

Il y a 30 ans, la découverte des bosons intermédiaires

à cette époque la science était
au cœur de nos activités

CERN, UA1, SACLAY: souvenirs personnels

Michel Spiro, Saclay 25/06/2013

1967

- Mise en service de l'accélérateur linéaire d'électrons de 20 GeV à SLAC, Stanford, USA
- Fondation de Fermilab près de Chicago
- **Steven Weinberg** et **Abdus Salam** proposent, chacun de son côté, une théorie unifiant les interactions faible et électromagnétique en une unique interaction appelée électrofaible. Cette théorie nécessite en plus de boson chargés W (courants chargés) l'existence d'un boson neutre interagissant faiblement pour véhiculer l'interaction faible et donc de courants neutres. Ils prédisent aussi l'existence d'un boson massif supplémentaire, appelé boson de Higgs, qui n'a été observé qu'en 2012.
- Naissance du Modèle standard sous sa forme actuelle. Ce sera une anticipation formidable des résultats à venir au cours des 30 prochaines années. A cette époque, c'est une belle construction théorique qui reste entièrement à tester.

1968-1969-1970

- **Georges Charpak**: invention des chambres proportionnelles multifils et des chambres à dérive.
- Au cours d'une expérience de diffusion d'électrons sur des protons, effectuée auprès de l'accélérateur linéaire de Stanford, les électrons semblent rebondir sur des petits noyaux durs à l'intérieur du proton. **James Bjorken** et **Richard Feynman** analysent ces données en termes de particules constituants les protons (ils utilisent le nom de «partons » pour ces constituants, même si ces partons sont en fait les quarks).
- **Sheldon Glashow, Jean Iliopoulos, et Luciano Maiani** prédisent un quatrième type de quark dans le contexte du Modèle Standard (pas de FCNC, pas de $K^0 \rightarrow \mu\mu$).
- **Ray Davis et ses collaborateurs** observent trois fois moins de neutrinos très énergétiques en provenance du soleil que prévu. Naissance des astroparticules

1971

- **M. Veltmann et t'Hooft** d'une part et
- **BW Lee et J. Zinn-Justin** d'autre part

démontrent la cohérence mathématique et physique du Modèle Standard

1972-1973

- Autorisation de construire un deuxième laboratoire à proximité du domaine existant du CERN pour la réalisation d'un supersynchrotron à protons (**SPS**) prévu pour une énergie initiale de 300 GeV.
- Les premiers faisceaux de 70 GeV circulent à **Serpukhov** (Russie)
- Le premier faisceau de 200 GeV circule à **Fermilab** à Chicago (Main ring). Il sera porté à 400 en 1974

1972 - 1973

- Premières découvertes importantes résultant des expériences aux ISR :
 - a) la section efficace augmente avec l'énergie ;
 - b) Découverte (M. Banner) de l'émission de particules à très grande impulsion transverse (combinaison de grand angle de diffusion et grande impulsion), ce qui est l'indicateur de collisions proton- proton qui ont lieu à travers les collisions de structures ponctuelles appelées partons mais bientôt identifiées aux quarks et gluons, les composants élémentaires du proton.

1973

C'est avec la chambre à bulles de fabrication française Gargamelle placée dans un faisceau de neutrinos au synchrotron à protons (PS) qu'est faite l'une des plus grandes découvertes de physique du CERN: on observe que les neutrinos peuvent interagir avec une autre particule sans se transformer en muons. Ce comportement est connu sous le nom d'interaction à courant neutre" et sa découverte ouvrira la voie à ce qu'on appelle maintenant la "nouvelle physique". Il a de grandes conséquences pour les théories concernant les forces fondamentales de la physique. En particulier, il vient fortement corroborer la théorie qui s'efforce d'unifier nos connaissances sur la force faible (responsable de phénomènes tels que la radioactivité) et celles sur la force électromagnétique bien connue. C'est la naissance du modèle standard. La collaboration à l'origine de cette découverte est conduite par le Professeur à Orsay A. Lagarrigue, malheureusement décédé peu après. On pense généralement que cette découverte lui aurait valu l'attribution du Prix Nobel.

1973-1974

- **David Politzer, David Gross, et Frank Wilczek** découvrent une propriété spécifique de la théorie de couleur de l'interaction forte : la "liberté asymptotique". Cette propriété est nécessaire pour expliquer les données de 1968-69 sur le proton., puis à BEBC, CDHS, BCDMS, LEP et HERA de 1970 à 2000

1974 - 1977

- **Burton Richter** et **Samuel Ting**, menant des expériences indépendantes, annoncent le même jour la découverte de la même nouvelle particule. Ting et ses collaborateurs de Brookhaven la désignent sous le nom de particule "J", alors que Richter et son équipe la baptisent particule psi. Ces découvertes étant d'égale importance, cette particule est appelée J/psi. C'est un méson charme-anticharme.
- **Gerson Goldhaber** et **François Pierre** découvrent le méson D_0 (quarks anti-up et charme). Les résultats expérimentaux concordent parfaitement avec les prédictions théoriques (GIM) du Modèle Standard.

suite

- Le lepton tau est découvert par **Martin Perl** et ses collaborateurs à SLAC. Ce lepton est la première particule de troisième génération observée.
- **Leon Lederman** et ses collaborateurs de Fermilab découvre un autre quark (et son antiquark) : le quark "bottom". Comme les physiciens considèrent l'existence de paires de quarks, cette découverte entraîne de facto la recherche d'un sixième quark : le "top".

1978

- Mise en service de PETRA à DESY, Hambourg, Allemagne, collisionneur circulaire électron positron de 40 GeV dans le centre de masse en parallèle avec la mise en service d'un collisionneur similaire PEP à SLAC, Stanford
- **Charles Prescott** et **Richard Taylor** observent l'interaction faible véhiculée par un Z^0 dans la diffusion d'électrons polarisés sur du deutérium et constate une violation de la conservation de la parité, comme prévue par le Modèle Standard qui se trouve ainsi confirmé.
- A PETRA, un collisionneur du laboratoire DESY, à Hamburg, on met en évidence le gluon émis par un quark ou un antiquark initial.

1976-1981

- Des expériences effectuées au CERN montrent que la qualité et l'intensité des faisceaux peuvent être améliorées grâce à la "technique de refroidissement stochastique", permettant ainsi d'accélérer et de stocker des faisceaux intenses d'antiprotons (Van der Meer).
- Mise en évidence des gluons à PETRA /DESY/HAMBOURG
- Transformation du SPS en un collisionneur proton-antiproton (SPp) et construction de deux zones d'expérimentation (UA-1 et UA-2) dans lesquelles peuvent être saisies les données résultant des collisions. Depuis lors, l'exploitation du SPS est partagée entre ce mode collisionneur et la physique à cible fixe. Les premières collisions proton-antiproton à une énergie de 2×270 GeV sont observées en juillet 1981, quelques mois après la mise en service du nouvel anneau accumulateur d'antiprotons (AA), dans lequel la technique du refroidissement stochastique est appliquée pour produire un faisceau d'antiprotons refroidi. LEP approuvé.

1982


- Découverte de la production de jets de particules énergiques à grand angle dans les collision proton-antiproton au SP pUA2 au CERN. C'est après les ISR (Banner), la confirmation que des collisions dures ont lieu entre des sous structures ponctuelles du proton et de l'antiproton (les quarks et les gluons)

–

1983

- Les bosons intermédiaires W^\pm et Z^0 requis par la théorie électrofaible sont observés par deux expériences utilisant le synchrotron SPS du CERN, grâce aux techniques développées par Carlo Rubbia et Simon Van der Meer permettant des collisions protons-antiprotons.
- Découverte des bosons W (janvier) et du boson Z (mai) au collisionneur proton antiproton du CERN, les vecteurs de la force nucléaire faible, par les équipes UA-1 et UA-2, confirmant la théorie des interactions électrofaibles, unifiant les forces faible et électromagnétique.



A photograph of a highway with a road sign on the right side. The sign is rectangular with a black background and white text that reads "Genève 24 km". The road is paved and has a white line on the right edge. In the distance, a white van is visible on the road. The background shows a clear sky and some trees and fields.

Genève 24 km

4" SOLID ANGLE DETECTOR FOR THE SPS USED AS A PROTON-ANTIPROTON
COLLIDER AT A CENTRE OF MASS ENERGY OF 540 GeV

Astbury⁸, B. Aubert², A. Benvenuti⁴, D. Bugg⁶, A. Bussièrè², Ph. Cattani⁴,
Cittolin⁴, D. Cline^{*)}⁴, M. Corden³, J. Colas², M. Della Negra²,
Dobrzynski⁵, J. Dowell³, K. Eggert¹, E. Eisenhandler⁶, B. Equer⁵,
Faissner¹, G. Fontaine⁵, S.Y. Fung⁷, J. Garvey³, C. Ghesquière⁵,
Gibson⁶, A. Grant⁴, T. Hansl¹, H. Hoffmann⁴, R.J. Homer³, M. Jobes³,
Kalmus⁶, I. Kenyon³, A. Kernan⁷, F. Lacava^{**})⁴, J.Ph. Laugier⁹,
Leveque⁹, D. Linglin², J. Mallet⁹, T. McMahon³, F. Muller⁴, A. Norton³,
T. Poe⁷, E. Radermacher¹, H. Reithler¹, A. Robertson⁸, C. Rubbia[†])⁴,
B. Sadoulet⁴, G. Salvini^{**})⁴, T. Shah⁸, C. Sutton⁸, M. Spiro⁹,
K. Sumorok³, P. Watkins³, J. Wilson³, R. Wilson^{***})⁴

Physikalisches Institut, Technische Hochschule Aachen, Germany.¹

LAPP (IN2-P3) , Annecy, France.²

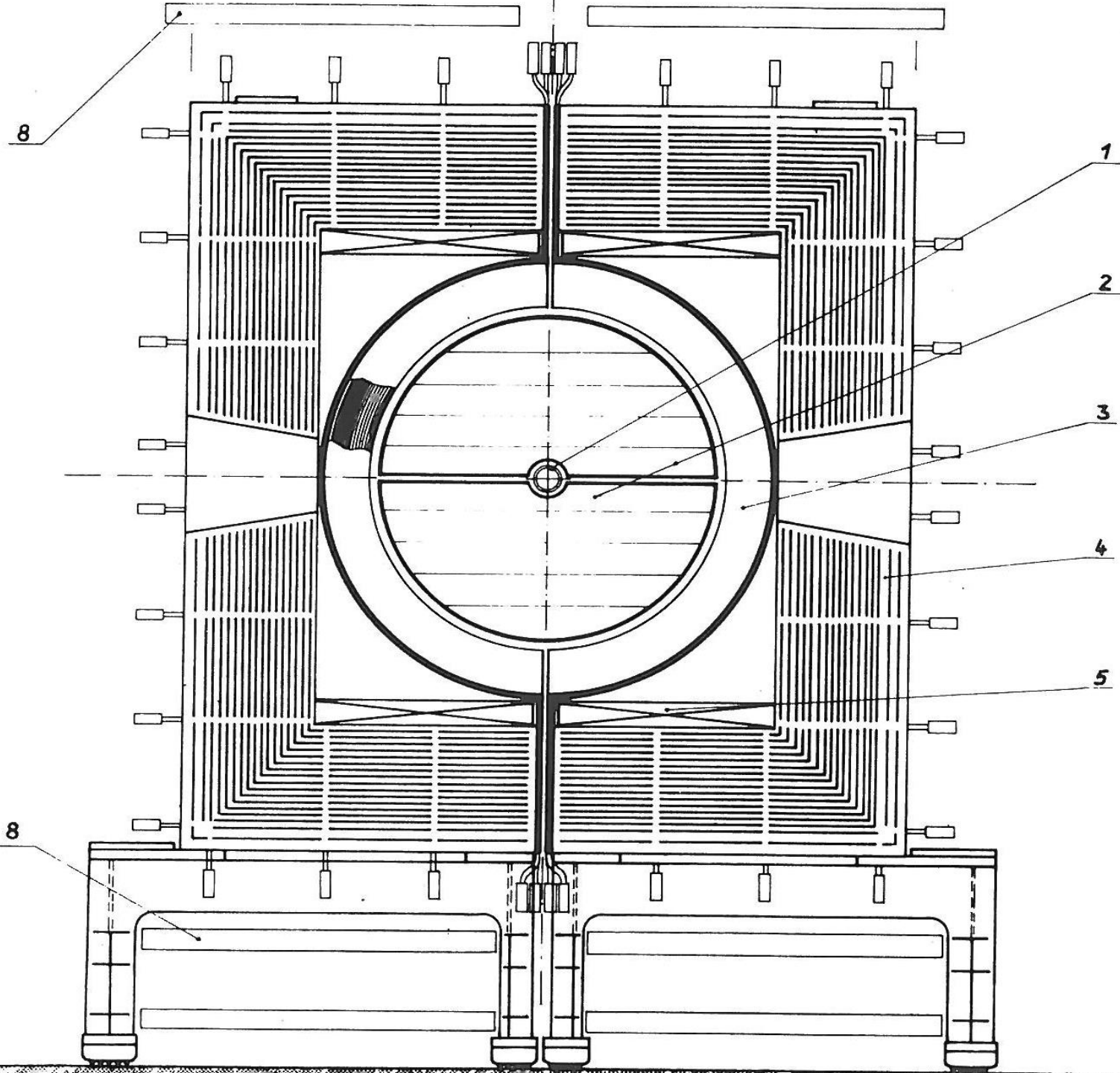
University of Birmingham, U.K.³

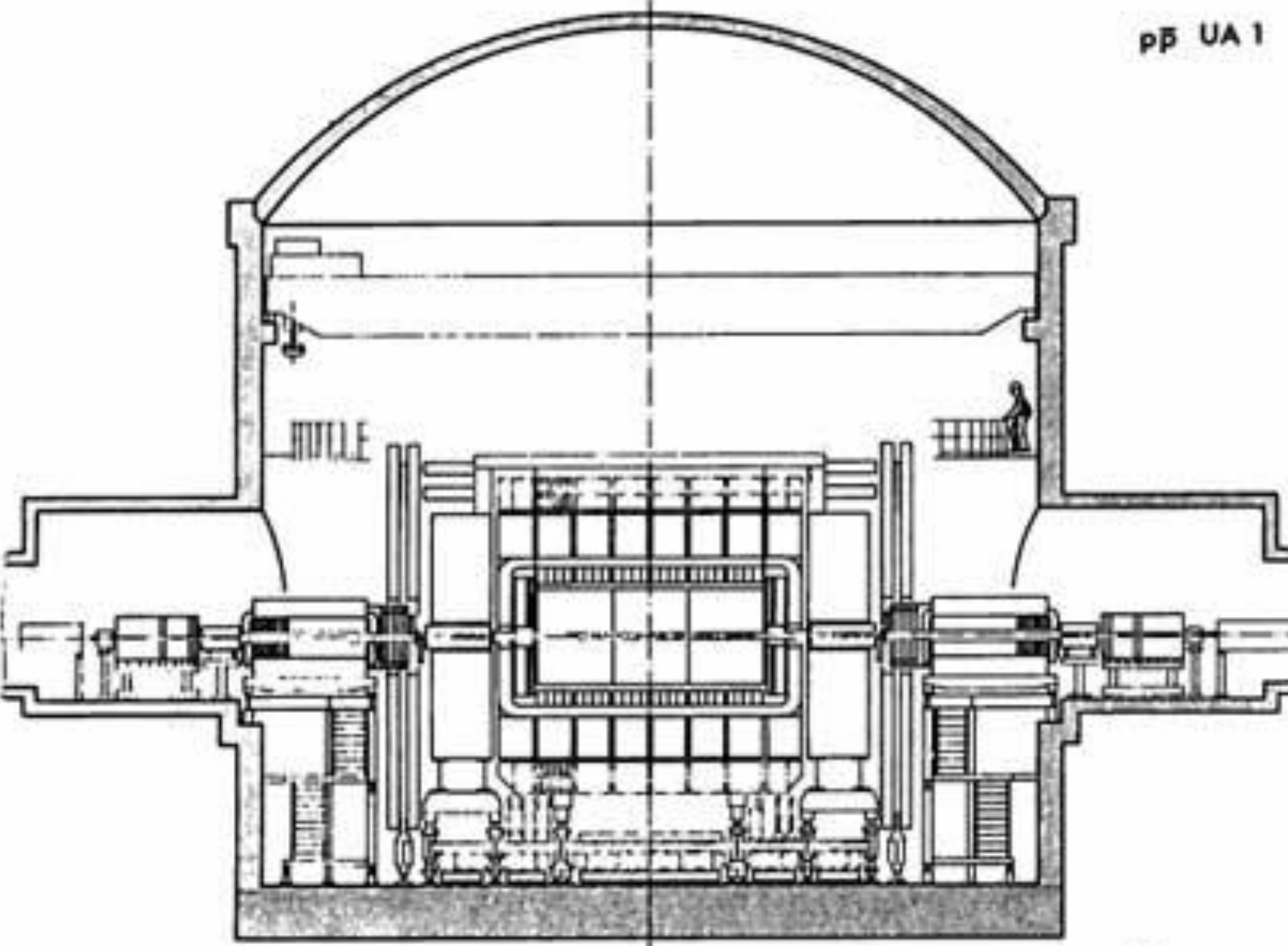
CERN, Geneva, Switzerland.⁴

Groupe UA1 et Labo W/Z SACLAY en 1983

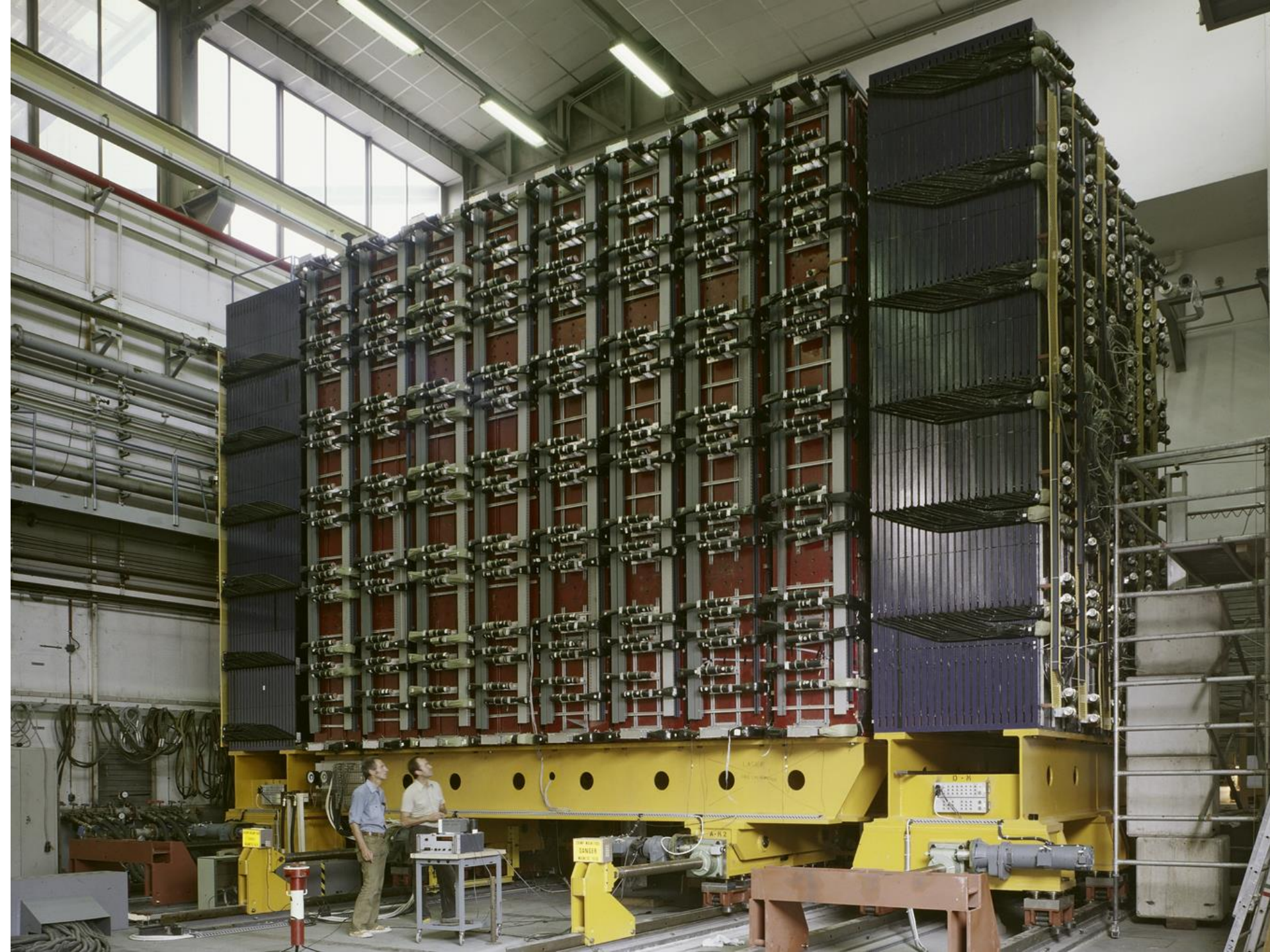
- C. Cochet, M. De Beer, D. Denegri, A. Givernaud, J. P. Laugier, E. Locci, M. Loret, J.J. Malosse, J. Rich, J. Sass, J. Saudraix, A. Savoy-Navarro, M. Spiro
- J. Calvet, J. Heitzman, P. Micolon, S. Palanque, J. C. Thévenin







ИТТ.Е



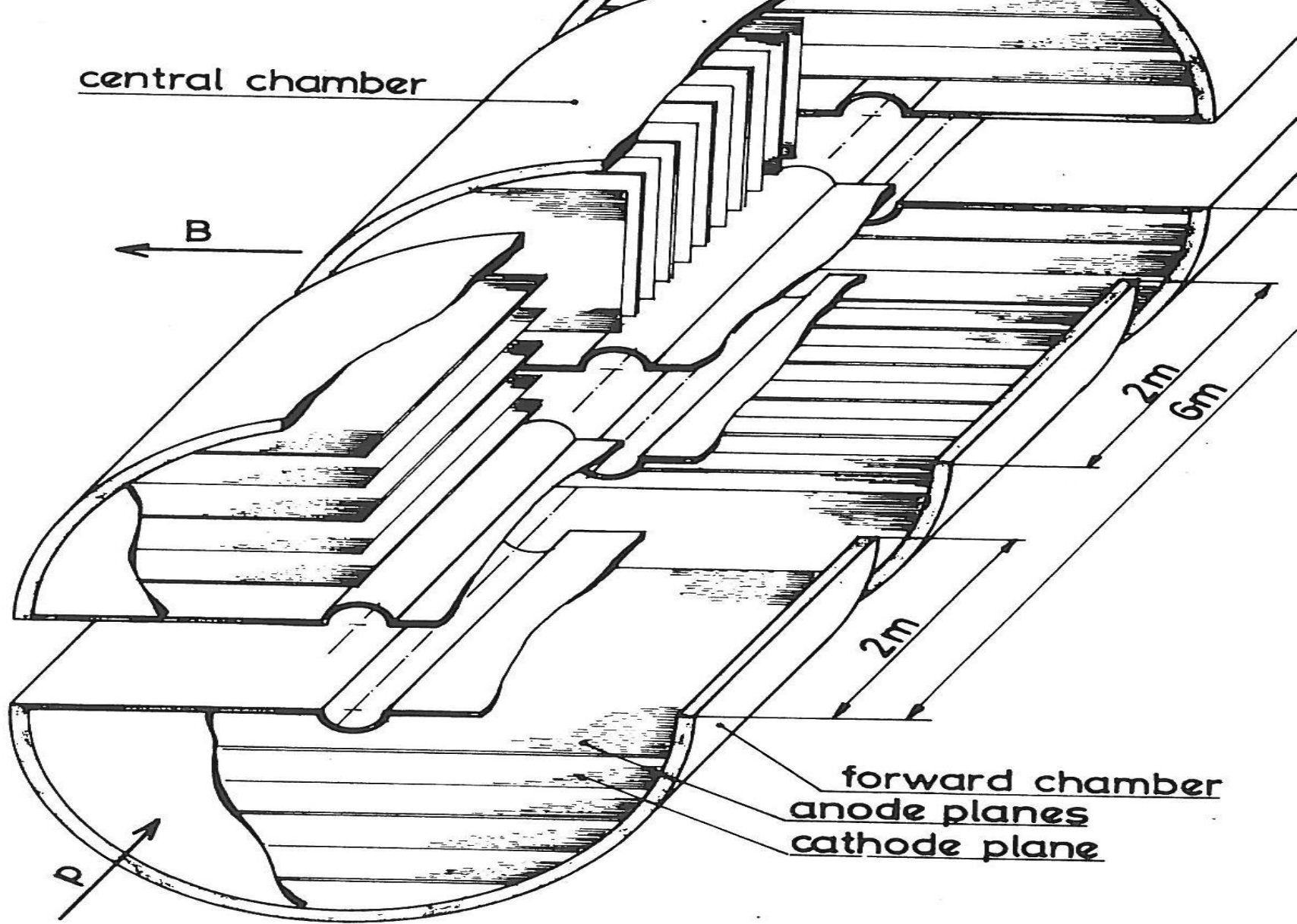
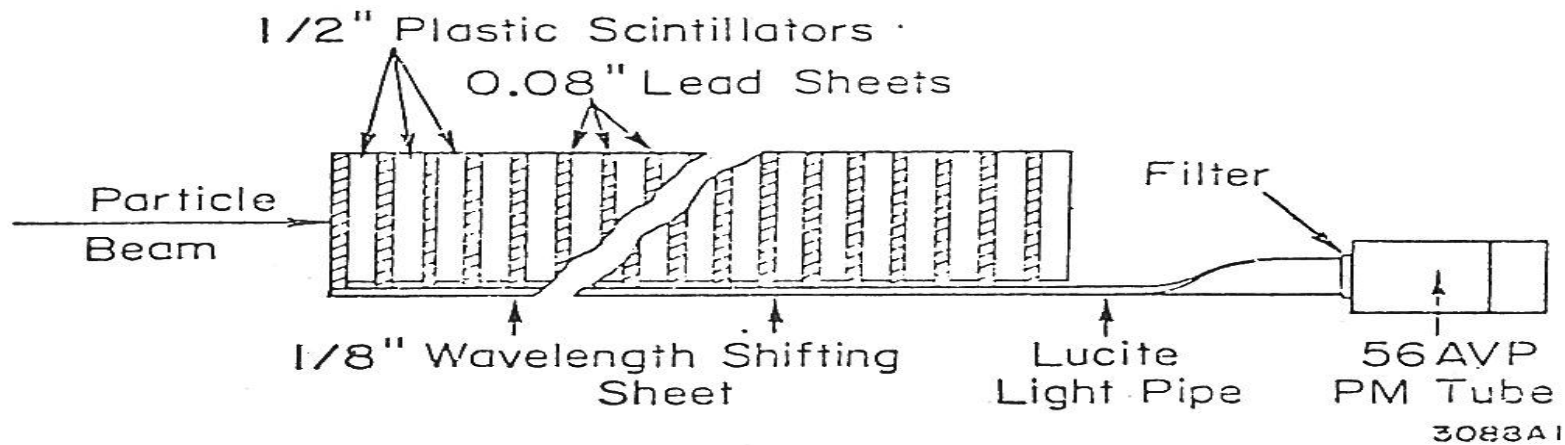
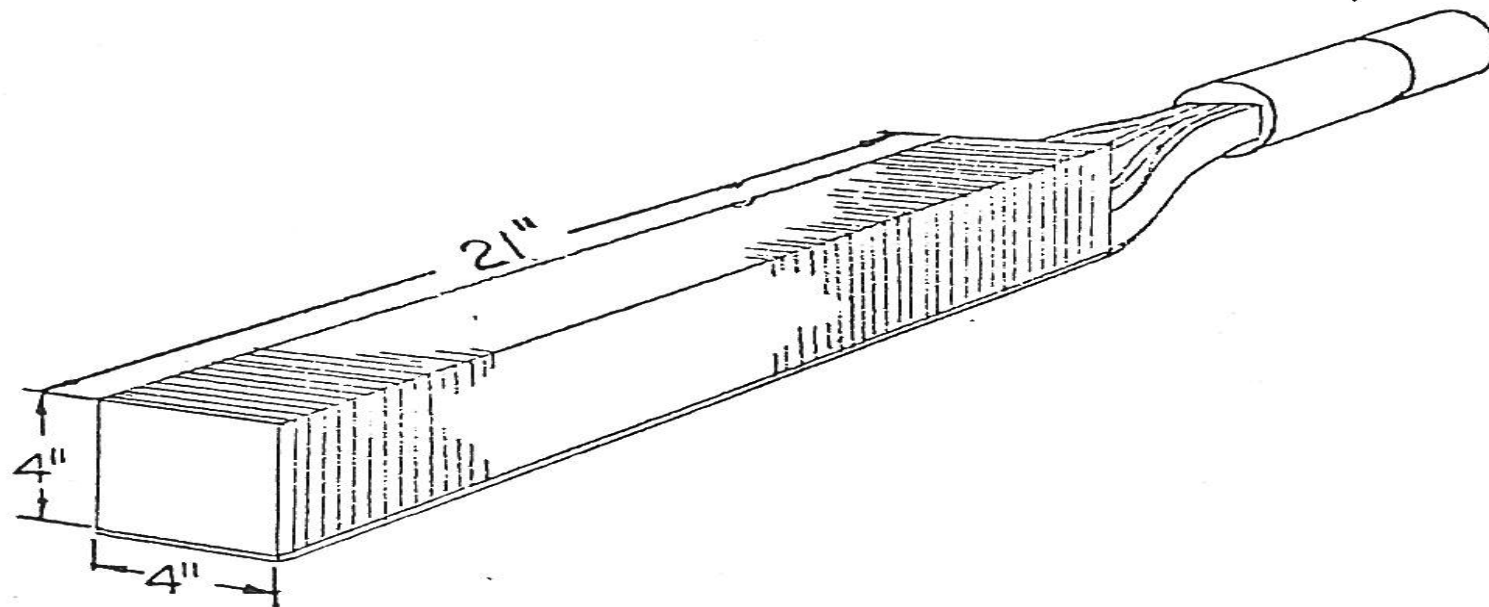
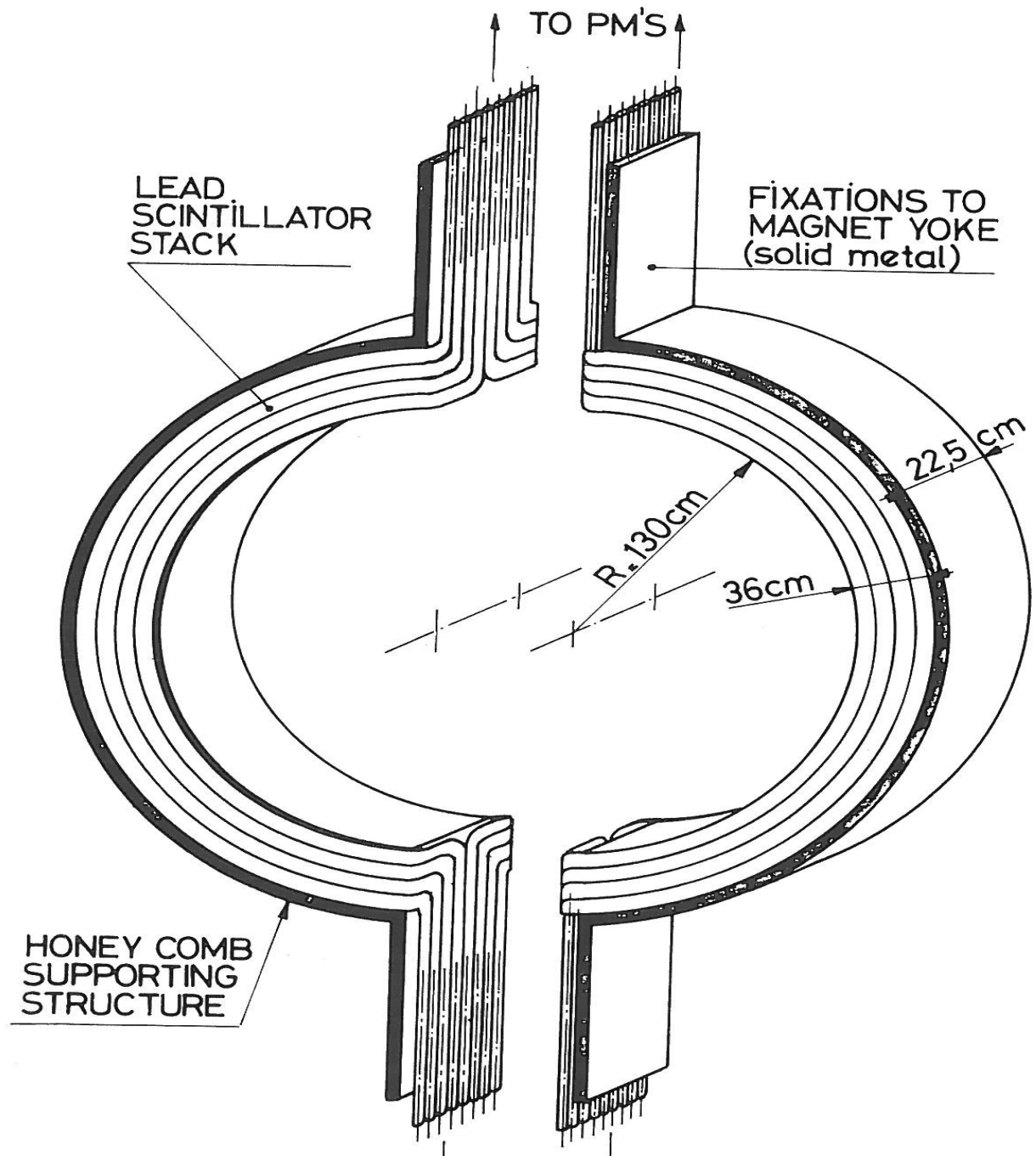
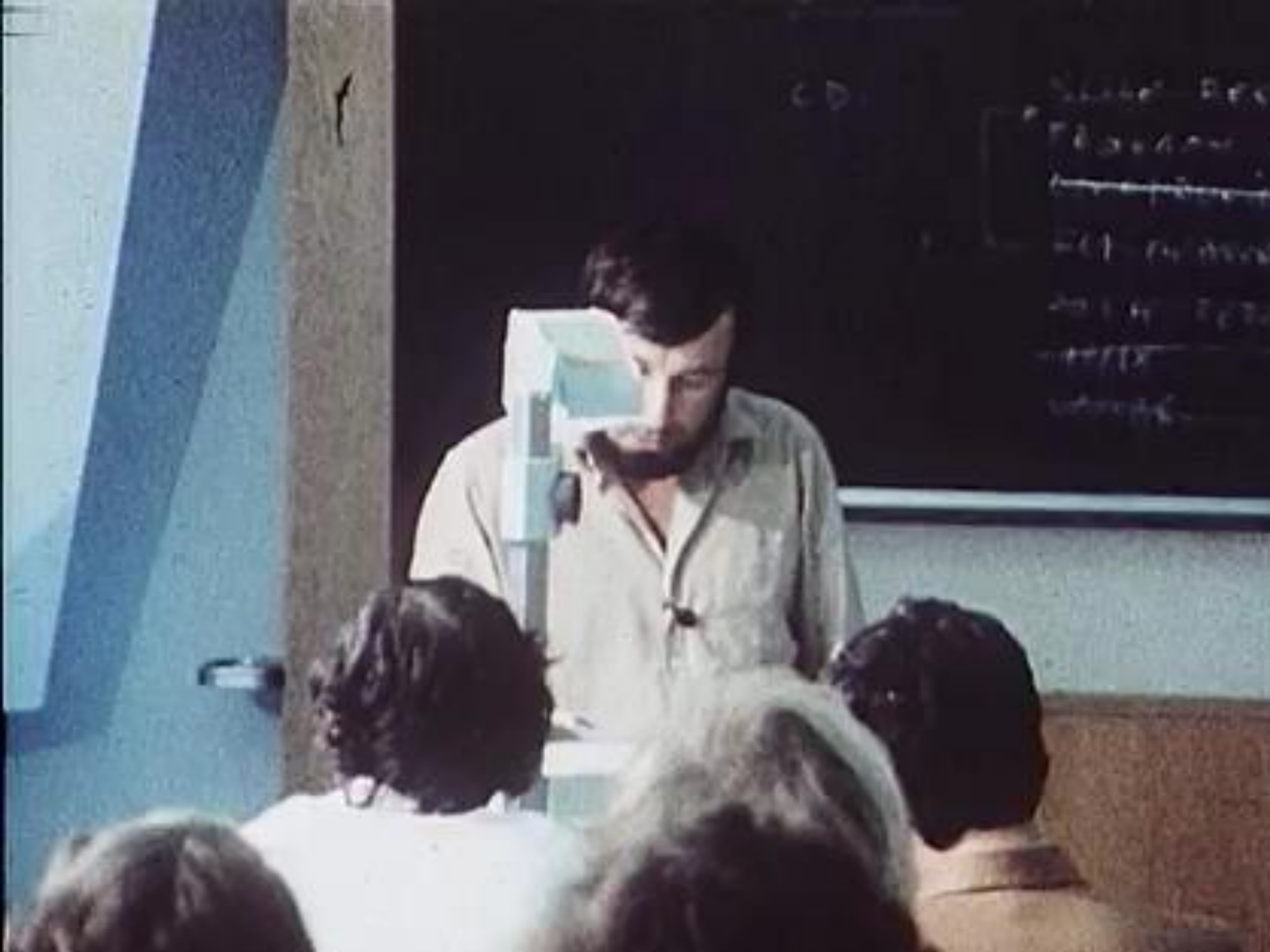


Figure 5.1. Cut-away diagram of central detector showing the orientations of the wire planes in the central and forward chambers.



Lead scintillator sandwich counter used in Reference 65.





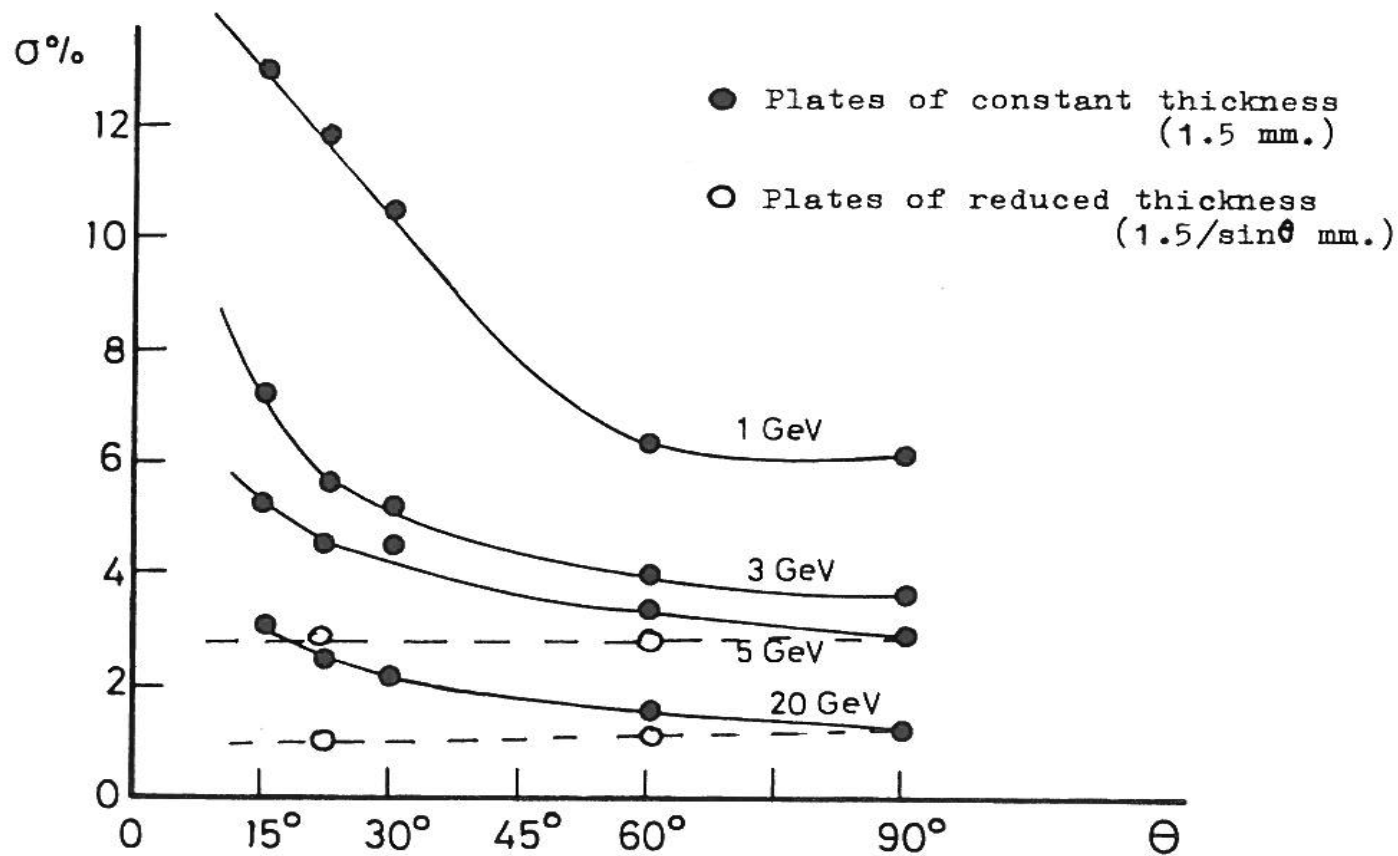
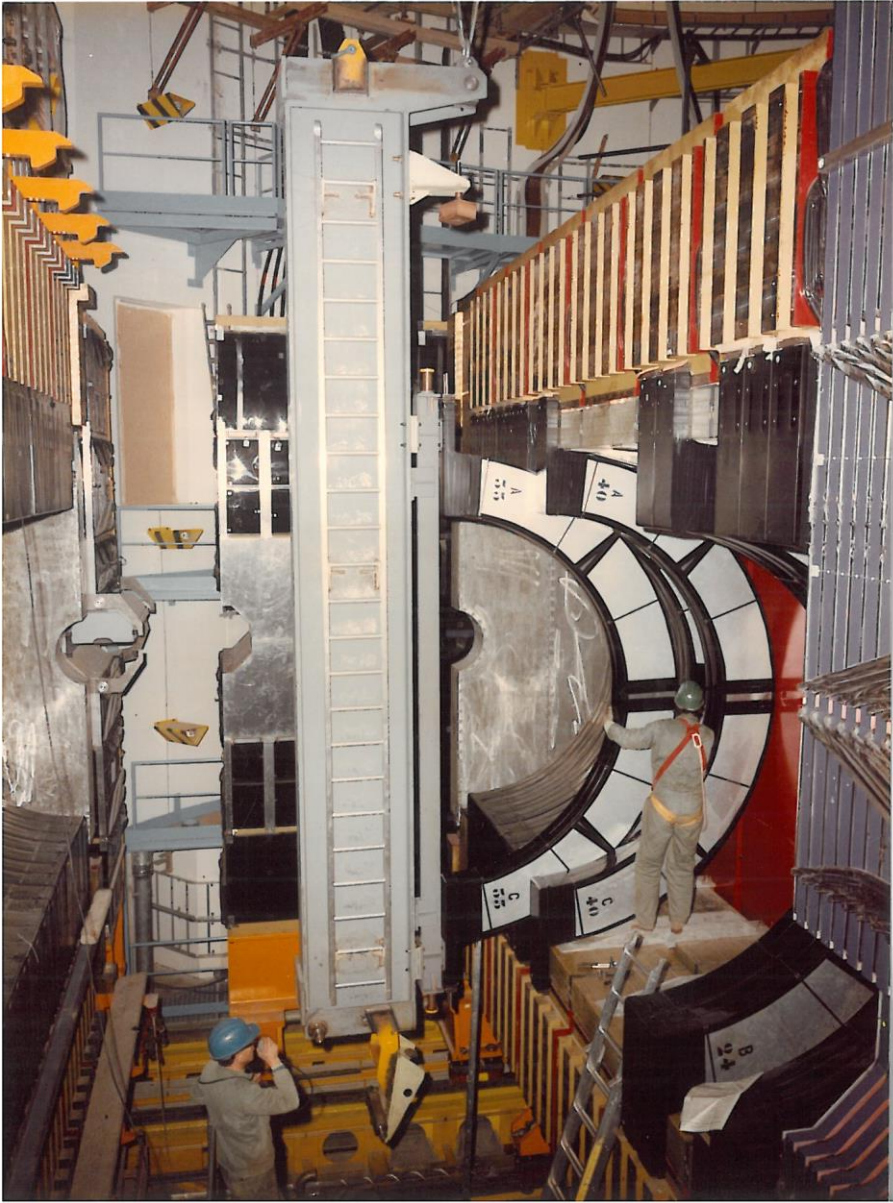


Figure 6.6. Energy resolution for showers generated by electrons with different impact angles. From Ref. 80.





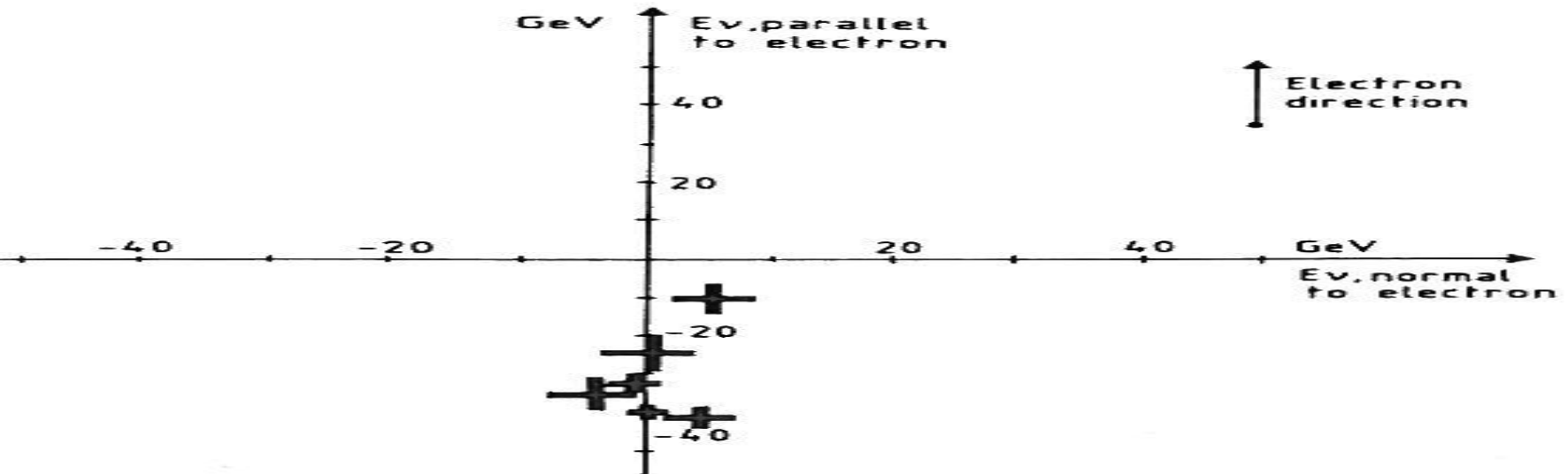


**EXPERIMENTAL OBSERVATION OF ISOLATED LARGE TRANSVERSE ENERGY ELECTRONS
WITH ASSOCIATED MISSING ENERGY AT $\sqrt{s} = 540$ GeV**

UA1 Collaboration, CERN, Geneva, Switzerland

G. ARNISON^j, A. ASTBURY^j, B. AUBERT^b, C. BACCIⁱ, G. BAUER¹, A. BÉZAGUET^d, R. BÖCK^d,
T. J. V. BOWCOCK^f, M. CALVETTI^d, T. CARROLL^d, P. CATZ^b, P. CENNINI^d, S. CENTRO^d,
F. CERADINI^d, S. CITTOLIN^d, D. CLINE¹, C. COCHET^k, J. COLAS^b, M. CORDEN^c, D. DALLMAN^d,
M. DeBEER^k, M. DELLA NEGRA^b, M. DEMOULIN^d, D. DENEGRI^k, A. Di CIACCIOⁱ,
D. DiBITONTO^d, L. DOBRZYNSKI^g, J. D. DOWELL^c, M. EDWARDS^c, K. EGGERT^a,
E. EISENHANDLER^f, N. ELLIS^d, P. ERHARD^a, H. FAISSNER^a, G. FONTAINE^g, R. FREY^h,
R. FRÜHWIRTH^l, J. GARVEY^c, S. GEER^g, C. GHESQUIÈRE^g, P. GHEZ^b, K. L. GIBONI^a,
W. R. GIBSON^f, Y. GIRAUD-HÉRAUD^g, A. GIVERNAUD^k, A. GONIDEC^b, G. GRAYER^j,
P. GUTIERREZ^h, T. HANSL-KOZANECKA^a, W. J. HAYNES^j, L. O. HERTZBERGER², C. HODGES^h,
D. HOFFMANN^a, H. HOFFMANN^d, D. J. HOLTHUIZEN², R. J. HOMER^c, A. HONMA^f, W. JANK^d,
G. JORAT^d, P. I. P. KALMUS^f, V. KARIMÄKI^e, R. KEELER^f, I. KENYON^c, A. KERNAN^h,
R. KINNUNEN^e, H. KOWALSKI^d, W. KOZANECKI^h, D. KRYN^d, F. LACAVA^d, J.-P. LAUGIER^k,
J.-P. LEES^b, H. LEHMANN^a, K. LEUCHS^a, A. LÉVÊQUE^k, D. LINGLIN^b, E. LOCCI^k, M. LORET^k,
J.-J. MALOSSE^k, T. MARKIEWICZ^d, G. MAURIN^d, T. McMAHON^c, J.-P. MENDIBURU^g,
M.-N. MINARD^b, M. MORICCAⁱ, H. MUIRHEAD^d, F. MULLER^d, A. K. NANDI^j, L. NAUMANN^d,
A. NORTON^d, A. ORKIN-LECOURTOIS^g, L. PAOLUZIⁱ, G. PETRUCCI^d, G. PIANO MORTARIⁱ,
M. PIMIÄ^e, A. PLACCI^d, E. RADERMACHER^a, J. RANSELL^h, H. REITHLER^a, J.-P. REVOL^d,
J. RICH^k, M. RIJSSENBECK^d, C. ROBERTS^j, J. ROHLF^d, P. ROSSI^d, C. RUBBIA^d, B. SADOULET^d,
G. SAJOT^g, G. SALVI^f, G. SALVINIⁱ, J. SASS^k, J. SAUDRAIX^k, A. SAVOY-NAVARRO^k,
D. SCHINZEL^f, W. SCOTT^j, T. P. SHAH^j, M. SPIRO^k, J. STRAUSS^l, K. SUMOROK^c, F. SZONCSO^l,
D. SMITH^h, C. TAO^d, G. THOMPSON^f, J. TIMMER^d, E. TSCHESLOG^a, J. TUOMINIEMI^e,
A. Van der MEER^d, J.-P. VIALLE^d, J. VRANA^g, V. VUILLEMIN^d, H. D. WAHL^l, P. WATKINS^c,
J. WILSON^c, Y. G. XIE^d, M. YVERT^b and E. ZURFLUH^d

a EVENTS WITHOUT JETS



b EVENTS WITH JETS

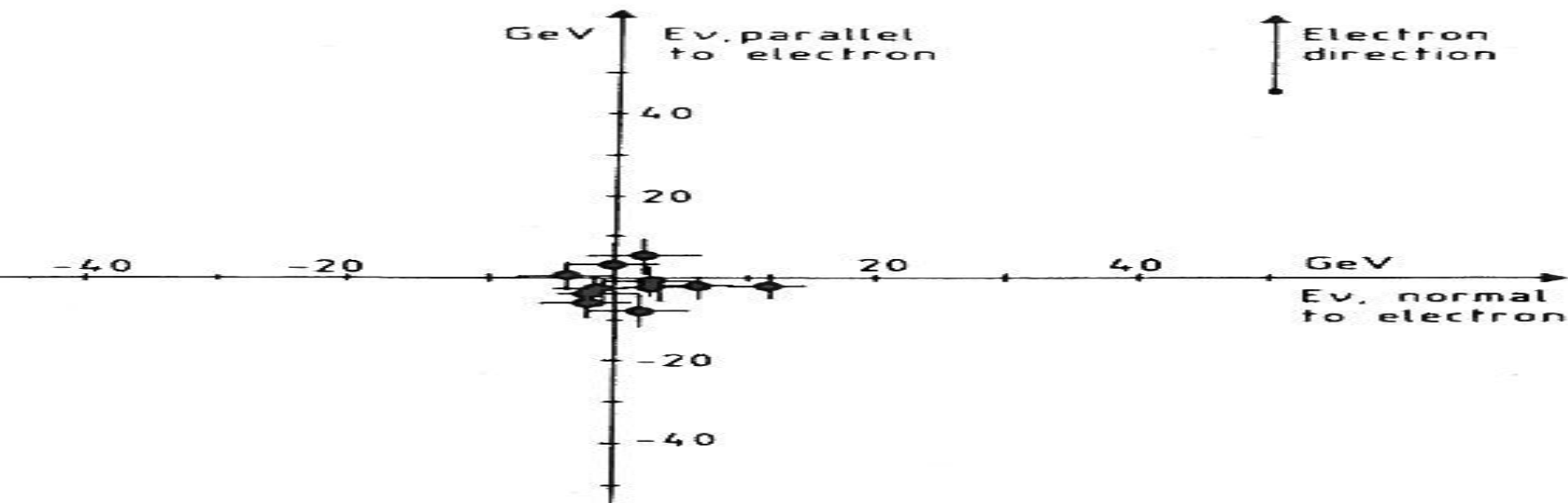


Fig. 2. The missing transverse energy (E_ν) is plotted vectorially against the electron direction for the events yielded by the electron search: (a) without jets, (b) with jets.

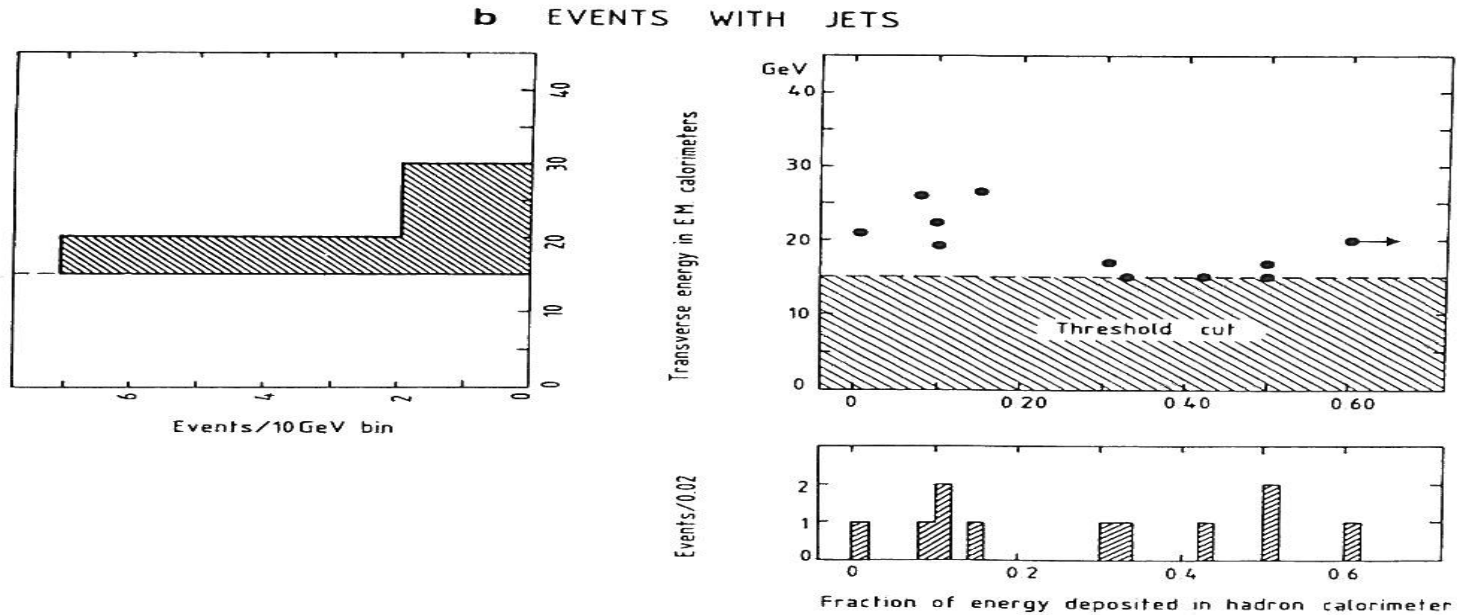
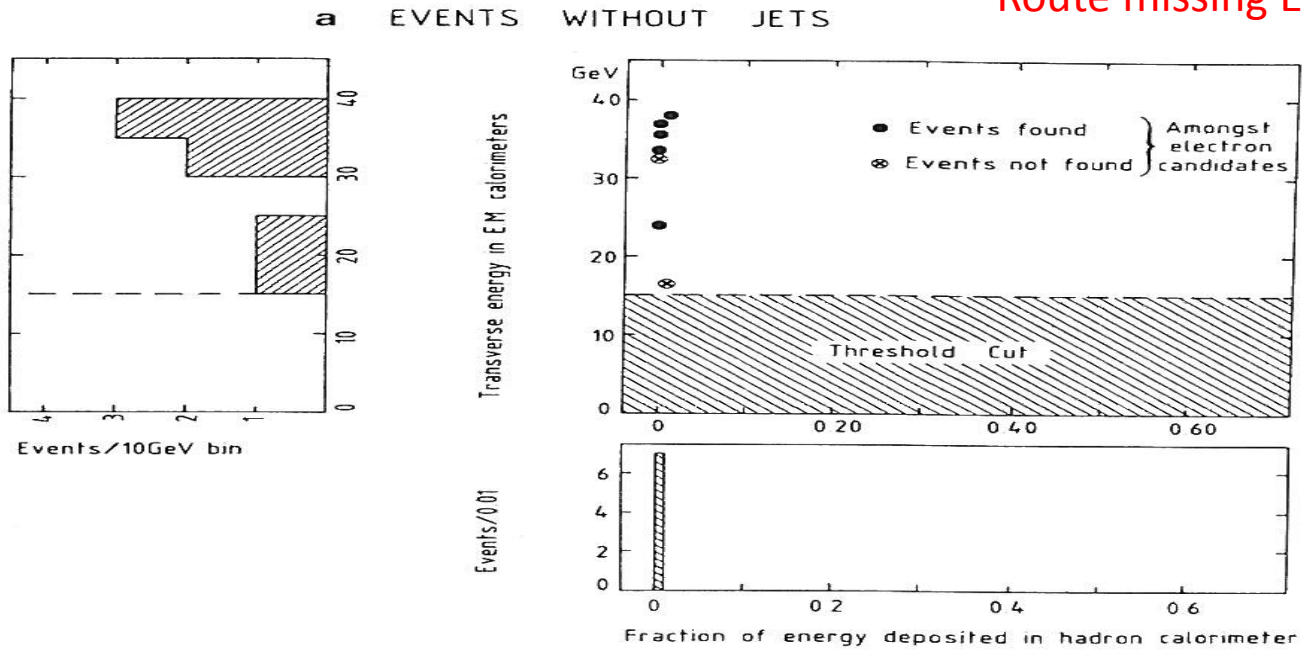
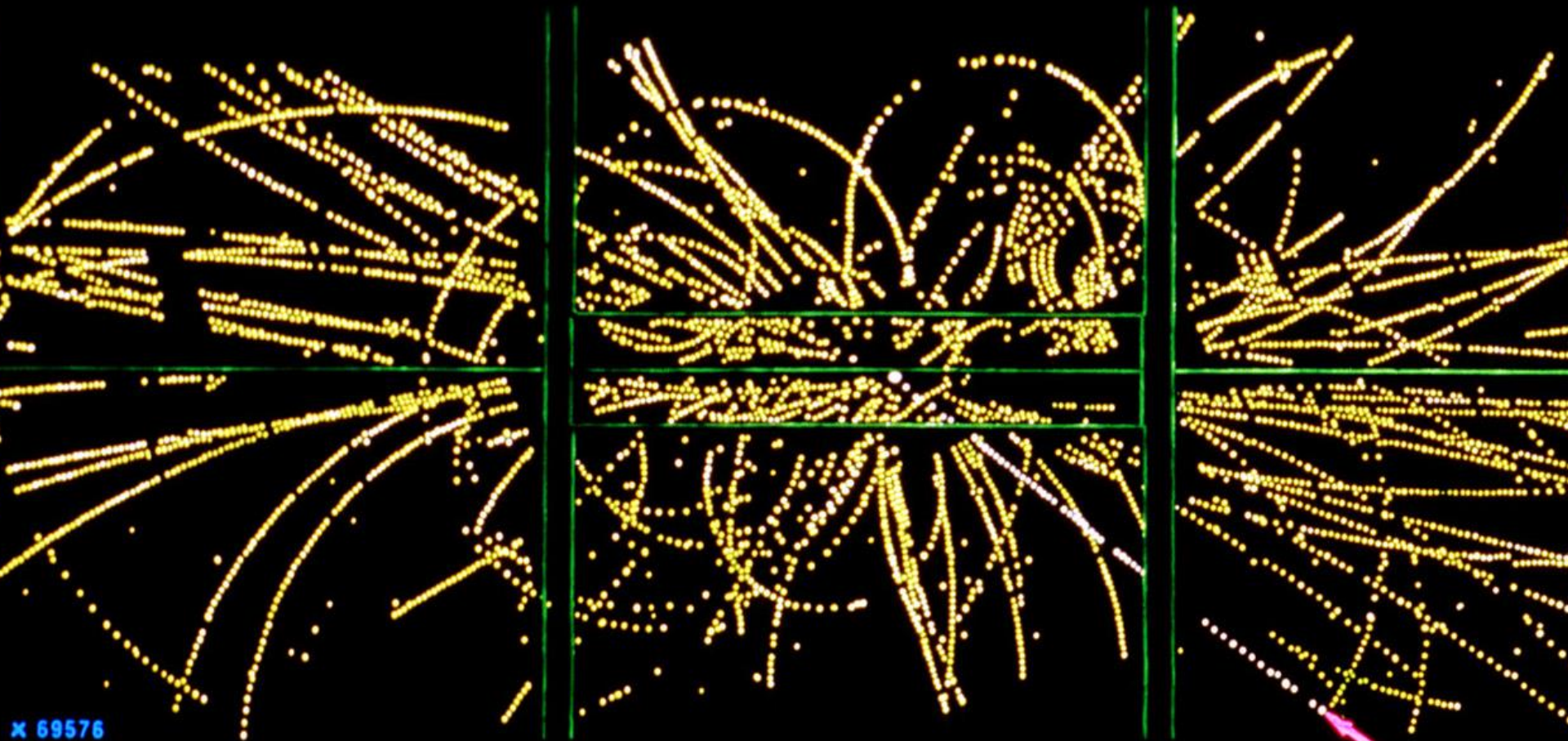


Fig. 5. A plot of the transverse energy in the EM calorimeters versus the fraction of energy deposited in the hadron calorimeters for events which survive the missing-energy search: (a) without jets, (b) with jets.



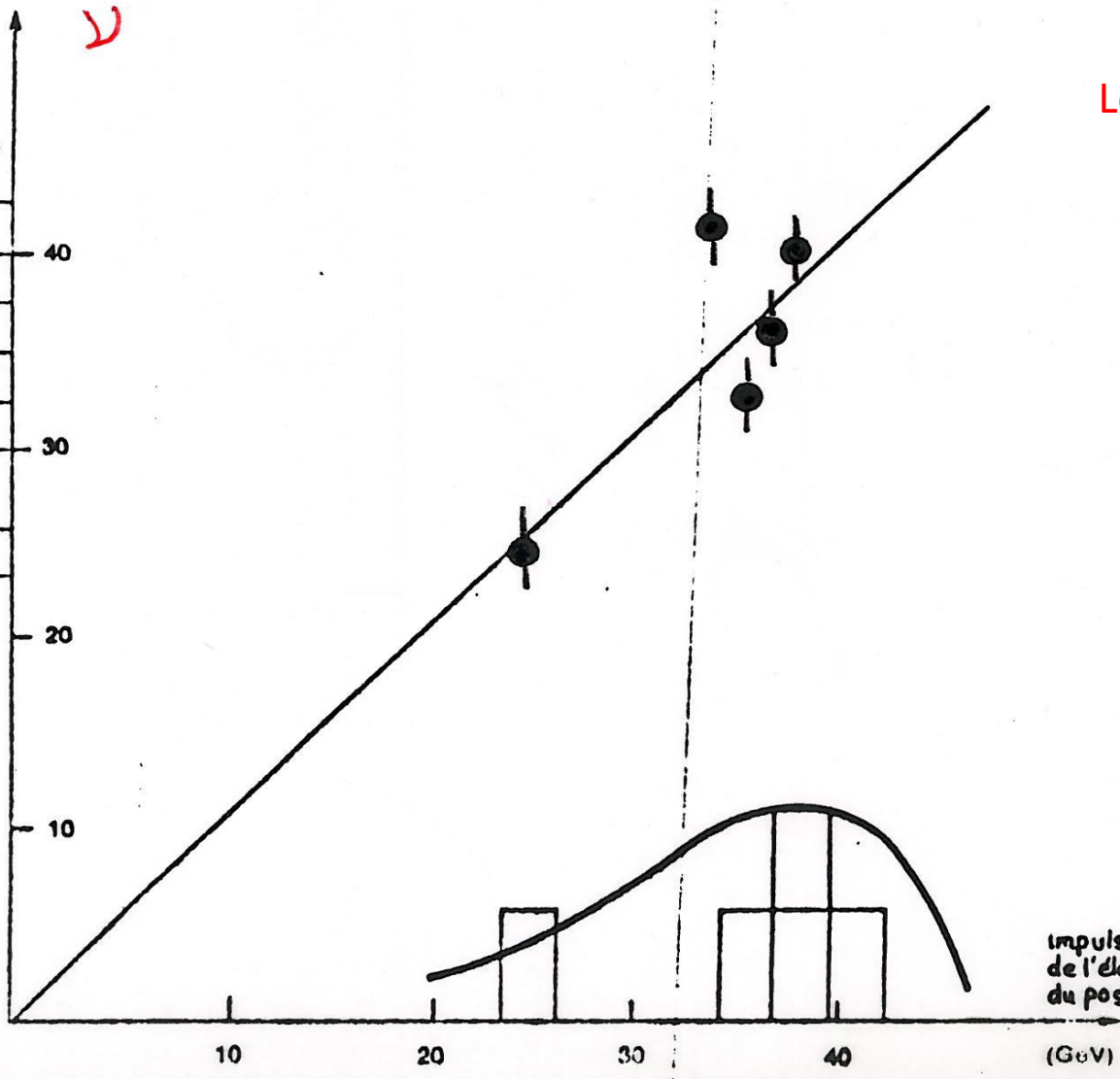
impulsion transversale
du neutrino (GeV)

ν

Le Jacobien!

e^+

impulsion transversale
de l'électron ou
du positon



10

20

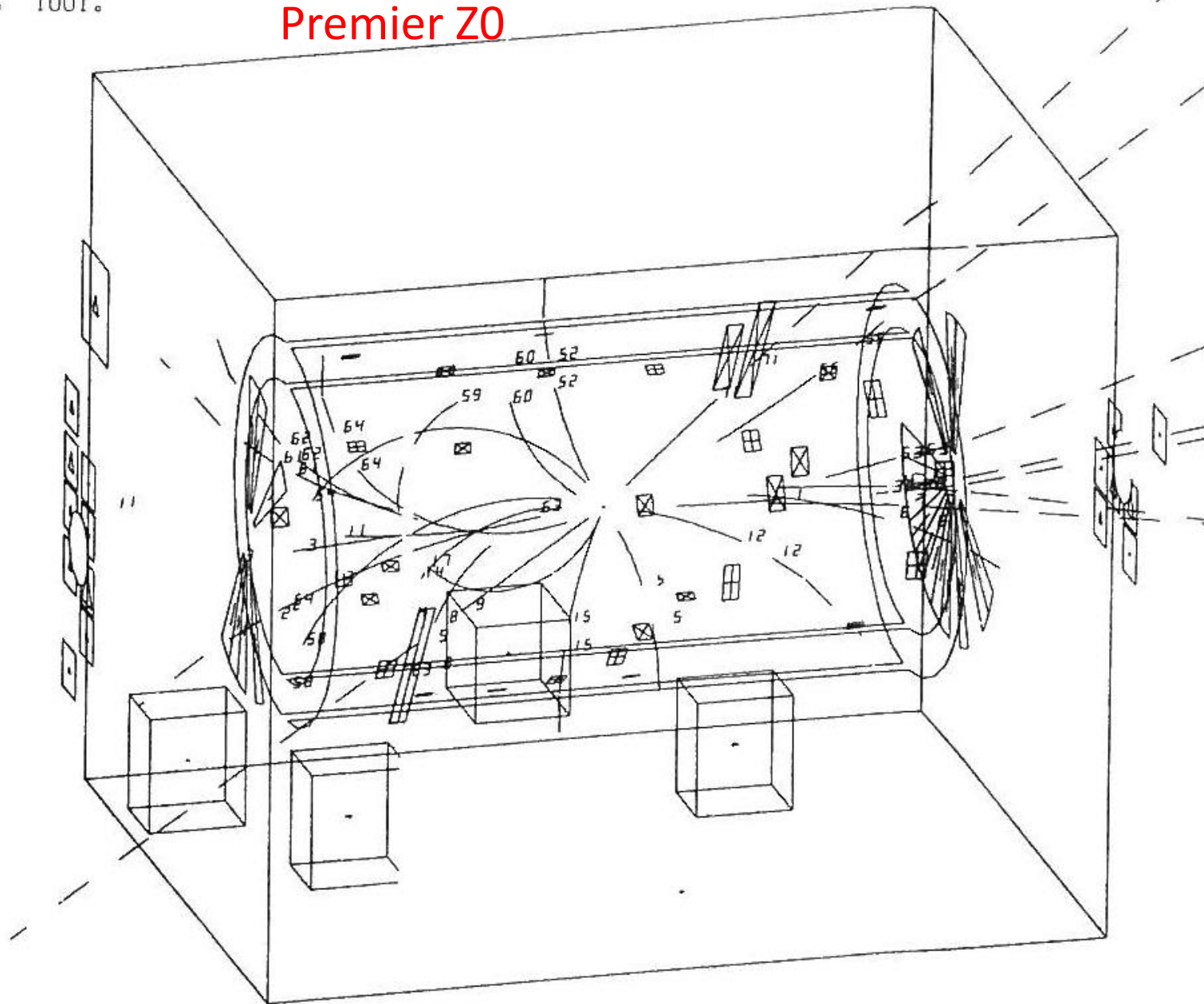
30

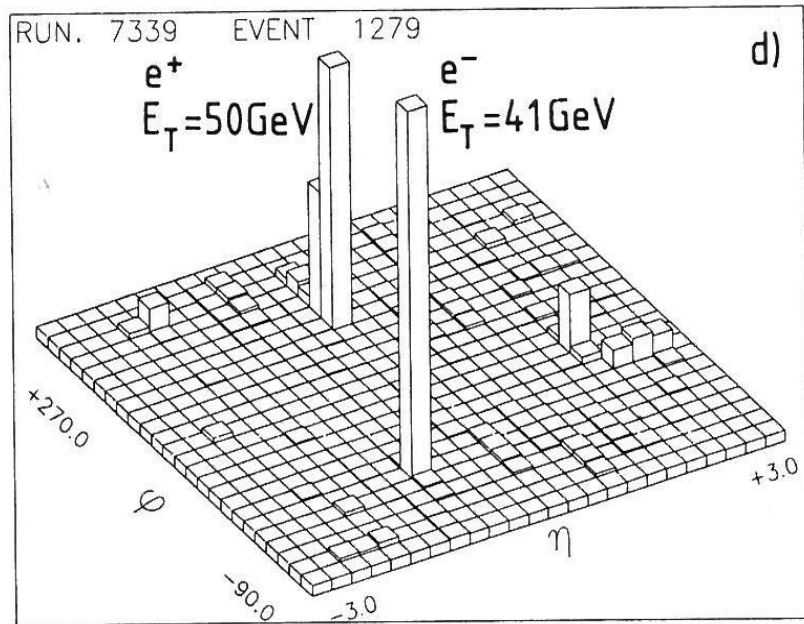
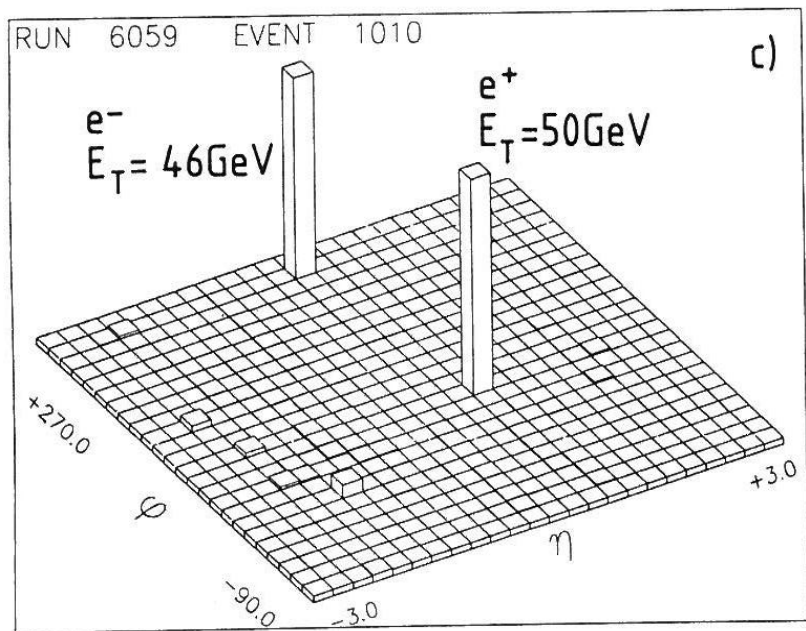
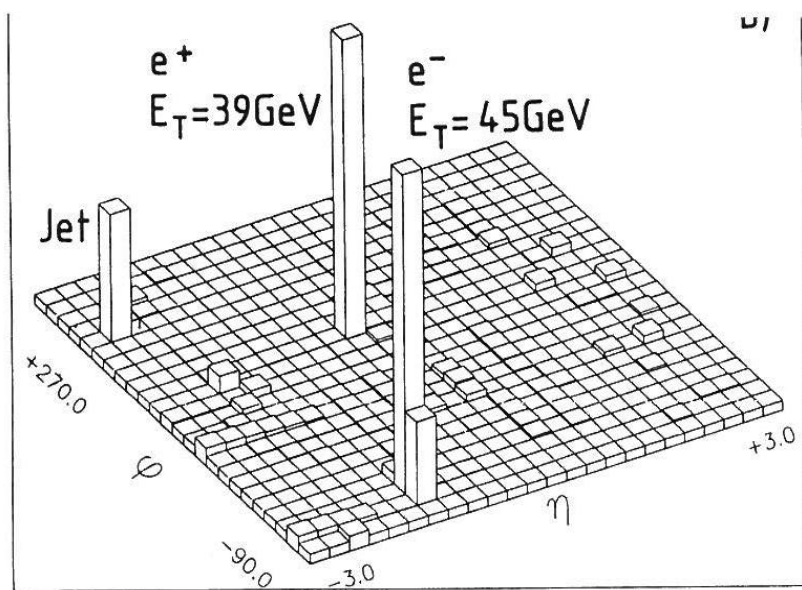
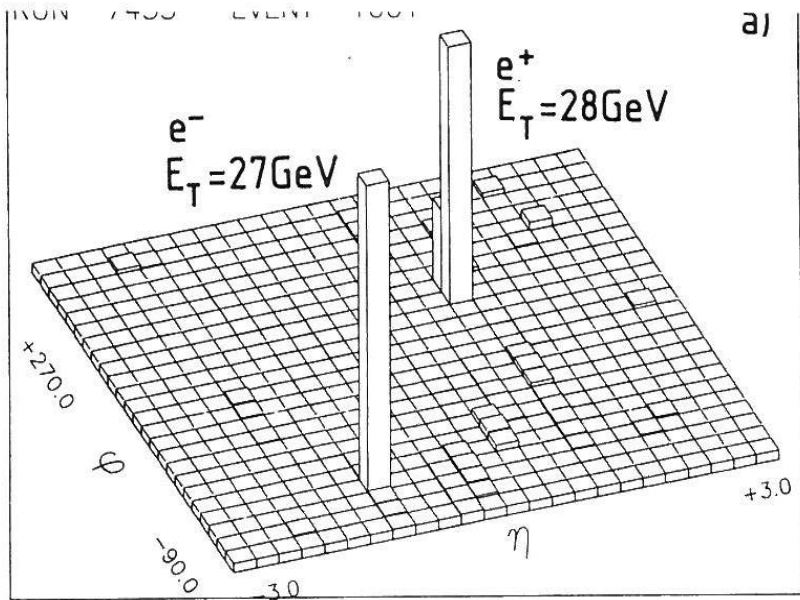
40

(GeV)

Premier Z0

a)





La particule « W » : un nouvel élément du grand puzzle de la matière

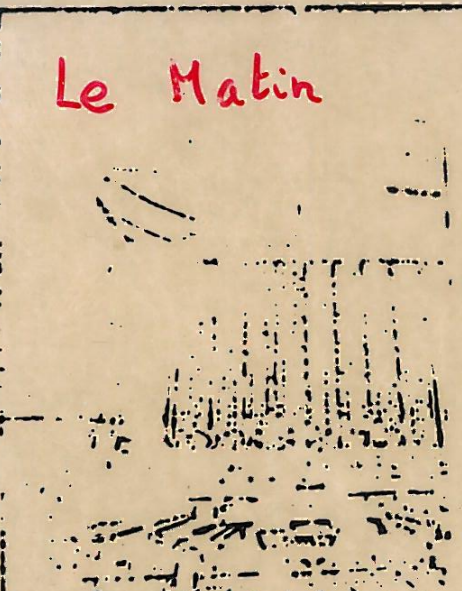
Cette découverte, réalisée au CERN de Genève, donne aux Européens une avance de cinq ans dans les recherches sur l'unification des forces de l'Univers

Deux équipes internationales, composées de plus d'une centaine de physiciens, dont dix Français, semblent en ce moment en possession de la solution d'une particule nouvelle au CERN. Le Centre européen de recherches nucléaires de Genève, le plus important de son genre au monde, a été créé en 1954, pour réunir les connaissances et les ressources de plusieurs pays européens.

Quelques particules seulement ont été vues, et considérées comme les plus importantes par les physiciens. Elles comprennent la photon qui a été découvert en 1905, les neutrinos découverts en 1930 et le méson pi découvert en 1947.

Cette découverte ouvre de nouvelles perspectives pour l'unification des forces de l'Univers. Elle confirme les prévisions de la théorie qui a été développée par les physiciens américains et suédois, les théories de Yang-Mills et de Salam, et de la théorie de Higgs, qui prévoit l'existence de la particule W.

Les physiciens qui ont découvert la particule W ont travaillé pendant plusieurs années à la recherche de cette particule. Ils ont utilisé des accélérateurs de particules pour créer des collisions à haute énergie. Les résultats de ces expériences ont été analysés pendant des mois, et les physiciens ont finalement constaté que la particule W existait.



Le Matin

Plus tôt l'impact des particules, plus vite, comme le montre l'expérience de Genève. Les particules sont détectées par un système de chambres à bulles et de détecteurs à semi-conducteurs.

La découverte de la particule W est une étape importante dans la compréhension de l'Univers. Elle permet de tester les théories de l'unification des forces et de mieux comprendre la structure de la matière.

Les physiciens ont utilisé des accélérateurs de particules pour créer des collisions à haute énergie. Les résultats de ces expériences ont été analysés pendant des mois, et les physiciens ont finalement constaté que la particule W existait.

Cette découverte ouvre de nouvelles perspectives pour l'unification des forces de l'Univers. Elle confirme les prévisions de la théorie qui a été développée par les physiciens américains et suédois, les théories de Yang-Mills et de Salam, et de la théorie de Higgs, qui prévoit l'existence de la particule W.

Les physiciens ont utilisé des accélérateurs de particules pour créer des collisions à haute énergie. Les résultats de ces expériences ont été analysés pendant des mois, et les physiciens ont finalement constaté que la particule W existait.

Une découverte majeure en physique fondamentale

Une découverte majeure en physique fondamentale a été réalisée au CERN de Genève. Les physiciens ont découvert la particule W, ce qui confirme les prévisions de la théorie de l'unification des forces.

La particule W

La particule W est une particule élémentaire qui joue un rôle crucial dans l'interaction faible. Elle est responsable de la désintégration des particules instables et de la fusion nucléaire dans les étoiles.

Le Monde

SCIENCES

La particule « W »

Une découverte majeure en physique fondamentale a été réalisée au CERN de Genève. Les physiciens ont découvert la particule W, ce qui confirme les prévisions de la théorie de l'unification des forces.

L'œuvre d'un centenaire de physique

Le centenaire de la physique est une occasion de réfléchir à l'impact de cette discipline sur notre compréhension de l'Univers. Les découvertes récentes, comme celle de la particule W, montrent que la physique continue de progresser.

En 1965, on avait trouvé Omega ; en 1974, J-psi aujourd'hui la particule W qui est mise en évidence

LA THEORIE L'AVAIT PROUVE : VOILA LE BOSON W

Des physiciens du Centre européen de recherches nucléaires de Genève viennent de mettre en évidence dans leur accélérateur le boson W. Une découverte qui vient conforter les physiciens dans leur recherche de l'unification des forces qui entrent en jeu dans la nature

On a trouvé la boson W, ce qui confirme les prévisions de la théorie de l'unification des forces. Cette découverte est une étape importante dans la compréhension de l'Univers.

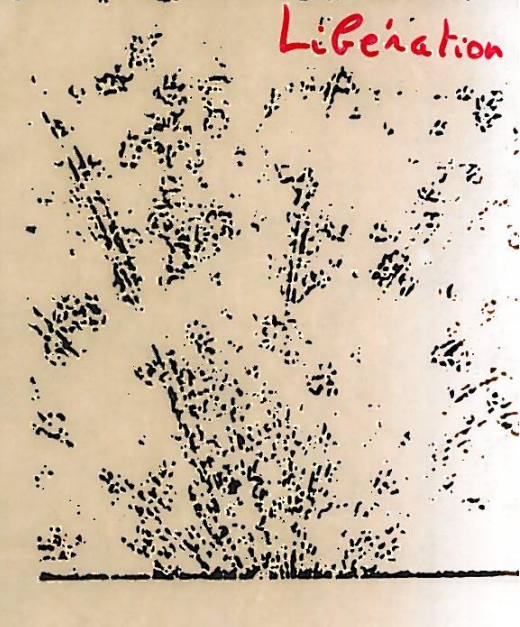
La découverte de la particule W est une étape importante dans la compréhension de l'Univers. Elle permet de tester les théories de l'unification des forces et de mieux comprendre la structure de la matière.

Le "Monde" du 18/3

résultats obtenus par l'association de détecteurs CERN de 1977

Après la mise en évidence de la particule W, les physiciens continuent de travailler pour découvrir d'autres particules et mieux comprendre l'Univers.

W et D. Alvarez



Libération

111 Ce travail expérimental est...
112 Les physiciens ont découvert...
113 Les physiciens ont découvert...

Conclusions

- La découverte des W et Z par les expériences UA1 et UA2 est un tournant pour le Modèle Standard et conduit au LEP puis LHC
- L'expérience UA1 est un paradigme pour les grandes expériences à venir (elle s'est néanmoins réalisée dans des conditions extraordinaires)
- Le CERN change de braquet par rapport à ses « concurrents »
- Merci à tous: A la technique L. Chevalier, conseils de P. Micolon, derrière l'écran JC Thévenin, J Heitzman dont je n'ai pas montré de photos!

045000
GA 23698+
101 1340 /020/
23698B CERN CH*
PHYPEL 692112F
COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE/SACLAY/DPHPE

DE MR.M. SPIRO CEN SACLAY
A PHYSICS LETTERS
NORTH-HOLLAND PHYSICS PUBLISHING DIVISION
P.O. BOX 103,1000 AC
AMSTERDAM, THE NETHERLANDS
TELEX N 1486

DEAR EDITOR,
AS AGREED WITH OUR SPOKESMAN C.RUBBIA, I WOULD LIKE TO WITHDRAW
MY SIGNATURE (M.SPIRO) FROM THE ARTICLE SUBMITTED TO PHYSICS
LETTERS B ,ENTITLED ' EXPERIMENTAL OBSERVATION OF EVENTS WITH
LARGE TRANSVERSE ENERGY BY THE UA1 COLLABORATION'

SINCERELY YOURS
M. SPIRO

COPIE A L'ATTENTION DE M.CARLO RUBBIA CERN EP
M.KLAUS WINTER CERN EP *

23698B CERN CH
PHYPEL 692112F

Michel SPIRO

Saclay le 10 Aout 1984

à Carlo RUBBIA

Cher Carlo,

M'ayant pas participé avec vous à l'analyse
et ne signant pas le papier, je me permets de
te transmettre, ci-joint, quelques unes de mes remarques
et quelques unes des questions que je me pose à propos
des événements A à H.

Amicalement

M. Spiro

Evenement B

Il y a une claire indication d'effet Cerukov dans les C. Les 3 traces pointent vers les guides de lumière (il y a 17 Gev dans les PH près de la gabe, 4 Gev dans ceux qui sont pairs).

Rien n'exclut une surestimation possible de 8 Gev dans les C.

Dans l'hypothèse où il s'agit d'un événement $W \rightarrow \tau \nu$
 $\hookrightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^- \pi^0 \nu$
B.R. = 15%.

les goudoles n'ont pas à être corrigées par 1.13 (car l'énergie détectée est due aux π^0 : $P_{CD} \sim E_C$).

Dans ce cas l'énergie transverse du jet est de 38 Gev (± 4 ?)

La masse effective et la charge du jet sont compatibles avec celles d'un τ .

Evenement F

Il est déjà indiqué clairement dans le papier que cet événement peut être compatible $W \rightarrow \tau \nu$ où une trace molle a été perdue. Dans cette interprétation $E_T(\tau) = 30 \text{ Gev} (\pm 4?)$

Evenement E

Il s'agit d'un jet fait pour l'essentiel du segment 2 d'une goudole et du front sampling d'un C, donc d'un jet très étroit à 180° quasiment calorimétrique.

Si on fait l'hypothèse qu'il s'agit d'un $W \rightarrow \tau \nu$
 $\hookrightarrow \pi^+ \pi^0 \pi^0 \nu$
et que l'énergie dans les goudoles est due aux π^0 du τ , cela supposerait :

- 1) trace π^\pm non visible dans le CD
- 2) $E_T(\tau) = 35 \text{ Gev} (\pm 4?)$