de lentilles qui constituent chacun des bras se meuvent séparément. Leurs positions respectives seront asservies par faisceau laser.

L'analyse en quantité de mouvement est faite avec une résolution de 1 à 1,5% grâce à un hodoscope noyé dans le blindage au foyer intermédiaire. L'angle solide moyen d'acceptance est de $0,5 \times 10^{-3}$ sr. La bande totale en quantité de mouvement est de 8%. Sur la base d'un événement par heure, la sensibilité du bispectromètre est de 10 à 20 picobarns pour un faisceau incident de $1,5 \times 10^{12}$ protons par burst, comme l'annonçait notre lettre d'intention.

Les éléments de transport de faisceaux qui constituent chaque bras du bispectromètre sont standard, c'est-à-dire :

aimants de deux mètres de type C	$2 \times 2 = 4$
quadrupôles de 1,5 mètre, type "split-pole"	$2 \times 2 = 4$
quadrupôles de 1 mètre, type standard	$6 \times 2 = 12$

soit au total 20 éléments, à l'exception de deux sextupoles étudiés et fournis par nous.

b. Problèmes d'implantation

Les dimensions du bispectromètre à pleine ouverture sont celles d'un triangle isocèle de 29 mètres de base et de 35 mètres de hauteur. La zone expérimentale qui semble actuellement convenir à une telle implantation est la zone Ouest. La figure 3 présente le bispectromètre tel qu'il pourrait être installé à côté du faisceau séparé BEBC et du faisceau Ω . Notre cible (3 à 7 cm de Be ou de H₂ liquide) est placée dans le faisceau extrait en série avec la cible Ω , 22,5 mètres en amont de celle-ci. Deux quadrupôles de deux mètres et un de 0,50 m permettent de refocaliser le faisceau de protons de 25 GeV d'une cible sur l'autre. Le blindage convenable de l'une et l'autre cible semble possible.

La focalisation du faisceau de protons sur notre cible ne paraît pas non plus poser de problème insurmontable, d'autant que nous ne posons pas d'exigence particulière sur sa divergence intrinsèque et la définition en moment du faisceau.

c. Le bispectromètre en tant que transport secondaire de faisceau de particules identifiées

Les bras du bispectromètre sont chacun en soi un transport de faisceau. A l'angle d'ouverture minimum de 110 mrad, ils permettent d'alimenter deux zones expérimentales en particules secondaires identifiées qui ont une quantité de mouvement définie à 0,5% près et une direction dans l'espace définie au milliradian près.

Les intensités obtenues en ajoutant derrière chaque bras du bispectromètre un doublet de quadrupôles standard d'un mètre pour focaliser les particules secondaires en un point distant de 40 mètres de la cible de production se comparent honorablement à des faisceaux de la zone Sud ou de la zone Est tels que d₃₀, p₇, m₇ et q₁₀.

Compte tenu de la désintégration en vol et pour $1,5 \times 10^{12}$ protons incidents par burst, voici le tableau des intensités.

GeV/c	π^-	π^+	K^-	K^+	p	\bar{p}
3	$2,4 \times 10^7$	$3,4 \times 10^7$	$3,3 \times 10^5$	$7,3 \times 10^5$	$1,7 \times 10^7$	$0,95 \times 10^5$
6	$1,1 \times 10^7$	$2,0 \times 10^7$	$4,5 \times 10^5$	$1,9 \times 10^6$	$3,4 \times 10^7$	$1,0 \times 10^5$
9,5	$1,4 \times 10^6$	$5,8 \times 10^6$	$6,3 \times 10^4$	$6,3 \times 10^5$	$2,7 \times 10^7$	$1,5 \times 10^4$

d. Charges et coût de l'expérience

La collaboration IISN-IPN prend à sa charge la construction des détecteurs, l'électronique associée, la mécanique de support et l'asservissement des bras du spectromètre. Nous estimons le coût de cette partie à $1,2 \times 10^6$ FS. Un an plein de préparation est nécessaire. Mi 1973 paraît une date raisonnable pour installer l'appareillage.

Le CERN devrait fournir les éléments standard de transport de faisceau et le blindage.

Si on considère que le bispectromètre peut être utilisé chaque fois que le spectromètre Ω fonctionne (et vice versa), il peut l'être soit pour notre expérience, soit pour alimenter deux expériences indépendantes en faisceaux secondaires de π^\pm , K^\pm et p^\pm jusqu'à 9,5 GeV/c. Les éléments de transport de faisceau nécessaires au bispectromètre pourraient dans ce cas provenir du transfert de deux faisceaux actuels de la zone Sud ou de la zone Est vers la zone Ouest.

Le blindage en fer autour de la cible peut poser un problème de coût. Les spécialistes évaluent à 1000 tonnes la quantité de fer nécessaire. 500 tonnes pourraient être récupérées dans la zone Est. Si l'on considère que l'utilisation en 1976 de la zone Ouest pour la physique à 200 GeV nécessitera, dès la mi 1975, l'équipement de cette zone en alimentations électriques pour les éléments de transport de faisceaux et en blindage en fer sur une toute autre échelle que l'équipement demandé pour le bispectromètre, l'effort financier demandé pour le fer et les alimentations revient à engager un capital deux ans plus tôt ou bien à payer les intérêts pendant deux ans sur ce capital.

*

* *

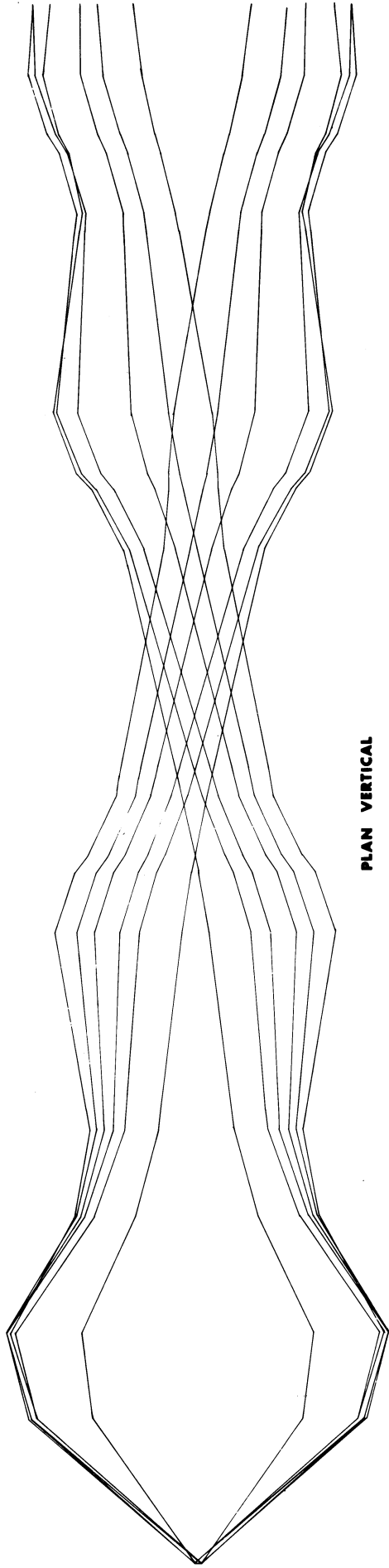
En conclusion, ce mémoire de caractère technique et notre lettre d'intention précédente peuvent être considérés comme la proposition d'expérience sur le bispectromètre symétrique pour la recherche systématique des masses lourdes.

Nous remercions tous nos collègues ingénieurs de NP et de MPS qui nous ont écoutés, conseillés et encouragés.

Légendes des figures

- Fig. 1 : Q₁ et Q₂ : quadrupôles de 1,50 m split pole
Q₃, Q₄, Q₅, Q₆, Q₇ : quadrupôles standard de 1 m
A₁, A₂ : aimants de 2 mètres type C
déviant de 110 mrad (6,3°)
S : sextupôle de 0,20 m
- Fig. 2 : Détail de l'implantation du bispectromètre dans la zone Ouest sur le faisceau alimentant Ω . La position de la cible Ω est inchangée. La cible bispectromètre est à 22,50 m en amont de la cible Ω .
- Fig. 3 : Vue générale de la zone Ouest, schématisant les positions respectives du faisceau séparé RF pour BEBC, du faisceau Ω et de l'implantation du bispectromètre.

BRAS DU DISPECTROMETRE



- Q1
- Q2
- A1
- Q3
- Q4
- S
- Q5
- Q6
- A2
- Q7
- Q8

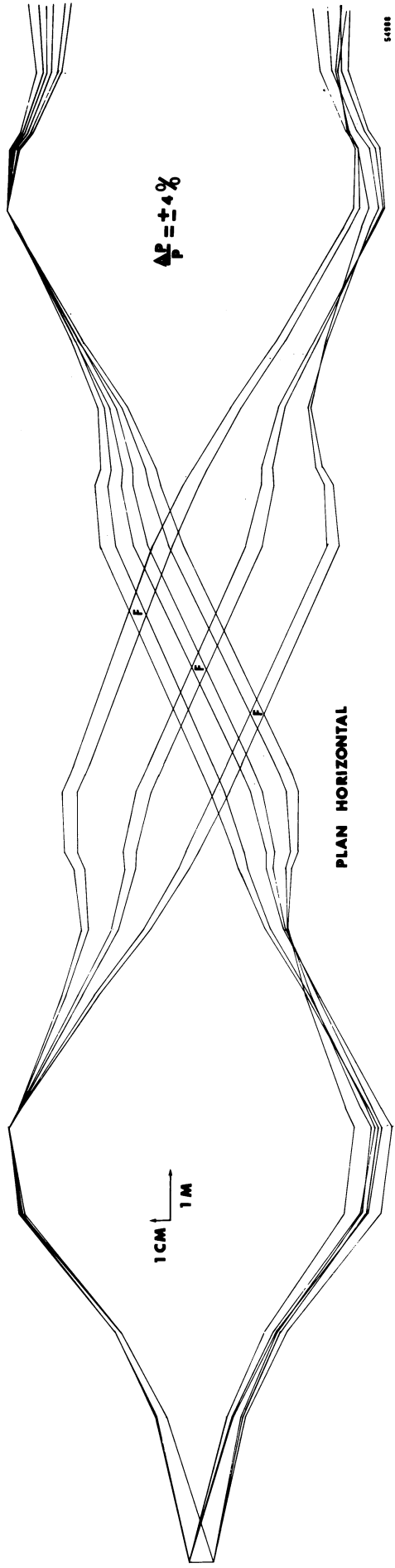


FIG. 1

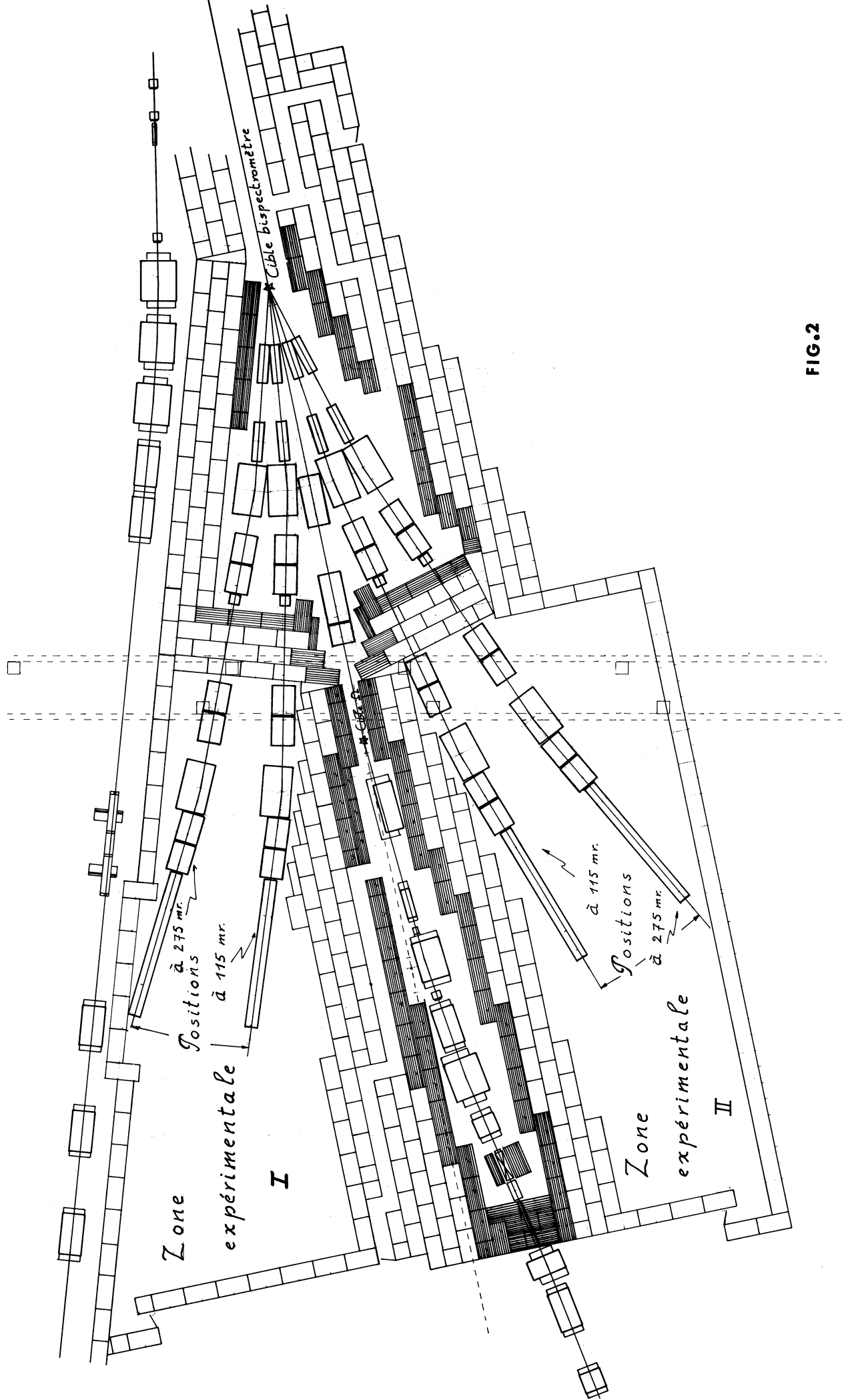


FIG.2

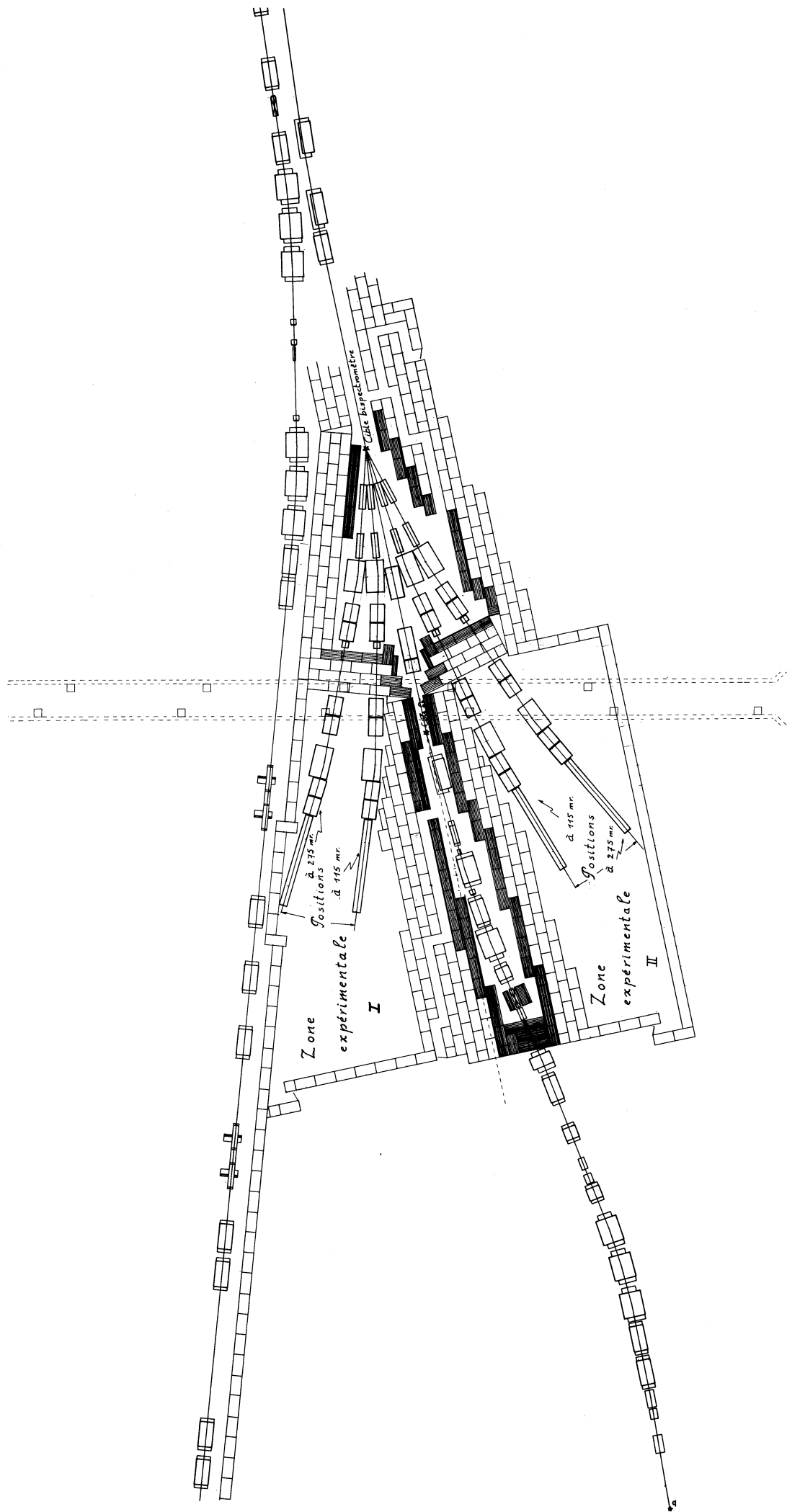


FIG. 3

PH I/COM-71/17
6 avril 1971

PHYSICS I

ELECTRONICS EXPERIMENTS COMMITTEE

LETTRE D'INTENTION

BISPECTROMETRE SYMETRIQUE POUR

LA RECHERCHE SYSTEMATIQUE DE MASSES LOURDES

par

F. Binon, Z. Dimčovski, P. Duteil, M. Gouanère, L. Hugon,
J. Jansen, J.P. Lagnaux, J.P. Peigneux, M. Spighel et J.P. Stroot

Collaboration IISN (Bruxelles) - IPN (Orsay)

LETTRE D'INTENTION A L'EEC

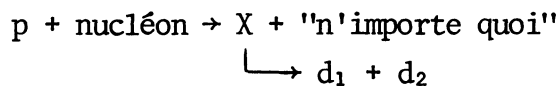
BISPECTROMETRE SYMETRIQUE POUR
LA RECHERCHE SYSTEMATIQUE DE MASSES LOURDES

Collaboration IISN (Bruxelles) - IPN (Orsay)

F. Binon, Z. Dimčovski, P. Duteil, M. Gouanère, L. Hugon,
J. Jansen, J.P. Lagnaux, J.P. Peigneux, M. Spighel et J.P. Stroot

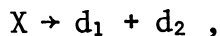
1. PRINCIPE ET CONDITION DE LA MESURE

Considérons la réaction inclusive :



obtenue avec le faisceau de protons extraits du PS. "N'importe quoi" est uniquement limité par les lois de conservation. Si la particule X :

- possède une masse allant d'environ 1,5 à 2 GeV/c² jusqu'au maximum permis par la cinématique (5 GeV/c² environ pour des protons de 24 GeV/c),
- se désintègre en deux particules chargées qui peuvent être μ^\pm , π^\pm , K^\pm , $p^\pm \equiv d_1, d_2$



- a une vie moyenne inférieure à 10⁻¹⁰ sec,

elle peut être détectée avec grande efficacité et sa masse peut être mesurée à l'aide d'un bispectromètre dans lequel les deux particules de désintégration sont identifiées en coïncidence et leur quantité de mouvement est mesurée. Si p_i , m_i et θ_i sont les paramètres mesurés dans chacun des bras du bispectromètre, la masse de X est donnée par :

$$X^2 = m_1^2 + m_2^2 + 2\sqrt{p_1^2 + m_1^2}\sqrt{p_2^2 + m_2^2} - 2p_1p_2 \cos(\theta_1 - \theta_2)$$

Un exemple typique d'une telle production est la production du dimuon telle qu'elle a été étudiée par Lederman, Zavattini et al. [Phys. Rev. Letters 25, 1523 (1970)] . La possibilité d'existence d'un dimuon d'une masse de 3,5 GeV/c² environ est mentionnée.

2. CONDITION DE PRODUCTION DE LA PARTICULE X

a) Si la particule X n'est pas produite dans un processus périphérique et si elle obéit à la phénoménologie des réactions inclusives telle qu'elle est décrite entre autres par les modèles de Feynman et Hagedorn, elle est formée de préférence au voisinage du repos dans le référentiel du centre de masse (c.m.) du système proton-nucléon. Sa quantité de mouvement longitudinale ne dépasse pas en moyenne quelques centaines de MeV/c dans ce système. Dans le symbolisme d'Hagedorn, X proviendrait directement d'une boule de feu locale.

Supposons que la particule X soit produite au repos dans le système du c.m. (proton-nucléon). Si nous détectons les deux particules de désintégration de X émises dans son propre centre de masse au voisinage de la direction perpendiculaire à la trajectoire du proton incident, ces deux particules de désintégration sont observées dans un domaine angulaire du laboratoire qui varie peu avec la masse de X et avec une quantité de mouvement quasiment indépendante de la nature de la particule de désintégration. Dans ces conditions, la quantité de mouvement transverse est maximale; le nombre de particules secondaires produites directement dans la réaction p-nucléon est fort atténué.

Une quantité de mouvement moyenne de la particule X de quelques centaines de MeV/c dans le c.m. (proton-nucléon) ne change pas qualitativement ces conclusions.

En pratique, pour des protons incidents de 24 GeV/c, les particules d_1 et d_2 sont émises entre 280 et 350 mrad dans le laboratoire avec une quantité de mouvement comprise entre 3 et 9 GeV/c suivant la masse de X, et ce pour des X émis vers l'arrière dans le c.m. avec une impulsion de 400 MeV/c environ.

b) Si la particule X est produite dans un processus périphérique, sa quantité de mouvement tend à être maximale vers l'avant et vers l'arrière dans le c.m.

Considérons à nouveau les désintégrations de X à 90° de la direction incidente dans le c.m. de la particule X. Les produits de désintégration

des particules X, émises vers l'arrière dans le c.m., sont observées à des angles généralement beaucoup plus élevés (de 350 à 1200 mrad) et avec des quantités de mouvement plus basses (de 1 à 5 GeV/c). De plus, si la nature des deux particules est différente, les angles d'observation dans le laboratoire sont différents. Dans ce qui suit, nous analysons principalement le cas (a).

3. SCHEMA DU BISPECTROMETRE SYMETRIQUE

Les deux bras du bispectromètre symétrique sont constitués chacun d'un doublet de quadrupôles de 2 m qui transforme le faisceau recueilli en un faisceau parallèle, d'un aimant de 2 m qui dévie les secondaires d'environ 100 mrad, de trois compteurs Čerenkov DISC centrés respectivement sur les π , K et p, de deux systèmes hodoscopiques à 90° l'un de l'autre dans le plan transversal de pas 3 à 4 mm, distants de 3 à 5 m, et d'un détecteur de μ . Chacun des bras a une longueur de 15 à 17 m et peut être placé sur une plateforme tournante pour balayer le domaine angulaire de 280 à 350 mrad. L'angle solide d'acceptance est d'environ 10^{-3} sr. La bande totale acceptée en $\Delta p/p$, pour pouvoir séparer les trois types de particules, sera limitée à environ 4%. La précision dans l'analyse en dp/p devrait atteindre 1 à 1,5%.

4. SENSIBILITE DE DETECTION DU BISPECTROMETRE SYMETRIQUE

- Nombre de protons incidents $\geq 1.5 \times 10^{12}$ /burst;
- Nombre de bursts par heure 1.8×10^3 ;
- Nombre de nucléons efficaces dans la cible $\approx 3 \times 10^{24}$ /cm²;
- Jacobien ≈ 10 ;
- Efficacité de détection d'un couple de particules $\approx 50\%$;
- Section efficace de production de X dans la réaction proton-nucléon, σ_X .

Si le bispectromètre est réglé pour détecter les X dont la quantité de mouvement dans le c.m. est comprise entre 200 et 400 MeV/c et est dirigée vers l'arrière, en supposant de manière pessimiste que l'on ne peut prendre que 2×10^{-2} des X produits (la botte), le nombre d'événements est :

$$\frac{\text{Nombre d'événements}}{\text{heure}} = 1,5 \times 10^{12} \times 1,8 \times 10^3 \times 3 \times 10^{24} \times \frac{10 \times 10^{-3}}{4\pi} \times 0,5 \times \sigma_X \times 2 \times 10^{-2};$$

$$\frac{\text{Nombre d'événements}}{\text{heure}} = 6 \times 10^{34} \times \sigma_X.$$

La sensibilité de détection du bispectromètre symétrique atteint donc pour les masses lourdes ≈ 15 picobarns. Cette sensibilité n'est limitée que par l'intensité actuelle des faisceaux disponibles. L'intensité totale du faisceau du PS après mise en route du booster serait sans doute utilisable si une deuxième étape s'avérait nécessaire.

5. RESOLUTION EN MASSE

Si les mesures des deux quantités de mouvement et des deux angles sont effectuées à 1% près chacune, la précision sur la mesure de la masse est de 1%.

6. BRUIT DE FOND

L'ordre de grandeur du nombre de particules reçues dans chacun des bras du bispectromètre à 300 milliradians, pour un réglage correspondant à une masse X de 2 GeV, est :

$$\begin{array}{ll} p \approx 2 \times 10^5/\text{burst} & \bar{p} \approx 10^2/\text{burst} \\ K^+ \approx 10^4/\text{burst} & K^- \approx 2 \times 10^3/\text{burst} \\ \pi^+ \approx 10^5/\text{burst} & \pi^- \approx 2 \times 10^4/\text{burst}. \end{array}$$

Le bruit de fond diminue d'un ordre de grandeur chaque fois que la masse X recherchée augmente de 560 MeV.

7. TEMPS DE PS NECESSAIRE

Pour explorer le spectre de masse de 2 à 5 GeV/c², il faut faire varier la quantité de mouvement acceptée de 3,4 à 9 GeV/c par pas de 4% simultanément dans chacun des bras. Il faut donc environ 26 pas. (Il n'y a que le premier qui coûte.) Deux à trois pas angulaires entre 280 et 350 mrad seront peut-être nécessaires. En plus de la combinaison de signes +-, de chacun des bras du bispectromètre, il faudra ultérieurement

explorer peut-être les combinaisons, ++, et --. Cinq semaines de cinq jours semblent donc nécessaires sur la base de $1,5 \times 10^{12}$ protons par burst.

8. AVANTAGES DU BISPECTROMETRE SYMETRIQUE

- a) La sensibilité de détection des masses lourdes se désintégrant en deux corps est très grande. On peut mettre en évidence des sections efficaces totales de production très faibles, de l'ordre de 15 picobarns, tout en gardant une résolution en masse de l'ordre du pourcent.
- b) La géométrie que l'on s'est fixée - X produit assez près du repos dans le c.m. et désintégration de X en deux corps à 90° dans le c.m. de cette particule - conduit au meilleur rapport possible signal sur bruit de fond. En effet, c'est dans cette géométrie que les quantités de mouvement transverses p_\perp des deux particules de désintégration sont les plus grandes possible, donc le bruit de fond minimum.
- c) Cette géométrie conduit à un angle θ pour les deux bras du bispectromètre dont la valeur, peu sensible aux autres paramètres, est déterminée par la vitesse du c.m. de la collision proton-nucléon.
- d) La recherche systématique de masse lourde entre 2 et 5 GeV/c^2 se désintégrant en deux particules se fait en un temps raisonnable.

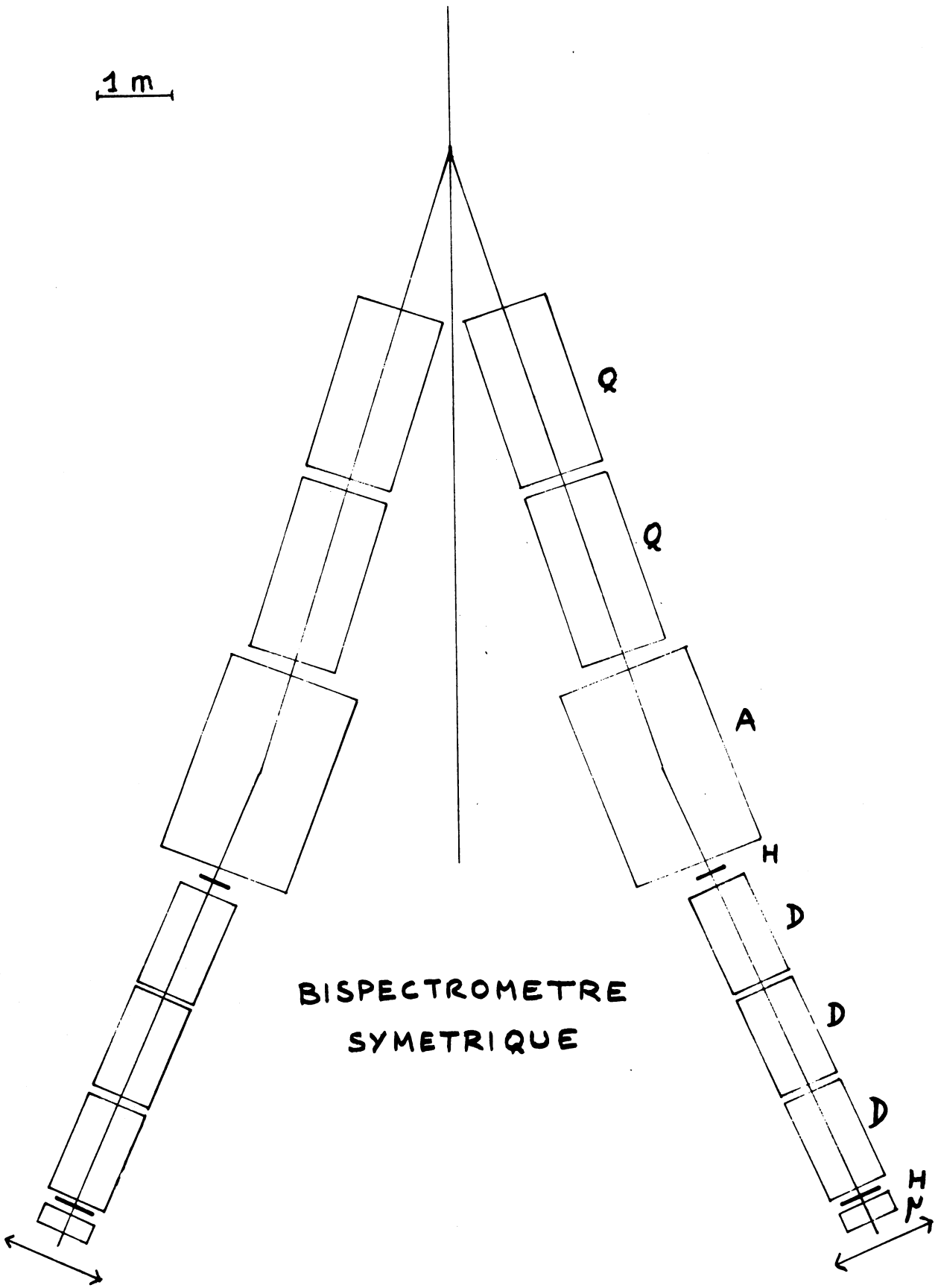
9. INTERET DE CETTE RECHERCHE

Grâce à sa sensibilité et à sa résolution en masse, le bispectromètre symétrique permet la recherche d'un éventuel dimuon dans notre hypothèse (a) (section 2), ainsi que la recherche systématique des mésons lourds qui se désintègrent en pion-pion, pion-kaon, kaon-kaon et proton-antiproton.

Le bispectromètre peut également être réglé pour rechercher, avec les mêmes propriétés de sensibilité et de résolution, les baryons lourds entre 2,5 et 6 GeV/c^2 qui se désintègrent en proton-pion et proton-kaon et qui peuvent être considérés comme produits par interaction périphérique.

En résumé, une première étude assure que l'emploi d'un bispectromètre symétrique permet une recherche systématique efficace et spécifique des particules lourdes qui se désintègrent en deux corps, ainsi que des paires de particules chargées émises avec une grande impulsion transverse, avec la meilleure sensibilité, là où le bruit de fond est minimum.

La proposition d'expérience présentera, outre l'étude détaillée du bispectromètre, une évaluation plus complète de son domaine d'application.



Q = quadrupôle
 A = aimant de déflexion
 H = hodoscopes x et y
 D = DISC
 μ = détecteur de μ