

Two Photon physics in France

A tribute to Paul Kessler

F. Kapusta
LPNHE Paris

Photon2015
Novosibirsk
15-20 june 2015

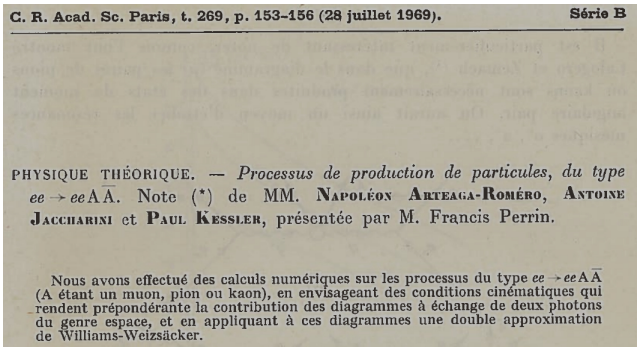


Introduction

- ▶ Caveat : there will be a lot of personal prejudices.
- ▶ A good review "About earlier history of two-photon physics" has already been given 10 years ago in Warsaw by Ilya.
- ▶ Paul Kessler was born the 17 of July 1926 in Vienna, and passed away last year on the 5th of June.
- ▶ In the sixties in the Collège de France, the Atomic Physics Laboratory (LPA) was led by Francis Perrin, professor at the Collège de France from 1946 to 1972.
- ▶ Paul Kessler was a member of this laboratory nearly from its creation, being previously from Institut Henri Poincaré (IHP) in Paris.
- ▶ There, in 1956 he published in Nuovo Cimento "On the Validity of the Williams-Weizsacker Method and the Problem of the Nuclear Interactions of Relativistic μ mesons" already developing a treatment consistent with QFT to validate the semi-classical WW method in non-elastic photonuclear processes.
- ▶ In 1958, now member of the LPA, he published a paper on Delbruck scattering, in the Journal of Physics and the Radium,
- ▶ His mastering of the computation of helicity amplitudes and the factorisation techniques as in his Nuovo Cimento 1960 paper "Sur une méthode simplifiée de calcul pour les processus relativistes en électrodynamique quantique" will be of great help in his interest in ongoing and future experiments .

The Origins

- The 60's period saw the advent of low energy e^+e^- colliders.
- The motivation of a Note to the Scientific Academy in 1969 was that the future e^+e^- colliders were in preparation and it was the time to quantify the idea of Calogero and Zemach to study $ee \rightarrow eeA\bar{A}$ events, with A being a muon, a pion or a kaon.



NB : At that time papers were published in native language (french, russian ...) with no internet and no laptop.

A few comments

- In the 1970-71 LPA activity report it can be noted that :

B) Groupe de M. KESSLER

Ce groupe a continué à traiter des problèmes d'électrodynamique quantique à haute énergie.

— M. Gérard COCHARD a contribué à effectuer des calculs, notamment en liaison avec l'expérience de collaboration Collège de France-DESY (Hambourg), sur l'électroproduction de pions à l'énergie de la résonance N^* (1236).

— M. Claude-Michel KARATCHENTZEFF a complété ses calculs antérieurs sur l'électroproduction inverse ($\pi^- p \rightarrow e^- e^+ n$ ou $\mu^- \mu^+ n$) à l'énergie de la résonance N^* (1236).

— M. Napoléon ARTEAGA-ROMERO, M. Joseph PARISI, chercheurs extérieurs au Laboratoire, et M. Paul KESSLER ont effectué un grand nombre de calculs, en vue de fournir des prédictions pour de futures expériences, sur les collisions photon-photon dans les anneaux de stockage électron-positron. M. ARTEAGA-ROMERO termine une thèse de troisième cycle sur ce sujet.

- Two papers were published in Phys. Rev. in april and november 1971 :
"Photon-Photon Collisions, a New Area of Experimental Investigation"
and
"Comment on the Experimental Investigation of Photon-Photon Collisions in Electron-Positron Storage Rings".
- P. Kessler and J. Paris attended the 1970 e^+e^- storage rings conference in Frascati.
- In 1972 Marcel Froissart unified the Francis Perrin and the Leprince-Ringuet laboratories : LPA (Atomic Physics) + LPN(Nuclear Physics) = LPC (Corpuscular Physics Laboratory)

The 1972 Kessler's report to prepare the first 1973 conference

RAPPORT

Etude des collisions photon-photon dans les anneaux de stockage
électron-positron. Projet de Colloque international sur ce thème.

Paul Kessler

Laboratoire de Physique atomique, Collège de France, Paris

Table des Matières

	<u>Page</u>
Historique	2
Mise au point et validité des méthodes de calcul du type Williams-Weizsäcker	5
Conditions expérimentales réalistes. Réjection du bruit de fond	6
Analyse d'expériences	6
Création d'une seule particule ou résonance dans une collision photon-photon	7
Production de pions à basse énergie	7
a) Production de $\pi^- \pi^+$	7
b) Production de $(2n+1)\pi$	8
c) Production de $(2n)\pi$	8
Comportement asymptotique, et diffusion "deep inelastic"	8
Questions diverses et connexes	9
a) Création de deux paires	9
b) Facteurs de forme électromagnétiques	9
c) Différence de masse électromagnétique des pions	10
d) Test d'unitarité et de CP	10
e) Production de paires de baryons. Spéculations	10
f) Effet Renard	10
g) Collisions photon-photon à plus haute énergie	10
Collisions photon-photon faisant intervenir des hadrons à l'état initial	11
Utilité d'un Colloque international	12
Programme du Colloque	13
Références	14

The 1972 Kessler's report

-3-

Historique

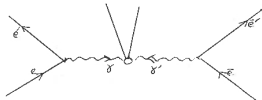
Les collisions inélastiques photon-photon (transformation de rayonnement pur en matière) présentent un intérêt physique qu'il est à peine nécessaire de souligner. La possibilité de faire interagir entre eux des faisceaux de photons de haute énergie, extraits par rayonnement de freinage d'un accélérateur ou d'un anneau de stockage d'électrons, a été étudiée par Csoska ⁽¹⁾; toutefois, les difficultés techniques sont très considérables.

L'idée qui s'est imposée au cours de ces dernières années est d'utiliser les anneaux de stockage électron-positron pour produire "virtuellement" des collisions photon-photon. L'origine de cette idée peut être trouvée dans les travaux de Williams ⁽²⁾ et Landau et Lifschitz ⁽³⁾ qui, dès 1934, ont calculé les sections efficaces de production de paires de particules dans les collisions entre particules chargées extrême-relativistes. En 1960 - époque où fut envisagée la construction des premiers anneaux e^-e^- et e^-e^+ - parurent deux articles importants dus à Low ⁽⁴⁾ et Calogero et Zemach ⁽⁵⁾. Low proposa d'étudier les processus $e e \rightarrow e e \gamma \gamma$, faisant intervenir l'échange de deux photons virtuels et permettant de déterminer le couplage $\alpha^0 \gamma \gamma$, ou encore le temps de vie du π^0 . Calogero et Zemach proposèrent d'étudier la production de paires ($\mu^+ \mu^-$, $\pi^+ \pi^-$...) dans les collisions $e e$, les termes à échange de deux photons devant fournir la contribution principale.

Au cours des années 60, alors que la physique des anneaux de stockage allait en se développant, ces travaux fondamentaux furent curieusement oubliés (il est vrai que les sections efficaces prédites étaient trop faibles pour que les expériences

considérées pussent être réalisées avec les machines existant alors). Il convient cependant de mentionner le travail de Le Guillou ⁽⁶⁾ qui améliora le calcul d'approximation de Low, et celui de De Celles et Goebl ⁽⁷⁾ qui calculèrent les processus $e e \rightarrow e e \gamma \gamma$.

C'est début 1969 que notre groupe au Collège de France commença une étude systématique des collisions photon-photon dans les anneaux de stockage électron-positron, c'est à dire des diagrammes du type représenté ci-dessous.



Un an plus tard, nous avions clairement établi les faits suivants: ^(8,9)

- i) Il est possible de faire des collisions $\gamma\gamma$ avec des photons quasi-réels (q^2 entre quelques keV^2 et quelques MeV^2), à condition de détecter les particules e^\pm diffusées vers l'avant. La méthode de calcul du "spectre de photons équivalent" ou méthode de Williams-Weinacker s'applique alors par excellence, et $\sigma_{\gamma\gamma}$ peut être directement tiré des données expérimentales.
- ii) Le background, représenté par d'autres diagrammes de Feynman du même ordre en électrodynamique quantique, est totalement rejeté dans ces conditions.
- iii) Les sections efficaces prévues sont suffisantes, au moins pour les processus $\gamma\gamma \rightarrow e^-e^+, \mu^-\mu^+, \pi^-\pi^+, \pi^0, \beta$, pour pouvoir réaliser les expériences correspondantes avec les anneaux de stockage e^-e^+ de la prochaine génération ($E \approx 2 - 3 \text{ GeV}$ par faisceau, luminosité $\approx 10^{-32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

The 1972 Kessler's report

-5-

- iv) Ces sections efficaces croissent avec l'énergie des faisceaux.
- v) Il est particulièrement intéressant d'étudier expérimentalement, de cette manière, la résonance scalaire pion-pion appelée σ ou ζ , en l'absence de tout hadron spectateur et (pour des raisons de C-invariance) sans bruit de fond dû au ρ .

Dès cette époque, nos recherches ne furent pas ignorées des expérimentateurs. Elles eurent notamment pour effet la décision prise à DESY-Hambourg de prévoir des "tagging windows" pour la détection des électrons à 0° sur l'anneau de stockage DORIS en construction. (10) Au printemps 1970, A. Jaccarini calcula, à l'intention des expérimentateurs de DESY, les taux de comptage à prévoir dans une expérience $e^+e^- \rightarrow e^+e^- X$ compte tenu des coupures inévitables sur les angles et énergies des particules sortantes (11).

À la même époque, l'idée des collisions photon-photon fut reprise par un groupe de théoriciens soviétiques (Balakin, Budnev et Ginzburg) (12), puis un peu plus tard par un groupe américain (Brodsky, Kinoshita et Terazawa) (13). Elle attira l'attention générale des physiciens de hautes énergies à la Conférence Internationale de Kiev (août 1970) et forma l'un des principaux sujets de discussion à la Réunion de Frascati sur les anneaux de stockage e^-e^+ (septembre 1970). Elle connut depuis lors un développement très important, puisque près d'une centaine d'articles ont été publiés sur ce sujet. Ce développement s'est orienté dans des directions diverses que nous allons définir ci-après.

Mise au point et validité des méthodes de calcul du type Williams-Weizsäcker

Ces méthodes, très intéressantes du fait qu'elles fournissent une grande simplification à la fois pratique et conceptuelle, ont fait l'objet de nombreuses discussions de la part des théoriciens. Cer-

-6-

tains les ont critiquées (14, 15), d'autres les ont justifiées tout en cherchant à définir leur meilleure formulation possible (notamment sur la base de méthodes d'hélicité) et leurs limites de validité (16-22).

Conditions expérimentales réalistes. Réjection du bruit de fond.

C'est en particulier notre groupe (23-25) qui a étudié les effets des conditions expérimentales réalistes (c'est à dire des coupures sur les angles et énergies des particules sortantes) sur les sections efficaces, ainsi que le problème des conditions à réaliser pour éliminer le bruit de fond. Ces questions ont été également abordées par d'autres auteurs (15, 17, 18, 19, 26-28).

Analyse d'expériences

Deux expériences portant sur le processus $e^-e^+ \rightarrow e^-e^+e^-e^+$, faisant intervenir le mécanisme de collision photon-photon, ont été effectuées jusqu'à maintenant. La première a été exécutée auprès de l'anneau de stockage VEPP 2 à Novosibirsk, et a consisté à mesurer des paires d'électrons créées à grand angle. (29) L'analyse théorique faite par Baier et Fadin (26) a donné un bon accord avec les données expérimentales. La seconde expérience a eu lieu auprès de l'anneau de stockage ADONE à Frascati, et a consisté à mesurer pour chaque événement 3 particules e^\pm sortantes, dont deux émises à grand angle et une à petit angle. L'analyse théorique a mis en évidence la contribution d'un effet inattendu (un électron primaire et un électron créé sortant à grand angle); cet effet a été expliqué par N. Cabibbo et G. Parini. (30)

The 1972 Kessler's report

-4-

Création d'une seule particule ou résonance dans une collision photon-photon

Les réactions $e\bar{e} \rightarrow e\bar{e} X$, où X est un boson neutre, caractérisé par $C = +1$, et où intervient le mécanisme à deux photons, ont été considérées par de nombreux auteurs. Pour $X = \pi^0$ ou η , la constante de couplage $X\gamma\gamma$ étant connue, des prédictions peuvent être données sans faire intervenir de modèle théorique particulier ⁽⁴⁾, (6), (9), (19), (24), (25). Pour les autres particules ($X = \eta'$, \tilde{O} ou E , τ , A_2 , ...), diverses théories ont été utilisées: règles de somme à énergie finie, pôles de Regge, unitarité, modèle à dominance vectorielle (27, 28, 31-33). La question de l'ordre de grandeur de la constante de couplage du vertex $E\gamma\gamma$ a en particulier fait l'objet de controverses entre divers auteurs (32-38).

Production de pions à basse énergie

a) Production de $\pi^+\pi^-$

Le modèle le plus simple utilisé de prime abord (8, 13, 16, 18) consistait à calculer le processus $\gamma\gamma \rightarrow \pi^+\pi^-$ selon l'électrodynamique quantique (termes de Born). De nombreux auteurs se sont ensuite posés la question des corrections hadroniques à apporter à ce calcul. C'est un problème particulièrement intéressant, car l'unitarité permet, à basse énergie, de relier la phase de l'amplitude du processus $\gamma\gamma \rightarrow \pi^+\pi^-$ à celle de l'amplitude de la diffusion élastique $\pi\pi$, ceci pour un m moment angulaire et un isospin donnés. Pour ces calculs de corrections hadroniques, Manassah et Matsuda utilisèrent un modèle de hadrons composites ⁽³⁹⁾, Górczyca un modèle de quarks ⁽⁴⁰⁾, d'autres auteurs des relations de dispersion (41-45, 20, 38); enfin, un certain nombre d'auteurs appliquèrent PCAC, l'algèbre des courants (théorèmes de basse énergie) et l'inva-

-8-

riance de jauge ⁽⁴⁴⁻⁴⁷⁾. La plupart des auteurs arrivent à la conclusion que, à faible masse invariante ($s \lesssim 0,5 \text{ GeV}^2$) et pour des photons quasi-réels, la section efficace prédite à l'aide des termes de Born devrait être assez peu modifiée par les corrections hadroniques.

b) Production de $(2n+1)\pi$

Aviv, Darr et Sawyer ⁽⁴⁸⁾ ont montré qu'il était possible, en utilisant un certain nombre de données théoriques (PCAC, théorèmes de basse énergie de l'algèbre des courants, invariance de jauge, symétrie chirale), de relier entre elles les amplitudes des divers processus $\gamma\gamma \rightarrow (2n+1)\pi$ à basse énergie, et que l'on pouvait en particulier déduire les sections efficaces de $\gamma\gamma \rightarrow 3\pi$ de la valeur connue du taux de désintégration $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$. Ce travail a entraîné une floraison de recherches effectuées dans la même ligne (49-58, 45, 46).

c) Production de $(2n)\pi$

Des méthodes analogues à celle citée plus haut ⁽⁴⁸⁾ ont également été appliquées à la production d'un nombre pair de pions dans les collisions photon-photon, et en particulier $\gamma\gamma \rightarrow 2\pi^+ + 2\pi^-$ a été calculé de cette manière ^(44, 46, 47, 59).

Comportement asymptotique, et diffusion "deep inelastic"

Un certain nombre d'auteurs (18, 19, 27, 60, 61) ont étudié le comportement asymptotique des réactions $\gamma\gamma \rightarrow$ hadrons (avec des photons quasi-réels) en faisant intervenir l'échange de pôles de Regge, le poméron devant jouer un rôle prédominant. Le théorème de factorisation permet de relier les processus $\gamma\gamma$ à γp et $p p$, et de donner une valeur pour la section efficace totale: $\sigma_{\gamma\gamma \rightarrow \text{hadrons}} (s \rightarrow \infty) \approx 0,3 \text{ mb}$.

The 1972 Kessler's report

-9-

D'autre part, un très grand nombre d'auteurs (62-73) ont considéré le cas de la diffusion "profondément inélastique", c'est à dire où l'un et/ou l'autre des deux photons est fortement virtuel (q^2 grand) au lieu d'être quasi-réel ($q^2 \approx 0$). Diverses théories (pôles de Regge, partons, algèbre bilocale) ont été utilisées par ces auteurs qui s'accordent d'une manière générale pour prédire un comportement du type "scaling".

Dans ce contexte, il convient de citer également le travail de Fujikawa (74) qui montre que le "scaling" se manifeste aussi dans $\gamma\gamma \rightarrow \mu\bar{\mu}$ (dans les conditions "profondément inélastiques"), bien qu'il s'agisse d'un processus purement électromagnétique.

Questions diverses et connexes

a) Création de deux paires

Les processus électromagnétiques $\gamma\gamma \rightarrow 2$ paires ($e\bar{e}$ et $\bar{e}e$, $e\bar{\mu}\mu$, $e\bar{\tau}\tau$, ...) avaient été calculés il y a quelques années déjà par divers auteurs (75-77). L'application aux anneaux de stockage électron-positron (processus $e\bar{e} \rightarrow e\bar{e}$ et $e\bar{e} \rightarrow e\bar{e}$, etc.) a été considérée par Serbo (78) et Greco (79).

b) Facteurs de forme électromagnétiques

Notre groupe (9, 25) a proposé un type d'expérience qui permettrait de déterminer les facteurs de forme électromagnétiques relatifs aux vertex $X\gamma\gamma$ ($X = \pi^0, \eta, \eta'$) dans le domaine du genre espace. Terazawa a donné des prédictions théoriques pour le facteur de forme du vertex $\pi^0\gamma\gamma$ (79).

Récemment, nous avons proposé un autre type d'expérience qui pourrait permettre de déterminer le facteur de forme électromagnétique du pion chargé (ainsi qu'un éventuel facteur de forme du muon, si celui-ci s'avérait être anormal) dans le domaine du genre espace (80).

-10-

c) Différence de masse électromagnétique des pions

A l'aide de PCAC et de l'algèbre des courants, Yan (81) a montré que l'on pouvait relier la différence de masse électromagnétique des pions au processus $\gamma\gamma \rightarrow \pi^+ \pi^-$ (avec des photons virtuels).

d) Test d'unitarité et de CP

Prosky (82) a souligné qu'un test fondamental de l'unitarité et de l'invariance CP peut être effectué en mesurant les processus $\gamma\gamma \rightarrow \pi^+ \pi^-$ et $\gamma\gamma \rightarrow \pi^0 \pi^0$ à une masse invariante égale à la masse du K_S . Dans le même contexte, on peut citer la suggestion (82) de mesurer le processus $\gamma\gamma \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ à la masse du K_L , afin de mieux comprendre la contribution de l'état intermédiaire à trois pions dans l'étude de la désintégration $K_L \rightarrow \mu\bar{\mu}$.

e) Production de paires de baryons. Spéculations.

M. Arteaga-Romero a considéré les divers processus $\gamma\gamma \rightarrow$ baryon + antibaryon (83). Par ailleurs, on peut spéculer sur la production éventuelle, dans les collisions photon-photon, de particules encore inconnues: leptons lourds, bosons vectoriels intermédiaires des interactions faibles, etc.

f) Effet Renard

Cet effet fait également intervenir l'interaction photon-photon, mais dans une région physique différente (un photon du genre temps entrant, un photon libre sortant). C'est ainsi que Renard (84) a en particulier proposé d'étudier le E ou \bar{G} dans la réaction $e^- e^+ \rightarrow \gamma \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$. Ici encore, l'idée a été par la suite reprise par un groupe de SLAC (85).

g) Collisions photon-photon à plus haute énergie

Les sections efficaces croissent avec l'énergie, il est intéressant de considérer dès à présent les perspectives d'avenir faisant intervenir des faisceaux de e^\pm de plus haute énergie. C'est ainsi que

The 1972 Kessler's report

-11-

Geonka et Rees (86) ont donné des prévisions pour les collisions photon-photon pouvant être produites dans le cadre d'un projet audacieux, visant à faire se rencontrer le faisceau de l'accélérateur linéaire de SLAC avec l'un des faisceaux de l'anneau de stockage SPEAR. Brodsky (82) a mentionné la possibilité de faire interagir le faisceau du linac avec lui-même, ce qui fournirait une énergie encore plus élevée dans le système du centre de masse. Enfin, Ioffe et Khoze (87) ont fait une étude théorique des expériences à réaliser (notamment, collisions $\gamma\gamma$) avec des anneaux de stockage e^+e^- d'énergie 50 à 100 GeV par faisceau.

Collisions photon-photon faisant intervenir des hadrons à l'état initial.

Ce domaine, que l'on peut faire remonter à l'effet Primakoff (88) et même, plus loin dans le passé, à l'effet dit de Bethe-Heitler (89) (photoproduction de paires d'électrons dans le champ coulombien), connaît actuellement un regain d'intérêt dans le contexte de la mise en œuvre d'accélérateurs de protons de très haute énergie et à la suite de certains travaux théoriques. C'est ainsi que Stodolsky et Jurisic (90) ont proposé de mesurer la section efficace du processus $\gamma\gamma \rightarrow \pi\pi$ par photoproduction sur noyaux (donc avec un photon réel et un photon quasi-réel généré par la cible); la difficulté est évidemment de rejeter le bruit de fond dû aux interactions fortes, en isolant la région des très petits transferts. Dans la même ligne, d'autres auteurs (91, 92) ont proposé d'étudier $\gamma\gamma \rightarrow e^+e^-e^+e^-$ et $\gamma\gamma \rightarrow 3\pi$ en utilisant, ici encore, les noyaux comme générateurs de photons quasi-réels. D'autre part, Fujikawa (93) et Budnev et al. (94) ont étudié la création de paires de leptons, par le mécanisme à échange de deux photons, dans les collisions proton-proton. Enfin, Baier et Fadin (95) ont consi-

-12-

déré la production électromagnétique de paires de particules de spin 0 ou 1/2 dans une collision entre particules chargées quelconques de haute énergie.

On peut considérer que ces diverses études s'insèrent dans le contexte d'une série de travaux (96-98) visant à appeler l'attention sur l'importance que sont appelés à prendre les processus à échange de photons dans les interactions des hadrons à très haute énergie, en particulier auprès des machines nouvelles comme les ISR, NAL et CERN II.

Mentionnons pour finir que notre groupe au Collège de France (C. Carimalo, G. Cochard, P. Kessler, J. F. Loiseau, J. Parisi, B. Roehner) poursuit actuellement une étude englobant l'ensemble des processus non-hadroniques pouvant être produits, à très haute énergie, dans le champ électromagnétique des noyaux (photoproduction de paires de leptons, rayonnement de freinage, tridents de leptons chargés, neutrino-production, production éventuelle de bosons lourds (intermédiaires des interactions faibles) ou de leptons lourds ...).

Utilité d'un Colloque international

"Les collisions photon-photon", déclarait Brodsky à la Conférence de Cornell (82), "doublement l'intérêt des anneaux de stockage électron-positron". Etant donné qu'il s'agit d'un domaine nouveau en physique des hautes énergies, dont l'importance n'est contestée par personne et dont l'étude systématique a été commencée il y a tout juste quatre ans, une première réunion de spécialistes travaillant dans ce domaine pourrait être, à notre avis, extrêmement utile. Un éventail très vaste de problèmes pourrait être abordé, depuis les questions pratiques d'un intérêt primordial pour les expérimentateurs (comment rejeter le bruit de fond à coup sûr? est-il vraiment indispensable de faire le "tagging" des électrons à C^2 , etc.) jusqu'aux questions les

The 1972 Kessler's report

-13-

plus abstraites que se posent les théoriciens (validité des théorèmes de basse énergie, modèle des partons, etc.).

Programme du Colloque

Nous proposons un Colloque groupant quelques dizaines de théoriciens et expérimentateurs, s'étendant sur deux jours, et dont le programme porterait sur les sujets suivants:

1. Formulation et validité des méthodes d'approximation du type Williams-Weizsäcker.
2. Effets des conditions expérimentales réalistes, Réjection du bruit de fond.
3. Expériences passées et futures.
4. Production d'une seule particule ou résonance dans les collisions $\gamma\gamma$.
5. Production de pions à basse énergie dans les collisions $\gamma\gamma$.
6. Comportement asymptotique, ^{donc $\gamma\gamma \rightarrow$ hadrons} et diffusion profondément inélastique.
7. Questions diverses (études de facteurs de forme électromagnétiques; comportement asymptotique en électrodynamique, etc.).
8. Processus à échange de photons dans la physique des hadrons aux très hautes énergies.

De façon plus précise, nous proposons que ce Colloque se tienne au Collège de France le 3 et 4 septembre 1973. Le choix du Collège de France n'étonnera personne, étant donné le rôle pionnier joué, dans l'étude des collisions photon-photon, par notre groupe; ce rôle est reconnu sur le plan international (82, 99-103). Quant à la période suggérée, elle paraît particulièrement propice, car elle placerait ce Colloque entre la Conférence Internationale de Bonn (Electron-Photons) et celle d'Aix-en-Provence (Particules Élémentaires), et permettrait ainsi de profiter de la présence en Europe occidentale d'un grand nombre de physiciens américains et soviétiques.

-14-

Références

- (1) P. L. Csanaka, CERN Report TH 772 (1967); Phys. Letters 24 B, 629 (1967).
- (2) M. J. Williams, Mat.-Fys. Medd. 12, n° 4 (1934).
- (3) L. Landau et E. Lifshitz, Phys. Z. Soviet Union 6, 244 (1934).
- (4) F. Low, Phys. Rev. 120, 582 (1960).
- (5) F. Calogero et C. Zeman, Phys. Rev. 120, 1860 (1960).
- (6) J. O. Le Guillou, Thèse de Troisième Cycle, Paris (1965); Comptes Rendus 261, 326 (1965).
- (7) P. C. De Celles et J. E. Goehl Jr., Phys. Rev. 184, 1617 (1969).
- (8) M. Artesaga-Romero, A. Jaccarini et P. Kessler, Comptes Rendus 269 B, 153 et 1129 (1969); Abstract n° 76, p. 290, Proceedings of the 4th International Symposium on Electron and Photon Interactions at High Energies (Liverpool, sept. 1969); Rapport Interne PAM 70-02 (avril 1970).
- (9) J. Parisi et P. Kessler, Abstract n° 74, p. 289, Proceedings of the 4th International Symposium on Electron and Photon Interactions at High Energies (Liverpool, sept. 1969); J. Parisi, Thèse de Troisième Cycle, Paris (févr. 1970).
- (10) K. Steffen, "Plans for the Storage Ring and Detection Apparatus at DESY", Invited Talk, Second Princeton Conference on Storage Ring Physics (mai 1970).
- (11) A. Jaccarini, Thèse de Troisième Cycle, Paris (juill. 1970).
- (12) V. B. Balakin, V. M. Budnev et I. F. Ginzburg, JETP Letters 11, 388 (1970).

The 1972 Kessler's report

-15-

- (13) S. J. Brodsky, T. Kinoshita et H. Terazawa, Phys. Rev. Letters 22, 972 (1970).
- (14) H. Cheng et T. T. Wu, Phys. Letters 36 B, 241 (1971); Nucl. Physics B 32, 461 (1971).
- (15) V. N. Baier et V. S. Fadin, Lett. Nuovo Cimento 1, 481 (1971); JETP Letters 13, 208 (1971); JETP 34, 253 (1972).
- (16) N. Artega-Romero, A. Jaccarini, P. Kessler et J. Parisi, Phys. Rev. D 3, 1569 (1971).
- (17) M. Greco, Nuovo Cimento 4 A, 689 (1971).
- (18) R. W. Brown et I. J. Muzinich, Phys. Rev. D 4, 1496 (1971).
- (19) S. J. Brodsky, T. Kinoshita et H. Terazawa, Phys. Rev. D 4, 1532 (1971).
- (20) C. E. Carlson et W. K. Tung, Phys. Rev. D 4, 2873 (1971).
- (21) G. Bonneau, N. Gourdin et P. Martin, "Inelastic lepton-(anti)-lepton scattering and two-photon exchange approximation", Prétirage PAR-LPTHE 6 (juin 1972).
- (22) V. M. Budnev, I. F. Ginzburg, G. V. Meledin^{et} V. G. Serbo, Yadernaya Fiz. 16, 362 (1972).
- (23) A. Jaccarini, N. Artega-Romero, J. Parisi et P. Kessler, Nuovo Cimento Letters 4, 933 (1970) et 1, 935 (1971); Phys. Rev. D 4, 2927 (1971). P. Kessler, Proceedings of the First EPS Conference on Meson Resonances and Related Electromagnetic Phenomena (Bologne, avril 1971), p. 513.
- (24) J. Parisi et P. Kessler, Lett. Nuovo Cimento 2, 755 (1971); Phys. Rev. D 5, 2229 (1972).
- (25) J. Parisi et P. Kessler, Lett. Nuovo Cimento 2, 760 (1971); Phys. Rev. D 5, 2237 (1972).

-16-

- (26) V. N. Baier et V. S. Fadin, Phys. Letters 35 B, 156 (1971).
- (27) V. M. Budnev et I. F. Ginzburg, Phys. Letters 37 B, 320 (1971).
- (28) V. N. Baier et V. S. Fadin, Sov. Journ. of Nucl. Phys. 13, 56 (1972).
- (29) V. M. Balakin et al., Phys. Letters 34 B, 663 (1971).
- (30) C. Bacci et al., Lett. Nuovo Cimento 3, 709 (1972).
- (31) A. Braham et M. Greco, Lett. Nuovo Cimento 2, 522 (1971).
- (32) B. Schrempf-Otto, F. Schrempf et T. F. Walsh, Phys. Letters 36 B, 463 (1971).
- (33) G. Schierholz et K. Sundermeyer, Nucl. Physics B 40, 125 (1972).
- (34) A. Q. Sarker, Phys. Rev. Letters 25, 1527 (1970).
- (35) H. Kleinert, P. Staunton et P. H. Weisz, Nucl. Phys. B 36, 87 et 104 (1972).
- (36) R. J. Crowther, Phys. Rev. Letters 28, 1421 (1972).
- (37) M. S. Chanowitz et J. Ellis, Phys. Letters 40 B, 397 (1972).
- (38) D. H. Lyth, Nucl. Phys. B 48, 537 (1972).
- (39) J. T. Manassah et S. Matsuda, Phys. Rev. D 4, 882 (1971).
- (40) B. Gorcewicz, Lett. Nuovo Cimento 4, 533 (1972).
- (41) D. H. Lyth, Nucl. Phys. B 50, 195 (1971).
- (42) F. J. Yndurain, Nuovo Cimento 7 A, 687 (1972).
- (43) V. I. Khlenkov, JETP Letters 13, 85 (1972).
- (44) H. Terazawa, Phys. Rev. Letters 26, 1207 (1971).
- (45) K. V. Terent'ev, JETP Letters 13, 318 (1971); Yadernaya Fiz. 12, 1199 (1972) et 16, 162 (1972).
- (46) T. Yao, Phys. Letters 35 B, 225 (1971).
- (47) N. L. Goble et J. L. Rosner, Phys. Rev. D 5, 2345 (1972).

The 1972 Kessler's report

-17-

- (48) H. Aviv, M. D. H. Dass et R. F. Sawyer, Phys. Rev. Letters 26, 591 (1971). H. Aviv et R. F. Sawyers, Phys. Rev. D 4, 451 (1971).
- (49) E. S. Abers et S. Fels, Phys. Rev. Letters 26, 1512 (1971).
- (50) S. L. Adler, B. W. Lee, S. B. Treiman et A. Zee, Phys. Rev. D 4, 3947 (1971).
- (51) M. D. H. Dass, Phys. Rev. D 5, 1542 (1971).
- (52) M. V. Terent'ev, JETP Letters 14, 94 (1971).
- (53) T. F. Wong, Phys. Rev. Lett. 27, 1617 (1971).
- (54) M. Pratsap, J. Smith et Z. E. S. Uy, Phys. Rev. D 5, 269 (1972).
- (55) R. Aviv et A. Zee, Phys. Rev. D 5, 2372 (1972).
- (56) H. Becry et J. Buyts, Phys. Rev. D 5, 1539 (1972).
- (57) R. Koberle, Phys. Lett. 38 B, 169 (1972).
- (58) A. Zee, Phys. Rev. D 6, 900 (1972).
- (59) R. A. Buchl et B. P. Nigam, Phys. Rev. D 5, 1150 (1972).
- (60) V. M. Budnev, V. L. Chernyak et I. F. Ginzburg, Nucl. Phys. B 34, 470 (1971).
- (61) V. M. Budnev et I. F. Ginzburg, Sov. Journ. of Nucl. Phys. 13, 198 (1971).
- (62) S. J. Brodsky, T. Kinoshita et H. Terazawa, Phys. Rev. Letters 27, 280 (1971).
- (63) T. F. Walsh, Phys. Lett. 36 B, 121 (1971). T. F. Walsh et P. Zerwas, Nucl. Phys. B 41, 551 (1972). T. F. Walsh, SLAC-Pub-1111 (sept. 1972); *DESY Report 72-77 (1972) (av. P. Zerwas)*.
- (64) A. V. Efremov et I. F. Ginzburg, Phys. Letters 36 B, 371 (1971).
- (65) S. M. Berman, J. D. Bjorken et J. B. Kogut, Phys. Rev. D 4, 3388 (1971).

-18-

- (66) R. L. Kingsley, Nucl. Phys. B 36, 575 (1972); B 46, 615 (1972).
- (67) Z. Kunszt, Phys. Letters 40 B, 220 (1972).
- (68) V. L. Chernyak, JETP Letters 15, 348 (1972).
- (69) E. A. Choban et V. M. Shekhter, Sov. Journ. of Nucl. Phys. 14, 105 (1972).
- (70) Yu. M. Shabelskii, Sov. Journ. of Nucl. Phys. 14, 218 (1972).
- (71) L. I. Perlovskii et E. P. Helfets, Sov. Journ. of Nucl. Phys. 15, 435 (1972).
- (72) C. L. Starke, Phys. Rev. D 5, 79 (1972).
- (73) H. Terazawa, Phys. Rev. D 5, 2259 (1972).
- (74) K. Fujikawa, Nuovo Cimento 12 A, 83 (1972).
- (75) L. N. Lipatov et G. V. Frolov, JETP Letters 10, 254 (1969).
- (76) H. Cheng et T. T. Wu, Phys. Rev. D 2, 2103 (1970).
- (77) M. Masujima, Nucl. Phys. B 24, 182 (1970).
- (78) V. G. Serbo, JETP Letters 12, 39 (1970).
- (79) H. Terazawa, Phys. Rev. D 5, 2530 (1972).
- (80) C. Carimalo, P. Kessler et J. Parini, "A suggestion for investigating electron-muon and electron-pion scattering with electron-positron colliding beams", Prétrirage FAM 72-12 (nov. 1972).
- (81) T. M. Yan, Phys. Rev. D 4, 3523 (1971).
- (82) S. Brodsky, "Proceedings of the 1971 International Symposium on electron and photon interactions at high energies" (Cornell University, août 1971), p. 13.

The 1972 Kessler's report

-19-

- (83) N. Arzoumanian, "Travaux de l'Institut d'États, Paris (oct. 1972).
- (84) F. M. Steiner, "Proceedings of the Moriond Meeting on electro-magnetic interactions" (mars 1969), p. 36; Nuovo Cimento 62 A, 475 (1969).
- (85) M. J. Gell-Mann et R. E. Marshak, Phys. Rev. Letters 24, 341 (1970); Phys. Rev. D 1, 2537 (1970). Voir aussi ref. (34).
- (86) P. L. Goussard et J. R. Nee, SLAC-PUB-856 (avril 1971).
- (87) B. Z. Ioffe et V. A. Khose, Cours fait à l'École Internationale de Physique Théorique et Expérimentale, Yerevan (nov.-déc. 1971).
- (88) H. Primakoff, Phys. Rev. 81, 899 (1951).
- (89) W. Heitler et F. Sauter, Nature 142, 892 (1933); H. Bethe et W. Heitler, Proc. Roy. Soc. 206, 83 (1934).
- (90) L. Stodolsky, Phys. Rev. Letters 26, 404 (1971). N. Jurisic et L. Stodolsky, Phys. Rev. D 3, 724 (1971).
- (91) R. W. Brown, I. J. Muzinich, B. P. Ros, Y. P. Yao, Phys. Rev. Letters 28, 123 (1972).
- (92) J. Smith et N. Stankovic, Phys. Rev. 6, 1332 (1972).
- (93) K. Fujikawa, Nuovo Cimento 12 A, 117 (1972).
- (94) V. M. Budnev, I. F. Ginzburg, G. V. Meledin et V. G. Serbo, Prétraitage Novosibirsk TP-61 (1972).
- (95) V. N. Baier et V. S. Fadin, Sov. Phys. JETP 34, 253 (1971).
- (96) M. Gourdin, Nuclear Physics B 22, 415 (1971).
- (97) A. Dar, "Proceedings of the sixth Rencontre de Moriond" (mars 1971), p. 17.
- (98) R. Hiet et Ph. Salin, Nucl. Phys. B 36, 247 (1972).

-20-

- (99) "Physics Today", n° de déc. 1970, p. 17-19; n° de janv. 1973, p. 19-20.
- (100) Proceedings of the First EPS Conference on Meson Resonances and Related Electromagnetic Phenomena (Bologne, avril 1971): C. Bacci et al., p. 481; G. Barbiellini et S. Orito, p. 505.
- (101) Proceedings of the Amsterdam International Conference on Elementary Particles (Amsterdam, juin-juillet 1971): S. D. Drell, p. 307; A. Pais, p. 391.
- (102) D. Schildknecht, H. J. Willutski et G. Wolf, "Experimente am e^+e^- Speicherring" DESY-Report 71/28 (juin 1971).
- (103) A. Pais, "Comments in Nuclear and Particle Physics", janv.-févr. 1972, p. 26.

The 1973 Conference

Le Journal de Physique Colloques

Vol. 35, No. C2 (Mars 1974)

Colloque international sur les collisions photon-photon dans les anneaux de stockage électron-positron / International colloquium on photon-photon collisions in electron-positron storage rings

I. EXPÉRIENCES PASSÉES ET FUTURES / I. PAST AND FUTURE

EXPERIMENTAL RESEARCHES IN FRASCATI ON THE REACTIONS $e^+e^- \rightarrow e^+e^- + X$. THE RESULTS OF THE "γγ GROUP"

p. C2-1
G. SALVINI
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974201>
Résumé | PDF (479.5 KB)

INVESTIGATION OF PHOTON-PHOTON INTERACTIONS BY e^+e^- BEAMS COLLIDING WITH 2.7 GeV TOTAL ENERGY

p. C2-9
F. CERADINI, M. CONVERSI, S. D'ANGELO, M. L. FERRER, L. PAOLUZZI, R. SANTONICO, G. BARBIELLINI, S. ORITO, T. TSURU et R. VISENTIN
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974202>
Résumé | PDF (171.0 KB)

EXPERIMENTS ON ELECTROPRODUCTION OF e^+e^- PAIRS WITH COLLIDING BEAMS AT NOVOSIBIRSK

p. C2-15
V. A. SIDOROV
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974203>
Résumé | PDF (337.7 KB)

II. EXPÉRIENCES PASSÉES ET FUTURES / II. PAST AND FUTURE

EXPERIMENTAL ELECTRON-POSITRON INTERACTIONS AT 5 GeV IN THE CENTER-OF-MASS : BHABHA SCATTERING AND MULTIHADRON PRODUCTION

p. C2-21
H. B. NEWMAN
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974204>
Résumé | PDF (519.9 KB)

PHOTON-PHOTON COLLISION EXPERIMENTS AT SPEAR

p. C2-29
G. J. FELDMAN
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974205>
Résumé | PDF (338.8 KB)

P. WALOSCHKE
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974206>
Résumé | PDF (1.855 MB)

EXPERIMENTAL EVIDENCE OF VIRTUAL COMPTON SCATTERING OUTLOOK OF STUDYING $\gamma\gamma$ PROCESSES WITH DCI

p. C2-45
A. COURAU
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974207>
Résumé | PDF (257.8 KB)

SOME BACKGROUND PROBLEMS IN PHOTON-PHOTON COLLISIONS IN ELECTRON-POSITRON STORAGE RINGS

p. C2-51
J. PARISI
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974208>
Résumé | PDF (379.2 KB)

I. THÉORIE / THEORY CURRENT ALGEBRA, PCAC, ITS ANOMALY, AND THE TWO-PHOTON PROCESS (SOFT-PION PRODUCTION BY TWO PHOTONS)

p. C2-61
H. TERAZAWA
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974209>
Résumé | PDF (401.8 KB)

THE HADRONIC PHYSICS OF PHOTON-PHOTON COLLISIONS

p. C2-69
S. J. BRODSKY
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974210>
Résumé | PDF (472.2 KB)

II. THÉORIE / THEORY $\gamma\gamma \rightarrow$ HADRONS : ASYMPTOTIC BEHAVIOR AND DEEP INELASTIC SCATTERING

p. C2-77
T. F. WALSH
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974211>
Résumé | PDF (551.7 KB)

III. THÉORIE / THEORY COULOMB AND PHOTON EFFECTS AT HIGH ENERGY

p. C2-87
L. STODOLSKY
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974212>
Résumé | PDF (551.6 KB)

IV. THÉORIE / THEORY THE EQUIVALENT PHOTON APPROXIMATION IN ONE- AND TWO-PHOTON EXCHANGE PROCESSES

p. C2-97
P. KESSLER
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974213>
Résumé | PDF (648.5 KB)

FORMULATION AND VALIDITY OF AN EQUIVALENT PHOTON APPROXIMATION IN THE TWO-PHOTON EXCHANGE MECHANISM

p. C2-109
G. BONNEAU, M. GOURDIN et F. MARTIN
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974214>
Résumé | PDF (137.7 KB)

THE EQUIVALENT PHOTON APPROXIMATION

p. C2-113
D. H. LYTH
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974215>
Résumé | PDF (104.7 KB)

BEYOND THE EQUIVALENT-PHOTON APPROXIMATION

p. C2-115
K. SUBBARAO

The 1973 Conference

DISCUSSION PANEL p. C2-119
P. KESSLER, F. MARTIN, D. H. LYTH et K. SUBBARAO
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974217>
Résumé | PDF (109.2 KB)

Large angle pair production in colliding beam experiments p. C2-121
V. N. BAIER et V. S. FADIN
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974218>
Résumé | PDF (50.28 KB)

Quasi-real photon approximation for describing electroproduction processes p. C2-121
V. N. BAIER et V. S. FADIN
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974219>
Résumé | PDF (50.29 KB)

Quasi-real electron method in high energy quantum electrodynamics p. C2-121
V. N. BAIER, V. S. FADIN et V. A. KHOZE
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974220>
Résumé | PDF (50.30 KB)

On the photon spectrum emitted at large angles in high-energy e^+e^- collisions p. C2-121
V. S. FADIN et V. A. KHOZE
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974221>
Résumé | PDF (50.30 KB)

W-meson pair production in high energy electron collisions p. C2-121
N. L. TERESAKEYAN et V. A. KHOZE
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974222>
Résumé | PDF (50.30 KB)

"Equivalent photon approximation. Range of validity, accuracy, etc." p. C2-121
V. M. BUDNEV, I. F. GINZBURG, G. V. MELEDIN et V. G. SERBO
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974223>
Résumé | PDF (112.3 KB)

"Hadron production in electron-positron storage rings", a review p. C2-122
V. M. BUDNEV, I. F. GINZBURG, G. V. MELEDIN et V. G. SERBO
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974224>
Résumé | PDF (63.55 KB)

"The c -meson production in e^+e^- -collisions" p. C2-122
V. M. BUDNEV et A. N. VALL
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974225>
Résumé | PDF (63.56 KB)

"Production of pion and muon pairs in e^+e^- colliding beams, going out of the limits of equivalent photon approximation" p. C2-122
V. L. CHERNYAK et V. G. SERBO
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974226>
Résumé | PDF (63.57 KB)

"Quark parton model, light-cone expansions and virtual $\gamma\gamma$ -scattering" p. C2-122
V. L. CHERNYAK et V. G. SERBO
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974227>
Résumé | PDF (119.5 KB)

Parton model for scattering p. C2-123
L. I. PERLOVSKY et E. P. HEIFEZ
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974229>
Résumé | PDF (57.44 KB)

The two-photon process for particle production in colliding beam experiments p. C2-123
G. GRAMMER, Jr. et T. KINOSHITA
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974230>
Résumé | PDF (57.44 KB)

Corrections to equivalent photon approximation for two-photon processes in colliding beams p. C2-123
K. SUBBARAO
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974231>
Résumé | PDF (57.44 KB)

Two-photon processes for particle production at high energies p. C2-123
H. TERAZAWA
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974232>
Résumé | PDF (115.8 KB)

Absorption of high-energy cosmic photons through double pair production in photon-photon collisions p. C2-124
R. W. BROWN, K. O. MIKHAELIAN et R. J. GOULD
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974233>
Résumé | PDF (59.90 KB)

A treatment of meson pair production in $\gamma\gamma$ collisions including inelasticity and current algebra p. C2-124
P. GENSINI
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974234>
Résumé | PDF (59.91 KB)

The equivalent polarised-photon approximation p. C2-124
C. J. BROWN et D. H. LYTH
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974235>
Résumé | PDF (59.91 KB)

Particular cases of particle production in inelastic lepton (anti) lepton scattering p. C2-124
G. BONNEAU et F. MARTIN
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974236>
Résumé | PDF (59.92 KB)

A suggestion for investigating electron-muon and electron-pion scattering with electron-positron colliding beams p. C2-124
C. CARIMALO, P. KESSLER et J. PARISI
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974237>
Résumé | PDF (81.35 KB)

Nuclei as generators of quasi-real photons p. C2-125
C. CARIMALO, G. COCHARD, P. KESSLER, J. PARISI et B. ROEHNER
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1974238>
Résumé | PDF (22.92 KB)

The origins

- ▶ Few years later, I met theorists from LPC CdF while computing radiative corrections to Bhabha scattering for a CELLO luminometer, and looking for QED experts.
- ▶ I met the Kessler group during the analysis of the CELLO results presented at Lake Tahoe in 1979.
- ▶ The sociology of two-photon physics in France from DM2 to CELLO is another potentially interesting topic.
- ▶ Already in 1971 the Kessler's group had an exact factorized expression for the two-photon 2 fermion pair production, and the techniques of helicity amplitudes calculation are still of interest.
- ▶ QCD studies developed by M. Fontannaz, D. Schiff, B. Pire lead to the creation of teams in Orsay and Ecole Polytechnique.

A look at the 1980 Amiens International Workshop

FOREWORD

This volume contains the Proceedings of the "International Workshop on $\gamma\gamma$ Collisions" ("Journées d'Etudes Internationales sur les Collisions Photon-Photon") held at the Université de Picardie (Amiens, France) April 8-12, 1980.

Photon-photon collisions (i.e., collisions between virtual photon spectra, basically performed with electron storage rings) are a relatively new field in high-energy physics. The first theoretical papers in this field, by F. LOW and by F. CALOGERO and Ch. ZENACH, were published in 1960. From 1969-70 on, the physics of $\gamma\gamma$ collisions was considerably stimulated by the extensive theoretical studies performed in particular by three groups (Collège de France, Novosibirsk, Cornell-SLAC). At present, many theorists are interested in this type of reaction, in the context of checking quantum chromodynamics.

As regards the experimental investigation of $\gamma\gamma$ collisions, the first experiments, performed at Novosibirsk and Frascati in the period 1970-73, were mainly tests of QED. On the other hand, the most recent experiments, performed with the storage rings SPEAR (Stanford), PETRA (Hamburg) and D.C.I. (Orsay), have provided some significant and even spectacular results in hadronic physics.

Although it may be taken for granted that $\gamma\gamma$ collisions will play an important role in future particle physics, the corresponding experiments are difficult to carry out and to analyze. This was the motivation of the Amiens Workshop; it appeared desirable, indeed, to bring together a number of competent and interested people in order to discuss all the theoretical and experimental problems that are presently arising in this field. Our Workshop was the third international meeting on photon-photon collisions, after the Collège de France Colloquium (September 1973) and the Lake Tahoe Conference (August 1979). That Workshop was attended by about 90 participants from 16 different countries of Western Europe and America.

On behalf of the Organizing Committee, we wish to express our deep gratitude to the various French bodies that agreed to support our Workshop financially, the Université de Picardie, the Town Council of Amiens, the Regional Council of Picardie, and the Division des Recherches et Etudes Techniques (D.R.E.T.). We are also very obliged to the Société Française de Physique for having decided to sponsor our meeting.

In addition, we wish to warmly thank those physicists of various countries who accepted our invitations to be members of our International Committee, as well as the invited speakers of the Workshop, the chairmen of plenary sessions, the discussion leaders of parallel sessions, the authors of short contributions presented in the parallel sessions, and finally, all participants who had a share, shown by their interest and their active contributions, in the success of that international meeting.

We are particularly grateful to Prof. M. FROISSART for his encouragement, advice, and help.

International Patronising Committee

M. CARLBERG (Rome)
F. CALOGERO (Rome)
M. FROISSART (Collège de France)
E. GABATHULER (CERN)
H. HARARI (Weizmann Institute)
L. LEIDERMAN (Fermilab)
E. LOHMEYER (DESY)
F.E. LOW (MIT)
H. PIETSCHMANN (Vienna)
J.J. SAKURAI (Los Angeles)
H. SCHOPFER (DESY)
S. YING (MIT)
M. VIVARGENT (LAPP Annecy)
Ch. ZENACH (Los Alamos)
A. ZICHICH (CERN)

Organising Committee

G. BARBIELLINI (CERN & INFN Frascati)
G. COCHARD (Amiens & Collège de France)
A. COURAU (Orsay)
P. KESSLER (Collège de France)
J.C. MONNET (Clermont-Ferrand)
F. VANNUCCI (LAPP Annecy)
P. WALOSCHKE (DESY)

A few comments as a conclusion

- ▶ Paul Kessler retired in 1992 : he gave a talk at the San Diego Two Photon Conference and stopped his activities in 1994.
- ▶ Paul Kessler has been very active defending Human Rights : soviet jews, palestinians, political prisoners.
- ▶ He also translated in french around fifteen german books, among them
 - "Der Teil und das Ganze" Werner Heisenberg,
 - "Ceux qui guérissent et ceux qui meurent" Jurgen Thorwald,
 - "Paul" Shalom Ben-Chorin
 - "Le Palais Bourbon" Theodor Herzl
 - "Le retour des castors" Josef Reichholf
 - "Assouan" Michael Heim
 - "Le septième continent" Albert Fischer

Acknowledgments and hope

- ▶ Many thanks to the retired Kessler's group members :
Napoléon Arteaga, Christian Carimalo and Joseph Parisi.
- ▶ Hoping that Christian will definitively publish the full content
of his 1978 unpublished thesis.
- ▶ And long life to the PhotonXXXX Conferences.